

Lumières colorées

LE PROGRAMME

2. Vision et image

La partie « Optique » vise à consolider le modèle du rayon lumineux, à introduire la notion de spectre [...].

De nombreux domaines d'application sont concernés : vision humaine, photographie, astrophysique,

imagerie scientifique, arts graphiques et du spectacle. Cette partie du programme est source de nombreuses expérimentations démonstratives et quantitatives.

Notions abordées au collège (cycle 4)

Lumière : sources [...]. Modèle du rayon lumineux.

Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
[...] Lumière blanche, lumière colorée. Spectres d'émission : spectres continus d'origine thermique, spectres de raies. Longueur d'onde dans le vide ou dans l'air.	[...] Caractériser le spectre du rayonnement émis par un corps chaud. Caractériser un rayonnement monochromatique par sa longueur d'onde dans le vide ou dans l'air. Exploiter un spectre de raies.
[...] Dispersion de la lumière blanche par un prisme ou un réseau.	[...] Décrire et expliquer qualitativement le phénomène de dispersion de la lumière par un prisme. <i>Produire et exploiter des spectres d'émission obtenus à l'aide d'un système dispersif et d'un analyseur de spectre.</i>
[...]	[...]

POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

■ p. 244

SITUATION 1

On cherche à vérifier que l'élève a dépassé l'obstacle épistémologique déconstruit au chapitre précédent : la vision serait un processus au cours duquel « la lumière » part de l'œil pour atteindre l'objet regardé. Cette conception, plus largement partagée que l'on ne croit par les élèves, est évidemment un frein puissant à une compréhension aboutie des phénomènes en lien avec la lumière.

► Exemple de réponse attendue

Dans la représentation donnée, la flèche part de l'œil du coureur et atteint la peau de banane : on comprend ainsi que le regard fixe son objet. Mais si le coureur voit la peau de banane, c'est que la lumière lui provient de cette peau de banane (qui est une source secondaire) pour atteindre son œil,

le récepteur : pour représenter la propagation de la lumière, on trace donc un rayon lumineux orienté de la peau de banane vers l'œil.

► En classe de 2^{de}

C'est dans le chapitre précédent que le modèle du rayon lumineux - ainsi que le sens de propagation de la lumière (de la source vers l'observateur) - sont abordés.

Comprendre la décomposition de la lumière par un prisme nécessite que soit acquis le modèle du rayon lumineux, d'autant plus que l'analyse spectrale impose un autre niveau de représentation de la lumière (en montrant sa composition).

SITUATION 2

Dans la suite du cours, on est amené à considérer les différents types de sources primaires en fonction du spectre de la lumière qu'elles délivrent.

Les diamants, comme peuvent le suggérer les publicitaires, sont vus par certains élèves comme des sources primaires : c'est une idée à déconstruire. On pourra également savoir si l'élève est capable de convoquer la réflexion et la réfraction pour expliquer les multiples éclats d'un diamant (éclairé).

► Exemple de réponse attendue

Un diamant n'est pas une source de lumière primaire : il ne produit pas sa propre lumière mais réfléchit et réfracte la lumière qui l'éclaire.

► En classe de 2^{de}

La couleur d'une lumière produite par un corps chaud est reliée à sa température.

SITUATION 3

La réfraction est au cœur du mécanisme dispersif qui explique la formation des spectres lumineux par des prismes. Il est donc important de vérifier que le phénomène de réfraction est connu des élèves.

► Exemple de réponse attendue

La lumière qui nous parvient de la partie de paille immergée subit une réfraction supplémentaire (en passant de l'eau au verre) par rapport à la partie aérienne vue au travers du verre.

On constate que la partie de la paille aérienne derrière le verre est vue dans le prolongement de la partie qui dépasse du verre. Ceci s'explique, dans le dernier cas, par le comportement de la paroi du verre. Celle-ci se comporte comme une lame à faces parallèles qui ne modifie pas la direction de propagation des rayons incidents.

► En classe de 2^{de}

La fin de l'explication identifiant la paroi à une lame à faces parallèles ne peut être fournie qu'aux élèves ayant acquis une bonne compréhension du phénomène de réfraction.

ACTIVITÉS

Ce chapitre traite de la nature de la lumière (qui peut être polychromatique ou monochromatique) et des moyens de son analyse que sont les spectres d'émission.

Le mécanisme mis en œuvre lorsque la dispersion d'une lumière polychromatique s'effectue par la traversée d'un prisme est précisé.

Après avoir abordé la notion de longueur d'onde, les élèves sont ainsi amenés à réinvestir et approfondir les connaissances acquises sur la réfraction : la dépendance de l'indice optique en fonction de la longueur d'onde est abordée.

On se borne par ailleurs à présenter les réseaux comme d'autres éléments dispersifs.

On distingue les spectres continus des spectres de raies et on en déduit la nature des sources de lumières correspondantes (corps chauds ou gaz atomiques excités).

La couleur d'une lumière produite par un corps chaud est mise en lien avec sa composition spectrale, mais la synthèse additive est hors programme. Cette couleur renseigne sur la température de la source de lumière, selon la loi de Wien abordée d'un strict point de vue qualitatif (son nom n'est pas cité).

L'astrophysique est un domaine d'application particulièrement riche de l'analyse spectrale.

