# La couleur des scarabées

Bac 2025 Métropole Septembre Jour 2 · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

**Q1** Rappeler la condition d'obtention d'interférences constructives entre deux ondes issues d'une même source monochromatique, en fonction de $\delta$ et $\lambda$.

Les interférences sont constructives si la différence de chemin optique est un multiple entier de la longueur d'onde : les deux ondes arrivent alors en phase.

$\delta = k\,\lambda$, avec $k$ entier relatif.

**PIÈGE**
Confondre avec la condition d'interférences destructives, $\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda$. Préciser que $k$ est un entier fait partie de la réponse.

**Q2** Montrer que les épaisseurs donnant des interférences constructives vérifient $e = \left(k + \frac{1}{2}\right) \times \frac{\lambda}{2\,n_{\text{fort}}}$, avec $k$ entier positif ou nul.

**Données utiles** $\delta = 2\,n_{\text{fort}}\,e - \frac{\lambda}{2}$ ; condition $\delta = k\,\lambda$ (Q1)

Interférences constructives : $\delta = k\,\lambda$, donc

$$2\,n_{\text{fort}}\,e - \frac{\lambda}{2} = k\,\lambda$$

$$2\,n_{\text{fort}}\,e = k\,\lambda + \frac{\lambda}{2} = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

L'épaisseur $e$ est positive, ce qui impose $k \geqslant 0$.

$e = \left(k + \frac{1}{2}\right) \times \frac{\lambda}{2\,n_{\text{fort}}}$ : c'est la relation attendue.

**COMPRENDRE**
Le terme $-\frac{\lambda}{2}$ explique le « $+\frac{1}{2}$ » : sans lui, on obtiendrait $e = k\,\frac{\lambda}{2\,n_{\text{fort}}}$ et l'ordre $k = 0$ donnerait une épaisseur nulle.

**Q3** Déterminer l'épaisseur des couches d'un scarabée pour lequel $\lambda = 530$ nm correspond à des interférences constructives. Préciser sa couleur apparente.

**Données utiles** $k = 0$ ; $\lambda = 530$ nm ; $n_{\text{fort}} = 1{,}7$

Pour $k = 0$ : $e = \frac{1}{2} \times \frac{\lambda}{2\,n_{\text{fort}}} = \frac{\lambda}{4\,n_{\text{fort}}}$

$$e = \frac{530}{4 \times 1{,}7} = 78 \text{ nm}$$

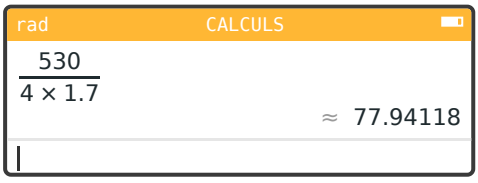
La radiation renforcée dans la lumière réfléchie a pour longueur d'onde 530 nm, ce qui correspond au vert dans le tableau.

$e = 78$ nm ; le scarabée apparaît **vert**.

**PIÈGE**
Oublier le facteur $\frac{1}{2}$ de l'ordre $k = 0$ et calculer $\frac{\lambda}{2\,n_{\text{fort}}} = 156$ nm, soit le double.

**COMPRENDRE**
Deux chiffres significatifs, comme $n_{\text{fort}} = 1{,}7$, la donnée la moins précise. En laissant $\lambda$ en nanomètres, $e$ sort directement en nanomètres.

**À LA CALCULATRICE**



**Q4** À partir de la figure 3, déterminer l'épaisseur moyenne $e$ d'une couche, en explicitant la méthode qui donne la meilleure précision.

**Données utiles** la barre d'échelle représente 1 µm ; règle graduée en cm sur la figure

Mesurer une seule couche (environ 2 mm sur la figure) serait trop imprécis : on mesure la distance $d$ occupée par un grand nombre de couches, puis on divise par ce nombre.

Sur la figure 3, lue avec la règle :

- la distance $d$ couvre 9 couches (5 noires et 4 claires) : $d = 1{,}9$ cm ;
- la barre d'échelle mesure $2{,}6$ cm pour 1 µm.

