

## Fiche professeur

Thème du programme : Observer

Sous - thème : Sources de lumière colorée

### Loi de Wien

Type d'activité : - Activité expérimentale  
- Exercice

Conditions de mise en œuvre : - Découverte  
- Durée indicative : 2 h 30  
- Conditions matérielles (voir fin du descriptif)

L'expérience préliminaire permet d'effectuer quelques rappels concernant les spectres d'origine thermique. Celle-ci est envisageable en classe entière, comme en groupe de TP.

La recherche *Internet* proposée par la suite a pour but de mieux comprendre la notion de rayonnement. Elle peut être conduite en groupe de TP ou être donnée à faire à la maison comme travail préparatoire.

Les parties III, IV et V constituent l'ossature de cette activité. Elles se doivent d'être traitées en groupe à effectif réduit. L'objectif est de montrer à l'apprenant que la loi de Wien est une conséquence liée au modèle du corps noir, ce dernier ayant ses propres limites. Par ailleurs, l'usage des TUIC est présent dans les parties IV et V.

Enfin, l'exercice de synthèse permet de vérifier si l'exploitation de la loi de Wien est maîtrisée ; il sert également à jauger l'esprit d'initiative et d'ouverture de l'élève. Celui-ci peut être proposé lors d'une séquence ultérieure (en classe entière).

Matériel pour le professeur : Alternostat relié au rétroprojecteur

Fiche cartonnée avec fente et réseau simple

Ordinateur + vidéo - projecteur + tableau interactif

Matériel par binôme : → Ordinateur avec connexion *Internet* et tableau - grapheur

Pré - requis : - Spectre lumineux  
- Température absolue

NOTIONS ET CONTENUS	COMPETENCES ATTENDUES
Loi de Wien	<i>Exploiter la loi de Wien, son expression étant donnée</i>

Compétences transversales : (préambule du programme et socle commun)

- mobiliser ses connaissances
- rechercher, extraire, organiser des informations utiles
- formuler des hypothèses
- raisonner, argumenter, démontrer
- travailler en équipe

Mots clés de recherche : Corps noir, Loi de Wien, Rayonnement, Spectre lumineux

Provenance : Académie d'Orléans - Tours

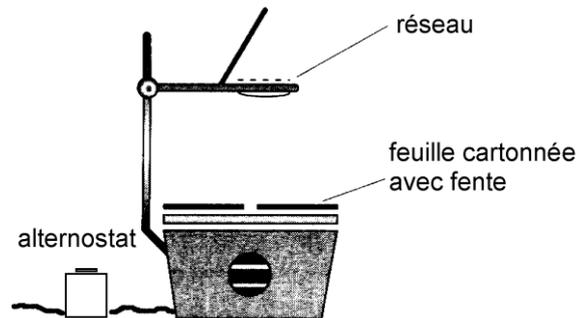
Adresse du site académique : <http://physique.ac-orleans-tours.fr/php5/site/>

