

La lumière pour mieux observer et comprendre l'Univers

Roger Ferlet

Directeur de recherche émérite au CNRS
Institut d'Astrophysique de Paris

*J'ai réfracté le rayon coloré avec des prismes et reflété avec des corps qui, à la lumière, étaient de nuances différentes... Et pourtant, je n'ai jamais pu en obtenir de nouvelles couleurs... Cette découverte est à mon jugement la plus étrange sinon la plus importante révélation faite à ce jour des opérations de la Nature.
Isaac Newton (1666).*

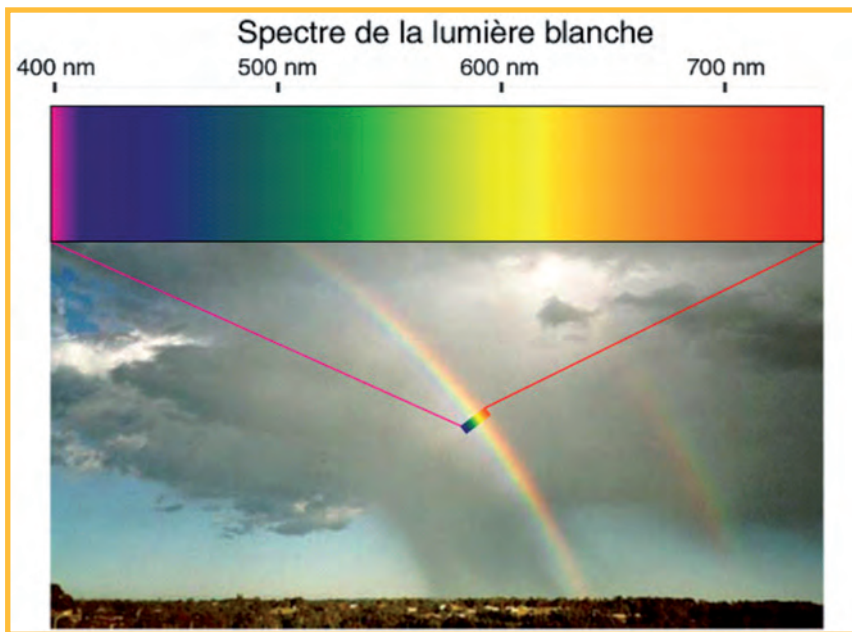
Newton interpréta ce phénomène et conclut que la lumière blanche est composée de plusieurs couleurs que notre œil ne sépare pas. L'arc-en-ciel en est un exemple : les gouttes de pluie agissent comme autant de prismes et décomposent la lumière blanche du Soleil dans ses différentes couleurs – violet, indigo, bleu, vert, jaune, orange, rouge – toujours dans cet ordre. C'est ce qu'on appelle le *spectre visible* du Soleil, résultant du phénomène de dispersion (décomposition) de la lumière blanche. Polychromatique, la lumière blanche du Soleil est en réalité la superposition de très nombreuses lumières monochromatiques.

Du simple prisme utilisé par Newton à l'instrument sophistiqué de la fin du XIX^e siècle connu sous le nom de *spectroscope*, plusieurs savants ont contribué peu à peu à un dispositif qui a révolutionné l'approche de la matière. On peut citer le chimiste britannique William Wollaston qui nota en 1802 que le spectre visible du Soleil était sillonné par sept raies sombres, puis l'opticien bavarois Joseph



von Fraunhofer qui améliora considérablement le montage et en 1814 répertoria quatre cent soixante-seize raies, ou encore le physicien français Antoine Masson qui au tout début des années 1850 en fera un instrument compact. Aujourd'hui, on recense quelques dizaines de milliers de raies : *le spectre de Fraunhofer*.

Newton considérait la lumière comme un flot de petites particules, et au prix de complications considérables, il arrivait à rendre compte du phénomène de dispersion de la lumière blanche au travers d'un prisme. Il avait discuté deux lois possibles : l'une, quadratique, élaborée dans le cadre de la théorie de la gravitation, l'autre, linéaire, formulée en élaborant une échelle quantitative des couleurs. Quantitativement, ces deux lois différaient suffisamment peu pour que leurs différences soient détectables avec les méthodes de mesure que Newton avaient à sa disposition. Bien plus tard, Newton s'appuya sur l'analogie avec l'harmonie musicale et adopta finalement la loi linéaire de dispersion. Il conclut que tout système à réfraction ou lunette astronomique présente une dispersion de la lumière, ou aberration chromatique, qu'il pensait impossible de corriger.

