

Couleurs, lumière et photon

COURS • P07 • PREMIÈRE

Spécialité de première, programme officiel. Cours original rédigé avec une IA. Le cours de ton enseignant fait foi.

Sommaire du cours

Ce que tu dois savoir faire	1
Cours	1
Exemples résolus	7
Méthodes et pièges	7
Vers le PASS	8
Exercices	8
Corrigés	10

Ce que tu dois savoir faire

- Décrire la synthèse additive et la synthèse soustractive des couleurs et prévoir la couleur obtenue.
- Utiliser la notion de couleurs complémentaires.
- Expliquer la couleur perçue d'un objet par l'absorption, la diffusion et la transmission de la lumière, selon la lumière qui l'éclaire.
- Relier la vision des couleurs aux trois types de cônes de la rétine (trichromie).
- Citer les limites du spectre visible et situer les domaines ultraviolet et infrarouge.
- Décrire la lumière comme une onde électromagnétique et utiliser la relation $\lambda = c/\nu$.
- Décrire le modèle du photon et utiliser la relation $E = h\nu = hc/\lambda$, en joules et en électronvolts.
- Exploiter un diagramme de niveaux d'énergie d'un atome pour calculer l'énergie et la longueur d'onde d'un photon émis ou absorbé.
- Distinguer spectre continu, spectre de raies d'émission et spectre de raies d'absorption, et identifier un élément chimique à partir de ses raies.

Cours

1. La lumière visible et le spectre

La lumière blanche (lumière du Soleil, d'une lampe à incandescence) est **polychromatique** : un prisme ou un réseau la décompose en un spectre continu de couleurs, du violet au rouge. Chaque radiation de ce spectre est **monochromatique** et caractérisée par sa longueur d'onde dans le vide λ .

Le **spectre visible** s'étend environ de **400 nm** (violet) à **800 nm** (rouge), avec $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$. On retient les repères approximatifs : violet et bleu de 400 à 500 nm, vert de 500 à 570 nm, jaune et orange de 570 à 620 nm, rouge de 620 à 800 nm.

En dehors du visible :

- en dessous de 400 nm se trouve l'**ultraviolet** (UV), puis les rayons X et les rayons gamma ;

- au-dessus de 800 nm se trouve l'**infrarouge** (IR), puis les micro-ondes et les ondes radio.

Toutes ces radiations sont de même nature : ce sont des **ondes électromagnétiques**, qui se propagent dans le vide à la célérité $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

2. Vision des couleurs et synthèse additive

La **réine** contient deux types de cellules sensibles à la lumière : les bâtonnets, très sensibles mais qui ne distinguent pas les couleurs, et les **cônes**, responsables de la vision des couleurs. Il existe trois types de cônes, dont les sensibilités sont maximales respectivement dans le bleu, dans le vert et dans le rouge. La couleur perçue résulte de la comparaison, par le cerveau, des signaux de ces trois types de cônes : c'est la **trichromie**.

Conséquence importante : deux lumières physiquement différentes peuvent produire la même sensation. Une radiation monochromatique de 580 nm et un mélange de lumière rouge et de lumière verte excitent les cônes de façon semblable : les deux sont perçus jaunes.

La **synthèse additive** consiste à superposer des lumières colorées. Elle utilise trois **couleurs primaires** : rouge (R), vert (V), bleu (B). En les superposant sur un écran blanc :

Lumières superposées	Couleur obtenue
Rouge + vert	jaune
Vert + bleu	cyan
Rouge + bleu	magenta
Rouge + vert + bleu	blanc

Le jaune, le cyan et le magenta sont les **couleurs secondaires** de la synthèse additive. En dosant l'intensité des trois lumières primaires, on obtient toutes les couleurs : c'est le principe des écrans (chaque pixel est formé de trois sous-pixels rouge, vert et bleu) et des projecteurs vidéo.

Deux lumières colorées sont **complémentaires** si leur superposition donne du blanc. Ainsi :

- le cyan (V + B) est complémentaire du rouge ;
- le magenta (R + B) est complémentaire du vert ;
- le jaune (R + V) est complémentaire du bleu.

Couleurs complémentaires

rouge et cyan

vert et magenta

bleu et jaune

Repères complémentaires, sans séquence causale

3. Synthèse soustractive

La **synthèse soustractive** consiste à retirer des composantes à une lumière blanche, à l'aide de filtres ou de pigments qui en absorbent une partie. Elle utilise trois **couleurs primaires** : cyan, magenta, jaune.

Un **filtre** coloré transmet certaines radiations et absorbe les autres. En pensant en trois composantes R, V, B :

- un filtre **jaune** transmet le rouge et le vert, il **absorbe le bleu** ;
- un filtre **cyan** transmet le vert et le bleu, il **absorbe le rouge** ;
- un filtre **magenta** transmet le rouge et le bleu, il **absorbe le vert**.

