



Leçon 8

LA LUMIÈRE

Activité

On considère le soleil et une lampe de poche. Ces deux objets émettent de la lumière chacun de sa manière. Cependant, ces objets sont différents.



Soleil



Lampe à DEL

Quelle différence majeure existe-t-il entre ces deux sources de lumière ?

ACTIVITÉSObjectifs

- Définir : lumière ; source de lumière ; lumière monochromatique et polychromatique.
- Énumérer les sources de lumière ;
- Énoncer et appliquer la loi de Wien ;
- Expliquer le modèle corpusculaire de la lumière.

1. Les sources de lumière

- La **lumière** (en physique) est une radiation électromagnétique (selon **Michael Faraday**) qui peut produire une sensation visuelle. En d'autres termes, c'est ce qui éclaire et qui rend les objets visibles.
- Une **source de lumière** est un objet qui produit de lumière qu'il émet. Il est aussi appelé **émetteur lumineux**.
- On distingue cependant plusieurs sources de lumière réparties en fonction des rayons émis et aussi de l'état (chaud ou froid) de ces rayons émis.

1.1. Les sources primaires

On appelle **source primaire de lumière**, toute source qui produit elle-même la lumière qu'elle émet. On distingue cependant deux types de sources primaires à savoir :

- Les **sources primaires naturelles** (œuvres de la nature)

Exemple

- Les lucioles
- Les étoiles
- Les flammes issues des combustions

Sources primaires naturelles

Soleil

Vers luisants
(bioluminescence)

- Les sources **primaires artificielles** qui sont des sources créées par l'Homme

Exemple

Sources primaires artificielles



Lampe à incandescence



Lampe à D.E.L.



Lampe halogène



Lampe fluocompacte

- Les LASER
- Les lampes à néon
- Les lampes à gaz

Remarque

Il existe des sources primaires qui sont à la fois naturelles et artificielles. On peut citer :

- Les chimiluminescences (lumières qui résultent d'une réaction chimique)
- Les fluorescences
- Les phosphorescences
- Les triboluminescences (lumière qui résultent d'une déformation mécanique)

1.2. Les sources secondaires

On appelle **source de lumière secondaire**, toute source qui ne produit pas la lumière qu'elle émet mais diffuse la lumière qu'elle reçoit. On les appelle aussi **objet** (ou **source diffusant(e)**).

On distingue aussi :

- Les **sources secondaires naturelles**

Exemple : La lune

- Les **sources secondaires artificielles**

Exemple : Tout objet éclairé.

1.3. Les sources monochromatiques

- On appelle **source de lumière monochromatique**, toute source qui émet un seul rayon lumineux. C'est le cas par exemple des LASER.
- On appelle **lumière monochromatique**, une lumière dont le spectre ne contient qu'une seule radiation (une seule **longueur d'onde** ou une seule **fréquence**).

Exemple

- Laser hélium – néon (He – Ne)



($\lambda = 632,8 \text{ nm}$ (rouge))

- Lampe à vapeur de sodium (Na)



(Spectre d'émission du Na)

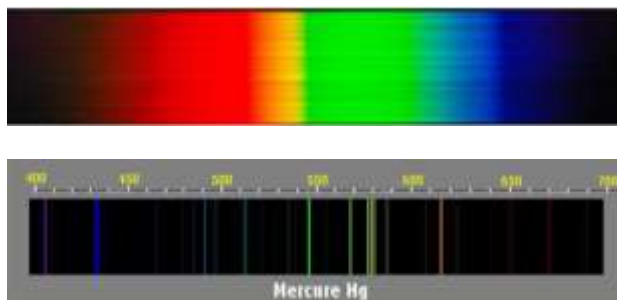
1.4. Les sources polychromatiques

- On appelle **source de lumière polychromatique**, toute source plusieurs rayons lumineux (**faisceau lumineux**). C'est le cas par exemple de toutes les autres sources de lumière en dehors des lasers.

- On appelle **lumière polychromatique**, une lumière constituée d'un ensemble de lumières monochromatiques : son spectre contient plusieurs radiations donc plusieurs couleurs (**plusieurs longueurs d'onde**).

