Exercice 1 : La couleur des étoiles

5 points

1) **a.** Chaque courbe donne l'intensité lumineuse (relative) de chacune des radiations émises par l'étoile en fonction de leur longueur d'onde λ : c'est le **profil spectral** de la lumière émise. Le spectre est continu (toutes les longueurs d'onde sont présentes) et d'origine thermique.

b. Plus un corps chaud a une température élevée, plus la radiation qu'il émet avec le maximum d'intensité a une **courte longueur d'onde** : son spectre s'enrichit en radiations bleues et violettes.

- L'étoile 1 a son maximum au milieu du visible (vers le vert-jaune) et émet avec des intensités voisines dans tout le domaine visible : sa lumière est **blanche** (légèrement jaunâtre).
- L'étoile 2 émet beaucoup plus de rouge que de bleu, son maximum est dans le rouge, vers la limite du visible : sa lumière est **orangée-rouge**.

Le maximum de l'étoile 1 est à une longueur d'onde plus courte : **le spectre 1 (étoile 1) correspond à la surface la plus chaude**.

2) **a.** On repère l'abscisse du sommet de chaque courbe (graphique A annoté ci-dessous) :

$$\boxed{\lambda_1 \approx 550\,\text{nm}} \qquad \boxed{\lambda_2 \approx 730\,\text{nm}}$$

Tolérance : $\pm\,20\,\text{nm}$ *pour l'étoile 1;* $\pm\,30\,\text{nm}$ *pour l'étoile 2, dont le sommet est très aplati.*

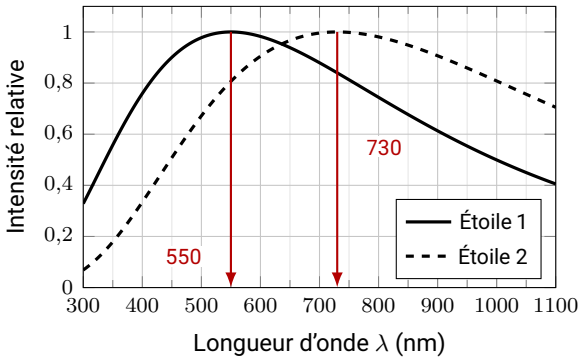
b. On reporte ces longueurs d'onde sur l'axe horizontal du graphique B et on lit la température correspondante sur la courbe :

$$\boxed{T_1 \approx 5\,000\,^\circ\text{C}} \qquad \boxed{T_2 \approx 3\,700\,^\circ\text{C}}$$

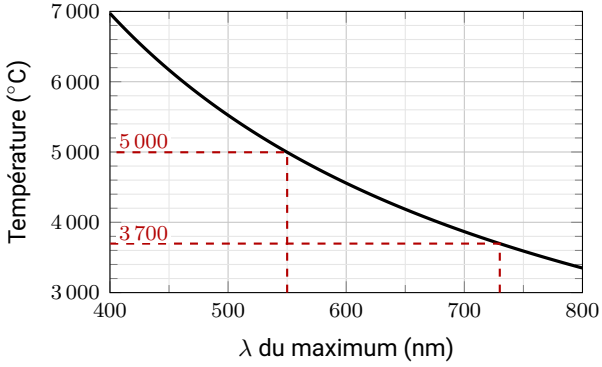
Tolérance : $\pm\,200\,^\circ\text{C}$ *(lectures entre* $4\,800\,^\circ\text{C}$ *et* $5\,200\,^\circ\text{C}$*, puis entre* $3\,500\,^\circ\text{C}$ *et* $3\,900\,^\circ\text{C}$*).*

On trouve $T_1 > T_2$: la surface de l'étoile 1 est bien la plus chaude, **ce qui est en accord avec la réponse à la question 1) b.**

A (annoté)



B (annoté)



Exercice 2 : La distance Terre-Lune

4,5 points

1) La lumière fait un aller (station $\rightarrow$ miroir) puis un retour (miroir $\rightarrow$ station) : elle parcourt la distance $D = 2d$.



2) **a.** La lumière se propage à la vitesse c : la distance parcourue pendant la durée Δt est $D = c \times \Delta t$. Comme $D = 2d$ (aller-retour) :

$$2d = c \times \Delta t \qquad \text{donc} \qquad \boxed{d = \frac{c \times \Delta t}{2}}$$

b. Application numérique :

$$d = \frac{299\,792\,458\ \text{m·s}^{-1} \times 2{,}512\,384\,620\,6\ \text{s}}{2} = \boxed{376\,596\,980{,}43\ \text{m}}$$

soit environ $3{,}766 \times 10^{8}\ \text{m}$, ou $376\,597\ \text{km}$. On garde deux décimales (le centimètre) : c'est l'ordre de grandeur de la précision trouvée à la question 2) d.

c. En $\tau = 2 \times 10^{-10}\ \text{s}$, la lumière parcourt :

$\ell = c \times \tau = 299\,792\,458\ \text{m·s}^{-1} \times 2 \times 10^{-10}\ \text{s} = 5{,}99 \times 10^{-2}\ \text{m} \approx \boxed{6 \times 10^{-2}\ \text{m}}$ soit environ $6\ \text{cm}$.

d. Une erreur de $2 \times 10^{-10}\ \text{s}$ sur la durée de l'aller-retour correspond à une erreur d'environ $6\ \text{cm}$ sur la distance aller-retour $2d$, donc à la **moitié** sur d :

$$\text{précision sur } d = \frac{\ell}{2} = \frac{6 \times 10^{-2}\ \text{m}}{2} = \boxed{3 \times 10^{-2}\ \text{m}} \text{ soit } 3\ \text{cm}.$$

La distance est donc connue à environ $3\ \text{cm}$ près : $d = 376\,596\,980{,}43\ \text{m}$ à $\pm\,0{,}03\ \text{m}$, une précision remarquable pour près de $400\,000\ \text{km}$.

