

Si votre ligne de visée, en partant du Soleil, s'en écarte (par n'importe quel chemin) de 180° , elle atteint sur la sphère céleste le point diamétralement opposé au Soleil, ou direction antisolaire. Votre nouvelle ligne de visée est plongeante pendant le jour, et ascendante pendant la nuit; si le Soleil approche du zénith, l'antisoleil approche du nadir, et réciproquement.

L'antisoleil et son voisinage présentent des phénomènes optiques variés. Ceux de l'antisoleil diurne peuvent être fort spectaculaires, mais ils ne sont guère que des curiosités. Ce que l'on observe la nuit - plus difficilement il est vrai - autour de l'antisoleil, est au contraire assez riche d'information sur le milieu interplanétaire, et mérite d'être exploité.

LES ANTHELIES: Gloires, nimbes et autres auréoles.

L'antisoleil pendant la journée, c'est l'ombre de votre tête. Lorsque cette ombre tombe sur des gouttelettes d'eau (une pelouse couverte de rosée, par exemple), elle s'entoure d'une sorte d'auréole, dont l'origine est complexe. L'une des causes réside dans le comportement diffusif des sphères de dimensions avoisinant la longueur d'onde λ de la lumière incidente, ou plus grandes: les directions axiales (vers l'avant et l'arrière) diffusent plus efficacement que les directions latérales. Cela est vrai aussi, mais dans un rapport moindre, des obstacles petits devant λ que sont les molécules de l'air, pour lesquelles le rapport d'intensités diffusées axialement et latéralement ne dépasse pas 2 (voir fig. 1 et note 1).

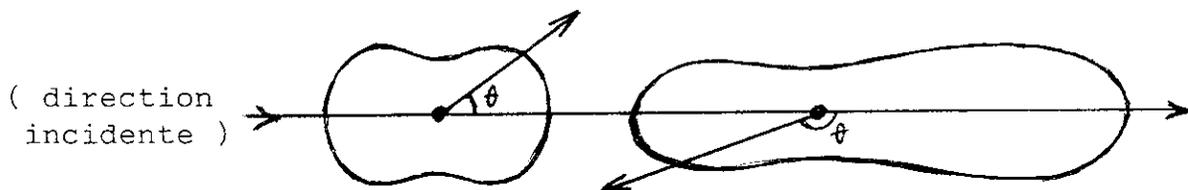


fig. 1: Indicatrices de diffusion (courbes en coordonnées polaires représentant l'intensité lumineuse diffusée sous des angles variés par rapport à la direction d'incidence). A gauche, particules $\ll \lambda$, molécules gazeuses par exemple; à droite, particules de dimensions voisines de λ , et plus grandes - aérosols et eau liquide en suspension. θ est l'angle de diffusion (0 à 180°)

C'est au dessus d'une mer de nuages, en montagne ou en avion, que l'antisoleil diurne exhibe les phénomènes optiques les plus surprenants. L'ombre de l'avion - sauf s'il survole de trop près le sommet

(1) Cette différence permet de juger facilement le degré de pureté de l'atmosphère: il suffit de cacher le Soleil avec un doigt (sans trembler! car il ne faut jamais fixer le Soleil) et de regarder le ciel environnant. S'il brille davantage près du Soleil qu'un peu plus loin, c'est que des gouttelettes et des impuretés diffusent vers l'avant. Quand l'air est bien sec et pur, le bleu du ciel est presque uniforme tout autour du Soleil et jusqu'à une bonne quinzaine de degrés de lui, les molécules de l'air ne privilégiant presque pas les directions axiales.

des nuages - peut faire place à une petite tache ronde, plus sombre ou plus claire qu'alentour, et souvent accompagnée d'anneaux irisés. A la surface des nuages, là où se localise cette tache, on verrait le disque du Soleil partiellement occulté par l'avion; si la lumière se propageait rigoureusement en ligne droite, c'est donc toujours un déficit d'éclairement qu'on devrait avoir, jamais un excédent. C'est la preuve directe que l'Optique géométrique est ici en défaut, et qu'il s'agit d'un phénomène de diffraction.

Ces apparences, bien que fugitives, et dépendant beaucoup du calibre des gouttes, ont été décrites en détail par les aérostiers du XIXème siècle, notamment Flammarion et Tissandier. Bien avant, vers 1740, l'expédition de l'Académie des Sciences au Pérou (pour déterminer, par comparaison avec celle de Laponie, si la Terre est allongée ou aplatie aux pôles), les avait observées, et l'anthélie est parfois désigné sous le nom de " cercle d'Ulloa ". A propos de ces auréoles concentriques à l'antisoleil individuel de chaque observateur, Bouguer écrit: « C'était comme une espèce d'apothéose pour chaque spectateur; et je ne dois pas manquer d'avertir que chacun jouit tranquillement du plaisir de se voir orné de toutes ses couronnes, sans rien apercevoir de celles de ses voisins » .

