

# Corps noir



## Rayonnement thermique

Le rayonnement thermique est un rayonnement électromagnétique généré par l'agitation thermique de particules dans la matière quel que soit l'état de celle-ci : solide, liquide ou gaz. Le spectre de ce rayonnement s'étend du domaine micro-ondes à l'ultra-violet

## Corps noir – Définition et propriétés

En physique, un corps noir désigne un **objet idéal**, de température définie, qui **absorbe intégralement** toute l'énergie électromagnétique (toute la lumière quelle que soit sa longueur d'onde) qu'il reçoit.

Par conservation de l'énergie, cette absorption se traduit par une agitation thermique qui provoque l'émission d'un **rayonnement thermique**, dit **rayonnement du corps noir**.

À l'équilibre thermique, émission et absorption s'équilibrent et le rayonnement effectivement émis ne dépend que de la **température** du corps noir (Kirchhoff 1860).

Le nom corps noir a été introduit par le physicien **Gustav Kirchhoff** en 1862.

En 1900, le modèle du corps noir permit à **Max Planck** de découvrir la **quantification des interactions électromagnétiques**, qui fut un des fondements de la **physique quantique**.

En pratique, un **four** thermostaté (enceinte fermée percée d'une ouverture de petite taille afin de pouvoir observer le rayonnement sans perturber l'équilibre) constitue un bon modèle de corps noir. C'est d'ailleurs un four qui fut utilisé par Wien pour déterminer les lois d'émission électromagnétique en fonction de la température.

Bien qu'appelé corps noir, le rayonnement émis peut se situer dans le domaine visible.

## Loi de Planck (1900)

L'émission du corps noir est caractérisée par son **exitance énergétique spectrale**.

**L'exitance énergétique  $M(T)$**  est la **puissance émise par unité de surface du corps noir** dans toutes les directions (du demi-espace en regard de la surface émettrice) en  $\text{Wm}^{-2}$ .

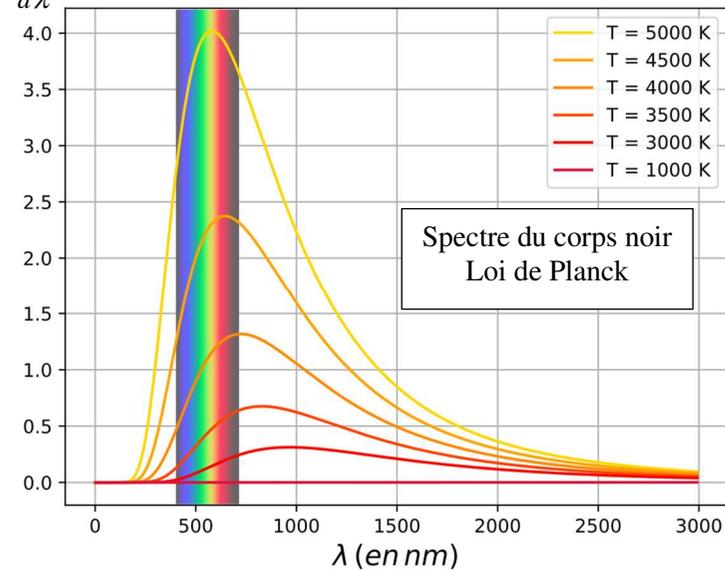
**L'exitance énergétique monochromatique ou spectrale  $M_\lambda(\lambda, T)$**  est la puissance émise par unité de surface du corps noir et par unité d'intervalle de longueur d'onde dans toutes les

directions :  $M_\lambda(\lambda, T) = \frac{dM(T)}{d\lambda}$  en  $\text{Wm}^{-2} / \text{m}$ .

La **loi de Planck** décrit la distribution de l'exitance énergétique spectrale d'un corps noir :

$$M_\lambda(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1} \text{ en } \text{Wm}^{-2} / \text{m}.$$

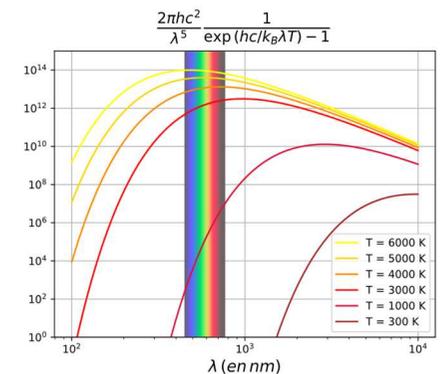
$$M_\lambda = \frac{dM}{d\lambda}$$



Exemples :

- ✓ Le spectre « continu » (en négligeant les raies spectrales) de la grande majorité des étoiles ni trop froides ni trop chaudes comme le Soleil est un spectre de corps noir.
- ✓ Le fond diffus cosmologique reproduit quasiment parfaitement le rayonnement d'un corps noir à 2,728 K.