Le choix a été fait de ne pas passer sous silence l'utilisation des spectres d'étoiles pour déterminer la composition de leur chromosphère alors même que les spectres d'absorption sont hors programme.

Les raies sombres sont simplement présentées comme les raies « en négatif » des raies d'émission des atomes correspondants.

p. 246 ■ ACTIVITÉ 1

Dispersion de la lumière blanche par un prisme TP

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

L'expérience de la dispersion de la lumière blanche par un prisme comporte deux aspects qu'il est important d'analyser séparément : la déviation (visible également en lumière monochromatique) et la dispersion proprement dite (qui se traduit par l'apparition des couleurs).

Cette activité permet de prendre en compte les difficultés d'observation et d'analyse des élèves, et de solliciter leurs connaissances sur la réfraction en leur demandant, avant de réaliser l'expérience, de prédire correctement les déviations à observer.

On relève couramment les erreurs suivantes :

– une seule interface (parfois aucune !) est identifiée dans le prisme, donc les élèves ne représentent qu'une seule déviation (ou aucune) ;

– le sens des déviations n'est pas le bon quand ils n'ont pas pris en compte le type de l'interface (air/verre ou verre/air) ou qu'ils n'ont pas su en tirer pratiquement les conséquences dans le tracé du rayon lumineux.

Notons que ce dernier point est le plus délicat car il suppose que l'élève se rappelle que le rayon est le plus près de la normale à l'interface, dans le milieu de plus fort indice.

L'enseignant pourra juger utile de demander à tracer ces normales au moment de la correction pour mieux illustrer cette loi qualitative.

La confrontation à l'expérience permet de valider ou invalider les propositions des élèves et amène à **considérer une observation nouvelle (qui n'a pas pu être prédite) : la dispersion.**

L'enseignant pourra préciser par la suite que les lumières colorées observées sont constituées de radiations caractérisées chacune par une longueur d'onde différente.

■ Animation

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

▷ Prisme

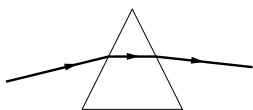
■ p. 246

Cette animation permet de visualiser le phénomène de dispersion de la lumière blanche à la traversée d'un prisme et également simule la déviation d'un rayon de lumière monochromatique.

> Exploitation et analyse

1 a. La lumière subit une réfraction à la face d'entrée et la face de sortie du prisme.

b. Schéma :



c. La lumière est déviée vers la base du prisme.

2 a. On vérifie que la lumière est bien déviée vers la base du prisme.

b. On observe en sortie du prisme un faisceau de lumières colorées.

c. Le rayon le plus dévié est associé à une lumière bleue (voire violette).

3 a. Le rayon laser est dévié mais la couleur de la lumière ne change pas en sortie du prisme.

b. Les savants qui ont précédé Newton pensaient que le prisme avait le pouvoir de recolorer toute lumière le traversant. Cette expérience contredit cette conception puisque ce n'est pas ce que l'on observe pour la lumière laser par exemple.

> Synthèse

4 La lumière blanche est composée de toutes les lumières colorées de l'arc-en-ciel. Un prisme dévie différemment ces différentes lumières, ce qui les fait apparaître dans le faisceau observé en sortie du prisme. C'est ce que l'on appelle la *dispersion* de la lumière blanche.

5 La lumière blanche est une lumière polychromatique, c'est-à-dire qu'elle est constituée de

plusieurs lumières colorées tandis que la lumière laser est monochromatique.

p. 247 ■ **ACTIVITÉ 2**

Couleur et température des corps chauds TP Démarches différenciées

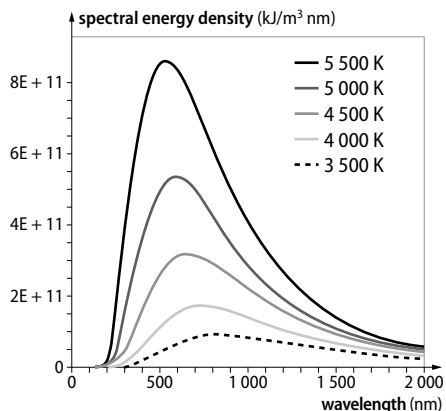
Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Cette activité permet d'aborder la relation qualitative *couleur de la lumière émise - température du corps chaud* qui est décrite quantitativement par la loi de Wien* et la synthèse additive des couleurs (hors programme).

La différenciation de la démarche offre la possibilité aux élèves d'être plus ou moins autonomes dans la formulation d'hypothèse, notamment celle qui consiste à généraliser à tous les corps chauds la loi qualitative, observée dans le cas d'un filament chauffé, afin de l'appliquer aux étoiles.

L'enseignant veillera à bien préciser que la démarche de l'élève basée sur quelques documents ne peut aboutir qu'à un résultat plausible (mais en aucun cas certifié) que la communauté scientifique a pu effectivement vérifier en maintes occasions.

* Loi de Wien : $\lambda_{\text{max}} = 2,898 \times 10^{-3} / T$ avec λ_{max} la longueur d'onde de la radiation du spectre lumineux dont l'intensité est maximale, exprimée en mètre (m) et T la température de la surface émettrice, exprimée en Kelvin (K).



