

OBSERVATION

HALOS LUNAIRES ET PARASÉLÈNES

Anne-Marie LOUIS, anne-marie.louis@wanadoo.fr

La lumière réfléchiée par la Lune permet, comme celle du Soleil, d'observer de beaux systèmes de halos, dans des conditions parfois inattendues, et de compléter les explications fournies dans le n° 150 des Cahiers Clairaut.

Rien ne nous laissait présager un phénomène lumineux aussi exceptionnel et complexe, et nous ne pensions pas que c'était possible loin des régions polaires. C'est en arrivant en Savoie le 1^{er} janvier 2015 vers 2 h 30 au-dessus de N-D de Bellecombe, à quelques km du col des Saisies que nous avons vu le spectacle magique des deux anneaux concentriques autour de la Lune gibbeuse, avec parasélènes, irisations, colonne de lumière et divers arcs tangents que nous n'avions jamais vus ailleurs que sur des dessins.

Le thermomètre de la voiture indiquait -11 °C, le ciel était clair : la Lune ne serait pleine que le 5 janvier et on pouvait voir Orion en dépit d'une précipitation de poudrin de glace, bien visible sur les photos au flash. Sans aucun doute, les canons à neige en action ont joué un rôle primordial, ainsi que le vent du Nord ramenant dans la vallée où nous nous trouvions les fins cristaux de glace.



Lune, parasélènes et poudrin de glace.

C'était peut-être la seule fois de notre vie que la possibilité de contempler un double halo nous était offerte, nous avions la tête dans la *poussière de diamants*¹, des anneaux scintillants à bout de bras... et nous n'avions aucun matériel photo, juste un petit

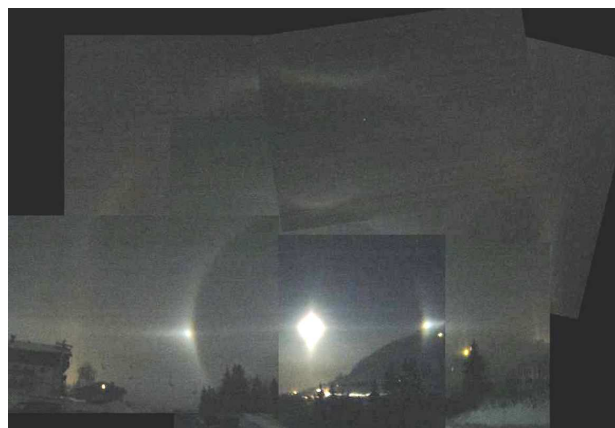
¹ Poudrin de glace pour les anglo-saxons se dit *diamond dust*. Mais la traduction par *poussière de diamants* est à éviter pour les recherches sur Internet !

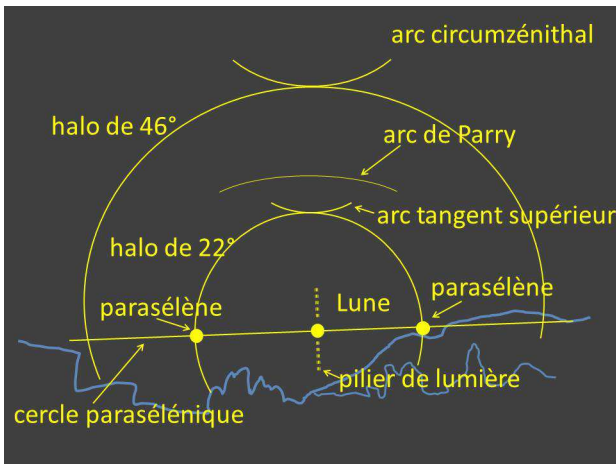
compact ! Tout le monde se trouve un jour ou l'autre dans la même situation, alors on observe, on estime la hauteur de la Lune (ou du Soleil), on note l'heure, le temps qu'il fait, et les changements car le phénomène évolue très vite : tantôt un morceau du petit halo aussi brillant et coloré qu'un arc-en-ciel (mais avec le rouge à l'intérieur), tantôt le parasélène ouest illuminant la montagne en face, tantôt la croix, vue jadis comme un signe divin. Jusqu'au coucher de la Lune, de 2 h 31 à 3 h 47, nous avons photographié mais sans pied, sans objectif à courte focale, ce n'était pas facile : les traces seront de médiocre qualité mais cependant exploitables !

