

# Modèles ondulatoire et particulaire de la lumière

## LE PROGRAMME

### 2. La lumière : images et couleurs, modèles ondulatoire et particulaire

Dans la continuité du programme de seconde, cette partie vise à expliciter les relations algébriques relatives à la formation d'une image par une lentille mince convergente et à permettre d'utiliser cette description quantitative dans le cadre de technologies actuelles, recourant par exemple à des lentilles à focale variable. En complément de ce modèle géométrique, deux modèles de la lumière – ondulatoire et particulaire – sont ensuite abordés ; ils seront approfondis dans le cadre de l'enseignement de

spécialité physique-chimie de la classe terminale. Les domaines d'application de cette partie sont très variés : vision humaine, photographie, vidéo, astrophysique, imagerie scientifique, art, spectacle, etc. La mise en œuvre de cette partie du programme est source de nombreuses expériences démonstratives et d'activités expérimentales quantitatives.

#### Notions abordées en seconde

Lentille mince convergente, image réelle d'un objet réel, distance focale, grandissement, dispersion, spectres, longueur d'onde dans le vide ou dans l'air.

Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
<p>Domaines des ondes électromagnétiques. Relation entre longueur d'onde, célérité de la lumière et fréquence.</p> <p>Le photon. Énergie d'un photon. Description qualitative de l'interaction lumière-matière : absorption et émission. Quantification des niveaux d'énergie des atomes.</p>	<p>Utiliser une échelle de fréquences ou de longueurs d'onde pour identifier un domaine spectral. Citer l'ordre de grandeur des fréquences ou des longueurs d'onde des ondes électromagnétiques utilisées dans divers domaines d'application (imagerie médicale, optique visible, signaux wifi, micro-ondes, etc.).</p> <p>Utiliser l'expression donnant l'énergie d'un photon. Exploiter un diagramme de niveaux d'énergie en utilisant les relations <math>\lambda = \frac{c}{\nu}</math> et <math>\Delta E = h\nu</math>.</p> <p><i>Obtenir le spectre d'une source spectrale et l'interpréter à partir du diagramme de niveaux d'énergie des entités qui la constituent.</i></p>

## POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

■ p. 338

### SITUATION 1

Il s'agit ici de vérifier que les élèves ont bien acquis le vocabulaire lié aux spectres et en particulier la notion de raies.

#### › Exemple de réponse attendue

On observe deux raies colorées sur un fond noir. Il s'agit d'un spectre d'émission de raies.

#### › En classe de 1<sup>re</sup> spécialité

Dans une approche spiralaire de l'enseignement de la physique-chimie, le modèle particulaire de la lumière est introduit dans ce chapitre. Dans

l'**activité 2**, construite sous une forme de « tâche complexe », les élèves découvrent la notion de dualité onde-particule. L'aspect particulaire de la lumière va permettre d'interpréter les spectres d'émission de raies. L'**activité 3**, une activité expérimentale, permet de revoir comment obtenir expérimentalement et analyser des spectres d'émission.

### SITUATION 2

Il s'agit ici de vérifier que les élèves ont bien acquis le vocabulaire lié aux spectres en particulier la notion de spectre continu.

#### › Exemple de réponse attendue

L'arc en ciel est un spectre continu.

## ► En classe de 1<sup>re</sup> spécialité

Dans une approche spiralaire de l'enseignement de la physique-chimie, le spectre de la lumière blanche délimité par ses longueurs d'onde dans le vide est étendu aux autres domaines d'ondes électromagnétiques. Ces domaines ont été introduits au cycle 4, classés en fréquences. Dans l'**activité 4**, construite sous une forme de « tâche complexe », les élèves vont interpréter l'origine des raies d'absorption du spectre d'émission de la lumière des étoiles à partir du modèle particulière de la lumière et de la quantification de l'énergie.

### SITUATION 3

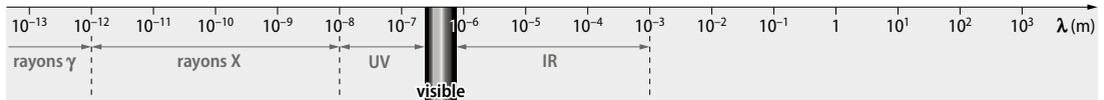
Il s'agit ici de vérifier que les élèves connaissent bien la grandeur « longueur d'onde », sa notation et son unité.

## ► Exemple de réponse attendue

La longueur d'onde du laser est  $\lambda = 650 \text{ nm}$ .

## ► En classe de 1<sup>re</sup> spécialité

Là aussi dans une logique spiralaire, les élèves vont utiliser la longueur d'onde, introduite en classe de seconde pour caractériser une radiation lumineuse, pour distinguer les différents domaines d'ondes électromagnétiques. Dans l'**activité 1**, construite sous une forme de « classe inversée », les élèves classent les différents domaines d'ondes électromagnétiques en fonction de leurs longueurs d'onde dans le vide et leurs fréquences et situent le domaine du visible.



### 2. a.

• Pour les IR  $1 \text{ mm} < \lambda < 800 \text{ nm}$  ce qui correspond aux fréquences limites :

$$v = \frac{3,00 \times 10^8}{800 \times 10^{-9}} = 3,75 \times 10^{14} \text{ Hz avec un ordre de grandeur de } 10^{14} \text{ Hz et } v = \frac{3,00 \times 10^8}{1 \times 10^{-3}} = 3 \times 10^{11} \text{ Hz}$$

avec un ordre de grandeur de  $10^{11} \text{ Hz}$ .

