

LA LUMIÈRE INVISIBLE : HERSCHEL DÉCOUVRE L'INFRAROUGE

Vincent BOUDON*, Cyril RICHARD, Cloë VAUTRIN

Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, UMR 6360 CNRS/UBE, Dijon, France

*Vincent.Boudon@ube.fr



<https://doi.org/10.1051/photon/202613819>

Article publié en accès libre sous les conditions définies par la licence Creative Commons Attribution License CC-BY (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), qui autorise sans restrictions l'utilisation, la diffusion, et la reproduction sur quelque support que ce soit, sous réserve de citation correcte de la publication originale.

En 1800, l'astronome anglais William Herschel, en réalisant une expérience simple sur le lien entre lumière et chaleur, fait une découverte inattendue : la lumière ne se limite pas à ce que voient nos yeux. Il existe des lumières invisibles. Herschel vient de découvrir ce que nous appelons les infrarouges. C'est alors le début d'une véritable révolution. L'année suivante, son collègue Johann Ritter découvre les ultraviolets. D'autres rayonnements suivront et ceci va totalement changer notre perception de l'Univers et permettre d'incroyables développements technologiques.

Depuis l'Antiquité, la lumière intrigue et questionne. Les philosophes grecs s'interrogent déjà sur sa nature et son origine : émane-t-elle des objets ou de notre regard ? Au fil des siècles, ces réflexions laissent progressivement place à une approche expérimentale. Au XVIII^e siècle, les travaux en optique se multiplient et transforment profondément notre compréhension du phénomène lumineux. La lumière n'est pas seulement un objet de spéculation, mais devient un sujet d'étude mesurable, que l'on peut manipuler et analyser.

C'est dans ce contexte d'effervescence scientifique que s'inscrivent les recherches qui mèneront, un siècle plus tard, aux découvertes de William Herschel sur la lumière invisible. Mais bien avant cela, une avancée majeure avait déjà marqué un tournant décisif. Grâce à une expérience devenue emblématique, Isaac Newton montre que la lumière blanche du Soleil n'est pas homogène, mais qu'elle se décompose à l'aide d'un prisme en une succession de couleurs formant le spectre visible. C'est ce spectre qui constitua la base sur laquelle Herschel s'appuiera pour découvrir les rayons invisibles à l'œil humain.

Lumière et chaleur

Ainsi, à la fin du XVIII^e siècle, toujours en Angleterre, William Frederick Herschel, musicien, compositeur et astronome autodidacte d'origine allemande est déjà très renommé. À l'aide d'un télescope de sa fabrication il a en effet découvert par hasard, en 1781, un astre qui s'avère très vite être une planète encore inconnue : Uranus. Il est ainsi le premier astronome de l'histoire à découvrir une planète, les autres (de Mercure à Saturne) étant visibles à l'œil nu et connues depuis la plus haute antiquité. En tant que facteur d'instruments astronomiques, et à l'image de Newton, Herschel ●●●

s'intéresse également beaucoup à l'optique. Il réalise ainsi de très nombreuses expériences utilisant des prismes et différents dispositifs de son invention dont il publie des schémas et descriptions détaillées. Il faut dire qu'il est un auteur scientifique prolifique, avec à son actif 70 articles publiés entre 1780 et 1821, majoritairement dans les célèbres *Philosophical Transactions of the Royal Society* (une des toutes premières revues scientifiques de l'histoire).

Nous avons tous constaté qu'en nous exposant à la lumière du Soleil, nous ressentons de la chaleur. En 1800, Herschel souhaite comprendre ce phénomène de manière précise en mesurant comment les différentes couleurs du spectre solaire transportent de la chaleur. Il a alors une idée ingénieuse : reprendre l'expérience de Newton de la décomposition de la lumière par un prisme et y ajouter une série de thermomètres dont l'extrémité, noircie de manière identique, est placée dans les différentes couleurs du spectre projeté sur une surface blanche (Figure 1). Il constate effectivement, par le relevé des différentes températures, que la chaleur transportée dépend de la couleur. Mais il a alors l'intuition que la chaleur en question s'étend sans doute au-delà des couleurs visibles. Il place donc des thermomètres après la partie rouge du spectre. Et cette intuition est bonne : la température de ces thermomètres augmente également, alors qu'aucun rayonnement perceptible à l'œil n'apparaît dans cette zone. Il en déduit alors l'existence de rayons invisibles dans le spectre solaire. Très intéressé par le phénomène, il publie quatre articles historiques sur le sujet, décrivant différentes variantes de son expérience et présentant un grand nombre de mesures qu'il tente d'interpréter.