Voici le lien :

https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewj-goOfYnK3kAhVIKBoKHVFDA4gQjRx6BAG-BEAQ&url=%2Furl%3Fsa%3D%26source%3Di-images%26cd%3D%26ved%3D%26url%3D-https%25A%25F%25Ffr.wikipedia.org%252Fwiki%252FLoi_du_d%2525C3%2525A9placement_de_Wien%26psig%3DA0vVaw3wNj5W9s-hR4bsNFrbc63N%26ust%3D1567344800443466&p=

■ Vidéo

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

► Spectre d'une lampe à filament 0 : 47 ■ p. 247

Cette vidéo montre comment évoluent simultanément la couleur de la lumière émise et son spectre quand la température d'un filament (siège d'un courant électrique d'intensité variable) est modifiée.

► Démarche experte

Au XIX^e siècle, Auguste Comte prétend, du fait de leur éloignement, que l'on ne pourra rien connaître des étoiles (**doc. 1**).

Le **document 2** nous indique que des étoiles peuvent être colorées à l'image de Bételgeuse, supergéante rouge, et de Rigel qui apparaît bleue dans la constellation d'Orion. On peut d'ores et déjà penser que la couleur d'une étoile est en lien avec une caractéristique de cette étoile (température ? taille ? masse ? composition ? etc.).

L'expérience du **document 3**, reprise en vidéo, montre qu'un filament se met à émettre de la lumière quand il est suffisamment chaud. De plus, au fur et à mesure que sa température augmente, cette lumière passe du rouge à l'orange, au jaune, puis devient blanche en s'enrichissant de lumière bleue (et violette) comme le montre le spectre obtenu à l'aide d'un spectroscopie. On peut donc imaginer qu'un filament encore plus chaud pourrait émettre principalement de la lumière bleue.

En postulant que cette relation *couleur de la lumière émise - température du corps émetteur* est valable pour les étoiles (des énormes boules de gaz chauds d'après le **document 2**), on peut émettre l'hypothèse que Bételgeuse est plus froide que Rigel. Auguste Comte s'est effectivement trompé puisque l'on peut obtenir une information sur la température des étoiles en les observant.

► Démarche avancée

1. La lumière émise, d'abord rouge, devient orange, puis blanche quand la température augmente, tandis que le spectre de cette lumière s'enrichit de lumières colorées (d'abord, il n'y a que de la lumière rouge, puis s'y ajoute du jaune, puis du vert, puis du bleu, enfin du violet).

2. En extrapolant l'observation précédente, on peut penser que le spectre de la lumière émise ne contiendrait principalement que les lumières bleue et violette, donc que la lumière serait approximativement bleue.

3. Si la relation *couleur de la lumière émise - température du corps émetteur* est vraie pour les étoiles (qui sont aussi des corps chauds d'après le **document 2**), alors Rigel doit être plus chaude que Bételgeuse, ce qui supposerait qu'Auguste Comte s'est trompé. C'est effectivement le cas.

► Démarche élémentaire

1. Lorsque l'on augmente la température du filament d'une lampe, on constate que lorsqu'il atteint une certaine température, il se met à émettre de la lumière.

2. La lumière émise, d'abord rouge, devient orange, puis blanche quand la température augmente tandis que le spectre de cette lumière s'enrichit de lumières colorées (d'abord, il n'y a que de la lumière rouge, puis s'y ajoute du jaune, puis du vert, puis du bleu et enfin du violet).

3. On peut supposer que la lumière à plus haute température, étant composée de davantage de lumière bleue et violette, apparaîtrait bleutée.

4. Si l'on suppose que tout corps chaud se comporte comme le filament de la lampe, la couleur des étoiles - qui sont des boules de gaz chauds - renseigne sur leur température : Rigel qui délivre une lumière bleutée est plus chaude (en surface) que Bételgeuse dont la lumière est rouge.

5. Auguste Comte qui prétendait que l'on ne pourrait jamais rien savoir des étoiles se trompait puisque la couleur de la lumière qu'elles émettent renseigne sur leur température (de surface).

p. 248 ■ **ACTIVITÉ 3**

Acquisition de spectre lumineux..... TP

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Cette activité propose aux élèves d'utiliser une chaîne de mesures intégrant un spectroscopie numérique afin de caractériser plusieurs sources lumineuses à partir de l'observation de leurs spectres (et de leurs profils spectraux). On pourra ainsi différencier notamment les corps chauds des lampes à vapeur.

Le spectroscopie utilisé dans l'activité est le *spidHR**, mais on pourra facilement adapter l'activité à l'utilisation d'un autre spectroscopie numérique.

*Une notice de qualité permettant une initiation rapide et plus approfondie du *spidHR* est proposée ici : <http://labophysique.louislegrand.org/notices/Optique/Spectro%20Ulice%20SPID-HR.pdf>

► Exploitation et analyse

1 Sur un profil spectral, la grandeur représentée sur l'axe des abscisses est la longueur d'onde λ , associée à la couleur de la radiation correspondante.

2 **Tableau complété :**

Type de source	Enveloppe du profil spectral	Spectre
Corps chaud (filament)	Courbe en cloche	Spectre continu
Gaz excité (lampe à vapeur)	Plusieurs pics séparés	Spectre de raies
Laser	Raie unique	Un seul pic

► Synthèse

3 Chaque type de source est caractérisé par un type de spectre. Ainsi, l'étude du spectre d'une lumière permet d'identifier le type de source qui l'émet.

p. 249 ■ **ACTIVITÉ 4**

L'arc-en-ciel Démarche d'investigation

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Cette activité est difficile. Elle s'adresse à de bons élèves et propose une situation-problème qui tend à déconstruire une idée reçue assez courante selon laquelle la forme partiellement circulaire de l'arc-en-ciel est due à la géométrie sphérique des gouttes d'eau dispersives.

