

ARTICLE DE FOND

La lumière cendrée de la Lune et ce que les astronomes en font

Danielle Briot, Observatoire de Paris

La lumière cendrée est la légère lueur que l'on peut voir sur la partie de la Lune non éclairée par le Soleil, quand la Lune apparaît sous la forme d'un fin croissant. Cette observation demande, bien sûr, une nuit claire et sans lumière parasite.



Fig.1. La lumière cendrée.

La meilleure explication de la lumière cendrée est "le clair de Terre sur la Lune".

Cette interprétation est généralement attribuée à Galilée qui décrit très clairement le phénomène et en donne l'explication dans le *Sidereus Nuncius* (*Le messager céleste*). Cependant, elle a été retrouvée dans un manuscrit de Léonard de Vinci datant d'un siècle auparavant, et plusieurs contemporains de Galilée, dont certains lui étaient très proches, l'enseignaient bien des années avant la publication du *Sidereus Nuncius*.

La classique figure 2 explique les phases de la Lune. Si on regarde cette figure d'un nouveau point de vue et que l'on s'imagine être sur la Lune, et nécessairement sur la partie de la Lune qui fait face

à la Terre, on voit que pour le Sélénite (l'habitant fictif de la Lune), les phases de la Terre vues de la Lune sont l'inverse des phases de la Lune, telles que nous, Terriens, nous les voyons. En effet, quand c'est la pleine Lune, la partie de la Terre qui fait face à la Lune est dans l'obscurité. On sait bien que la pleine Lune se lève quand le Soleil se couche et qu'elle se couche au lever du Soleil, donc depuis la Lune à ce moment-là, on ne "verra" que la Terre obscure, c'est-à-dire qu'on ne verra rien (*NDLR : la nouvelle Terre vue depuis la Lune est-elle totalement invisible ou l'atmosphère apparaît-elle lumineuse sur le limbe terrestre ? Voilà un problème que nous n'avons pas pu résoudre*). Pendant la nouvelle Lune, on voit que la partie de la Terre qui fait face à la Lune est bien éclairée : la nouvelle Lune n'est dans le ciel que pendant la journée.

La Terre éclairée par le Soleil, l'éclaire donc de son "Clair de Terre", mais pour nous qui sommes en plein jour, cela n'est pas visible. Il nous faut donc pouvoir l'observer la nuit, donc dans les quelques jours précédant ou suivant la nouvelle Lune, c'est-à-dire au début ou à la fin du cycle lunaire. La Lune est alors un fin croissant, visible dans le crépuscule du soir ou le crépuscule du matin, et comme la Terre vue de la Lune est encore très éclairée, la lumière cendrée est visible entre les cornes lumineuses.

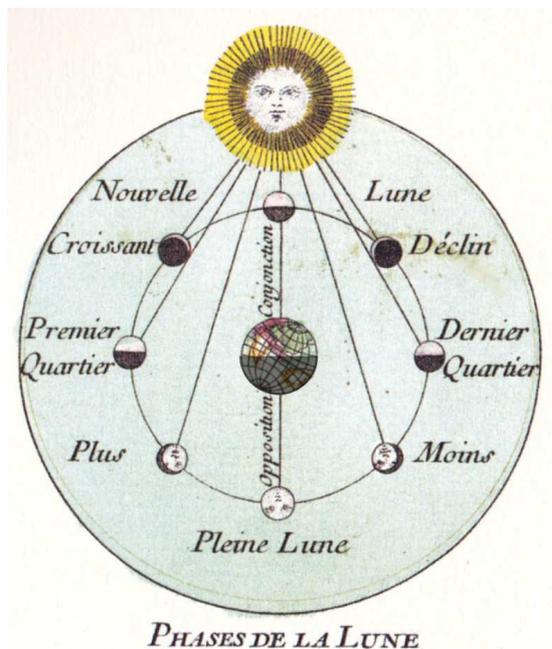


Fig.2. Les phases de la Lune d'après la *Cosmographie de l'académie des enfans*, un ouvrage de 1774 réédité par la bibliothèque de Noyers sur Serein (89).

