

ARTICLE DE FOND

Quelle est la couleur du Soleil ?

Pierre Causeret

Le problème n'est pas si simple et la question revient régulièrement au sein du CLEA. Les réponses varient du jaune au bleu en passant par le blanc et le vert. Nous allons essayer d'apporter des éléments de réponse les plus clairs possibles.

Voici trois opinions différentes mais on peut en entendre encore d'autres :

- Le Soleil est jaune, tout le monde le sait ; d'ailleurs même les enfants le dessinent jaune.

- Le Soleil est blanc puisque, par définition, le blanc c'est la lumière naturelle.

- Le Soleil est vert puisque son maximum d'émission est dans le vert.

Qui a raison ? Pour tenter de répondre à la question "quelle est la couleur du Soleil ?", il faut tout d'abord définir ce que l'on entend par couleur. Pour les physiciens, chaque radiation a une longueur d'onde. On peut dire que la couleur d'un laser, c'est sa longueur d'onde, la notion est bien définie car la lumière est monochromatique, ce qui signifie qu'il n'y a qu'une seule longueur d'onde. Il ne faut pas confondre ce terme avec monochrome : dans un tableau monochrome, les différentes parties du tableau sont vues d'une même couleur mais cette couleur unique est constituée de différentes longueurs d'onde.

La figure 1 représente les couleurs des différentes longueurs d'onde entre 380 et 780 nanomètres, donc dans le domaine de la lumière visible, telles que nous pouvons les observer dans un spectroscopie dirigé vers une lampe à incandescence.

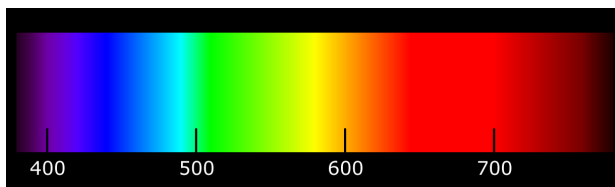


Fig.1. Couleur et longueur d'onde (en nanomètres).

Mais, pour la plupart des sources lumineuses comme le Soleil, la lumière n'est pas monochromatique, elle est composée de différentes longueurs d'onde. On s'en convainc facilement en regardant un arc-en-ciel ou en décomposant la lumière avec un prisme comme Newton ou encore avec un réseau. Le problème de la couleur de la lumière se complique.



Fig.2. Dans un arc-en-ciel, les gouttes de pluie décomposent la lumière du violet au rouge à la manière d'un prisme même si, comme le montre la théorie, chacune des zones colorées n'est pas monochromatique.

Qu'est-ce que la couleur d'une lumière polychromatique ? Et si c'était simplement la couleur de la longueur d'onde dans laquelle l'intensité est maximale ? La lumière que l'on reçoit du Soleil a son maximum entre 500 et 550 nanomètres (figure 3) donc dans le vert. Il faudrait donc dire que le Soleil est vert (figure 4). Cela choque puisque le Soleil ne nous apparaît pas de cette couleur. Le maximum d'émission est une notion intéressante pour les physiciens, mais ce n'est pas ce que voit notre œil. Il nous faut donc raisonner autrement.

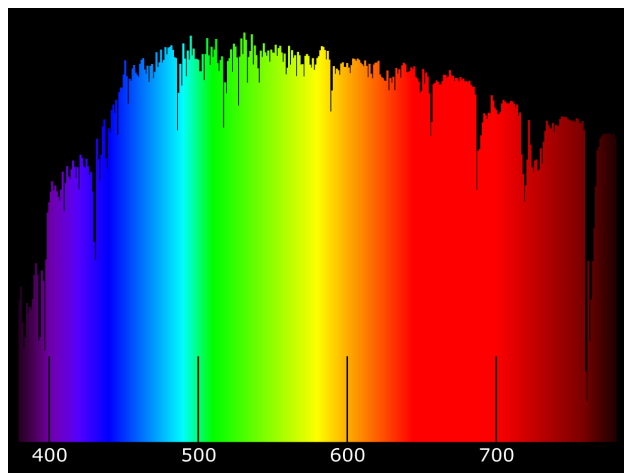


Fig. 3. Spectre de la lumière solaire reçue au niveau de la mer (schéma réalisé d'après les données du Renewable Resource Data Center).