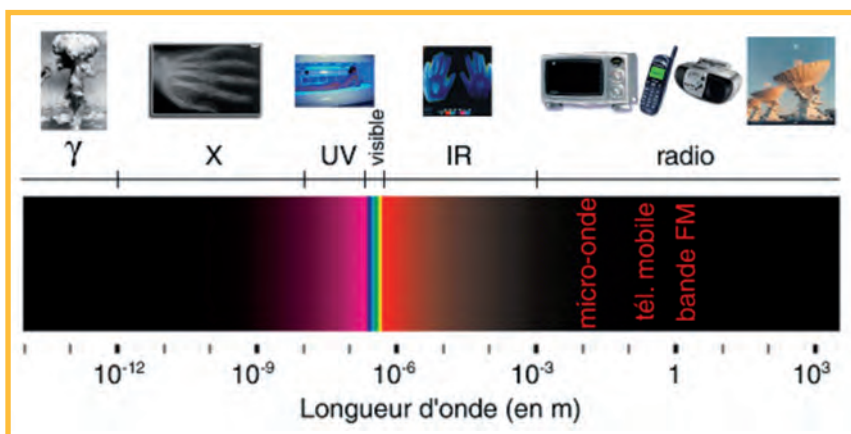


Il contourna le problème en proposant un télescope à réflexion par miroir concave (naturellement dépourvu d'aberration chromatique), connu sous le nom de *télescope de Newton*. En 1747, Euler critiqua ces vues de Newton et proposa une loi de type logarithmique pour rendre compte du phénomène de dispersion. S'appuyant sur ces idées, le

Britannique John Dollond réussit à construire des systèmes achromatiques et publia sa découverte en 1758. Dans son travail consacré aux lunettes achromatiques, d'Alembert exprima des doutes quant aux thèses de Newton et Euler, soulevant ainsi des questions épistémologiques liées aux divers choix possibles d'une loi et de son caractère nécessaire ou contingent.

En 1800, l'astronome germano-britannique William Herschel découvrit une nouvelle *couleur* située hors du spectre visible, au-delà du rouge. Il voulait mesurer la quantité de chaleur produite par chaque couleur du spectre visible. Il promena un thermomètre le long d'un spectre produit par un prisme et nota que la température augmentait en allant du bleu vers le rouge. En plaçant le thermomètre après le rouge (là où l'œil ne voyait plus rien), la température augmentait encore ! Herschel interpréta ce phénomène et conclut qu'il devait exister un autre type de lumière invisible à l'œil au-delà du rouge. C'est l'infrarouge.

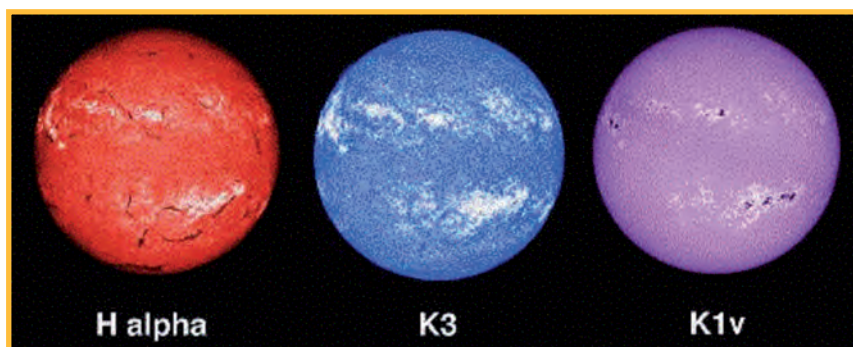
On sait maintenant que le spectre s'étend très loin de chaque côté du spectre visible. C'est ce qu'on appelle le *spectre électromagnétique*.



