



# Activités de la séquence n°11

## Ondes électromagnétiques



### Fiches de synthèse mobilisées :

Fiche n°11.a : lumière et ondes électromagnétiques

Fiche n°11.b : spectres de rayonnements lumineux

Fiche n°11.c : modèle corpusculaire de la lumière



### Sommaire des activités

ACTIVITÉ 1 :	classer les ondes électromagnétiques .....	1
ACTIVITÉ 2 :	spectres d'émission de différentes sources de lumière – version 1 .....	2
ACTIVITÉ 3 :	spectres d'émission de différentes sources de lumière – version 2 .....	3
ACTIVITÉ 4 :	spectre d'absorption d'une solution .....	5
ACTIVITÉ 5 :	mise en évidence expérimentale des quanta de lumière .....	6
ACTIVITÉ 6 :	classer les ondes électromagnétiques en fonction de l'énergie des photons .....	7
ACTIVITÉ 7 :	spectre de la lumière émise par une lampe à hydrogène .....	7

## ACTIVITÉ 1 : classer les ondes électromagnétiques

Les ondes lumineuses font partie des ondes électromagnétiques au même titre que de nombreuses ondes de notre quotidien : celles de notre micro-ondes, celles de notre téléphone portable, les ultra-violet (UV), etc.

### Partie 1 : Classer les ondes électromagnétiques selon leur longueur d'onde

- Convertir les valeurs du tableau du document 1 et les situer sur une échelle des longueurs (elle sera complétée, prévoir de la place).
- En vous aidant de l'animation [le spectre des ondes électromagnétiques](#), associer chaque exemple d'ondes électromagnétiques au domaine de longueurs d'onde correspondant et à un exemple d'application.
- Compléter avec ces informations l'échelle des longueurs de la question 1 afin d'obtenir le spectre des ondes électromagnétiques selon leur longueur d'onde dans le vide.

#### DOCUMENT 1 : Les ondes électromagnétiques

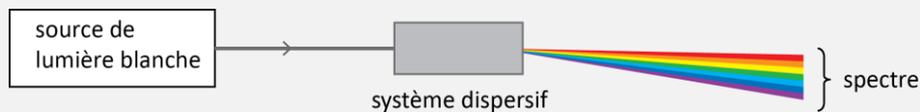
Ondes électromagnétiques	Domaines de longueurs d'onde dans le vide	Exemples d'application
Rayonnements X	Entre 10 et 400 nm	Thermographie
Infra-rouges	Entre 10 pm et 10 nm	Radiographie
Lumière	De 1 mm à 1 m	Télévision hertzienne
Ondes radio	Entre 400 et 800 nm	Médecine nucléaire
Rayonnements Gamma	Entre 800 nm et 1 mm	Téléphonie mobile
Micro-ondes	Inférieure à 10 pm	Révélation d'une CCM
Ultra-violet	Supérieure à 1 m	Fibroscopie

**Partie 2 : classer les ondes électromagnétiques selon leur fréquence**

4. Indiquer la relation qui lie la longueur d'onde, la fréquence et la célérité d'une onde.
5. Rappeler la valeur de la célérité de la lumière dans le vide.
6. À l'aide du tableau fourni par l'enseignant, entrer la formule permettant de calculer les valeurs des fréquences correspondant aux valeurs de longueurs d'onde du spectre.
7. Indiquer l'orientation de l'axe des fréquences afin de faire correspondre les valeurs précédemment obtenues au spectre.

**ACTIVITÉ 2 : spectres d'émission de différentes sources de lumière – version 1****1<sup>ère</sup> partie : réalisation du spectre de la lumière blanche****DOCUMENT 1 : système dispersif**

En classe de seconde, un système dispersif (un prisme ou un réseau) a été utilisé pour obtenir le spectre de la lumière blanche. À la sortie du système dispersif, la lumière est déviée différemment selon la longueur d'onde, cela permet d'obtenir un spectre.

**Expérience :**

- Sur le banc d'optique, éclairer une fente de largeur réglable avec la lanterne.
- À l'aide d'une lentille de distance focale  $f' = 10$  cm, faire sur un écran une image de cette fente agrandie environ 2 fois.
- À la sortie de la lentille, placer un réseau.
- Modifier les distances afin d'obtenir un seul spectre occupant la majeure partie de l'écran.

**Exploitation de l'expérience :**

1. Reproduire le plus fidèlement possible la figure obtenue sur l'écran.
2. Donner la définition de ce que les physiciens nomment « la lumière blanche ».