Cette découverte étant somme toute inattendue et, même si ses expériences sont très rigoureuses, les moyens de mesures de l'époque étant plutôt rudimentaires, Herschel se fourvoie quelque peu dans l'interprétation. Mais on ne peut pas

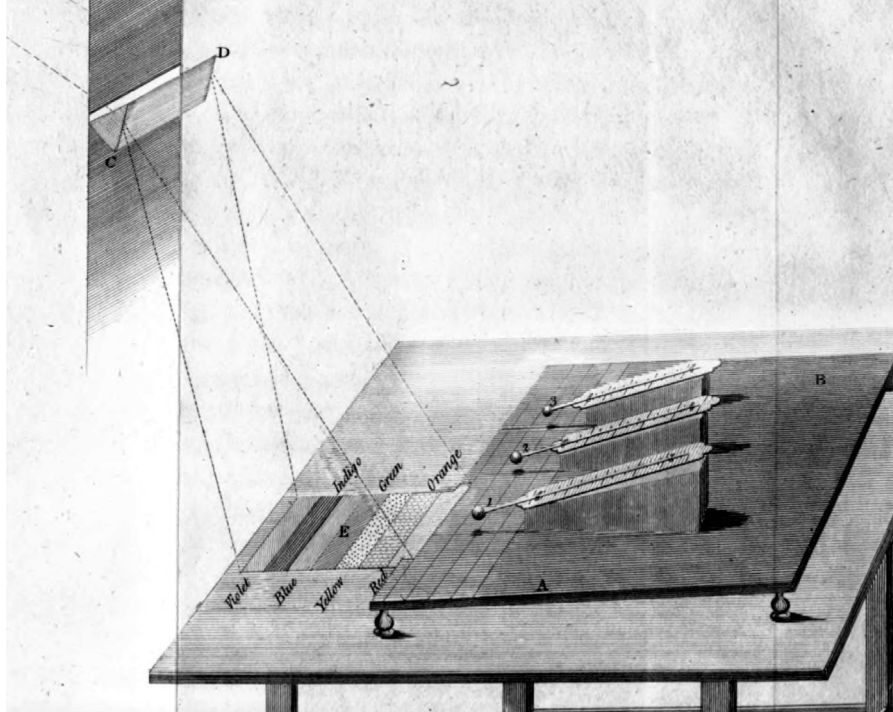
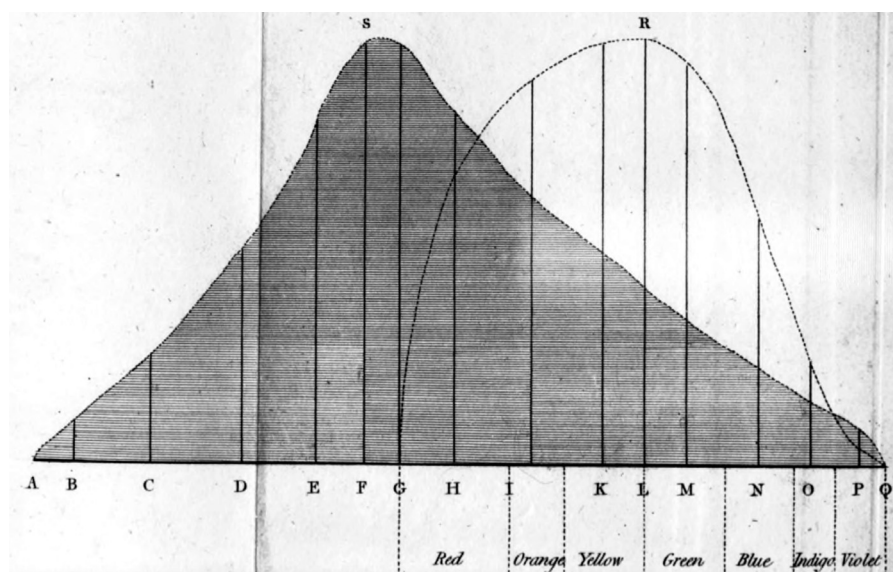