Chaque filtre primaire de la synthèse soustractive absorbe donc sa couleur complémentaire. En superposant des filtres, on cumule les absorptions :

Filtres superposés (en lumière blanche)	Lumière transmise
Jaune + cyan	vert
Jaune + magenta	rouge
Cyan + magenta	bleu
Jaune + cyan + magenta	aucune : noir

On raisonne en enlevant : le jaune retire le bleu, le cyan retire le rouge, il ne reste que le vert. Les encres d'imprimante (cyan, magenta, jaune, plus du noir pour l'économie et le contraste) et les peintures fonctionnent ainsi : un pigment absorbe certaines composantes de la lumière qui l'éclaire et renvoie les autres.

Superposition d'un filtre jaune et d'un filtre cyan

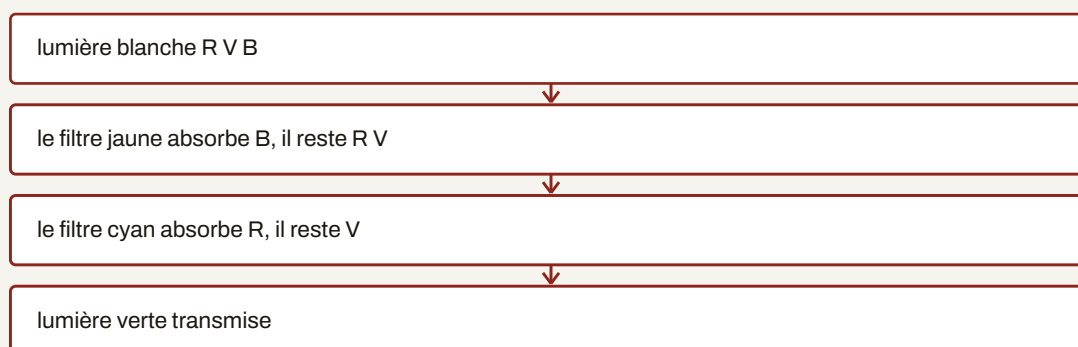


Schéma de principe original • lire les conditions et limites dans le texte

4. La couleur des objets : absorption, diffusion, transmission

Lorsqu'une lumière arrive sur un objet, elle peut être :

- **absorbée** : son énergie est transférée à la matière (l'objet s'échauffe) ;

- **diffusée** : renvoyée dans toutes les directions par l'objet ;
- **transmise** : elle traverse l'objet (s'il est transparent ou translucide) ;
- **réfléchi** : renvoyée dans une direction privilégiée (miroir, surface polie).

Objet opaque. Sa couleur perçue est celle de la lumière qu'il **diffuse**. Un objet est dit « rouge » s'il diffuse le rouge et absorbe le vert et le bleu, lorsqu'il est éclairé en lumière blanche. Un objet blanc diffuse toutes les radiations, un objet noir les absorbe toutes.

Objet transparent coloré (filtre, vitrail, solution colorée). Sa couleur perçue est celle de la lumière qu'il **transmet**. Une solution qui absorbe le rouge apparaît cyan, couleur complémentaire de la couleur absorbée.

La couleur perçue d'un objet dépend à la fois de l'objet (ce qu'il absorbe) et de la lumière qui l'éclaire. Un objet ne peut diffuser que ce qu'il reçoit.

Méthode : on décompose la lumière incidente en R, V, B ; on retire ce que l'objet absorbe ; ce qui reste est la couleur perçue (noir s'il ne reste rien).

Exemples :

- une tomate rouge (diffuse R, absorbe V et B) éclairée en lumière verte ne diffuse rien : elle paraît **noire** ;
- un citron jaune (diffuse R et V, absorbe B) éclairé en lumière magenta (R + B) diffuse seulement le rouge : il paraît **rouge** ;
- une feuille blanche éclairée en lumière cyan paraît **cyan**.

La diffusion par l'atmosphère. Les molécules de l'air diffusent beaucoup plus les courtes longueurs d'onde (bleu, violet) que les grandes (rouge). La lumière diffusée par le ciel est donc à dominante bleue. Au coucher du Soleil, la lumière traverse une grande épaisseur d'atmosphère : elle a perdu une grande partie de son bleu par diffusion, et le Soleil paraît orangé ou rouge.

5. La dualité onde-particule et le photon

Aspect ondulatoire. La lumière est une onde électromagnétique. Les phénomènes de diffraction et d'interférences, que seule une onde peut expliquer, le montrent. Une radiation monochromatique est caractérisée par sa fréquence ν (lettre grecque nu), qui ne dépend pas du milieu, et par sa longueur d'onde dans le vide :

$$\lambda = c / \nu$$

avec λ en m, c en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ et ν en Hz. La lumière visible a des fréquences comprises entre environ $3,75 \times 10^{14}$ Hz (800 nm) et $7,50 \times 10^{14}$ Hz (400 nm).

