

Déviat ion des rayons lumineux lors de la traversée d'un prisme

APPLICATION : LES HALOS SOLAIRES

par Marc CHAPELET

78150 Le Chesnay

Il est délicat de réaliser expérimentalement un faisceau comportant un grand nombre de fins pincesaux lumineux.

Le plus souvent, il faut utiliser un laser He-Ne et un réseau peu dispersif (de 10 à 100 traits par mm) qui puisse transmettre avec suffisamment d'intensité lumineuse, un grand nombre d'ordres.

L'utilisation d'un micro-ordinateur connecté à une table traçante permet de simuler un faisceau composé d'un grand nombre de rayons lumineux et de visualiser la déviation de ces rayons lors de la traversée d'un prisme. On peut ainsi observer l'influence des caractéristiques du prisme comme l'indice n du verre, ou l'angle A du prisme.

Les résultats présentés ont été réalisés avec un micro-ordinateur SHARP PC 1500 relié à une mini table traçante SHARP CE 150.

1. MINIMUM DE DÉVIATION ET CONDITIONS D'ÉMERGENCE DANS UN PRISME

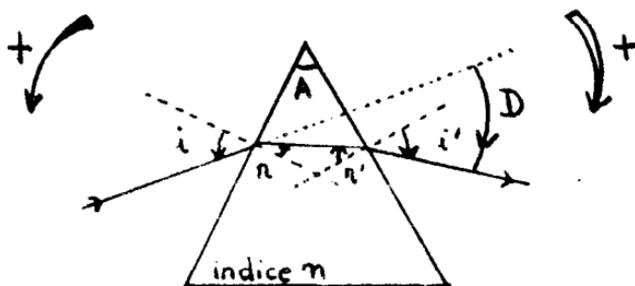


Figure 1 : Représentation des angles, les flèches indiquent les sens positifs conventionnels

Avec les notations de la figure 1, on rappelle que le minimum de déviation D_m a pour expression :

$$D_{mm} = -A + 2 \text{Arc sin} \left(n \sin \frac{A}{2} \right)$$

Conditions d'émergence

λ désigne l'angle de réflexion totale verre-air ; $\lambda = \text{Arc sin} \frac{1}{n}$

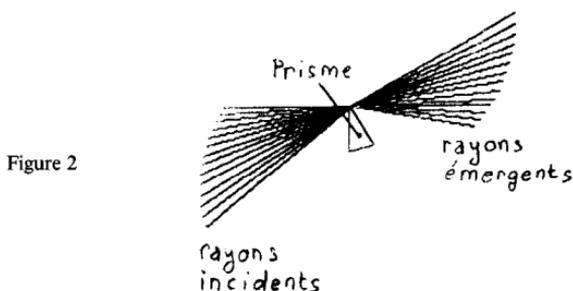
- ★ Si $A \leq \lambda$ il y a émergence des rayons lumineux dont l'incidence i est comprise entre 0 et $\text{Arc sin} (n \sin A)$.

(si $A = \lambda$ on obtient : $0 \leq i \leq \frac{\pi}{2}$) (voir figure 2)

- ★ Si $\lambda \leq A \leq 2\lambda$ il y a émergence pour tous les rayons dont l'incidence i est comprise entre

$\text{Arc sin} (n \sin (A - \lambda))$ et $\frac{\pi}{2}$ (voir figure 3)

- ★ Si $A > 2\lambda$ aucun rayon incident ne peut émerger.



La figure 2 montre le tracé de rayons lumineux traversant un petit prisme d'angle $A = 30^\circ$ et d'indice $n = 1,31$ (alors $D_m \approx 9,5^\circ$ et $\lambda \approx 50^\circ$).

Il y a émergence des rayons lumineux dont l'incidence i est comprise entre 0 et 41° . Sur cette figure, l'incidence des rayons est représentée de 3 en 3 degrés. Afin de faciliter l'identification d'un couple de rayons conjugués, le rayon incident et le rayon émergent correspondant sont représentés par des segments de droite de même longueur, et cette longueur est différente pour chacun des couples de rayons. Cette dernière remarque s'applique aussi à la figure 3.

