

LP 12 – Sources de lumières

Manon LECONTE - ENS de Lyon

Dernière mise à jour : 17 juin 2020

Merci à Joachim Galiana, Estelle Meyer et Karine Braganti pour leur précieuse aide.

Mots-clé : source thermique, corps noir, loi de Wien, température de couleur, source spectrale, spectre de raies, absorption, émission.

Niveau : 1^{re} STL - Physique-chimie et mathématiques

Pré-requis :

- Ondes électromagnétiques (caractéristiques, expression de la célérité, spectre électromagnétique) [1^{re} STL]
- Constitution de la matière (atomes, noyaux, électrons) [2^{de}]
- Spectres d'émission et d'absorption [2^{de}]
- Loi de Beer-Lambert [2^{de}]

Bibliographie :

- Taillet, *Dictionnaire de physique*
- *Physique-Chimie 1^{re} STI2D*, Hachette Education, éd. 2019
- *Physique-Chimie 1^{re} S*, Hachette Education, éd. 2015
- *Enseignement scientifique 1^{re}* , Lelivrescolaire, éd. 2019

Plan proposé

I - Lumière émise par un corps chauffé	2
A/ Le modèle du corps noir	2
B/ Loi de Wien et température de couleur	2
C/ Limites du modèle du corps noir	3
II - Sources spectrales	3
A/ Mise en évidence	3
B/ Quantification des niveaux d'énergie de l'atome	4
C/ Spectre d'émission d'une source spectrale	5

Introduction pédagogique

La leçon s'inscrit dans le thème "Ondes électromagnétiques". Elle suit un premier cours sur les caractéristiques de ces ondes et la présentation du spectre électromagnétique (en pré-requis).

On introduit la distinction source thermique-source spectrale pour les sources de lumières polychromatiques. On pourra étudier le cas particulier du laser en activité documentaire.

Spectre des ondes électromagnétiques ; rayonnements gamma, X, UV, visible, IR, micro-ondes, ondes radio. Sources lumineuses. Spectres d'émission et spectres d'absorption.	<ul style="list-style-type: none"> - Classer les ondes électromagnétiques selon leur fréquence et leur longueur d'onde dans le vide. - Citer les ordres de grandeur des longueurs d'onde limites du spectre visible. - Citer des domaines d'utilisation des différents types d'ondes électromagnétiques. - Caractériser différentes sources lumineuses à l'aide de leur spectre : laser, LED, lampe à incandescence, lampe spectrale etc. - Distinguer spectres d'émission et spectres d'absorption, spectres continus et spectres de raies. <p>Capacités expérimentales :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mettre en œuvre un protocole pour observer le spectre de différentes sources lumineuses. - Mettre en œuvre un protocole pour observer un spectre d'absorption d'une solution.
Photon, énergie d'un photon.	<ul style="list-style-type: none"> - Interpréter les échanges d'énergie entre lumière et matière à l'aide du modèle corpusculaire de la lumière. - Citer et exploiter la relation entre l'énergie d'un photon et la fréquence de l'onde. - Classer les ondes électromagnétiques selon l'énergie du photon. - Interpréter et exploiter la présence de raies dans un spectre à l'aide de données tabulées.

Figure 1 – Extrait du programme officiel de Physique-chimie et mathématiques de la classe de 1^{re} STL.

Difficultés :

- dualité onde-corpuscule et quantification → pour l'amener aux élèves, on décrit d'abord des sources présentant des spectres continus, puis on se demande pourquoi certaines sources présentent des spectres de raies ;
- unités et conversion, en particulier l'introduction de l'électron-volt.

Exemples de TD :

- étude de différentes ampoules et température de couleur ;
- étude de documents sur le laser.

Exemples de TP : mesurer le spectre de différentes lampes.

Introduction

Dans le cours précédent, on a défini l'onde électromagnétique (oem), donné ses caractéristiques et classé les différents rayonnement sur un spectre électromagnétique.

On va maintenant s'attacher à décrire comment un objet peut être source de lumière et comment caractériser son rayonnement.

Objectifs – Déterminer à partir de son spectre la nature d'une source de lumière.

I - Lumière émise par un corps chauffé

A/ Le modèle du corps noir

La première source de lumière qui nous vient à l'esprit est le Soleil.

