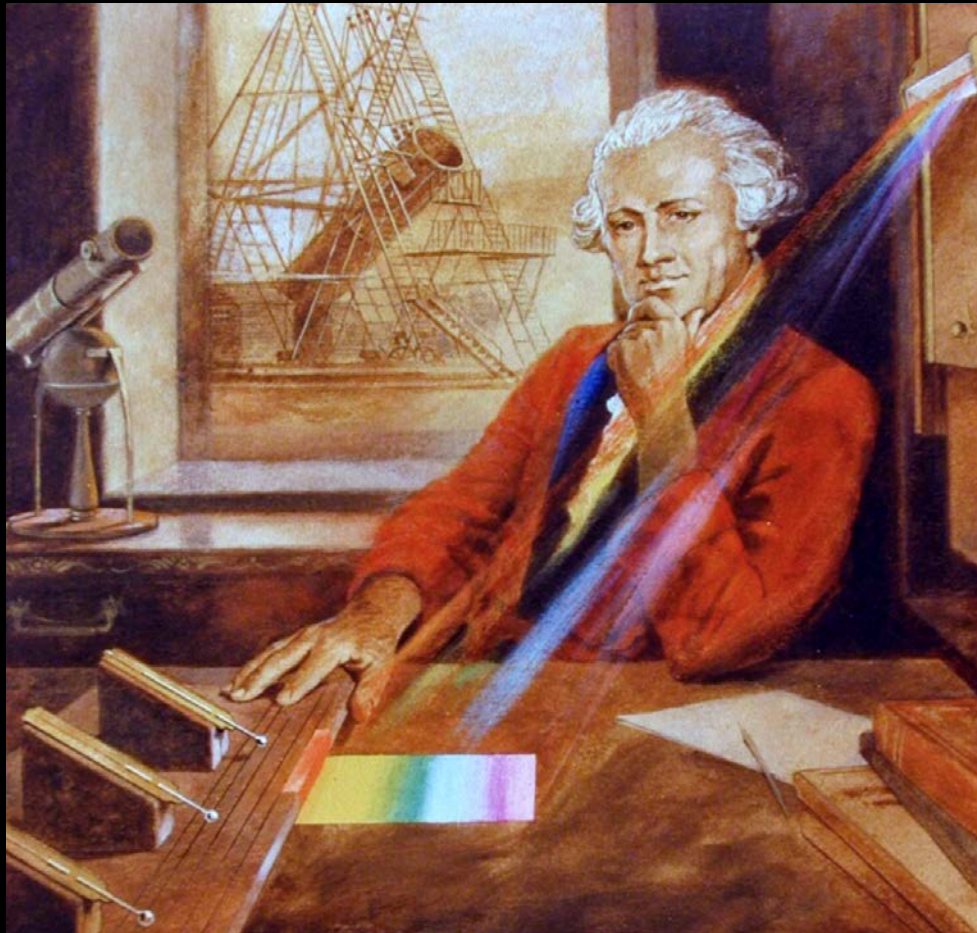


De la découverte des infrarouges à l'effet de serre, cent ans d'histoire(s)

*Aude Barbara, Olivier Cépas, Julien Delahaye, Céline Goujon, Yvonne Soldo (Institut Néel)
Sylvie Zanier (PhITEM-UGA)*



Introduction

Remerciements : plateforme optique (PhITEM), équipe de direction Néel, ligne budget RES PROJ, pôle électronique....

Objectif : étudier des dispositifs expérimentaux de vulgarisation scientifique en lien avec les problèmes environnementaux actuels

Motivations :

- Participer à la sensibilisation et à l'information du grand public et des scolaires ;
- Faciliter la mise en place d'expériences scientifiques, notamment dans l'enseignement secondaire ;
- Prendre du plaisir à explorer à plusieurs des sujets éloignés de nos domaines de compétences habituels.

1^{er} champ d'investigation :

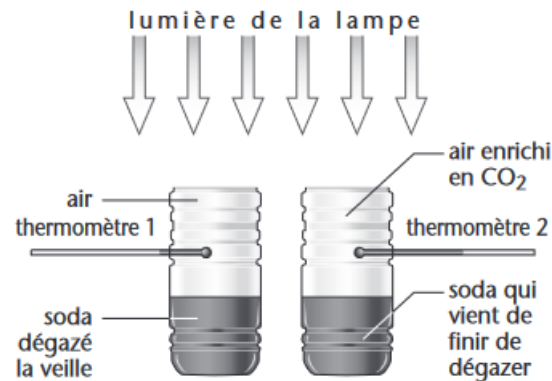
⇒ l'effet de serre climatique (et les mécanismes physiques associés)

Livre « La main à la pâte » (2008)

Le climat,
ma planète...
et moi!



« The greenhouse in a shoebox »



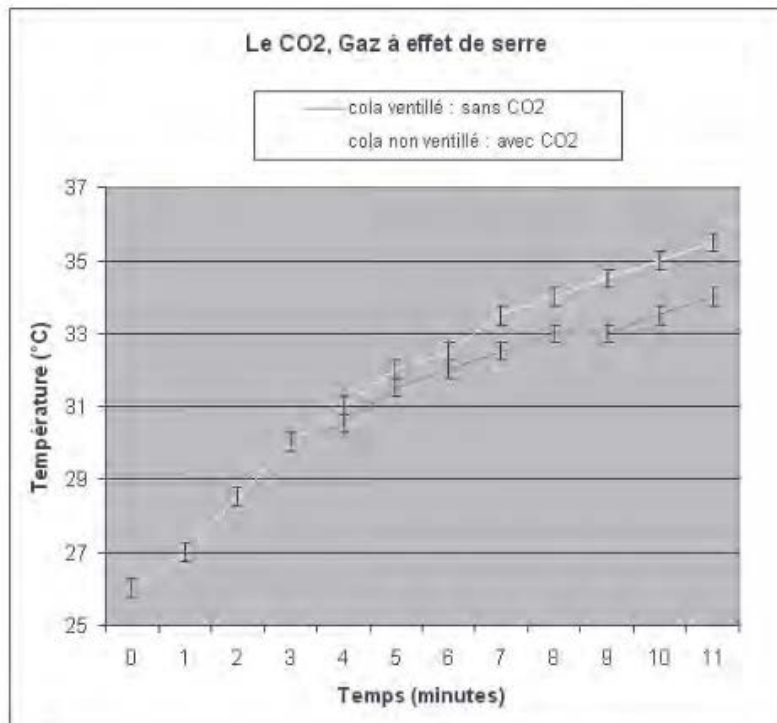
On relève la température dans les deux récipients toutes les minutes pendant dix minutes et on la reporte dans un tableau, puis sous forme de graphique. On constate que la température est plus élevée dans le récipient dont l'« atmosphère » est enrichie en gaz carbonique (écart attendu : entre 1 et 3 °C).