Systemes de halos

(pour les anglo-saxons *Halo display*)

Sur ce montage de photos (pas facile à raccorder !), on distingue le **petit halo de 22°** et le **grand halo de 46°**, deux **parasélènes** sur le petit halo et leurs nuages irisés, l'**arc tangent supérieur**, une portion de l'**arc circumzénithal** tangent au grand halo, le début du **cercle paraséléniq**ue et un **pilier de lumière**. Mais nous avons vu aussi l'arc concave supérieur de Parry, formant comme un ballon de rugby avec l'arc tangent supérieur, trop peu lumineux pour les photos : par prudence, essayons déjà d'identifier et de comprendre ce que nous voyons.

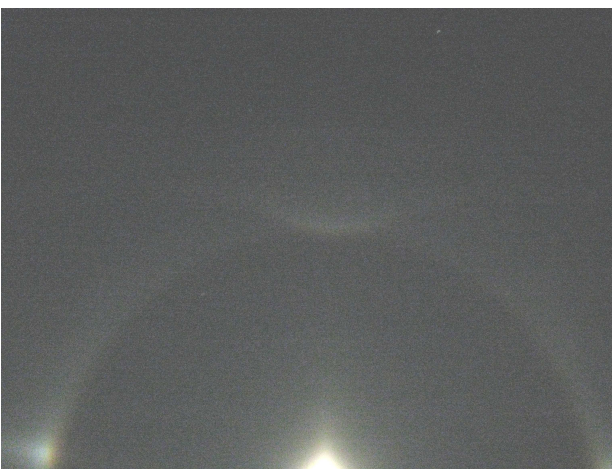




Non seulement le système est complexe, mais en plus il est changeant : ainsi lorsque la Lune (ou le Soleil) descend sur l'horizon, les parasélènes (ou parhélies) d'abord écartés se rapprochent du petit halo de 22° jusqu'à le toucher, et l'arc tangent supérieur change de forme. Le dessin ci-dessus correspond à une certaine hauteur de l'astre, et à une observation sur un laps de temps réduit.



À gauche quelques étoiles d'Orion. Pourquoi une portion du halo de 22° apparaît-elle soudain aussi brillante ?



Halo de 22° et arc tangent supérieur. On devine l'arc concave supérieur de Parry.

Qu'il s'agisse de la lumière du Soleil ou de celle qui est réfléchiée par la Lune, les phénomènes sont les mêmes, seule la luminosité diffère, mais lorsqu'on regarde sans lire la légende les photos prises en pose dans les régions polaires, il est facile de s'y tromper.

Les parhélies sont remplacés par des parasélènes, appelés encore fausses Lunes ou *chiens de Lune* (*moon dogs*), le cercle parhélique s'appellera cercle parasélénique etc.

Soleil ou Lune ? L'interprétation des phénomènes lumineux est la même et peut-être résumée ainsi :

Arcs-en-ciel, en-terre, en-mer	Gouttelettes d'eau	Réfraction - Réflexion(s)
Couronnes	Gouttelettes d'eau	Réfraction
Halos les plus fréquents	Cristaux de glace	Réfraction
Parasélènes	Cristaux de glace	Réfraction
Cercle parasélénique	Cristaux de glace	Réflexion
Pilier (colonne) de lumière	Cristaux de glace	Réflexion

Les cristaux de glace, plaquettes, baguettes (ou colonnes) et crayons, sont des prismes de base hexagonale. Leur taille, leur forme, leur quantité, leur orientation, leur stabilité ou leur mouvement sont à l'origine de la forme des halos observés.



Eléments De La Philosophie Moderne – Pierre Massuet – 1752

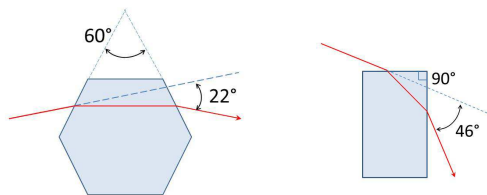
Quelques idées fausses à rectifier

Contrairement aux couronnes, disques irisés dont le rayon n'excède pas quelques degrés et qui ont pour origine des gouttelettes d'eau, les halos ont des rayons de quelques dizaines de degrés et sont dus à de petits cristaux de glace en suspension dans l'air. C'est Edme Mariotte qui a donné vers 1640 la première interprétation du halo de 22° par la réfraction dans les cristaux de glace.