Aspect particulaire. Certains phénomènes, comme l'**effet photoélectrique** (extraction d'électrons d'un métal par la lumière, qui ne se produit qu'au-dessus d'une certaine fréquence, quelle que soit l'intensité), ne s'expliquent pas avec une onde. Einstein a proposé en 1905, à la suite des travaux de Planck, que la lumière est constituée de « grains » d'énergie : les **photons**.

Un **photon** est une particule de masse nulle, se déplaçant à la célérité c dans le vide, et transportant un **quantum** d'énergie :

$$E = h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda$$

où $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J·s est la **constante de Planck**, E en joules (J), ν en hertz, λ en mètres.

L'énergie d'un photon est proportionnelle à la fréquence et inversement proportionnelle à la longueur d'onde : un photon ultraviolet est plus énergétique qu'un photon visible, lui-même plus énergétique qu'un photon infrarouge.

L'électronvolt. Ces énergies sont très petites en joules. On utilise l'**électronvolt** (eV) :

$$1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Un calcul utile : $h \cdot c = 6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8 = 1,99 \times 10^{-25} \text{ J} \cdot \text{m}$. En divisant par $1,60 \times 10^{-19}$, on obtient $h \cdot c \approx 1,24 \times 10^{-6} \text{ eV} \cdot \text{m}$, d'où la relation pratique :

$$E \text{ (en eV)} \approx 1240 / \lambda \text{ (en nm)}$$

Pour $\lambda = 400 \text{ nm}$, $E = 1,99 \times 10^{-25} / (4,00 \times 10^{-7}) = 4,97 \times 10^{-19} \text{ J} = 3,1 \text{ eV}$. Pour $\lambda = 800 \text{ nm}$, $E = 2,49 \times 10^{-19} \text{ J} = 1,55 \text{ eV}$. Les photons visibles ont donc une énergie comprise entre environ **1,6 eV et 3,1 eV**.

Dualité onde-particule. La lumière n'est ni une onde seulement, ni des particules seulement : selon l'expérience, l'un ou l'autre aspect se manifeste. Les deux descriptions sont reliées par $E = h \cdot \nu$, qui associe une grandeur particulaire (l'énergie du photon) à une grandeur ondulatoire (la fréquence).

Puissance d'une source et nombre de photons. Une source monochromatique de puissance P émet N photons par seconde, chacun d'énergie E : $P = N \cdot E$, donc $N = P / E$. Un laser de quelques milliwatts émet de l'ordre de 10^{16} photons par seconde.

6. Les niveaux d'énergie de l'atome

À la fin du XIX^e siècle, on observe que les gaz chauffés n'émettent que certaines radiations bien précises. Le modèle de Bohr (1913) l'explique : l'énergie d'un atome est **quantifiée**, elle ne peut prendre que certaines valeurs discrètes, appelées **niveaux d'énergie**.

On représente ces niveaux sur un **diagramme d'énergie** : un axe vertical d'énergie, avec un trait horizontal par niveau.

- Le niveau de plus basse énergie est l'**état fondamental**, état stable de l'atome.
- Les niveaux supérieurs sont des **états excités**, instables.
- Par convention, l'énergie 0 correspond à l'atome ionisé (électron arraché, au repos) : les énergies des niveaux liés sont négatives.

Émission. Un atome dans un état excité d'énergie E_{sup} peut redescendre vers un niveau d'énergie E_{inf} en émettant un photon dont l'énergie est exactement la différence :

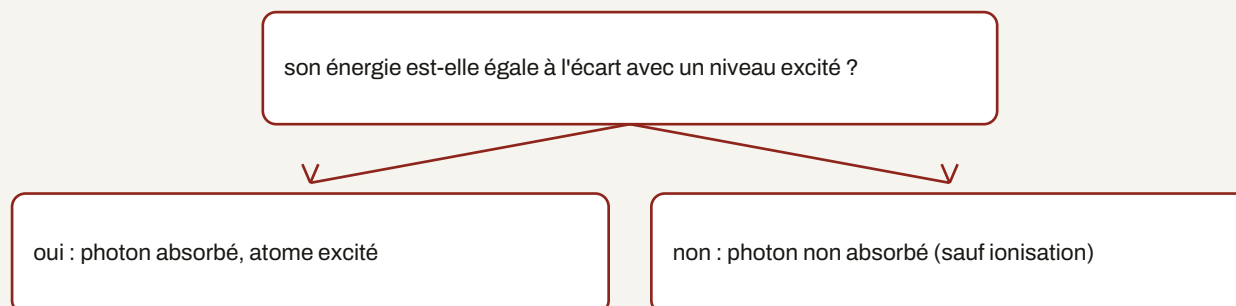
$$E_{\text{photon}} = E_{\text{sup}} - E_{\text{inf}} = h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda$$

Absorption. Un atome dans un état d'énergie E_{inf} peut absorber un photon et passer au niveau E_{sup} **seulement** si l'énergie du photon est exactement égale à $E_{\text{sup}} - E_{\text{inf}}$. Un photon dont l'énergie ne correspond à aucune transition n'est pas absorbé (sauf s'il suffit à ioniser l'atome, l'excédent devenant de l'énergie cinétique de l'électron).