La figure 3 montre le trajet de la lumière responsable de la lumière cendrée. La lumière du Soleil arrive sur la Terre, est réfléchiée par la Terre jusque sur la Lune, puis revient sur la Terre, où elle peut être observée depuis la partie non éclairée de la Terre. Au cours de ce trajet, la lumière a traversé trois fois l'atmosphère terrestre.

On notera que la Terre étant plus grande que la Lune, elle apparaît forcément plus grande vue depuis la Lune que la Lune vue depuis la Terre. Le clair de Terre sur la Lune sera donc plus intense que le clair de Lune sur la Terre.

La lumière cendrée est un très bon exemple de sujet scientifique qui, suivant les époques, est attentivement étudié ou négligé. On a très vite compris que le reflet de la Terre sur la Lune pouvait être analysé et donner des informations sur notre Terre. Dès 1914, Tikhov, un astronome russe, en conclut que la Terre vue de l'espace apparaît bleue. Dans "l'Astronomie populaire", Flammarion assure que les astronomes avaient deviné la présence de l'Australie avant qu'elle soit effectivement découverte, par la lumière cendrée, beaucoup trop claire pour avoir été produite par l'océan seul.

Nous n'avons malheureusement pas encore trouvé à quels travaux astronomiques Flammarion fait allusion, ni quel en fut l'auteur. Se serait-il laissé emporter par son imagination ? À l'heure actuelle, après avoir été longtemps négligée, la lumière cendrée est de nouveau l'objet d'observations et d'études par plusieurs équipes d'astronomes.

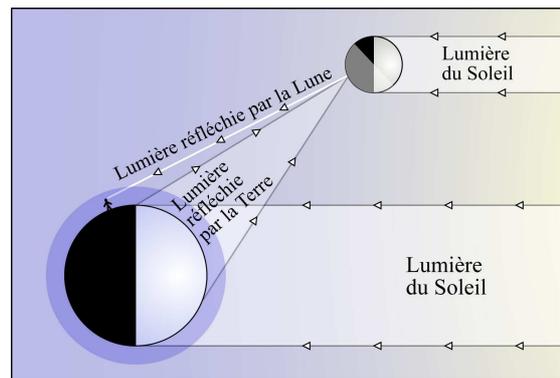


Fig. 3. Explication de la lumière cendrée.

Les études actuelles de la lumière cendrée

La découverte de la première planète extrasolaire en 1995, bientôt suivie de beaucoup d'autres puisqu'actuellement on en connaît plus de 500, a relancé de façon très vive les études de la recherche de la vie dans l'Univers. Plusieurs de ces planètes seraient éventuellement susceptibles d'abriter la vie (planètes telluriques, situées à la bonne distance de leur étoile). Cependant, aucune de ces planètes n'a pu, jusqu'à présent, être directement observée. On espère que cela sera possible dans un futur pas trop lointain, grâce aux progrès instrumentaux. Et comment, à ce moment-là, détecter la vie sur une planète qui apparaîtra, au mieux, comme un point ? On tente l'expérience en utilisant la seule planète connue jusqu'à présent pour abriter la vie, c'est-à-dire notre belle planète Terre, en observant la Terre dans sa globalité, comme le serait une planète vue de façon ponctuelle. Or la surface de la Lune étant rugueuse chaque point de la surface de la lumière cendrée reflète la totalité de la Terre comme on peut le voir sur la figure 3. On aurait pu faire des observations de la Terre depuis un engin spatial à très grande distance, mais aucun satellite ayant voyagé au delà du système solaire n'a été programmé pour de telles observations. Et quelles formes de vie rechercher ? Il est infiniment probable que la vie sur une planète extrasolaire aura des formes tout à fait nouvelles. Mais comme on ne connaît rien sur ces éventuelles nouvelles formes de vie, on recherche les traces de la vie telle que nous la connaissons sur Terre. Aucune forme de vie animale ne peut être détectée depuis une telle distance. Même la Grande Barrière de Corail, qui est la plus vaste colonie animale connue, ne pourrait être détectée d'au delà du système solaire. Cependant, la végétation recouvre de très vastes surfaces sur Terre : ainsi, la forêt amazonienne recouvre 7 millions de kilomètres carrés. On peut donc rechercher la chlorophylle terrestre dans le

spectre de la lumière cendrée de la Lune. Le spectre de "réflectance" de la végétation est présenté sur la figure 4.