Conclusion collective

Après la lecture des relevés de température, la classe constate que l'air enrichi en CO_2 s'est davantage réchauffé que l'air « pauvre » en CO_2 . L'analogie avec l'atmosphère peut alors être faite : *Plus l'atmosphère contient de gaz carbonique, plus elle se réchauffe. Le gaz carbonique est bien un gaz à effet de serre.*

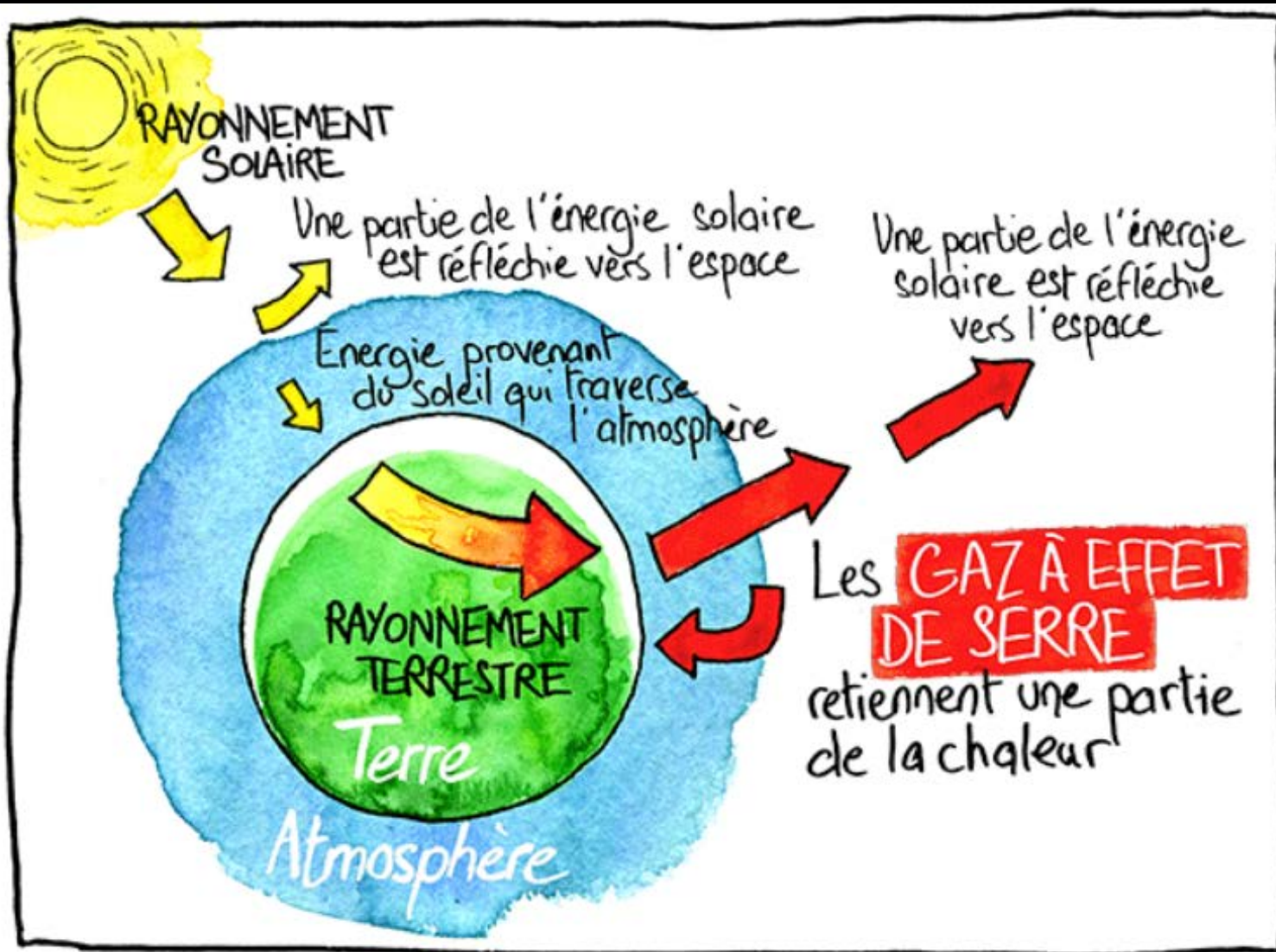
Cette conclusion est notée sur le cahier d'expériences, accompagnée d'un schéma.

Ce constat sera à nouveau confirmé, et complété, lors de la séance suivante, au cours de laquelle les élèves constateront les corrélations entre la concentration de gaz carbonique dans l'atmosphère et la température moyenne sur la Terre depuis mille ans.



<https://fondation-lamap.org/projet/le-climat-ma-planete-et-moi>

La découverte des
infrarouges par
William Herschel
(1800)



**urgence
climatique**

**exposition permanente
à partir du 16 mai 2023**



L'EFFET DE SERRE EN CAUSE

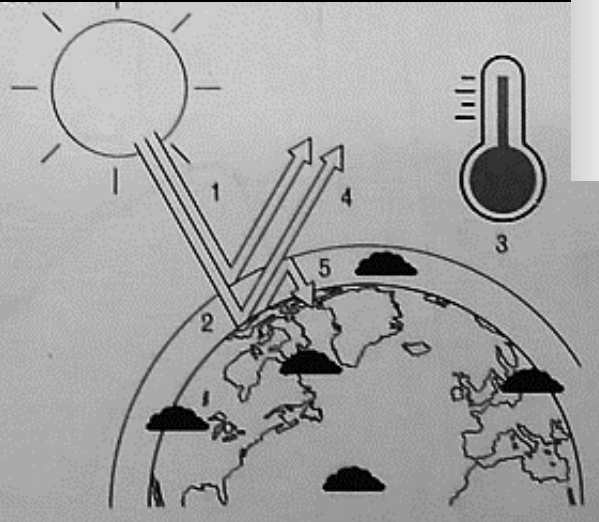
Les rayons du soleil sont bloqués par les GES, la chaleur reste sur la planète.

L'effet de serre apparaît en plusieurs étapes :

1. Les rayons du soleil entrent dans l'atmosphère.
2. Une partie des rayons du soleil touche la planète.
3. Les rayons du soleil se transforment en chaleur.
4. Une partie de la chaleur repart dans l'espace.
5. L'autre partie de la chaleur est piégée par les GES : la chaleur reste sur la planète.

C'est le réchauffement de la planète :

- la chaleur augmente dans les **océans**
- la chaleur augmente sur les **continents**
- la chaleur augmente sur les **glaciers**
- la chaleur augmente dans l'**atmosphère**.



COMPRENDRE LES GAZ À EFFET DE SERRE (GES)

OBJECTIF

Observer
un gaz à effet
de serre, le CO₂.

Matériel

2 bouteilles vides
de 75 cl en verre
transparent, avec
un bouchon plat

2 bouteilles de boisson gazeuse de 50 cl

2 thermomètres
identiques

1 lampe de bureau
équipée d'une ampoule
de 100 ou 150 W

Jour 1 :

Verse le contenu d'une des deux bouteilles de boisson gazeuse (50 cl) dans une bouteille transparente de 75 cl. Laisse-la ouverte : le gaz (du dioxyde de carbone, ou CO_2) va s'échapper et le liquide sera éventé (sans gaz) le lendemain.

Jour 2:

Perce les bouchons des deux bouteilles de 75 cl et glisse un thermomètre à travers chacun d'eux, pour les rendre hermétiques.

Remplis la deuxième
bouteille transparente
avec le contenu de la
deuxième bouteille
de boisson gazeuse.

Rebouche les deux bouteilles et place-les sous la lampe pendant 10 à 20 minutes.

Relève la température dans chaque bouteille. Y a-t-il un écart ? Sais-tu pourquoi ?



EXPLICATION Dans la bouteille où il y a du gaz, la température est supérieure de 2 à 3°C à celle de la bouteille où la boisson gazeuse est éventée. En réponse à la chaleur reçue par la lampe, la boisson gazeuse émet des infrarouges. Le CO₂ ne laisse pas passer les infrarouges : il agit comme un couvercle et « retient » l'énergie à l'intérieur de la bouteille. D'autres gaz ont le même effet.

La découverte des
infrarouges par
William Herschel
(1800)

MOTIVATION

Herschel menait des **observations des taches visibles à la surface du soleil** à l'aide de télescopes fabriqués par lui même

Des filtres étaient nécessaires pour protéger les yeux, mais **la sensation de chaleur ressentie variait avec le type de filtre**

“ What appeared remarkable was, that when I used some of them, I felt a sensation of heat, though I had but little light; while others gave me much light, with scarce any sensation of heat.”

Herschel veut comprendre pourquoi!