L'atome d'hydrogène. Ses niveaux d'énergie sont donnés par $E_n = -13,6 / n^2$ (en eV), où n est un entier non nul. On obtient $E_1 = -13,6 \text{ eV}$ (fondamental), $E_2 = -3,40 \text{ eV}$, $E_3 = -1,51 \text{ eV}$, $E_4 = -0,85 \text{ eV}$, et E_n tend vers 0 quand n devient grand. L'énergie d'ionisation depuis l'état fondamental est 13,6 eV.

Exemple : transition du niveau 3 au niveau 2. $E = -1,51 - (-3,40) = 1,89 \text{ eV}$. $\lambda = 1240 / 1,89 \approx 656 \text{ nm}$: c'est la raie rouge de l'hydrogène, effectivement observée à 656 nm.

Un photon arrive sur un atome au repos dans son état fondamental



Deux branches distinctes • ce schéma ne relie pas les deux issues entre elles

7. Spectres d'émission et d'absorption

Spectre continu d'origine thermique. Un corps dense et chaud (solide, liquide, gaz sous forte pression : filament de lampe, braise, surface d'une étoile) émet un spectre continu. Plus il est chaud, plus son spectre s'enrichit vers le violet et plus sa couleur passe du rouge à l'orangé, puis au blanc, puis au bleuté.

Spectre de raies d'émission. Un gaz sous faible pression, excité par une décharge électrique ou par la chaleur, émet un spectre formé de **raies colorées** sur fond noir. Chaque raie correspond à une transition d'un niveau excité vers un niveau inférieur. Les longueurs d'onde des raies sont caractéristiques de l'élément : c'est sa « signature ». Exemple : la lampe à vapeur de sodium émet un doublet jaune à 589,0 nm et 589,6 nm.

Spectre de raies d'absorption. Quand une lumière blanche traverse un gaz froid, celui-ci absorbe les radiations qui correspondent à ses transitions : on observe un spectre continu barré de **raies noires**. Un élément absorbe exactement les radiations qu'il est capable d'émettre : les raies noires d'absorption d'un élément sont aux mêmes longueurs d'onde que ses raies colorées d'émission.

Spectre	Source	Aspect
Continu	corps dense et chaud	toutes les couleurs, sans interruption
De raies d'émission	gaz sous faible pression excité	raies colorées sur fond noir
De raies d'absorption	lumière blanche traversant un gaz froid	raies noires sur fond coloré continu

Application à l'astrophysique. Le spectre du Soleil est un spectre continu (émis par sa surface très chaude) barré de raies noires, dues à l'absorption par les gaz de son atmosphère. En comparant ces raies aux raies connues des éléments, on identifie la composition chimique de l'atmosphère d'une étoile sans jamais s'y rendre : c'est ainsi que l'hélium a été découvert dans le Soleil avant de l'être sur Terre.

Exemples résolus

Exemple 1 : couleur d'un objet selon l'éclairage

Énoncé. Une banane paraît jaune en lumière blanche. a) Quelles composantes diffuse-t-elle et lesquelles absorbe-t-elle ? b) Quelle est sa couleur en lumière cyan ? c) En lumière bleue ?

Résolution. a) Le jaune correspond à R + V. La banane **diffuse le rouge et le vert** et **absorbe le bleu**. b) La lumière cyan contient V + B. La banane absorbe B et diffuse V : elle paraît **verte**. c) La lumière bleue ne contient que B, que la banane absorbe : elle ne diffuse rien et paraît **noire**.

Exemple 2 : photons d'un laser vert

Énoncé. Un pointeur laser émet une radiation de longueur d'onde $\lambda = 532 \text{ nm}$ avec une puissance de 5,0 mW. Données : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$, $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$. a) Calculer la fréquence de la radiation. b) Calculer l'énergie d'un photon en joules et en électronvolts. c) Calculer le nombre de photons émis par seconde.

Résolution. a) $\nu = c / \lambda = 3,00 \times 10^8 / (532 \times 10^{-9}) = 5,64 \times 10^{14} \text{ Hz}$. b) $E = h \cdot \nu = 6,63 \times 10^{-34} \times 5,64 \times 10^{14} = 3,74 \times 10^{-19} \text{ J}$. En électronvolts : $E = 3,74 \times 10^{-19} / (1,60 \times 10^{-19}) = 2,34 \text{ eV}$. Vérification avec la relation pratique : $1240 / 532 = 2,33 \text{ eV}$, cohérent. c) La puissance est l'énergie émise par seconde : $P = N \cdot E$, donc $N = P / E = 5,0 \times 10^{-3} / (3,74 \times 10^{-19}) = 1,3 \times 10^{16} \text{ photons par seconde}$.

