

*Nos lecteurs demandent...*  
**Le rayon vert**

par Luc DETTWILLER  
Comité de Rédaction

---

Nous avons reçu d'un collègue la question suivante :

Dans son dernier numéro (n° 943 - avril 1996) *Science et vie* propose en réponse à la «question du mois» une explication biologique du rayon vert, appuyée par la description d'une expérience. Cette lecture m'a rappelé une explication physique celle-là, que j'avais lue dans un article de M. HENRY (Université Pierre et Marie Curie, Paris) paru dans le B.U.P. (n° 701 - février 1988), également justifiée par une expérience.

\* \* \*

Je suis surpris de voir la revue *Science et vie* mettre en avant, l'explication uniquement physiologique du rayon vert par un phénomène de post-image. Celle-ci n'est sans doute pas à exclure dans certains cas, mais un grand nombre de données d'observation «visuelle» ou «objective» ne peuvent s'expliquer par elle, et ce sont ces données qui méritent vraiment d'être appelées «rayons verts» ; pour elles, l'explication physique est indispensable. Sur ce point, le journaliste de *Science et vie* paraît donc fort mal renseigné.

En ce qui concerne les **données d'observation visuelle**, on peut en trouver trois, qui sont rapportées par M. MINNAERT dans un ouvrage ([1], pp. 62-63) considéré comme une «bible» sur les phénomènes optiques naturels, disponible dans une réédition récente [2] :

«It used to be thought that the green ray might be a physiological after-image in the complementary colour of the last vestige of the red setting sun. This supposition is sufficiently refuted by the fact that the green ray can also be seen when the sun is rising, though it is then more difficult to know where to look in anticipation of the appearance of the light. One must find the brightest point or take as an indication the crepuscular rays or Haidinger's brush. Another argument is that the green ray can only be seen when the distance to the horizon is sufficiently great ; though this would not affect the

after image in any way, it is naturally very important as regards curvature of the rays» (c'est moi qui souligne).

La durée habituelle du phénomène de rayon vert est de l'ordre de la seconde, comme le phénomène de post-image. L'explication physique rend bien compte aussi de cette durée. Je cite un extrait d'une conférence que j'ai prononcée ([3], pp. 8-9) :

«Rayon vert - voir [4], pp. 83-86.

A partir des valeurs numériques indiquées dans cette référence, il est facile de calculer un ordre de grandeur de la durée de ce fugitif rayon vert. Considérons, pour simplifier, que le Soleil se couche (ou se lève) perpendiculairement à l'horizon, comme ce serait le cas à l'équateur au moment de l'équinoxe ; il disparaît (ou apparaît) donc à la vitesse angulaire de  $360^\circ$  par jour, i.e.  $15''$  par seconde, dans son mouvement relatif.

Or, pour des distances zénithales  $Z$  pas trop proches de  $90^\circ$ , on sait que la valeur de la réfraction atmosphérique  $R$  est donnée (voir [4] p. 84) par :

$$R \equiv (n_s - 1) \tan Z \quad (8)$$

où  $n_s$  est l'indice de l'air au niveau du sol, sous réserve que l'indice de l'air varie avec le point en fonction de son altitude uniquement. Dans ces approximations on note que, pour une valeur donnée de  $n_s$ ,  $R$  ne dépend pas du profil de variation de l'indice de l'air en fonction de l'altitude : alors des couches horizontales d'air chaud et froid ne déforment pas l'image du Soleil. Mais si la distance zénithale est proche de  $90^\circ$ , c'est-à-dire si le Soleil est voisin de l'horizon, on sort du cadre de ces approximations, et il est possible que des couches horizontales d'air chaud et froid donnent une image sinueuse du limbe solaire : car l'expression de la réfraction atmosphérique pour un astre sur l'horizon devient beaucoup plus complexe (la relation précédente n'est plus valable, puisque  $\tan Z \rightarrow \infty$  si  $Z \rightarrow 90^\circ$ ).

On sait cependant que, dans les conditions usuelles, la réfraction atmosphérique vaut  $35,5'$  pour un astre sur l'horizon, et on voudrait trouver la valeur de la petite variation de la réfraction à l'horizon en fonction de la longueur d'onde, du rouge au vert : on connaîtra ainsi le petit décalage angulaire entre les images rouge et verte du Soleil, responsable du phénomène de rayon vert (voir [4] p. 86, fig. 14).

