

À la découverte des infrarouges

Partie 1 : l'expérience d'Herschel comme introduction à l'effet de serre⁽¹⁾

par Julien DELAHAYE, Aude BARBARA, Olivier CEPAS, Céline GOUJON, Yvonne SOLDO

CNRS - Institut Néel - 38042 Grenoble Cedex 9

julien.delahaye@neel.cnrs.fr

et Sylvie ZANIER

Physique, ingénierie, terre, environnement, mécanique (PhITEM)

Université Grenoble Alpes - 38041 Grenoble Cedex 9

sylvie.zanier@univ-grenoble-alpes.fr

LE RAYONNEMENT infrarouge est omniprésent autour de nous, mais reste néanmoins difficile à appréhender. Dans cet article, nous décrivons et reproduisons une expérience historique, proposée par William Herschel en 1800, qui permet de montrer simplement son existence : la lumière du Soleil est dispersée par un prisme et le réservoir noirci d'un thermomètre à liquide est utilisé comme détecteur de rayonnement. Nous expliquons comment ce dispositif peut être adapté pour analyser la lumière émise par une lampe halogène. Au-delà de la mise en évidence du rayonnement infrarouge, cette lumière « qui chauffe, mais qu'on ne voit pas », l'utilisation d'un thermomètre comme capteur de rayonnement est aussi l'occasion de discuter de la conversion du rayonnement en énergie thermique. Ces expériences qui peuvent être proposées dès le collège constituent une excellente introduction à l'effet de serre atmosphérique et aux différents mécanismes d'absorption et d'émission de rayonnement qui lui sont associés.

INTRODUCTION

Le changement climatique est désormais bien installé dans les programmes scientifiques du collège et du lycée. L'objectif affiché est la connaissance et la maîtrise par les élèves des notions fondamentales permettant sa compréhension, au premier rang desquelles se trouve le désormais célèbre « effet de serre ». Dans l'enseignement supérieur aussi, les initiatives se multiplient ces dernières années pour proposer aux étudiants des unités d'enseignement dédiées à ces questions.

De nombreux schémas explicatifs de l'effet de serre ressemblent à celui de la figure 1 (cf. page ci-après) et portent, par souci de simplification, le message suivant : « les gaz à effet de serre retiennent une partie de la chaleur ». Or ce qui caractérise un gaz à effet de serre est sa capacité à transmettre la lumière visible et les infrarouges proches émis par le Soleil, et à absorber (en partie) les infrarouges plus lointains émis par la Terre, ce qui conduit à un échauffement global. Il nous semble donc nécessaire, pour

(1) **NDLR** : la partie 2 de cet article paraîtra dans *Le Bup* n° 1075 en juin 2025.

expliquer le mécanisme de l'effet de serre climatique, de préciser ce qu'on sous-entend ici avec le mot « chaleur » en parlant explicitement de rayonnement infrarouge.

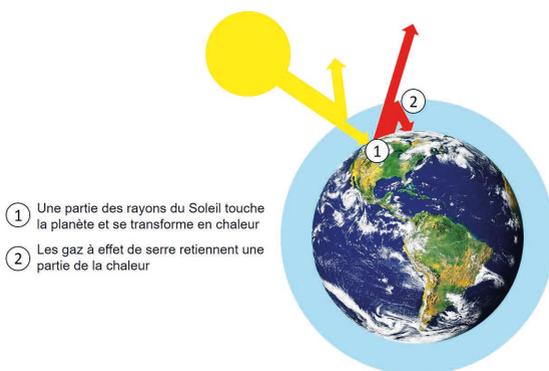


Figure 1 - Schéma explicatif de l'effet de serre inspiré de plusieurs sources.

La découverte du rayonnement infrarouge est attribuée à William Herschel qui réalisa en 1800 une expérience relativement méconnue et rarement mentionnée pour parler du changement climatique. Celle-ci constitue pourtant un point de départ très intéressant pour introduire l'effet de serre et les étapes historiques qui ont conduit à sa compréhension.

Dans cette première partie de notre article, nous décrivons et reproduisons l'expérience historique d'Herschel en nous limitant à une exploitation qualitative des résultats, adaptée à une utilisation au collège et au lycée. Nous montrons notamment comment elle permet de mettre en évidence les infrarouges présents dans la lumière provenant du Soleil ou d'une lampe halogène. Dans une deuxième partie plus adaptée à l'enseignement supérieur, nous expliquons comment ce dispositif expérimental peut être utilisé pour mesurer le spectre d'une lampe halogène [1].

1. EXPÉRIENCE HISTORIQUE DE WILLIAM HERSCHEL

William Herschel (1738-1822) est à la fin du XVIII^e siècle un astronome rendu célèbre par sa découverte d'Uranus en 1781. En 1800, il publie une série d'articles [2] sur un sujet qui semble éloigné de l'astronomie. Ce sont pourtant ses observations des taches solaires qui le mènent à son *« Étude des pouvoirs des couleurs prismatiques à chauffer et illuminer des objets »*. Observer le Soleil nécessite de se protéger les yeux et de protéger l'optique des télescopes de la chaleur reçue. Il teste pour cela de nombreux verres colorés et noircis, et note dans son premier article [2a] : *« Ce qui me paraissait remarquable, c'était qu'avec certains (verres), j'éprouvais une sensation de chaleur quoique j'eusse peu de lumière ; tandis que d'autres m'apportaient beaucoup de lumière, mais presque aucune sensation de chaleur »*. Certaines couleurs seraient ainsi plus aptes à chauffer qu'à éclairer,

et d'autres au contraire plus aptes à éclairer qu'à chauffer. Pour vérifier cette hypothèse, William Herschel met en place une expérience simple dont les résultats sont rétrospectivement clairs, mais qui vont, à l'époque, être discutés et critiqués (cf. introduction de l'article de T.J. Seebeck [3]).