Exemple

- Lampe à incandescence
- Lampe à vapeur de mercure (Hg)



Remarque

- On appelle **rayon lumineux**, la direction de propagation de la lumière. C'est aussi le trajet rectiligne suivi par la lumière.
- Un faisceau lumineux est un ensemble de rayons lumineux.
- Il est possible de rendre une lumière polychromatique en lumière monochromatique. Il suffit pour cela, de placer, devant la source polychromatique, un corps opaque perforé d'un petit trou (orifice), à la sortie de ce corps opaque, le rayon polychromatique devient monochromatique.
- On classe aussi les sources de lumière en **sources chaudes** (soleil, lampe à filament, feu,...) et **sources froides** (laser, lampe à économie d'énergie, tube fluorescent, ...).

1.5. Domaines des ondes électromagnétiques

- Chaque radiation émise par une source peut être caractérisée par sa **longueur d'onde dans le vide**. La longueur d'onde est notée λ (lambda) et s'exprime en mètres (m).

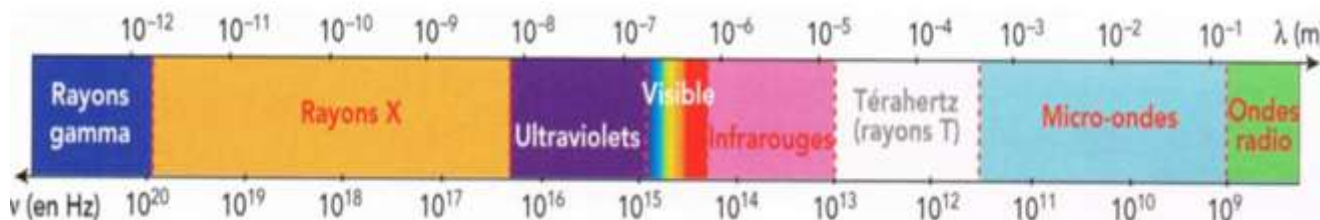
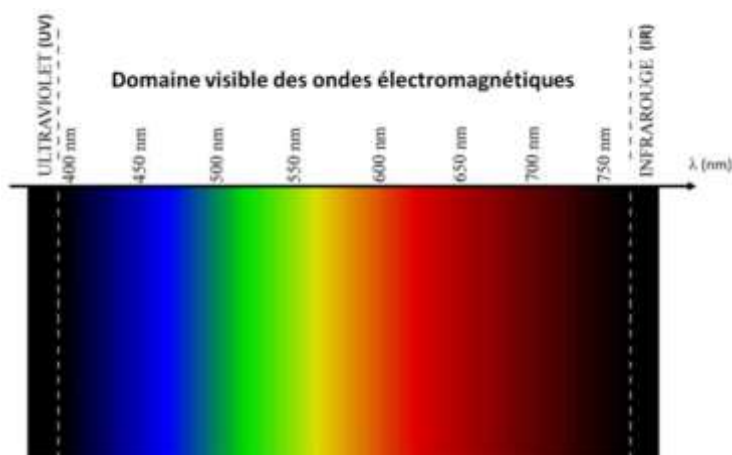


Figure 8.1 : Les domaines des ondes électromagnétiques

- Le domaine visible des ondes électromagnétiques est constitué d'une infinité de lumières colorées, dont les longueurs d'onde vont de **400 nm (violet)** à **800 nm (rouge)**. Il est limité aux faibles longueurs d'onde par l'ultra-violet (UV) et aux grandes longueurs d'onde par l'infra-rouge (IR). On écrit alors :

$$\text{Domaine de lumière visible : } (\text{UV}) \, 400 \, \text{nm} < \lambda < 800 \, \text{nm} \, (\text{IR}) \quad (8.1)$$



- La vitesse de propagation de la lumière (aussi appelée « **célérité**⁽¹⁾ » du latin **celeritas** « **vitesse** ») dans le vide est notée **C** et vaut **300 000 km.s⁻¹ = 3.10⁸ m.s⁻¹**.