Le GEGENSCHHEIN

La nuit, beaucoup de conditions doivent être réunies pour qu'on aperçoive la tache faiblement lumineuse qui entoure l'antisoleil, et dont le nom allemand a prévalu (sur l'anglais " counter glow " et le français " lueur antisolaire "): l'antisoleil doit être haut dans le ciel et loin du plan galactique; ni lune, ni pollution lumineuse; des yeux excellents, habitués depuis un long moment à la quasi-obscurité, et regardant à une dizaine de degrés de l'antisoleil géométrique (l'axe visuel souffre en effet d'une déficience en cellules rétiniennes adaptées à la vision nocturne ou " scotopique ", en sorte qu'il vaut mieux chercher les sources faibles en les regardant de travers). Vous pouvez essayer de traquer le Gegenschein en février dans le Lion et en octobre dans les Poissons.

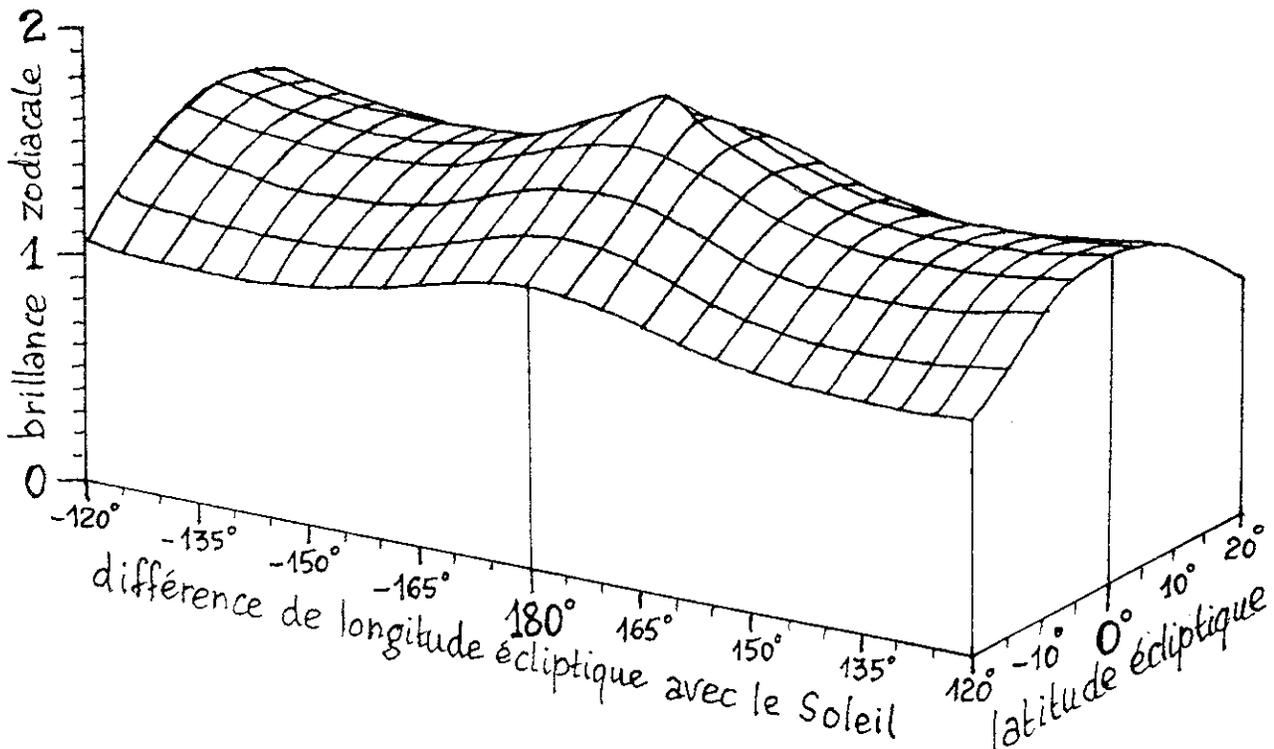


fig. 2

Brillance du zodiaque dans la région antisolaire

La brillance générale du ciel nocturne dans une région où l'oeil ne voit pas d'étoile est un mélange de sources dont les principales sont:

- les étoiles trop faibles pour être visibles individuellement, mais qui créent un fond diffus;
- la luminescence de la haute-atmosphère, irrégulière et changeante;
- la diffusion de la lumière solaire par le nuage de matière interplanétaire dans lequel sont plongées la Terre et les planètes, jusqu'aux astéroïdes au moins.