Dans son expérience, William Herschel décompose la lumière du Soleil à l'aide d'un prisme et projette le spectre ainsi obtenu sur un plateau où se trouvent trois thermomètres à mercure dont les réservoirs ont été noircis (cf. figure 2). Un thermomètre est placé dans une des couleurs du spectre tandis que les deux autres servent de référence, la température étant mesurée une fois l'équilibre atteint. En déplaçant le plateau, William Herschel mesure successivement les températures de son thermomètre dans chacune des couleurs du spectre : la température augmente du violet au rouge avec un maximum dans le rouge au bord du spectre [2a]. Dans une seconde expérience déterminante, il place le thermomètre légèrement au-delà du rouge, dans une zone où il n'y a plus de lumière visible, et observe que le thermomètre indique une température encore plus élevée [2b]. Il y a donc bien dans cette zone un rayonnement, invisible à l'œil, mais capable d'échauffer un thermomètre. C'est ce rayonnement, moins dévié que le rouge par un prisme, qui sera appelé plus tard rayonnement «infrarouge».

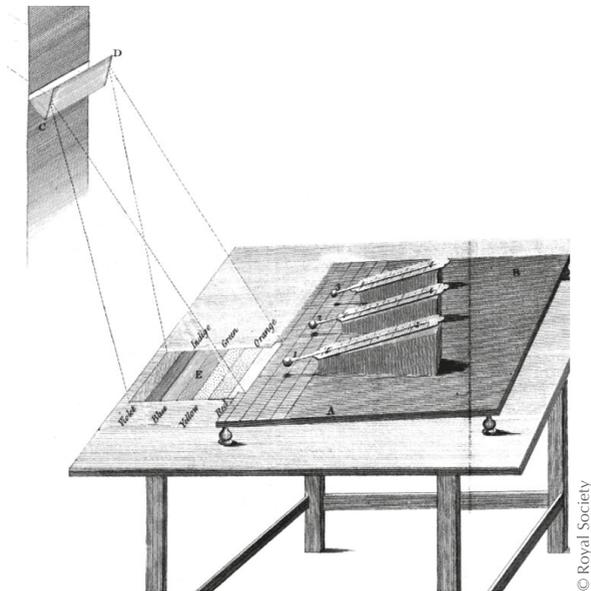


Figure 2 - Schéma original de l'expérience d'Herschel [2b] montrant le spectre du Soleil projeté sur une table et les thermomètres à déplacer dans les différentes couleurs.

À partir de ces données, il reporte l'augmentation de température mesurée en fonction de la position des thermomètres sur le plateau (cf. figure 3, courbe avec aire

grisée). Cette courbe, qu'il appelle spectre de « chaleur » [2d] et que nous appellerons par la suite spectre prismatique, a bien son maximum « S » au-delà du rouge. Il la compare à une courbe plus subjective d'« illumination » dont le maximum « R » (cf. figure 3, courbe en pointillés), qui correspond à une zone de meilleure perception de l'œil, est dans le jaune-vert. Le décalage des deux courbes est l'un des éléments qui l'amènent à penser que les rayons de lumière et de chaleur sont de nature différente [2d] : « Ces rayons ne s'accordent ni sur leur réfrangibilité moyenne, ni sur la position de leur maximum. Là où la lumière est la plus intense, il y a peu de chaleur ; et là où il y a le plus de chaleur, on ne trouve aucune lumière ».

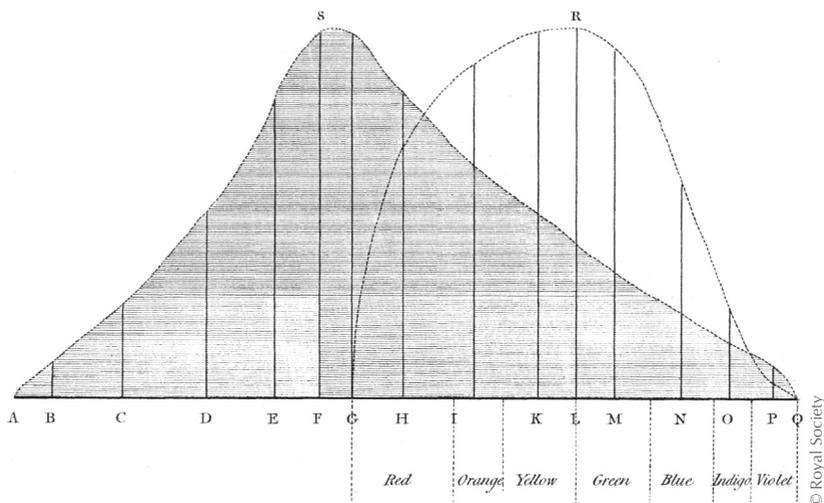


Figure 3 - Spectre de chaleur (courbe avec aire grisée) et spectre d'illumination (courbe en pointillés) obtenus par William Herschel en 1800 (planche XX de la référence [2d]). Chaque trait vertical représente un point de mesure. L'axe des abscisses qui donne la position dans le spectre reprend les sept couleurs introduites par Isaac Newton cent ans plus tôt.