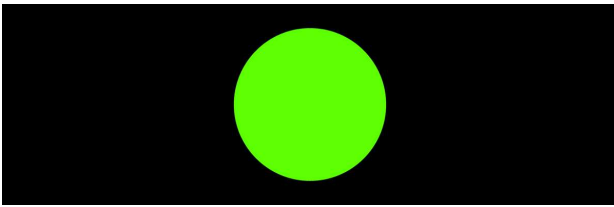


Fig.4. Soleil vert. Voici comment apparaîtrait le Soleil si on ne voyait que son maximum d'émission à 530 nanomètres.

La question "de quelle couleur **est** le Soleil ?" n'a pas de sens puisqu'il émet dans toutes les longueurs d'onde. La vraie question qui nous intéresse ici et à laquelle nous allons essayer de répondre est "de quelle couleur **voit-on** le Soleil ?", ce qui est très différent. La couleur est en réalité une notion physiologique.

Le problème est que l'on ne peut pas regarder le Soleil sans se brûler les yeux. Pour préciser encore la question, il faudrait se demander de quelle couleur on verrait le Soleil si on pouvait atténuer sa luminosité de la même manière dans toutes les longueurs d'onde.

La couleur et l'œil

Pour trouver une réponse à notre question, il faut commencer par nous interroger sur la manière dont nous percevons les couleurs. La rétine est composée de deux sortes de cellules, les bâtonnets, qui sont sensibles à la luminosité, et les cônes qui nous permettent de voir les couleurs. Ceux-ci sont de trois types différents, chacun étant spécialisé dans un domaine de longueur d'onde :

- pour les grandes longueurs d'onde autour de 560 nm, les cônes rouges ou L (comme Long),
- pour les moyennes longueurs d'onde autour de 530 nm, les cônes verts ou M (comme Medium),
- pour les courtes longueurs d'onde, autour de 420 nm, les cônes bleus ou S (comme Small).

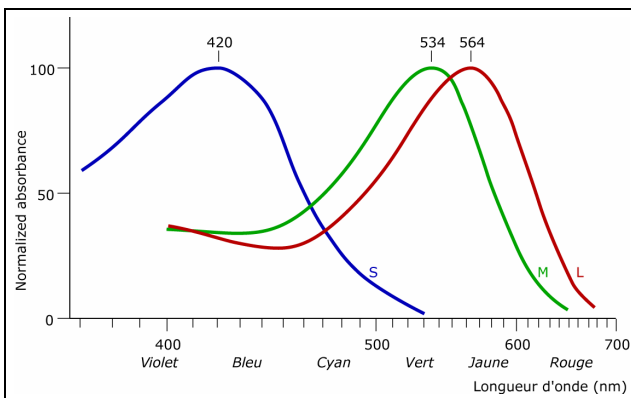


Fig.5. Sensibilités des cônes aux différentes longueurs d'onde (d'après l'article sur la couleur de wikipedia).

Lorsque de la lumière arrive sur la rétine, les différents types de cône réagissent et envoient

l'information au cerveau qui la traduit en terme de couleurs :

- Cônes verts et cônes rouges également excités (et sans bleu) = Jaune ou vert clair
- Cônes verts moins excités que les rouges (toujours sans bleu) = Orange
- Uniquement cônes rouges excités = Rouge...

Ce mécanisme fait que des sources lumineuses totalement différentes peuvent nous apparaître de la même couleur. Par exemple une lumière monochromatique à 580 nm nous apparaîtra jaune car les cônes rouges et verts seront excités à peu près à égalité. Mais une source de lumière composée de deux raies d'émission, l'une rouge à 650 nm et l'autre verte à 540 nm, sera vue exactement de la même manière (figure 6).

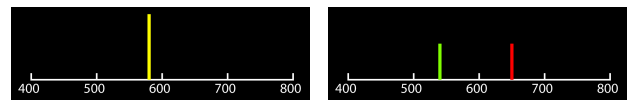


Fig.6. Ces deux sources de lumière seront vues exactement de la même couleur par un œil humain car les cônes rouges et verts seront excités de manière identique dans les deux cas. Par contre, on pourrait imaginer qu'un extra terrestre voie deux couleurs totalement différentes.