METHODE DE TRAVAIL

Prisme

pour séparer la lumière du soleil
dans les différentes couleurs

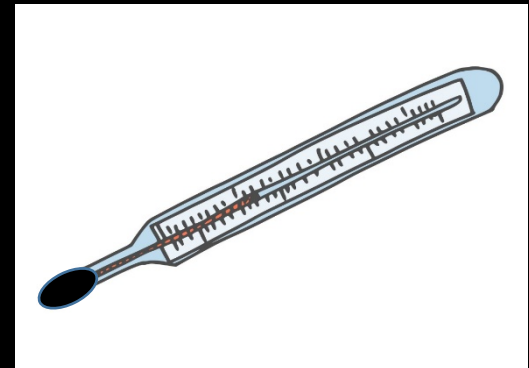


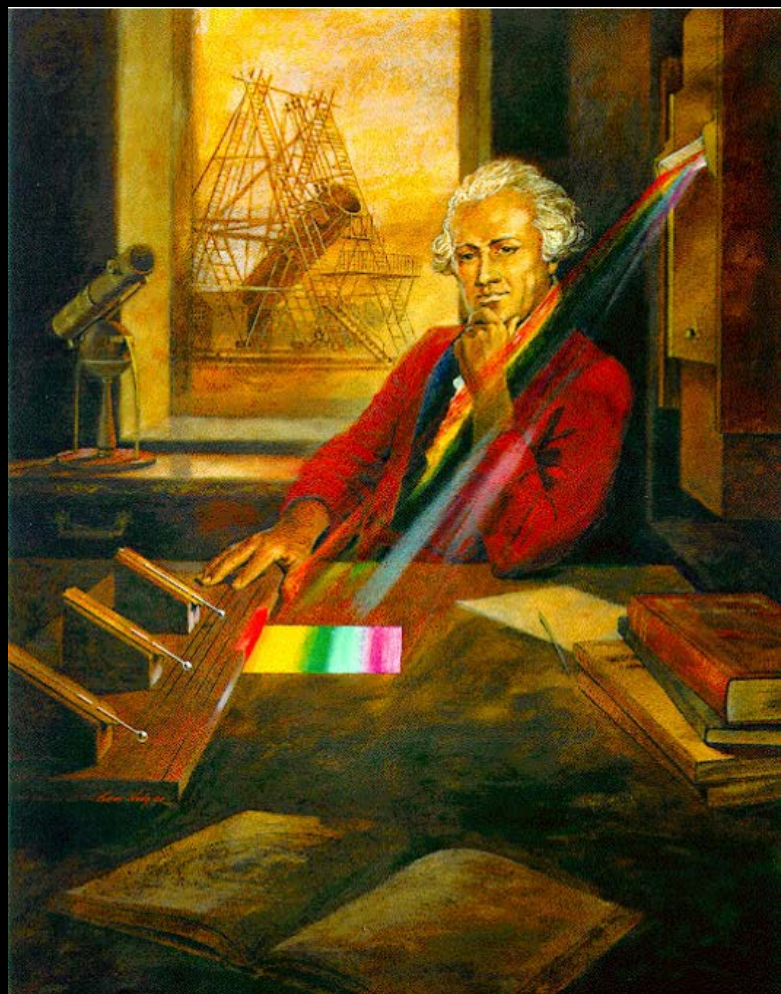
https://ressources.unisciel.fr/photosynthese/co/grain_73_1.html

Thermomètres à mercure

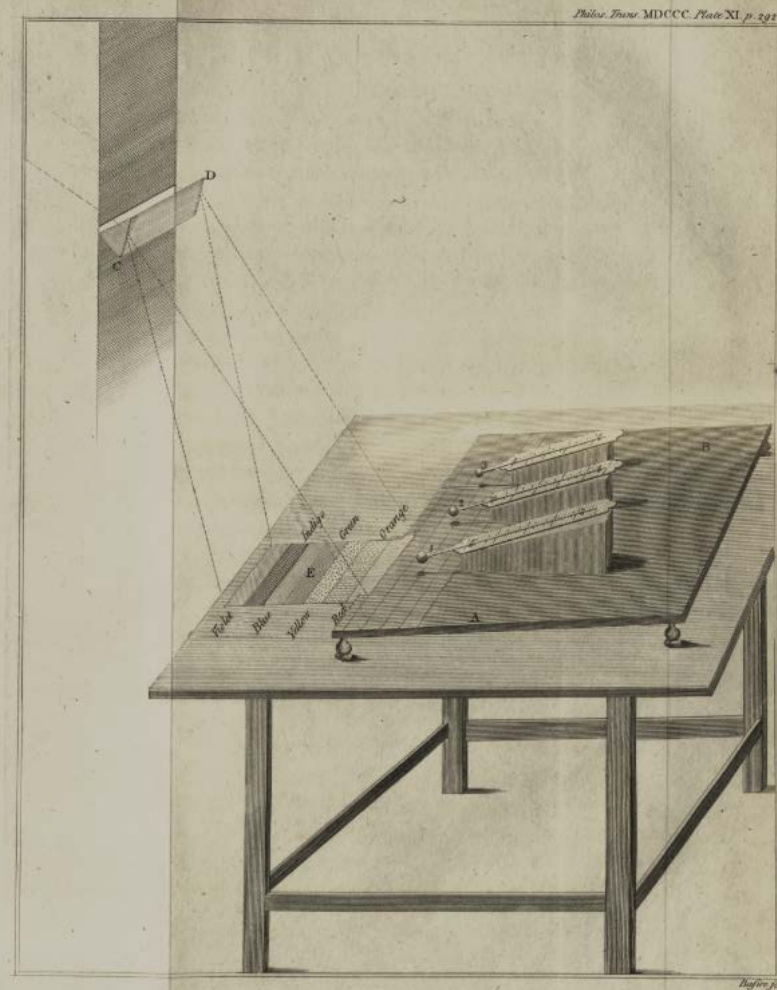
(bulbe noirci avec encre japonais)

pour vérifier si la température mesurée
varie en fonction de la couleur





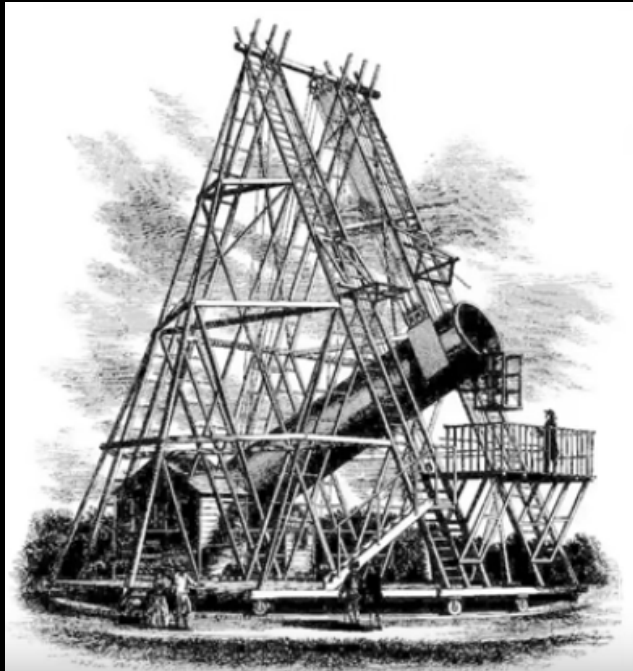
Downloaded from <https://royalsocietypublishing.org/> on 19 March 2024



Sir William Frederik Herschel (1738 - 1822)

Compositeur, instrumentiste (violon, hautbois, orgue), directeur d'orchestre

Il s'initie de manière autodidacte à l'astronomie et à la fabrication de télescopes



- Descriptions d'étoiles doubles
- Comptage du nombre d'étoiles pour comprendre la forme de la galaxie
- 1781 : découverte d'Uranus

Télescope de Herschel (1785-1789)
le plus grand du monde jusqu'à 1845

Caroline Herschel (1750 – 1848)



- Chanteuse soliste, elle renonce à la carrière musicale pour se dédier à l'astronomie
- Elle participe aux recherches de William (fabrication télescopes, mesures expérimentales, calculs théoriques)
- Assistante officielle de son frère nommé astronome royal à la cour de Windsor (50 livres par an pour elle , 200 pour son frère...)
- Elle mène ses propres recherches (découverte de 8 comètes, 14 nébuleuses, publication de catalogues d'étoiles, articles dans Philosophical Transactions, ...)
- Première femme à être membre de la Royal Astronomical Society
- Plusieurs prix prestigieux (gold medal of the Royal Astronomical Society, gold medal of the Prussian Academy of Sciences,...)