Cette découverte qui interroge la composition du rayonnement solaire (et qui sera complétée en 1801 par la découverte des rayons « oxydants » du côté ultraviolet par Johann Ritter) hantera le XIX^e siècle jusqu'aux travaux de James Clerk Maxwell et Heinrich Hertz qui montreront que ces rayonnements sont de même nature : ce sont des ondes électromagnétiques qui ne diffèrent que par leur fréquence (voir l'article E. Scott Barr [4] pour une revue historique du rayonnement infrarouge).

2. REPRODUCTION DE L'EXPÉRIENCE DE WILLIAM HERSCHEL

2.1. Dispositif expérimental

Le Soleil est une source de lumière intense (irradiance ou éclairement énergétique

jusqu'à $\approx 1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ au niveau du sol à nos latitudes) dont les rayons nous arrivent quasi parallèles (diamètre apparent du Soleil d'un demi-degré seulement). Un montage simple constitué d'un prisme et d'un thermomètre à liquide suffit alors pour mesurer plusieurs degrés d'augmentation de température dans le spectre. Le Soleil se déplace par contre rapidement dans le ciel, et il faut donc ajuster les positions du prisme et/ou des thermomètres pendant le temps de mise à l'équilibre thermique (typiquement une dizaine de minutes). L'expérience peut se faire comme William Herschel en intérieur devant une fenêtre, ouverte pour éviter l'absorption de la vitre, ou en extérieur.

Notre dispositif expérimental est décrit sur la figure 4⁽²⁾ (cf. page ci-après). Un prisme est placé dans l'entrefer d'un étau orientable, lui-même fixé sur un marchepied facile à déplacer. La hauteur et l'orientation du prisme sont réglées afin d'obtenir à l'œil un beau dégradé aux couleurs du spectre sur un support blanc dans une zone à l'ombre⁽³⁾. Si le prisme est poli sur ses trois faces, on note l'existence de deux reflets non dispersés (blancs) que l'on peut déplacer par rapport au spectre en tournant le prisme sur lui-même. L'origine de ces reflets non dispersés et les effets de l'orientation du prisme sont discutés dans l'annexe 2 disponible sur le site de l'UdPPC.

Pour simplement démontrer l'existence de « quelque chose qui chauffe » au-delà du rouge, un seul thermomètre suffit. Pour comparer les augmentations de température en différents points du spectre visible et au-delà du rouge, comme l'a fait William Herschel, il est préférable de placer plusieurs thermomètres simultanément dans le spectre (cf. figures 4A et 4C, page ci-après). On gagne ainsi beaucoup de temps et on limite l'influence des variations de la lumière du Soleil (inclinaison, nuages...). L'augmentation de température sur chaque thermomètre est alors mesurée avec deux photos : une première prise en cachant le spectre au niveau du prisme (température de référence), et une seconde après stabilisation des thermomètres dans le spectre. On s'affranchit ainsi des différences d'étalonnage d'un thermomètre à l'autre et des éventuels gradients de température. Pendant la stabilisation des thermomètres, le prisme est déplacé pour maintenir la limite rouge/infrarouge au même endroit par rapport aux thermomètres, et corriger ainsi approximativement le déplacement du Soleil dans le

-
- (2) Pour plus de détails sur le matériel utilisé, voir annexe 1 disponible sur le site de l'UdPPC.
- (3) Si une zone blanche apparaît au centre du spectre, cela signifie que l'élargissement de chaque composante spectrale, dû notamment au fait que toute la face d'entrée du prisme est éclairée par la lumière du Soleil, est trop important par rapport à la dispersion du prisme. Il est alors nécessaire soit d'éloigner le prisme du support de projection, soit de le tourner sur lui-même pour s'éloigner du minimum de déviation (cela étale plus le spectre mais il devient plus sensible au changement de l'angle d'élévation du Soleil pendant le temps de mesure). On peut également placer une fente sur la face d'entrée du prisme pour augmenter la pureté spectrale, mais au détriment de la puissance radiative. L'objectif étant ici de montrer la présence de « quelque chose qui chauffe » au-delà du rouge, la pureté spectrale des couleurs n'est pas déterminante.