Les élèves identifient d'abord l'arc-en-ciel comme étant le résultat de la dispersion de la lumière blanche par les gouttes d'eau de pluie.

Les meilleurs élèves pourront également déduire des documents que chaque arc de couleur différente dans l'arc-en-ciel est dû à la dispersion de la lumière incidente par des ensembles de gouttes de pluie, différents les uns des autres.

Une explication plus complète de la formation de l'arc-en-ciel est accessible ici :

<http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/resource/arcenciel.xml>

■ Animation

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

► *Arc-en-ciel* ■ p. 249

Cette animation permet d'expliquer d'où proviennent les couleurs de l'arc-en-ciel.

Hypothèse : la forme de l'arc-en-ciel est due à la forme sphérique des gouttes de pluie.

► Pistes de résolution

1 Une goutte se comporte (en partie) comme un prisme car la lumière qui la traverse subit deux réfractions comme dans un prisme : une réfraction en entrée, puis une autre en sortie de goutte (après une réflexion).

2 Les cristaux de glace à l'origine des halos circulaires ne sont pas eux-mêmes circulaires mais hexagonaux. Il n'y a donc pas de relation *a priori* entre la forme d'un arc-en-ciel et la géométrie des éléments dispersifs qui lui donnent naissance. L'hypothèse émise ne peut donc pas être validée.

3 L'arc rouge n'est pas dû à toutes les gouttes, mais aux gouttes qui dessinent elles-mêmes un arc de cercle dans la ligne de visée de l'arc rouge observé.

L'arc rouge est vu dans le prolongement des radiations rouges réfractés par les gouttes de pluie, donc ces gouttes qui se trouvent entre l'œil de l'observateur et l'arc rouge observé occupent forcément un espace en forme d'arc de cercle.

► Conclusion

La lumière du Soleil est réfractée deux fois dans les gouttes d'eau comme elle l'est dans un prisme.

Ces gouttes d'eau sont donc les éléments dispersifs qui décomposent la lumière blanche. On peut noter qu'entre les deux réfractions, la lumière subit une réflexion, ce qui justifie que l'arc-en-ciel soit visible à l'opposé du Soleil, c'est-à-dire quand on a le Soleil dans le dos (différence avec le halo solaire).

EXERCICES

■ Vérifier l'essentiel ■ p. 254

- | | | |
|-----------|-----------|-----------|
| 1 C. | 2 C. | 3 B et C. |
| 4 A et B. | 5 B. | 6 B et C. |
| 7 C. | 8 A et C. | 9 A. |
| 10 B. | | |

■ Acquérir les notions

► Lumière blanche, lumières colorées ■ p. 255

11 1. Le schéma **B** représente le mieux ce que l'on observe car le faisceau laser n'est pas visible, contrairement à ce que montre le schéma **A**.

2. On peut interposer sur le trajet de la lumière laser de la poudre de craie qui diffuse alors cette lumière, rendant ainsi son trajet apparent.

12 1. Ce faisceau laser est assez puissant pour que les aérosols présents dans l'air atmosphérique (poussières) diffusent suffisamment de la lumière qu'ils interceptent : le trajet de la lumière est ainsi rendu visible.

2. En dehors de l'atmosphère, comme il n'y a plus de particules diffusantes, le faisceau ne peut pas être rendu visible.

13 La couleur d'une lumière est celle que prend un écran blanc quand on l'éclaire avec cette lumière : la lumière incidente est donc jaune.

14 1. La lumière qui nous éclaire en plein jour est la lumière blanche.

2. La lumière blanche est une lumière composée de multiples radiations dont la superposition donne cette lumière blanche. Décomposer la lumière revient à séparer ces différentes radiations à l'aide d'un élément dispersif (tel un prisme ou un réseau).

3. Dans l'ordre des longueurs d'onde croissantes, on a la longueur d'onde bleue, puis la verte, enfin la rouge :



15 1. $\lambda = 4,30 \times 10^{-7} \text{ m}$

$$\lambda = 4,30 \times (10^2 \times 10^{-2}) \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$\lambda = (4,30 \times 10^2) \times (10^{-2} \times 10^{-7}) \text{ m}$$

$$\lambda = 430 \times 10^{-9} \text{ m} = 430 \text{ nm}$$

2. a. Une radiation est dans le domaine du visible si sa longueur d'onde est comprise entre 400 nm et 800 nm.

$\lambda = 1\,200 \text{ nm}$, λ n'est pas comprise dans cet intervalle, donc la radiation n'est pas dans le domaine du visible.

b. $\lambda = 1\,200 \text{ nm} = 1\,200 \times 10^{-9} \text{ m}$

En notation scientifique, $\lambda = 1,2 \times 10^3 \text{ nm}$.

Remarque : en toute rigueur, les deux zéros de 1 200 sont significatifs, il faudrait donc écrire :

$1,200 \times 10^3 \text{ nm}$ (on a préféré simplifier ici).

16 1. Une lumière monochromatique ne contient qu'une seule radiation, donc forcément qu'une seule couleur pure. Une lumière polychromatique en contient plusieurs.