• Pour les rayons gamma  $\lambda < 1 \text{ pm}$  ce qui correspond à la fréquence :

$$v = \frac{3,00 \times 10^8}{1 \times 10^{-12}} = 3 \times 10^{20} \text{ Hz avec un ordre de grandeur de } 10^{20} \text{ Hz.}$$

• Pour les UV  $10 \text{ nm} < \lambda < 400 \text{ nm}$  ce qui correspond aux fréquences limites :

$$v = \frac{3,00 \times 10^8}{400 \times 10^{-9}} = 7,50 \times 10^{14} \text{ Hz avec un ordre de grandeur de } 10^{15} \text{ Hz et } v = \frac{3,00 \times 10^8}{10 \times 10^{-9}} = 3,0 \times 10^{16} \text{ Hz avec un ordre de grandeur de } 10^{16} \text{ Hz.}$$

## ACTIVITÉS

p. 340 ■ **ACTIVITÉ 1**

## Les rayonnements invisibles ... Classe inversée

### Commentaires pédagogiques

Cette activité permet aux élèves de revoir les différents domaines d'ondes électromagnétiques introduits au cycle 4 dans une approche historique qui permet d'aborder l'histoire des sciences. Ils classent les domaines en longueur d'onde puis en fréquence

en utilisant la relation  $v = \frac{c}{\lambda}$ . Ils comprennent ainsi

que les classements en longueur d'onde et en fréquence sont inversés et s'approprient les ordres de grandeurs des fréquences et longueurs d'onde des différents domaines.

### ■ Animations et vidéos

(→ disponibles par l'application Bordas Flashpage, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

► **La découverte des infrarouges** 2 : 49 ■ p. 340

Cette animation raconte l'histoire de la découverte des infrarouges par William Herschel.

► **La découverte des rayons X** 1 : 39 ■ p. 340

Cette vidéo relate la découverte des rayons X et l'histoire de la première radiographie.

### ► Exploitation et analyse

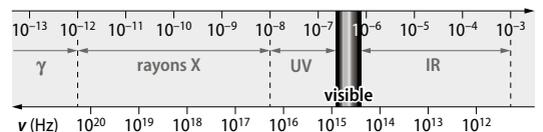
1. Voir schéma ci-dessous.

• Pour les rayons X  $1 \text{ pm} < \lambda < 10 \text{ nm}$  ce qui correspond aux fréquences limites :

$$v = \frac{3,00 \times 10^8}{1 \times 10^{-12}} = 3 \times 10^{20} \text{ Hz avec un ordre de grandeur de } 10^{20} \text{ Hz et } v = \frac{3,00 \times 10^8}{10 \times 10^{-9}} = 3,0 \times 10^{16} \text{ Hz avec un ordre de grandeur de } 10^{16} \text{ Hz.}$$

un ordre de grandeur de  $10^{16} \text{ Hz}$ .

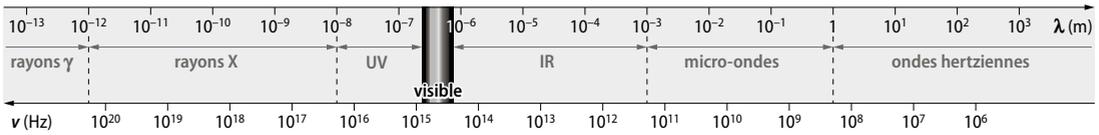
b. Voir schéma ci-dessous.



c. La fréquence varie à l'inverse de la longueur d'onde dans le vide.

d. Les appellations infrarouges (en dessous du rouge) et ultraviolets (au-dessus du violet) font référence au classement en fréquence car c'est avec ce classement que les infrarouges sont en dessous du rouge et les ultraviolets au-dessus du violet.

### 3. Voir schéma ci-dessous.



## > Synthèse

On classe les ondes électromagnétiques en fonction de leur longueur d'onde dans le vide ou leur fréquence.

p. 341 ■ **ACTIVITÉ 2**

## Dualité de la lumière

### Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Cette activité permet aux élèves d'appréhender la notion de dualité onde-particule de la lumière à travers l'étude de manifestations ondulatoires et particulaires de la lumière. Ils découvrent la notion de photon et l'énergie du photon dans le document sur l'effet photoélectrique. Les élèves sont amenés à comprendre que la lumière a ces deux aspects et que l'un s'exprime selon les expériences.

### ■ Animations et vidéos

(→ disponibles par l'application Bordas Flashpage, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

#### ► Spectre électromagnétique p. 341

Cette animation balaye les différents domaines d'ondes électromagnétiques classés en longueur d'onde et en fréquence.

La lumière est une onde électromagnétique du domaine du visible et un ensemble de particules appelées photons qui transportent chacun l'énergie  $E = h\nu$ . Selon l'expérience, un de ses aspects va s'exprimer. Par exemple, le phénomène de diffraction et la vitesse dans l'eau inférieure à celle dans l'air sont des manifestations de l'aspect ondulatoire. L'effet photoélectrique et les spectres d'émission de raies sont une manifestation de l'aspect particulaire de la lumière.

p. 342 ■ **ACTIVITÉ 3**

## Lampes fluorescentes..... TP

### Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Dans cette activité, les élèves revoient comment obtenir expérimentalement des spectres d'émission. Ils apprennent ensuite à les interpréter avec les diagrammes d'énergie des atomes et le modèle particulaire de la lumière. Ils revoient également que les longueurs d'onde des spectres d'émission des atomes permettent de les identifier.

