

Exercice 4 : Camouflage optique du papillon (Antilles 2018 exo 1)

L'iridescence est la propriété de certaines surfaces qui semblent changer de couleur selon l'angle de vue et d'éclairage. Elle est bien visible sur les ailes de mouches, de libellules et certains papillons. Ce phénomène provient d'une couche mince recouvrant ces ailes et produisant des couleurs interférentielles. Dans le cas des papillons, les ailes contiennent des écailles de fond et des écailles de recouvrement, disposées à la manière des tuiles d'un toit. La structure de ces écailles et les pigments qu'elles contiennent jouent un rôle dans la couleur observée. (...)

D'après un site internet (cnrs.fr)

Le phénomène qui permet à ces papillons de se protéger des prédateurs est modélisé de façon simplifiée. Dans ce modèle élémentaire, schématisé sur la figure 4, on considère que :

- les écailles de l'aile de papillon sont assimilables à des couches minces à face parallèles d'épaisseur constante e ;
- les ondes issues des chemins ① et ② interfèrent au niveau de la rétine de l'observateur ;
- l'aile du papillon est éclairée par de la lumière.

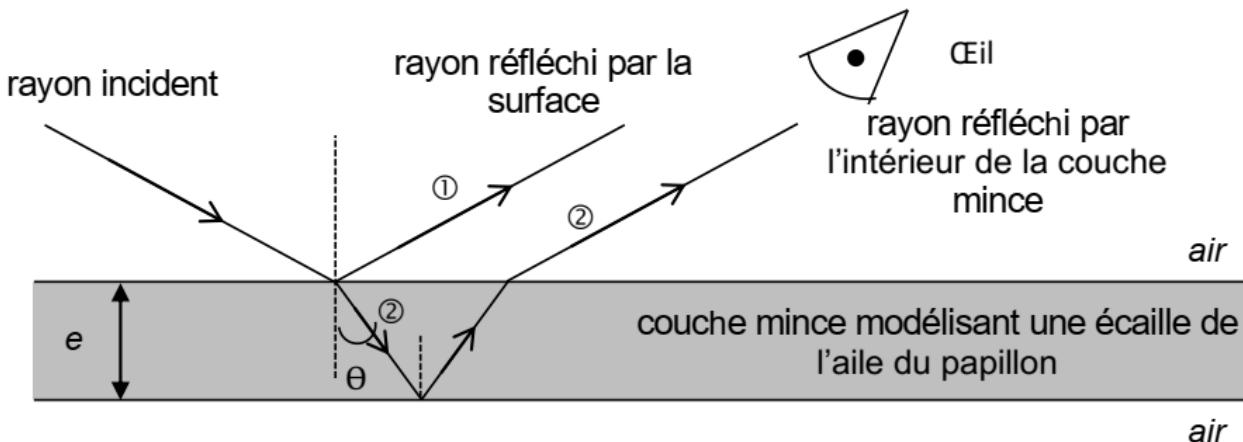


Schéma du trajet d'un rayon lumineux arrivant sur une écaille de l'aile de papillon.

Données :

- la vitesse de la lumière dans l'air est notée c et sa valeur est supposée connue.
- épaisseur des couches minces modélisant les écailles de l'aile du papillon : $e = 100 \text{ nm}$;
- indice optique des couches minces principalement composée de chitine : $n = 1,5$; on admet que cet indice ne dépend pas de la longueur d'onde.
- une onde lumineuse monochromatique est caractérisée par une période temporelle T et une longueur d'onde λ ;
- domaines de longueurs d'ondes de la lumière visible :

Couleur	Violet	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Domaine de longueurs d'ondes (nm)	380-446	446-520	520-565	565-590	590-625	625-780

On note τ le retard de l'onde lumineuse qui a suivi le trajet ② par rapport à l'onde qui a suivi le trajet ①.

- 1- Pour une onde lumineuse monochromatique de période temporelle T , justifier qu'il y a des interférences constructives pour $\tau = k \times T$ et interférences destructives pour $\tau = (k + \frac{1}{2}) \times T$ où k est un nombre entier.

Lorsque la lumière blanche arrive perpendiculairement à la surface de l'aile, le retard τ peut s'écrire :

$$\tau = \frac{2.n.e}{c} + \frac{T}{2}$$

- 2 - Quelles ondes monochromatiques peuvent conduire à des interférences constructives ?

3 - En déduire la couleur qui sera principalement perçue par l'observateur.

Lorsque la lumière blanche n'arrive pas perpendiculairement à la surface de l'aile, le retard a pour expression :

$$\tau = \frac{2.n.e.\cos(\theta)}{c} + \frac{T}{2}$$

4- Expliquer pourquoi la couleur de l'aile du papillon perçue par l'observateur sera différente s'il la regarde sous un autre angle.