Remarque : si les longueurs d'onde de deux radiations sont très proches (exemple : $\lambda_1 = 620 \text{ nm}$ et $\lambda_2 = 622 \text{ nm}$), l'œil percevra les mêmes couleurs, mais un spectromètre de résolution suffisante séparera ces deux radiations. Il serait donc plus juste de parler de lumière *polyradiative*, mais ce n'est pas le terme que retient le physicien.

2. La lumière laser est un exemple de lumière monochromatique tandis que la lumière blanche est un exemple de lumière polychromatique.

3. Une lumière monochromatique est caractérisée par sa longueur d'onde λ exprimée en nanomètre (nm).

4. On réalise le spectre d'une lumière en envoyant un faisceau de cette lumière sur une fente placée devant un élément dispersif (prisme ou réseau) et en interceptant le faisceau de lumière dispersée à l'aide d'un écran. Si le spectre vu sur l'écran n'est constitué que d'une seule raie, la lumière est monochromatique. Dans le cas contraire, elle est polychromatique.

17 1. Le symbole de la longueur d'onde est λ .

2. L'unité de la longueur d'onde est le nanomètre (nm).

3. L'œil est le plus sensible à la longueur d'onde $\lambda = 550 \text{ nm}$ (vert-jaune).

> Dispersion de la lumière blanche par un prisme

■ p. 256

18 1. La dispersion de la lumière blanche consiste à séparer les différentes radiations superposées de la lumière blanche.

2. La figure colorée obtenue sur l'écran est appelée *spectre de lumière*.

3. **A** : prisme ; **B** : réseau.

19 Erreur 1 : l'élément dispersif est un prisme, pas un réseau comme la légende l'indique.

Erreur 2 : la lumière est déviée vers le sommet du prisme au lieu de l'être vers sa base.

Erreur 3 : le rayon violet est moins dévié que le rayon rouge alors qu'il devrait l'être davantage.

20 1. L'indice optique dépend de la longueur d'onde de la lumière.

2. On sait que la radiation violette ($\lambda = 400 \text{ nm}$) est plus déviée que la radiation rouge ($\lambda = 700 \text{ nm}$) et comme la déviation est d'autant plus grande que l'indice est grand, on en déduit :

$$n_{\text{verre}}(\lambda = 400 \text{ nm}) > n_{\text{verre}}(\lambda = 700 \text{ nm})$$

Remarque : on peut le vérifier sur le graphique fourni pour les deux types de verre flint et crown.

3. Le verre le plus dispersif est celui pour lequel la valeur de l'indice optique varie le plus en fonction de la longueur d'onde. On constate que la courbe du verre flint est moins « plate » que celle du verre crown : c'est donc le verre flint qui est le plus dispersif.

Possibilité de proposer la justification quantitative suivante :

Pour le verre flint, on lit sur la courbe :

$n_{\text{verre}}(\lambda = 400 \text{ nm}) = 1,63$ et $n_{\text{verre}}(\lambda = 700 \text{ nm}) = 1,59$ donc la différence maximale d'indice Δn est :

$$\Delta n = 1,63 - 1,59 = 0,04$$

Pour le verre crown, on lit sur la courbe :

$$n_{\text{verre}}(\lambda = 400 \text{ nm}) = 1,525$$

$$n_{\text{verre}}(\lambda = 700 \text{ nm}) = 1,507$$

donc la différence maximale d'indice Δn est :

$$\Delta n = 1,525 - 1,507 = 0,018$$

Comme $0,040 > 0,019$, la dispersion est meilleure avec le verre flint.

21 1. La dispersion de la lumière par un prisme s'explique par le phénomène de réfraction.

2. La réfraction de la lumière a lieu à la traversée de la face d'entrée, puis à la traversée de la face de sortie du prisme : la lumière subit donc deux réfractions.

3. L'indice optique du prisme dépend de la longueur d'onde de la radiation considérée.

D'après la loi de Snell-Descartes de la réfraction, l'angle des deux réfractions dépend de l'indice optique, par conséquent chaque radiation (associée à un indice optique différent) est déviée différemment.

4. L'air est un milieu non dispersif : l'indice optique de l'air ne dépend pas de la longueur d'onde de la radiation considérée.

> Spectres d'émission

■ p. 256

22 Les spectres **B**, **C** et **D** sont des spectres continus et le spectre **A** est un spectre de raies.

Il y a des bandes noires dans le spectre **D** car les radiations correspondantes ont été absorbées.

23 1. L'image **B** correspond au spectre de la lumière blanche (car il est continu et contient toutes les couleurs de l'arc-en-ciel).

2. Le spectre de la lumière blanche est un spectre continu.

24 1. La lampe **A** émet de la lumière grâce à un corps chaud.

2. L'autre lampe est une lampe à vapeur atomique : ce sont les atomes excités électriquement qui en se désexcitant émettent de la lumière.

25 1. Le filament est le plus chaud quand il émet une lumière blanche, donc sur l'image **A**.

2. La lumière blanche contient des radiations bleues, contrairement à la lumière rouge, c'est donc le filament de l'image **A** qui émet le plus de lumière bleue.

3. La lumière bleue correspond à des radiations de courtes longueurs d'onde, c'est le filament de l'image **B** qui émet le moins de radiations de courtes longueurs d'onde.

26 1. Comme les spectres d'émission de ces étoiles sont des spectres continus, on en déduit que la zone émettrice de ces lumières est constituée par des corps chauds.

