

Exercice A : Interférences (10 points)

Le phénomène d'interférences peut être utilisé pour déterminer l'épaisseur d'un matériau transparent. Dans cet exercice, l'objectif est de déterminer l'épaisseur d'un film de savon en réalisant une expérience simple.

Un cadre de forme rectangulaire est plongé dans de l'eau savonneuse pour former un film de savon à l'intérieur du cadre. L'épaisseur du film n'est pas la même partout : elle est plus importante en bas du dispositif du fait de l'action de la gravité. On éclaire le film de savon avec de la lumière blanche, et sous un angle approprié, on observe une figure d'interférences.

Le rayon 1 arrive sur le film de savon. La lumière est en partie réfléchi (rayon 2) et elle pénètre en partie dans le film de savon. Le rayon issu de la réflexion sur l'autre côté du film en ressort ensuite (rayon 3) conformément au schéma de la figure 2. Les rayons lumineux 2 et 3 interfèrent alors. Ces interférences sont visibles sur le film de savon.

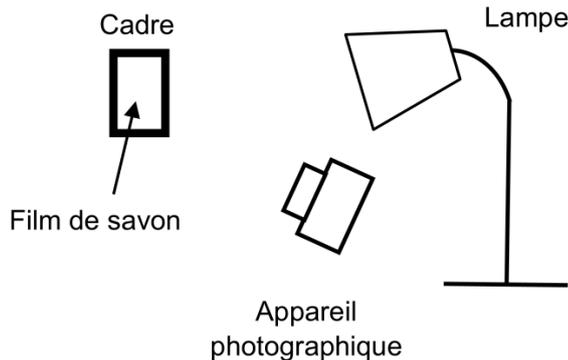


Figure 1. Schéma du montage expérimental

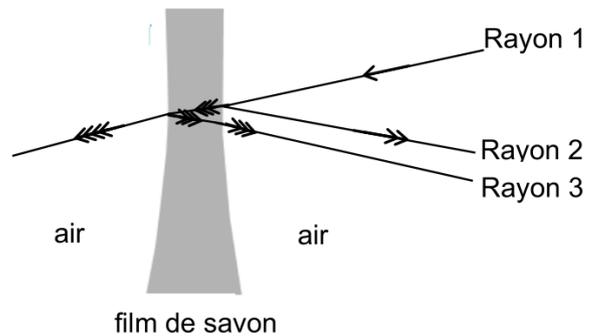


Figure 2. Coupe du film de savon avec la représentation du trajet de la lumière au niveau du film

Données :

- la valeur de la célérité c de la lumière dans le vide et dans l'air est supposée connue du candidat ;
- la valeur de l'indice de réfraction à l'intérieur du film de savon est $n = 1,34$ pour toutes les longueurs d'onde.

1. Le phénomène d'interférences

Le film de savon éclairé en lumière blanche est photographié. L'image est traitée par un logiciel qui permet de sélectionner une couleur correspondant à la longueur d'onde λ dans l'air égale à 600 nm. Le résultat est présenté en figure 3.

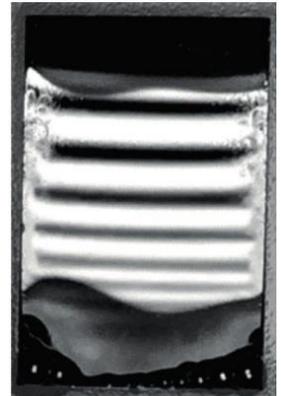


Figure 3. Interférences sur le film de savon

1.1. En utilisant la figure 3, expliquer comment distinguer les zones où les interférences sont constructives de celles où les interférences sont destructives.

1.2. Donner qualitativement la condition d'interférences constructives et celle d'interférences destructives.

1.3. Sur la figure 4, on représente le film de savon dans le cas où la lumière arrive perpendiculairement à sa surface. Au voisinage du point M, on considère que les deux faces du film de savon sont parallèles et que l'épaisseur du film e est égale à 900 nm.

