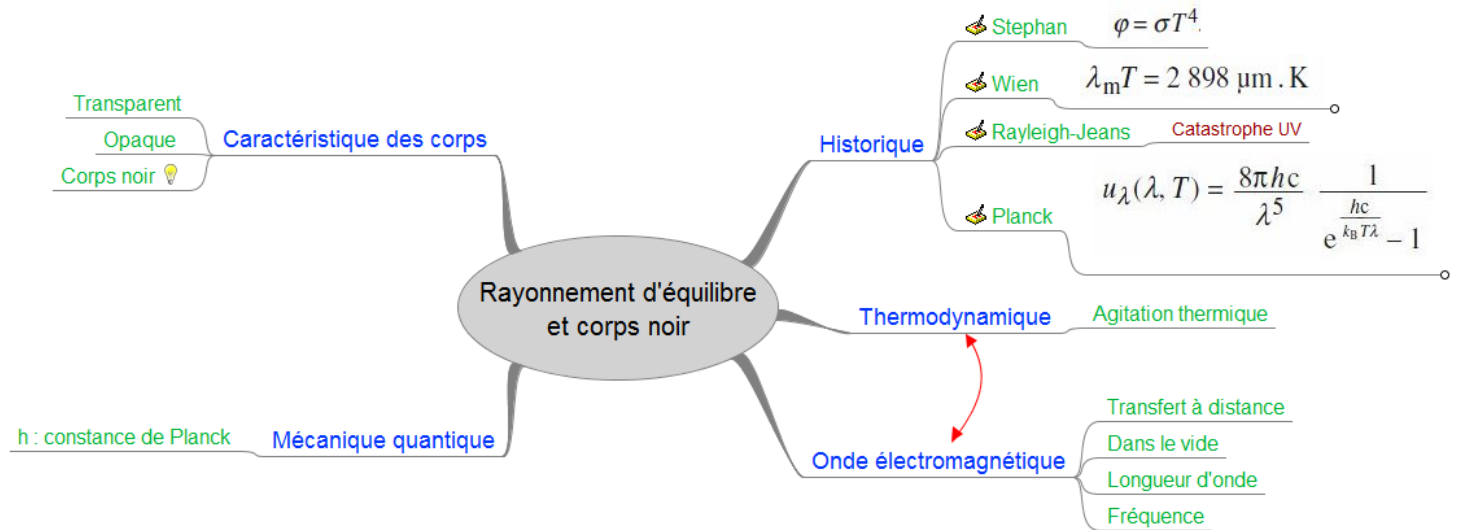


27e- Rayonnement d'équilibre et corps noir

Intro : Carte Mentale



Le Soleil ou le filament d'une lampe incandescente, comme tous les corps, rayonnent de l'énergie sous forme électromagnétique.

Ce rayonnement est appelé **rayonnement thermique** car il est dû à l'excitation des atomes du corps par les chocs dus à l'agitation thermique. (C'est d'ailleurs pour cela qu'on a un spectre continu pour le corps noir et non pas un spectre de raies qui lui est dû à des transitions électroniques, donc à des niveaux d'énergie différents)

Un corps à 300 K émet un rayonnement entièrement situé dans l'infrarouge donc invisible à l'œil alors qu'à 1 500 K, une faible partie de l'énergie est rayonnée dans le visible, d'où la couleur rouge des braises. Ceci n'est vrai que si l'excitation de ses atomes est d'origine thermique : dans les tubes fluorescents et les lampes spectrales les atomes émetteurs de la lumière sont excités par des décharges électriques, le rayonnement émis est alors très différent d'un rayonnement thermique (*doc. 5*).

Post Bac

Bibliographie :

- H-prépa thermodynamique MP-PC
- Classe prépa (Nathan) Thermodynamique MP –PC ...

| Idées à faire passer

Existence d'un équilibre entre matière et rayonnement

Un corps noir est un modèle d'émetteur, ni nécessaire ni suffisant pour avoir équilibre matière-rayonnement

| Plan

Introduction

Terre chauffée par le Soleil, forgeron : existence d'un transfert thermique radiatif

1. Bilans radiatifs

1.1. Interaction entre la matière et le rayonnement

Définir tous les flux. Cas limites des corps parfaitement transparent et opaque.

1.2. Equilibre radiatif et thermodynamique

Définition, bien opposer les deux.

Analogie avec le gaz parfait : la thermalisation se fait par contact avec les parois.

2. Rayonnement d'équilibre thermique

2.1. Loi de Planck

Énoncé avec $u_\nu(\nu)$ et $u_\lambda(\lambda)$, tracé. Commentaires : universalité, cas limites, nature quantique et statistique. Historique si motivé.

2.2. Loi de Stefan

La démontrer. Calcul de la densité de flux et le flux total.

2.3. Loi du déplacement de Wien

Donner sans démonstration, ça prendrait trop de temps.

Donner des ODG en prenant des précautions : les corps ne sont pas forcément à l'équilibre radiatif et thermodynamique.

Ce qui amène naturellement au paragraphe 3.

