

LES LUMIERES DE LA NUIT

On parle volontiers de nuit noire, mais celui qui est amené à observer le ciel nocturne, qu'il soit amateur ou professionnel, sait qu'il n'en est rien. Les sources lumineuses naturelles, bien que faibles, sont nombreuses et apportent une clarté qui permet de voir les silhouettes des objets qui nous entourent et même de se diriger. De plus, notre oeil est un instrument merveilleux qui a la possibilité d'augmenter sa sensibilité d'un facteur 1000. Ce sont ces lumières de la nuit que nous allons étudier, de la clarté de la Lune à celle du fond du ciel, en passant par celle de la Voie Lactée. Cependant, dans une première partie nous nous intéresserons à l'oeil et à son adaptation à la vision nocturne.

L'OEIL ET LA VISION

Cônes et batonnets. La rétine est l'organe sensible de l'oeil. Elle comporte deux zones bien distinctes, pour lesquelles les cellules réceptrices ont des qualités très différentes.

La fovéa ou macula, située en face de la pupille, d'une surface de deux à trois millimètres carrés contient quelques six millions de cônes. Les cônes sont des cellules qui donnent une vision très nette, colorée, mais qui ne fonctionnent pas en dessous d'un certain seuil de sensibilité.

Le reste de l'oeil est tapissé de 130 millions de bâtonnets qui sont des cellules à faible pouvoir de résolution, sensibles au mouvement, et qui ont un seuil de sensibilité très faible.

Les cônes sont responsables de la vision nocturne, colorée, très piquée, les bâtonnets de la vision nocturne moins précise noir et blanc.

Le point aveugle ou papille, arrivée du nerf optique, correspond à une région de la rétine dépouillée de cellules sensibles. Il est situé à 2,5 mm de la fovéa. L'image du champ visuel qui se forme dans cette zone n'est pas transmise au cerveau. Notre vision est donc entachée en permanence d'un trou, mais les mouvements de l'oeil, rapides et imperceptibles déplacent à tout moment cette zone et on ne se rend généralement compte de rien !

L'expérience suivante permet de mettre en évidence l'existence du point aveugle. Tenir la feuille à bout de bras. Avec l'oeil gauche, fixer fortement le point de droite et rapprocher progressivement la feuille. A une certaine distance, le point de gauche disparaît : son image se forme au point aveugle. Si l'on continue à rapprocher la feuille, le point gauche redevient bientôt visible.

La pupille dose l'énergie lumineuse qui pénètre dans l'oeil. L'iris, coloré, est troué en son centre par la pupille, de diamètre variable qui dose la quantité de lumière qui pénètre dans l'oeil. Son diamètre varie de 1 à 7 mm, soit un flux d'entrée 50 fois plus grand quand la dilatation est maximale (c'est pour un temps d'exposition donné en photographie, le rapport d'ouverture entre un diaphragme de 22 à 2,8).

Adaptation aux faibles luminosités : dans l'obscurité, l'organisme libère dans la rétine un pigment, appelé pourpre rétinien, qui augmente beaucoup la sensibilité des bâtonnets. L'adaptation est complète au bout de 20 à 30 minutes et la sensibilité est multipliée par 1000. Ce pigment est détruit par toute source de lumière importante. Ainsi nous ne percevons bien les lumières de la nuit qu'après un temps d'accommodation, et il est important d'éviter pendant l'observation l'éblouissement d'une lampe ou de phares de voiture.

La sensibilité de l'oeil dépend de la longueur d'onde de la lumière reçue. Elle est maximale pour 0,56 micron (vert-jaune). Si la luminosité est faible, le maximum de sensibilité se déplace vers le bleu (phénomène connu sous le nom d'effet Purkinje).

En vision astronomique, lorsqu'on cherche à voir un objet très faible, une nébuleuse par exemple, il faut regarder à côté, sinon son image se forme au niveau de la fovéa, et comme l'objet est faiblement lumineux, les cônes ne sont pas stimulés et on ne voit rien. Dès que l'objet est repéré en vision périphérique et que l'on cherche à le fixer pour distinguer des détails, image sur la fovéa, il disparaît à nouveau.

