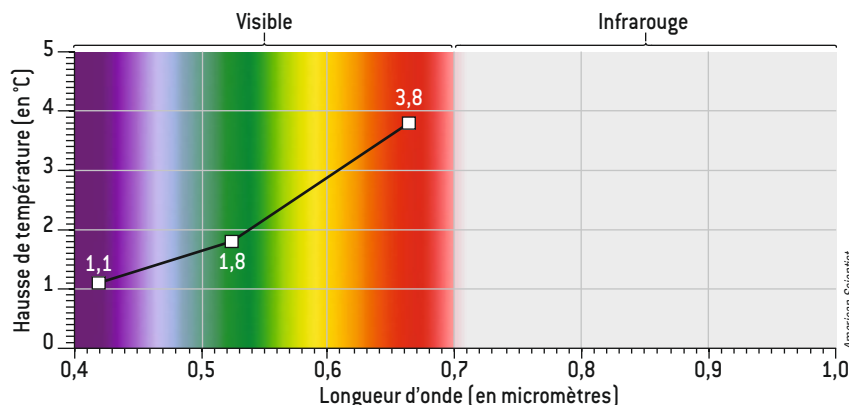




3. LES MESURES DE TEMPÉRATURE DE WILLIAM HERSCHEL dans le spectre visible, comparées à la température ambiante, présentent une tendance à l'augmentation. En voulant savoir si cette hausse se poursuivait au-delà de la lumière rouge, Herschel a mis en évidence le rayonnement infrarouge, qu'il nomma « chaleur radiante ».

de sensibilité et de rapidité, mais les éléments de base sont restés les mêmes. On utilise toujours des prismes, mais une meilleure résolution est obtenue par interférence des ondes : les longueurs d'onde sont séparées par interférence constructive et destructive – les amplitudes des ondes s'ajoutant ou s'annulant. Les détecteurs actuels sont des semi-conducteurs refroidis par cryogénie, beaucoup plus petits, rapides et sensibles qu'un thermomètre au mercure. Cependant l'instrument de Herschel, aux mains du soigneux expérimentateur qu'il était, donnait des mesures d'une étonnante précision.

Avec ce dispositif, Herschel releva des températures, comparant tout d'abord les indications des thermomètres dans les conditions ambiantes pour vérifier la cohérence entre les instruments. Il plaça le thermomètre de mesure dans chaque bande de couleur, en l'y laissant dix minutes pour stabiliser la température. En commençant par le rouge, il obtint une mesure moyenne de 3,8 °C au-dessus de la température ambiante. Le vert et le violet donnaient respectivement 1,8 °C et 1,1 °C [voir la figure 3].

Grâce à cette expérience, Herschel confirma que la capacité de chauffage n'était pas la même d'une couleur à l'autre de la lumière incidente. Il entreprit alors de mesurer l'éclairement aux différentes longueurs d'onde.

Pour trouver le maximum d'éclairement, il dirigea les composantes colorées de la lumière sur divers petits objets observés à travers un microscope grossissant 27 fois. À partir de la brillance et de la clarté de ce qu'il vit, il évalua l'éclairement relatif.

Mesurer l'éclairement

Herschel réalisa dix expériences distinctes avec des objets vus en différentes couleurs. Il tenta de distinguer entre la couleur donnant le maximum d'éclairement et celle qui a la meilleure résolution ou « netteté ». Il ne parvint pas à tirer de conclusion concernant la résolution, mais pour l'éclairement, il fut en mesure d'affirmer :

« Le maximum d'éclairement se trouve dans le jaune le plus vif, ou le vert le plus pâle. Le vert lui-même est presque aussi brillant que le jaune ; mais à partir du vert foncé, la puissance d'éclairement diminue très sensiblement. »

Cette observation est remarquable : le jaune-vert est proche de la longueur d'onde où le Soleil émet le plus d'énergie, et exactement là où la sensibilité de l'œil humain est maximale. Estimant qu'il avait prouvé que la chaleur radiante comme la lumière ne sont pas également distribuées entre les couleurs, et muni de résultats de mesure montrant leurs différences, Herschel était prêt à utiliser ces découvertes pour

son problème d'observation du Soleil et la conception de filtres. Mais il ne le fit pas immédiatement. Au lieu de cela, il retourna aux données de température.

En effet, Herschel était surpris par ses résultats sur la température. Celle-ci augmentait progressivement du violet vers le rouge, sans présenter de maximum sous la forme d'un pic. Les mesures semblaient plutôt suggérer que le chauffage se poursuit dans la région sombre au-delà du rouge. Herschel voulut savoir ce qu'il en était.