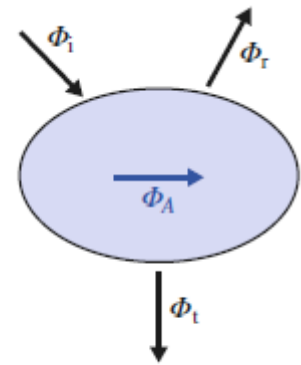
1. Interaction rayonnement – matière

Dans toute la démonstration ϕ qui représente le flux est en Watt et il représente la puissance thermique. (et ce flux est toujours positif (valeur algébrique))

Lorsqu'un flux incident ϕ_i arrive sur un corps, il peut être :

- ϕ_r réfléchi
- ϕ_A absorbé
- ϕ_t transmis

La conservation de l'énergie implique : $\phi_i = \phi_r + \phi_A + \phi_t$



Doc. 6. Bilan énergétique.

Cas limite : Le bilan énergétique se simplifie lorsque certains termes sont nuls

- $\phi_r = \phi_A = 0, \phi_i = \phi_t$: le corps est dit parfaitement **transparent**. C'est, avec une bonne approximation le cas de la plupart des gaz aux températures ordinaires.
- $\phi_A = \phi_t = 0, \phi_i = \phi_r$: le corps est dit **parfaitement réfléchissant**. Un métal en est une bonne approche.
- $\phi_r = \phi_t = 0, \phi_i = \phi_A$: un tel corps qui absorbe tout le rayonnement incident, indépendamment de sa direction et de sa composition spectrale est appelé **corps noir**.

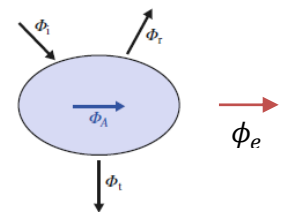
Le modèle du corps noir correspond à un corps qui absorbe tout le rayonnement qu'il reçoit et ceci quelle que soit la longueur d'onde ou la direction du rayonnement incident.

Le corps peut également **émettre** un rayonnement auquel correspond un flux ϕ_e .

Les caractéristiques de ce rayonnement dépendent de l'état du corps.

Le **flux radiatif** ϕ_R relatif à un corps est égal au flux total (algébrique) sortant du corps, et nous pouvons poser :

$$\phi_R = \phi_e + \phi_r + \phi_t - \phi_i = \phi_A + \phi_e$$



Doc. 6. Bilan énergétique.

2. Equilibre thermique et radiatif.

Le premier principe de la thermodynamique appliqué au système précédent, durant dt s'écrit

$$dU = \delta Q \quad (\text{en l'absence de travail})$$

Ce qui est égale à, ce que le système absorbe durant dt moins ce qu'il émet (on est toujours en valeur algébrique)

$$dU = \phi_A dt - \phi_e dt$$

$$\frac{dU}{dt} = \phi_A - \phi_e$$

Dans le cas où le système est en équilibre thermique et que les seuls échanges sont sous forme de rayonnement, on a la condition d'équilibre thermique qui implique que la variation d'énergie interne est nulle

$$\frac{dU}{dt} = 0 \quad \Leftrightarrow \quad \phi_A = \phi_e$$

Equilibre thermique

Equilibre radiatif

3. Rayonnement d'équilibre du corps noir

Rayonnement d'équilibre du corps noir : $\phi_A = \phi_e = \phi_i$

L'absorption et la transmission dépendent beaucoup de la nature du corps, de son épaisseur et aussi de la composition spectrale du rayonnement incident. (Pour un corps noir, l'émission ne dépend que de la température du corps)

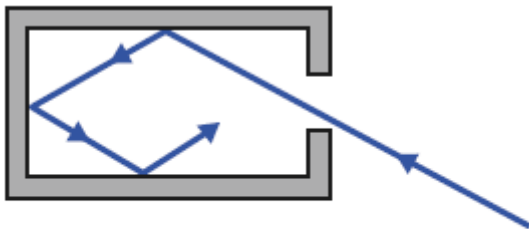
Exemple de la vitre en verre : Elle est transparente à la lumière visible, mais elle filtre les UV, c'est d'ailleurs pour cela qu'on ne bronze pas derrière une vitre.

D'ailleurs on définit le flux thermique par :

$$\phi = \iint \varphi_v d\mathbf{v} \cdot d\mathbf{S} = \iint \varphi_\lambda d\lambda \cdot d\mathbf{S}$$

φ_λ : Flux surfacique spectral ($\text{W} \cdot \text{m}^{-3}$) et φ_v : Flux surfacique spectral ($\text{W} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2} = \text{J} \cdot \text{m}^{-2}$)

Il y a une relation entre les deux, mais on peut choisir de manière équivalente de parler en fréquence ou en longueur d'onde pour le rayonnement électromagnétique (Dans la suite je choisis de parler en longueur d'onde)



Doc. 8. Le trou se comporte comme un corps noir presque parfait.

Un corps noir est un corps théorique (impossible d'absorber tout quelque soit la longueur d'onde)

Pour le modéliser (histoire du four)

Une enceinte à parois intérieures absorbantes, dans laquelle est pratiquée une petite ouverture, peut représenter un corps parfaitement noir : si un rayonnement entre par cette ouverture, il subit un grand nombre de réflexions ou de diffusions sur les parois intérieures de l'enceinte au cours desquelles il s'atténue sans pouvoir ressortir (doc. 8). L'ouverture se comporte donc comme un élément de surface d'un corps parfaitement absorbant.

Le flux surfacique spectral du rayonnement d'équilibre d'un corps noir a été étudié expérimentalement pendant la deuxième moitié du XIXe siècle.