LA COULEUR DE LA NUIT

L'obscurité n'est pas totale durant la nuit. La magnitude du ciel nocturne a été évaluée, soit 22,4 par seconde carrée en dehors de la Voie Lactée, soit une bougie à 57 m ou une lampe électrique de 150 W à 54 km. La nuit est-elle noire ou bleue ? La luminosité étant très faible, les cellules en cône de la vision diurne ne sont pas suffisamment excitées et ne donnent aucune information. La sensation de bleu qui est souvent perçue est due à l'effet Purkinje.

Si on réalise des photos du ciel étoilé avec des pellicules de marques différentes, on sera très surpris du résultat, certaines donnent un fond de ciel bleu, d'autres vert, et d'autres (Kodak en particulier) virent dans les tons bruns. Quel est le plus réel ? L'étude colorimétrique du fond du ciel donne une coloration plutôt rougeâtre, très différente de ce que l'on perçoit. En fait, le ciel nocturne est relativement plus riche en jaune et en rouge que le ciel diurne .

La pollution lumineuse : il est de plus en plus difficile de s'abriter de la pollution lumineuse pour observer les lumières de la nuit. La présence d'une grande ville se fait sentir à plus de 100 km, les lumières de Barcelone gênent les observations près de l'horizon à partir de l'Observatoire du Pic du Midi pourtant distant de 150 km. La zone Paris, Bruxelles, La Haye, Londres présente une telle pollution lumineuse qu'il est impossible d'y voir le ciel profond. Une ville de cent mille habitants est détectable à plus de 30 km comme une cloche rougeâtre au-dessus de l'horizon.

La clarté nocturne est due à cinq sources différentes que nous allons étudier : le clair de Lune, les étoiles, la Voie Lactée, la lumière zodiacale, la clarté atmosphérique.

LE CLAIR DE LUNE

La Lune réfléchit une faible quantité de l'énergie qu'elle reçoit du Soleil, le sol lunaire en absorbant 93%. Le clair de Lune dépend essentiellement de la phase et il est maximal à la pleine Lune. La Lune est alors 450 000 fois moins lumineuse que le Soleil mais, à la lueur on peut sans problème lire le journal (on doit ici, une fois encore, s'émerveiller de la capacité d'adaptation de notre rétine).

Luminosité variable. A cause du rayonnement oblique et des zones d'ombre, la luminosité du premier quartier n'est que le douzième de celle de la pleine Lune. De plus les mers, sombres, réfléchissent moins que les montagnes, aussi le dernier quartier est-il onze fois moins lumineux que le premier.

L'éclat de la Lune peut être considérablement affaibli par l'absorption atmosphérique, importante en particulier lorsque la Lune est basse sur l'horizon. Le croissant est visible au crépuscule, le premier quartier dans la soirée, la pleine Lune toute la nuit et le dernier quartier au petit matin.

L'éclat de la pleine Lune correspond à celui d'une lampe de 40W à 15m. On trouvera, dans le tableau suivant, la luminosité de la Lune selon son âge, la luminosité de la pleine Lune étant prise égale à 100 :

âge	1	3	5	7	9	11	13
luminosité	0	0,5	3	8,5	22	42	100

La couleur de la lumière lunaire : l'analyse de la lumière réfléchiée par la Lune montre qu'elle est polarisée et appauvrie en bleu. Il est donc très étonnant qu'au cinéma ou au théâtre on simule un éclairage lunaire par des projecteurs bleutés. Cette impression est encore due à l'effet Purkinje dont nous avons déjà parlé plus haut.