# Loi de Wien

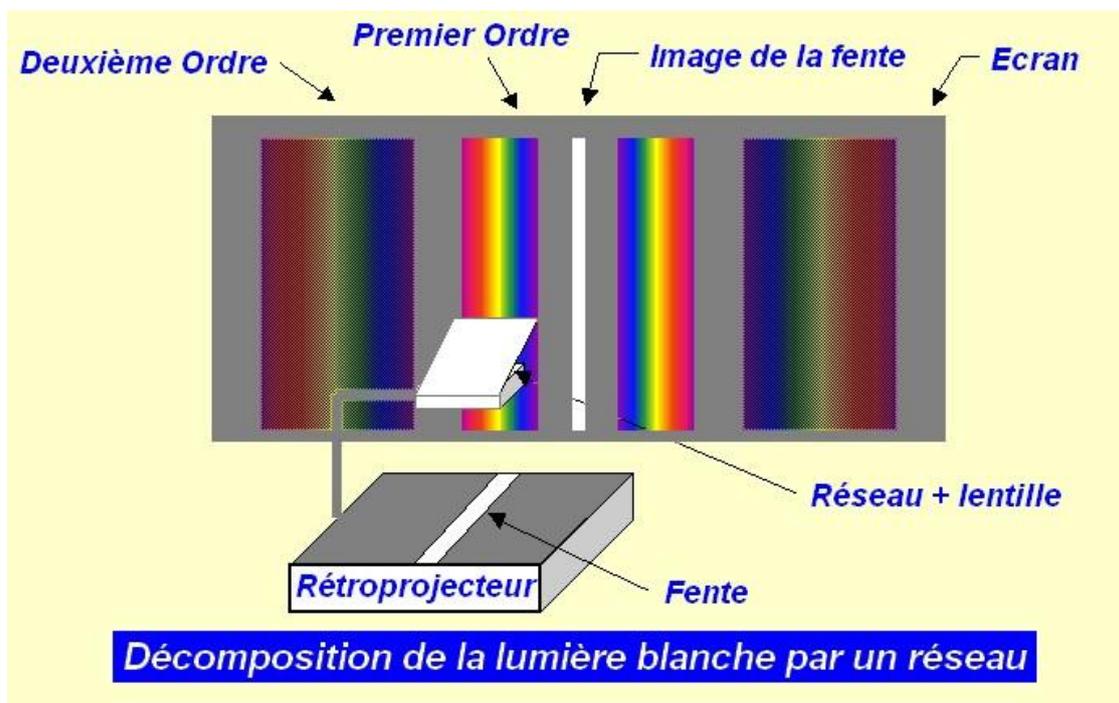
## I. Expérience préliminaire : Rappels de 2<sup>nde</sup>

On réalise le spectre de la lampe à incandescence d'un rétroprojecteur, en utilisant comme élément dispersif un réseau.

A l'aide d'un alternostat, on augmente progressivement la tension d'alimentation du rétroprojecteur (initialement nulle) jusqu'à sa valeur nominale.



Document 1 : Schéma du dispositif utilisé  
(Source : Académie d'Aix – Marseille, site de Sciences Physiques)



Document 2 : Spectre obtenu sur un écran  
(Source : Guy CHAUMETON, professeur de Sciences Physiques)

Questionnement possible :

1. Quelle est l'influence de la tension d'alimentation sur la température du filament de la lampe ? Justifier.
2. Quelle est l'influence de la température sur :
  - l'intensité de la lumière émise par le filament de la lampe ?
  - l'aspect du spectre de la lumière émise par le filament de la lampe ?
3. Énoncer une conclusion relative aux questions précédentes.

## II. Notion de rayonnement thermique : Recherche

Dans le cadre de cette deuxième partie, afin de répondre aux questions posées, les élèves disposent de l'outil *Internet*.

Questionnement possible :

1. Qu'appelle-t-on « rayonnement » ? Qu'est-ce qui le constitue ?
2. Donner des exemples de rayonnement (portant dans différents domaines).

Il existe un certain nombre de grandeurs physiques mesurables liées au rayonnement. On appelle **flux** total rayonné **W**, l'énergie rayonnée (par la source) par unité de temps.

On appelle **émittance** énergétique **M**, l'énergie rayonnée (par la source) par unité de temps et par unité de surface de la source :

$$M = \frac{W}{S}$$

S représente l'aire de la source.

3. A quelle grandeur physique le flux **W** s'apparente-t-il ? En quelle unité s'exprime-t-il ?  
Concernant l'émittance **M**, en quelle unité s'exprime-t-elle ?

## III. Modèle du corps noir : Définition et relation de PLANCK

On a vu précédemment qu'un corps peut émettre de l'énergie par rayonnement lorsque sa température augmente. Les caractéristiques de ce rayonnement dépendent de la température, mais aussi de la nature du corps, de son état de surface, etc.