Remarque de mise en œuvre : On peut étudier différents types de lampes fluorescentes et les lampes spectrales à disposition. L'animation disponible par Bordas Flashpage permet d'avoir les spectres d'émission des différents éléments chimiques et donc de pouvoir réaliser l'activité sans lampes spectrales.

### ■ Animations et vidéos

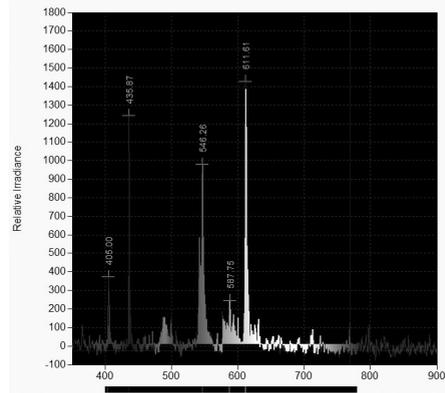
(→ disponibles par l'application Bordas Flashpage, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

#### ► Spectres d'émission et d'absorption p. 342

Cette animation présente les spectres d'émission et d'absorption des éléments.

## > Exploitation

Exemple de résultats obtenus avec spectrovio pour la lampe fluocompacte :



1. a. On obtient des spectres d'émission de raies.
- b. Pour le tube néon on mesure entre autres les longueurs d'onde suivantes : 404,55 nm ; 435,87 nm ; 546,26 nm ; 599,77 nm ; 576,94 nm.

Pour la lampe fluocompacte, on mesure les longueurs d'onde suivantes : 405,00 nm ; 435,07 nm ; 456,26 nm ; 611,61 nm.

Pour la lampe à vapeur de mercure, on mesure les longueurs d'onde suivantes : 405,00 nm ; 435,87 nm ; 546,26 nm ; 579,03 nm.

### > Analyse

2. Pour l'atome de mercure :

$$E_6 \rightarrow E_4 : \Delta E = |-3,72 - (-1,57)| = 2,15 \text{ eV ;}$$

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E} = 577 \text{ nm.}$$

$$E_5 \rightarrow E_3 : \Delta E = |-4,97 - (-2,69)| = 2,28 \text{ eV} ;$$

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E} = 545 \text{ nm}.$$

$$E_5 \rightarrow E_2 : \Delta E = |-5,54 - (-2,69)| = 2,85 \text{ eV} ;$$

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E} = 436 \text{ nm}.$$

3. Pour l'atome de néon :

$$E_4 \rightarrow E_3 : \Delta E = |-2,9 - (-0,9)| = 2,0 \text{ eV} ;$$

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E} = 622 \text{ nm}.$$

## › Synthèse

4. Il y a bien du mercure dans les lampes fluorescentes car les raies d'émission prévues par le diagramme d'énergie et mesurées sur le spectre de la lampe à vapeur de mercure se retrouvent également dans le spectre des lampes fluorescentes. Par contre, il n'y a pas de néon car on ne mesure pas les raies d'émission du néon sur le spectre des lampes fluorescentes.

p. 343 ■ **ACTIVITÉ 4**

## Lumière d'une étoile

### Commentaires pédagogiques

Dans cette activité, les élèves revoient l'origine des raies d'absorption du spectre de la lumière des étoiles et les interprètent à l'aide du modèle particulière de la lumière et la quantification de l'énergie des atomes, sur l'exemple de l'hydrogène.

Remarque de mise en œuvre : Cette activité peut éventuellement se faire sans l'animation en utilisant le diagramme d'énergie de l'hydrogène du doc. 4.

### ■ Animations et vidéos

(→ disponibles par l'application *Bordas Flashpage*, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

#### ► Niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène p. 343

Cette animation explique pourquoi uniquement certains photons sont absorbés par l'atome d'hydrogène.

#### Éléments de réponse :

La photosphère des étoiles émet un spectre continu. Si un photon de longueur d'onde  $\lambda$  possède une énergie  $E = \frac{hc}{\lambda}$  qui correspond à une dif-

férence d'énergie entre deux niveaux de l'atome d'hydrogène, le photon sera absorbé et on observera une raie noire à cet endroit du spectre. Pour l'hydrogène, il s'agit, entre autres, des raies de longueur d'onde 656,2 nm, 486,1 nm, 434,0 nm, 364,6 nm.

## EXERCICES

### Vérifier l'essentiel

p. 348

- |              |           |              |
|--------------|-----------|--------------|
| 1 A, B et C. | 2 A et C. | 3 A, B et C. |
| 4 A et C.    | 5 A et B. | 6 A et B.    |
| 7 A et B.    | 8 A.      |              |

### Acquérir les notions

p. 349

## › Modèle ondulatoire de la lumière

9 **Radiologie** : rayons X

**Télécommunication** : ondes hertziennes

**Caméra thermique** : infrarouges

**Bronzage** : ultraviolets

**Chirurgie laser** : infrarouges

10 1.  $\lambda$  est la longueur d'onde.

2. **A** Rayons X, **B** ultra-violets, **C** visible, **D** infrarouges, **E** micro-ondes.

3. **Rayons X** : radiographie ; **ultraviolets** : bronzage ; **visible** : éclairage ; **infrarouges** : caméra thermiques ; **micro-ondes** : four à micro-ondes.

11 1. a. L'échelle B est graduée en fréquence.

b. L'échelle A est graduée en longueur d'onde dans le vide.