2. Rigel qui apparaît bleue est plus chaude (en surface) que Bételgeuse qui est rouge.

3. Le spectre **A** contient davantage de lumière bleue et moins de lumière rouge que le spectre **B**. On peut en déduire que le spectre **A** est celui de Rigel tandis que le spectre **B** est celui de Bételgeuse.

27 1. La grandeur physique mesurée est la longueur d'onde.

2. Comme il n'apparaît qu'une raie sur le spectre, la lumière correspondante est monochromatique, c'est-à-dire constituée d'une unique radiation.

3. Ce spectre est celui d'une source laser.

28 On mesure la longueur d'onde de :

- la radiation violette $\lambda_{\text{violette}} \approx 435 \text{ nm}$;

- la radiation cyan $\lambda_{\text{cyan}} \approx 485 \text{ nm}$;

- la radiation rouge $\lambda_{\text{rouge}} \approx 655 \text{ nm}$.

On constate que ces trois raies se retrouvent dans le spectre d'une lampe à vapeur d'hydrogène : 436 nm, 486 nm et 655 nm, donc identiques aux valeurs mesurées (aux erreurs de mesure près).

On en déduit que le gaz renfermé dans l'ampoule est constitué d'atomes d'hydrogène.

29 1. Les deux raies violettes des deux spectres ont la même longueur d'onde $\lambda = 413 \text{ nm}$: la détermination de cette unique longueur d'onde ne permet pas d'identifier le gaz d'atomes émetteur.

2. Les raies vertes et rouges ne sont pas exactement alignées mais ont néanmoins des longueurs d'onde très proches (deux à deux). Pour les différencier, il faudra utiliser un spectromètre ayant une résolution suffisante.

3. On voit donc qu'une unique raie, dans le cas général, ne permet pas d'identifier un atome émetteur.

30 On peut réaliser le spectre* de la lumière délivrée par ces lampadaires et comparer les raies observées dans ce spectre à une banque de données spectrales comportant les raies caractéristiques du sodium. Si le spectre obtenu est le même que celui du sodium, ces lampes sont bien des lampes à vapeur de sodium.

* Si ce spectre n'est pas constitué de raies, les lampes ne peuvent pas être des lampes à vapeur.

Exercices similaires aux exercices résolus

■ p. 258 et 259

32 1. La deuxième loi de Snell-Descartes s'écrit pour le rayon cyan :

$$n_{\text{verre}} \cdot \sin i = n_{\text{air}} \cdot \sin i'$$

$$\text{d'où : } n_{\text{verre}} = n_{\text{air}} \cdot \frac{\sin i'}{\sin i}$$

Comme $n_{\text{air}} = 1$, $\hat{A} = i = 30,0^\circ$ et $i' = 53,6^\circ$,

alors $n_{\text{verre}} = \frac{\sin 53,6}{\sin 30,0}$, on trouve :

$$n_{\text{verre}} = 1,61$$

2. En observant les deux courbes, on constate que la valeur d'indice trouvée n'est compatible qu'avec le verre flint, les valeurs d'indice pour le verre crown étant toutes inférieures à 1,53.

Plus précisément, en reportant la valeur $n = 1,61$ sur la courbe du verre flint, on peut retrouver la valeur de longueur d'onde de la radiation cyan : $\lambda = 500 \text{ nm}$.

34 1. On mesure à la règle, entre les valeurs 560 nm et 665 nm, une longueur $\ell = 4,5 \text{ cm}$ soit $\ell = 45 \text{ mm}$, d'où le tableau de correspondance suivant :

Longueur ℓ (en mm)	Différence de longueur d'onde $\Delta\lambda$ (en nm)
45	105
1,0	2,33

$$665 - 560 = \mathbf{105} \text{ et } \frac{105}{45} \times 1,0 = 2,33.$$

L'axe des longueurs d'onde est donc gradué avec l'échelle : $1,0 \text{ mm} \Leftrightarrow 2,33 \text{ nm}$.

On mesure entre la graduation 560 et la raie orange, une longueur $\ell = 1,25 \text{ cm} = 12,5 \text{ mm}$ donc $\Delta\lambda = 12,5 \times 2,33 = 29 \text{ nm}$. On en déduit :

$$\lambda(\text{raie orange}) = 560 + 29$$

$$\lambda(\text{raie orange}) = 589 \text{ nm}$$

2. On mesure à la règle, entre les valeurs 585 nm et 590 nm, on trouve une longueur $\ell = 5,9 \text{ cm}$ soit $\ell = 59 \text{ mm}$, d'où le tableau de correspondance suivant :

Longueur ℓ (en mm)	Différence de longueur d'onde $\Delta\lambda$ (en nm)
59	5
1,0	0,085

$$590 - 585 = \mathbf{5} \text{ et } \frac{5}{59} \times 1,0 = 0,085.$$

L'axe des longueurs d'onde est donc gradué avec l'échelle : $1,0 \text{ mm} \Leftrightarrow 0,085 \text{ nm}$.

On mesure entre les deux raies, une longueur $\ell = 0,7 \text{ cm} = 7 \text{ mm}$ donc $\Delta\lambda = 7 \times 0,085 = 0,6 \text{ nm}$, c'est bien la valeur de l'écart donnée.