Figure 1. Expérience d'Herschel pour la mesure des « rayons calorifiques ». La lumière solaire décomposée par le prisme arrive sur des thermomètres qui peuvent être déplacés sur les différentes couleurs. Dans cet exemple, ils sont placés au-delà du rouge. Figure tirée de la référence [2].

lui en vouloir. Il tente en effet de comparer les mesures de température, qui sont plutôt précises, avec celles de l'intensité lumineuse à travers le spectre. Or, on ne sait pas encore bien estimer cette seconde quantité à l'époque. Il trouve ainsi deux courbes distinctes (Figure 2). Il en déduit donc, à tort, que le Soleil émet deux sortes de rayonnements : la lumière et ce qu'il qualifie de rayons calorifiques. Par contre,

il est persuadé que ces deux types de rayons suivent les mêmes lois optiques de réflexion et de réfraction. Notons qu'en 2012, J. R. White reprend finement les différents résultats d'Herschel. Il constate que ses mesures de température étaient en effet remarquablement précises et que, en corrigeant ses erreurs sur la mesure des intensités, on retombe bien sur deux courbes identiques. Les rayons calorifiques

Figure 2. Courbes d'Herschel mesurées à l'aide du dispositif montré sur la Figure 1 : températures (courbe S) et intensité de la lumière (courbe R). Figure tirée de la référence [4].



(et ceci est rapidement compris dès le XIX^e siècle) sont bel et bien de la lumière. Leur longueur d'onde se situe au-delà de l'extrémité rouge du spectre visible (au-delà de 800 nm) et leurs fréquences (voir l'encart) sont en-deçà de celles du rouge. On nomme donc cette partie invisible du spectre les rayons infrarouges.

Une révolution scientifique

Il s'agit là d'une découverte absolument fondamentale qui ouvre immédiatement de nouveaux horizons scientifiques : la lumière ne se limite pas à ce que voient nos yeux. Cette véritable révolution, qui ne s'arrête pas aux infrarouges, va totalement changer la perspective des chercheurs, qu'ils étudient la matière ou l'Univers. La possibilité de détecter de nouveaux rayonnements va considérablement modifier et étendre notre perception du monde.

Dès 1801, le prussien Johann Wilhelm Ritter, qui a lu les articles d'Herschel, découvre de son côté un rayonnement au-delà du violet. Sa technique est différente (celle des thermomètres ne fonctionne pas de ce côté du spectre pour lequel le verre des thermomètres est opaque). Il utilise du chlorure d'argent qui noircit à la lumière, y compris, donc, après la lumière violette. Il en déduit l'existence de rayons qu'il