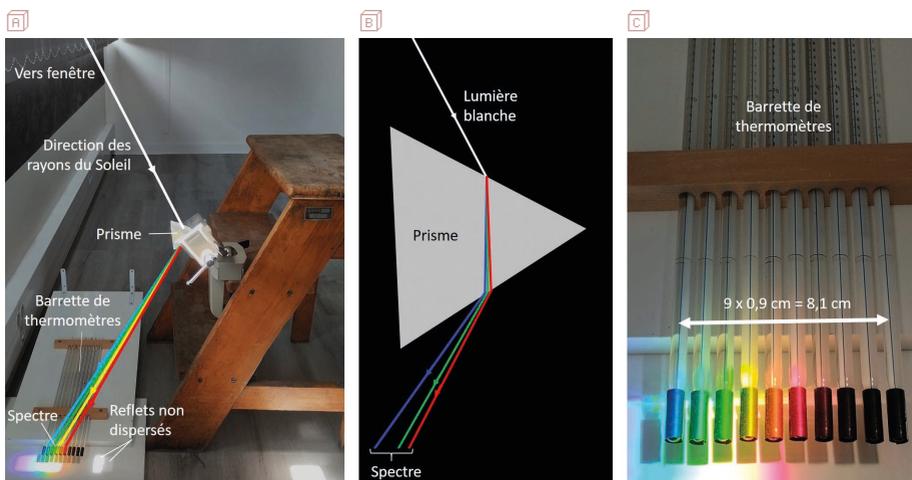


Figure 4 - **A**) Photo du montage au Soleil (en intérieur) avec un prisme en flint et une barrette de dix thermomètres. Les reflets non dispersés (blancs) sont visibles à côté des thermomètres (cf. annexe 2 disponible sur le site de l'UdPPC). **B**) Schéma du trajet des rayons dans le prisme, avec les rayons doublement réfractés qui donnent le spectre. **C**) Photo des dix thermomètres régulièrement espacés dont les réservoirs sont recouverts de ruban adhésif noir. Six thermomètres sont positionnés dans le spectre visible et quatre au-delà du rouge.

ciel. Les réservoirs de chaque thermomètre sont recouverts d'une couche de ruban adhésif isolant électrique noir (cf. partie 3.).

2.2. Mesures et discussion

Des exemples de spectres prismatiques sont représentés sur la figure 5 (cf. page ci-contre) pour deux types de verre (flint et crown).

Une augmentation de température de plusieurs degrés est mesurée dans la partie visible du spectre, mais aussi au-delà du rouge, «là où l'on ne voit rien». Cette source d'énergie invisible à l'œil correspond au rayonnement infrarouge. L'augmentation de température grandit en allant du bleu au rouge, avec un maximum dans le rouge pour le prisme en crown, et au-delà du rouge (comme l'avait noté William Herschel) pour le prisme en flint. Cette dépendance des spectres prismatiques avec le type de verre tout comme la position de leurs maxima peuvent surprendre : pour le spectre «classique» du Soleil qui donne l'irradiance spectrale (en $W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$) en fonction de la longueur d'onde, le maximum est dans le vert.

Cette contradiction apparente s'explique principalement par le fait que la déviation de la lumière par un prisme n'est pas une fonction linéaire de la longueur d'onde. Cette non-linéarité produit une «compression» du spectre quand on va vers le rouge et l'infrarouge, c'est-à-dire vers les petits angles de déviation. Autrement dit, un thermo-

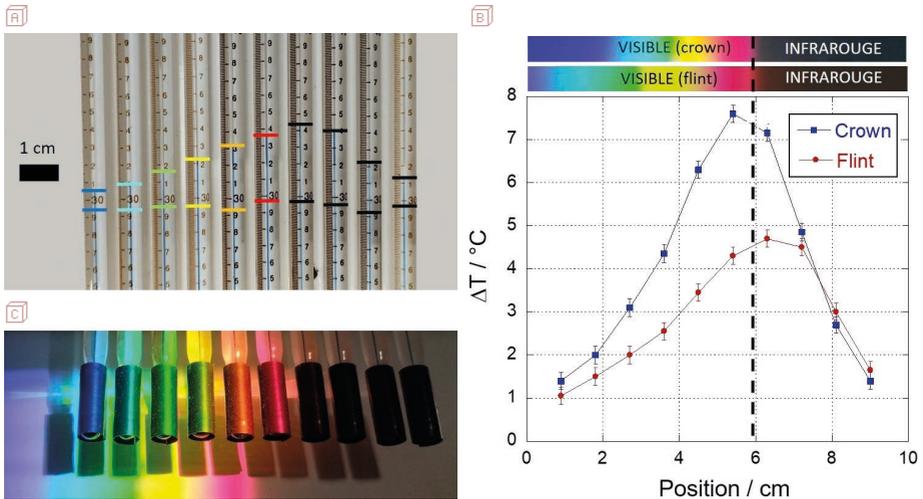


Figure 5 - Mesures avec la lumière du Soleil et une barrette de dix thermomètres. (A) Photos des thermomètres avec les réservoirs dans le spectre pour un prisme en flint. Les températures mesurées dans le spectre et sans le spectre (référence) sont indiquées sur chaque thermomètre par des traits colorés. (B) Augmentation de température ΔT en fonction de la position des thermomètres (chaque point de mesure correspond à un thermomètre de la barrette) pour un prisme en flint et un prisme en crown. Des photos de spectres sont placées au-dessus des courbes⁽⁴⁾. Les distances entre la barrette de thermomètres et les prismes sont similaires dans les deux cas (≈ 50 cm), mais le prisme en crown a été tourné loin de son minimum de déviation afin d'obtenir un beau dégradé de couleurs sans zone blanche sur les thermomètres (cf. note 3 et annexe 2).

mètre, dont le diamètre du réservoir est fixe, «verra» une gamme de longueurs d'onde d'autant plus large qu'il est positionné dans le spectre vers les grandes longueurs d'onde. Le maximum d'augmentation de température mesuré derrière un prisme se trouve ainsi décalé vers les grandes longueurs d'onde par rapport à un spectre classique. Cet effet de compression dépend de la nature du verre du prisme et est plus marqué pour le prisme en flint. Cette dépendance de la position du maximum en fonction du prisme utilisé était connue peu après William Herschel et n'a pas manqué d'alimenter les débats [3]. Le passage d'un spectre prismatique à un spectre classique est discuté dans la deuxième partie de cet article [1].