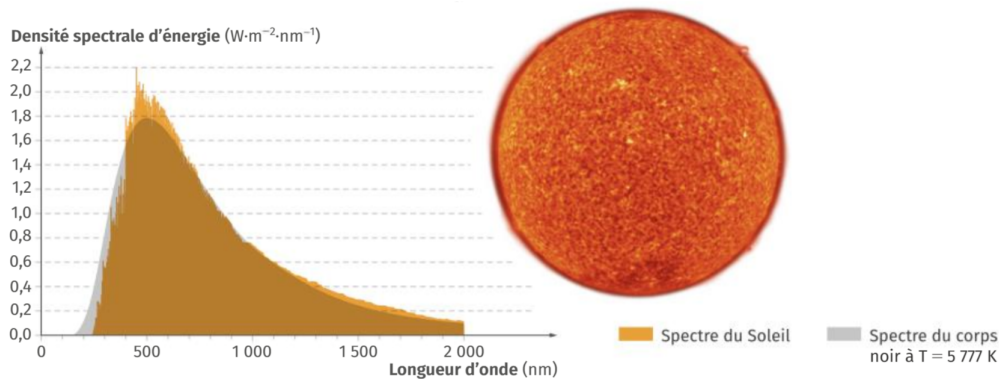


Figure 2 – Profil spectral du Soleil (Source : *Enseignement scientifique 1^{re}*, Lelivres-colaire (p. 75)).

Son rayonnement est dû à l'agitation thermique des atomes qui le composent. Il s'agit donc d'un **corps chauffé**.

On peut modéliser son rayonnement en considérant qu'il s'agit d'un corps noir.

Définition – **Corps noir** : corps idéal qui absorbe toutes les radiations électromagnétiques qu'il reçoit.

Les spectres associés à des corps noirs sont des spectres **continus**.

B/ Loi de Wien et température de couleur

Le corps noir émet alors un rayonnement qui ne dépend que de sa température de surface T appelée **température de couleur**, d'après la **loi de Wien** :

$$\lambda_{max}T = 2,9 \times 10^{-3}m \cdot K \quad (1)$$

où λ_{max} est la longueur d'onde du maximum d'émission du corps noir.

Animation – Spectre d'un corps chauffé (Source : phet.colorado.edu).

On voit bien la variation de λ_{max} lorsque l'on fait varier T , ce qui induit un changement de couleur de la source lumineuse.

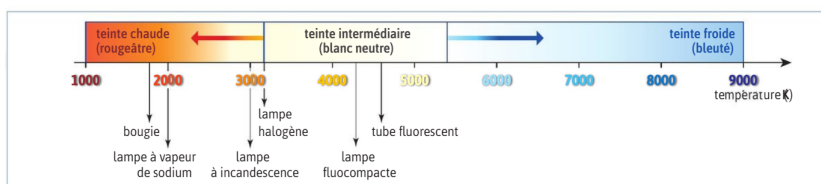


Figure 3 – Lien entre la température d'un corps et sa couleur (**Source** : *Physique-Chimie 1re STI2D*, Hachette éducation (p. 240)).

Remarque – On remarque que les couleurs qualifiées de "chaudes" correspondent en fait à des températures inférieures à celles des couleurs "froides".

On peut donc appliquer la loi de Wien au rayonnement du Soleil pour déterminer la température à sa surface. On lit : $\lambda_{max} = 500 \text{ nm}$, donc $T = 5\,800 \text{ K}$.

Remarque – On pourrait aussi évoquer la classification spectrale des étoiles (voir *Enseignement scientifique 1re*, Lelivrescolaire (p. 69)).

C/ Limites du modèle du corps noir

Le corps noir est un **modèle**. La température de l'objet émetteur n'est donc pas toujours égale, ni même parfois proche, à la température prévue par la loi de Wien.

Exemple – Le modèle du corps noir s'applique bien à la lumière du jour et à celle d'une lampe halogène. Il ne fonctionne cependant pas pour les lampes à LED ou les lampes fluocompactes (voir energie-environnement.ch).

II - Sources spectrales

A/ Mise en évidence

Animation – Comparaison du spectre d'une lumière blanche et de celui d'une lampe à vapeur d'hydrogène (**Source** : web-labosims.org).

Au lieu d'un spectre continu, on observe un **spectre de raies**. Cela est dû à la **description corpusculaire de la lumière**. En 1905, Einstein postule que la lumière est constituée de "grains", appelés **photons** aujourd'hui.

Définition – **Photon** : particule de charge et de masse nulle associée à une onde électromagnétique et possédant notamment une énergie propre.

L'énergie d'un photon suit la loi :

$$\mathcal{E} = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (2)$$

où $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J·s la **constante de Planck**, ν la fréquence du photon et λ sa longueur d'onde.