1.6. Couleurs des corps chauffés (loi de Wien)

- Un corps chaud émet une lumière dont le spectre⁽²⁾ s'étale quand la température augmente.
- Un corps dense émet un rayonnement électromagnétique qui dépend de sa température et dont le spectre est continu.
- En **1893**, **Wilhelm Wien**, montre expérimentalement que le spectre continu du rayonnement électromagnétique émis par un corps de température **T**, a une intensité maximale pour une longueur d'onde **λ_{max}** qui est donnée par la relation :



Wilhelm Wien 1864-1928

$$\lambda_{\max} = \frac{2,90 \times 10^{-3}}{T} \quad (8.2)$$

- Énoncé de la loi de W. Wien** « La température θ (en degré Celsius) de la surface d'un corps est fonction de la longueur d'onde $\lambda_{\max}$ (en nm) de la radiation émise avec l'intensité maximale :

$$\theta = \frac{2,89 \times 10^6}{\lambda_{\max}} - 273 \quad (8.3)$$

Remarque

- La notation **λ_{max}** ne représente pas une valeur maximale de λ , mais la valeur de λ qui correspond au maximum de l'intensité du rayonnement électromagnétique. C'est la longueur d'onde pour laquelle l'intensité lumineuse diffusée est la plus importante.
- La relation (8.3) est celle aussi utilisée pour évaluer la température de surface des étoiles en étudiant leur profil spectral.
- Une année-lumière représente la distance parcourue par la lumière en un an.

Exemple

Calculer la longueur d'onde correspondant à l'intensité maximale de la lumière émise par le filament d'une lampe à incandescence dont la température est 2500 °C.

Solution

Données : $\theta = 2500$ °C. D'après la loi de W. Wien, on a :

$$\theta = \frac{2,89 \times 10^6}{\lambda_{\max}} - 273 \Rightarrow \lambda_{\max} = \frac{2,89 \times 10^6}{\theta + 273} \quad \text{AN : } \lambda_{\max} = 1042,2 \text{ nm} = 1,04 \mu\text{m}.$$

Cette valeur situe l'intensité maximale de cette lumière dans le domaine des infra-rouges.

2. Interaction lumière-matière

- En appliquant les lois de l'électromagnétisme aux ondes lumineuses, on peut prévoir certaines propriétés des rayonnements lumineux dans le cas du modèle théorique de corps condensé et

chaud imaginé par le physicien **Planck**. Or une partie de ces prévisions est en désaccord complet avec l'expérience.

- Le **modèle ondulatoire** de la lumière est indispensable pour étudier la propagation de la lumière mais est insuffisant pour décrire les échanges d'énergie entre la matière et la lumière.

2.1. Émission et absorption

(a) Spectre d'émission



La décomposition de la lumière blanche à travers un prisme (figure 8.2 et 8.3) montre qu'elle est constituée d'une succession sans discontinuité, de toutes les 7-couleurs de l'arc-en-ciel. C'est un **spectre continu**.

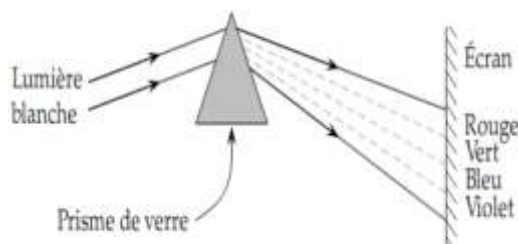


Figure 8.2 : Dispersion de la lumière blanche par un prisme

Observation :



Figure 8.3 : Spectre continu de la lumière blanche

- Lorsqu'on apporte de l'énergie extérieure à la matière, celle-ci peut l'absorber puis la restituer sous forme d'énergie électromagnétique (lumière) par exemple.
- L'analyse de la lumière émise par une lampe à vapeur de mercure montre que le spectre est constitué de **quelques raies fines**, colorées, $\pm$ intense et irrégulièrement espacées sur un fond noir (fig. 8.4) : c'est un **spectre discontinu** appelé **spectre de raie d'émission**.