Exercice 3 : L'indice de réfraction d'un verre

3,5 points

1) Les angles se mesurent **par rapport à la normale** (droite en pointillés, graduée $0°$). On compte les graduations de $5°$:

$$\boxed{i_1 = 40°} \qquad \boxed{i_2 = 25°}$$

2) Loi de Snell-Descartes pour la réfraction, avec le milieu 1 = air ($n_1 = n_{\text{air}} = 1{,}00$) et le milieu 2 =

verre ($n_2 = n_v$) :

$$n_{air} \times \sin i_1 = n_v \times \sin i_2 \qquad \text{donc} \qquad n_v = \frac{n_{air} \times \sin i_1}{\sin i_2}$$

$$n_v = \frac{1{,}00 \times \sin 40^\circ}{\sin 25^\circ} = \frac{0{,}643}{0{,}423} \approx \boxed{1{,}52}$$

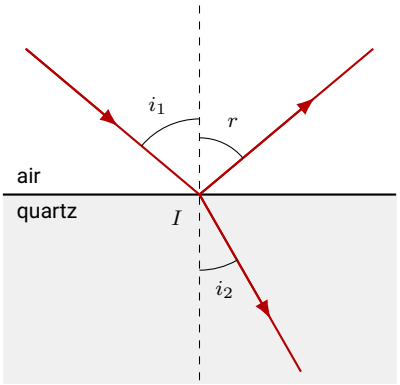
(un indice n'a pas d'unité ; valeur usuelle pour un verre crown).

3) D'après la **loi de Snell-Descartes pour la réflexion**, l'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence : le rayon réfléchi fait avec la normale un angle $\boxed{r = i_1 = 40^\circ}$; il est dans le plan d'incidence, de l'autre côté de la normale, dans l'air.

Exercice 4 : Un cristal de quartz

3 points

1) Schéma complété ci-contre : la lumière va vers le point d'incidence I sur le rayon incident, puis s'en éloigne sur le rayon réfléchi et sur le rayon réfracté. Les trois angles sont mesurés entre chaque rayon et la normale : incidence i_1, réflexion r, réfraction i_2.



2) **Loi de la réflexion** : $r = i_1$, donc $\boxed{r = 50^\circ}$.
Loi de Snell-Descartes pour la réfraction :

$$n_{air} \times \sin i_1 = n \times \sin i_2 \quad \text{donc} \quad \sin i_2 = \frac{n_{air} \times \sin i_1}{n}$$

$$\sin i_2 = \frac{1{,}00 \times \sin 50^\circ}{1{,}54} = 0{,}497$$

On obtient l'angle avec la touche $\sin^{-1}$ (ou arcsin) de la calculatrice :

$$i_2 = \sin^{-1}(0{,}497) \approx \boxed{29{,}8^\circ}$$

Le rayon réfracté se rapproche de la normale ($i_2 < i_1$) car le quartz est plus réfringent que l'air.

Exercice 5 : On se disperse

4 points

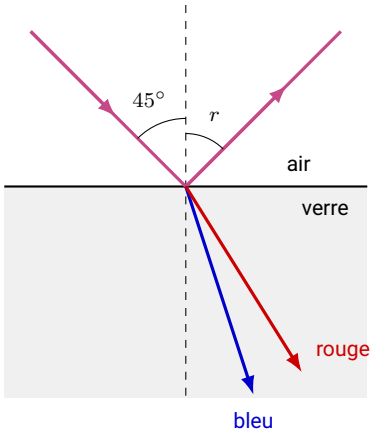
1) L'angle d'incidence est l'angle entre le rayon incident et la normale : $\boxed{i_1 = 45^\circ}$.

2) **Loi de la réflexion** : $r = i_1$, donc $\boxed{r = 45^\circ}$ (le rayon réfléchi reste magenta : les deux couleurs se réfléchissent de la même façon).

Loi de Snell-Descartes pour la réfraction : $n_{\text{air}} \times \sin i_1 = n_2 \times \sin i_2$, donc $\sin i_2 = \dfrac{n_{\text{air}} \times \sin i_1}{n_2}$.
L'indice de l'air est le même pour les deux couleurs, mais celui du verre dépend de la longueur d'onde :

- lumière bleue ($n_2 = 1{,}66$) : $\sin i_{2,\text{bleu}} = \dfrac{1{,}00 \times \sin 45^\circ}{1{,}66} = 0{,}426$, d'où $\boxed{i_{2,\text{bleu}} \approx 25{,}2^\circ}$;
- lumière rouge ($n_2 = 1{,}62$) : $\sin i_{2,\text{rouge}} = \dfrac{1{,}00 \times \sin 45^\circ}{1{,}62} = 0{,}436$, d'où $\boxed{i_{2,\text{rouge}} \approx 25{,}9^\circ}$.

3) Schéma complété ci-contre. Le rayon réfléchi est symétrique du rayon incident par rapport à la normale. Le rayon **bleu**, d'angle de réfraction plus petit, est **plus proche de la normale** que le rayon rouge : il est plus dévié. *(L'écart entre les deux rayons réfractés est exagéré sur le schéma : il ne vaut que $0{,}7^\circ$.)*



4) Les deux lumières arrivent sous la même incidence, mais leurs angles de réfraction sont différents ($25{,}2^\circ \neq 25{,}9^\circ$) : l'angle de réfraction dépend de la couleur. D'après la définition de l'énoncé, **le verre est un milieu dispersif**. C'est ce phénomène qui décompose la lumière blanche dans un prisme.