Croiser les notions

■ p. 260

35 1. Le Soleil délivre une lumière jaune alors que la lumière d'Arcturus est orange et celle d'Antarès est rouge. C'est donc le Soleil qui a sa température de surface la plus élevée. En effet, quand on chauffe de plus en plus un corps, la lumière émise passe - dans cet ordre - du rouge à l'orange, puis au jaune, etc.

2. On peut utiliser un spectroscope.

3. On peut déduire des couleurs des étoiles deux différences majeures entre leurs spectres :

- il y a davantage de lumière bleue dans le spectre du Soleil que dans les deux autres spectres (qui n'en contiennent quasiment pas) ;

- on pourrait observer des raies sombres sur chaque spectre, ces raies décrivent un code-barres spécifique à chaque spectre témoignant ainsi des différences de composition de l'atmosphère de chaque étoile.

36 1. On peut trouver dans un spectroscope soit un ou plusieurs prismes, soit un réseau.

2. La lumière émise par ces étoiles est polychromatique car on observe sur leur spectre plusieurs couleurs, donc plusieurs radiations de longueurs d'onde différentes.

3. Le spectre **A** contient davantage de bleu, donc davantage de radiations de courtes longueurs d'onde, l'étoile **A** qui a émis cette lumière est plus chaude que l'étoile **B**.

4. L'étoile **A** est blanche car elle est plus chaude que l'étoile **B** qui apparaît orange et dont le spectre contient moins de radiations de courtes longueurs d'onde (le violet et le bleu).

37 1. ① \Leftrightarrow source de lumière ② \Leftrightarrow fente

③ \Leftrightarrow lentille convergente

④ \Leftrightarrow prisme

⑤ \Leftrightarrow écran

⑥ \Leftrightarrow banc optique

2. La figure colorée sur l'écran est un spectre.

3. La lumière en sortie du prisme est déviée vers sa base, donc l'écran ne doit pas être positionné dans l'axe du banc optique.

4. Il s'agit d'un spectre continu, qui renseigne sur la nature de la source lumineuse : il s'agit d'un corps chauffé, par exemple le filament d'une lampe.

38 1. Un gaz atomique émet de la lumière s'il est excité, par exemple en étant soumis à une tension électrique, ce qui est le cas dans les lampes à vapeur atomique.

2. L'élément dispersif du montage est un réseau que l'on aurait pu remplacer par un prisme.

3. a. On obtient un spectre de raies car la source de lumière est un gaz (excité) comme l'indique le schéma.

b. Chaque raie est repérée par sa longueur d'onde λ , mesurée en nanomètre (nm).

c. Le spectre de chaque atome constitue une sorte de code-barres différent de tous les autres. On peut donc connaître la nature du gaz atomique émetteur en analysant son spectre. Un tel spectre constitue donc une carte d'identité du gaz atomique émetteur.

39 1. L'étoile qui rayonne le plus dans les courtes longueurs d'onde est celle dont le sommet de la courbe correspond à une petite valeur de longueur d'onde, il s'agit de l'étoile 1.

2. On en déduit que cette étoile a le spectre qui contient le plus de lumière bleue.

3. Comme la lumière de l'étoile 1 comporte davantage de radiations de courtes longueurs d'onde, alors c'est cette étoile qui a la température de surface la plus haute.

4. Canopus apparaît blanc-jaune et sa température de surface est de 6 000 °C : il s'agit de l'étoile 1 tandis qu'Antarès est l'étoile 2, plus froide et dont la lumière est rouge.

40 1. La grandeur représentée sur l'axe des ordonnées est l'intensité du rayonnement.

La grandeur représentée sur l'axe des abscisses est la longueur d'onde.

2. a. La lumière de la supernova est polychromatique puisque l'on observe différentes couleurs dans son profil spectral.

b. Le spectre est continu (on n'observe pas de raies de lumière), donc la lumière est émise par un corps chaud.

c. On observe que l'intensité du rayonnement est beaucoup plus grande dans le bleu que dans le rouge. Les observateurs qui ont eu la chance de voir la supernova en 1987 l'ont vu bleutée.

3. Comme le maximum du profil spectral du Soleil est décalé vers le rouge, le Soleil émet davantage de lumière rouge que de lumière bleue, contrairement à la supernova. On peut en déduire que la surface émettrice de la supernova a une température plus grande que celle du Soleil.

41 Antarès est une étoile rouge visible dans la constellation du scorpion.

L'étymologie d'Antarès - la rivale d'Arès, dieu de la guerre dans la mythologie grecque - rappelle que

l'on peut la confondre avec Mars, la planète rouge et dieu de la guerre chez les Romains, lorsque ces deux astres se retrouvent dans la même partie du ciel.

Ayant la même couleur, peut-on en déduire que leur température de surface est identique ?

Justifier la réponse.

Corrigé :

Mars est une planète et à ce titre ne produit pas sa propre lumière (on dit que c'est une source de lumière secondaire). Si elle est vue rouge, c'est qu'elle diffuse une partie de la lumière solaire qu'elle reçoit (la partie rouge justement !).

Par conséquent, il n'y a aucun rapport entre sa couleur et sa température de surface. On peut sans se tromper dire que la surface émettrice d'Antarès est beaucoup plus chaude que celle de Mars puisqu'une étoile est toujours plus chaude qu'une planète (en surface mais aussi en profondeur).

42 1. La lumière d'un laser est monochromatique (en plus d'être très directive).