**2<sup>ème</sup> partie : réalisation du spectre de différentes sources de lumière****DOCUMENT 2 : spectre continu et spectre discontinu**

Une manière d'émettre de la lumière est d'exciter un milieu matériel en le chauffant ou en le soumettant à des décharges électriques. La nature de la lumière émise dépend de l'état physique de ce milieu.

- ▶ Un milieu gazeux émet une lumière dont le spectre est discontinu : on l'appelle un spectre de raies.
- ▶ Un milieu solide ou liquide émet une lumière dont le spectre est continu.

3. Utiliser le dispositif réalisé précédemment afin d'obtenir le spectre des différentes sources de lumière citées ci-dessous. Représenter la plus fidèlement possible chacun de ces spectres :
  - une ampoule à incandescence ;
  - une ampoule halogène ;
  - une ampoule à LED ;
  - une lampe spectrale ;
  - une source laser Hélium-Néon.
4. Classer les spectres obtenus dans les deux catégories citées dans le document 2 et en déduire la nature des milieux excités.
5. Le laser est une source de lumière particulière : pourquoi ? Justifier la réponse à l'aide de son spectre.



### 3<sup>ème</sup> partie : réalisation de courbes d'intensité spectrale

Le but de cette partie est de réaliser les courbes d'intensités spectrales de 6 sources de lumière à l'aide d'un spectromètre. Ce dernier permet de réaliser le spectre de la lumière qui l'atteint et de tracer sa courbe d'intensité spectrale. On appelle ainsi la courbe qui représente l'intensité de la lumière reçue en fonction de la longueur d'onde considérée.

L'enseignant(e) réalise les 7 enregistrements et vous distribue les courbes obtenues, les sources de lumière sont :

- une LED ;
- une ampoule halogène ;
- une ampoule à incandescence ;
- un tube fluorescent ;
- une lampe à vapeur de mercure ;
- une source laser ;
- l'écran blanc d'un téléphone.

6. Comparer les spectres obtenus : quels sont leurs points communs ? Quelles sont leurs différences ?
7. La lumière émise par toutes les sources correspondent-elle à ce que les physiciens appellent « la lumière blanche » ? justifier à l'aide des courbes d'intensité spectrale obtenue.
8. Justifier à l'aide des valeurs des longueurs d'onde des pics que la lumière soit perçue blanche.
9. Montrer en quoi le spectre de la lampe de mercure permet de prouver la présence de mercure dans les tubes fluorescents.

### 4<sup>ème</sup> partie : mise en évidence des propriétés d'une source laser

Le laser est une source de lumière directive et monochromatique.

10. Justifier le caractère monochromatique du laser à l'aide de son spectre.
11. Proposer une petite expérience permettant de mettre évidence la directivité d'une source laser ?

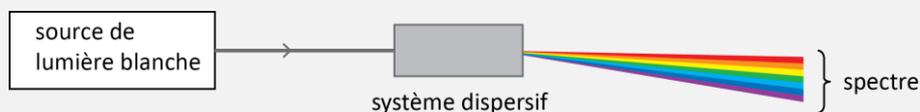
## ACTIVITÉ 3 : spectres d'émission de différentes sources de lumière – version 2

Cette activité reprend le contenu de la précédente mais utilise un spectroscope à main et non le montage lentille + réseau.

### 1<sup>ère</sup> partie : réalisation du spectre de la lumière blanche

#### DOCUMENT 1 : système dispersif

En classe de seconde, un système dispersif (un prisme ou un réseau) a été utilisé pour obtenir le spectre de la lumière blanche. À la sortie du système dispersif, la lumière est déviée différemment selon la longueur d'onde, cela permet d'obtenir un spectre.



#### Expérience :

À l'aide d'un spectroscope à main, observer la source de lumière blanche.

1. Reproduire le plus fidèlement possible la figure observée.
2. Donner la définition de ce que les physiciens nomment « la lumière blanche ».

**2<sup>ème</sup> partie : réalisation du spectre de différentes sources de lumière****DOCUMENT 2 : spectre continu et spectre discontinu**

Une manière d'émettre de la lumière est d'exciter un milieu matériel en le chauffant ou en le soumettant à des décharges électriques. La nature de la lumière émise dépend de l'état physique de ce milieu.