Dans le cadre de l'interprétation ondulatoire de la lumière (voir article de Claude Fabre dans ce même opuscul), chaque couleur est caractérisée par sa longueur d'onde. L'œil humain n'est capable de percevoir que les radiations lumineuses dont la longueur d'onde est comprise dans la bande spectrale entre 400 nm (violet) et 800 nm (rouge). Les autres types d'ondes électromagnétiques ont une longueur d'onde inférieure à 400 nm – on trouve successivement l'ultraviolet (UV), les rayons X et les rayons gamma –, ou supérieure à 800 nm – l'infrarouge (IR), le millimétrique puis les ondes radio. L'observation de ces domaines spectraux requiert des dispositifs de détection radicalement différents.

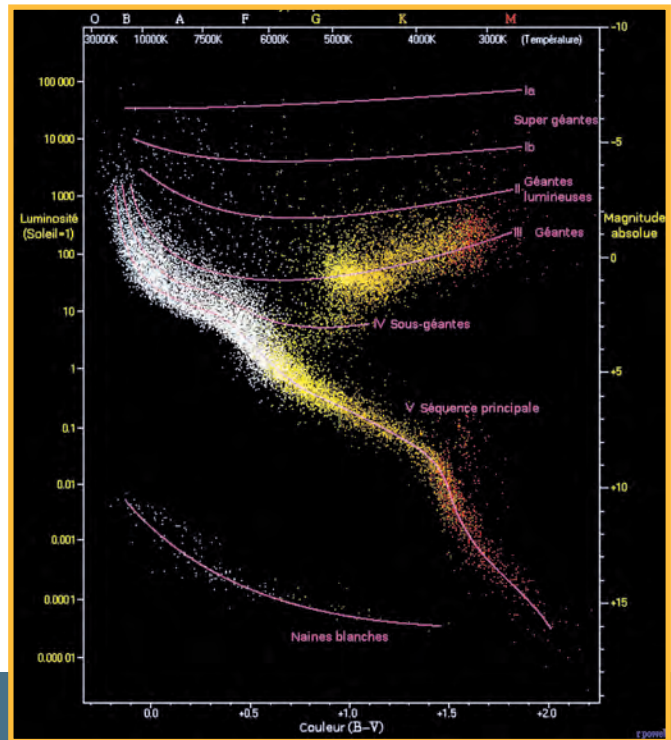
À chaque fois que les progrès techniques permettent l'ouverture d'une nouvelle fenêtre spectrale, on découvre de nouvelles facettes de notre Univers, des phénomènes surprenants, souvent complètement inattendus, provoquant parfois une révolution de la science physique. Par ailleurs, si les domaines visible et radio peuvent être observés depuis le sol, il a fallu attendre l'avènement des techniques spatiales pour observer tous les autres rayonnements qui ne traversent pas l'atmosphère de la Terre.

Ce n'est pas avant 1859 que le physicien allemand Gustav Kirchhoff donne la clé de l'énigme des raies sombres dans le spectre solaire. Il fut aidé en cela par le brûleur de son compatriote Robert Bunsen, qui donnait une flamme presque transparente permettant de mieux observer le spectre des substances étudiées. Chaque raie est due à la présence d'un élément chimique donné. Quand un gaz est interposé entre la source et le spectroscopie, les raies apparaissent sombres – en absorption – ou brillantes – en émission – selon que la température du gaz est plus basse ou plus élevée que celle de la source. L'ajout au spectroscopie d'une échelle micrométrique et d'un spectre de référence va alors permettre la détermination directe de la longueur d'onde. Ainsi, le spectroscopie donne le moyen de déterminer de façon aisée non seulement la composition des substances chimiques, mais aussi celle du Soleil, contrairement à ce que disait Auguste Comte en 1835 dans son *Cours de philosophie positive* : « *la composition chimique du Soleil restera à jamais hors de portée de la connaissance humaine !* » La spectroscopie allait révolutionner l'analyse chimique avec la découverte d'éléments nouveaux, ainsi que l'astronomie avec la naissance de l'astrophysique.