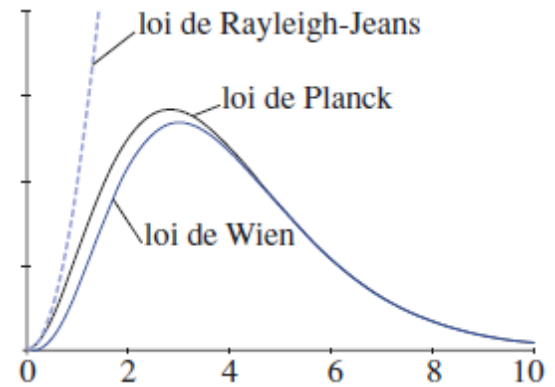
De façon empirique :

- Loi de déplacement de Wien : $\lambda_m T = 2\,898 \, \mu\text{m} \cdot \text{K}^{-1}$ (Cette loi nous dit que la fréquence du maximum de flux spectral surfacique est proportionnelle à la température absolue du corps noir)
- Loi de Stephan : $\phi = \sigma T^4$ (Cette loi nous donne le flux (puissance) surfacique émise par un corps noir à la température T lorsqu'il est à l'équilibre thermique)

De façon théorique :

- Loi de Rayleigh-Jeans: (méthodes « classique » de la thermodynamique statistique de Boltzmann)

Ce modèle, compatible avec l'expérience pour les grandes longueurs d'onde, ne correspondait pas avec les mesures pour les petites longueurs d'onde. En particulier cette théorie prévoyait qu'un corps noir même à température ambiante devait émettre un rayonnement très intense dans l'ultraviolet « la catastrophe Ultraviolette (UV) »



Loi de Planck

En partant des résultats expérimentaux, Planck développe la théorie du rayonnement d'équilibre du corps noir qu'il présente lors d'une conférence, en 1900, à Berlin. Cette théorie joue un rôle capital dans la naissance et le développement de la mécanique quantique au début du XXe siècle. Pour interpréter la structure du rayonnement thermique, Planck émet pour la première fois l'hypothèse d'une variation discontinue de l'énergie par « quanta élémentaires d'action », ouvrant la voie à la notion de photon qu'Einstein introduit en 1905.

$$\varphi_{\lambda}(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{k_B T \lambda}} - 1}$$

Anecdote : Planck ne croyait pas en ce qu'il avait démontré et à la notion de quanta d'énergie, c'est pourquoi il a attribué à la constante de Planck la 1 lettre du mot allemand « hilfe » qui veut dire « au secours ». Pour lui sa formule n'était qu'un artifice mathématique.

Avec la loi de Planck on peut retrouver la loi du déplacement de Wien (en calculant $\left(\frac{d\varphi_{\lambda}}{d\lambda}\right)_T = 0$) et celle de Stephan (Qui est la simple intégration de la loi de Planck sur l'ensemble des longueurs d'onde $\varphi_{eq} = \int_0^{+\infty} \varphi_{\lambda}(\lambda, T) d\lambda$)

Loi de Stephan (faire la démo si le temps)

$$\varphi_{eq} = \int_0^{+\infty} \varphi_{\lambda}(\lambda, T) d\lambda = \int_0^{+\infty} \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{k_B T \lambda}} - 1} d\lambda$$

En posant $x = \frac{hc}{k_B T \lambda}$ soit $\lambda = \frac{hc}{k_B T x}$ soit $\frac{1}{\lambda^5} = \left(\frac{k_B T x}{hc}\right)^5$

$$\varphi_{eq} = 2\pi hc^2 \left(\frac{k_B T}{hc}\right)^5 \int_0^{+\infty} \frac{x^5}{e^x - 1} dx$$

Je ne sais pas faire le calcul alors je marque directement le résultat

$$\varphi_{eq} = \frac{2\pi}{15} \frac{k_B^4}{h^3 c^2} T^4$$

$$\varphi_{eq} = \sigma T^4 \quad \text{avec } \sigma = \frac{2\pi}{15} \frac{k_B^4}{h^3 c^2} \quad \text{et composé seulement de constante fondamentale}$$

Remarque : Il existe 4 constantes fondamentale en physique, h (cste de Planck), k_B (cste de Boltzman), c (célérité de la lumière dans le vite), et G (constante gravitationnelle)

La formule de Stefan est d'une importance capitale et rappelle que les flux incidents et partants ne sont fonction que de la température du corps noir. On note la forte dépendance en T puisqu'il s'agit d'une puissance quatrième. Alors que la Température du Soleil n'est que 20 fois plus élevée que celle de la Terre, son flux partant est 160.000 fois plus élevé.

Loi de Wien :

3.4. Loi de déplacement de Wien

Les courbes $u_\lambda(\lambda)$ à T fixé (cf. doc. 12) présentent toutes un maximum pour une certaine longueur d'onde $\lambda_m(T)$ définie par :

$$\left(\frac{\partial u_\lambda}{\partial \lambda}\right)_T = 0.$$

Introduisons $y = \frac{hc}{k_B T \lambda}$, $u_\lambda(\lambda, T) = \frac{8\pi k_B^5 T^5}{h^4 c^4} y^5 \frac{1}{e^y - 1}$.

$$\left(\frac{\partial u_\lambda}{\partial \lambda}\right)_T = 0 \text{ est équivalent à } \frac{d \ln(u_\lambda)}{dy} = 0 \text{ soit } \frac{5}{y} - \frac{e^y}{e^y - 1} = 0.$$

La valeur y_m vérifiant cette condition vérifie l'équation :

$$e^{y_m} (y_m - 5) + 5 = 0.$$

Par une résolution numérique, nous obtenons :

$$y_m = 4,965, \text{ soit } \lambda_m T = \frac{hc}{k_B y_m} = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m.K.}$$

Remarquons que $\frac{hc}{k_B y_m}$ est **une constante universelle** car uniquement liée aux constantes universelles h , c et k_B .