Pour bien comprendre notre perception des couleurs, il faudrait parler aussi d'autres facteurs comme l'intensité de la source ou le fonctionnement du cerveau qui voit différemment une même couleur sur deux fonds différents...

Le codage des couleurs en RVB (Rouge Vert Bleu) ou RGB (Red Green Blue) est copié sur le fonctionnement de l'œil. Un écran plat d'ordinateur fonctionne avec trois cellules par pixel, une rouge, une verte et une bleue. Si vous photographiez un beau Soleil couchant bien jaune avec votre appareil numérique et que vous affichez l'image sur votre ordinateur, votre œil verra à peu près la même couleur sur l'écran et dans le ciel. Par contre, si vous regardez les deux images avec un spectroscope, vous aurez deux résultats totalement différents : le Soleil réel montrera un spectre continu avec un maximum à plus de 550 nm, alors que l'image affichée à l'écran se décomposera en raies d'émission, principalement une rouge et une verte. Mais, dans les deux cas, les cônes de l'œil seront excités de la même manière et nous verrons donc la même couleur.

Le blanc

"En 1666, Newton montre que la lumière blanche se décompose en différentes couleurs". Dans cette phrase qu'on peut lire dans de nombreux manuels, la lumière blanche désigne la lumière du Soleil. Mais qu'est-ce que le blanc ? Par définition, le

blanc, c'est la lumière naturelle, celle à laquelle les yeux humains sont habitués depuis des millions d'années. La difficulté de cette définition, c'est qu'elle est très floue : la lumière naturelle dépend de l'heure de la journée, de la saison et même du lieu d'habitation. Le soir, quand le Soleil est bas, on remarque que le paysage est baigné d'une lumière jaune (figure 7).



Fig.7. Le même paysage en milieu et en fin de journée. La lumière passe du blanc au jaune.

Et pourtant, pour nous, le blanc existe sans avoir besoin de définition plus précise, un enfant sait dire approximativement si un objet est blanc ou non. La plupart du temps, on peut donc se contenter de cette définition ambiguë de la lumière blanche : c'est la lumière naturelle en milieu de journée. Une autre difficulté provient du fait qu'on n'observe pas directement la lumière blanche, mais un objet supposé blanc comme une feuille blanche, éclairé par cette lumière. On suppose alors que la feuille ou l'objet blanc renvoie de la même manière les radiations de différentes longueurs d'onde.

Les photographes et les éclairagistes ont essayé de proposer des définitions plus précises du blanc en prenant pour modèle le rayonnement d'une source à une température donnée, en général autour de 5 500 ou 6 000 K (voir encadré). Dans le réglage des écrans d'ordinateur, on peut vous proposer un blanc chaud à 5 000 K (chaud veut dire ici tirant vers le jaune) ou un blanc froid à 9 000 K (froid pour dire bleuté). En réalité, le blanc des ordinateurs ne présente pas un spectre de corps noir puisqu'il n'est constitué que de rouge, de vert et de bleu mais il doit, pour notre œil, en avoir l'apparence.

Température de couleur

Tout corps émet un rayonnement électromagnétique. Un homme à 37 °C émet dans l'infrarouge. Un morceau de fer chauffé à 3 000 °C apparaît rouge ; il émet dans toutes les longueurs d'onde mais davantage dans le rouge. Plus chaud, on le verra blanc puis bleuté.

Pour un corps opaque, totalement isolé et maintenu à température constante que les physiciens appellent corps noir, le rayonnement émis dépend uniquement de la température et a un profil bien défini (figure 8).

La température est habituellement donnée en Kelvin (K), comptés à partir du zéro absolu (il suffit d'ajouter 273,15 à la température en °C pour obtenir la température en K). Quand la température augmente, le maximum se déplace vers les courtes longueurs d'onde et sa couleur se décale donc vers le bleu.

