Calculatrice autorisée

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

20 points

Les teintes changeantes d'une bulle de savon sont dues à des interférences lumineuses. On peut s'en servir pour estimer l'épaisseur, très faible, d'une paroi d'eau savonneuse.

Lors d'un atelier scientifique, on plonge un cadre rectangulaire en fil métallique dans une solution de liquide vaisselle, puis on le tient verticalement : une fine pellicule de liquide reste tendue dans le cadre. La pellicule est plus mince en haut qu'en bas. On l'éclaire avec une lampe de lumière blanche et on la photographie avec un smartphone placé du même côté que la lampe (figure 1).

À l'endroit où il atteint la pellicule, le faisceau incident (rayon 1) se divise : une partie est renvoyée par la face avant (rayon 2), l'autre pénètre dans le liquide, se réfléchit sur la face arrière, puis ressort par la face avant (rayon 3). Issus de la même source, les rayons 2 et 3 se superposent et interfèrent (figure 2).

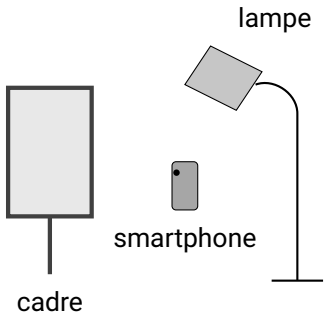

Figure 1. Montage

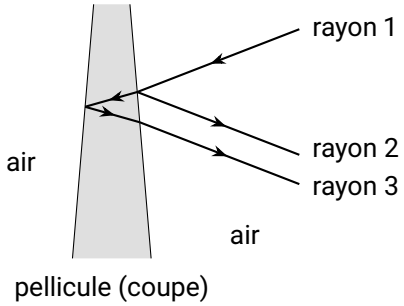

Figure 2. Coupe de la pellicule et trajet de la lumière

Données.

- Indice de réfraction du liquide de la pellicule : $n = 1{,}33$, le même pour toutes les radiations visibles.
- Toutes les longueurs d'onde λ de l'exercice sont des longueurs d'onde dans l'air.

Partie A : franges observées pour une seule couleur

9 points

Un logiciel de traitement d'image ne garde, sur la photographie, que la lumière de longueur d'onde $\lambda = 532\,\text{nm}$ (vert). On obtient la figure 3.

1) À l'aide de la figure 3, dire comment on repère les régions d'interférences constructives et celles d'interférences destructives.

2) Énoncer, en termes de phase, la condition pour que deux ondes lumineuses donnent des interférences constructives, puis celle pour qu'elles donnent des interférences destructives.

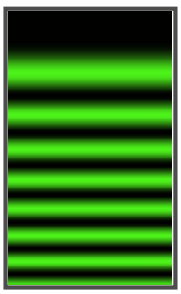

Figure 3. Pellicule vue en lumière verte

3) On s'intéresse à un point M de la pellicule. La lumière y arrive perpendiculairement à la surface et, au voisinage de M, les deux faces peuvent être considérées comme parallèles (figure 4). L'épaisseur de la pellicule en M vaut $e = 700\,\text{nm}$.

On admet que, dans ces conditions, la différence de chemin optique entre le rayon 3 et le rayon 2, en M, s'écrit :

$$\delta(\text{M}) = 2\,n\,e - \frac{\lambda}{2}$$

Établir, par un calcul, la nature (constructive ou destructive) des interférences en M.

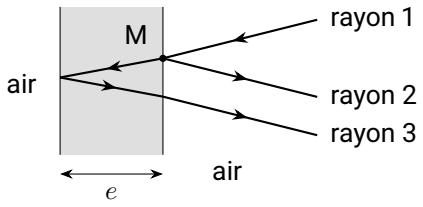

Figure 4. Au voisinage de M. La lumière arrive perpendiculairement aux faces ; sur le dessin, les rayons sont inclinés et écartés pour qu'on les distingue.

Partie B : comparaison de deux couleurs

11 points

La même photographie est traitée pour deux radiations : une radiation bleue, de longueur d'onde $\lambda_\text{B} = 470\,\text{nm}$, et une radiation rouge-orangée, de longueur d'onde $\lambda_\text{R} = 650\,\text{nm}$. La figure 5 réunit les deux résultats : moitié gauche en lumière bleue, moitié droite en lumière rouge-orangée. Les franges brillantes ne se situent pas aux mêmes hauteurs pour les deux couleurs. Pour chaque couleur, les repères $k = 0$ et $k = 1$ désignent les deux premières franges brillantes sous la zone sombre, numérotées comme dans la relation de la question 1) ci-dessous.

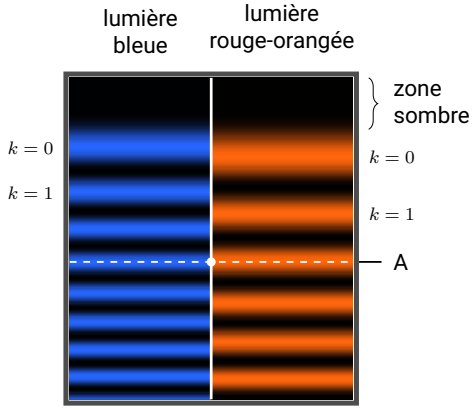

Figure 5. Pellicule vue en lumière bleue (à gauche) et rouge-orangée (à droite)

1) À partir de l'expression de δ donnée dans la partie A, montrer que, pour une lumière de longueur d'onde λ, les interférences sont constructives là où l'épaisseur de la pellicule vaut :

$$e_k = \left(\frac{2k+1}{4}\right) \times \frac{\lambda}{n}$$

où k est un nombre entier positif ou nul.

2) En déduire la plus petite épaisseur de pellicule qui donne des interférences constructives pour la radiation bleue.

3) En haut du cadre, une bande reste sombre quelle que soit la couleur sélectionnée : la pellicule y est extrêmement mince, ce qui rend les interférences destructives. Si l'on observe la pellicule pendant quelques minutes, cette bande sombre gagne peu à peu du terrain vers le bas. Interpréter cette évolution.

4) Au niveau de la ligne A de la figure 5, une frange brillante bleue et une frange brillante rouge-orangée se trouvent à la même hauteur. En comptant les franges sur la figure, déterminer l'épaisseur de la pellicule sur la ligne A ; on vérifiera que les deux couleurs conduisent à des valeurs proches.