2. On a la relation  $\lambda = \frac{c}{\nu}$  donc  $\nu = \frac{c}{\lambda}$ ,  $c$  est la célérité de la lumière dans le vide. C'est une constante donc la longueur d'onde et la fréquence varient à l'inverse l'une de l'autre.

12 On a les correspondances suivantes :

2,4 GHz – 125 mm – wi-fi ;  
 $3,22 \times 10^{13}$  Hz – 9,32  $\mu\text{m}$  – chirurgie laser ;  
 107,7 MHz – 2,786 m – radio ;  
 $2,83 \times 10^{13}$  Hz – 10,6  $\mu\text{m}$  – thermographie.

13 1. a. C'est la fréquence qui caractérise ces ondes : 2 450 MHz.

b. L'ordre de grandeur est 1 000 MHz donc 1 000 000 000 donc  $10^9$  Hz.

$$2. \lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3,00 \times 10^8}{2\,450 \times 10^6} = 0,122 \text{ m}.$$

3. Cette longueur d'onde appartient au domaine des micro-ondes, d'où l'appellation « micro-ondes ».

$$14 1. \lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3,00 \times 10^8}{3,2 \times 10^{14}} = 9,4 \times 10^{-7} \text{ m}.$$

2. a. Ces ondes appartiennent au domaine des infrarouges.

b. Ces ondes ne sont pas visibles car elles n'appartiennent pas au domaine du visible.

3. Le capteur de l'appareil photo du téléphone portable permet de voir le rayonnement infra-rouges qui n'est pas visible à l'œil nu.

**15** 1. L'ordre de grandeur des fréquences des ondes est 87 et 110 MHz  $\approx$  100 MHz =  $10^8$  Hz.

2. Ces ondes appartiennent au domaine des ondes hertziennes.

3. Pour  $v_1 = 87$  MHz,  $\lambda_1 = \frac{c}{v_1} = \frac{3,00 \times 10^8}{87 \times 10^6} = 3,4$  m et  $\ell_1 = \frac{\lambda_1}{4} = 0,85$  m.

Pour  $v_2 = 110$  MHz,  $\lambda_2 = \frac{c}{v_2} = \frac{3,00 \times 10^8}{110 \times 10^6} = 2,7$  m et  $\ell_2 = \frac{\lambda_2}{4} = 0,68$  m.

La taille des antennes est comprise entre 68 et 85 cm.

### ►Modèle particulaire de la lumière

**16** 1. Faux, la lumière est onde et particule.

2. Vrai.

3. Faux, un photon transporte l'énergie  $E = hv$ .

4. Vrai.

**17** 1.  $E = \frac{hc}{\lambda}$ .

2. C'est le photon 3 car il a la longueur d'onde la plus petite donc l'énergie la plus grande.

3. Photon 1 :  $E = 2,00 \times 10^{-21}$  J = 0,0124 eV.

Photon 2 :  $E = 3,63 \times 10^{-17}$  J = 226 eV.

Photon 3 :  $E = 2,00 \times 10^{-13}$  J =  $1,23 \times 10^6$  eV

**18** 1.  $E = \frac{hc}{\lambda}$ .

a.  $E = 9,95 \times 10^{-22}$  J

b.  $E = 3,43 \times 10^{-19}$  J

c.  $E = 2,00 \times 10^{-21}$  J

2.  $E = hv$

a.  $E = 2,59 \times 10^{-19}$  J

b.  $E = 3,32 \times 10^{-24}$  J

c.  $E = 9,95 \times 10^{-28}$  J

3. a. Plus la longueur d'onde augmente et plus l'énergie des photons diminue.

b. Plus la fréquence augmente et plus l'énergie des photons augmente.

**19** 1.  $E_b = \frac{hc}{\lambda_b} = 4,91 \times 10^{-19}$  J.

2.  $\lambda_r > \lambda_b$  et  $E$  est inversement proportionnelle à  $\lambda$  donc  $E_r < E_b$ .

3. a. Pour le laser bleu,  $N = \frac{50 \times 10^{-3}}{4,91 \times 10^{-19}} = 1,0 \times 10^{17}$  photons.

b. Pour le laser rouge,  $E_r = \frac{hc}{\lambda_r} = 3,1 \times 10^{-19}$  J.

$$N = \frac{50 \times 10^{-3}}{3,1 \times 10^{-19}} = 1,6 \times 10^{17} \text{ photons.}$$

### ►Interaction lumière-matière

**20** 1. Il s'agit d'un diagramme d'énergie.

2. L'énergie de l'atome de mercure est quantifiée car elle ne peut prendre que certaines valeurs : celles indiquées sur le diagramme.

3. a. L'énergie de l'atome de mercure dans son état fondamental est - 10,44 eV.

b. On peut citer le niveau d'énergie à 5,77 eV.

4. L'atome de mercure ne peut pas avoir une énergie de 6,5 eV car cette valeur n'est pas indiquée sur le diagramme d'énergie de l'atome de mercure.

5. L'atome de mercure ne peut pas absorber un photon d'énergie 10 eV car il n'y a pas de niveaux d'énergie séparés de 10 eV.

**21** 1. Les traits horizontaux représentent les valeurs de l'énergie possible de l'atome.

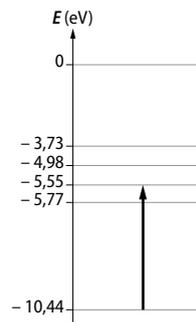
2. a. Le schéma a. représente l'absorption d'un photon car l'énergie de l'atome augmente.

b. Le schéma b. représente l'émission d'un photon car l'énergie de l'atome diminue.

