

## ? À rendre le jeudi 11 septembre 2025 Devoir Maison n°1 : Halo solaire

### 💡 Comment chercher un D.M. ?

- Commencer à chercher le DM, dès le soir de la distribution de l'énoncé.
- Suivre la fiche « Boîte à outils DM& DS », et notamment la check-liste de la présentation/rédaction.
- Avec le chapitre et les exercices ouverts sous les yeux.
- Chercher en groupe.
- En cas de blocage, poser des questions, à la fin d'un cours ou par mail : [nvalade.pcsi@gmail.com](mailto:nvalade.pcsi@gmail.com)
- La réponse à un problème de physique doit contenir :
  - des schémas grands, clairs et complets ;
  - des phrases qui expliquent votre raisonnement ;
  - les calculs littéraux, avec uniquement les grandeurs littérales définies par l'énoncé (ou par vous-même si elles ne le sont pas par l'énoncé) ;
  - les applications numériques avec un nombre adapté de chiffres significatifs et une unité.

#### Après avoir récupéré votre copie et le corrigé :

- Reprendre votre copie avec le corrigé afin de comprendre vos erreurs, lire les conseils donnés, ...
- Refaire le DM (si besoin) avant le DS suivant.

### Données

- Indice optique de l'air :  $n_a = 1,00$
- Indice optique de la glace :  $n_g = 1,31$

## I La réfraction de la lumière

On étudie la situation, représentée sur la figure 1 suivante, de la réfraction et de la réflexion de la lumière.

Un rayon lumineux incident arrive sur un dioptre qui sépare deux milieux d'indices optiques  $n_1$  et  $n_2$ . On note  $\theta_1$  l'angle d'incidence du rayon incident,  $\theta'_1$  l'angle que le rayon réfléchi fait avec la normale au dioptre, et  $\theta_2$  l'angle que le rayon réfracté fait avec cette même normale.

Les angles considérés sont algébriques ; le sens positif, qui correspond au sens trigonométrique, est défini sur la figure 1 avec le symbole  $\oplus$ .

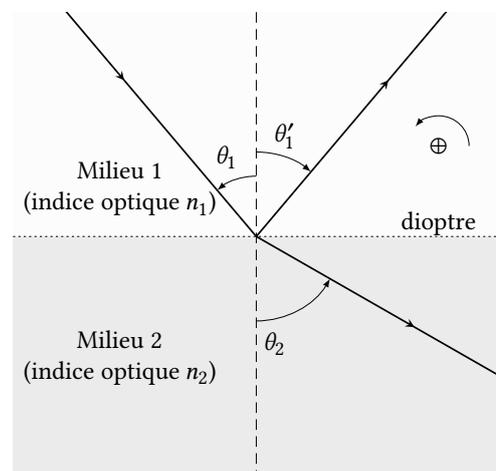


FIGURE 1 – Réflexion et réfraction de la lumière par un dioptre ( $n_2 < n_1$ ).

Q1. Rappeler les lois de la réflexion et de la réfraction de Snell-Descartes.

- Q2. Montrer que, dans le cas où  $n_2 < n_1$ , si  $\theta_1$  est supérieur à une valeur  $\theta_\ell$ , l'énergie véhiculée par le rayon incident est totalement réfléchi par le dioptre. Nommer cette situation.  
Exprimer  $\theta_\ell$  en fonction de  $n_1$  et  $n_2$ .
- Q3. Dans le cas d'un dioptre séparant la glace (milieu 1) de l'air (milieu 2), calculer la valeur de  $\theta_\ell$  en degrés.

## II Le halo solaire

Le halo solaire, ou anthélie, est un phénomène optique atmosphérique qui ressemble à un arc-en-ciel circulaire (voir figure 2 à gauche). Il apparaît sous la forme d'un cercle coloré dont le soleil occupe le centre. L'objectif de cette sous-partie est la détermination du rayon angulaire du halo (qui représente l'angle au sommet du cône représenté sur la figure 2 à droite).

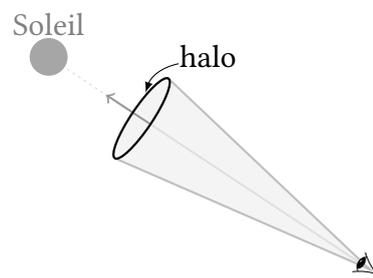


FIGURE 2 – Halo solaire. À gauche, photographie d'un halo solaire. À droite, géométrie du halo solaire : le halo apparaît sous la forme d'un cercle lumineux intense centré sur l'axe qui relie l'œil de l'observateur au Soleil

Le halo est dû à la réfraction de la lumière issue du soleil par de petits cristaux de glace en forme de bâtonnets. Les plus petits de ces cristaux (dont la taille peut être inférieure à  $20 \mu\text{m}$ ) ont un mouvement erratique provoqué par le choc des molécules qui constituent l'air ; ils ont donc toutes les orientations possibles dans l'espace. Puisqu'on ne s'intéresse qu'à la déviation des rayons lumineux, on peut modéliser la réfraction de la lumière issue du soleil par l'ensemble de ces cristaux par la réfraction de la lumière par un seul cristal en considérant un angle d'incidence variable.

La figure 3 donne la représentation de la section droite d'un cristal de glace. Cette section présente la géométrie d'un hexagone régulier ( $ABCDEF$ ).

Un rayon lumineux incident, contenu dans le plan de cette section, atteint la face ( $AF$ ) avec un angle d'incidence variable  $i$ . On étudie la déviation de ce rayon lumineux par le cristal.