Si le maximum se trouve en dehors du spectre visible, alors le chauffage ne provient pas de la lumière, mais d'autre chose. Herschel utilisa l'expression « lumière invisible », avec des termes choisis pour indiquer qu'il savait bien que c'était un oxymore :

« Je conclus de la même façon que le rouge pur est un peu en deçà du maximum de chaleur ; lequel se trouve peut-être un peu plus loin que la réfraction visible. Dans ce cas, la chaleur radiante sera au moins partiellement, voire principalement, constituée, si je peux me permettre l'expression, de lumière invisible ; c'est-à-dire de rayons venant du Soleil, qui ont une quantité de mouvement telle qu'ils ne sont pas adaptés à la vision. »

On note dans cet extrait de l'article qu'en décrivant les rayons en termes de quantité de mouvement, Herschel se référait aux expériences d'Isaac Newton de la fin du XVII^e siècle qui concluaient à la nature corpusculaire de la lumière.

La possibilité que la lumière soit de nature ondulatoire avait pourtant été fort bien argumentée par Christiaan Huygens, contemporain de Newton, mais la conception selon laquelle la lumière était un flux de minuscules particules était dominante à l'époque, en particulier en Grande-Bretagne. Ce point de vue changea dans les 15 années suivantes, mais, à ce moment-là, Herschel se représentait la lumière comme des particules ayant plus ou moins d'« efficacité » dans leur effet sur la matière.

Ce n'est pas la notion de rayons invisibles qui intéressait tant Herschel. C'étaient leurs propriétés qui le captivaient. Il était clair pour lui que la chaleur radiante avait les mêmes propriétés optiques de « réfrangi-

bilité » (nommée aujourd'hui réfraction) et de dispersion que la lumière.

La réfraction est le changement de direction d'un rayon lumineux lorsqu'il passe d'un milieu transparent à un autre (conséquence d'un changement de sa vitesse de propagation), comme le passage de l'air au verre. La dispersion (ou décomposition) de la lumière en plusieurs composantes de couleurs différentes est due à la réfraction : comme cette dernière dépend de la longueur d'onde, les différentes couleurs sont réfractées selon des angles différents. Les arcs-en-ciel et les prismes en sont des exemples.

Herschel ne se représentait pas le rayonnement en termes de longueurs d'onde, mais, en tant que fabricant de lentilles, les effets de la décomposition lui étaient familiers et il savait comment les corriger pour produire des lentilles minimisant ce qu'on nomme aujourd'hui l'aberration chromatique, c'est-à-dire le fait que les différentes couleurs traversant une lentille ne convergent pas vers un même foyer.

Visible et infrarouge : une même nature

Le concepteur de télescopes qu'était Herschel en a tout de suite saisi la portée : si la lumière et la chaleur radiante ont les mêmes propriétés optiques, si elles présentent le même comportement dans leurs interactions avec la matière, cela n'indiquerait-il pas qu'elles sont une seule et même entité ? Cette question domina la réflexion et les travaux de Herschel : neuf jours seulement après avoir écrit son premier article et dix jours avant de le présenter officiellement, il en écrivit un autre plus court pour la *Royal Society*, intitulé « Expériences sur la réfrangibilité des rayons invisibles du Soleil ».

Notons que ce titre fait écho à Newton. En effet, dans l'*Optique* de Newton (1704), un théorème est intitulé « La lumière du Soleil est constituée de rayons différemment réfrangibles ». Newton a beaucoup influencé Herschel. L'approche de ce dernier est presque identique aux expériences de Newton avec un prisme placé sur une fenêtre pour projeter des couleurs sur un

mur. Herschel a repris la méthode qualitative de Newton pour visualiser le spectre et l'a transformée en un instrument quantitatif. Il avait peut-être le sentiment (justifié) de poursuivre les travaux que Newton avait entrepris avec les couleurs de la lumière en étendant le concept de « réfrangibilité différente » aux rayons du Soleil se trouvant au-delà des couleurs visibles.

Herschel reprit sa première expérience et mesura la température dans les zones sombres au-delà du rouge. Il utilisa la position des couleurs visibles comme référence pour noter ses points de mesure dans l'infrarouge.