3. a. Dans le cas b. l'atome perd de l'énergie.

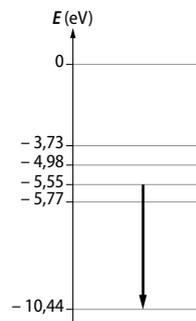
b. Dans le cas a. l'atome gagne de l'énergie.

**22** 1. a.



b. Le photon a absorbé une énergie de :  $|-5,55 - (-5,77)| = 0,22$  eV.

2. a.



b. Le photon a émis une énergie de :  
 $|-5,77 - (-5,55)| = 0,22$  eV.

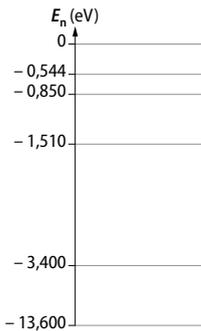
**23** 1. Il s'agit d'un spectre d'émission.

2.  $E = \frac{hc}{\lambda}$  donc pour  $\lambda = 589,0$  nm,  $E = 3,38 \times 10^{-19}$  J  
 $= \frac{3,38 \times 10^{-19}}{1,602 \times 10^{-19}} = 2,11$  eV.

pour  $\lambda = 589,6$  nm,  $E = 3,32 \times 10^{-19}$  J  $= \frac{3,32 \times 10^{-19}}{1,602 \times 10^{-19}}$   
 $= 2,11$  eV.

3. Les deux photons absorbés par l'atome de sodium auront une énergie de 2,11 eV.

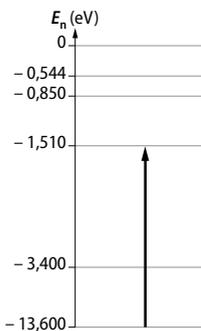
**24** 1. Voir schéma.



2. Dans l'état fondamental, l'énergie vaut 13,6 eV.

3. a.  $\Delta E = 13,6 - 1,51 = 12,1$  eV.

b. Voir schéma.



$c \cdot \lambda = \frac{hc}{\Delta E}$  avec  $\Delta E = 12,1 \times 1,602 \times 10^{-19}$  J :  $\lambda = 103$  nm.

### Exercices résolus - exercices similaires

p. 352 et 353

**26** 1. Pour  $\nu = 10 \times 10^{14}$  Hz,  $\lambda = \frac{c}{\nu} = 300$  nm.

Pour  $\nu = 10 \times 10^{15}$  Hz,  $\lambda = \frac{c}{\nu} = 30$  nm.

Non la crème ne protège pas car elle absorbe entre 30 nm et 300 nm.

2. On choisit  $\lambda = 100$  nm pour les UVC et  $\lambda = 300$  nm pour les UVB.

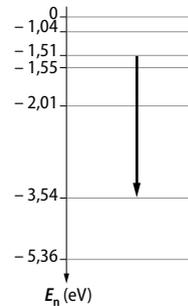
$E_{UVC} = 2,00 \times 10^{-18}$  J  $>$   $E_{UVB} = 6,63 \times 10^{-19}$  J. Les UVC sont plus énergétiques que les UVB.

**28** 1.  $\lambda = 612$  nm.

2.  $E = \frac{hc}{\lambda} = 3,25 \times 10^{-19}$  J.

3. a.  $E = 2,03$  eV = 3,54 - 1,51 correspondant à la transition du 4<sup>e</sup> état excité vers le 1<sup>er</sup> état excité.

b. 0 ; - 1,04 ; - 1,51 ; - 1,55 ; - 2,01 ; - 3,54 ; - 5,36



### Croiser les notions

p. 354

**29** 1. L'énergie de l'atome est quantifiée. La lumière est un ensemble de photons qui transportent des valeurs précises d'énergie.

2. a. Elle illustre l'absorption d'un photon.

b.  $\Delta E = |-1,51 - (-3,40)| = 1,89$  eV =  $3,03 \times 10^{-19}$  J.  $\lambda = 656$  nm ce qui correspond à une raie noire sur le spectre (la raie G) donc il y a bien de l'hydrogène.

**30** 1.  $E = h\nu$  donc  $\nu = \frac{E}{h} = \frac{13,6 \times 1,602 \times 10^{-19}}{6,63 \times 10^{-34}} = 3,29 \times 10^{15}$  Hz.

$\lambda = \frac{c}{\nu} = 9,12 \times 10^{-8}$  m.

2. Les domaines d'ondes ionisantes sont celles qui sont telles que  $E > 13,6$  eV donc  $\lambda < 9,12 \times 10^{-8}$  m donc les ultraviolets, les rayons X et les rayons  $\gamma$ .

3. Les rayonnements ionisants provoquent des brûlures, des mutations génétiques.

4. On constate sur le schéma que l'absorption de l'atmosphère est maximale pour les ondes de longueurs d'onde inférieure à  $10^{-7}$  m donc les rayonnements ionisants sont absorbés par l'atmosphère terrestre.

**31** 1. Les traits horizontaux représentent les valeurs de l'énergie permises pour l'atome.

2. Émission d'un photon par phosphorescence : 3

Émission d'un photon par fluorescence : 2

Absorption d'un photon : 1

3. a. Selon la définition de la fluorescence et de la phosphorescence le photon absorbé est un photon UV, les deux photons émis sont dans le visible.

b. L'énergie des photons émis par fluorescence et phosphorescence est inférieure à celle du photon absorbé, on le constate sur le schéma.