Le pouvoir décolorant de la Lune : selon de nombreux dictons, la Lune a le pouvoir d'altérer les teintés et de décolorer les tissus plus encore que le Soleil. D'ailleurs, autrefois, on séchait les grandes lessives à la pleine Lune et le blanchiment sur pré a fait la réputation des toiles de Gérardmer. Il faudrait admettre des qualités très spéciales à la lumière lunaire pour que son action soit aussi importante ; on pourrait ainsi supposer l'existence d'un composé chimique oxydant qui serait synthétisé uniquement par la lumière lunaire. Or, en présence d'un support liquide (vapeur d'eau, rosée de l'atmosphère) des oxydants naturels pourraient se dissoudre et expliquer ces propriétés mystérieuses sans intervention de la Lune. Parmi ces oxydants, on a pensé à l'ozone et au peroxyde d'azote. Le premier est beaucoup trop rare pour expliquer les effets observés, par contre le second en solution devient l'eau oxygénée qui est bien connue pour son pouvoir décolorant. La lumière plate de la Lune, juste en dessous du seuil de sensibilité des cônes, donc de la vision des couleurs vient renforcer cette impression de décoloration. Enfin, si on voit la Lune, le ciel est dégagé et le refroidissement nocturne est maximal, d'où une importante condensation qui renforcera les effets. Ainsi s'expliquent certaines traditions comme celle de marcher pied nu dans l'herbe au petit matin ou de se laver le visage avec de la rosée comme le faisaient les belles en Italie au XVII^{ème} siècle...

Eclipses de Lune : elles ne peuvent avoir lieu qu'à la pleine Lune, mais il ne s'en produit pas une à chaque lunaison car les orbites de la Lune et de la Terre ne sont pas dans un même plan. L'éclipse peut être partielle ou totale. La Lune passe alors complètement dans le cône d'ombre de la Terre et ne reçoit plus l'éclairage direct du Soleil. Par contre, elle reçoit des rayons diffusés par l'atmosphère terrestre et par suite rougit. La couleur de plus en plus rouge brique des dernières éclipses est une preuve indiscutable de l'augmentation de la pollution atmosphérique terrestre.

LA LUMIERE DES ETOILES

Les étoiles sont des soleils tellement éloignés que dans le plus puissant télescope du monde leur image reste un point lumineux. Les étoiles du ciel nocturne se distinguent par leur couleur (rouge pour Bételgeuse, Antarès, Aldébaran, bleue pour Rigel, Véga) et par leur éclat. On définit ainsi la magnitude d'une étoile qui est un nombre d'autant plus grand que l'éclat est faible. Les étoiles très brillantes ont une magnitude 0, les étoiles de la Grande Ourse 2, les étoiles à la limite de la visibilité de l'oeil nu la magnitude 6.

On estime qu'il y a environ six mille étoiles visibles à l'oeil nu, un million de magnitude inférieure à 11 et un milliard de magnitude inférieure à 20. Les étoiles visibles ou invisibles contribuent à raison de 25 à 35% à la luminosité du ciel.

Paradoxe d'Olbers : après bien d'autres, Olbers vers 1830 s'étonnait de la faible luminosité du ciel nocturne. Il pensait que si le peuplement en étoiles était homogène et isotrope, et si l'Univers était infini, la luminosité du ciel nocturne devait être bien plus importante que ce qu'elle est. En effet, sur une couche sphérique de rayon deux fois plus grand, la surface étant multipliée par 4, il y a 4 fois plus d'étoiles qui ont une luminosité 4 fois plus faible puisque deux fois plus éloignées. Ainsi la contribution de chaque couche est donc la même et le rayonnement du fond du ciel devrait être cent mille fois plus important, correspondant à une température de rayonnement de 6000 K.

En fait, le fond du ciel semble noir et ce problème est très compliqué. Il faut faire intervenir la matière interstellaire, la distribution des étoiles et des galaxies, l'expansion de l'Univers, ... L'unanimité sur la couleur du ciel nocturne n'existe pas encore.