- ▶ Un milieu gazeux émet une lumière dont le spectre est discontinu : on l'appelle un spectre de raies.
- ▶ Un milieu solide ou liquide émet une lumière dont le spectre est continu.

3. À l'aide du spectroscopie à main, observer les spectres des différentes sources de lumière citées ci-dessous. Représenter la plus fidèlement possible chacun de ces spectres :
  - une ampoule à incandescence ;
  - une ampoule halogène ;
  - une ampoule à LED ;
  - une lampe spectrale.
4. Classer les spectres obtenus dans les deux catégories citées dans le document 2 et en déduire la nature des milieux excités.

**3<sup>ème</sup> partie : réalisation de courbes d'intensité spectrale**

Le but de cette partie est de réaliser les courbes d'intensités spectrales de 7 sources de lumière à l'aide d'un spectromètre. Ce dernier permet de réaliser le spectre de la lumière qui l'atteint et de tracer sa courbe d'intensité spectrale. On appelle ainsi la courbe qui représente l'intensité de la lumière reçue en fonction de la longueur d'onde considérée.

L'enseignant(e) réalise les 7 enregistrements et vous distribue les courbes obtenues, les sources de lumière sont :

- une LED ;
  - une ampoule halogène ;
  - une ampoule à incandescence ;
  - un tube fluorescent ;
  - une lampe à vapeur de mercure ;
  - l'écran blanc d'un téléphone ;
  - un laser Hélium-Néon.
5. Comparer les spectres obtenus : quels sont leurs points communs ? Quelles sont leurs différences ?
  6. La lumière émise par toutes les sources correspondent-elle à ce que les physiciens appellent « la lumière blanche » ? justifier à l'aide des courbes d'intensité spectrale obtenue.
  7. Pour les autres spectres discontinues, justifier à l'aide des valeurs des longueurs d'onde des pics que la lumière soit perçue blanche.
  8. Montrer en quoi le spectre de la lampe de mercure permet de prouver la présence de mercure dans les tubes fluorescents.

**4<sup>ème</sup> partie : mise en évidence des propriétés d'une source laser**

Le laser est une source de lumière directive et monochromatique.

9. Justifier le caractère monochromatique du laser à l'aide de son spectre.
10. Proposer une petite expérience permettant de mettre évidence la directivité d'une source laser ?



## ACTIVITÉ 4 : spectre d'absorption d'une solution

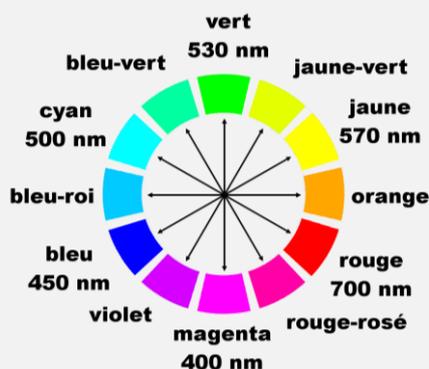
Lorsque la lumière blanche traverse certaines solutions, celle-ci sont colorées. Une partie de la lumière blanche est absorbée par la solution, l'autre est transmise. La partie du spectre absorbée dépend des espèces chimiques présentes en solution.

### DOCUMENT 1 : cercle chromatique

Une solution, éclairée en lumière blanche, paraît colorée si elle diffuse une partie des radiations du spectre visible et absorbe le reste.

La couleur apparente d'une solution et la couleur absorbée par la solution sont dites complémentaires : si l'une est absorbée, l'autre est diffusée.

Deux couleurs sont dites complémentaires lorsqu'elles sont opposées sur le cercle chromatique.



### DOCUMENT 2 : couleurs de solutions éclairées en lumière blanche

Une solution aqueuse de permanganate de potassium ( $K^+(aq) + MnO_4^-(aq)$ ) est violet-magenta alors qu'une solution de chlorure de potassium ( $K^+(aq) + Cl^-(aq)$ ) est incolore.

Une solution de sulfate de cuivre ( $Cu^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$ ) est de couleur cyan.

1. Rédiger le protocole d'une expérience permettant de réaliser le spectre d'absorption d'une solution aqueuse de permanganate de potassium à l'aide d'un spectroscopie à main.
2. Réaliser l'expérience et représenter sur votre feuille, en couleur, le spectre observé.
3. Quelles sont les couleurs absorbées ? Est-ce cohérent avec les informations données dans le document 1 ? Justifier clairement votre réponse avec le vocabulaire adapté.
4. En utilisant le document 2, donner le nom de l'espèce chimique responsable de la couleur d'une solution aqueuse de permanganate de potassium.
5. Déduire de la couleur d'une solution de sulfate de cuivre l'allure de son spectre d'absorption lorsque la solution est éclairée en lumière blanche. Le représenter sur votre feuille.