Une couche occupe donc $\frac{d}{9}$ sur la figure, et par proportionnalité :

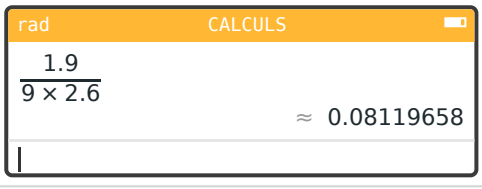
$$e = \frac{1{,}9}{9 \times 2{,}6} \times 1\ \mu\text{m} = 0{,}081\ \mu\text{m}$$

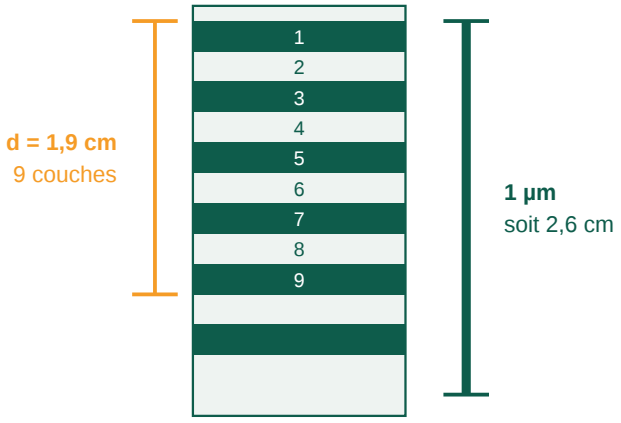
$e = 81$ nm, valeur proche des 78 nm de la question Q3.

**PIÈGE**
Compter seulement les bandes noires : une couche claire est aussi une couche d'épaisseur $e$ . Entre les deux traits qui délimitent $d$, il y a bien 9 couches.

**MÉTHODE**
Pour mesurer une petite grandeur répétée (couche, interfrange, période), mesurer $N$ motifs d'un coup : l'erreur de lecture, toujours de l'ordre du millimètre, est divisée par $N$.

**À LA CALCULATRICE**




**Q4** · Principe de la mesure sur la figure 3 : 9 couches dans la distance d

**Q5** Indiquer une source d'incertitude possible dans la mesure de l'épaisseur $e$ faite à la question Q4.

Les distances sont lues sur une règle graduée au millimètre : pour $d \approx 1{,}9$ cm, une erreur de lecture de 1 mm représente déjà environ 5 %.

Source d'incertitude : la lecture des longueurs sur la règle, graduée seulement au millimètre.

**COMPRENDRE**
D'autres réponses sont recevables : limites floues entre couches noires et claires, couches ondulées et d'épaisseurs inégales, longueur de la barre d'échelle elle-même lue au millimètre près.

**Q6** Recopier la ligne 8 du programme et la compléter avec des valeurs appropriées, exprimées en cm.

**Données utiles** $d = 1{,}9$ cm (Q4) ; ligne 7 : `echelle = rd.uniform(2.6, 2.7, Nsim)`

La distance $d$ a été lue à $1{,}9$ cm sur une règle graduée au millimètre : la vraie valeur se situe à une graduation près, entre $1{,}8$ cm et $2{,}0$ cm. Ce sont les bornes de l'intervalle dans lequel le programme tire les valeurs de $d$.

```
d_mes = rd.uniform(1.8, 2.0, Nsim)
```

**PIÈGE**
Écrire les bornes avec une virgule ou en millimètres. En Python le séparateur décimal est le point, et le commentaire de la ligne 8 impose des centimètres.

**COMPRENDRE**
La valeur moyenne affichée (75,5 nm) correspond en fait à un tirage entre 1.7 et 1.9, c'est-à-dire à une lecture $d = 1{,}8$ cm. Les deux réponses conviennent si elles encadrent, à 1 mm près, la mesure faite en Q4.

**Q7** Justifier la présence du nombre 1 000 dans l'expression de la ligne 11 du programme.

**Données utiles** ligne 11 : `e = d_mes*1000/(9*echelle)`

Le quotient `d_mes/(9*echelle)` est le calcul de la question Q4 : les deux longueurs sont en centimètres et la barre d'échelle représente 1 µm, donc ce quotient donne $e$ en micromètres.

Le programme doit fournir $e$ en nanomètres. Or $1\ \mu\text{m} = 10^{-6}\ \text{m}$ et $1\ \text{nm} = 10^{-9}\ \text{m}$.

$1\ \mu\text{m} = 1\,000\ \text{nm}$ : le facteur 1 000 convertit l'épaisseur des micromètres en nanomètres.