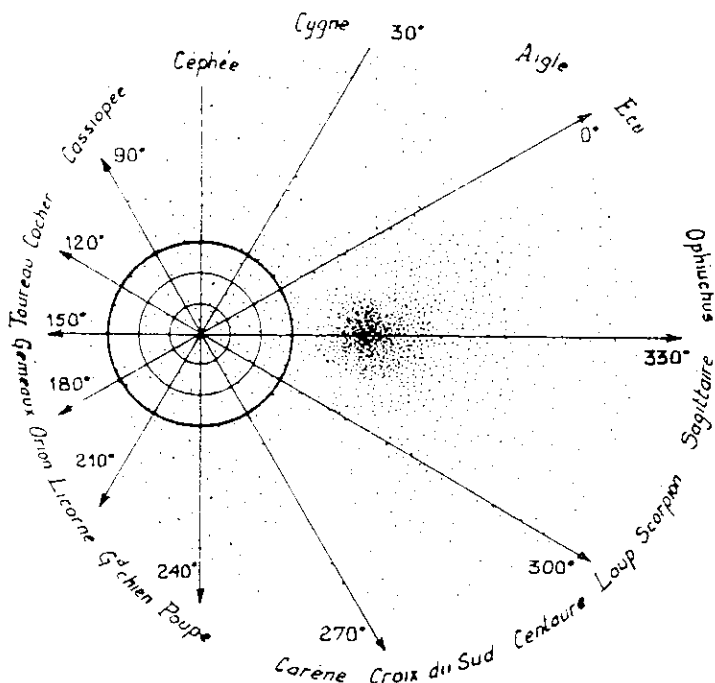
Autres objets brillants : en plus de la clarté des étoiles, il faut penser aux planètes et aux comètes et autres objets visibles à l'oeil nu. La planète la plus brillante est Vénus lorsqu'elle est proche de son maximum d'éclat; ensuite il faut citer Jupiter et Mars au moment des oppositions. Les comètes visibles à l'oeil nu sont rares et d'autant plus inoubliables ; citons la comète Arend Roland en 1956, la comète West en 1975, Halley décevante en 1986, Iras Iraki Alcor en 1987...

A l'oeil nu, on peut apercevoir dans le ciel nocturne des petites taches diffuses que Messier a appelées des nébuleuses. Les objets en question sont des amas ouverts comme les Pléiades, l'amas de la Crèche ou l'amas double de Persée, des nébuleuses gazeuses comme la nébuleuse d'Orion ou des galaxies comme la galaxie d'Andromède. Ces objets, il est vrai ne participent que faiblement à la clarté nocturne.

LA VOIE LACTÉE

C'est un ruban laiteux qui ceinture tout le ciel et qui a de tout temps suscité la curiosité. La légende veut que Junon, épouse de Jupiter, ait refusé d'alimenter les enfants de Maïa, mère de Mercure, ainsi que ceux d'Alcmène, mère de Hercule, toutes deux maîtresses de Jupiter. Hercule fut placé sous le sein de Junon pendant son sommeil ; à son réveil, elle le repoussa, laissant ainsi le lait se répandre sur la voûte céleste.

Cette trainée lumineuse traverse le ciel de Cassiopée au Cygne où elle se partage en deux. C'est la trace de notre galaxie sur le fond du ciel. Le télescope montre que sa lueur provient d'une myriade d'étoiles, toutes trop faibles pour être visibles à l'oeil nu mais dont les éclats additionnés produisent une lueur certaine.



La distribution des étoiles dans le ciel (50 étoiles visibles à l'oeil nu dans Pégase, 150 dans Cassiopée, ...) et surtout la distribution des amas globulaires qui sont des satellites de la Galaxie ont permis de comprendre la position un peu marginale du Soleil dans l'ensemble des deux cents milliards d'étoiles que réunit la Galaxie. Selon la direction visée, dans le plan de la Galaxie ou en dehors, le nombre d'étoiles observées, le nombre de galaxies observables, seront très différents.

Le tiers des étoiles brillantes ($m < 3,5$) sont dans la Voie Lactée et cette proportions augmente pour les étoiles faibles. La réunion de toutes les étoiles brillantes de la Voie Lactée a une magnitude globale de $-2,7$ et celle de l'ensemble, y compris les étoiles faibles est de $-4,7$. Comme la moitié seulement de la Voie Lactée est en même temps au-dessus de l'horizon, sa magnitude dans le ciel nocturne est de -4 .

Si toutes les étoiles étaient uniformément distribuées sur le ciel sans être discernables individuellement, elles produiraient une lueur équivalente à 105 étoiles de magnitude 10 par degré carré. Comme l'hémisphère au-dessus de l'horizon comporte 20 626 degrés carrés, l'illumination du ciel nocturne correspond à celle de 2,17 milliards d'étoiles de magnitude visuelle égale à 10. Cette luminosité notée S 10 est une référence pour chiffrer les différentes composantes de la luminosité du ciel nocturne.