**Un corps noir est un corps dont les caractéristiques du rayonnement ne dépendent que de sa température. Ce corps "idéal" absorbe toutes les radiations qu'il reçoit !**

Les travaux réalisés en mécanique quantique et en thermodynamique statistique ont conduit à une relation formulée par Max PLANCK au début du XX<sup>ème</sup> siècle ; cette dernière est relative à l'émittance énergétique **M** d'un corps noir pour chaque longueur d'onde  $\lambda$  :

$$M(\lambda) = \frac{2\pi \cdot h \cdot c^2 \cdot \lambda^5}{e^{(h \cdot c / \lambda \cdot k \cdot T)} - 1}$$

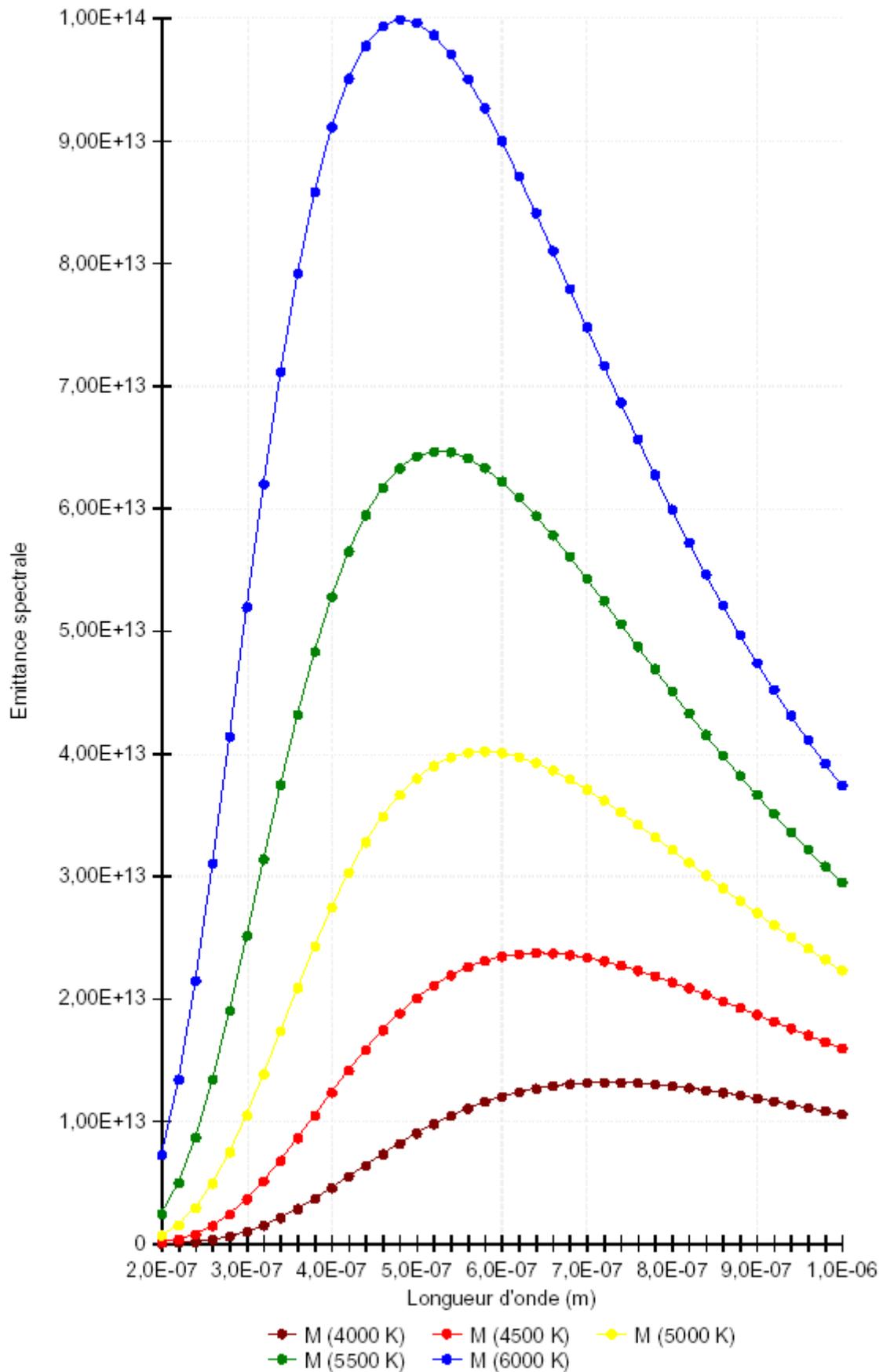
Avec h, la constante de PLANCK :  $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$  J.s ;  
c, la célérité de la lumière dans le vide :  $c = 3,00 \cdot 10^8$  m.s<sup>-1</sup> ;  
**e, la fonction mathématique exponentielle ;**  
k, la constante de BOLTZMANN :  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  J.K<sup>-1</sup> ;  
T, la température absolue en Kelvin (K).