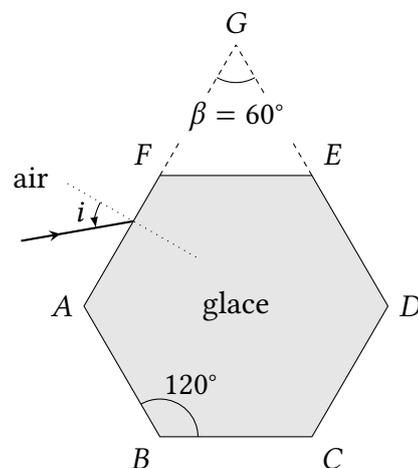


FIGURE 3 – Représentation de la section droite d'un cristal de glace et d'un rayon lumineux incident sur la face ( $AF$ ) du cristal.

- Q4. Justifier que le rayon lumineux qui émerge du cristal ne peut pas sortir par la face ( $EF$ ) \*.

\*. Comprendre la question « entre les lignes » : on vous demande de montrer qu'un rayon arrivant sur la face ( $EF$ ) est néces-

Q5. Justifier qu'un rayon lumineux qui émerge par la face  $(CD)$  est parallèle au rayon lumineux incident et n'est donc pas dévié par le cristal de glace<sup>†</sup>.

On considère le rayon émergent par la face  $(DE)$ . Les faces  $(AF)$  et  $(DE)$  sont analogues aux faces d'un prisme de sommet  $G$ , d'angle au sommet  $\beta$  égal à  $60^\circ$  et d'indice optique égal à celui de la glace, à savoir  $n_g$  (voir figure 4).

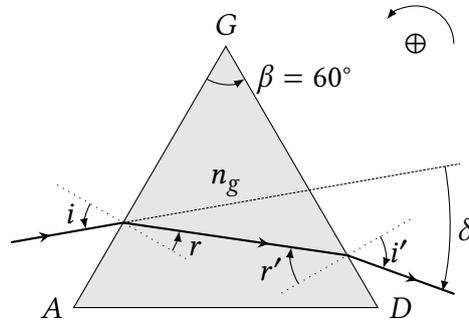


FIGURE 4 – Déviation du rayon lumineux incident par le prisme  $(ADG)$  d'indice optique  $n_g$

Les différents angles sont définis sur la figure 4. On les oriente selon la convention suivante : les angles qui correspondent à une rotation dans le sens trigonométrique sont comptés positivement. Le sens trigonométrique est rappelé par une flèche courbe sur la figure 4, associée au symbole  $\oplus$ .

On note  $\delta$  l'angle qui mesure la déviation du rayon incident après sa traversée du prisme. Les différents angles sur la figure 4 ont les signes suivants :  $i > 0$ ,  $r > 0$ ,  $i' < 0$ ,  $r' < 0$  et  $\delta < 0$ .

Q6. Donner les relations qui lient  $i$ ,  $r$  et  $n_g$  d'une part ;  $i'$ ,  $r'$  et  $n_g$  d'autre part.

 La suite est facultative : conseillée si vous vous sentez plutôt à l'aise.

Q7. Établir que :  $\beta = r - r'$  et que  $\delta = -i + r - r' + i'$ .

Q8. La figure 5 montre les variations de la valeur absolue de la déviation  $|\delta|$  en fonction de l'angle d'incidence. On constate l'existence d'une valeur minimale dont on admet qu'elle est obtenue lorsque  $i = -i'$ . En déduire que dans cette configuration :  $r = \beta/2$  et  $\sin i = n_g \sin(\beta/2)$

Q9. La figure 5 montre que la valeur minimale de  $|\delta|$  est approximativement égale à  $22^\circ$ . Retrouver ce résultat par le calcul.

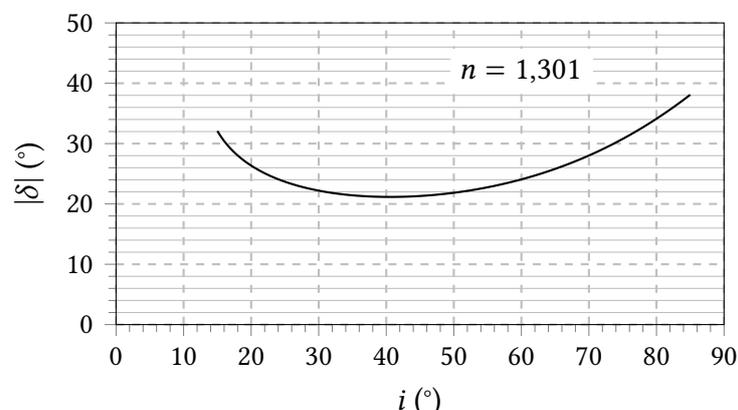


FIGURE 5 – Valeur absolue de la déviation du rayon lumineux en fonction de l'angle d'incidence.

sairement totalement réfléchi. Pour cela : montrer que l'angle de réfraction sur  $AF$  est nécessairement supérieure à ..., et en déduire que l'angle d'incidence sur  $(EF)$  est supérieur à l'angle limite déterminé précédemment.

†. S'aider d'un schéma, et du fait que les faces  $(AF)$  et  $(CD)$  sont ...

- Q10. Expliquer pourquoi l'observateur observe une accumulation de lumière (le halo solaire) dans la direction qui correspond à une ouverture angulaire de  $22^\circ$  autour de l'axe dirigé de son œil vers le Soleil.
- Q11. L'indice optique de la glace est une fonction décroissante de la longueur d'onde. On observe que le halo solaire est irisé (l'irisation est la production des couleurs de l'arc-en-ciel par décomposition de la lumière du soleil) : de l'intérieur vers l'extérieur du halo, les couleurs observées varient du rouge au bleu. Préciser si les résultats établis précédemment sont en accord avec cette observation.