LA LUMIERE ZODIACALE

Ne s'imposant nullement au regard, elle réclame un oeil averti et attentif pour se laisser contempler. C'est une clarté très diffuse, en forme d'immense fuseau, s'élevant plus ou moins obliquement dans le ciel au dessus du crépuscule finissant ou avant l'aurore. Sa visibilité est très variable d'une époque de l'année à l'autre et dépend également de la latitude de l'observateur. Il faut la rechercher, par des nuits sans Lune, loin des lumières parasites, au voisinage de l'équinoxe, au printemps le soir, et en automne le matin.

Sa dénomination est motivée par le fait qu'elle s'étend le long du zodiaque. Mentionnée dans les observations des Anciens, elle a été étudiée pour la première fois par J-D.Cassini et N.Fatio.

Visibilité de la lumière zodiacale : aux solstices, très faiblement inclinée sur l'horizon, elle monte à peine jusqu'à 20° de hauteur, elle est quasiment inobservable dans le crépuscule. Aux équinoxes, elle atteint facilement 45° de hauteur sur l'horizon et est observable pendant près de deux heures. Suivant le Soleil dans sa ronde quotidienne, elle s'enfonce progressivement le soir sous l'horizon Ouest.

Dans les bonnes conditions de visibilité, la lumière zodiacale forme un cône d'une largeur de 25 à 30° sur l'horizon et qui peut atteindre 70 à 80° de long. Pour qui l'a observée une fois, cela devient un spectacle facile. La lumière zodiacale est responsable du quart de la brillance totale du ciel nocturne.

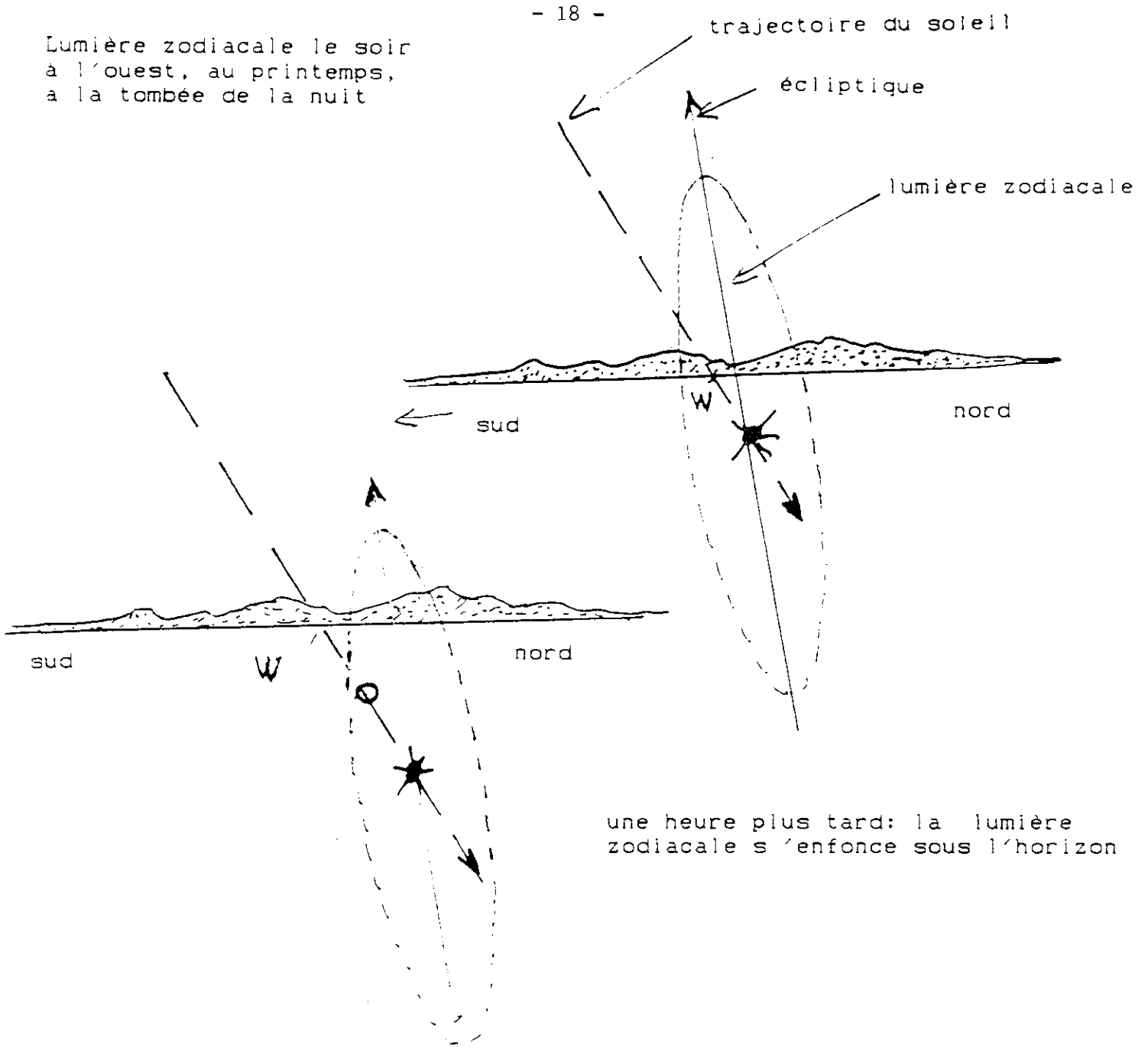
Nature de la lumière zodiacale : le spectre de la lumière zodiacale est identique à celui du Soleil, il s'agit donc de lumière solaire diffusée par des poussières et des électrons libres. L'axe du fuseau est incliné de 7° sur l'écliptique et correspond en fait au plan équatorial du Soleil et à la trajectoire de Vénus. Il semblerait donc qu'il existe un anneau de matière dans le plan équatorial du Soleil comme il existe un système d'anneaux autour des planètes géantes.