A l'aide de cette formule\*, il est possible de tracer la courbe représentative des variations de l'émittance **M** en fonction de la longueur d'onde  $\lambda$  (et ce, pour différentes valeurs de température).

Le réseau de courbes **M = f(λ)** est donné pour les températures suivantes : 4000 K, 4500 K, 5000 K, 5500 K et 6000 K.

{\* son expression n'est évidemment pas à connaître ; en revanche, son utilisation par un tableur - grapheur peut être envisagée lors d'une séance d'approfondissement}.

### Le corps noir



Document 3 : Evolution de l'émittance  $M$  en fonction de la longueur d'onde  $\lambda$  pour différentes valeurs de température (Source : David CATEL, professeur de Sciences Physiques)

Questionnement possible :

1. Sur le graphe précédent, tracer deux droites verticales pour limiter le domaine du visible.
2. Pour la température  $T = 4000 \text{ K}$ , déterminer la valeur maximale de l'émittance  $M_{\max}$  ainsi que la longueur d'onde  $\lambda_{\max}$  correspondante. Préciser la couleur (de la radiation émise) associée à cette longueur d'onde.

Faire de même pour les autres valeurs de température, puis compléter le tableau suivant :

<b>T (K)</b>	4000	4500	5000	5500	6000
<b><math>M_{\max}</math> (...)</b>					
<b><math>\lambda_{\max}</math> (nm)</b>					
<b>Couleur</b>					

3. Comment varie la valeur maximale de l'émittance  $M_{\max}$  en fonction de la température  $T$  ?
4. Comment varie la longueur d'onde  $\lambda_{\max}$  en fonction de la température  $T$  ?
5. Si l'on considère que le filament d'une lampe à incandescence se comporte comme un corps noir, justifier les observations faites lors de l'expérience introductive.

#### **IV. Découverte de la loi de WIEN : Expression**

Dans le cadre de cette quatrième partie, les valeurs de longueurs d'onde  $\lambda_{\max}$  trouvées auparavant sont reprises ; elles devront être converties en unité légale (m).

Questionnement possible :

1. D'après le réseau de courbes  $M = f(\lambda)$ , et à partir du tableau de mesures précédent, calculer le produit  $\lambda_{\max} \times T$ .  
Pour cela, recopier le tableau suivant dans un tableur - grapheur et compléter ce tableau en utilisant au mieux les fonctionnalités du logiciel.

<b>T (K)</b>	4000	4500	5000	5500	6000
<b><math>\lambda_{\max}</math> (m)</b>					
<b><math>\lambda_{\max} \times T</math></b>					

Quelle remarque peut-être faite sur produit  $\lambda_{\max} \times T$  ?

2. En déduire l'énoncé de la loi de WIEN. Préciser les unités.

#### **V. Exploitation de la loi de WIEN : Utilisation**

COMMENT AVOIR ACCES A LA TEMPERATURE DE SURFACE DU SOLEIL, A L'AIDE DE LA LOI DE WIEN ?

Pour répondre à cette problématique, on pose l'hypothèse suivante : le Soleil est assimilé à un **corps noir**.

On donne les valeurs de l'émittance  $M^*$  (issues de mesures expérimentales) pour différentes longueurs d'onde  $\lambda$ .

$\lambda$ (m)	300	320	340	360	370	380	390	400	410	420	430
$M^* (\dots) \times 10^{13}$	1,01	2,58	4,08	5,65	6,28	7,73	9,20	10,0	10,7	11,0	11,4

$\lambda$ (m)	440	450	460	480	500	550	600	650	700	750	800
$M^* (\dots) \times 10^{13}$	11,6	11,7	11,7	11,6	11,4	10,5	9,46	8,07	6,82	5,69	5,00

Questionnement possible :

1. En utilisant un tableur - grapheur, tracer la représentation  $M^* = f(\lambda)$ .
2. La courbe obtenue correspond-elle à celle d'un corps noir ? Expliquer brièvement.
3. Rechercher la longueur d'onde  $\lambda_{\max}$  correspondant au maximum d'émittance.
4. En déduire la température "expérimentale"  $T_{\text{exp}}$  de surface du Soleil.
5. La température moyenne "théorique" de la photosphère solaire est  $T_{\text{moy}} = 5600 \text{ K}$ . Comparer les valeurs de  $T_{\text{exp}}$  et  $T_{\text{moy}}$ , puis commenter l'écart observé.