La densité spectrale d'énergie u_λ d'un rayonnement à l'équilibre thermique présente un maximum pour une longueur d'onde λ_m fonction de la température. T étant la température, le produit $\lambda_m T$ est une constante universelle :

$$\lambda_m T = 2\,898 \, \mu\text{m.K}$$

Cette relation est connue sous le nom de loi du déplacement de Wien.

Le document 18 donne quelques valeurs numériques. La loi de Wien ne s'applique rigoureusement qu'à un rayonnement d'équilibre d'un corps noir. Elle est cependant assez bien vérifiée par l'expérience pour les corps usuels.

À la température ordinaire, un corps noir n'émet que des radiations infrarouges ($\lambda_m = 10 \, \mu\text{m}$) ; il apparaît donc noir, d'où son nom. Quand on le chauffe, la couleur du rayonnement passe du rouge (vers $500 \, ^\circ\text{C}$), puis au jaune (vers $1\,000 \, ^\circ\text{C}$), puis au blanc (vers $1\,200 \, ^\circ\text{C}$) puisque ce rayonnement contient une proportion de petites longueurs d'onde (bleues ou violettes) de plus en plus importante.

$T = 300 \text{ K}$	$\lambda_m = 9,7 \, \mu\text{m}$ (infrarouge)
$T = 2\,000 \text{ K}$	$\lambda_m = 1,45 \, \mu\text{m}$ (infrarouge)
$T = 5\,000 \text{ K}$	$\lambda_m = 0,58 \, \mu\text{m}$ (jaune)

Péda : 1^{ère} S :

26 L – Rayonnement d'équilibre et corps noir.

1^{ère} S – Activité expérimentale

Sources de lumière colorée	
Différentes sources de lumière : étoiles, lampes variées, laser, DEL, etc. Domaines des ondes électromagnétiques.	Distinguer une source polychromatique d'une source monochromatique caractérisée par une longueur d'onde dans le vide. Connaître les limites en longueur d'onde dans le vide du domaine visible et situer les rayonnements infrarouges et ultraviolets.
Couleur des corps chauffés. Loi de Wien.	Exploiter la loi de Wien, son expression étant donnée.
Interaction lumière-matière : émission et absorption. Quantification des niveaux d'énergie de la matière. Modèle corpusculaire de la lumière : le photon. Énergie d'un photon. Relation $\Delta E = h\nu$ dans les échanges d'énergie.	Pratiquer une démarche expérimentale permettant d'illustrer et de comprendre la notion de lumière colorée. Interpréter les échanges d'énergie entre lumière et matière à l'aide du modèle corpusculaire de la lumière. Connaître les relations $\lambda = c/\nu$ et $\Delta E = h\nu$ et les utiliser pour exploiter un diagramme de niveaux d'énergie.
Spectre solaire.	Expliquer les caractéristiques (forme, raies) du spectre solaire.

Sources : BUP 924 (mai 2010) + document d'accompagnement 1^{ère} S + Nathan 1^{ère}S (2015) p76

Manip préparatoire prof :

Mesurer la température au pyromètre optique et tracer $T=f(I)$

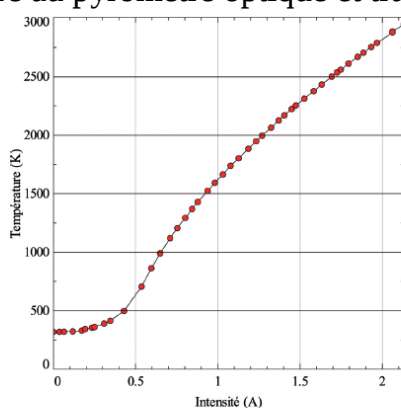
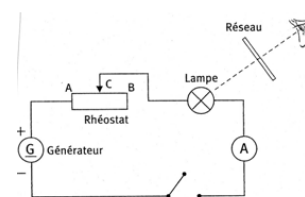


Figure 4 : Courbe donnant la température du filament de la lampe en fonction de l'intensité du courant qui la traverse.

Elèves :

Faire varier la position du curseur du rhéostat (qui permet de modifier la température du filament de l'ampoule de la lampe). Que constate-t-on ?

Remplir le tableau suivant :



Doc 1 : Dispositif permettant d'étudier l'évolution du spectre d'une lampe avec la température de son filament.

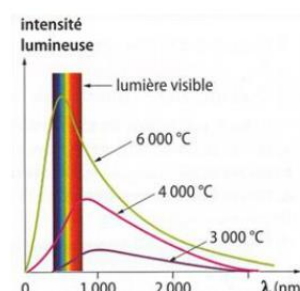
Couleur du filament	Intensité (A)	Température T (°K)	Profil spectrale	$\lambda_{\max}$ (m)

Profil spectrale via le logiciel

$\lambda_{\max}$ via la fibre optique.

Loi de Wien :

En étudiant le rayonnement de corps de nombreux objets à différentes températures, Wilhelm Wien a remarqué que la longueur d'onde correspondante au maximum de rayonnement était inversement proportionnelle à la température du corps noir.



Loi de Wien : $\lambda_{\max} = \frac{\sigma_w}{T}$ Où σ_w est une constante égale à m.K

Information : le Kelvin est l'unité du système international de la température.