On note également que l'augmentation de température est significativement plus grande pour le prisme en crown que pour le prisme en flint (ΔT_{\max} de 7,6 °C contre

(4) Les photos de spectre ne reproduisent pas fidèlement ce qu'on voit à l'œil : le dégradé de couleurs est remplacé par des bandes relativement uniformes, l'effet étant d'autant plus marqué que les couleurs sont pures spectralement (cf. article de Julien Delahaye et Sylvie Zanier [5] pour plus d'explications), et la limite rouge-infrarouge est légèrement décalée vers l'infrarouge.

4,7 °C sur la figure 5B, cf. page précédente). Cet écart dépend fortement des conditions dans lesquelles sont réalisées les mesures : orientation des prismes, distance entre le prisme et les thermomètres... Dans l'exemple de la figure 5 (cf. page précédente), il s'explique par un étalement angulaire des spectres plus petit pour le prisme en crown que pour le prisme en flint, ce qui concentre la puissance radiative en sortie de prisme (cf. les photos des spectres au-dessus des courbes de la figure 5B, cf. page précédente), mais aussi par un angle d'incidence sur la face d'entrée des prismes plus petit pour le prisme en crown que pour le prisme en flint, ce qui augmente la surface effective d'entrée du faisceau, et donc la puissance radiative collectée (cf. annexe 2).

3. EXPÉRIENCE DE WILLIAM HERSCHEL AVEC LA LUMIÈRE D'UNE LAMPE HALOGÈNE

3.1. Dispositif expérimental

À l'inverse du Soleil, une lampe halogène est une source stable et fixe de lumière, ce qui facilite la reproductibilité des mesures et ne contraint pas leur durée⁽⁵⁾. Mais l'irradiance obtenue est moindre qu'avec le Soleil : si l'on considère une lampe de 150 W dont la puissance électrique est intégralement transformée en rayonnement et émise dans toutes les directions, l'irradiance à 50 cm de la lampe est de $150 \text{ W} / (4\pi \times (0,5 \text{ m})^2) \approx 50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, soit vingt fois moins que l'irradiance maximale du Soleil. La détection d'infrarouge avec un thermomètre n'est donc possible qu'en concentrant la lumière émise par une lampe de forte puissance à l'aide d'un montage optique *ad hoc*⁽⁶⁾. Comme décrit dans le paragraphe précédent, on peut soit utiliser plusieurs thermomètres à la fois (obtention d'un spectre prismatique en une dizaine de minutes seulement, idéal pour une démonstration en classe), soit utiliser un seul thermomètre qu'on déplace le long du spectre (méthode plus longue, mais plus précise).

Notre montage est représenté sur la figure 6 (cf. annexe 1 pour plus de détails sur le matériel utilisé). La lumière émise par une lampe halogène de 150 W est concentrée à l'aide d'un condenseur sur une fente de largeur réglable placée devant une lentille convergente. Un prisme est placé sur un support tournant dans le faisceau de lumière derrière la lentille. Le ou les thermomètres avec les réservoirs recouverts de ruban adhésif noir sont placés dans le spectre, devant un écran blanc ou suspendus en l'air⁽⁷⁾.

(5) Les lampes à LEDs et fluocompactes émettent peu d'infrarouges et ne conviennent donc pas à cette expérience.

(6) Avec le montage proposé figure 6, nous avons mesuré une irradiance d'environ $200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ à 50 cm derrière la lentille en lumière blanche (sans le prisme).

(7) Nous avons constaté que l'augmentation de température est plus élevée quand les thermomètres sont placés devant un écran, mais cela peut rendre plus complexe une exploitation quantitative des résultats.

La position du thermomètre est telle que la distance (lentille – prisme) + (prisme – thermomètre) est proche de la distance (lentille – image de la fente obtenue en retirant le prisme). L'orientation du prisme et la largeur de la fente sont ajustées pour obtenir à l'œil un beau dégradé aux couleurs du spectre tout en conservant une irradiance suffisante. Un thermomètre témoin, situé à proximité, mais hors du spectre, permet de suivre et de corriger les éventuelles variations de température de la pièce.