Le nuage zodiacal est très ténu, sa masse est de l'ordre de 10 exposant -10 fois la masse de toutes les planètes et a une masse volumique de 10 exp -23 g par cm cube à une unité astronomique du Soleil avec des particules de 1 à 100 microns ce qui représente moins de dix particules zodiacales dans un cube de 100 m de côté, au niveau de la Terre.

Le gegenschein : en 1803, A von Humbolt met en évidence le gegenschein ou lumière antisolaire. Le gegenschein est un prolongement de la lumière zodiacale qui marque un maximum relatif de luminosité au point diamétralement opposé au Soleil, le point antisolaire. Il est formé par la diffusion de la lumière par des particules, dans la direction de la source.

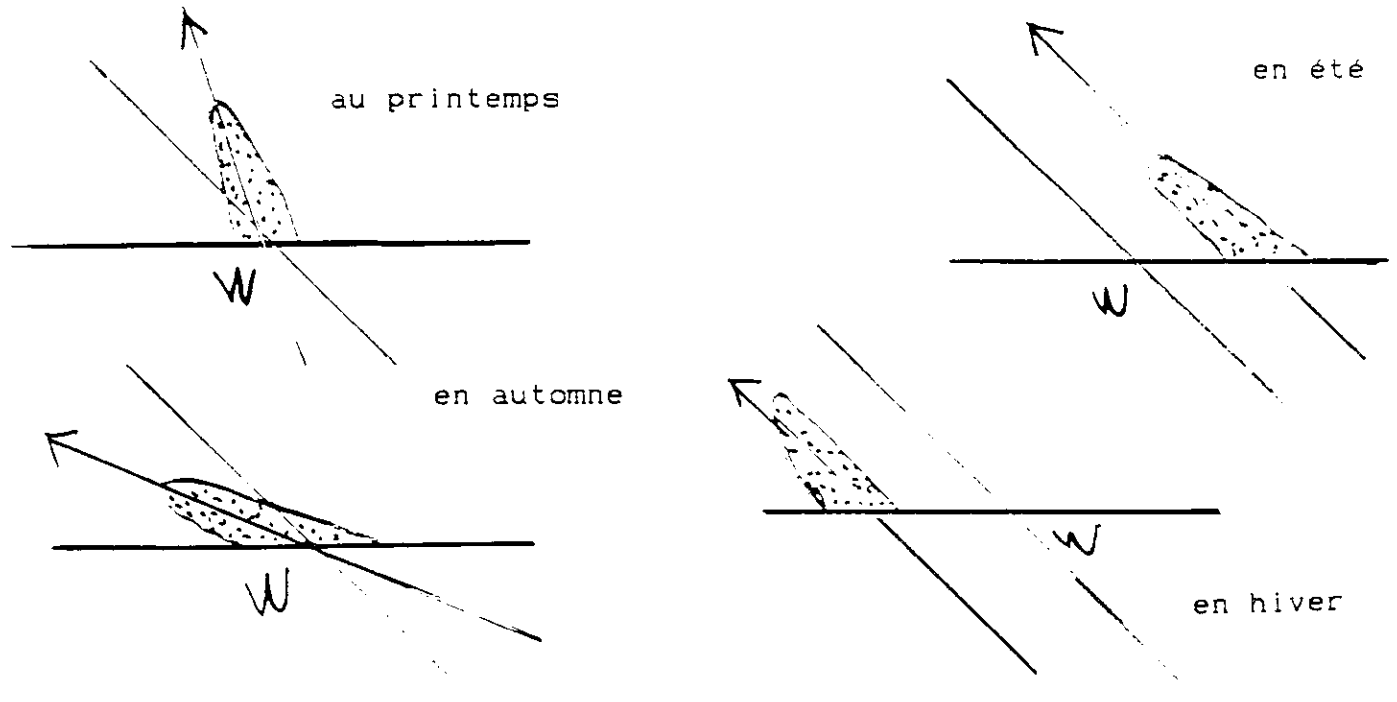
Le gegenschein apparaît dans des mesures photométriques mais semble invisible à l'oeil nu ou même sur les photos à longues poses après de nombreuses tentatives.