L'enseignant réalise la courbe d'intensité spectrale d'une solution de sulfate de cuivre à l'aide d'un spectrophotomètre relié à l'ordinateur.

6. Donner les valeurs de la plage de longueurs d'onde absorbées. Utiliser le cercle chromatique pour justifier la couleur de la solution.
7. La courbe d'intensité spectrale est-elle en adéquation avec l'allure du spectre d'absorption que vous avez dessiné à la question 5 ? Sinon, reproduire à nouveau le spectre d'absorption.

## ACTIVITÉ 5 : mise en évidence expérimentale des quanta de lumière

En 1905, Albert Einstein a énoncé :

« L'énergie d'un rayon lumineux se propageant depuis un point source n'est pas distribuée de façon continue dans un espace de plus en plus grand mais consiste en un nombre fini de quanta d'énergie qui sont localisés en certains points de l'espace, se déplacent sans se diviser, et qui peuvent seulement être produits ou absorbés par unités entières. »

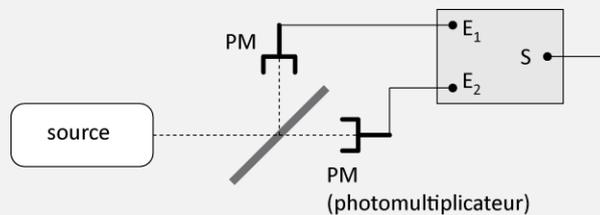
Einstein baptisera plus tard ses quanta **des photons**.

Cependant le modèle du photon a longtemps été considéré comme une hypothèse théorique provisoire et non comme un modèle censé décrire la nature de la lumière.

Des expériences ont alors été imaginées afin de valider ou infirmer le caractère corpusculaire de la lumière. Cette activité propose d'en étudier un exemple : l'expérience de Kimble, Dagenais et Mandel.

### DOCUMENT : l'expérience de Kimble, Dagenais et Mandel

#### Dispositif :



- La source utilisée est une source de lumière monochromatique de très faible puissance. La puissance émise correspond à l'émission supposée de photons *un par un*.
- Une lame semi-réfléchissante divise un faisceau de lumière en deux parties d'intensités égales : l'une est réfléchiée par une de ses parois, l'autre la traverse.
- Un photomultiplicateur est un capteur qui génère un signal électrique lorsqu'il reçoit un rayonnement, même extrêmement faible.
- Le détecteur de coïncidences est un circuit électrique qui possède deux entrées  $E_1$ ,  $E_2$  et une sortie  $S$ . Il génère à sa sortie ( $S$ ) un signal électrique proportionnel au produit des signaux reçus à ses deux entrées :  $u(S) = u(E_1) \times u(E_2)$ .

#### Résultat de l'expérience :

Le signal électrique à la sortie du détecteur de coïncidence EST NUL.

source : « *panorama de la physique* »,  
sous la direction de G. Pietryk, éditions Belin

1. À quelle condition sur les signaux appliqués à chacune de ses entrées le « détecteur de coïncidences » est-il non nul ? Pourquoi l'appelle-t-on ainsi ?
2. Le résultat de cette expérience valide-t-il le modèle du photon ou l'infirme-t-il ? Justifier la réponse à l'aide d'un court paragraphe. En particulier, étudier quel résultat aurait été attendu en envisageant deux hypothèses :
  - la lumière se propage de manière continue
  - la lumière se propage sous forme de quanta indivisibles.



## ACTIVITÉ 6 : classer les ondes électromagnétiques en fonction de l'énergie des photons

Le but de cette activité est de compléter le classement des ondes électromagnétiques réalisé dans l'activité 1 en fonction de l'énergie du photon.

### DOCUMENT : relation entre énergie du photon et fréquence de l'onde électromagnétique

La fréquence d'une onde électromagnétique peut être relié à l'énergie du photon par la relation de Planck-Einstein :

$$E_{\text{photon}} = hf$$

$E_{\text{photon}}$  en J, fréquence en Hertz et  $h = 6,63 \times 10^{-34}$  J · s, appelée constante de Planck.