Compte tenu de la petitesse de  $n_s - 1 \cong 3.10^{-4} \ll 1$ , la réfraction atmosphérique  $R(Z)$  à l'horizon sera très bien représentée, en fonction de  $n_s$ , par son développement limité à l'ordre 1 en fonction de  $n_s - 1$ ,  $R(Z) \cong k(Z) \times (n_s - 1)$ , la constante  $k(Z)$  dépendant du profil de variation d'indice. La variation de longueur d'onde entraîne une variation d'indice  $\Delta n_s$  telle que :

$$\frac{\Delta n_s}{n_s - 1} \approx \frac{1}{94}$$

du rouge au bleu, et :  $\sim \frac{1}{120}$  du rouge au vert ;

ceci donne donc la variation relative de réfraction :

$$\frac{\Delta R(Z)}{R(Z)} \approx \frac{\Delta n_s}{n_s - 1}$$

L'écart angulaire entre les images rouge et verte du Soleil sur l'horizon est donc :

$$\Delta R(Z) \cong R(Z) \times \frac{\Delta n_s}{n_s - 1} \approx 35,5' \times \frac{1}{120} \approx 18''$$

On trouve ainsi que l'on peut voir dépasser l'image verte (alors que l'image rouge est en dessous de l'horizon) pendant 1 s environ ; c'est bien l'ordre de grandeur observé, qui est la durée du rayon vert».

En se plaçant dans des conditions différentes de celles utilisées pour ce calcul - par exemple l'observateur fixe, la réfraction normale, et le soleil se couchant (ou se levant) perpendiculairement à l'horizon - la durée du rayon vert peut être très nettement rallongée, et cela se comprend par l'explication physique mais pas par l'explication physiologique. De tels faits sont encore rapportés par M. MINNAERT (*op. cit.*, p. 59) :

«Once, by running up the slope of a dyke, 6 yards high, I was able to watch the green ray for 20 seconds ; it became at times bluer, at times whiter, according as my own pace was too slow or too fast. [...] In one very special case of abnormally strong ray curvature it has been seen for 10 seconds and longer. The Portuguese Gabo Continho was able to observe it for any length of time in the light of a distant lighthouse.

During Byrd's expedition to the South Pole, the green ray was observed for 35 minutes, while the sun, rising for the first time at the close of the long polar night, was moving exactly along the horizon».

De même, E. PARIZOT indique ([5] p. 17) qu'«à Hammerfest en Norvège, par 79° de latitude Nord, [le rayon vert] peut durer jusqu'à 14 minutes en plein cœur de l'été, 7 minutes au coucher, et 7 minutes au lever qui le suit immédiatement».

Enfin, un protocole expérimental d'observation du rayon vert cherche justement à éviter l'effet de post-image, soit avec des jumelles ou un télescope (et de grandes précautions !) pour augmenter les chances de succès, soit à l'œil nu comme suit ([6] p. 53) :

«...la meilleure façon de voir le rayon vert est d'être deux, sachant que l'un des deux se sacrifie pour prévenir l'autre. En effet, si on regarde le soleil se coucher, les dernières lueurs sont trop intenses et la persistance visuelle va masquer le rayon vert. Il faut regarder le soleil juste au bon moment, pendant le quart de seconde où se produit le phénomène. L'un des deux observateurs suit le coucher du soleil pendant que l'autre tourne le dos au soleil. A l'instant où le premier voit le soleil disparaître il donne un signal à l'autre qui se retourne et peut espérer voir une tache vert pomme qui disparaît à l'horizon. Si on opère seul, on peut éviter de se laisser éblouir en regardant le soleil à travers ses doigts» (voir aussi [1] p. 59).