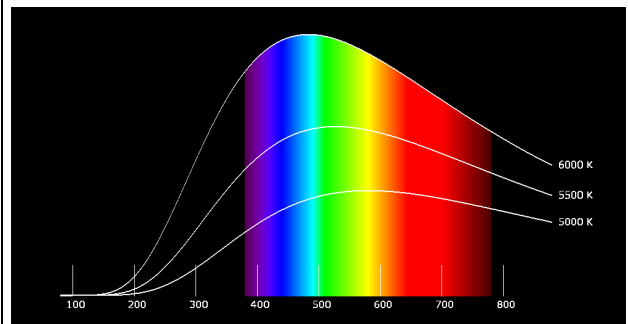


Fig.8. Émission d'un corps noir à une température de 5 000 K, 5 500 K et 6 000 K.

La définition du blanc comme étant la lumière naturelle pourrait nous laisser penser que le Soleil doit nous apparaître blanc. Mais la lumière naturelle arrivant au sol n'est constituée que pour une partie des radiations provenant en ligne directe du Soleil. Une autre partie provient du ciel bleu, donc du Soleil aussi mais de manière indirecte après diffusion. Quelques expériences vont nous aider à savoir si on voit le Soleil blanc ou non.

Expériences

Pour savoir de quelle couleur on voit le Soleil, la première expérience qui vient à l'esprit est de le regarder. Bien évidemment, tous les astronomes savent qu'il ne faut surtout pas le faire sans protection sous peine d'endommager sérieusement ses cellules rétinienne.

Le brouillard peut jouer un rôle de filtre. Il n'apparaît pas coloré donc on peut le considérer très grossièrement comme un filtre neutre, laissant passer dans la même proportion toutes les longueurs d'onde. Le Soleil observé à travers le

brouillard apparaît pâle, à peu près blanc, à condition qu'il soit déjà assez haut dans le ciel. Étant donné la qualité du filtre, la méthode est très approximative. Mais on peut quand même en conclure que le Soleil n'est ni bleu, ni vert, ni jaune vif. Cette observation étonne de nombreuses personnes qui croient voir la Lune alors qu'ils observent le Soleil. Ce qui surprend, c'est son petit diamètre apparent mais aussi sa pâleur, son manque de couleur. Voir un Soleil quasiment blanc n'est pas habituel.



Fig.9. Le Soleil vu à travers le brouillard apparaît blanc.

Pour être sûr de la couleur observée, il faudrait se passer de filtre. Une méthode simple qu'utilise Lionel Ruiz (bien connu dans le milieu des planétariums) consiste à projeter le Soleil sur une surface blanche et à comparer sa couleur avec la même surface éclairée par l'ensemble du ciel. On s'aperçoit alors que le Soleil projeté est très légèrement jaune. Et pourtant, la lumière n'a fait que traverser des lentilles non colorées. C'est donc que la lumière du Soleil nous apparaît jaune.

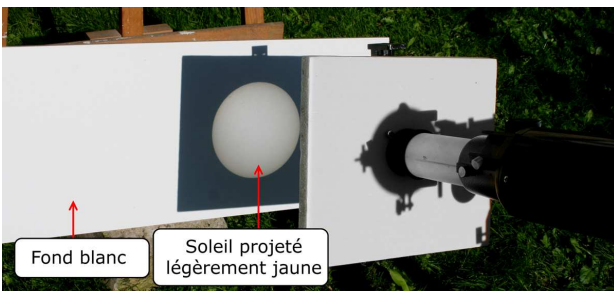


Fig.10. Le Soleil projeté à l'aide d'une lunette astronomique sur une surface blanche apparaît jaunâtre comparé à la surface voisine éclairée par l'ensemble du ciel.

Pour terminer, voici une dernière expérience. Quand le ciel est découvert, la lumière qui nous éclaire provient pour une part en ligne directe du Soleil après traversée de l'atmosphère (ce que j'appellerai lumière directe) et d'autre part de la lumière du Soleil diffusée par l'atmosphère qui donne la couleur bleue du ciel (ce que j'appellerai lumière indirecte). Pour comparer la couleur et la luminosité de ces différentes parties, trois photos