Exemple 3 : absorption par l'atome d'hydrogène

Énoncé. Un atome d'hydrogène est dans son état fondamental ($E_1 = -13,6 \text{ eV}$). On donne $E_2 = -3,40 \text{ eV}$ et $E_3 = -1,51 \text{ eV}$. a) Un photon de 10,2 eV est-il absorbé ? b) Un photon de 11,0 eV ? c) Calculer la longueur d'onde du photon de 10,2 eV et situer son domaine.

Résolution. a) Si le photon est absorbé, l'atome passe à l'énergie $-13,6 + 10,2 = -3,40 \text{ eV} = E_2$, qui est un niveau permis. Le photon de 10,2 eV est **absorbé** : l'atome passe dans le premier état excité. b) $-13,6 + 11,0 = -2,6 \text{ eV}$ ne correspond à aucun niveau ($E_2 = -3,40 \text{ eV}$, $E_3 = -1,51 \text{ eV}$), et 11,0 eV est inférieur à l'énergie d'ionisation 13,6 eV. Le photon de 11,0 eV **n'est pas absorbé**. c) $\lambda = h \cdot c / E = 6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8 / (10,2 \times 1,60 \times 10^{-19}) = 1,99 \times 10^{-25} / (1,63 \times 10^{-18}) = 1,22 \times 10^{-7} \text{ m}$, soit 122 nm. C'est inférieur à 400 nm : domaine de l'**ultraviolet**.

Méthodes et pièges

- Méthode pour une couleur perçue : décompose la lumière incidente en R, V, B, retire ce que l'objet ou le filtre absorbe, nomme ce qui reste.
- Ne mélange pas les deux synthèses : en additive, rouge + vert donne jaune ; en soustractive, jaune + cyan donne vert.
- Un objet ne peut pas « créer » une couleur absente de la lumière qui l'éclaire : un objet rouge éclairé en vert paraît noir.
- Pour $E = h \cdot c / \lambda$, convertis les nanomètres en mètres ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) avant le calcul ; pour passer en électronvolts, divise par $1,60 \times 10^{-19}$.
- Retiens le sens de variation : plus λ est petite, plus le photon est énergétique (UV plus énergétique que le rouge).

- Pour une transition, l'énergie du photon est une différence positive : $E_{\text{sup}} - E_{\text{inf}}$, jamais une énergie de niveau seule.
- Un photon n'est absorbé que si son énergie correspond exactement à un écart entre niveaux (sauf ionisation) : une énergie « supérieure » ne suffit pas.
- Les raies d'absorption d'un élément sont aux mêmes longueurs d'onde que ses raies d'émission : c'est la clé de l'identification d'un gaz.

Vers le PASS

En PASS, le photon est au cœur de la biophysique des rayonnements. Les photons X et gamma, des milliers à des millions de fois plus énergétiques que les photons visibles, interagissent avec la matière par effet photoélectrique et par diffusion, et peuvent ioniser les atomes : c'est la base de la radiographie, du scanner, de la médecine nucléaire et de la radioprotection. On y calcule des énergies de photons en keV ou en MeV avec la même relation $E = h \cdot \nu$, et on raisonne sur des niveaux d'énergie électroniques et nucléaires. La spectrophotométrie (absorption de la lumière par une solution colorée, couleur complémentaire de la couleur absorbée) sert aussi au dosage en biochimie, et la trichromie de la vision est reprise en physiologie sensorielle.

Suite en PASS : Radioactivité, interactions et dosimétrie

Exercices

Niveau 1 : s'entraîner

1. En synthèse additive, quelle couleur obtient-on en superposant : a) du rouge et du vert ; b) du vert et du bleu ; c) du rouge et du bleu ; d) les trois couleurs primaires ?
2. Donne la couleur complémentaire de : a) rouge ; b) vert ; c) bleu. Justifie avec la synthèse additive.
3. Calcule l'énergie, en joules puis en électronvolts, d'un photon de longueur d'onde 650 nm. Données : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$, $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$.
4. Une radiation a une fréquence de $6,00 \times 10^{14} \text{ Hz}$. Calcule sa longueur d'onde dans le vide, l'énergie d'un photon associé, et indique si elle est visible.
5. Un objet vert (qui diffuse seulement le vert) est éclairé successivement en lumière blanche, rouge, jaune puis magenta. Indique sa couleur perçue dans chaque cas.