La température T en Kelvin est reliée à la température θ en °C par la relation : **$T = \theta + 273,15$**

→ En utilisant LatisPro ou Régressi, retrouver la valeur de la constante de la loi de Wien.

A la maison : activité documentaire « Le spectre solaire » (Nathan 1^{ère} S p 76 + p 70)

Retrouver la classe spectrale du Soleil. Rédiger un texte répondant à cette question de manière argumentée en avançant plusieurs arguments et en utilisant des données numériques issues des documents. L'allure du spectre devra être expliquée en évoquant deux parties du Soleil : sa photosphère (sa surface) et sa chromosphère (son atmosphère).

En seconde :

Les étoiles : l'analyse de la lumière provenant des étoiles donne des informations sur leur température et leur composition. Cette analyse nécessite l'utilisation de systèmes dispersifs.

Les spectres d'émission et d'absorption : spectres continus d'origine thermique, spectres de raies.
Raies d'émission ou d'absorption d'un atome ou d'un ion.
Caractérisation d'une radiation par sa longueur d'onde.

Savoir qu'un corps chaud émet un rayonnement continu, dont les propriétés dépendent de la température.

Repérer, par sa longueur d'onde dans un spectre d'émission ou d'absorption une radiation caractéristique d'une entité chimique.

En 1^{ère} S :

Sources de lumière colorée

Différentes sources de lumière : étoiles, lampes variées, laser, DEL, etc.
Domaines des ondes électromagnétiques.

Distinguer une source polychromatique d'une source monochromatique caractérisée par une longueur d'onde dans le vide.
Connaître les limites en longueur d'onde dans le vide du domaine visible et situer les rayonnements infrarouges et ultraviolets.

Couleur des corps chauffés. Loi de Wien.

Exploiter la loi de Wien, son expression étant donnée.

Pratiquer une démarche expérimentale permettant d'illustrer et de comprendre la notion de lumière colorée.

Interaction lumière-matière : émission et absorption.
Quantification des niveaux d'énergie de la matière.

Interpréter les échanges d'énergie entre lumière et matière à l'aide du modèle corpusculaire de la lumière.

L'idée est de se servir du BUP no 924 (Vol. 104 - Mai 2010)

On peut faire directement le montage proposé dans le BUP en ajoutant le spectromètre. Ou faire celui de l'activité 2 page 55 (livre 1^{ère} S Belin) en ajoutant un voltmètre aux bornes de la résistance.

lampe Philips
de type E4-2DT W21W

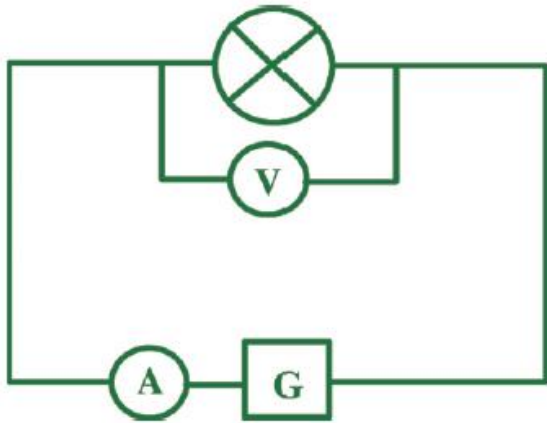
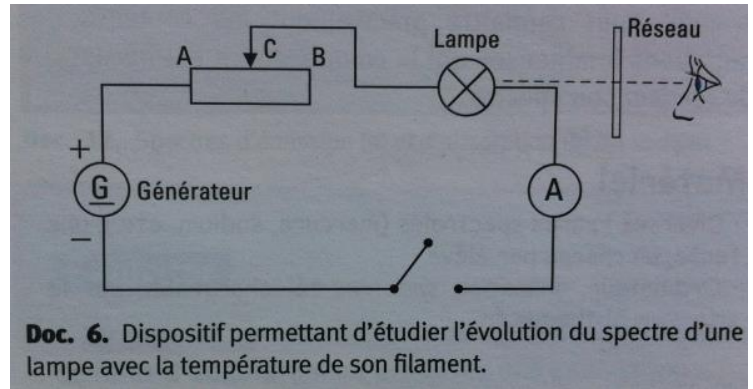


Figure 3 : Montage utilisé.



Déroulement de la séance : Sur 2 H ou 1H30 en salle de TP

Pré-requis :

- Avoir étudié les spectres d'émission et d'absorption de raie ainsi que les spectres continue.
- Tracer un graphique et calculer la pente de la courbe à l'aide d'un tableur
- Avoir vu la synthèse des couleurs additives.

Objectifs :

- Retrouver la loi de Wien afin de pouvoir l'exploiter dans le cas des étoiles
- Utiliser les TICE
- Discuter des incertitudes

Situation déclenchante : Pourquoi les étoiles n'ont-elles pas la même couleur ?