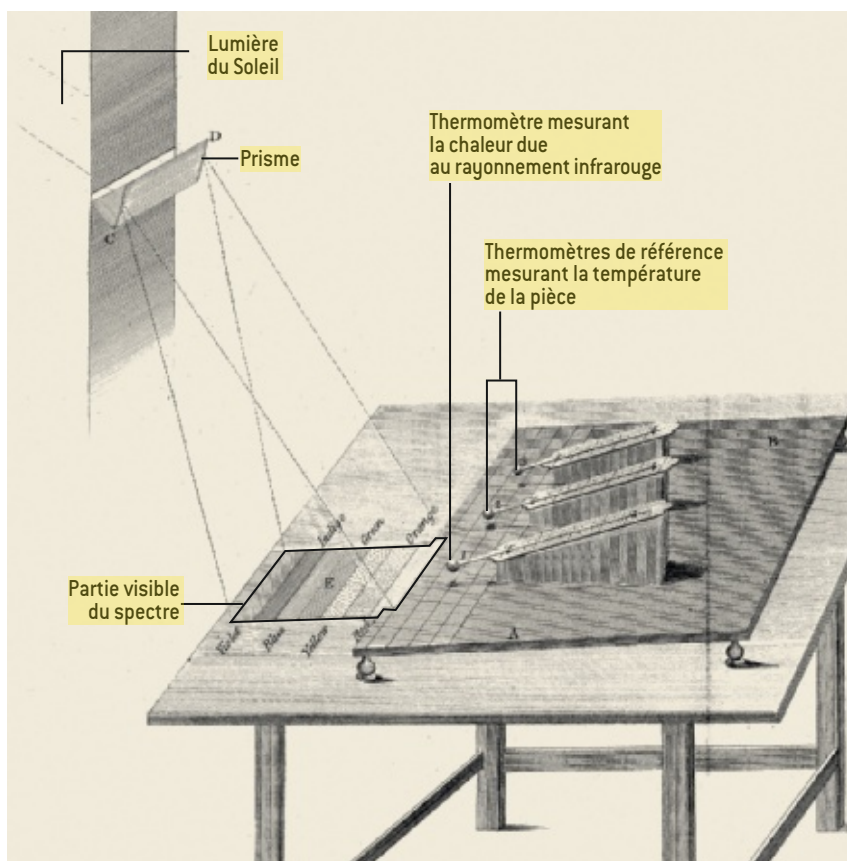
Il releva avec son thermomètre une température qui augmentait jusqu'à atteindre un maximum, puis diminuait. Le ton du deuxième article de Herschel traduit beaucoup d'excitation et de confiance dans sa

L'AUTEUR

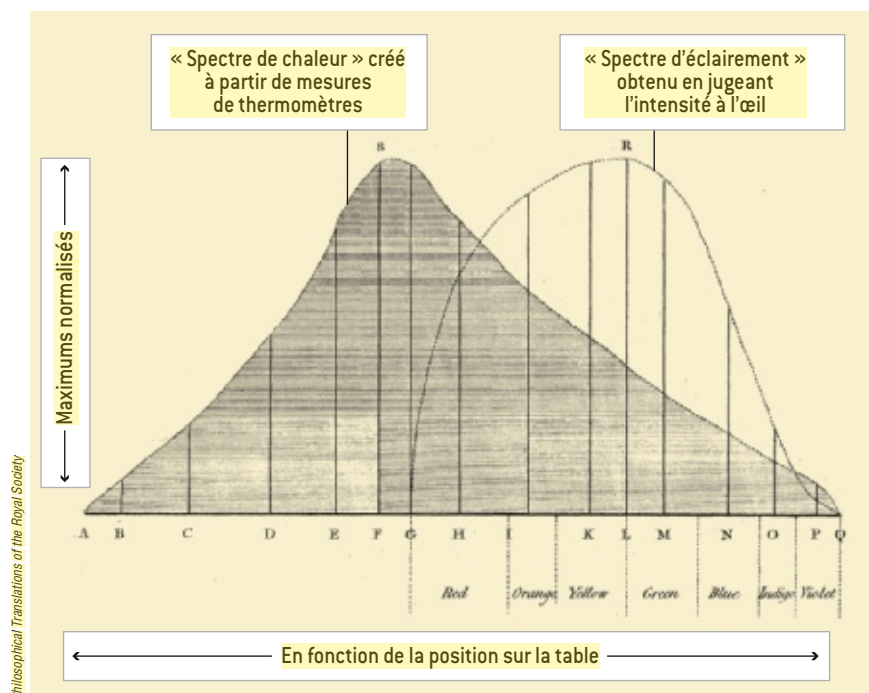


Jack WHITE a été directeur du Groupe de mesures infrarouges avancées pour le Département de la défense des États-Unis. Il travaille aujourd'hui comme conseiller pour l'analyse de données radiométriques infrarouges.

Article publié avec l'aimable autorisation de la revue *American Scientist*.