**32** 1. La lumière est une onde électromagnétique et un transport de particules appelées photons.

2.  $v = \frac{c}{\lambda} = \frac{3,00 \times 10^8}{405 \times 10^{-9}} = 7,41 \times 10^{14} \text{ Hz.}$

On observe donc l'effet photoélectrique pour les matériaux tels que  $v_s < 7,41 \times 10^{14} \text{ Hz}$  donc le césium, le potassium et le baryum.

3.  $E = hv$  donc plus la fréquence nécessaire à l'effet photoélectrique est grande et plus le matériau nécessite un photon énergétique. Le métal qui nécessite le photon le plus énergétique est le cuivre, celui qui nécessite le photon le moins énergétique est le césium.

**33** 1. a. Il s'agit de la fréquence qui s'exprime en Hz.

b. WPAN :  $10^9 \text{ Hz}$  ; WLAN :  $10^9 \text{ Hz}$  et  $10^{10} \text{ Hz}$  ; WWAN :  $10^9 \text{ Hz}$ .

c. Cela appartient au domaine des micro-ondes.

2.  $\lambda = \frac{c}{v}$ . WPAN :  $10^{-1} \text{ m}$  ; WLAN :  $10^{-1} \text{ m}$  et  $10^{-2} \text{ m}$  ; WWAN :  $10^{-1} \text{ m}$ .

3. Ces ondes sont à très longue portée et peu absorbée par l'atmosphère.

**34** 1. On a  $v\lambda = c$ ,  $c$  étant une constante donc multiplier la fréquence par 2 nécessite de diviser la longueur d'onde par 2.

2. a.  $\frac{\lambda}{2} = \frac{1064}{2} = 532 \text{ nm.}$

b. Sur le spectre de la lumière blanche on constate que 532 nm correspond dans le vide (et dans l'air) à une couleur verte ce qui est bien ce que l'on observe sur la photographie.

3. L'énergie d'un photon est telle que  $E_{\text{photon}} = \frac{hc}{\lambda} = 3,74 \times 10^{-19} \text{ J}$ , avec  $\lambda = 532 \text{ nm}$ .

Le nombre de photon  $N$  se calcule ainsi :

$$N = \frac{E_{\text{impulsion}}}{E_{\text{photon}}} = \frac{200 \times 10^{-3}}{3,75 \times 10^{-19}} = 5,35 \times 10^{17} \text{ photons.}$$

**35** Depuis 1967, le bureau international des poids et mesures définit la seconde de la manière suivante :

« La seconde est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133. Il en résulte que la fréquence de la transition hyperfine de l'état fondamental de l'atome de césium est égale à 9 192 631 770 Hz ».

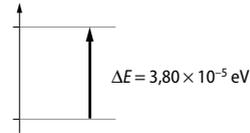
Dans les horloges atomiques on fait passer une onde de fréquence 9 192 631 770 Hz dans une cavité contenant des atomes de césium 133. Si la valeur de la fréquence est bien réglée, les atomes de césium 133 absorbent cette onde.

1. La fréquence est de 9 192 631 770 Hz donc d'ordre de grandeur  $10^{10} \text{ Hz}$  ce qui correspond au domaine des micro-ondes.

2. C'est la propriété de quantification des niveaux d'énergie de l'atome qui est utilisée.

3.  $E = hv = 6,09 \times 10^{-24} \text{ J} = \frac{6,09 \times 10^{-24}}{1,602 \times 10^{-19}} = 3,80 \times 10^{-5} \text{ eV.}$

4.

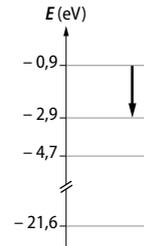


**36** La démarche avancée consiste à réaliser les étapes de la démarche élémentaire sans questionnement.

1.  $E = \frac{hc}{\lambda} = 3,20 \times 10^{-19} \text{ J} = 2,00 \text{ eV.}$

2. a. Cette énergie correspond à l'écart entre le niveau d'énergie - 0,9 eV et celui d'énergie - 2,9 eV.

b.



**37** ■ Animations et vidéos

(→ disponibles par l'application Bordas Flashpage, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

► Radiographie p. 356

Cette animation explique le principe de la radiographie.

► Scintigraphie p. 356

Cette animation explique le principe de la scintigraphie.

Éléments de réponse :

	Scintigraphie	Radiographie	Lampe germicide	Chirurgie laser	Thermographie
<b>Domaine OEM</b>	Rayons $\gamma$	Rayons X	UV	Visible-IR	IR
<b>ODG fréquence</b>	$\nu > 10^{20}$ Hz	$10^{16}$ Hz $< \nu < 10^{20}$ Hz	$10^{15} < \nu < 10^{16}$ Hz	$10^{11}$ Hz $< \nu < 10^{14}$ Hz	$10^{11}$ Hz $< \nu < 10^{14}$ Hz
<b>ODG longueur d'onde</b>	$\lambda < 10^{-12}$ m	$10^{-12}$ m $< \lambda < 10^{-8}$ m	$10^{-8}$ m $< \lambda < 10^{-6}$ m	$10^{-6}$ m $< \lambda < 10^{-3}$ m	$10^{-3}$ m $< \lambda < 10^{-6}$ m
<b>Utilisation</b>	Diagnostic	Diagnostic	Traitement	Traitement	Diagnostic
<b>Principe</b>	Le patient ingère un produit qui émet des rayons gamma que l'on détecte ensuite.	Les rayons X sont plus ou moins absorbés par les différents organes du corps humain.	Les UV émis engendrent la production d'ozone à partir du dioxygène. L'ozone peut tuer les germes.	On utilise la puissance d'un faisceau laser pour faire de la chirurgie.	On utilise une caméra IR pour obtenir une image thermique.
<b>Danger</b>	Les produits injectés (qui émettent des rayons gamma) peuvent être dangereux.	Les rayons X utilisés sont dangereux. Le personnel doit être protégé.	Les UV présentent un danger.	Les sources laser puissantes présentent un danger en particulier pour l'œil.	Cette technique ne présente aucun danger car elle consiste uniquement à enregistrer les IR.