1) Herschel, W. 27 mars 1800.

Investigation of the Powers of the Prismatic Colours to Heat and Illuminate Objects; With Remarks, That Prove the Different Refrangibility of Radiant Heat. To Which is Added, an Inquiry into the Method of Viewing the Sun Advantageously, with Telescopes of Large Apertures and High Magnifying Powers
Philosophical Transactions of the Royal Society 90:255–283.

couleur	rouge	vert	violet
ΔT (°F)	6,75	3,25	2
ΔT (°C)	3,75	1,8	1,1

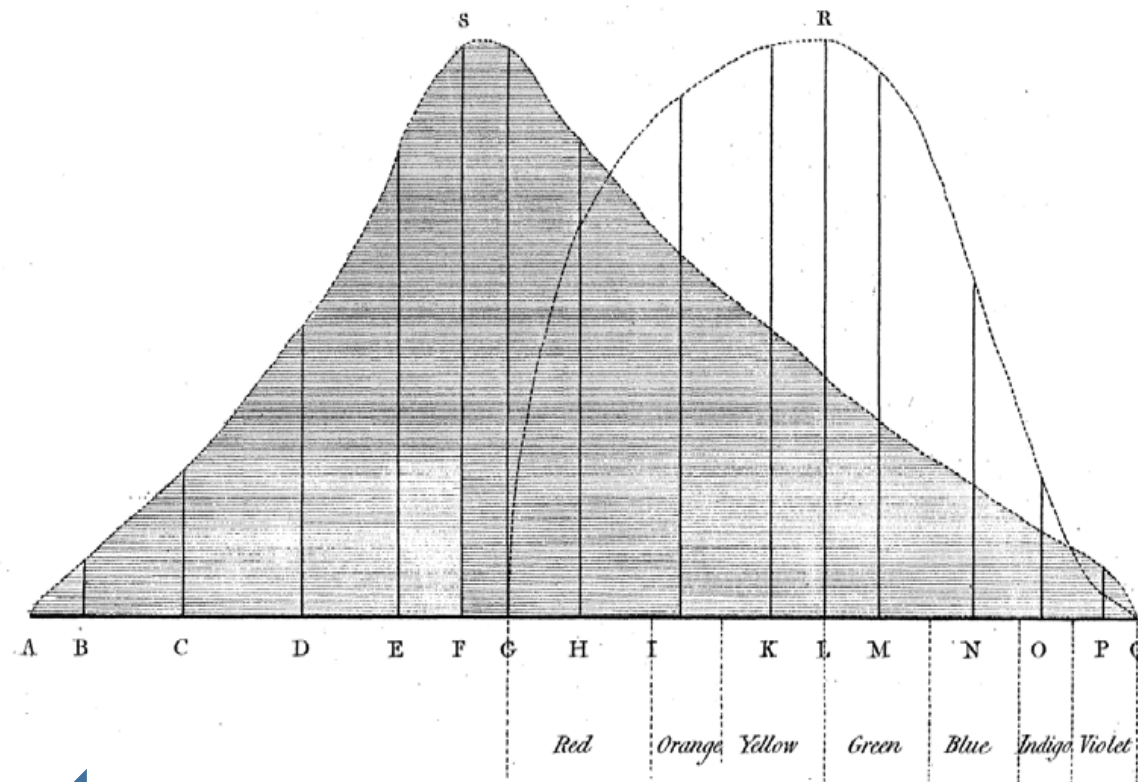


Pas de pic dans l'intervalle du visible
Y-a-t-il un pic au-delà du spectre visible?
Y-a-t-il une « lumière invisible »?

2) Herschel, W. 24 avril 1800

Experiments on the Refrangibility of the Invisible Rays of the Sun
Philosophical Transactions of the Royal Society 90:284–292.

Mesures « beyond the prismatic spectrum , into an invisible state »
Que voit-il?



Pic au delà du rouge !

Il y a bien une « radiation chauffante » invisible à nos yeux

3) Herschel, W. 31 décembre 1800

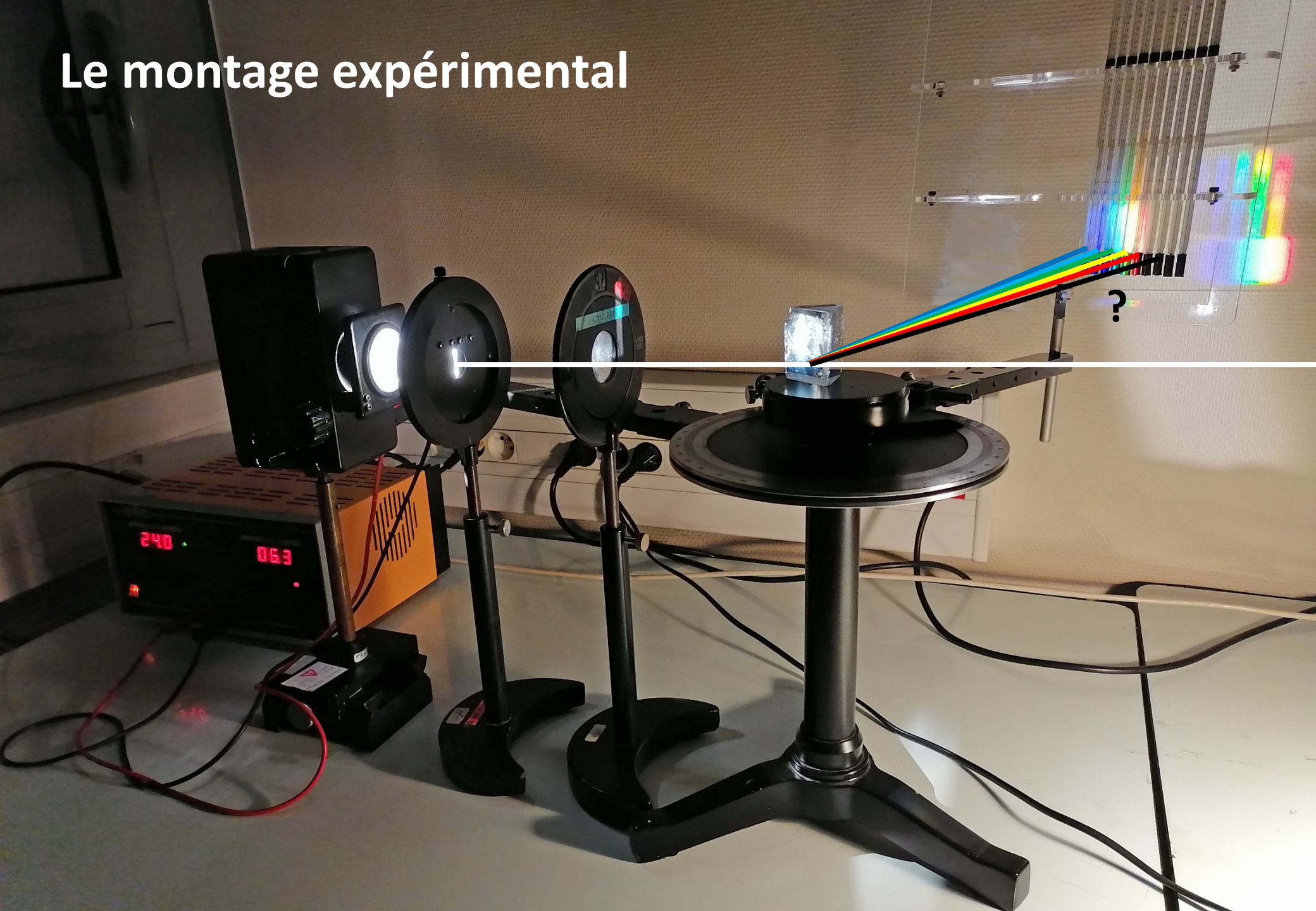
Experiments on the Solar, and on the Terrestrial Rays that Occasion Heat; With a Comparative View of the Laws Which Occasion Them, Are Subject, in Order to Determine Whether They Are the Same, or Different Part I and Part II, Philosophical Transactions of the Royal Society 90: 293–326 and 437–538