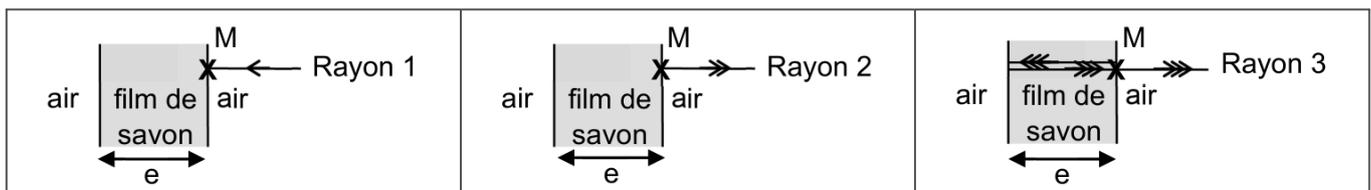


Figure 4. Représentation du trajet des rayons 1, 2 et 3 tels que définis en introduction

Dans les conditions d'éclairage et d'épaisseur de film précédentes, on admet que la différence de chemin optique $\delta(M)$ au point M entre les rayons 3 et 2 a pour expression :

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

Déterminer à l'aide d'un calcul si les interférences au point M sont destructives ou constructives.

2. Comparaison du phénomène d'interférences suivant la longueur d'onde étudiée

La photo de l'expérience est traitée à l'aide d'un logiciel pour réaliser l'étude du phénomène en lumière bleue ($\lambda_{\text{bleu}} = 458 \text{ nm}$) et en lumière rouge-orangée ($\lambda_{\text{rouge}} = 600 \text{ nm}$).

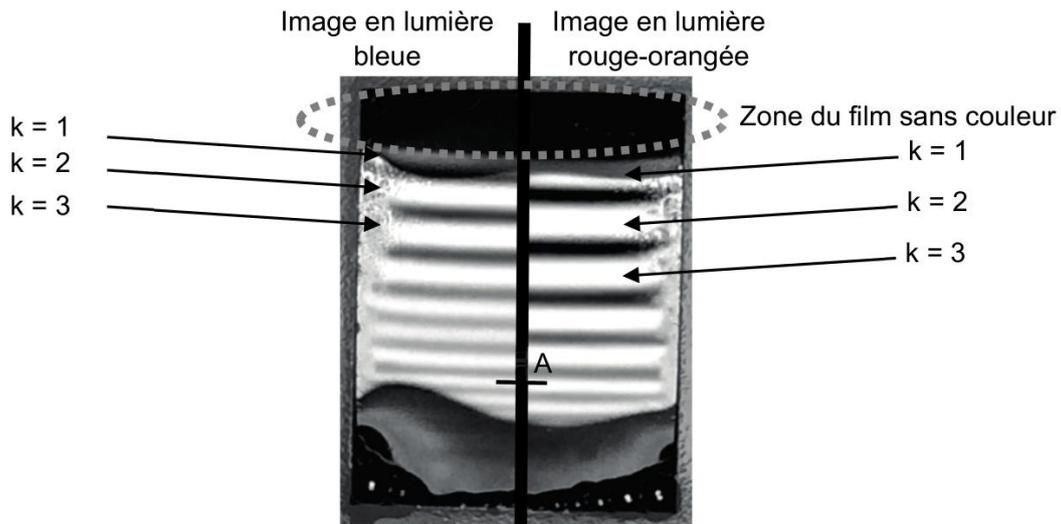


Figure 5. Montage photo des résultats des deux expériences

En raison des phénomènes de réflexion des rayons, les interférences constructives apparaissent pour différentes épaisseurs du film de savon.

2.1. Montrer que les épaisseurs correspondant à des interférences constructives sont données par la relation suivante :

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

avec n l'indice de réfraction du milieu, e_k l'épaisseur du film, k un nombre entier avec $k \geq 0$ et λ la longueur d'onde dans l'air sélectionnée par le traitement de l'image.

2.2. Calculer l'épaisseur minimale pour que des interférences constructives en lumière bleue apparaissent.

2.3. La zone sans couleur de la figure 5 en haut du support correspond à une épaisseur de film très faible. On obtient alors des interférences destructives. On observe qu'au cours du temps la surface de cette zone s'étend vers le bas. Proposer une explication.

2.4. Sur la photo de la figure 5, au niveau du point A, on observe des interférences constructives à la fois en lumière bleue et en lumière rouge-orangée. Déterminer l'épaisseur du film de savon au point A afin de rendre compte de ces observations.