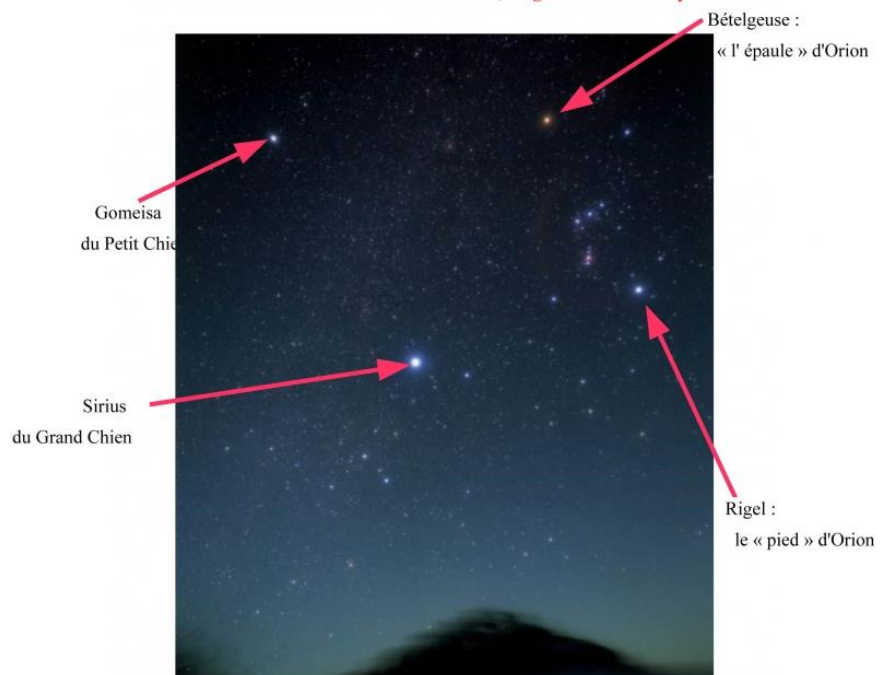
Réponse attendue : (on va les reprendre dans la tâche complexe)

- Car la lumière traverse différentes couches de gaz (répondre aux élèves que vu qu'elles émettent beaucoup de lumière seulement une petite partie de la lumière va être absorbée)
- Car il y'en a une qui est plus chaude que l'autre (référence au film avec les forgerons et les épées)

Liste du matériel :

- multimètre
- lampe Philips de type E4-2DT W21W + valeur de R_0
- résistance variable avec générateur de courant continue
- ou générateur de courant variable
- spectroscopie + écran blanc
- interrupteur
- Courbe représentative de $R(T) / R_0$

Photos du ciel avec les constellations d'Orion, du grand chien et du petit chien



Suivant le niveau de la classe on peut

- (facultatif) Donner la liste du matériel aux élèves, surtout le prisme car ils risquent de ne pas avoir l'idée de l'utiliser.
- Leur demander de nous expliquer leur manipulation par écrit.

Lors de la distribution du matériel on explique aux élèves comment faire varier la valeur de l'intensité + Un rappel de la notion de température en Kelvin si celle-ci n'a pas été déjà vue auparavant.

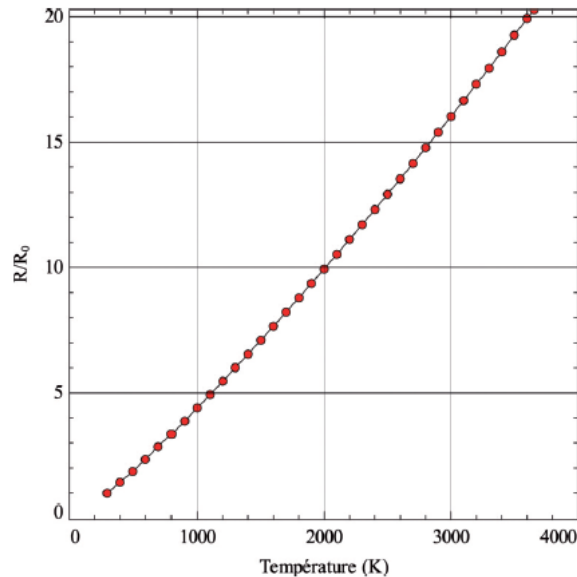


Figure 2 : Courbe représentative de $R(T)/R_0$ en fonction de la température pour une résistance de tungstène.

Dire aux élèves de consigner toute leurs mesures et d'utiliser un tableur pour faire les calculs

$R(T)$	$R(T)/R_0$	T	$\lambda_{\max}$

Jusqu'à présent ils ont juste les 3 premières colonnes et ils peuvent déjà faire une première conclusion qualitative. Plus la température augmente, plus la couleur du filament devient blanche (rouge => blanc) et si on utilise spectroscopie on voit que des couleurs apparaissent.

A ce stade on va rendre la manipulation quantitative

Donner aux élèves un texte comportant la loi de Wien et leur demander de la retrouver sachant que pour nous $\lambda_{\max} = \lambda$ de la dernière couleur apparue (Je ne sais pas du tout ce que ça va donner)

Doc. 1 Loi de Wien

• Un corps dense émet un rayonnement électromagnétique appelé **rayonnement thermique** qui dépend de la température et dont le spectre est continu. La couleur du corps passe du rouge sombre au blanc si la température augmente.