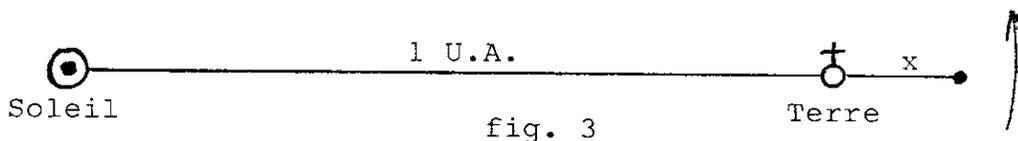
Les observations photométriques de cette dernière source, appelée " Lumière Zodiacale " (du moins celles qui retranchent correctement les deux premières) montrent un petit pic de brillance qui dépasse de 30% le " marais " qui recouvre l'écliptique entre $\pm 120^\circ$ et $\pm 160^\circ$ d'élongation solaire (fig. 2). Si le Gegenschein n'était pas délavé par les deux premières sources, il serait donc assez bien visible. Mais le fond stellaire et la luminescence atmosphérique font chuter son contraste à quelque 10%.

L'origine du Gegenschein

Remarquons d'abord qu'un léger excédent de lumière dans la direction antisolaire est non moins paradoxal de nuit que de jour. Logiquement, c'est une tache un peu plus sombre qu'on attendrait, puisque la ligne de visée s'attarde plus qu'une autre dans le cône d'ombre et de pénombre de la Terre, qui apporte une contribution moindre à la brillance du ciel.

Signalée vers le milieu du XIXème siècle (Brorsen) et probablement aperçue cinquante ans plus tôt par Alexander von Humboldt, cette faible lueur a beaucoup intrigué les astronomes, qui lui ont imaginé nombre d'explications possibles.

L'une des plus séduisantes, et qui resta longtemps en faveur, était fondée sur un calcul simple de mécanique céleste. Si une poussière se trouve alignée avec le Soleil et la Terre, du côté antisolaire, et à une distance x (U.A.) de la Terre, telle que le déficit de gravitation solaire (par rapport à la distance de 1 U.A.) soit exactement compensé par l'attraction terrestre, cette poussière pourra tourner autour du Soleil en un an comme le fait la Terre, et non pas en $(1 + x)^{3/2}$ an, comme le voudrait la 3ème loi de Képler, en l'absence de la Terre.



En écrivant que les deux astres attirent la particule en raison inverse de ses distances à eux, et en raison directe de leurs masses, qui sont dans le rapport 333 000, et en vous souvenant de l'expression $\omega^2 r$ de l'accélération d'un mouvement circulaire uniforme de vitesse angulaire ω , vous trouverez la distance x égale environ à 1/100 d'U.A.

Une particule se trouvant dans cette région serait donc géostationnaire par rapport à la révolution orbitale de la Terre, tout comme les satellites artificiels placés à 36 000 km d'altitude le sont par rapport à sa rotation.

Cette position particulière du 3ème corps (de masse négligeable) est l'une de celles où Lagrange a montré que le " problème des trois corps " se simplifie. Bien que les orbites possibles du 3ème corps dans le voisinage de cette position ne soient théoriquement pas des orbites stables, il était tentant de penser que des météorides auraient tendance à s'y accumuler, et à y provoquer la lueur.

Mais une objection à cette hypothèse fut qu'un nuage situé à une distance 100 fois inférieure à celle du Soleil, aurait une parallaxe 100 fois supérieure à celle du Soleil, soit 1/4 de degré environ. Or, le point le plus brillant coïncide souvent avec l'antisoleil, et le sens des écarts, lorsqu'il y en a, ne paraît pas s'inverser systématiquement vers minuit. Une autre objection fut que cette distance de 1/100 d'U.A. dépasse à peine la longueur du cône d'ombre terrestre: Le Soleil, vu du point d'équilibre de Lagrange (et même d'un peu plus loin, dans le cône de pénombre) est en grande partie masqué par la Terre, en sorte que la matière, mal éclairée, aurait à s'y accumuler considérablement pour produire l'excès de brillance observé.

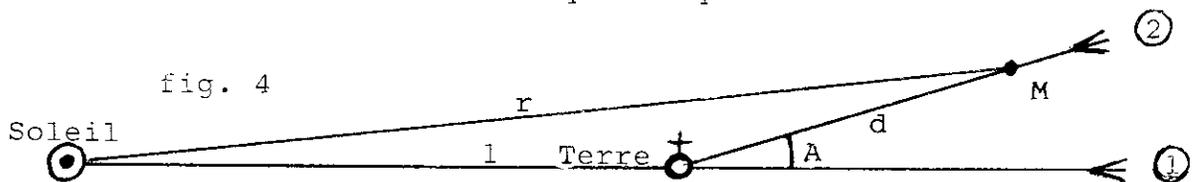
D'autres interprétations du Geggenschein, également liées à la Terre, invoquent une excroissance de l'atmosphère à l'opposé du Soleil, plus ou moins analogue à une queue de comète. Il est vrai que si la dyssymétrie antisolaire de la magnétosphère était visible, elle aurait un peu cet aspect.