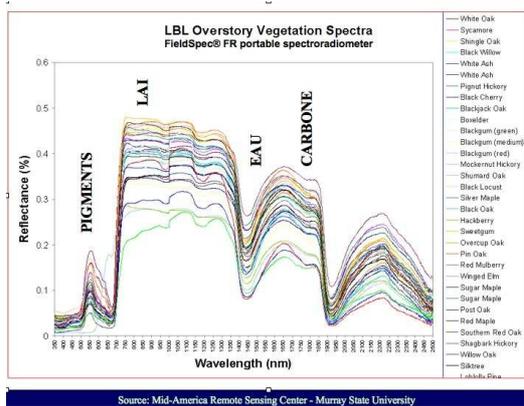


Fig.4. réflectance de la végétation.

Nous voyons que ce spectre, s'il présente une remontée d'intensité dans les longueurs d'onde correspondant à la couleur verte, ce qui explique que nous voyons l'herbe verte, présente une remontée d'intensité bien plus importante et très caractéristique, dans le proche infrarouge, à une longueur d'onde située entre 700 nm et 750 nm. Nous appelons cette remontée spectrale le "Vegetation Red Edge". Si nos yeux pouvaient voir dans l'infrarouge, l'herbe nous apparaîtrait "infrarouge".

Notons que la recherche de la végétation terrestre dans la lumière cendrée avait été prévue en 1912 par Arcichovsky, un astronome russe, dans l'intention de détecter de la végétation sur les planètes du système solaire, mais l'instrumentation de l'époque ne permettait pas une telle étude et bien évidemment sa suggestion avait été totalement oubliée. De façon indépendante, Jean Schneider, astronome à Meudon, eut la même idée en 1998. Depuis lors, la chlorophylle terrestre a été détectée

LAI signifie Leaf Area Index en français : Indice de Surface Foliaire (ISF) qui se définit comme étant la moitié de la surface totale occupée par les feuilles par unité de surface.

dans la lumière cendrée par plusieurs équipes d'astronomes français et d'astronomes américains. À partir d'observations au NTT (New Technology Telescope) de l'ESO (European Southern Observatory), nous avons obtenu une valeur de la remontée infrarouge de la chlorophylle de 4%, quand des continents, Europe et Afrique, font face à la Lune, et une valeur de 1,3% quand c'est l'Océan Pacifique. On détecte aussi des molécules atmosphériques de vapeur d'eau, d'oxygène moléculaire (dioxygène), d'ozone, de méthane, qui peuvent être des indicateurs d'une activité biologique.

Cependant, puisque les observations de la lumière

cendrée se font sur une Lune en forme de croissant, sous nos latitudes ce sont des observations de crépuscule, du soir ou du matin, donc des observations de durée assez brève. Les parties éclairées de la Terre qui font face à la Lune dépendent de l'emplacement du télescope. Ainsi, pour les observations faites depuis le Chili, le matin l'Europe et l'Afrique éclairées font face à la Lune, alors que pour les observations du soir, c'est l'Océan Pacifique. Heureusement, il nous reste d'autres possibilités : à de très hautes latitudes, les conditions de visibilité de la Lune ne sont pas les mêmes. À certains moments de l'année, la Lune dans les premiers jours et les derniers jours du cycle peut être vue pendant une grande partie du nyctémère³ (jour de 24 h), et même, si l'on est suffisamment proche du pôle, pendant le cycle complet de 24 h. Afin d'étudier de façon plus approfondie le spectre de la chlorophylle en fonction des "paysages" terrestres se reflétant sur la Lune, nous avons utilisé la station scientifique franco-italienne Concordia, située en Antarctique, au Dôme C, à une latitude de 75° sud. Nous avons mis en œuvre le programme LUCAS (LUMière Cendrée en Antarctique par Spectroscopie) pour lequel nous avons conçu et construit une instrumentation dédiée, télescope et spectrographe, que nous avons "antarctisée", c'est à dire que nous avons isolé et traité l'instrumentation afin qu'elle puisse fonctionner en Antarctique. En effet, les conditions à Concordia sont assez rudes (et ceci est bien évidemment un euphémisme). La station se trouve sur un plateau à 3220 m d'altitude. La température moyenne est de - 50,8 °C et la température minimale relevée est de - 84,4 °C. La nuit polaire dure 3 mois. La station Concordia et les études scientifiques qui y sont menées mériteraient un article complet. Des observations de la lumière cendrée ont été obtenues au cours de la deuxième saison d'hiver, après que nous ayons amélioré notre instrumentation afin qu'elle soit mieux adaptée aux extrêmes conditions physiques régnant au Dôme C. Les données d'observation obtenues sont actuellement en cours de traitement.