ont été réalisées un jour de beau temps, sans nuage. Pour la première (figure 11a), votre revue préférée était placée dans une pièce sombre possédant juste une ouverture. Seule la lumière directe du Soleil venait l'éclairer. Pour la deuxième (figure 11b), le sujet était à l'extérieur et recevait la lumière globale du Soleil (directe et indirecte). Et enfin pour la troisième photo (figure 11c), un carton avait été placé pour mettre à l'ombre le sujet qui ne recevait plus que la lumière indirecte du Soleil en provenance du ciel bleu. Pour les deux dernières photos, il n'y avait aucun objet alentour (à l'exception de l'appareil photo et de son pied) pour éviter de perturber l'expérience en réfléchissant la lumière du Soleil. Pour avoir une luminosité comparable, on a posé 1/100 s dans le premier cas, 1/125 s dans le deuxième et 1/20 s dans l'autre. Les différences de couleur sont très nettes. La première apparaît jaune, la deuxième blanche et la troisième bleue.

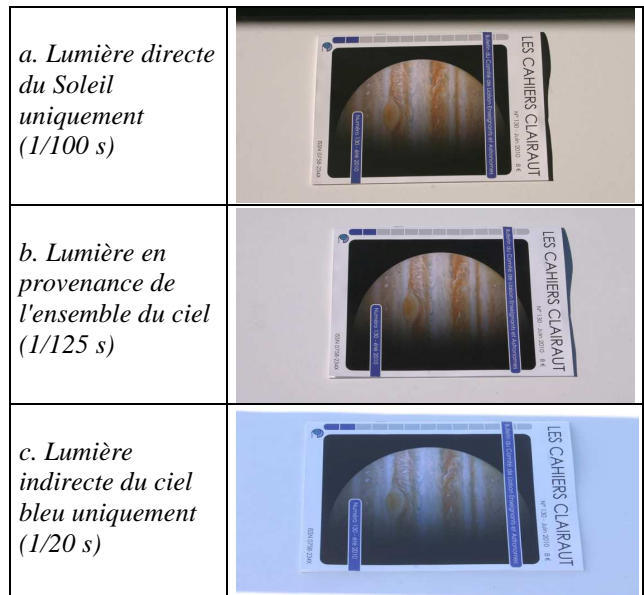


Fig.11. Trois photographies du même objet avec trois éclairages différents. Les différences de couleur sont nettes. Les temps de pose ont été choisis pour que les trois images aient à peu près la même luminosité.

Comment expliquer ces différences de teinte ? Il est normal que le fond blanc de la deuxième photo apparaisse blanc puisqu'il est éclairé par l'ensemble de la lumière du ciel (lumière directe et indirecte) et c'est ainsi que l'on a défini la lumière blanche comme étant la lumière naturelle. Que la troisième photo soit bleue semble aussi logique puisqu'elle est éclairée par la lumière indirecte du Soleil en provenance du ciel bleu. D'ailleurs, de nombreux peintres représentent les ombres en bleu. Pourquoi la première photo apparaît-elle jaune ? La lumière globale (directe et indirecte) est blanche, la lumière indirecte est bleue, donc la lumière directe

est de la lumière blanche à laquelle il manque du bleu. Lorsque nos yeux reçoivent cette lumière, les cônes rouge et vert seront donc davantage impressionnés que les bleus ; et rouge plus vert donne du jaune. La lumière directe du Soleil doit donc apparaître jaune, ce qu'avait déjà montré l'expérience précédente.

De plus, les temps de pose montrent que la lumière indirecte en provenance du ciel bleu n'est pas négligeable puisqu'elle représente en gros un cinquième de la luminosité du Soleil seul ou un sixième de la luminosité totale. Il est bien évident que ces résultats doivent beaucoup varier en fonction de l'état du ciel.

Le Soleil hors atmosphère

Une autre question peut se poser : « de quelle couleur voit-on le Soleil hors atmosphère ? ». Si on suppose que l'ensemble de la lumière parvenant au sol est la même que celle émise par le Soleil, il devrait apparaître blanc. Et pourtant, une partie de la lumière bleue diffusée par l'atmosphère repart dans l'espace sans avoir atteint le sol. Ce qui signifie qu'il y a une perte de radiations bleues entre la lumière émise par le Soleil et celle qui arrive au niveau de la mer. Ce qui voudrait dire que la lumière du Soleil vu de l'espace contient davantage de bleu que la lumière blanche arrivant au sol et devrait donc apparaître légèrement bleuté. Mais là encore, puisqu'on ne peut pas le regarder en face, il faudrait projeter son image sur un écran blanc et comparer avec une lumière blanche étalonnée. Qui veut faire l'expérience ?