MEMES PROPRIETES OPTIQUE ENTRE LA LUMIERE VISIBLE ET LA CHALEUR RADIANTE

Il faudra presque un siècle pour comprendre et admettre que les rayons de lumière et de « chaleur » sont de même nature !

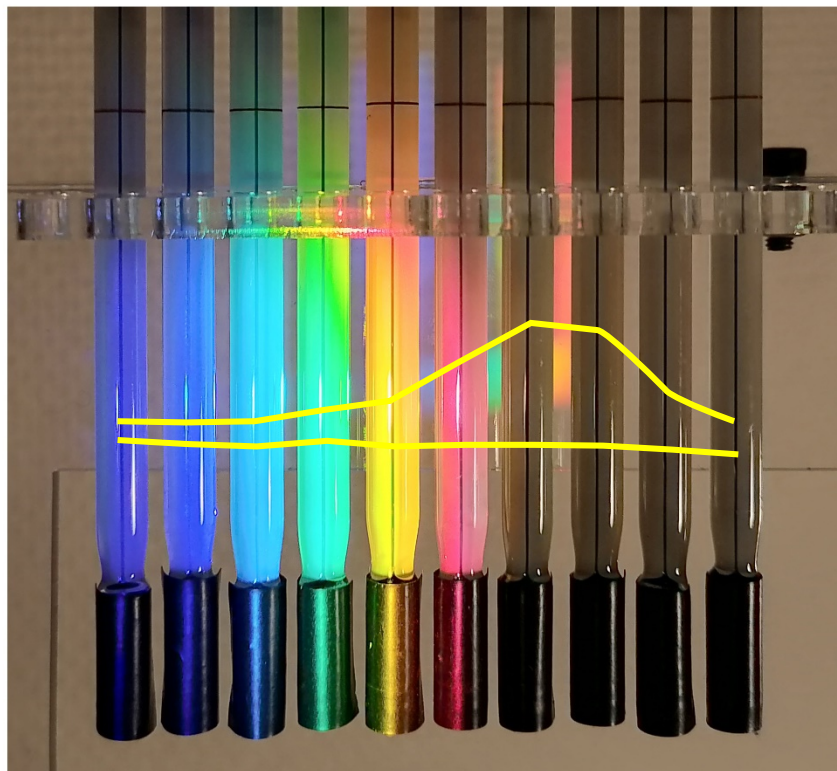
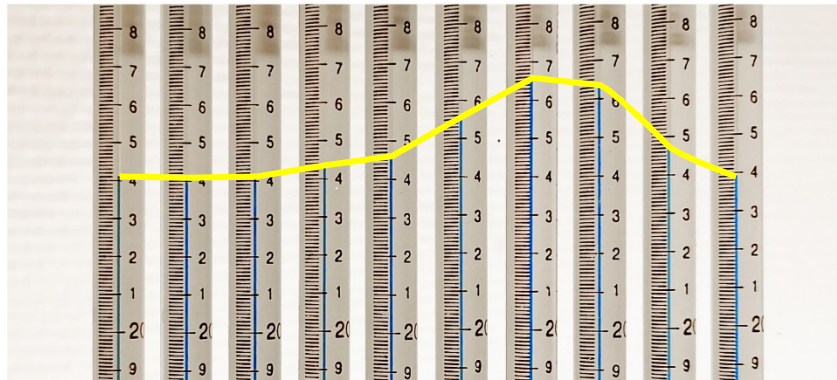
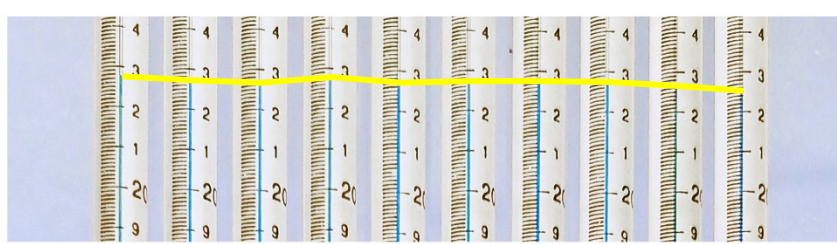
L'expérience historique
d'Herschel :
Réalisation pratique...

Le montage expérimental

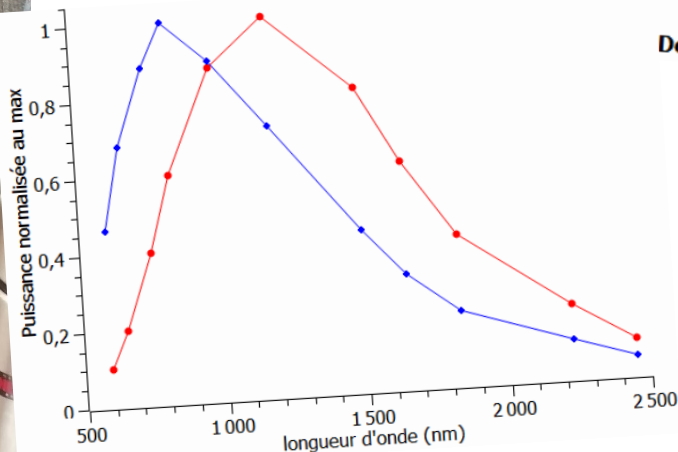
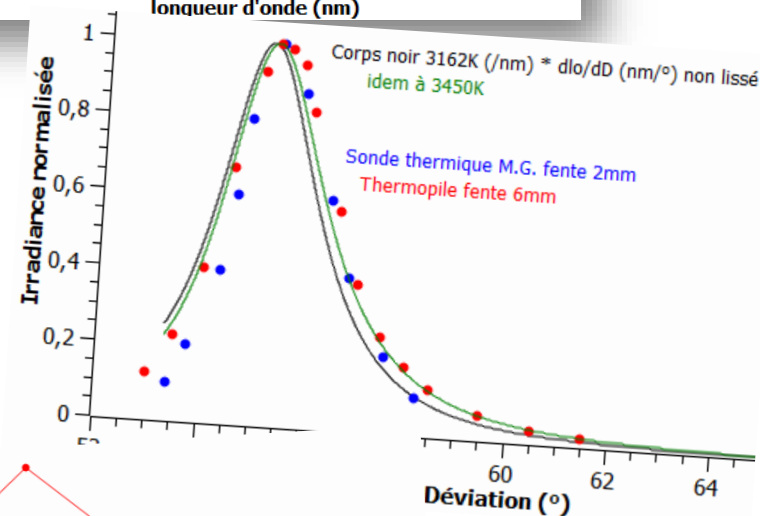
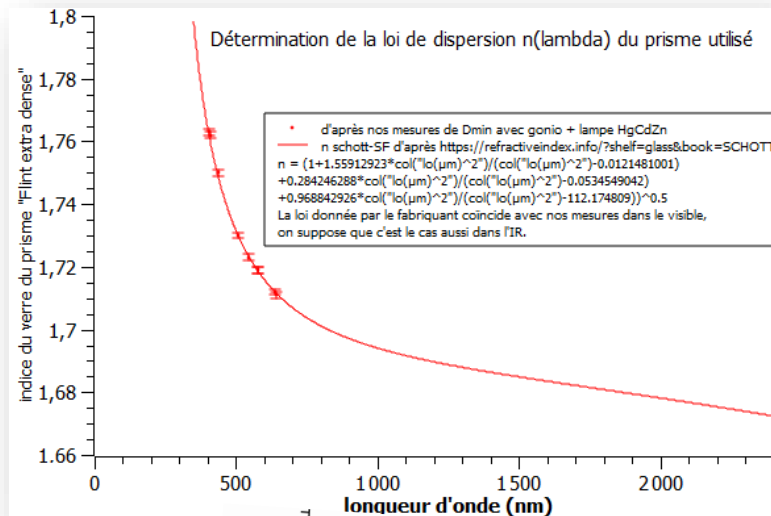