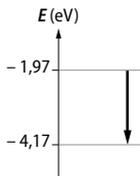
**38** Éléments de réponse :

Les éléments chimiques présents dans les lampes vont émettre de la lumière suite à l'absorption d'énergie (due à une décharge électrique). Selon les longueurs d'onde des photons émis, la lumière émise présente une certaine couleur.

**Acquérir des compétences** ■ p. 357

**39** La démarche experte consiste à réaliser les étapes de la démarche élémentaire sans questionnement.

1.



2. a. L'écart en énergie entre les deux niveaux d'énergie de l'oxygène concernées est :

$$\Delta E = |-4,17 - (-1,97)| = 2,2 \text{ eV} = 2,2 \times 1,602 \times 10^{-19} = 3,5 \times 10^{-19} \text{ J.}$$

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E} = 568 \text{ nm.}$$

b. Sur le spectre de la lumière blanche, on constate que cette longueur d'onde correspond au domaine du vert, ce que l'on observe aussi sur la photographie d'aurores boréales.

**40** Une onde électromagnétique d'une énergie  $E > 4,01$  eV est absorbée par l'ozone pour sa photodissociation.

Cela correspond à des ondes de longueurs d'onde inférieure à  $\frac{hc}{E}$  donc :

$$\frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{4,01 \times 1,602 \times 10^{-19}} = 310 \text{ nm.}$$

Les ultra-violetts sont tels que  $10 \text{ nm} < \lambda < 400 \text{ nm}$  donc la majorité des rayonnements UV sont absorbés pour la photodissociation de l'ozone. Ils sont donc arrêtés par la couche d'ozone.

**41** >Analyse

1. Les interférences sont une manifestation de l'aspect ondulatoire de la lumière car il s'agit de l'effet de la superposition de 2 ondes.

2. Le photon et ses impacts aléatoires sont une manifestation de l'aspect corpusculaire de la lumière.

>Synthèse

Les impacts aléatoires des photons, particules de lumière reconstituent une figure d'interférences caractéristique de l'aspect ondulatoire de la lumière.

**42** 1. On va observer un spectre d'émission de raies car il s'agit de la lumière émise par un gaz.

2. On disperse la lumière émise par la boule plasma et celle émise par la lampe à vapeur de néon. Si les raies d'émission du néon sont présentes dans le spectre d'émission de la lumière de la boule plasma, on prouve qu'il y a du néon dans la boule plasma.

3. Lorsque l'atome de néon est dans un état excité, il émet une onde électromagnétique et dans certain cas il s'agit de la lumière.

Par exemple, lorsque le néon passe du niveau d'énergie  $-0,9$  eV au niveau d'énergie  $-2,9$  eV, il émet des photons de longueur d'onde  $622$  nm (dans le domaine du rouge). Lorsque le néon passe du niveau d'énergie  $-2,9$  eV au niveau d'énergie  $-4,7$  eV, il émet des photons de longueur d'onde  $690$  nm (dans le domaine du rouge).

# Ondes et signaux

## 1. MAQUETTE D'UNE SALLE DE CONCERT

1. Une onde mécanique progressive est le phénomène de propagation d'une perturbation dans un milieu matériel sans transport de matière (mais avec transport d'énergie).

2. a. La longueur d'onde  $\lambda$  est la plus petite distance séparant deux points qui vibrent en phase.

b.  $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$  donc  $\lambda = \frac{v}{f}$

c.  $\lambda_{\text{son}} = \frac{v_{\text{son}}}{f_{\text{son}}}$  et  $\lambda_{\text{US}} = \frac{v_{\text{son}}}{f_{\text{US}}}$

$20 \text{ Hz} < f_{\text{son}} < 20 \times 10^3 \text{ Hz}$ ,

$f_{\text{US}} > 20 \times 10^3 \text{ Hz}$ , donc  $f_{\text{US}} > f_{\text{son}}$  et  $\lambda_{\text{US}} < \lambda_{\text{son}}$ .

d. Les dimensions de la maquette de la salle de concert sont réduites. Il faut alors que les longueurs d'onde des sons utilisés soient réduites de la même façon.

3. a.  $v = \frac{D}{\tau}$  donc  $\tau = \frac{D}{v}$

soit  $\tau = \frac{0,68}{340} = \frac{6,8 \times 10^{-1}}{3,40 \times 10^2} = 2,0 \times 10^{-3} \text{ s}$ .

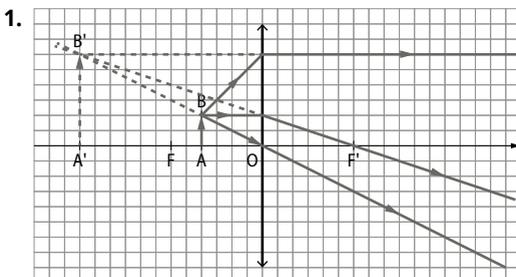
b. L'amortissement des échos est plus marqué dans l'expérience 2 (couvercle + moquette) que dans l'expérience 1 (couvercle).