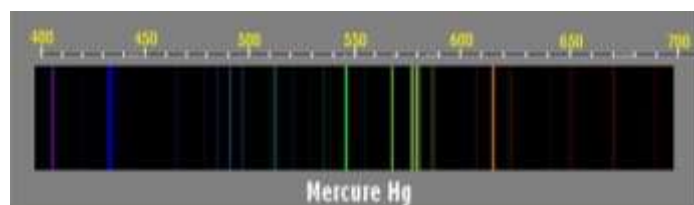


Figure 8.4 : Spectre d'émission d'une lampe à vapeur de mercure.

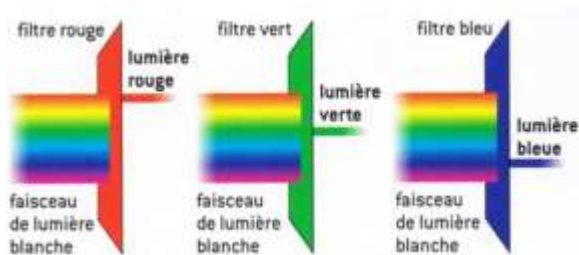


Figure 8.5 : Spectre d'émission d'une lampe à vapeur de Na

- Dans un spectre d'émission, à chaque raie correspond une radiation monochromatique caractérisée par sa longueur d'onde dans le vide.
- La lumière émise par les atomes d'un élément donné est constituée des **radiations monochromatiques** de longueur d'onde bien déterminée. Par exemple, la raie jaune de la lampe à vapeur de sodium a pour longueur d'onde $\lambda \approx 590 \text{ nm}$ (fig.8.5).

Remarque

- Une raie est encore une bande d'énergie.
- On appelle **lumière blanche**, toute lumière dont la décomposition par un système dispersif (prisme, réseau) donne un spectre continu (qui contient toutes les couleurs de l'arc-en-ciel).
- Un **filtre** est un système transparent, qui permet d'obtenir une lumière colorée à partir d'une lumière blanche : il laisse passer la lumière colorée correspondant à sa couleur (en lumière blanche) et absorbe toutes les autres (fig. 8.6).



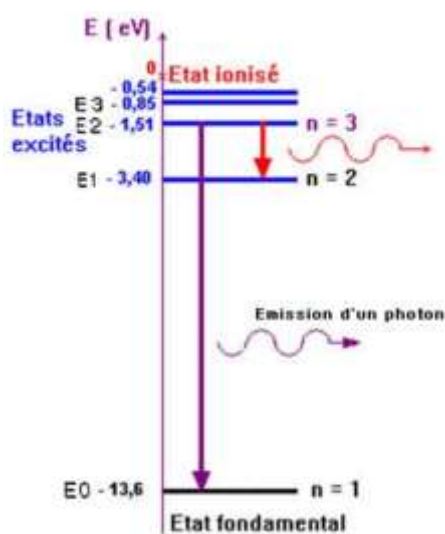
Couleur de la source	Couleur du filtre	Couleur de l'écran
Blanche	Rouge	Rouge
Blanche	Verte	Verte
Blanche	Bleue	Bleue

Figure 8.6 : Couleur observée à travers un filtre

Exemple

Quand un atome se trouve dans un état excité, il va essayer de se rapprocher de son état fondamental, et ce faisant, va émettre un **photon** qui emporte l'énergie correspondant à la transition entre les deux niveaux d'énergie.

Considérons par exemple le cas d'émission ci-dessous :



Le photon émis va donner lieu à une raie sur le spectre d'émission de l'atome.

Au cours d'une transition entre un niveau d'énergie E_m et un autre niveau d'énergie inférieur E_n , l'énergie de l'atome diminue de :

$$|\Delta E| = |E_m - E_n| \quad (8.4)$$

Le photon émis, emporte cette énergie qui vaut :

$$|\Delta E| = |E_m - E_n| = h \times \nu = h \times \frac{c}{\lambda} \quad (8.5)$$

(b) Spectre d'absorption

- Les spectres d'absorption sont constitués de fines raies noires dans un spectre continu. Pour les atomes d'un élément donné, les raies d'absorption correspondent à certaines raies d'émission.
- Par exemple, si on envoie la lumière blanche sur une vapeur de sodium, après la traversée d'un prisme, on constate que le spectre de la lumière blanche n'est plus continu mais qu'elle présente une raie noire (raie manquante) : **la vapeur de sodium a absorbé la raie jaune**.
- On peut alors conclure en disant que toute radiation pouvant être absorbée par un élément peut aussi être émise après excitation.