**Thermographe
obtenu avec une
lampe halogène**

**(en attendant
Le soleil !)**

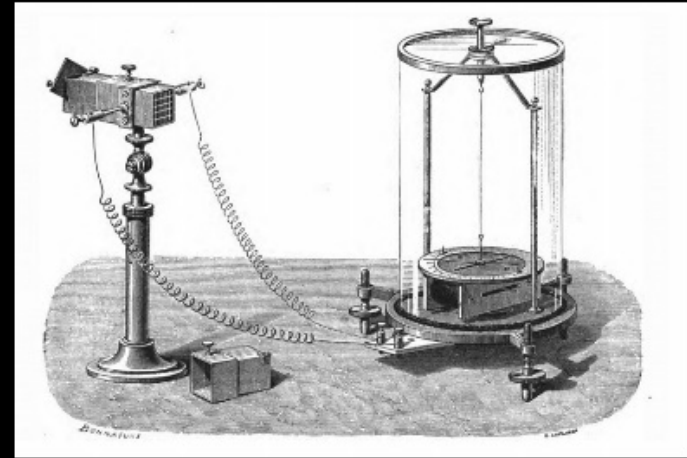


L'équipe au travail



Après Herschel....

Macedonio Melloni (1798-1854) et la thermopile



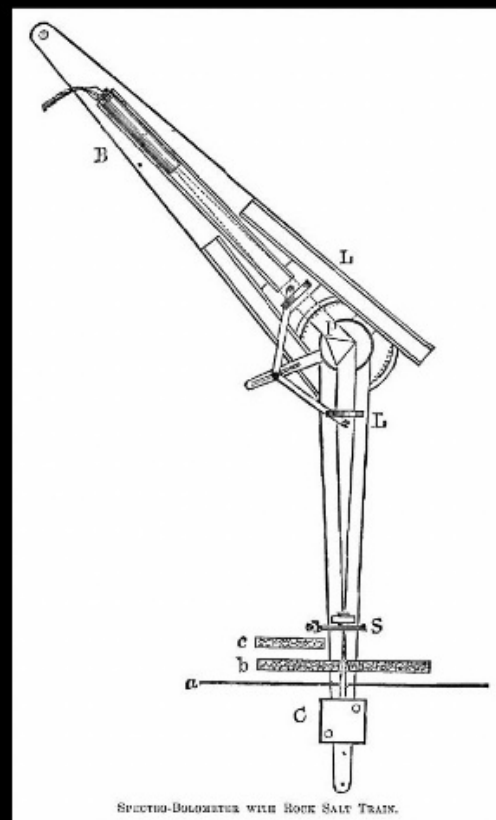
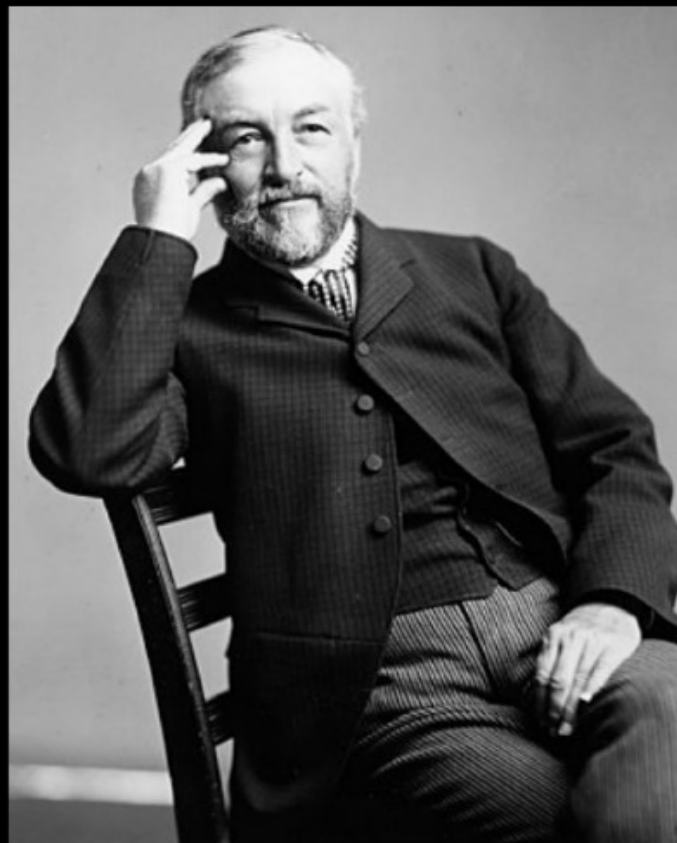
Thermopiles. L. Nobili et M. Melloni (1830).

"Nous avons en main notre inestimable pile thermoélectrique, dont la face est maintenant enduite de noir de fumée, puissant absorbant de la chaleur environnante. Je la tiens en face de la joue de mon préparateur; cette joue est un corps rayonnant; voyez l'effet produit par ces rayons: la pile les boît, ils engendrent de l'électricité et l'aiguille du galvanomètre va à 90°."

extrait de John Tyndall, *La chaleur mode de mouvement*, 1868.