Il y a vingt ans à peine qu'on sait que le Geggenschein n'a rien à voir avec notre planète. Les sondes spatiales Pioneer 10 et 11 ont embarqué de petits photomètres qui nous ont transmis des cartes, malheureusement partielles, de la Lumière Zodiacale telle qu'on la voit quand on s'éloigne du Soleil. Ils la détectèrent jusqu'à plus de 3 U.A.; et le petit pic de brillance antisolaire s'y est montré - moins intense qu'à 1 U.A., bien sûr - toutes les fois que cette région du ciel a été observée. Le Geggenschein ne peut donc être attribué qu'au comportement optique des grains de poussière interplanétaire, qui agissent comme des cataphotes, en renvoyant davantage de lumière dans la direction même de la source, que latéralement.

L'intérêt des visées antisolaires: une direction privilégiée.

Un simple effet de " rétrodiffusion ", voilà qui est plutôt banal, puisqu'on en trouve un, le plus souvent, lorsqu'on étudie l'indicatrice de diffusion des matériaux pulvérulents. Et d'ailleurs, le sol de la Lune se comporte optiquement de cette façon, car elle est 10 fois plus brillante quand elle est pleine qu'en ses quartiers - et non pas seulement 2 fois plus. Alors, le Geggenschein n'est-il, comme les anthélies diurnes, qu'une aimable curiosité?

Non, car la brillance du ciel nocturne autour de l'antisoleil est riche d'informations sur le nuage interplanétaire au delà de l'orbite terrestre; et ces informations sont moins difficiles à extraire que lorsque la direction de visée est quelconque.



Supposons que, depuis la Terre, le regard balaye le plan de l'écliptique (qui est le plan de la fig. 4, et aussi, approximativement, le plan de symétrie du nuage aplati). La fonction $r(d)$ représentant la distance r au Soleil d'un point M de la ligne de visée, selon sa distance d à la Terre, est presque indépendante de l'angle A tant que

celui-ci reste $\ll 1$ radian (disons, une quinzaine de degrés). On a, à fort peu près, $r \approx d + 1$. Par exemple, pour $d = 1$ U.A. et $A = 10^\circ$, r vaut 1,992 U.A., et n'a donc diminué que de 0,4% entre la visée anti-solaire ① et la visée latérale ② .

Quel que puisse être le profil de la distribution des poussières (pourvu qu'elle soit de révolution autour du Soleil), il va rester pratiquement le même le long de toutes les visées voisines de l'antisoleil. La chute de brillance qu'on observe (11% pour $A = 10^\circ$) ne peut donc être que très faiblement liée à la distribution des poussières, et presque totalement due à l'effet cataphote. La coupe du Gegenschein suivant l'écliptique, c'est-à-dire la ligne de crête longitudinale de la fig. 2, dessine donc directement le profil de cet excès de rétrodiffusion, et permet, en le comparant à celui des comètes ou des astéroïdes, par exemple, de tester les théories sur l'origine du nuage.

Supposons enfin que le regard balaye un cône de révolution pointu, axé sur l'antisoleil (angle A constant). Alors la figure 4 va tourner sans se déformer autour de $\odot \oplus$. L'effet cataphote va rester constant au cours de cette rotation; le déficit de brillance observé hors de l'écliptique sera entièrement dû à la raréfaction de la poussière quand on s'éloigne de ce plan, et il permettra de la calculer.

Si l'angle A augmente trop, c'est-à-dire si l'on quitte le Gegenschein, on a le long de chaque visée un mélange beaucoup plus inextricable des variations de la densité et de celles du pouvoir de diffusion latéral. C'est en explorant la région antisolaire qu'on a les meilleures chances de débrouiller partiellement cet écheveau, et d'obtenir, à partir de l'observation optique du fond du ciel nocturne, des propriétés locales crédibles du nuage interplanétaire.

René Dumont et Michel Rapaport
Observatoire de Bordeaux

Lectures

- R.G. ROOSEN: An annotated bibliography on the Gegenschein
Icarus (1970) 13, p. 523.
- S.S. HONG and S.M. KWON: On the Gegenschein and the symmetry plane
dans: Origin and Evolution of Interplanetary Dust (A.C. Levasseur-Regourd & H. Hasegawa, éditeurs) Kluwer (1991), p.147.
- R. DUMONT: Zodiacal Light and Gegenschein
dans: The Astronomy and Astrophysics Encyclopedia (S. Maran, éditeur) Van Nostrand Reinhold (1992), p. 969.
- J.B. RENARD: Mise en évidence de l'évolution des propriétés optiques et physiques des grains dans le système solaire
Thèse, Université de Paris VI (1992).