Lumière zodiacale le soir à l'ouest, au printemps, à la tombée de la nuit

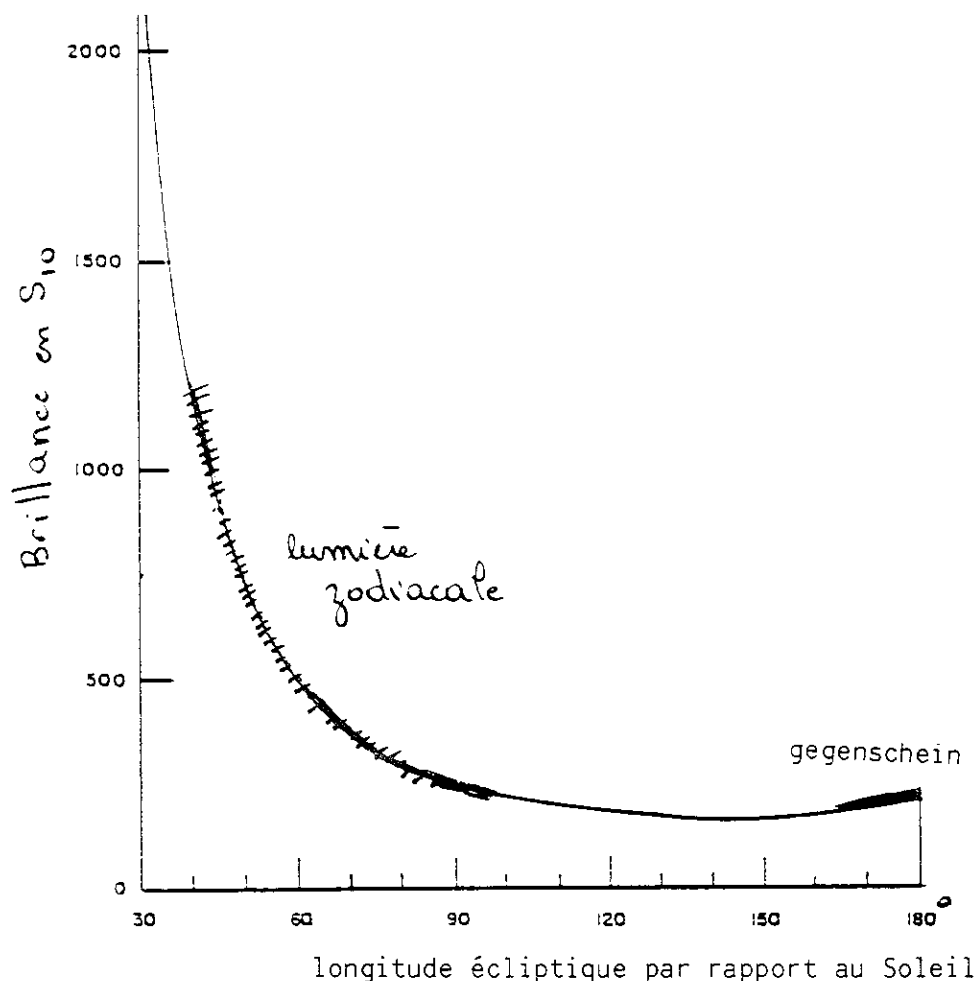


une heure plus tard: la lumière zodiacale s'enfonce sous l'horizon

Lumière zodiacale vers l'ouest aux différentes saisons.



Distribution de la lumière zodiacale



L'AURORE GENERALE PERMANENTE OU NIGHTGLOW

Si l'on fait le bilan des contributions partielles des étoiles, de la Voie Lactée et de la lumière zodiacale à la luminosité nocturne, on est loin d'arriver à 100%. Il existe une source de lumière qui nous a échappé. Elle est pourtant très proche de nous, il s'agit de l'atmosphère terrestre.

Écoutons l'astronaute américain Joseph Allen en train de survoler la face de la Terre dans la nuit : "Je crois que je m'étais imaginé que je saurais toujours où la Terre se trouverait, même dans le noir. Il y aurait eu, soit des lumières visibles au sol, soit la lueur du Soleil sur le point de se lever filtrant de l'horizon. Au lieu de tout cela, je trouvai le noir le plus noir que j'aie jamais vu. Le meilleur moyen de retrouver la Terre dans le noir, c'est de suivre la piste des étoiles jusqu'à ce qu'elles disparaissent. Quand elles ont disparu, c'est que la Terre a intercepté leur lumière." Ainsi, hors de l'atmosphère, la nuit est noire.