Niveau 2 : type bac

6. On éclaire un écran blanc avec une lumière blanche à travers un ou plusieurs filtres.
 - a) Quelle composante un filtre jaune absorbe-t-il ? b) On place un filtre jaune puis un filtre cyan. Quelle couleur voit-on sur l'écran ? Détaille le raisonnement. c) Même question avec un filtre magenta et un filtre jaune. d) Que voit-on avec les trois filtres jaune, cyan et magenta superposés ?
7. Le diagramme simplifié de l'atome de sodium comporte les niveaux $E_1 = -5,14 \text{ eV}$ (fondamental), $E_2 = -3,03 \text{ eV}$ et $E_3 = -1,95 \text{ eV}$. On donne h , c et la valeur de l'électronvolt comme à l'exercice 3.
 - a) Calcule l'énergie, en eV puis en J, du photon émis lors de la transition du niveau 2 au niveau 1, puis sa longueur d'onde. De quelle couleur est-il ? b) Calcule la longueur d'onde du photon émis lors de la transition du niveau 3 au niveau 2. Dans quel domaine se situe-t-il ? c) Quelle énergie minimale faut-il fournir pour ioniser l'atome depuis son état fondamental ? d) Un atome au fondamental reçoit un

photon de 2,50 eV. Est-il absorbé ?

8. On dispose des raies d'émission de trois éléments : hydrogène (410 nm, 434 nm, 486 nm, 656 nm) ; sodium (589,0 nm, 589,6 nm) ; mercure (436 nm, 546 nm, 579 nm). Le spectre de la lumière d'une étoile présente un fond continu barré de raies noires à 486 nm, 589 nm et 656 nm.

a) De quel type de spectre s'agit-il ? Explique son origine. b) Quels éléments sont présents dans l'atmosphère de l'étoile ? Justifie. c) Pourquoi ces raies sont-elles noires et non colorées ? d) Une autre étoile a un fond continu plus riche en bleu. Que peut-on dire de sa température de surface ?

9. Un pointeur laser rouge ($\lambda = 650$ nm) a une puissance de 1,0 mW.

a) Calcule l'énergie d'un photon. b) Calcule le nombre de photons émis par seconde. c) Un pointeur bleu ($\lambda = 450$ nm) a la même puissance. Émet-il plus ou moins de photons par seconde ? Calcule ce nombre.

Niveau 3 : vers le PASS

10. Les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène sont $E_n = -13,6 / n^2$ en eV. Les raies de la série de Balmer correspondent aux transitions d'un niveau $n \geq 3$ vers le niveau 2. On utilise E (en eV) = $1240 / \lambda$ (en nm).

a) Calcule E_2 , E_3 , E_4 , E_5 et E_6 (à trois chiffres significatifs). b) Calcule les longueurs d'onde des quatre premières raies de Balmer ($n = 3, 4, 5, 6$ vers 2) et compare-les aux valeurs mesurées 656 nm, 486 nm, 434 nm et 410 nm. c) Calcule la longueur d'onde limite de la série, correspondant à un électron venant de l'ionisation ($E = 0$) jusqu'au niveau 2. Dans quel domaine est-elle ?

11. Pour chaque affirmation, indique si elle est vraie ou fausse en justifiant.

A. Plus la longueur d'onde d'une radiation est grande, plus ses photons sont énergétiques. B. Un photon ultraviolet de longueur d'onde 300 nm transporte environ 4,1 eV. C. Le photon est une particule de masse non nulle. D. Les interférences lumineuses illustrent l'aspect ondulatoire de la lumière, l'effet photoélectrique son aspect particulaire. E. Un atome au fondamental absorbe tout photon dont l'énergie est supérieure à l'écart entre le fondamental et le premier état excité.

12. Un gaz d'atomes d'hydrogène, tous dans l'état fondamental, est éclairé par des photons de 12,75 eV. Niveaux : $E_1 = -13,6$ eV, $E_2 = -3,40$ eV, $E_3 = -1,51$ eV, $E_4 = -0,85$ eV.

a) Montre que ces photons peuvent être absorbés et indique le niveau atteint. b) Les atomes se dés excitent ensuite en une ou plusieurs étapes. Dénombre toutes les transitions possibles vers des niveaux inférieurs. c) Calcule la longueur d'onde de chacune de ces raies d'émission, avec E (en eV) = $1240 / \lambda$ (en nm). d) Lesquelles sont visibles ? De quelle couleur ?

13. Une solution colorée, éclairée en lumière blanche, absorbe le rouge et transmet le vert et le bleu.

a) De quelle couleur la voit-on par transparence ? Justifie avec la notion de couleur complémentaire. b) De quelle couleur la voit-on si on l'éclaire avec une lumière rouge seule ? Avec une lumière jaune ? c) La radiation la plus absorbée a une longueur d'onde de 700 nm. Calcule l'énergie d'un photon absorbé en eV. d) On place derrière cette solution une seconde cuve contenant une solution jaune (qui absorbe le bleu). Quelle lumière sort de l'ensemble ?