2. CAS D'UN PRISME ÉQUILATÉRAL

★ La figure 3 (analogue à la figure 2) montre le tracé de rayons lumineux traversant un petit prisme équilatéral ($A = 60^\circ$). L'indice du milieu a été pris égal à 1,31 (c'est l'indice de la glace à une longueur d'onde dans le jaune).

Dans ce cas on aura : $D_m = 22^\circ$, $\lambda \approx 50^\circ$, émergence pour tous les rayons d'incidence i comprise entre 13° et 90° .

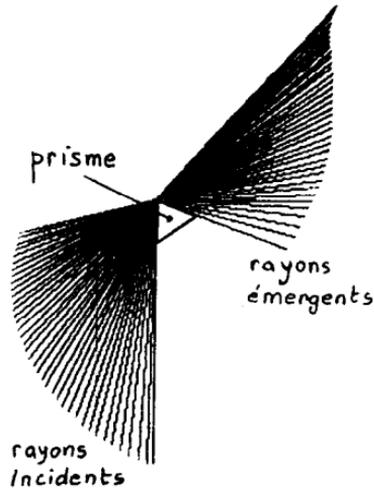


Figure 3 : trajet des rayons déviés lors de la traversée d'un prisme de glace ($n = 1,31$), d'angle $A = 60^\circ$. L'incidence des rayons est représentée de 2 en 2 degrés.

★ Pour ce même prisme ($n = 1,31$; $A = 60^\circ$), la figure 4 représente l'angle de déviation D en fonction de l'angle incident i ; remarquons que pour des valeurs de i comprises entre 25° et 60° , D diffère de D_m d'à peine 3 degrés.

★ La figure 5 montre la déviation d'un fin faisceau lumineux rencontrant des microcristaux de glace ($n = 1,31$; $A = 60^\circ$) orientés au hasard dans l'espace ; l'angle d'incidence i peut donc prendre toutes les valeurs possibles. Sur la figure 5, on a fait varier l'angle i et donc l'orientation des microcristaux de 3 en 3°. On observe nettement, qu'au minimum de déviation des rayons lumineux, beaucoup de rayons ont une déviation D proche de D_m ; il en résulte que l'intensité lumineuse est maximale au voisinage de $D_m \approx 22^\circ$. Du fait de la symétrie de révolution autour de l'axe défini par le faisceau incident, on observe donc un halo lumineux (sombre au centre), de rayon angulaire $D_m \approx 22^\circ$.

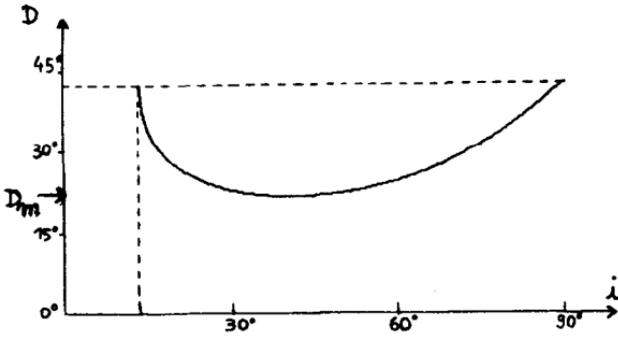


Figure 4 : courbe de déviation D en fonction de l'incidence i pour un prisme d'angle $A = 60^\circ$, d'indice $n = 1,31$.

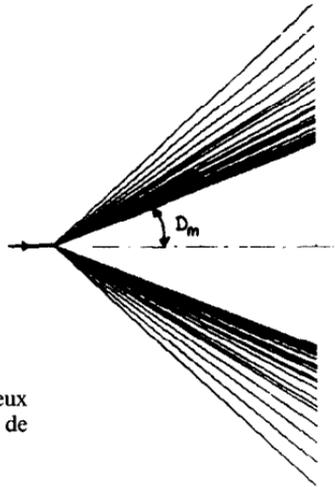


Figure 5 : déviation d'un faisceau lumineux par une assemblée de petits cristaux de glace.

3. APPLICATION À L'ÉTUDE DES HALOS SOLAIRES

Les nuages de haute altitude (6 à 10 km) comme les cirro-stratus contiennent en suspension dans l'air, des microcristaux de glace de forme hexagonale (figure 6) (dimensions de $1/20$ à $1/2$ mm).