4. L'EXPÉRIENCE DE HERSCHEL met en jeu un prisme, qui décompose la lumière du Soleil, et un thermomètre, qui mesure la température pour différentes couleurs spectrales. En modifiant son spectroradiomètre, l'astronome mit en évidence qu'un rayonnement invisible était source de chaleur. Le dessin du dispositif est tiré de son deuxième article. L'expérience a montré que la chaleur radiante a les mêmes propriétés optiques de réfraction que la lumière.



5. LE DERNIER ARTICLE DE HERSCHEL concernant l'infrarouge, en 1800, présente le graphique montrant les distributions spectrales de la lumière visible et de la chaleur radiante (le « spectre d'éclairement » et le « spectre de chaleur »). L'association trompeuse de ces deux courbes a conduit Herschel à conclure à tort que la lumière visible et la chaleur radiante sont de natures différentes.

découverte. Dans toutes ses expériences, il avance rarement des opinions qui ne soient pas solidement étayées par les données, mais il termine cet article par un argument de nature philosophique :

« Pour conclure, si nous nommons lumière ces rayons qui éclairent les objets, et chaleur radiante ceux qui chauffent les corps, on peut se demander si la lumière est différente en essence de la chaleur radiante. En réponse à quoi je suggérerais que les règles de la philosophie ne nous autorisent pas à admettre deux causes différentes pour expliquer certains effets, s'il est possible de les expliquer par une seule. »

La réputation de Herschel en tant qu'astronome contribua probablement à assurer à ses articles une réception favorable par la plupart des scientifiques, mais pas par tous. Son troisième article s'ouvre sur une note résolument défensive. Herschel y répond à la critique d'une personne, un « auteur célèbre », qui s'est offusquée de l'expression « chaleur radiante ». Ce détracteur

pourrait avoir été John Leslie, qui était considéré comme un expert de la chaleur et qui supportait mal l'irruption d'un amateur dans son domaine. Dans une lettre publiée dans *A Journal of Natural Philosophy, Chemistry and the Arts* de William Nicholson, Leslie écrivit :

« Il semblerait que cet astronome compétent, en abordant une nouvelle voie de recherche, n'ait pas utilisé l'appareillage adapté à la subtilité du sujet, ni ne se soit suffisamment prémuni contre les nombreuses sources cachées d'erreurs. Je me considère habilité à parler avec la plus grande confiance parce que j'ai longtemps dirigé mes recherches dans la même voie [...]. Je n'hésite donc pas à affirmer que la proposition capitale de Dr Herschel est le fruit d'observations fallacieuses [...]. Et quels que soient mes sentiments concernant la validité des conclusions, j'ai résolu de soumettre calmement et impartialement les prétendus faits à l'épreuve de l'expérience. Quand un photomètre a été placé

au-delà du spectre, [...] pas le moindre effet n'a été perçu. »

Si, comme le prétendit Leslie, son thermomètre différentiel (qu'il appelait « photomètre ») n'a trouvé aucune chaleur au-delà du visible, c'est qu'il était défectueux. Ce point allait bientôt être prouvé de façon spectaculaire par des expériences indépendantes conduites par la *Royal Society*. La nature de la chaleur faisait partie des principaux sujets discutés par les physiciens ; pour ne pas attirer d'autres critiques, Herschel remplaça le terme de « chaleur radiante » par « les rayons qui provoquent la chaleur ».

Oppositions malvenues

L'opposition que Herschel rencontra ne ralentit pas ses expériences, mais ces attaques ont peut-être eu un impact important : dans la seconde partie de son article final, présenté le 6 novembre 1800, Herschel ne mit plus l'accent sur la recherche de preuves de similitude entre la lumière et la chaleur radiante, mais sur les éléments qui les différencient.

Herschel se lança dans un vaste programme de construction d'instruments pour examiner et mesurer chaque propriété. Aux prismes et thermomètres à mercure initiaux, il ajouta diverses lentilles et miroirs dans une douzaine de configurations différentes et une panoplie de matériaux transparents pour comparer la transmission.

En plus de 200 expériences, il confirma, de chaque façon qu'il lui était possible de tester, que la lumière et la chaleur radiante ont les mêmes propriétés optiques. Mais du fait qu'il cherchait les différences plutôt que des ressemblances, il passa à côté de certaines relations ou les interpréta de façon erronée.

Par exemple, il mesura les effets de la diffusion et trouva que le rayonnement diffuse davantage dans l'infrarouge. Ce qui est exact, car la diffusion dépend de la longueur d'onde. Mais Herschel attribua ce résultat à une nature différente de la lumière et de la chaleur, plutôt que d'y voir des signes d'un comportement similaire lors de leur interaction avec la matière, laquelle interaction diffère en intensité selon qu'il s'agit de la lumière ou de l'infrarouge.