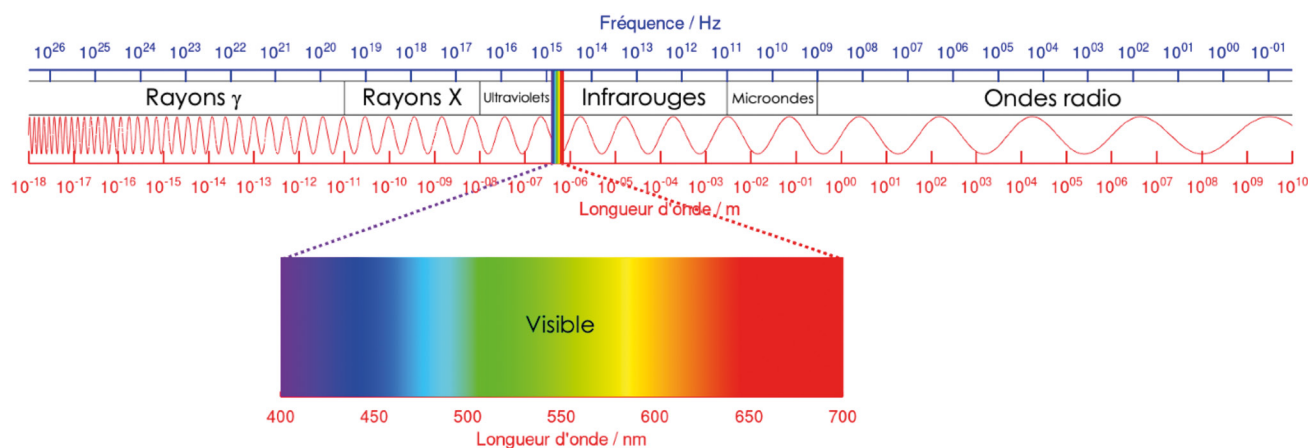
FRÉQUENCES ET LONGUEURS D'ONDE

Nous ne nous étendrons pas ici sur la nature de la lumière telle que décrite aujourd'hui par la physique quantique. Sur ce sujet, le lecteur pourra se référer à l'ouvrage donné par la Référence [5], par exemple. Nous rappelons simplement que, dans le cadre de la théorie électromagnétique, la lumière est une onde. Les différentes « couleurs » (visibles ou non) correspondent en réalité à la valeur de la longueur d'onde, notée λ , qui se mesure en mètres ou bien en ses multiples ou sous-multiples, comme les nanomètres (nm). La longueur d'onde est reliée à une autre quantité, la fréquence ν (mesurée en Hertz, Hz), via la relation $\lambda = c / \nu$, où c est la vitesse de la lumière dans le vide (299 792 458 m/s).

qualifie de « chimiques », qui sont par la suite qualifiés d'ultraviolets. Plus tard, le spectre sera encore étendu par la découverte des ondes radio par Heinrich Hertz, des rayons X par Wilhelm Conrad Röntgen et des rayons γ (gamma) par Paul Ulrich Villard. La théorie de James Clerk Maxwell, père de l'électromagnétisme, parachève l'unification de tous ces rayonnements qui sont régis par les mêmes équations et suivent donc les mêmes lois (comme le soupçonnait Herschel). L'ensemble des rayonnements possibles constituent le spectre électromagnétique qui s'étend sur une gamme considérable de longueurs d'ondes (et donc de fréquences), ainsi que le montre la Figure 3.

La lumière visible ne constituant qu'une toute petite partie de ce spectre, la possibilité de mesurer tous ces nouveaux rayonnements permet des observations jusqu'alors totalement inédites et d'une incroyable richesse d'informations. Rien qu'en astrophysique, observer les astres en rayons γ , X, ultraviolets, visibles, infrarouges, micro-ondes et radio en donne des vues très différentes mais complémentaires, permettant de sonder, par exemple, différentes couches atmosphériques, différents phénomènes physiques, de révéler différents composés, etc. Mais, pour cela, encore faut-il disposer des outils permettant de mesurer toutes ces « lumières invisibles ».

Figure 3. Le spectre électromagnétique. La lumière visible n'en constitue qu'une infime partie.
Figure Vincent Boudon.