S'il est vrai que de tels cristaux sont présents dans les nuages glacés d'altitude, on ne peut pas affirmer qu'en l'absence de tels nuages, cirrus ou cirrostratus, il ne peut pas y avoir de halo. On voit ici que le phénomène peut être associé à une fine précipitation, certes artificielle. Il serait faux également d'écrire, comme on le voit parfois, qu'en raison de l'éclat trop faible de la Lune, il n'est pas possible d'observer le grand halo. Mais il est rare, cela est vrai !

Petit halo, grand halo

Des explications claires et diverses méthodes de calcul ont été proposées dans le n° 150. À propos du **petit halo de 22°** , Pierre Causeret dans son article « Les parhélies, de faux soleils dans le ciel » p. 24 a expliqué comment calculer le minimum de déviation d'environ 22° (variable selon l'inclinaison du rayon incident mais au moins égal à $21,8^\circ$) dans le cas d'un prisme d'angle 60° . Comme l'indique Jean-Pierre Delavance p. 27 dans son article « Le halo de Boukhara », si le rayon lumineux traversant le cristal de glace entre par une face latérale et sort par une face terminale, vers notre œil, l'angle du prisme est alors 90° et le nouveau minimum de déviation est environ 46° (variable toujours selon l'inclinaison du rayon incident mais au moins égal à $45,7^\circ$). On observe alors le **grand halo de 46°** . Pour ces halos, c'est l'**orientation aléatoire** des cristaux qui leur donne une forme circulaire.



C'est Cavendish qui, à la fin du XVIII^e siècle, a établi l'origine du **grand halo** ou **halo de 46°** .

Remarque : les cristaux de glace présentent également des prismes d'angle 120° mais il n'y a alors que des réflexions totales et aucun rayon émergent.

Le système de halos lunaires apparaissant sur fond noir, les seules couleurs perceptibles sont principalement le rouge et l'orange.

Parasélènes

Les parasélènes, comme les parhélies, apparaissent en atmosphère calme. Les plaquettes horizontales sont alignées et leurs arêtes sont verticales, la lumière réfractée par les faces verticales des cristaux situés à la **même hauteur** que l'astre sera renvoyée de chaque côté de l'astre, formant deux fausses Lunes. L'angle peut être supérieur à 22° lorsque l'astre est haut, ou égal à 22° s'il est bas sur l'horizon, et les parasélènes sont alors en contact avec le petit halo.



Parasélène sur le halo de 22° , qui apparaît comme un trou sombre puisqu'il correspond à un minimum de déviation en-dessous duquel aucun rayon lumineux n'émerge.

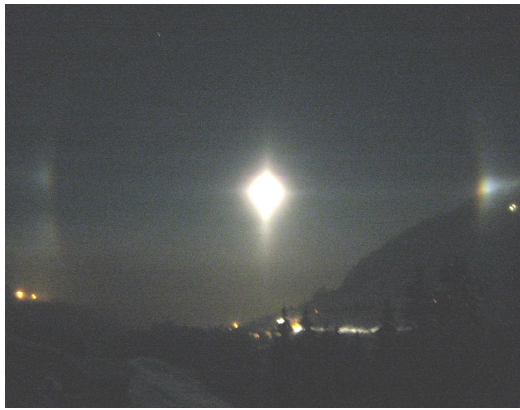
L'arc tangent au halo de 22° (ici supérieur) est dû à des cristaux tourbillonnants, d'où sa forme très variable : halo circonscrit ou arcs séparés en forme de « moustache » selon la hauteur de l'astre.

L'arc circumzénithal peut être tangent, comme ici, au halo de 46° et il est coloré : on devine le bleu vers le zénith, on perçoit le rouge vers l'horizon. Pour ces deux types de halos, seules diffèrent les faces d'entrée et de sortie de la lumière dans les cristaux.