L'expérience 3 (sans le couvercle) montre qu'il n'y a quasiment plus d'échos dans le signal reçu, les échos sont très amortis.

c. Plus les échos sont amortis et meilleure est la qualité du son perçu par le spectateur. Ainsi l'absence de couvercle (exp. 3) est plus intéressante d'un point de vue acoustique.

d. Les plafonds des salles de concert sont recouverts de dalles alvéolées absorbantes afin de diminuer l'amplitude des échos sur le plafond.

## 2. CASQUE À RÉALITÉ VIRTUELLE



2. a.  $\frac{1}{OA'} = \frac{1}{OF'} + \frac{1}{OA} = \frac{1}{10} + \frac{1}{-9,9} = -0,001001$

$OA' = \frac{1}{-0,001001} = -990 \text{ cm} = -9,9 \text{ m}$

b.  $\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA} = \frac{-990}{-9,9} = 100$

3. a. On obtient une image virtuelle d'où le nom « réalité virtuelle »

b. L'image se forme à 10 m et est agrandie 100 fois.

## 3. BILLETS DE BANQUE

a.

Couleurs primaires de la synthèse soustractive	Billet
Cyan	Aucun billet
Magenta	Le billet de 500 euros (magenta)
Jaune	Le billet de 200 euros (jaune)

b. Le billet de 20 euros (bleu) est imprimé avec de l'encre magenta et de l'encre cyan.

2. a. Le billet de 10 euros (rouge) est imprimé avec de l'encre magenta et de l'encre jaune.

L'encre magenta absorbe le vert et diffuse le bleu et le rouge et l'encre jaune absorbe le bleu et diffuse le magenta et le rouge.

Donc le billet de 10 euros rouge absorbe le vert et le bleu et diffuse le rouge.

b.

Billet	Lumière blanche	Lumière bleue	Lumière verte
10 euros	rouge	noir	noir
20 euros	bleu	bleu	noir
200 euros	jaune	noir	vert
500 euros	magenta	bleu	noir

3. a. Les longueurs d'onde limites du domaine visible : entre 400 nm (violet) et 800 nm (rouge).

b. Le domaine des infrarouges par rapport à ce domaine visible : longueurs d'onde supérieures à 800 nm.

4. a. La majorité des encres composant ce billet n'est pas sensible à la lumière infrarouge car le billet apparaît essentiellement blanc de quoi signifie que la lumière infrarouge est réfléchiée (pas absorbée).

$$b. v = \frac{c}{\lambda} = \frac{3,00 \times 10^8}{1000 \times 10^{-9}} = 3 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

$$c. E = h \cdot v = 6,63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{14} = 2 \times 10^{-19} \text{ J} = 1,24 \text{ eV}$$

d. L'énergie lumineuse qu'elles reçoivent en lumière visible est supérieure à  $E$  car les longueurs d'onde du visible sont plus petites donc les fréquences plus élevées donc l'énergie est plus grande.

#### 4. ANALYSE SPECTRALE DE ROCHE MARTIENNE

1. a. Les capteurs enregistrent un spectre d'émission.

b. Le laser émet dans l'infrarouge.

$$2. E = P \cdot \Delta t$$

$$\text{donc } \Delta t = \frac{E}{P} = \frac{15 \times 10^{-3} \text{ J}}{3 \times 10^6} = 5 \times 10^{-9} \text{ s.}$$

$$3. E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \text{ donc } \lambda = \frac{h \cdot c}{E}$$

L'énergie minimale est de  $E_1 = 1,88 \times 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$ , ce qui correspond à une longueur d'onde de :

$$\lambda_1 = \frac{h \cdot c}{E_1} = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{1,88 \times 1,602 \times 10^{-19}} = 6,6 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$\text{donc } \lambda_1 = 660 \text{ nm}$$

L'énergie maximale est de  $E_2 = 4,68 \times 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$  ce qui correspond à une longueur d'onde de :

$$\lambda_2 = \frac{h \cdot c}{E_2} = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{4,68 \times 1,602 \times 10^{-19}} = 2,7 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$\text{donc } \lambda_2 = 270 \text{ nm}$$

Donc un balayage en longueur d'onde entre 250 nm et 850 nm est nécessaire pour pouvoir détecter l'ensemble des raies.

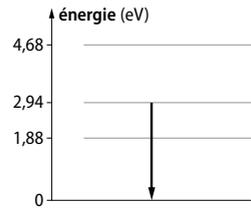
4. a. Pour  $\lambda = 423 \text{ nm}$ , on a :

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \text{ donc}$$

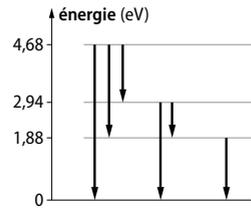
$$\Delta E = \frac{h \cdot c}{\Delta \lambda} = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{423 \times 10^{-9}} = 4,70 \times 10^{-19} \text{ J} = 2,94 \text{ eV}$$

Il s'agit donc de la transition du niveau d'énergie de valeur 2,94 eV au niveau d'énergie de valeur 0 eV (2,94 eV - 0 eV = 2,94 eV).

b.



5. a. D'après le diagramme, on observe 6 raies sur le spectre du calcium.



b. On en déduit le spectre du calcium : C.