Exercice B : Panneau solaire (10 points)

De nouveaux fabricants développent des solutions solaires portables pour répondre à la demande croissante de recharge de téléphone mobile. Le panneau photovoltaïque (figure 1) en est une illustration. Il s'agit d'un panneau solaire en silicium monocristallin réputé pour son rendement (ou efficacité) élevé, soit 22,4 % annoncé par le constructeur et défini dans des conditions normées d'éclairage.



Figure 1. Panneau photovoltaïque

On se propose de vérifier les performances de ce panneau photovoltaïque.

Par une journée ensoleillée, on réalise l'expérience de charge d'un téléphone mobile (figure 2 et figure 3). On mesure la tension U aux bornes du téléphone mobile et le courant I traversant le circuit : $U = 4,8 \text{ V}$ et $I = 0,84 \text{ A}$.

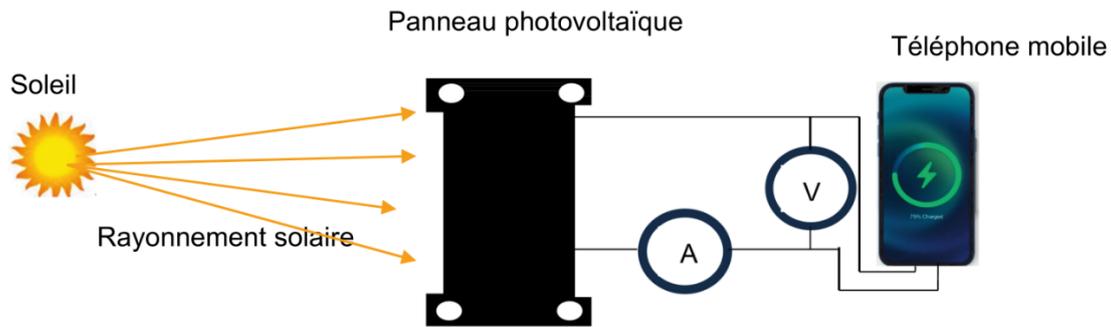


Figure 2. Schéma de l'expérience de charge du téléphone mobile à l'aide du panneau solaire. Un chronomètre permet de suivre l'évolution de la charge de la batterie au cours du temps

ALIMENTATION	
Batterie amovible	Non
Capacité de la batterie	3227 mAh
Recharge sans-fil	Oui

Figure 3. Extrait de la fiche technique du téléphone mobile

Données :

- constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$;
- célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;
- le travail d'extraction nécessaire pour qu'un photon puisse extraire un électron est :

$$\Delta E = h \times f_s = 1,12 \text{ eV}$$

- $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$;

1. Décrire en quelques lignes le phénomène qui intervient dans la conversion d'énergie lumineuse en énergie électrique lors du fonctionnement du panneau photovoltaïque.
2. Calculer la fréquence seuil f_s et la longueur d'onde associée λ_s d'un photon pour extraire un électron.
3. Montrer alors que le rayonnement solaire convient pour le fonctionnement de ce panneau photovoltaïque.

Le tableau ci-dessous indique l'évolution, à intervalle de temps régulier $\Delta t = 2,0 \text{ min}$, du pourcentage de charge de la batterie de 50 % à 60 % dans l'expérience décrite en figure 2 :

Temps	0	Δt	$2 \times \Delta t$	$3 \times \Delta t$	$4 \times \Delta t$	$5 \times \Delta t$
Charge de la batterie	50 %	52 %	54 %	56 %	58 %	60 %

4. Estimer, en explicitant la démarche utilisée, la valeur de la durée nécessaire pour une charge complète à partir d'une batterie totalement déchargée.

La relation entre la charge électrique transférée Q et la durée du transfert Δt_{charge} , pour une intensité électrique I , est donnée par la relation : $Q = I \times \Delta t_{\text{charge}}$.

5. Comparer le résultat avec les données de la fiche technique du téléphone mobile (figure 3). Commenter.

Durant l'expérience, le flux lumineux Φ mesuré avec un solarimètre est de $570 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

6. Déterminer la valeur de $P_{\text{reçue}}$, la puissance lumineuse reçue par le panneau.
7. À l'aide des mesures réalisées durant l'expérience (figure 2), déterminer la valeur de P_{utile} , la puissance utile fournie par le panneau.
8. En déduire η , le rendement du panneau photovoltaïque. Comparer avec l'indication donnée par le fabricant et commenter.