

Interférences.**p : 82 n°30. Couleurs interférentielles des colibris.****Compétences : Raisonner ; argumenter.**

Les couleurs des animaux sont pour la plupart dues à des pigments. Mais, chez certains insectes et certains oiseaux, la production de couleurs provient d'interférences lumineuses. C'est le cas du plumage des colibris. Leurs plumes sont constituées d'un empilement de petites lames transparentes qui réfléchissent la lumière. Pour comprendre le phénomène, une lame de plume sera modélisée par un parallélogramme transparent d'épaisseur e , d'indice de réfraction n , placé dans l'air.

Le schéma ci-dessous représente cette lame en coupe.

Les deux rayons réfléchis par la lame à faces parallèles se superposent sur la rétine de l'observateur et y interfèrent.

Pour un angle de réfraction r donné, la différence de marche notée δ des rayons dépend de l'épaisseur e de la lame et de son indice de réfraction n . Elle est donnée par :

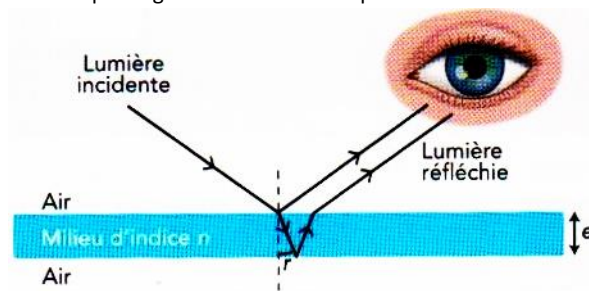
$$\delta = 2 \cdot n \cdot e \cdot \cos r + \frac{\lambda}{2}$$

Cet indice n dépend de la longueur d'onde de la radiation.

Parmi toutes les radiations de la lumière solaire, on s'intéresse à celles de longueur d'onde $\lambda_R = 750$ nm (rouge) et $\lambda_V = 380$ nm (violet).

On prendra $e = 0,15$ μ m.

1. Quelle condition doit vérifier la différence de marche pour que les interférences soient constructives? destructives ?
2. Pour un angle de réfraction $r = 20^\circ$, vérifier par le calcul que les interférences des deux rayons sont constructives pour le rouge ($n_R = 1,33$) et destructives pour le violet ($n_V = 1,34$).
3. La couleur observée correspond à une longueur d'onde pour laquelle les interférences sont constructives. Pour quel angle de réfraction r observe-t-on une coloration violette ?
4. La couleur observée dépend-elle de l'angle d'incidence ? Justifier la réponse.
En déduire une méthode expérimentale pour distinguer la nature d'une couleur, pigmentaire ou interférentielle.

**Réponses :**

1. • Les interférences sont constructives lorsque en un point M (sur la rétine) si la différence de marche est un nombre entier de longueur d'onde : $\delta = k \cdot \lambda$ avec k : entier relatif.

• Les interférences sont destructives lorsque la différence de marche est égal à un nombre entier de longueur d'onde additionnée d'une demi-longueur d'onde : $\delta = (k + \frac{1}{2}) \lambda$ avec k : entier relatif.

2. Pour vérifier s'il s'agit d'interférences constructives ou destructives, il faut calculer les différences de marche pour chaque radiation rouge et violette et la comparer à la longueur d'onde de chacune d'elle.

• **Pour la radiation rouge** : $\delta_R = 2 \cdot n_R \cdot e \cdot \cos r + \frac{\lambda_R}{2}$ A.N. : $\delta_R = 2 \times 1,33 \times 0,15 \times 10^{-6} \times \cos 20^\circ + \frac{750 \times 10^{-9}}{2} = 7,5 \times 10^{-7}$ m.

On a $\lambda_R = 750$ nm (rouge). Calculons le rapport δ_R / λ_R . On trouve $\frac{\delta_R}{\lambda_R} = 1$. La relation est du type $\delta_R = k \cdot \lambda$ avec $k = 1$.

Il s'agit donc d'interférences constructives.

• **Pour la radiation violette** : $\delta_V = 2 \cdot n_V \cdot e \cdot \cos r + \frac{\lambda_V}{2}$ A.N. : $\delta_V = 2 \times 1,34 \times 0,15 \times 10^{-6} \times \cos 20^\circ + \frac{380 \times 10^{-9}}{2} = 5,7 \times 10^{-7}$ m.

On a $\lambda_V = 380$ nm (violet). Calculons le rapport δ_V / λ_V . On trouve $\frac{\delta_V}{\lambda_V} = \frac{5,7 \times 10^{-7}}{380 \times 10^{-9}} = 1,5$. La relation est du type $\delta_V = (k + \frac{1}{2}) \lambda$ avec k avec $k = 1$. Il s'agit donc d'interférences destructives.

3. **Coloration violette. Interférences constructives. Détermination de l'angle de réfraction r :**

On cherche l'angle r pour lequel : $\delta_V = 2 \cdot n_V \cdot e \cdot \cos r + \frac{\lambda_V}{2} = k \cdot \lambda_V$

On tire $\cos r$: $2 \cdot n_V \cdot e \cdot \cos r = k \cdot \lambda_V - \frac{\lambda_V}{2}$ soit $2 \cdot n_V \cdot e \cdot \cos r = \lambda_V (k - \frac{1}{2})$

soit $\cos r = \frac{\lambda_V (k - \frac{1}{2})}{2 \cdot n_V \cdot e}$ Si $k = 1$, $\cos r = \frac{380 \times 10^{-9} \times 0,5}{2 \times 1,34 \times 0,15 \times 10^{-6}} =$

$\cos r = 0,473$ soit $r \approx 62^\circ$

Remarque : pour $k = 2$, on $\cos r > 1$ ce qui est impossible.

4. **Loi de Descartes** : $n_{\text{air}} \cdot \sin i_1 = n \cdot \sin r$

Lorsque l'angle d'incidence augmente, d'après la loi de Descartes, l'angle de réfraction augmente, donc la différence de marche change et la longueur d'onde pour laquelle les interférences sont constructives aussi.

La couleur observée change donc quand l'angle d'incidence est modifié.

Une couleur interférentielle change lorsque l'on change l'angle d'observation (angle d'incidence).

Une couleur pigmentaire est toujours identique quel que soit l'angle d'observation.