#### Données :

- 1 eV =  $1,60 \times 10^{-19}$  J
- Célérité des ondes électromagnétiques dans le vide :  $c = 3,00 \times 10^3$  m · s<sup>-1</sup>

1. Indiquer comment l'énergie du photon évolue lorsque la fréquence de l'onde électromagnétique augmente.
2. Préciser le sens de l'axe des énergies qui complètera votre spectre.
3. Utiliser le tableur de l'activité 1 pour calculer les valeurs des énergies du photon selon les fréquences des ondes électromagnétiques.
4. Indiquer les ondes électromagnétiques les plus énergétiques.

## ACTIVITÉ 7 : spectre de la lumière émise par une lampe à hydrogène

L'atome d'hydrogène est le plus simple des atomes connus, il n'est constitué que d'un proton et d'un électron. Une des premières victoires de la physique quantique, au début du XX<sup>ème</sup> siècle, est d'avoir pu interpréter théoriquement l'allure de son spectre d'émission, jugé mystérieux jusqu'alors.

### 1<sup>ère</sup> partie : étude théorique de l'atome d'hydrogène

#### DOCUMENT : le modèle de Bohr

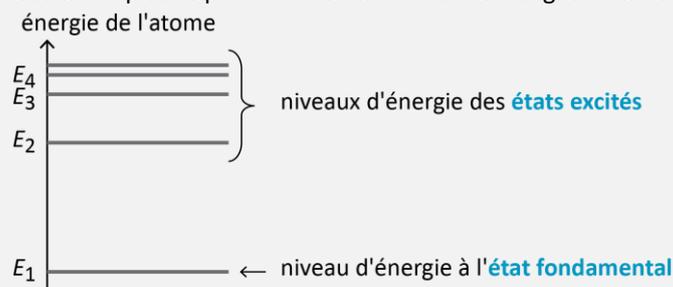
Selon le modèle de Bohr, les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène s'expriment par :

$$E_n = 13,6 \times \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$$

- $n$  : nombre entier tel que  $n \geq 1$
- $E_n$  : niveau d'énergie de rang  $n$  en eV.

Lorsque l'atome possède l'énergie la plus basse possible, il se trouve dans son état fondamental.

Lorsqu'il se trouve dans un état d'énergie de valeur supérieure à celle de son état fondamental, on dit qu'il est dans un état excité. On peut représenter ses états dans un diagramme comme celui-ci :



**Données :**

- Constante de Planck :  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
- $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$
- Célérité des ondes électromagnétiques dans le vide :  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

*NB : Les calculs proposés dans cette activité pourront être automatisés à l'aide du fichier tableur « PCM\_Seq11\_Activite7\_ELEVE » proposé sur le site des collections numériques.*

1. Calculer les valeurs des 6 premiers niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène. Représenter ces niveaux sur un diagramme inspiré de celui du document (on ne demande pas de respecter d'échelle).
2. Sur le diagramme précédent, représenter par des flèches toutes les transitions entre niveaux d'énergie permettant d'interpréter **une émission** de lumière.
3. Établir une relation littérale permettant d'obtenir la longueur d'onde  $\lambda$  d'une onde émise en fonction de la différence d'énergie  $\Delta E$  entre les deux niveaux concernés.
4. À l'aide de la relation précédente, calculer les longueurs d'onde des raies d'émission de l'atome d'hydrogène correspondant aux cases vides du tableau ci-dessous :

niveau initial \ niveau final	1	2	3	4	5	6
1					$\lambda = 94,8 \text{ nm}$	$\lambda = 94,2 \text{ nm}$
2						
3				$\lambda = 1776 \text{ nm}$	$\lambda = 1243 \text{ nm}$	$\lambda = 1130 \text{ nm}$
4					$\lambda = 4144 \text{ nm}$	$\lambda = 3108 \text{ nm}$
5						$\lambda = 12431 \text{ nm}$

5. Surligner toutes les longueurs d'onde correspondant à des raies appartenant au domaine visible.

**2<sup>ème</sup> partie : étude expérimentale de la lumière émise par une lampe à hydrogène**

**Expérience :** à l'aide du spectromètre, l'enseignant réalise et distribue le spectre de la lumière émise par une lampe à vapeur d'hydrogène.

6. Comparer le spectre obtenu avec la prévision théorique de la partie 1. Conclure sur la validité du modèle de Bohr de l'atome d'hydrogène.
7. Proposer une explication à la présence dans le spectre obtenu expérimentalement, de la raie orange de longueur d'onde 616 nm.