C'est un plaisir pour moi que de citer les principaux scientifiques du programme LUCAS : Luc Arnold, Stéphane Jacquemoud, Jean Schneider, Jérôme Berthier, Patrick Rocher, sans oublier, bien sûr, les vaillants hivernants de la station Concordia : Karim Agabi, Éric Aristidi, Erick Bondoux, Zalpha Challita, Denis Petermann et Cyprien Pouzenc. ■

³ Nyctémère : un nyctémère correspond à une période de 24 heures au cours de laquelle on observe, généralement, une alternance du jour et de la nuit.

Annexe : Notre bonne vieille Terre vue de la Lune

Danielle Briot

C'est un très bon exercice que de réfléchir sous quelles formes se présente notre Terre vue de la Lune. On s'échappe ainsi de notre système de référence habituel. Et l'on peut voir que de nombreux auteurs de science fiction n'ont pas toujours su se mettre à la bonne place.

Quelques rappels qui posent le problème : la Lune tourne autour de la Terre en 29,5 jours (lunaison), en présentant toujours la même face (en première approximation, nous négligerons la libration). La Terre tourne sur elle-même en 24 heures (durée du jour) et autour du Soleil en 365,242 jours (année tropique ou année des saisons). Ces grandeurs sont mesurées par rapport à la ligne Terre-Soleil

Comment voir la Terre depuis la Lune ? La Lune présentant toujours la même face à la Terre, depuis un point quelconque de la Lune, la position de la Terre sera fixe dans le ciel. On doit donc se placer sur ce qu'on a longtemps appelé "la face connue de la Lune". Si on est au centre de cette face, on verra toujours la Terre au zénith et si on est au bord de cette face, on verra toujours la Terre à l'horizon. On voit parfois des photos de la NASA légendées "lever de Terre sur la Lune", ou "coucher de Terre sur la Lune". De telles légendes sont fausses. Si on veut que la Terre se déplace dans le ciel lunaire, il faut que l'engin spatial se déplace, de la même façon que le Petit Prince sur sa planète déplaçait sa chaise quand il voulait voir un coucher de Soleil.

Quel est l'aspect de la Terre vue de la Lune ?

Supposons donc que nous sommes à un bon endroit sur la Lune. Nous avons vu que les phases de la Terre vues de la Lune sont l'inverse des phases de la Lune vues de la Terre. Par rapport à la Terre, nous avons l'avantage que, par suite de l'absence d'atmosphère sur la Lune, le ciel est noir et que la Terre éclairée sera visible sans interruption, sans l'alternance nuit-jour. Donc la Terre est vue plus ou moins éclairée et présente des phases suivant un cycle de 29,5 j... Au cours de ces phases la Terre apparaît comme un fin croissant, grossit jusqu'à apparaître comme une demi-Terre, en son premier quartier, et continue à grossir jusqu'à la pleine Terre. Ensuite, elle diminue, devient gibbeuse jusqu'au dernier quartier, et se présente de nouveau comme un croissant jusqu'à la nouvelle Terre.

Au cours d'un de ces cycles, la Terre apparaîtra successivement sur un fond d'étoiles correspondant aux différentes constellations du zodiaque. Il faudra simplement, pendant le jour lunaire éviter de regarder le Soleil dont la lumière est encore beaucoup plus dangereuse que sur Terre puisqu'elle n'est pas filtrée par une quelconque atmosphère.

Et pourtant elle tourne...

Pendant que la Terre tourne en son cycle de 24 heures, les différentes parties de la Terre font successivement face à la Lune. On verra donc tantôt des océans, qui occupent beaucoup de place sur la surface du globe terrestre, tantôt des continents, et ceci quelle que soit la phase de la Terre.

Donc, vous ne serez pas surpris lors de votre prochain séjour sur la Lune et vous pourrez faire un cours explicatif à vos compagnons de voyage. ■