Corrigés

1. a) Rouge + vert : **jaune**. b) Vert + bleu : **cyan**. c) Rouge + bleu : **magenta**. d) Rouge + vert + bleu : **blanc**.
2. Deux couleurs sont complémentaires si leur superposition donne du blanc (R + V + B). a) Au rouge il manque V + B : complémentaire **cyan**. b) Au vert il manque R + B : complémentaire **magenta**. c) Au bleu il manque R + V : complémentaire **jaune**.
3. $E = h \cdot c / \lambda = 6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8 / (650 \times 10^{-9}) = 1,99 \times 10^{-25} / (6,50 \times 10^{-7}) = 3,06 \times 10^{-19} \text{ J}$. En électronvolts : $3,06 \times 10^{-19} / (1,60 \times 10^{-19}) = 1,91 \text{ eV}$.
4. $\lambda = c / \nu = 3,00 \times 10^8 / (6,00 \times 10^{14}) = 5,00 \times 10^{-7} \text{ m}$, soit 500 nm. $E = h \cdot \nu = 6,63 \times 10^{-34} \times 6,00 \times 10^{14} = 3,98 \times 10^{-19} \text{ J}$, soit $3,98 \times 10^{-19} / (1,60 \times 10^{-19}) = 2,49 \text{ eV}$. 500 nm est compris entre 400 et 800 nm : la radiation est **visible** (bleu-vert).
5. L'objet diffuse V et absorbe R et B. Lumière blanche (R V B) : il diffuse V, il paraît **vert**. Lumière rouge (R) : rien à diffuser, **noir**. Lumière jaune (R V) : il diffuse V, **vert**. Lumière magenta (R B) : rien à diffuser, **noir**.
6. a) Le filtre jaune transmet R et V, il **absorbe le bleu**.
b) Lumière blanche R V B. Le filtre jaune retire B : il reste R V. Le filtre cyan (qui transmet V et B) retire R : il reste V. L'écran est **vert**. c) Le magenta (transmet R et B) retire V : il reste R B. Le jaune retire B : il reste R. L'écran est **rouge**. d) Le jaune retire B, le cyan retire R, le magenta retire V : il ne reste rien, l'écran est **noir**.
7. a) $E = E_2 - E_1 = -3,03 - (-5,14) = 2,11 \text{ eV}$, soit $2,11 \times 1,60 \times 10^{-19} = 3,38 \times 10^{-19} \text{ J}$. $\lambda = h \cdot c / E = 1,99 \times 10^{-25} / (3,38 \times 10^{-19}) = 5,89 \times 10^{-7} \text{ m}$, soit 589 nm : lumière **jaune** (c'est la raie du sodium des lampes d'éclairage public).
b) $E = E_3 - E_2 = -1,95 - (-3,03) = 1,08 \text{ eV} = 1,73 \times 10^{-19} \text{ J}$. $\lambda = 1,99 \times 10^{-25} / (1,73 \times 10^{-19}) = 1,15 \times 10^{-6} \text{ m}$, soit 1 150 nm, supérieur à 800 nm : domaine de l'**infrarouge**. c) Ioniser l'atome, c'est l'amener de $E_1 = -5,14 \text{ eV}$ à 0 : il faut **5,14 eV** au minimum. d) $-5,14 + 2,50 = -2,64 \text{ eV}$ ne correspond à aucun niveau (ni $E_2 = -3,03 \text{ eV}$ ni $E_3 = -1,95 \text{ eV}$) et 2,50 eV est inférieur à l'énergie d'ionisation : le photon **n'est pas absorbé**.
8. a) C'est un **spectre de raies d'absorption** : la surface chaude de l'étoile émet un spectre continu, et les gaz plus froids de son atmosphère absorbent certaines radiations.
b) 486 nm et 656 nm sont des raies de l'**hydrogène**, 589 nm est la raie du **sodium**. Un élément absorbe aux mêmes longueurs d'onde qu'il émet : l'atmosphère contient de l'hydrogène et du sodium. Aucune raie du mercure (546 nm par exemple) n'apparaît. c) Aux longueurs d'onde absorbées, la lumière n'arrive plus (ou très affaiblie) : il **manque** ces radiations dans le spectre, d'où des raies noires. d) Plus un corps est chaud, plus son spectre continu s'enrichit vers le violet et le bleu : cette étoile a une **température de surface plus élevée**.
9. a) $E = h \cdot c / \lambda = 1,99 \times 10^{-25} / (6,50 \times 10^{-7}) = 3,06 \times 10^{-19} \text{ J}$ (1,91 eV).
b) $N = P / E = 1,0 \times 10^{-3} / (3,06 \times 10^{-19}) = 3,3 \times 10^{15} \text{ photons par seconde}$. c) À 450 nm, chaque photon est plus énergétique : $E' = 1,99 \times 10^{-25} / (4,50 \times 10^{-7}) = 4,42 \times 10^{-19} \text{ J}$. À puissance égale, il en faut **moins** : $N' = 1,0 \times 10^{-3} / (4,42 \times 10^{-19}) = 2,3 \times 10^{15} \text{ photons par seconde}$.
10. a) $E_2 = -13,6 / 4 = -3,40 \text{ eV}$; $E_3 = -13,6 / 9 = -1,51 \text{ eV}$; $E_4 = -13,6 / 16 = -0,850 \text{ eV}$; $E_5 = -13,6 / 25 = -0,544 \text{ eV}$; $E_6 = -13,6 / 36 = -0,378 \text{ eV}$.