## VI. Bilan et conclusion : Exercice de synthèse

1. Proposer une expérience, réalisable en classe, montrant qu'il existe un lien entre le spectre d'une lumière émise par un corps chaud et la température de ce corps.
2. La loi qui relie  $\lambda_m$  (longueur d'onde pour laquelle la densité spectrale d'un rayonnement est maximale) à la température  $T$  est :

$$\lambda_m \cdot T = 2898 \text{ } \mu\text{m.K.}$$

Comment s'appelle cette loi ?

On donne la température relevée à la surface de quelques sources lumineuses :

	Magma effusif	Filament de tungstène	Sirius (étoile)
Température $T$ (K)	3620	5000	7250

Quelle est la couleur de chaque source de lumière ? Détailler le raisonnement adopté. Est-ce en accord avec vos observations ?

3. L'objet présenté ci-contre est un pyromètre optique. Cet appareil permet de mesurer la température d'un corps émettant un rayonnement.

*Document 4 : Mesure de la température d'un métal en fusion (Source : fr.wikipedia.org)*

A partir des informations collectées lors de cette activité, expliquer succinctement sur quel principe fonctionne ce thermomètre.



## Annexe

**Résultats obtenus après utilisation de la relation de Planck  
permettant de tracer le réseau de courbes  $M = f(\lambda)$   
pour différentes valeurs de température T**

Lambda (m)	M (4000 K)	M (4500 K)	M (5000 K)	M (5500 K)	M (6000 K)
2.0E-07	1.80E+10	1.33E+11	6.57E+11	2.43E+12	7.24E+12
2.2E-07	5.74E+10	3.53E+11	1.51E+12	4.96E+12	1.34E+13
2.4E-07	1.45E+11	7.67E+11	2.91E+12	8.65E+12	2.15E+13
2.6E-07	3.08E+11	1.43E+12	4.90E+12	1.34E+13	3.10E+13
2.8E-07	5.71E+11	2.38E+12	7.46E+12	1.90E+13	4.14E+13
3.0E-07	9.53E+11	3.61E+12	1.05E+13	2.51E+13	5.19E+13
3.2E-07	1.46E+12	5.09E+12	1.38E+13	3.14E+13	6.20E+13
3.4E-07	2.09E+12	6.77E+12	1.73E+13	3.75E+13	7.12E+13
3.6E-07	2.83E+12	8.58E+12	2.09E+13	4.32E+13	7.92E+13
3.8E-07	3.65E+12	1.05E+13	2.43E+13	4.83E+13	8.58E+13
4.0E-07	4.53E+12	1.23E+13	2.74E+13	5.28E+13	9.11E+13
4.2E-07	5.45E+12	1.41E+13	3.03E+13	5.65E+13	9.51E+13
4.4E-07	6.38E+12	1.58E+13	3.28E+13	5.95E+13	9.78E+13
4.6E-07	7.29E+12	1.74E+13	3.49E+13	6.17E+13	9.93E+13
4.8E-07	8.16E+12	1.88E+13	3.66E+13	6.33E+13	9.99E+13
5.0E-07	8.98E+12	2.00E+13	3.80E+13	6.42E+13	9.96E+13
5.2E-07	9.74E+12	2.10E+13	3.90E+13	6.46E+13	9.87E+13
5.4E-07	1.04E+13	2.19E+13	3.97E+13	6.46E+13	9.71E+13
5.6E-07	1.10E+13	2.26E+13	4.00E+13	6.41E+13	9.51E+13
5.8E-07	1.16E+13	2.31E+13	4.02E+13	6.33E+13	9.27E+13
6.0E-07	1.20E+13	2.34E+13	4.00E+13	6.22E+13	9.00E+13
6.2E-07	1.24E+13	2.36E+13	3.97E+13	6.09E+13	8.71E+13
6.4E-07	1.27E+13	2.37E+13	3.93E+13	5.94E+13	8.41E+13
6.6E-07	1.29E+13	2.37E+13	3.86E+13	5.78E+13	8.10E+13
6.8E-07	1.30E+13	2.35E+13	3.79E+13	5.61E+13	7.79E+13
7.0E-07	1.31E+13	2.33E+13	3.71E+13	5.43E+13	7.48E+13
7.2E-07	1.32E+13	2.30E+13	3.62E+13	5.24E+13	7.17E+13
7.4E-07	1.31E+13	2.27E+13	3.52E+13	5.06E+13	6.86E+13
7.6E-07	1.31E+13	2.23E+13	3.42E+13	4.87E+13	6.57E+13
7.8E-07	1.30E+13	2.18E+13	3.32E+13	4.69E+13	6.28E+13
8.0E-07	1.29E+13	2.14E+13	3.21E+13	4.51E+13	5.99E+13
8.2E-07	1.27E+13	2.08E+13	3.11E+13	4.33E+13	5.72E+13
8.4E-07	1.25E+13	2.03E+13	3.01E+13	4.15E+13	5.46E+13
8.6E-07	1.23E+13	1.98E+13	2.90E+13	3.99E+13	5.21E+13
8.8E-07	1.21E+13	1.92E+13	2.80E+13	3.82E+13	4.97E+13
9.0E-07	1.19E+13	1.87E+13	2.70E+13	3.66E+13	4.74E+13
9.2E-07	1.16E+13	1.81E+13	2.60E+13	3.51E+13	4.52E+13
9.4E-07	1.13E+13	1.76E+13	2.50E+13	3.36E+13	4.31E+13
9.6E-07	1.11E+13	1.70E+13	2.41E+13	3.22E+13	4.11E+13
9.8E-07	1.08E+13	1.65E+13	2.32E+13	3.08E+13	3.92E+13
1.0E-06	1.05E+13	1.59E+13	2.23E+13	2.95E+13	3.74E+13