Certains seront peut-être surpris que l'on parte de la Terre pour comprendre quelle est la couleur du Soleil dans l'espace et non l'inverse. Mais il faut bien comprendre que le problème de la couleur est un problème physiologique à la base duquel il y a l'œil humain qui a évolué à la surface de la Terre.

Conclusion

On lit souvent que le Soleil est jaune parce que son maximum d'émission est dans le jaune. C'est faux, il est dans le vert.

Les expériences précédentes montrent pourtant que l'on voit le Soleil très légèrement jaune, la raison en est simple, c'est parce que le ciel est bleu. La lumière que l'on dit blanche est celle à laquelle l'œil humain s'est habitué depuis des millions d'années, c'est la lumière naturelle du ciel composée pour une petite partie de la lumière indirecte du Soleil en provenance du ciel bleu et pour une grande partie de la lumière légèrement jaune provenant en ligne directe du Soleil.

Quand au Soleil vu de l'espace, il semble qu'il devrait apparaître blanc légèrement bleuté.

On peut se demander pourquoi les enfants dessinent naturellement un Soleil franchement jaune. La raison me semble simple. Quand le Soleil est haut dans le ciel, il est trop éblouissant et on ne peut pas le regarder. Ce n'est qu'à son lever ou à son coucher qu'il est observable car il est davantage filtré par l'atmosphère et à ces moments là, il est souvent jaune.

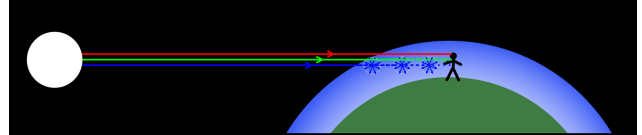


Fig.12. La couleur du Soleil couchant. Au coucher du Soleil, la lumière qui nous en parvient doit traverser une épaisse couche d'atmosphère. Les molécules de l'atmosphère diffuse une grande partie des radiations bleues. Notre œil reçoit alors principalement des rayons verts et rouges, ce que l'on voit comme du jaune. Si le vert est aussi diffusé, nous verrons un Soleil orange ou même rouge.

Longueur d'onde et codage RVB

Pour réaliser les figures 1, 4, 6 ou 8, il faut transformer une longueur d'onde en couleur donc, pour l'impression, en codage RVB. Ce n'est pas un problème simple puisque la solution dépend de la réponse des cônes. On trouve différentes correspondances.

J'ai utilisé ici le site <http://www.physics.sfasu.edu/astro/color/spectra.html>. Il faut aussi signaler <http://www.efg2.com/Lab/ScienceAndEngineering/Spectra.htm>, un site qui contient un petit logiciel permettant de transformer une longueur d'onde en codage RVB.

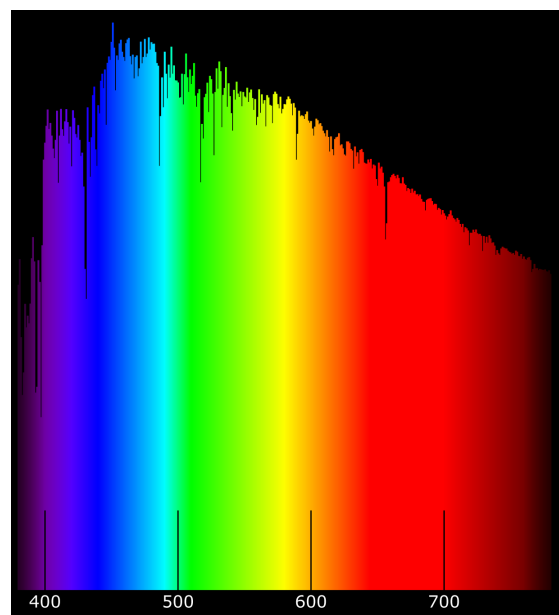


Fig.13. Spectre du Soleil hors atmosphère.