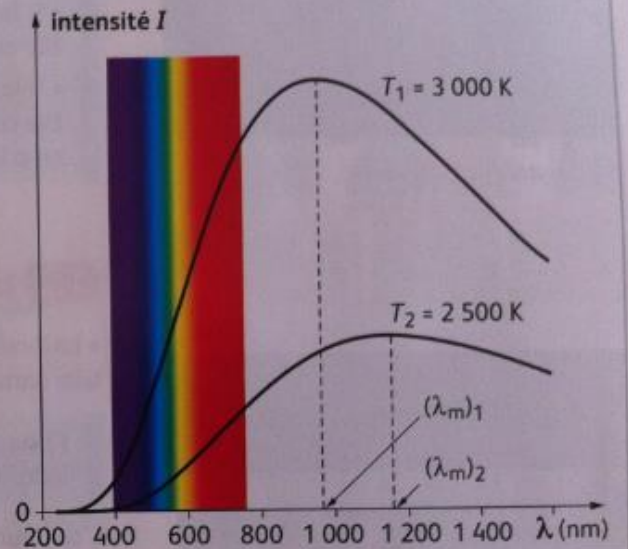
• Loi de Wien

Le spectre continu du rayonnement thermique émis par un corps à la température T a une intensité maximale pour une longueur d'onde λ_m donnée par la relation :

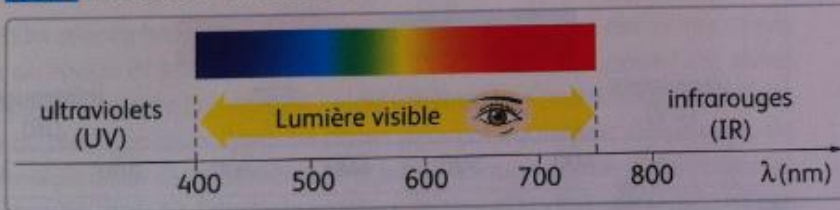
$$\lambda_m = \frac{2,90 \times 10^{-3}}{T}$$

Unités SI :
 λ_m en mètre (m)
 T a pour unité SI le kelvin (K)
et $T = 273 + \theta$ (θ en °C)

• La **couleur perçue** dépend de l'ensemble des radiations visibles émises (figure ci-contre).



Doc. 2 Radiations visibles et invisibles



Les élèves vont refaire leur manipulation et tracer ($\lambda_{\max} = f(1/T)$ pour vérifier qu'on a bien une droite) (là encore je ne suis pas sur du résultat)

Suivant le résultat discuter des incertitudes et de pourquoi ça n'a pas marché

- On a mal estimé le R_0 dès le départ et du coup notre température est surestimée ou sous estimée
- $\lambda_{\max}$ très grosse approximation (sans doute la plus grande)

Si on a une droite leur demander de calculer le coefficient directeur (pour essayer de retrouver 2.90×10^{-3})

Exercice tâche complexe (insister auprès du jury que c'est dans l'esprit du Bac) :

Utiliser la loi de Wien dans le cas d'un exercice avec différentes étoiles pour reprendre la situation déclenchante et en plus ça peut permettre de revenir sur les hypothèses de la situation déclenchante.

37 Classe spectrale d'une étoile

COMPÉTENCES S'approprier, analyser, réaliser, valider.

Cette résolution de problème est proposée avec deux niveaux différents. Commencer par le niveau confirmé, et en cas de difficulté, passer au niveau initiation.

L'étoile Castor de la constellation des Gémeaux est située à 49,8 années-lumière de la Terre. Cette étoile, de couleur blanche, est visible en France les soirs d'hiver dans la direction du Sud-Est.

Doc. 1 Classes spectrales des étoiles

Classe spectrale	Couleur	Température moyenne de surface (K)	Raies les plus intenses
W	bleue	35 000-50 000	nombreuses raies d'émission
O	bleue-blanche	25 000-35 000	hélium ionisé
B	bleue-blanche	10 000-25 000	hélium neutre
A	blanche	7 500-10 000	prédominance des raies de l'hydrogène
F	jaunâtre	6 000-7 500	hydrogène et nombreuses raies fines de métaux ionisés (calcium, etc.)
G	jaune	5 000-6 000	présence simultanée de raies de métaux neutres et ionisés et de l'hydrogène
K	orange	3 500-5 000	raies de métaux et d'oxydes de titane
M	rouge	< 3 500	bandes d'oxydes de titane



• Dessin de la constellation des Gémeaux.

DONNÉES

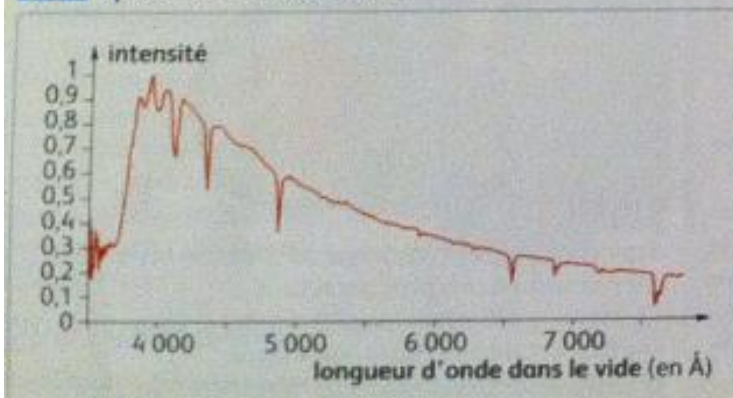
• Raies d'absorption de quelques atomes :

Atome	Longueurs d'onde dans le vide des principales raies d'émission (en Å)
hydrogène	6563 • 4861 • 4340 • 4103
hélium	6678 • 7065
fer	4308 • 4384 • 4668 • 4958 • 5270
magnésium	5184 • 5173 • 5169 • 5167
sodium	5889,9 • 5895,9
calcium	3968 • 3934 • 4227

• Bande d'absorption du monoxyde de titane : 7610-7615 Å

• 1 Å = 1×10^{-10} m.