Cette courbe possède une allure analogue avec d'autres unités correspondant à des grandeurs reliées à l'exitance et d'autres échelles (échelle logarithmique ci-contre).



## Loi du déplacement de Wien (1896)

Selon la loi de Planck, à une température  $T$  donnée, l'exittance  $M_\lambda(\lambda, T)$  passe par un maximum pour une longueur d'onde  $\lambda_{max}$ .

On remarque que quand la température s'élève, le pic de la courbe de rayonnement du corps noir se déplace vers les courtes longueurs d'onde : la loi du déplacement de Wien, ainsi nommée d'après son découvreur Wilhelm Wien, relie  $T$  et  $\lambda_{max}$ .

**Loi de déplacement de Wien :  $\lambda_{max} T = \text{constante} = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ mK}$ .**

**Plus un objet est chaud, plus la longueur d'onde du rayonnement le plus intense est courte.**

	Rayonnement fossile	Soleil	Terre	Corps humain
Température	2,7 K		300 K	300 K
$\lambda_m$		0,5 $\mu\text{m}$		
Domaine spectral				

La température de surface du Soleil de l'ordre de 6000 K correspond à un maximum d'émission vers 500 nm, au milieu du spectre visible, dans le domaine bleu-vert, mais le Soleil ne nous apparaît pas de cette couleur pour autant.

Le Soleil est perçu comme blanc dans l'espace car la quantité de lumière émise dans tout le domaine visible est suffisante pour qu'il paraisse blanc à l'observateur.

Sur Terre, cette lumière nous apparaît comme jaune car une partie de son spectre est diffusée par l'atmosphère (principalement le bleu, ce qui explique la couleur du ciel en journée).

Les étoiles plus chaudes émettent à des longueurs d'onde plus courtes et apparaissent bleutées, les étoiles plus froides nous semblent rougeâtres.

## Loi de Stefan-Boltzmann

Découverte par Jožef Stefan en 1879 et démontrée par Ludwig Boltzmann en 1884.

La loi de **Stefan-Boltzmann** ou de Stefan relie la **température** d'un corps noir et la **puissance surfacique totale rayonnée** (dans toutes les directions) en  $\text{Wm}^{-2}$  (par  $\text{m}^2$  du corps noir), appelée **émittance énergétique** ou **exittance** et notée  $M$  :

**$M = \sigma T^4$**  où  $\sigma$  est la **constante de Stefan-Boltzmann** qui vaut environ  $5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ .

Rq : 98% de la puissance surfacique totale est rayonnée dans l'intervalle  $[\frac{1}{2} \lambda_{max}, 8 \lambda_{max}]$ .

Cette puissance surfacique est représentative de l'aire sous la courbe de l'exittance spectrale donnée par la loi de Planck.

## Rayonnement thermique des corps réels

La puissance thermique surfacique totale rayonnée par un objet réel (en  $\text{Wm}^{-2}$ ), est  $M = \epsilon \sigma T^4$  où  $\epsilon$  est l'**émissivité** du corps.  $\epsilon$  est un coefficient sans unité, compris entre 0 et 1.

**Pour un corps noir,  $\epsilon = 1$ .**

A 25°, la surface d'un corps noir parfait (émissivité égale à 1), émet des radiations avec une puissance surfacique totale (toutes longueurs d'ondes confondues) de l'ordre de  $450 \text{ Wm}^{-2}$ .

Matériau	Emissivité	Matériau	Emissivité
Argent (poli)	0,02	Plâtre	0,89
Aluminium (feuille)	0,03	Aluminium (anodisé)	0,9
Cuivre (poli)	0,04	Brique	0,9
Argent (oxydé)	0,04	Peinture (même blanche)	0,9
Neige	0,8 à 0,9	Béton	0,91
Cuivre (oxydé)	0,87	Verre (non traité)	0,95
Asphalte	0,88	Eau pure	0,96
Papier	0,86 à 0,88	Glace	0,97

### Applications

La thermographie ou thermographie infrarouge est une technique permettant d'obtenir une image thermique d'une scène par analyse des infrarouges.

L'image obtenue est appelée « thermogramme ».