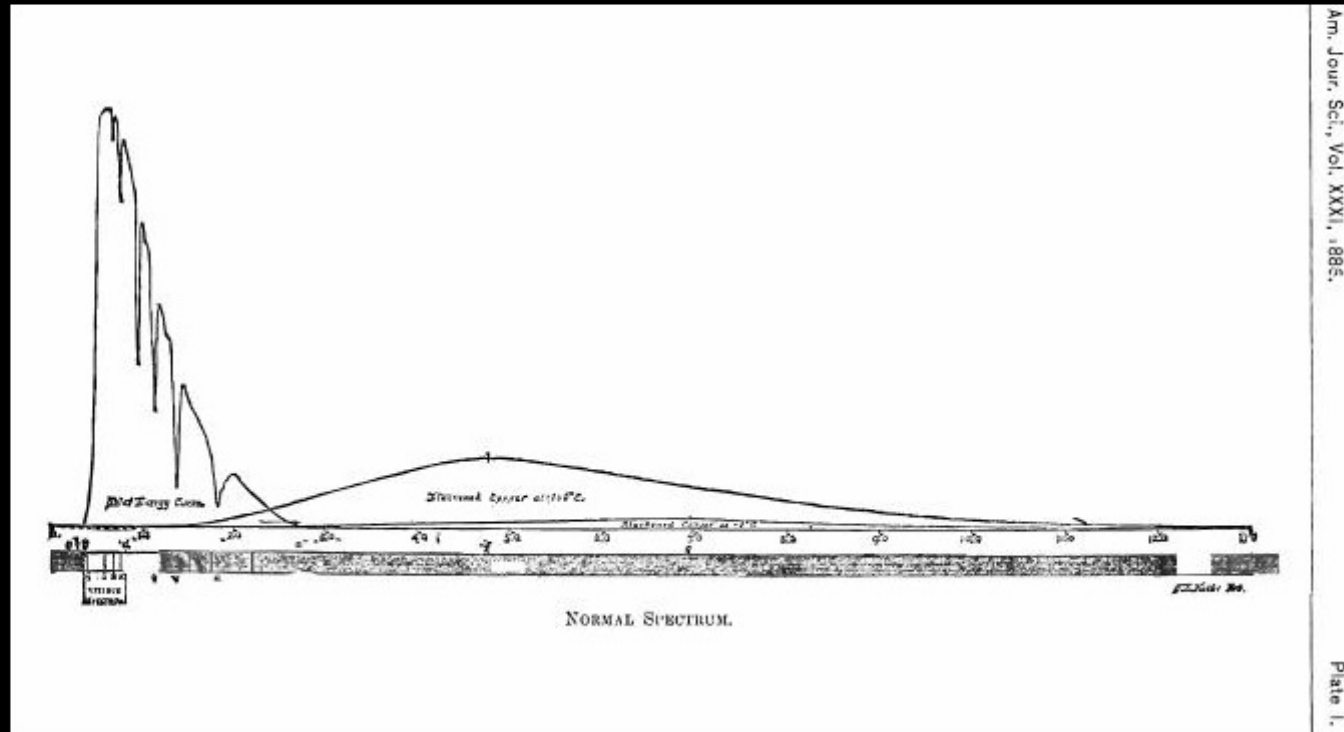
→ Une joue à trois mètres.

Samuel Langley (1834-1906) et le bolomètre



- ▶ Bolomètre (1880) → Une vache à trois cents mètres.

Samuel Langley (1834-1906) et les "bolographes"



Observations on Invisible Heat-Spectra and the recognition of hitherto unmeasured Wave-lengths,
Am. Jour. Sci. 181 (1886). Axe des abscisses = longueur d'onde en μm (0-13 μm).

- ▶ Spectre solaire (expédition du Mont Whitney), à gauche.
- ▶ Spectre d'un corps chauffé, à droite. Son maximum dépend de la température T , "corps noir".

Crotalinae (?-?) et son détecteur infrarouge



→ Une souris à trente centimètres

Autres animaux: certains scarabés, chauve-souris (vampire), boas...

Biological infrared imaging and sensing, Campbell *et al.*, Micron 33, 211 (2002).

Caméra infrarouge: principe de fonctionnement

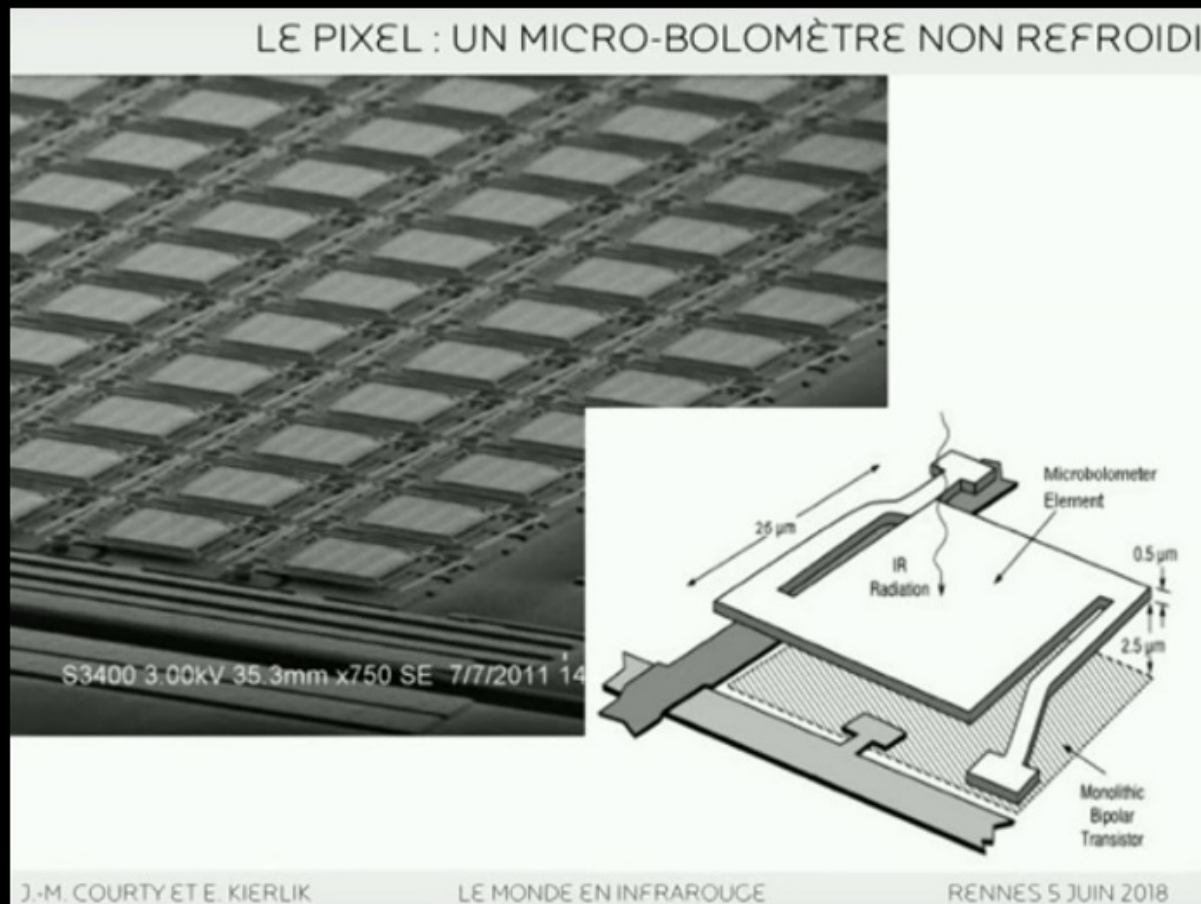


Fig. de J.-M. Courty et E. Kierlik.