**Q8** Écrire le résultat de la mesure de $e_{\text{moyen}}$ avec un seul chiffre significatif pour l'incertitude-type, puis discuter la compatibilité avec la réponse à la question Q3 prise comme référence.

**Données utiles** $u(e) = 2{,}557\ldots$ nm ; $e_{\text{moyen}} = 75{,}487\ldots$ nm ; $e_{\text{ref}} = 78$ nm (Q3)

Avec un seul chiffre significatif : $u(e) = 3$ nm. L'incertitude-type porte sur le chiffre des unités, on arrondit donc la valeur moyenne au nanomètre : $e_{\text{moyen}} = 75$ nm.

$$e_{\text{moyen}} = 75\ \text{nm} \quad ; \quad u(e) = 3\ \text{nm}$$

Comparaison à la valeur de référence :

$$\frac{|e_{\text{moyen}} - e_{\text{ref}}|}{u(e)} = \frac{|75 - 78|}{3} = 1$$

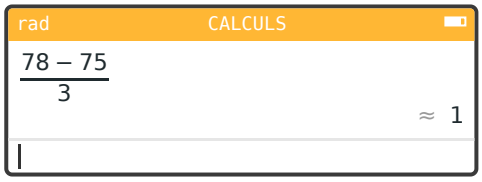
L'écart entre les deux valeurs vaut une seule incertitude-type, ce qui est inférieur à 2.

$e_{\text{moyen}} = (75 \pm 3)$ nm ; quotient égal à 1 : la mesure est **compatible** avec la valeur de 78 nm.

**PIÈGE**
Recopier tous les chiffres affichés par Python (75,48793757 nm). Les chiffres situés au-delà du rang de l'incertitude n'ont aucun sens.

**MÉTHODE**
Écriture d'un résultat : arrondir d'abord l'incertitude-type, puis arrondir la valeur au même rang décimal. Un quotient inférieur à 2 est le critère usuel de compatibilité.

**À LA CALCULATRICE**



**Q9** Estimer la longueur d'onde qui correspond à des interférences constructives dans la zone 2, puis proposer une hypothèse pour la couleur perçue de cette zone.

**Données utiles** figure 5 ; $n_{\text{fort}} = 1{,}7$ ; $k = 0$ ; $e = \dfrac{\lambda}{4\,n_{\text{fort}}}$ (Q3)

**Épaisseur d'une couche de la zone 2.** Même méthode qu'à la question Q4, sur la photo de la zone 2 de la figure 5, avec une règle :

- 8 couches consécutives (4 noires et 4 claires) occupent $d_2 = 1{,}7$ cm ;
- la barre d'échelle mesure $1{,}8$ cm pour 1 µm.

$$e_2 = \frac{1{,}7}{8 \times 1{,}8} \times 1\ \mu\text{m} = 0{,}118\ \mu\text{m} = 118\ \text{nm}$$

Les couches de la zone 2 sont nettement plus épaisses que celles de la zone 1 (environ 80 nm).

**Longueur d'onde renforcée.** Pour $k = 0$, $e = \dfrac{\lambda}{4\,n_{\text{fort}}}$, donc $\lambda = 4\,n_{\text{fort}}\,e$ :

$$\lambda_2 = 4 \times 1{,}7 \times 118 = 8{,}0 \times 10^2\ \text{nm}$$

**Couleur.** Cette valeur est proche de la plus grande longueur d'onde du tableau (750 nm, rouge), à la limite du domaine visible. Compte tenu de l'imprécision de la mesure (1 mm sur $d_2$ change $\lambda_2$ d'environ 50 nm), les radiations renforcées se situent à l'extrémité rouge du spectre.

$\lambda_2 \approx 8 \times 10^2$ nm : la zone 2 est probablement perçue **rouge**.

**PIÈGE**
Rendre un calcul sans démarche. Ici les points portent sur les étapes : mesures annoncées, échelle, épaisseur, relation avec $k = 0$, puis lien avec le tableau des couleurs.

**COMPRENDRE**
L'épaisseur et la longueur d'onde renforcée sont proportionnelles : des couches environ 1,5 fois plus épaisses que dans la zone verte donnent $\lambda \approx 1{,}5 \times 530 \approx 800$ nm. Ce contrôle rapide confirme l'ordre de grandeur.

**À LA CALCULATRICE**