Remarque

- Lorsqu'un atome possède de l'énergie basse, on dit qu'il est dans son **état fondamental**. Les autres états sont dits **états excités**.
- La lumière est une onde électromagnétique qui transporte de l'énergie.
- Pour émettre de la lumière en permanence, la matière doit recevoir de l'énergie extérieure.
- La loi de Wien ne suffit pas à prévoir la couleur d'un corps chauffé car elle dépend de l'ensemble des intensités des radiations émises.

2.2. Quantification des niveaux d'énergie de la matière

Pour interpréter les propriétés des échanges d'énergie entre matière et lumière, les physiciens ont été amenés à admettre que les énergies échangées ne peuvent pas prendre des valeurs

quelconques. Ainsi les transferts d'énergie entre la matière et la lumière sont **quantifiés**. Ils ne peuvent se faire que par « **paquets** » d'énergie contenant chacun une énergie bien déterminée, que l'on appelle **un quantum** (au pluriel des **quanta**).

Comme l'a postulé **Niels Bohr en 1913**, l'énergie de l'atome ne peut prendre que certaines valeurs.

Considérons le plus simple des atomes, l'atome d'hydrogène (1 seul électron).

Dans son état fondamental, l'électron se trouve sur l'orbite la plus proche du noyau, celle de plus faible énergie. Pour changer d'orbite, on doit fournir à l'électron une énergie égale à la différence d'énergie entre les couches.

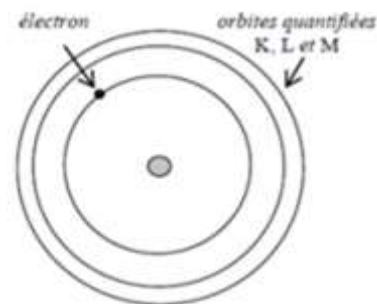


Figure 8.7 : L'atome d'H dans le modèle de Bohr

Énoncé des Postulats de N. Bohr :

P1 : Les électrons gravitent autour du noyau sur certaines orbites privilégiées formant une suite discontinue : à chaque orbite correspond un état appelé **état d'énergie** : **l'énergie est quantifiée**.

P2 : L'électron sur son orbite, ne rayonne pas et son mouvement ne s'amortit pas.

P3 : L'atome émet ou absorbe l'énergie lorsqu'un électron passe d'une orbite privilégiée à une autre : c'est la **transition**. Ce passage se fait naturellement par **saut brusque**.

Nota Bene

Les longueurs d'ondes des raies du spectre d'émission et des raies du spectre d'absorption sont les mêmes car elles correspondent aux différents niveaux d'énergie à l'intérieur de l'atome. C'est pourquoi on dit que ces spectres de raies sont caractéristiques d'un atome donné.

3. Modèle corpusculaire de la lumière : le photon

- Un quantum d'énergie lumineuse est appelé **photon**.
- Un **photon** est un gain d'énergie transporté par une radiation.

3.1. Énergie du photon

- En **1905**, **Albert Einstein** a expliqué que la lumière est composée de corpuscules qu'il a appelé **photons**.
- Les photons transportent de l'énergie E . Cette énergie est donnée par la formule de Planck suivante :

$$\Delta E = h \cdot \nu \quad (8.6)$$

Unités : $h = 6,62 \cdot 10^{-32} \text{ Js}$ = constante de Planck ; ν (en Hz) = fréquence de la radiation ; E (en J)

- L'énergie transportée par un photon est si faible (en J), qu'on utilise une autre unité : l'**électronvolt (eV)**. **$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$**
- Soient C ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), la vitesse de la lumière dans le vide ; λ (m), la longueur d'onde de la radiation et T (s) la période ou durée de la radiation. La relation liant ses grandeurs est :

$$\lambda = C \times T \quad (8.7)$$

$$\text{Or } T = \frac{1}{\nu} \Rightarrow (8.7) \text{ devient : } \lambda = \frac{C}{\nu} \quad (8.8)$$