Les **données d'observation objective** sont simplement les photographies en couleur du rayon vert. M. MINNAERT signale qu'on en a obtenu sur plaques autochromes ([1], p. 63), donc cela date d'avant 1954. Il est alors curieux de lire, dans l'introduction de l'article récent d'E. PARIZOT ([5], p. 16) : «A l'instant précis où le soleil disparaît sous l'horizon, une étrange lueur verte surgit parfois. Illusion d'optique ou, comme l'a écrit Jules Verne, simple parabole de la découverte amoureuse ? On a longtemps hésité jusqu'aux premières photographies, prises récemment» (c'est moi qui souligne). D'après une autre source ([6], p. 53), la première photographie du rayon vert a été réalisée par le père jésuite Treusch, opérant à l'observatoire du Vatican, à Castel Gondolfo en 1954, avec un télescope de 65 cm de focale. Il est possible de voir des photographies du phénomène dans les références suivantes : [5] p. 17-18 ; [6] p. 55 ; [7] p. 13 ; [8] planche 2 ; [9] diapositive numéro 14. Précisons que la couleur verte bien saturée de ce dernier rayon n'est

pas bien restituée par la pellicule photographique, dont l'équilibre n'est pas prévu pour cela.

Mais en fait, toutes ces photographies ne montrent que ce que MINNAERT appelle le «segment vert» ; et elles correspondent bien à la description qu'il en donne ([1], p. 60) : le dernier segment du soleil couchant, visible juste au dessus de l'horizon, verdit d'abord à ses extrémités (parce que ce sont elles qui sont les plus basses sur l'horizon parmi tout le segment), et cette teinte verte gagne progressivement le centre du segment. Selon MINNAERT, il existe en plus deux autres formes de rayons vert : le «bord vert» qui apparaît au bord supérieur du soleil couchant pendant une dizaine de minutes et s'élargit au fur et à mesure que le soleil «descend», tandis que le bord latéral ou inférieur paraît rouge (voir photographie en [6] p. 54) ; et le «vrai rayon vert», dont je n'ai jamais vu de photographie : il n'est observé que beaucoup plus rarement, et prend l'aspect d'une flammèche verte qui semble jaillir de l'horizon au moment précis de la disparition du soleil. Le bord vert est visible aussi lors du passage de la lune, ou de Jupiter ou de Vénus sur l'horizon (voir photographie en [6], p. 52) ; ce phénomène est bien observé par les astronomes amateurs chevronnés.

Le vrai rayon vert s'explique par un effet de mirage supplémentaire, qui se rajoute à la réfraction atmosphérique normale. Une question reste cependant controversée : est-il nécessaire qu'il y ait une réfraction anormale pour que le segment vert apparaisse ?

Pourquoi le rayon vert fait-il encore couler de l'encre, alors qu'il n'y en a pas d'autre explication sérieuse ? Est-ce aussi parce que, comme le dit la légende, «qui apercevra le rayon vert verra clair dans son cœur et dans celui des autres...» ?

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] M. MINNAERT : *«The nature of light & color in the open air»*, Dover, New-York, 1954.
- [2] M. MINNAERT : *«Light and Color in the Outdoors»*, Springer Verlag, Berlin, 1993.
- [3] L. DETTWILLER : *«Phénomènes chromatiques en optique et leurs applications naturelles - Aide à l'enseignement des nouveaux*

- programmes des lycées*», Conférence de l'Université d'été «Lumière, sons et ultrasons», ADASTA, Clermont-Ferrand, 1994.
- [4] L. DETTWILLER : «*Qu'est-ce que l'optique géométrique ? - fondements et applications*», Dunod, Paris, 1990.
- [5] E. PARIZOT : «*Optique géométrique - Mythe ou réalité ? A la poursuite du rayon vert*», hors-série Sciences et Avenir, n° 100, pp. 16-21, avril-mai 1995.
- [6] F. SUAGHER et J.-P. PARISOT : «*Jeux de lumière - Les phénomènes lumineux du ciel*», Cêtre, Besançon, 1995.
- [7] M. HENRY : «*Phénomènes naturels - Optique atmosphérique*», Auvergne Sciences - Bulletin de l'ADASTA, n° 33, pp. 11-21 (mars 1995).
- [8] P. LÉNA et A. BLANCHARD : «*Lumières - Une introduction aux phénomènes optiques*», InterÉditions, Paris, 1990.
- [9] Diapositives du CLEA, série D1 «*Les phénomènes lumineux*», (26, rue Bérengère - 92210 SAINT-CLOUD).