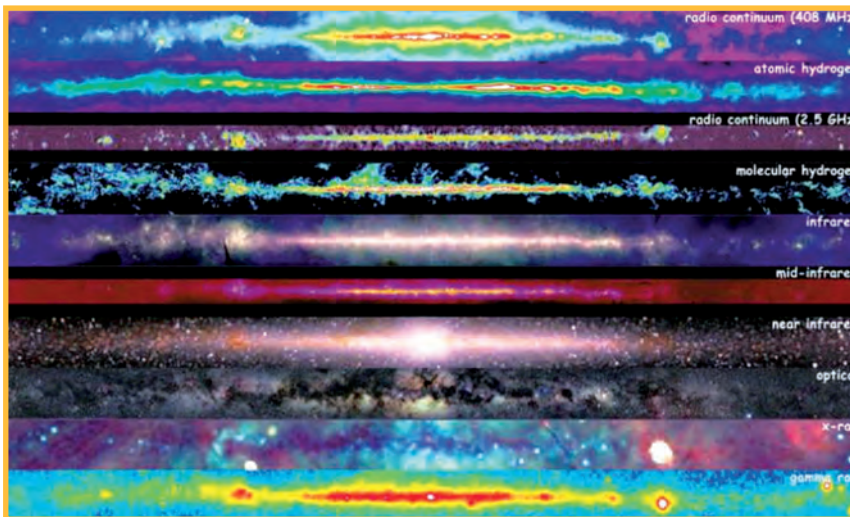
Images du Soleil à différentes longueurs d'onde :
raie H alpha à 656,30 nm et raie K du calcium à 393,35 nm
(K3 dans le minimum de la raie ; K1v dans l'aile de la raie à 393,10 nm).
La morphologie des structures dépend intimement
de la longueur d'onde d'observation.

La science astronomique permet à l'Homme de se situer dans l'Univers ; elle tente aussi de construire l'histoire de nos origines et de notre futur ; et tout cela principalement à travers l'étude de la lumière qui nous vient du ciel. Lien presque unique entre notre planète et le reste de l'Univers, la lumière porte en elle la marque distinctive de la composition chimique du corps qui l'émet. Dès la fin du XIX^e siècle, la spectroscopie stellaire a révélé que la constitution des étoiles devait être analogue à celle du Soleil, et a permis de relier la présence de telle ou telle raie de tel ou tel élément chimique aux conditions physiques (température, pression) à l'intérieur de l'étoile étudiée, pour aboutir vers 1910 à une classification des étoiles dans un diagramme *type spectral–luminosité* qui s'appellera diagramme de *Hertzsprung–Russell* (ci-dessous), du nom des deux astronomes danois et américain qui y ont travaillé indépendamment.



Ce diagramme de *Hertzsprung–Russell* représente soit la luminosité en fonction de la température (ou type spectral), soit la magnitude absolue en fonction de l'indice de couleur (ce qui découle immédiatement d'observations photométriques), les étoiles ne se situent pas n'importe où, mais très majoritairement le long d'une diagonale appelée séquence principale. Elles y passent en effet environ 90 % de leur vie en évoluant très peu, brûlant l'hydrogène en leur cœur. Le Soleil (il est à la moitié de sa vie) se trouve à la luminosité 1 et à la température de surface 5780°K (5507°C).

Dans les années 1920 se posait également la question de la nature et de la distance des nébuleuses observées dans le ciel. C'est l'astronome américain Edwin Hubble qui clôtura ce débat en 1926, en démontrant qu'il s'agissait en réalité d'univers-îles, de galaxies extérieures à la nôtre. Observant en outre que leurs spectres (raies de l'hydrogène ou d'autres éléments chimiques) présentaient un décalage systématique vers le rouge, et que ce décalage était d'autant plus grand que l'objet visé était plus loin, Hubble interpréta cela avec l'effet Doppler-Fizeau et publia en 1929 ce qui deviendra la *loi de Hubble*. C'était la première preuve de l'expansion de l'Univers, un phénomène générique prédit par la relativité générale, et du Big Bang, le modèle cosmologique qui en résulte le plus naturellement.



Images reconstruites de notre galaxie, la Voie lactée, en différentes bandes spectrales. Chaque longueur d'onde apporte des informations complémentaires sur sa structure ; chaque domaine spectral est la signature de conditions ou processus physiques bien identifiés (par exemple, très schématiquement, IR et radio sondent l'univers froid ; UV, X, gamma révèlent l'univers chaud et violent). Il est nécessaire d'observer les objets du ciel à toutes les longueurs d'onde si l'on veut les comprendre.

*S'il a fallu se spécialiser pour apprendre,
il faut savoir s'ouvrir pour comprendre.
(F. Kourilsky)*

R. F.