De même, la relation (8.6) devient alors :

$$\Delta E = h \nu = h \times \frac{C}{\lambda} \quad (8.9)$$

3.2. Relation $E = h\nu$ dans les échanges d'énergie

- Lorsque l'atome cède l'énergie $\Delta E = E_i - E_f$ lors d'une transition d'un niveau supérieur à un niveau inférieur, cette transition s'accompagne de l'émission d'un rayonnement : un photon dont la fréquence ν dépend de la différence d'énergie de la transition. On a :

$$\Delta E = E_f - E_i = -h\nu < 0 \quad (8.10)$$

- L'atome reçoit l'énergie $E_f - E_i$ lors d'une transition d'un niveau inférieur vers un niveau supérieur, cette transition peut être provoquée par l'absorption d'un photon dont la fréquence dépend de la différence d'énergie de la transition. On a :

$$\Delta E = E_f - E_i = +h\nu > 0 \quad (8.11)$$

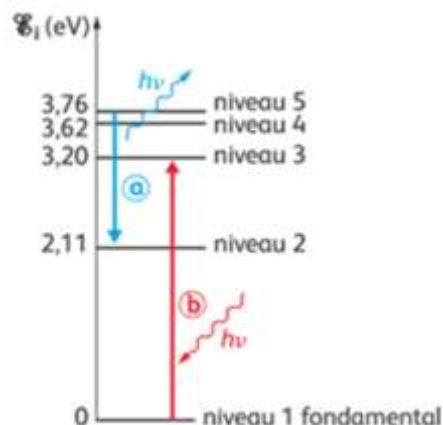


Figure 8.8 : Diagramme des 1^{ers} niveaux d'énergie de l'atome de Na



3.3. Profil spectral d'une source lumineuse

On peut caractériser la couleur d'une source lumineuse par la courbe donnant l'intensité lumineuse pour chaque lumière monochromatique présente dans la lumière qu'elle émet, appelée **profil spectral** de la source ou **courbe de répartition spectrale** (ou en longueur d'onde). Il s'agit d'une représentation visuelle des caractéristiques chromatiques d'une source de lumière. (fig.8.8).

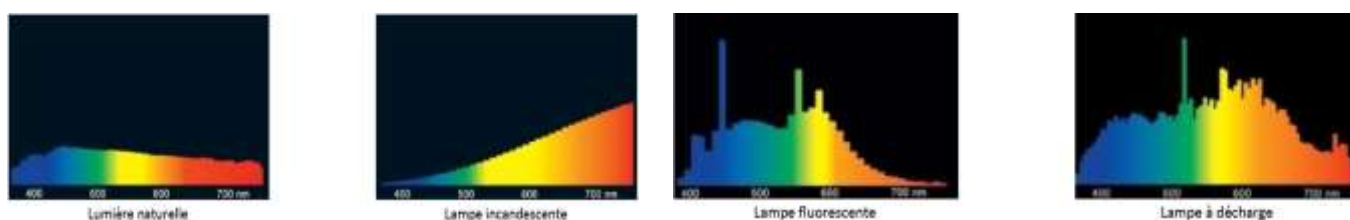


Figure 8.8 : Exemples de profils spectraux.

4. Jeu bilingue

Expression française	English expression
Lumière	Light
Spectre	Spectrum
Raie	Ray
Profil spectral	Spectrum profile
Matière	Matter; material.
Longueur d'onde	Wavelength

Sentence

The speed of light in a vacuum is the upper limit for the speed of any material body. No object can travel faster than C . The speed of light in a material medium is always less than C . The formula $V = \lambda \times f$ applies to light waves. Therefore, $C = f \times \lambda$, where f is the frequency of light wave and λ is its wavelength in a vacuum.

- Célérité** : Vitesse de la lumière dans le vide; elle fut découverte par les physiciens Michael Faraday et James Clark Maxwell (lors des travaux de M. Faraday sur l'électromagnétisme)
- Spectre** : Newton a utilisé pour la première fois, le terme « spectre » (du latin « apparence » ou apparition) dans un texte imprimé en 1671 en décrivant ses expériences en optique.