B/ Quantification des niveaux d'énergie de l'atome

Bohr introduit en 1913 la **quantification** des niveaux d'énergie des atomes pour expliquer les spectres de raies : les atomes ne peuvent se trouver que dans des états d'énergie discrets.

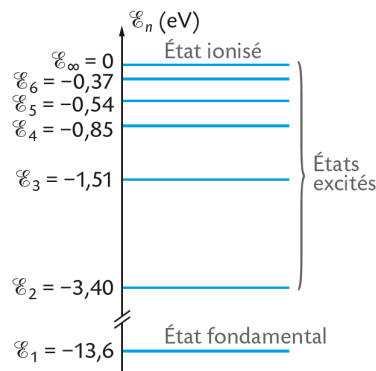


Figure 4 – Diagramme de niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène (Source : *Physique-Chimie 1re S*, Hachette éducation (p. 50)).

Les niveaux d'énergie correspondent au placement des électrons dans l'atome.

L'état de plus faible énergie est appelé **état fondamental**. Pour l'hydrogène, son énergie vaut $\mathcal{E}_1 = 13,6 \text{ eV} = 13,6 \times 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$. L'électron-volt eV est l'unité utilisée pour donner l'énergie des électrons. Elle est plus pratique que le joule car on s'affranchit des puissances de 10. Il faudra cependant faire attention aux conversions dans les exercices !

Les autres états d'énergies supérieures sont appelés **états excités**.

On peut observer des **transitions** entre les différents niveaux d'énergie d'un atome.

Définition – Absorption : un atome peut absorber un photon incident pour passer d'un état d'énergie \mathcal{E}_m vers un état d'énergie $\mathcal{E}_p > \mathcal{E}_m$. On dit alors que l'atome est **excité**. Pour cela, il faut que l'énergie du photon incident vérifie $\mathcal{E} = \mathcal{E}_p - \mathcal{E}_m$.

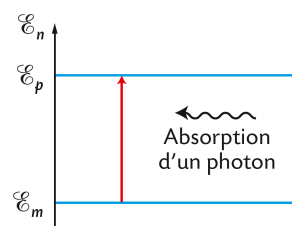


Figure 5 – Absorption d'un photon (Source : *Physique-Chimie 1re S*, Hachette éducation (p. 51)).

On peut également observer le phénomène inverse, appelé **émission**.

Définition – Emission : un atome peut émettre un photon pour passer d'un état d'énergie \mathcal{E}_p vers un état d'énergie $\mathcal{E}_m < \mathcal{E}_p$. On dit alors que l'atome **se désexcite**. Alors, l'énergie du photon émis vérifie $\mathcal{E} = \mathcal{E}_p - \mathcal{E}_m$.

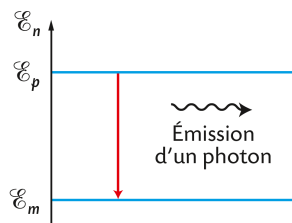


Figure 6 – Emission d'un photon (**Source** : *Physique-Chimie 1re S*, Hachette éducation (p. 51)).

C/ Spectre d'émission d'une source spectrale

Une source spectrale n'absorbe ou n'émet des rayonnements que pour certaines longueurs d'onde. On comprend ainsi pourquoi elle présente un spectre de **raies**. On peut calculer les longueurs d'onde des raies d'émission de l'hydrogène à l'aide de la figure 4.

Transition	3 → 2	4 → 2	5 → 2	6 → 2
Ecart énergétique [eV]	1,89	2,55	2,86	3,03
Longueur d'onde associée [nm]	658	489	435	410

Remarque – Attention à la conversion des énergies. Il faut les convertir en Joule pour utiliser la formule 2.

On retrouve les longueurs d'onde associées au raies de la lampe à vapeur de sodium.



Figure 7 – Spectre d'émission de la lampe à vapeur d'hydrogène (**Source** : web-labosims.org).

Conclusion

On peut distinguer deux types de sources polychromatiques : les sources thermiques, modélisées par le rayonnement d'un corps noir, et les sources spectrales, dont la lumière provient de la désexcitation des atomes qui la constituent. Les spectres sont très utiles pour décrire des rayonnement électromagnétiques : en les observant, on peut conclure sur la nature de la source de ces rayonnement. Si le spectre est continu, il s'agit d'une source thermique ; s'il présente des raies, le rayonnement est dû à une source spectrale.