### Relation entre couleurs et longueurs d'onde

De 400 nm à 424 nm : violet

De 491 nm à 575 nm : vert

De 585 nm à 647 nm : orange

De 424 nm à 491 nm : bleu

De 575 nm à 585 nm : jaune

De 647 nm à 800 nm : rouge.



« Toutes les images illustrant cette activité sont placées dans le domaine public, c'est-à-dire libres de droit ».

## Note complémentaire

### Concernant l'expérience qualitative de la partie « I. » :

Dans le cadre de cette manipulation, il est important de montrer et de rappeler aux élèves que tout corps porté à une certaine température donne lieu à un spectre d'origine thermique.

En augmentant la tension d'alimentation du rétroprojecteur, on augmente par la même occasion l'intensité du courant qui circule dans la lampe. L'effet thermique mis en jeu est donc de plus en plus important, ce qui a pour conséquence d'élever la température du filament de la lampe.

Lors de cette « montée » en température, on constate que l'intensité de la lumière émise par le filament est croissante ; de plus, le spectre (continu) s'enrichit de vert puis de bleu.

### Concernant la fin du questionnement de la partie « III. » :

Après avoir effectué les relevés sur les divers graphes, un double constat s'impose :

- Lorsque la température du corps noir augmente, la valeur de l'émittance (puissance surfacique) augmente également ;

- Lorsque la température du corps noir augmente, la longueur d'onde  $\lambda_{max}$  correspondant au maximum d'émittance diminue.

Ces deux remarques (issues de données quantitatives) sont en parfaite adéquation avec celles de l'expérience introductive.

[...]

Lorsque la température du filament dépasse 500°C, celui-ci commence à rayonner dans le rouge ; mais il est peu lumineux. En effet, la puissance totale émise est plus de mille fois inférieure à celle que ce même filament émet quand la lampe est alimentée sous sa tension d'usage.

Par la suite, le spectre obtenu s'enrichit en vert puis en bleu lorsque la température du filament augmente : le décalage spectral de  $\lambda_{max}$  a bien lieu vers les longueurs d'onde courtes du domaine du visible.