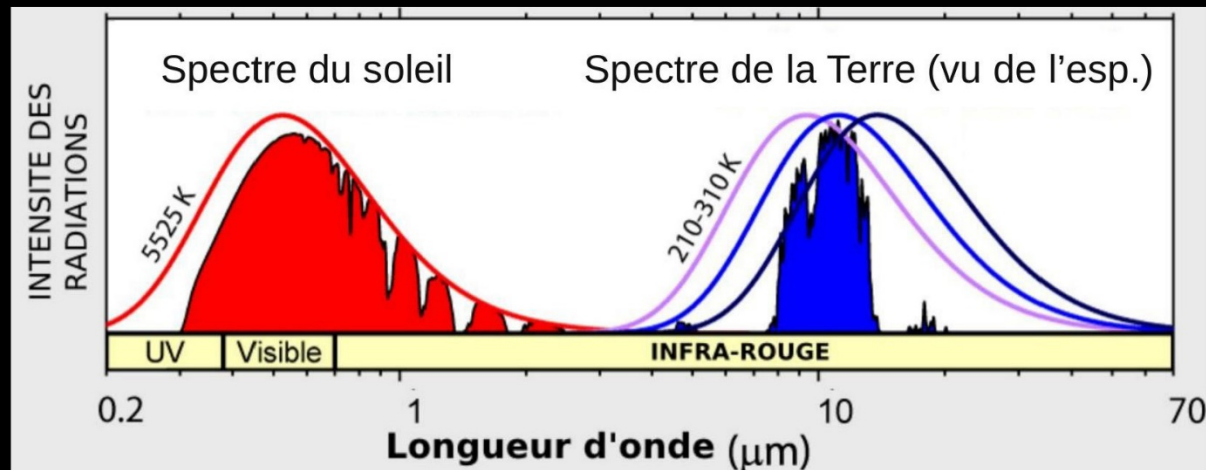
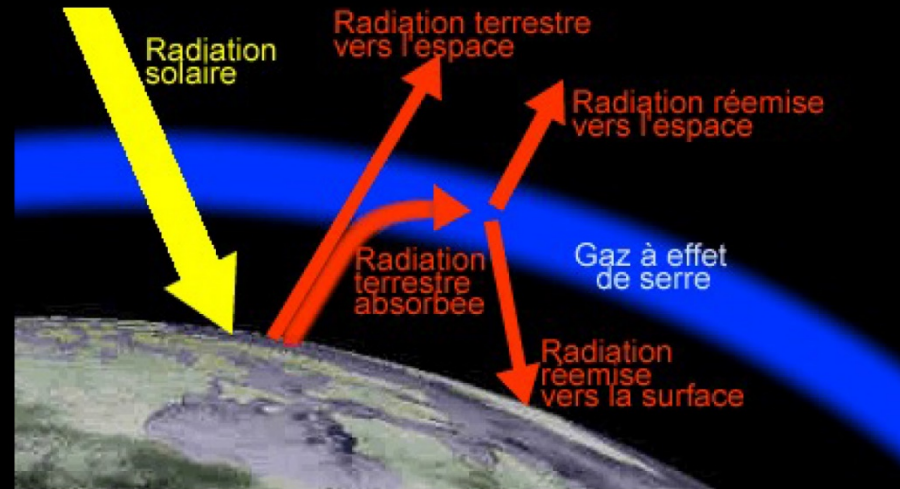
Bolomètre moderne non refroidi → Une ampoule à trois cents kilomètres.

Satellite Herschel, bolomètres refroidis → Une ampoule à la distance de la lune...

Source: P. Agnese, L. Rodriguez CEA.

L'effet de serre récapitulé

Modèle simplifié "à 1 couche"



Le puzzle de l'effet de serre (cent ans: 1800-1900)

Pièces de base du puzzle comprises à la fin du XIX^e siècle:

- ▶ Infrarouges (1800). W. Herschel, J. Leslie, M. Landriani, A. de Rochon.
- ▶ Rayonnement des corps à une température T (vers 1830).
T. Seebeck, L. Nobili, M. Melloni, J. Stefan, L. Boltzmann.
- ▶ Absorption sélective (vers 1860) → spectroscopie
J. von Fraunhofer, G. Kirchhoff, J. Tyndall.
- ▶ Spectre du soleil et spectre de la Terre, du corps noir (vers 1885).
S. Lamansky, J. Draper, H. Becquerel, S. Langley, C. Pouillet, W. Wien, F. Paschen,
O. Lummer, M. Planck.

Des modèles et des estimations de l'effet de serre. Quelle T ?

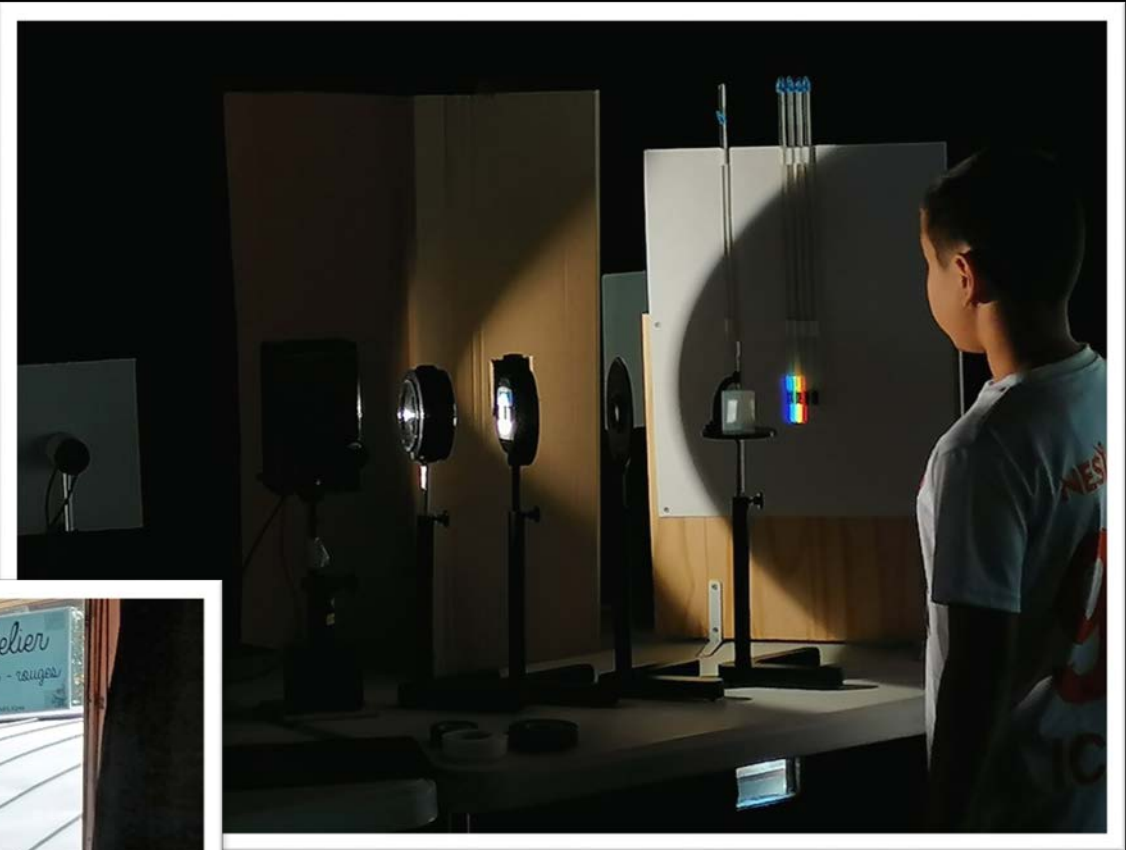
J. Fourier (1824), S. Arrhenius (1896)...

Histoire vulgarisée (de physiciens).

Pour aller plus loin: J.-L. Dufresne et J. Treiner, *L'effet de serre atmosphérique: plus subtil qu'on ne le croit*, La Météorologie 72, 31 (2011).

Actions de vulgarisation,
diffusion
et perspectives....

Ateliers (scolaires, grand public)



Projets avec des étudiants (L1 Physique Recherche)

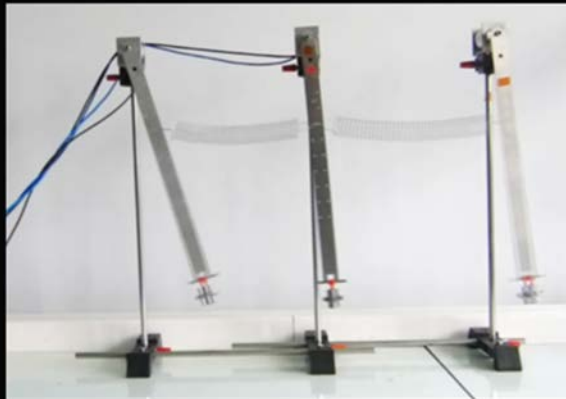
**RAYONNEMENT
INCANDESCENT**



**À LA DECOUVERTE
DE L'INFRAROUGE**



**VIBRATIONS
DES MOLÉCULES**



**et bientôt
un article**