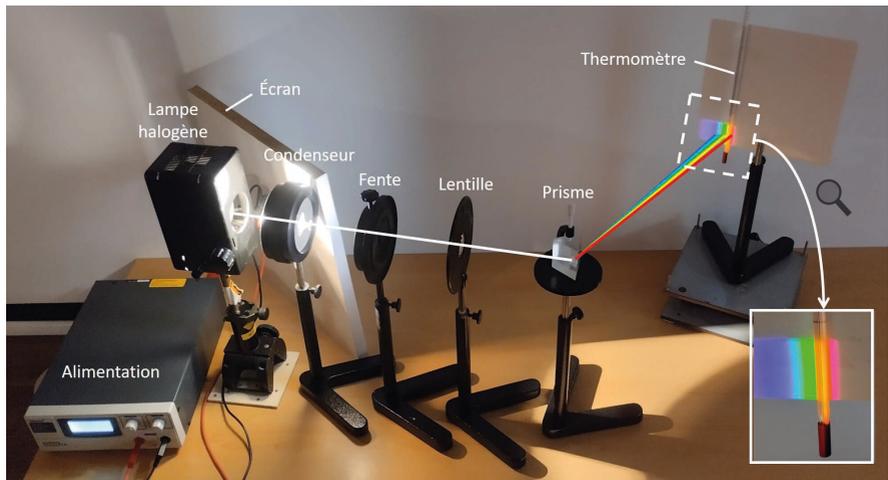
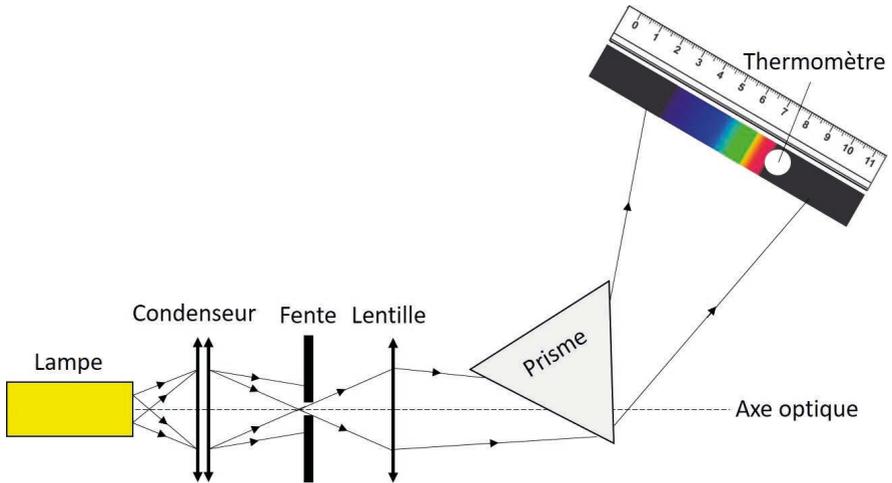


Figure 6 - (A) Schéma et (B) photo du montage. Le réservoir d'un thermomètre recouvert de ruban adhésif noir est suspendu en l'air dans le spectre, visible sur l'écran blanc qui supporte le thermomètre.

3.2. Mesures et discussion

Les résultats obtenus avec un et plusieurs thermomètres sont représentés figure 7 pour un prisme en flint.

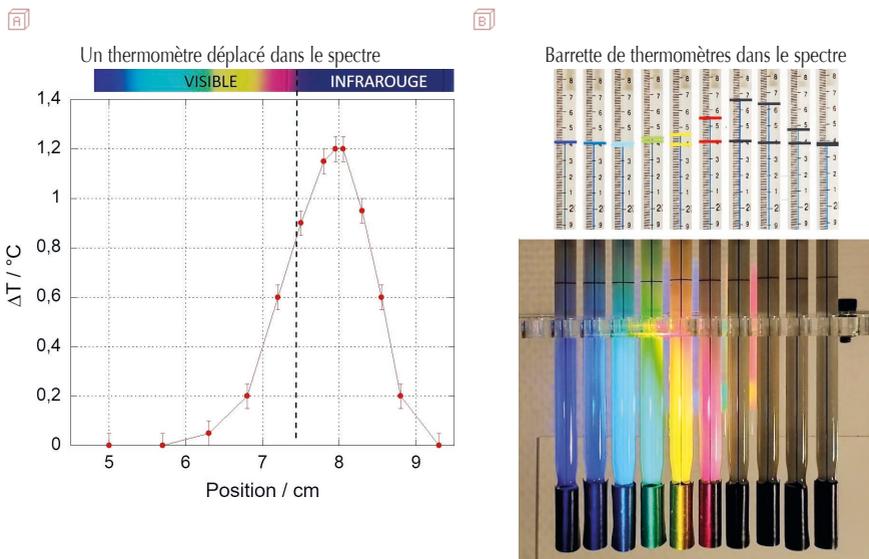


Figure 7 - Augmentation de température ΔT en fonction de la position dans le spectre d'une lampe halogène, avec un thermomètre qu'on déplace (graphique (A)) et avec une barrette de dix thermomètres (B). Les températures données par les thermomètres avec et sans spectre (référence) sur les réservoirs sont indiquées par les traits colorés. Les distances prisme-thermomètres étant différentes dans les deux montages, les augmentations de température ne peuvent pas être comparées directement.

Nous observons, comme avec le Soleil, une augmentation notable de température au-delà du rouge. Mais le maximum d'augmentation est plus éloigné de la limite rouge-infrarouge avec la lampe halogène qu'avec la lumière du Soleil, et la part des infrarouges dans le spectre prismatique est plus grande : sur la figure 7, la surface sous la courbe dans les infrarouges représente plus de trois fois celle dans le visible, alors que ces surfaces sont similaires sur la courbe correspondant au prisme en flint de la figure 5 (cf. pages précédentes). Cela traduit la présence plus importante d'infrarouges de plus grandes longueurs d'onde dans le spectre de la lampe halogène (température du filament autour de 3400 K) que dans celui du Soleil (≈ 6000 K en surface). Attention cependant à ne pas comparer directement les mesures des figures 5 et 7 entre elles, car les distances prisme-thermomètres ne sont pas les mêmes.