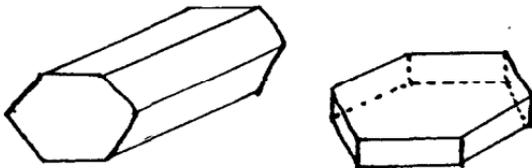


Figure 6 : cristaux hexagonaux de glace

Le soleil (ou la pleine lune) voilé par ce type de nuages, montre de jolis halos colorés (Figure 7).

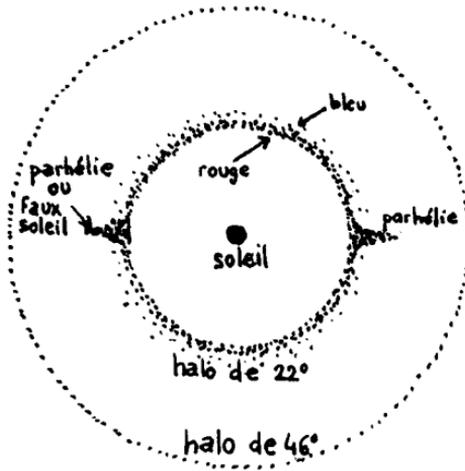


Figure 7 : les halos les plus fréquents.

La présence des halos solaires s'explique par l'existence de microcristaux de glace de forme hexagonale. En effet le calcul de A, angle du prisme, d'après (1), avec $n = 1,31$, donne :

$$\begin{aligned} \text{pour } D_m = 22^\circ & \quad A = 60^\circ \\ \text{et pour } D_m = 46^\circ & \quad A = 90^\circ \end{aligned}$$

Les figures 6 et 8 montrent que les faces S_1 et S_3 font entre elles un angle de 60° (S_1 et S_2 présentant un angle $A = 120^\circ$ ne peuvent que donner de la réflexion totale).

L'angle entre l'une des 6 faces (S_1 , ou S_2 , ou $S_3...$) et l'une des 2 faces inférieure ou supérieure (S_7 ou S_8) est de 90° .

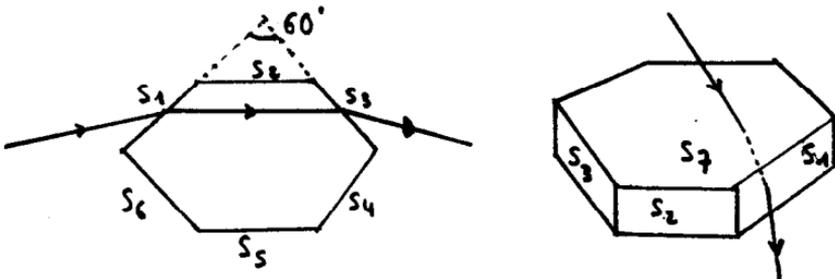


Figure 8 : interprétation des halos de 22° et de 46° .

L'orientation au hasard des microcristaux explique la symétrie axiale des halos. De plus comme l'indice n dépend de la longueur d'onde ($n_{\text{bleu}} < n_{\text{rouge}}$), il en résulte que les rayons bleus sont plus déviés que les rayons rouges (voir figure 6).

Les parhélies (ou faux soleils), très brillants sur le halo de 22° sont dûs au fait que les microcristaux en plaquettes (ceux dessinés figure 8) ont plutôt tendance, du fait de la résistance de l'air et de la pesanteur, à disposer horizontalement leurs plus grandes faces (S_7 ou S_8) ; la dispersion de la lumière dans le plan horizontal est donc privilégiée.

Remarques :

— En plus des halos, on observe une grande quantité d'arcs lumineux dont l'interprétation est plus délicate ; en effet les rayons réfractés ont subi le plus souvent une ou plusieurs réflexions totales sur les faces des cristaux de glace.

— Les halos ne font pas appel à la même interprétation que les arcs en ciel (voir B.U.P n° 560).

BIBLIOGRAPHIE

Rainbows, Halos and Glories, R. GREENLER - Cambridge University Press, 1980

Pour la Science, D.K. Lynch (Juin 1978)