Doc. 2 Spectre de l'étoile Castor



Modification :

- Ne pas donner la couleur de l'étoile dans l'énoncé
- Donner une seule consigne : « Donner sans ambiguïté la classe spectrale de l'étoile Castor »

Aide : Pour les élèves bloquées : A quoi correspondre les pics sur le document 2 ?

Question :

- 1) Le candidat a dit « Loi de Planck comme correction de la Loi de Wein », pourtant elle ne dit pas la même chose ?
- 2) Dans la loi de Planck où apparaissent les effets quantiques ?
- 3) Comment faire le lien entre I et la température du filament de la lampe ? Comment tracer quantitativement $I=f(T)$?
- 4) Pourquoi corps noir alors que le filament est blanc ?
- 5) On ne voit pas la couleur des étoiles avec un télescope, pourquoi en dessiner certaines bleues ?
- 6) Sur l'exemple du panneau thermique, que manque-t-il ? *il faut aussi dire qu'il y a des flux de chaleur partant et se dirigeant du bas.*
- 7) En ce qui concerne l'effet de serre, quel est le lien avec l'expérience avec la vitre en verre ? et le corps noir ?
- 8) D'où viennent les lois de Wien et Planck ? Sont-elles empiriques ?

Annexe1 : Loi de Planck.

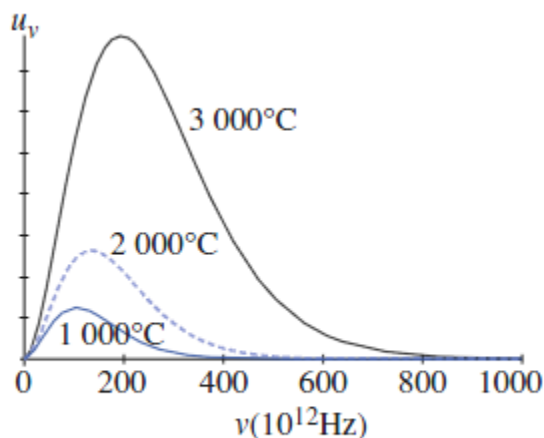
On peut exprimer la loi de Planck soit en fonction de la longueur d'onde soit en fonction de la fréquence et pour passer de l'un à l'autre on considère du qui représente la densité volumique d'énergie de rayonnement dans une bande de fréquence comprise entre ν et $d\nu$ (ou dans une bande de longueur d'onde comprise entre λ et $d\lambda$)

$$\begin{aligned} du &= u_\lambda(\lambda, T) d\lambda \\ du &= u_\nu(\nu, T) d\nu \end{aligned} \quad u_\lambda(\lambda, T) = u_\nu \left| \frac{d\nu}{d\lambda} \right| = \frac{c}{\lambda^2} u_\nu \quad \lambda = \frac{c}{\nu}$$

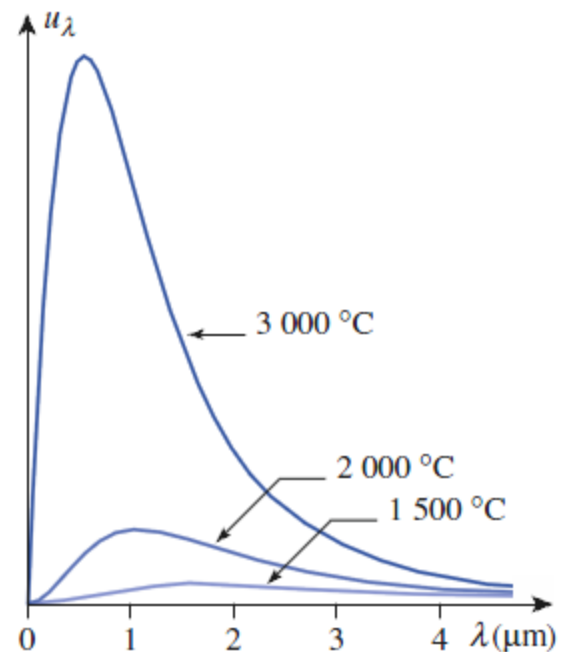
En utilisant ces formules on peut passer d'une relation à l'autre (les deux relations étant équivalentes)

$$u_\nu(\nu, T) = \frac{8\pi h}{c^3} \frac{\nu^3}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1}$$

$$u_\lambda(\lambda, T) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{k_B T\lambda}} - 1}$$



Doc. 12. Loi de Planck en fréquence.



Doc. 11. Loi de Planck (en longueur d'onde).

Annexe 2 : Effet Albédo

Tout corps réfléchit une partie de l'énergie solaire qu'il reçoit. L'albédo est la part d'énergie solaire réfléchie par rapport à celle reçue. Plus un corps est clair et plus il est réfléchissant : son albédo est fort. À l'inverse, un corps sombre absorbe davantage les rayons du Soleil : son albédo est faible. L'effet d'albédo joue ainsi un rôle sur le climat et l'équilibre thermique de la planète, au même titre que l'effet de serre ou le cycle du carbone. Il est directement impacté par les activités humaines et par le réchauffement climatique.

L'albédo et le réchauffement climatique

L'albédo est modifié par le réchauffement climatique. Par exemple, la Terre se réchauffant, la banquise fond en Arctique, ce qui entraîne une diminution de sa surface réfléchissante. L'albédo local diminuant, la part des rayonnements réfléchis vers l'espace diminue. La conséquence est un réchauffement accru de la région qui amplifie à son tour la fonte des glaces. C'est un effet boule de neige appelé « rétroaction positive » par les climatologues.