4. LE THERMOMÈTRE COMME CAPTEUR DE RAYONNEMENT

Dans les expériences décrites ici, les thermomètres sont utilisés comme détecteurs de rayonnement : l'énergie du rayonnement est absorbée par le ruban adhésif noir, transformée en énergie thermique puis transférée par conduction jusqu'au liquide du réservoir (une modélisation des échanges thermiques en jeu est détaillée dans l'annexe 3). Cette utilisation est donc bien différente de celle habituellement faite quand un thermomètre est plongé dans l'air ou dans l'eau, où la chaleur est transmise directement au réservoir par conduction ou convection.

Pour illustrer ce point, nous avons comparé l'augmentation de température mesurée quand un thermomètre est placé dans la lumière blanche de la lampe halogène (cf. annexe 3, montage sans prisme) dans quatre configurations différentes : avec rubans adhésifs noir, rouge et blanc, et sans ruban adhésif (réservoir « nu »). Les résultats sont reportés dans le tableau 1.

	Ruban adhésif noir	Ruban adhésif rouge	Ruban adhésif blanc	Sans ruban adhésif
ΔT	3,7 °C	1,6 °C	1,0 °C	1,5 °C

Tableau 1 - Augmentations de température ΔT mesurées avec différents rubans adhésifs ou sans sur le réservoir du thermomètre.

Sans surprise, le ruban adhésif noir donne l'augmentation de température la plus élevée (3,7 °C) et le blanc l'augmentation de température la plus faible (1,0 °C). Cet écart, qui est dû aux différentes capacités d'absorption des rubans en fonction de leur couleur, se voit en partie expliqué par leurs spectres de réflexion mesurés entre 350 et 900 nm, limite de fonctionnement de notre spectromètre (cf. figure 8). Le coefficient de réflexion est élevé (absorption faible) pour le ruban adhésif blanc et faible

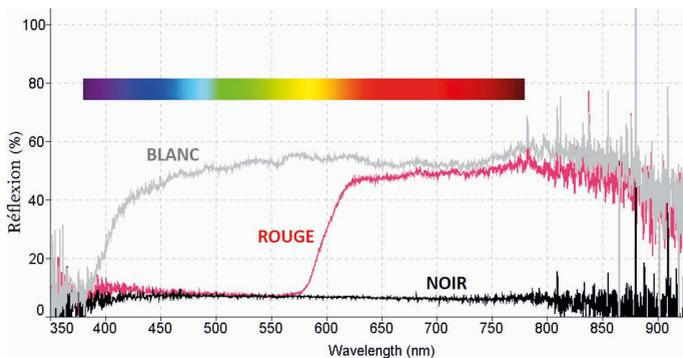


Figure 8 - Spectres de réflexion des rubans adhésifs blanc, rouge et noir.
Attention : ces courbes ne peuvent être interprétées qu'en valeurs relatives.

(absorption forte) pour le ruban adhésif noir, sur toute la gamme de longueurs d'onde mesurée. Le ruban rouge est intermédiaire, avec une réflexion qui ne devient forte qu'au-delà de 600 nm. Ce qui se passe dans la partie visible du spectre et jusque vers 900 nm ne présume cependant en rien de ce qui se passe au-delà : l'augmentation de température de 1,0 °C mesurée pour le ruban adhésif blanc indique qu'une part non négligeable des infrarouges plus lointains émis par la lampe halogène est absorbée.

Pour le réservoir nu, l'augmentation n'est que de 1,5 °C, alors même que le liquide du thermomètre paraît très sombre à l'œil (bleu-violet foncé). Le spectre de transmission du réservoir représenté sur la figure 9 montre que le coefficient de transmission est proche de 100 % entre 700 et 900 nm au moins⁽⁸⁾. Le réservoir nu (liquide coloré + verre) absorbe donc peu les infrarouges très proches du visible (et très présents dans la lumière de notre lampe) : pour ces longueurs d'onde, l'énergie au lieu d'être absorbée et transformée en énergie thermique est simplement transmise à travers le réservoir, ce qui explique l'écart de température avec le ruban adhésif noir.

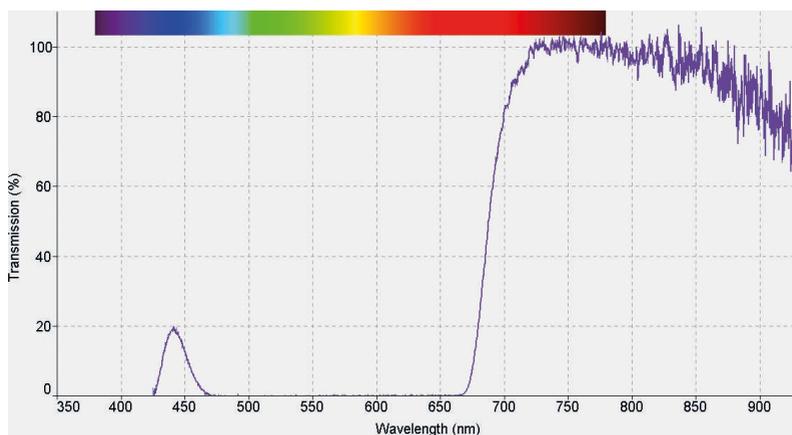


Figure 9 - Spectre de transmission du réservoir du thermomètre (liquide coloré et verre) entre 350 et 900 nm.