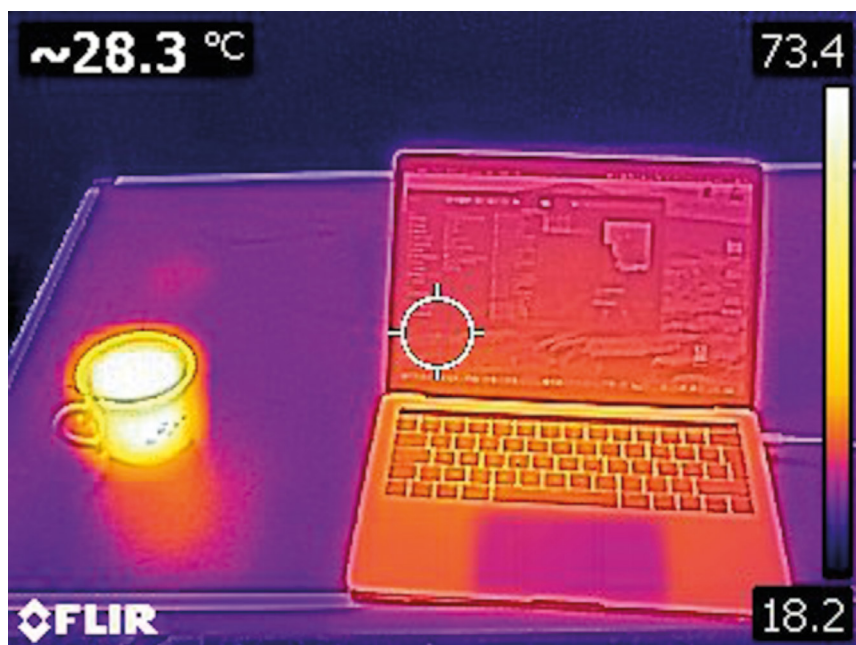


Figure 4. Image réalisée à l'aide d'une caméra thermique infrarouge opérant autour de la longueur d'onde de 14 μm . L'échelle de couleur correspond à la température, déduite de l'intensité de l'émission infrarouge. La tasse de café est très chaude et l'ordinateur un peu plus chaud que le reste de la pièce. Image Vincent Boudon.

lumière réfléchie, mais directement le rayonnement émis par les objets en fonction de leur température. La Figure 4 illustre parfaitement ce phénomène avec l'image infrarouge d'un ordinateur et d'une tasse de café chaud.

Au-delà de l'imagerie, l'infrarouge joue également un rôle fondamental en spectroscopie. Les molécules possèdent en effet des signatures caractéristiques dans ce domaine spectral, liées à leurs vibrations internes. L'analyse du rayonnement infrarouge permet ainsi d'identifier la composition chimique de nombreux milieux, depuis des échantillons en laboratoire jusqu'aux atmosphères planétaires.

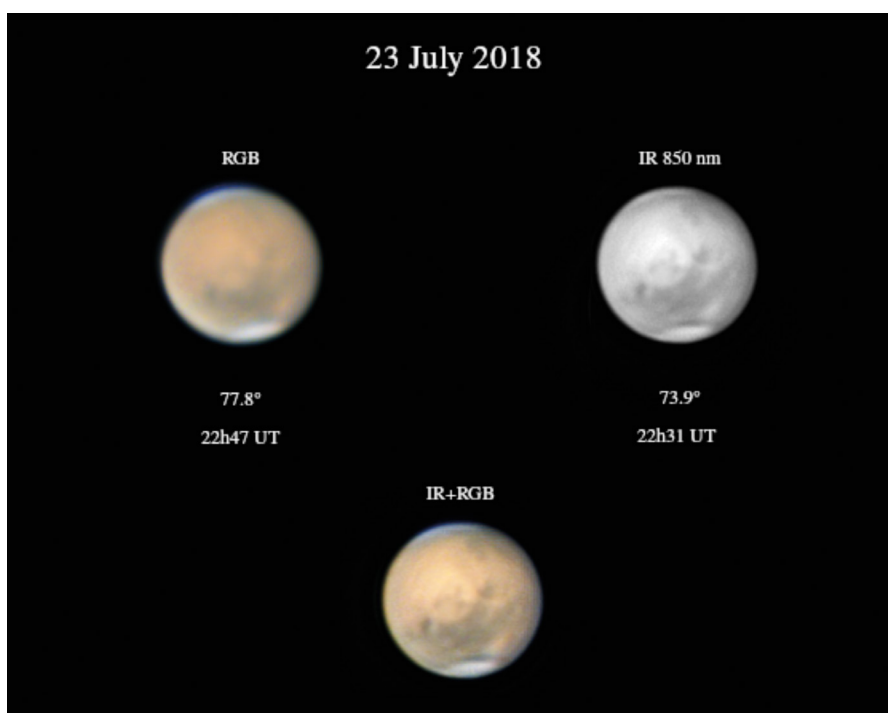
Ainsi, des simples thermomètres utilisés par Herschel aux détecteurs modernes, la découverte des infrarouges a profondément transformé notre capacité à mesurer et exploiter la lumière.