b) Énergie du photon : $E = E_n - E_2$, puis $\lambda = 1\,240 / E$. $n = 3$: $E = -1,51 + 3,40 = 1,89$ eV, $\lambda = 1\,240 / 1,89 = 656$ nm. $n = 4$: $E = -0,85 + 3,40 = 2,55$ eV, $\lambda = 1\,240 / 2,55 = 486$ nm. $n = 5$: $E = -0,544 + 3,40 = 2,86$ eV, $\lambda = 1\,240 / 2,86 = 434$ nm. $n = 6$: $E = -0,378 + 3,40 = 3,02$ eV, $\lambda = 1\,240 / 3,02 = 411$ nm. Les valeurs calculées coïncident avec les mesures à 1 nm près, l'écart venant des arrondis : le modèle des niveaux quantifiés rend compte du spectre de l'hydrogène. c) $E = 0 - (-3,40) = 3,40$ eV, $\lambda = 1\,240 / 3,40 = 365$ nm : inférieure à 400 nm, cette limite est dans l'**ultraviolet**. Toutes les raies de Balmer ont donc une longueur d'onde supérieure à 365 nm.

11. A. **Faux** : $E = h \cdot c / \lambda$, l'énergie est inversement proportionnelle à λ .

B. **Vrai** : $E = 1\,240 / 300 = 4,13$ eV, soit environ 4,1 eV. C. **Faux** : le photon a une masse nulle et se déplace à la célérité c dans le vide. D. **Vrai** : seules les ondes interfèrent ; l'effet photoélectrique s'explique par des photons qui cèdent chacun leur énergie à un électron. E. **Faux** : un photon n'est absorbé que si son énergie est exactement égale à l'écart entre deux niveaux (ou suffit à ioniser l'atome). Une énergie simplement supérieure au premier écart ne suffit pas.

12. a) Après absorption, l'atome aurait l'énergie $-13,6 + 12,75 = -0,85$ eV = E_4 : c'est un niveau permis, le photon est **absorbé** et l'atome passe au **niveau 4**.

b) Depuis le niveau 4, l'atome peut descendre vers 3, 2 ou 1 ; depuis 3, vers 2 ou 1 ; depuis 2, vers 1. Transitions possibles : $4 \rightarrow 3$, $4 \rightarrow 2$, $4 \rightarrow 1$, $3 \rightarrow 2$, $3 \rightarrow 1$, $2 \rightarrow 1$, soit **6 raies**. c) Avec $\lambda = 1\,240 / E$: $4 \rightarrow 3$: $E = -0,85 + 1,51 = 0,66$ eV, $\lambda = 1,88 \times 10^3$ nm (infrarouge). $4 \rightarrow 2$: $E = -0,85 + 3,40 = 2,55$ eV, $\lambda = 486$ nm. $4 \rightarrow 1$: $E = 12,75$ eV, $\lambda = 97,3$ nm (ultraviolet). $3 \rightarrow 2$: $E = 1,89$ eV, $\lambda = 656$ nm. $3 \rightarrow 1$: $E = -1,51 + 13,6 = 12,09$ eV, $\lambda = 103$ nm (ultraviolet). $2 \rightarrow 1$: $E = -3,40 + 13,6 = 10,2$ eV, $\lambda = 122$ nm (ultraviolet). d) Seules les raies comprises entre 400 et 800 nm sont visibles : **486 nm (bleu-vert)** et **656 nm (rouge)**.

13. a) Elle transmet V et B : on la voit **cyan**. Le cyan est la couleur complémentaire du rouge absorbé.

b) En lumière rouge : la solution absorbe le rouge, rien n'est transmis, elle paraît **noire**. En lumière jaune (R + V) : le rouge est absorbé, le vert est transmis, elle paraît **verte**. c) $E = 1\,240 / 700 = 1,77$ eV (soit $1,99 \times 10^{-25} / (7,00 \times 10^{-7}) = 2,84 \times 10^{-19}$ J). d) La première solution laisse passer V + B ; la solution jaune absorbe B. Il sort une lumière **verte**.