On trouve dans la littérature des mesures plus précises qui indiquent que le ruban adhésif isolant électrique noir a un coefficient d'absorption constant et proche de 95 % entre 400 et 2400 nm au moins [6]. Il constitue donc une très bonne approximation de « corps noir », et un bon capteur de rayonnement sur cette gamme de longueurs d'onde (visible et proche infrarouge).

(8) Le petit pic de transmission vers 450 nm explique la coloration bleu-violet du liquide du réservoir.

CONCLUSION

Dans cette première partie, nous avons expliqué comment mettre en évidence l'existence d'un rayonnement infrarouge en utilisant le dispositif introduit par William Herschel en 1800. Au-delà de son intérêt historique, cette expérience est simple à mettre en œuvre : en extérieur, elle nécessite un prisme, quelques thermomètres et une journée de beau temps ; en intérieur, il faudra utiliser une lampe halogène suffisamment puissante et mettre en place un montage optique classique. Le détecteur de rayonnement utilisé est un simple thermomètre à liquide, ce qui permet d'en comprendre le fonctionnement dès le collège.

Cette expérience peut également constituer un très bon point de départ pour parler de l'effet de serre atmosphérique. Elle démontre la présence de rayons infrarouges dans la lumière du Soleil, qui représentent environ 50 % de l'énergie qui arrive sur Terre. Les tests réalisés avec des rubans adhésifs de différentes couleurs permettent d'illustrer la notion d'albédo : une part plus ou moins grande de l'énergie solaire est absorbée par la Terre et convertie en énergie thermique suivant la « couleur » de sa surface (océan, forêt, neige...). Pour mettre en évidence le rayonnement infrarouge de plus grande longueur d'onde qui est émis par la Terre et absorbé (en partie) par les gaz à effet de serre (cf. figure 1, pages précédentes), il faudra faire appel à d'autres capteurs de rayonnement, plus sensibles que les thermomètres à liquide : thermopile, bolomètre, caméra infrarouge [7].

BIBLIOGRAPHIE ET NETOGRAPHIE

- [1] J. Delahaye, A. Barbara, O. Cepas, C. Goujon, Y. Soldo et S. Zanier, « À la découverte des infrarouges – Partie 2 : spectrométrie avec un prisme et des thermomètres », *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, à paraître en juin 2025, vol. 109, n° 1074.
- [2] W. Herschel a décrit ses expériences dans quatre articles, tous publiés en 1800 dans le volume 90 des *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, respectivement p. 255-283 [2a], p. 284-292 [2b], p. 293-326 [2c] et p. 437-538 [2d].
- [3] T.J. Seebeck, “On the unequal evolution of heat in the prismatic spectrum”, *Philosophical Magazine*, series 1, vol. 66, n° 331, p. 330-343, 1825.
- [4] E. Scott Barr, “Historical Survey of the early development of the infrared spectral region”, *American Journal of Physics*, vol. 28, n° 1, p. 42-54, 1960.
- [5] J. Delahaye et S. Zanier, « Photographier un arc-en-ciel ou un spectre ». Disponible à l'adresse : <https://www.123couleurs.fr/exp%C3%A9riences/exp%C3%A9riences-vision/ev-photospectre> page consultée le 1^{er} avril 2025.

- [6] J.L. Marshall, P. Williams, J.-P. Rheault, T. Prochaska, R.D. Allen, D.L. DePoy, “Characterization of the reflectivity of various black materials”, *Proc. SPIE 9147, Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy V*, 91474F, 2014. Disponible à l’adresse :

<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1407/1407.8265.pdf>

page consultée le 1^{er} avril 2025.

- [7] J.L. Dufresne, « Principes de base de l’effet de serre ». Disponible à l’adresse :

<https://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/Effet-serre-Dufresne.xml>

page consultée le 1^{er} avril 2025.

Complément de l’article

Cet article comporte un complément nommé :

◆ *Annexes (partie 1).pdf*

Il est disponible sur le site de l’UdPPC sous la forme d’un fichier zippé 10740389.



Julien DELAHAYE

Chargé de recherche
CNRS - Institut Néel
Grenoble (Isère)



Aude BARBARA

Chargée de recherche
CNRS - Institut Néel
Grenoble (Isère)



Olivier CEPAS

Chargé de recherche
CNRS - Institut Néel
Grenoble (Isère)



Céline GOUJON

Ingénierie de recherche
CNRS - Institut Néel
Grenoble (Isère)



Yvonne SOLDO

Chargée de recherche
CNRS - Institut Néel
Grenoble (Isère)



Sylvie ZANIER

Professeure agrégée de physique
Physique, ingénierie, terre, environnement, mécanique (PhITEM)
Université Grenoble Alpes
Grenoble (Isère)