Une révolution technologique

La mise en évidence des rayonnements infrarouges ouvre rapidement la voie au développement de dispositifs capables de détecter cette lumière invisible à l'œil. C'est d'ailleurs en 1929 qu'est inventée l'imagerie infrarouge thermique, lorsque le physicien hongrois Kálmán Tihanyi construit une caméra de télévision électronique sensible à ce rayonnement, capable d'être utilisée à des fins militaires, notamment pour détecter des avions en vol de nuit.

Ces avancées, aidées par la démocratisation de l'imagerie numérique, ont conduit à l'essor de l'imagerie thermique, aujourd'hui largement utilisée dans des domaines variés. Les caméras infrarouges permettent par exemple de visualiser les pertes de chaleur dans les bâtiments, de détecter des anomalies en milieu industriel ou encore d'observer des scènes en absence de lumière visible. Dans ce cas, il ne s'agit plus de voir la

Figure 5. La planète Mars prise avec un télescope de 200mm de diamètre. Alors en proie à une tempête de poussière à l'échelle globale, elle a été imagée à travers plusieurs filtres : en RGB (rouge-vert-bleu) pour restituer l'aspect tel que l'œil humain pourrait le percevoir, puis avec l'ajout d'un filtre infrarouge afin de faire ressortir les détails de sa surface alors cachée par la poussière. Images Cyril Richard.



Une nouvelle vision de l'Univers

Au-delà des avancées instrumentales, l'infrarouge a également profondément renouvelé notre perception de l'Univers. Contrairement à la lumière visible, il peut traverser partiellement certains milieux opaques. La Figure 5 en donne une illustration frappante avec des images de Mars prises lors de la grande tempête de poussière de 2018. En lumière visible, les détails de la surface sont masqués par les poussières, tandis qu'en utilisant un filtre infrarouge, ne laissant passer que les longueurs d'onde supérieures à 850 nm, le relief de la planète rouge réapparaît nettement. Ces modestes images issues de travaux amateurs, illustrent à quel point l'utilisation de l'infrarouge s'est démocratisée.

Bien sûr, les astronomes professionnels en ont été les précurseurs, avec notamment le télescope spatial Herschel Space Observatory, dont le nom fait écho au découvreur, puis, plus récemment, le *James Webb Space Telescope*, qui en repousse encore plus les limites. Placés dans l'espace, au-delà de notre atmosphère, ces observatoires peuvent accéder à des

longueurs d'onde autrefois impossibles à observer depuis la Terre, en raison de la forte absorption de notre enveloppe protectrice. Ils permettent aujourd'hui d'aller encore plus loin, en accédant à la composition des atmosphères d'exoplanètes, ouvrant ainsi la voie à l'étude de nouveaux mondes au-delà de notre Système solaire. Deux siècles après sa découverte, l'infrarouge s'impose aujourd'hui comme une fenêtre essentielle pour observer, comprendre et explorer l'Univers.

Conclusion

La connaissance de l'étendue du spectre électromagnétique, bien au-delà de la seule lumière visible, est

finallement assez récente à l'échelle de l'histoire des sciences. Elle trouve son origine dans les travaux pionniers de William Herschel, dont la découverte de l'infrarouge en 1800 a ouvert la voie à une exploration progressive de ces lumières invisibles, poursuivie par de nombreux scientifiques au cours du XIX^e siècle.

Aujourd'hui, ces avancées ont profondément transformé notre compréhension du monde et de l'Univers. Des applications technologiques du quotidien aux grandes découvertes astrophysiques, l'infrarouge illustre parfaitement comment une expérience simple peut conduire à une révolution scientifique et durablement élargir notre perception du réel. ●

RÉFÉRENCES

- [1] W. Herschel, Philos. Trans. R. Soc. Lond. **90**, 255 (1800)
- [2] W. Herschel, Philos. Trans. R. Soc. Lond. **90**, 284 (1800)
- [3] W. Herschel, Philos. Trans. R. Soc. Lond. **90**, 296 (1800)
- [4] W. Herschel, Philos. Trans. R. Soc. Lond. **90**, 437 (1800)
- [5] V. Boudon, A. Cuisset, C. Richard, M. Rotger, *La lumière pour sonder le monde. La spectroscopie et ses applications* (Ellipses, Paris, 2024)



ALS-VIS Fiber Lasers & Amplifiers

Industrial grade performances
for highly demanding applications