L'ionosphère : les hautes couches de l'atmosphère réagissent sous l'effet du Soleil. La matière y est ionisée. Ces couches constituent l'ionosphère et réfléchissent les ondes radio. Elles se situent dans la haute mésosphère et dans la thermosphère. La couche E entre 100 et 160 km d'altitude est encadrée par la couche D en dessous de 100 km et par la couche F à plus de 160 km. Cette couche se subdivise d'ailleurs en deux couches F1 et F2 (F2 au dessus de 250 km). L'ionosphère se manifeste aussi par un phénomène de luminescence.

L'aurore générale permanente ou nightglow : une partie de la luminosité des nuits sans Lune est due à cette luminescence dont la clarté est aussi intense que celle de toutes les étoiles réunies. Parfois la luminescence est exceptionnellement importante, liée à des grosses éruptions solaires, et on parle alors de nuit claire. Au cours de telles nuits, où l'on peut lire les titres du journal à contre nuit, certaines étoiles faibles sont invisibles et on distingue parfois des bandes claires dans le ciel. Le phénomène peut se prolonger sur plusieurs nuits.

CONCLUSION

Ainsi, par les nuits sans Lune, la luminosité du ciel nocturne provient, presque à parts égales, des étoiles, de la Voie Lactée, de la lumière zodiacale, si souvent ignorée, et de l'aurore générale permanente. Nous aborderons une autre fois les phénomènes lumineux occasionnels, halos, aurores polaires ou autres nuages noctilucents.

Françoise Suagher (Besançon, 1990)