Pour d'autres arcs, c'est toujours le phénomène de réfraction qui est en cause, avec quelques variantes... ... sauf celui qui fait exception : le **cercle parasélénique**, qui comme le **pilier** (ou colonne) **de lumière**, a pour origine une **réflexion**.

Réflexion sur les faces verticales des cristaux pour le cercle parasélénique, réflexion sur la face inférieure de plaquettes légèrement inclinées pour le pilier. Il n'y a pas de couleurs puisqu'il n'y a pas de dispersion.

Un tel système de halos est la preuve de la **diversité des cristaux**, de leurs **orientations** et de leurs **mouvements**.



Portion de l'arc parasélénique et pilier de lumière ou diffraction sur de très petits cristaux ?



Parasélène irisé sur le halo de 22°. Le lampadaire au sodium présente aussi une croix, il y a donc diffraction.



Seul le pilier reste visible avant la disparition de la Lune derrière la montagne.

Une question demeure : le phénomène était-il si localisé que nous serions seuls à l'avoir vu (hormis deux fumeurs, sortis pour quelques minutes et pressés de retourner à la chaleur des agapes St Sylvestrines) ? Si vous avez d'autres témoignages, nous sommes intéressés !

Une bonne résolution : le premier de l'an y est associé par tradition, j'ai donc décidé de garder toujours un appareil photo à portée de main, même dans ma cuisine. Pour le jour où, derrière ma grande casserole, je verrais apparaître, sans prévenir, la foudre en boule...

Que faire avec des élèves ?

Atmospheric Optics site incontournable

Le site www.atoptics.co.uk est de loin le plus riche et le plus intéressant, il présente de fantastiques photos et d'excellentes explications (en anglais).

Pour illustrer le minimum de déviation : dans le **Menu** choisir *What's New* puis clic sur la photo *Antarctic Lunar Halo & Snow*, et un peu plus bas dans le texte, clic sur *animation*. La page s'appelle 22° Halo Formation mais vous pourrez vérifier que l'angle est bien 21,7° (en agissant avec la souris sur le curseur à droite) !

Pour illustrer l'influence de l'altitude du Soleil : dans le **Menu** choisir *Ice Halos* puis *Frequent Halos*. Choisissez *Tangent Arcs*. L'animation par HaloSim est sur *Solar Altitude*. Vous trouverez de la même manière une autre animation pour *Circumscribed*. Très pédagogique !

Terminez en apothéose avec *Other Words* et allez voir comment ça se passe sur Mars, Jupiter et Saturne !

Un logiciel de simulation

Le logiciel **HaloSim 3** peut être téléchargé gratuitement : il permet de simuler toutes sortes de halos en choisissant une multitude de paramètres (hauteur du Soleil ou de la Lune, forme, taille et altitude des cristaux de glace...) Mais il n'est pas facile à utiliser, alors vous pouvez faire comme moi et vous contenter d'utiliser les animations toutes faites proposées sur le site !

BIBLIOGRAPHIE

ACADÉMIE DES SCIENCES (Paris), 1693. *Mémoires de mathématique et de physique tirés des registres de l'Académie Royale des Sciences* p.147-148.

HENRY Michel, Octobre 2001. Les halos. In : Phénomènes naturels. *Revue du Palais de la découverte*. N° 291, p.26-36.

JAMET Didier et LAVEDER Laurent, 2008. *Le ciel, un jardin vu de la Terre*. Paris : Belin.

LYNCH David et LIVINGSTON William, 2002. *Aurores mirages éclipses... Comprendre les phénomènes optiques de la nature*. Paris : Dunod.

SOUBIRAN Jean, 2003. La Météorologie à Rome. In : CUSSET Christophe, *La météorologie dans l'antiquité : entre science et croyance : actes du colloque international interdisciplinaire de Toulouse, 2-3-4 mai 2002*. Publications de l'Université de Saint-Étienne, p. 60-61.

SUAGHER Françoise et PARISOT Jean-Paul, 1995. *Jeux de lumière*. Besançon : Editions Cêtre.

VALEUR Bernard, 2005. *Lumière et luminescence*. Paris : Belin.