2. Le laser de Chemcam sert à chauffer brutalement les roches qu'il atteint dans le but de les vaporiser* superficiellement. Ceci est possible grâce à la grande puissance du laser (une grande énergie délivrée pendant un temps très court), concentrée sur une petite surface du fait de la grande directivité du laser.

3. Le spectromètre analyse la lumière émise par les vapeurs atomiques de roche.

4. Comme la lumière est émise par des gaz excités, les spectres obtenus sont des spectres de raies.

5. Les pics du profil spectral correspondent à des raies différentes. On observe que les raies A, D, E, F ont respectivement ces longueurs d'onde (en nm) : 423, 443, 444, 446.

Ces raies sont des raies d'émission de l'élément calcium. On en déduit que la roche martienne analysée contient du calcium.

6. La présence d'autres raies (C et D ou B et C) indique que la roche est constituée d'autre(s) élément(s) chimique(s).

* Il serait plus rigoureux de dire sublimer.

43 > **Démarche avancée**

Quand on observe le panache depuis sa base (à la sortie du cratère) jusqu'à son point le plus haut, on observe que la lave est successivement blanche, puis jaune, puis rouge.

On peut déduire des observations précédentes que lorsque la lave s'éloigne de la chambre magmatique, sa couleur évolue du blanc (centre du panache) au jaune (zone intermédiaire) jusqu'au rouge en périphérie.

La lave change de couleur car elle se refroidit au cours de son ascension au sein du panache. En effet, en même temps qu'elle s'éloigne de la source initiale de chaleur (la chambre magmatique), elle est refroidie par l'air. Et on sait que la lumière, initialement blanche, émise par un corps chaud passe ensuite au jaune, puis au rouge au fur et à mesure que le corps se refroidit.

► Démarche élémentaire

1. Quand on observe le panache depuis sa base (à la sortie du cratère) jusqu'à son point le plus haut, on observe que la lave est successivement blanche, puis jaune, puis rouge.

2. Au centre du panache, la lave est blanche. En périphérie, elle est rouge et dans la zone intermédiaire, elle est jaune.

3. Au cours de son ascension, la lave s'éloigne de la chambre magmatique.

4. La lave change de couleur car elle se refroidit au cours de son ascension au sein du panache.

En effet, en même temps qu'elle s'éloigne de la source initiale de chaleur (la chambre magmatique), elle est refroidie par l'air. Et on sait que la lumière, initialement blanche, émise par un corps chaud passe ensuite au jaune, puis au rouge au fur et à mesure que le corps se refroidit.

44 1. Comme la distance entre deux raies est proportionnelle à la différence entre les longueurs d'onde correspondantes, on peut écrire :

$$\frac{\lambda_{\text{verte}} - \lambda_{\text{bleue}}}{d_{\text{verte-bleue}}} = \frac{\lambda_{\text{rouge}} - \lambda_{\text{bleue}}}{d_{\text{rouge-bleue}}} = k$$

k ayant mathématiquement valeur de *coefficient de proportionnalité* et physiquement valeur de *échelle*.

Pour déterminer l'échelle :

- on mesure à la règle la distance entre la raie rouge et la raie bleue :

$$d_{\text{rouge-bleue}} = 7,1 \text{ cm} = 71 \text{ mm}$$

- on calcule à partir des données :

$$\lambda_{\text{rouge}} - \lambda_{\text{bleue}} = 610 - 460 = 150 \text{ nm}$$

$$k = \frac{\lambda_{\text{rouge}} - \lambda_{\text{bleue}}}{d_{\text{rouge-bleue}}} = \frac{150}{71} = 2,1$$

ce que l'on écrit : $2,1 \text{ nm} \Leftrightarrow 1 \text{ mm}$.

On mesure la distance entre la raie verte et la raie bleue :

$$d_{\text{verte-bleue}} = 1,7 \text{ cm} = 17 \text{ mm}$$

$$\frac{\lambda_{\text{verte}} - \lambda_{\text{bleue}}}{d_{\text{verte-bleue}}} = k$$

donc $\lambda_{\text{verte}} - \lambda_{\text{bleue}} = k \cdot d_{\text{verte-bleue}}$
d'où $\lambda_{\text{verte}} = k \cdot d_{\text{verte-bleue}} + \lambda_{\text{bleue}}$

$$\lambda_{\text{verte}} = 2,1 \times 17 + 460$$

$$\lambda_{\text{verte}} = 496 \text{ nm}$$

2. On constate que la raie rouge est à droite de la raie violette sur le spectre, ce qui correspond au spectre d'ordre 1.

45 a. Lorsque l'on utilise un réseau comme élément dispersif, on obtient plusieurs spectres, ce qui n'est pas le cas du prisme (obtention d'un seul spectre).

b. On constate que pour un spectre d'ordre donné (par exemple, le spectre d'ordre 1), les radiations violettes sont moins déviées que les radiations rouges puisqu'elles sont plus proches de l'image centrale de la fente.

c. L'ensemble de la lumière dispersée se répartit sur une surface d'écran plus grande que celle éclairée à la sortie d'un prisme puisqu'avec un réseau, on obtient plusieurs spectres : ces spectres sont donc moins lumineux que l'unique spectre obtenu à l'aide d'un prisme.

On remarque par ailleurs que, dans le cas du réseau, les spectres d'ordre 2 et -2 sont moins lumineux que les spectres d'ordre 1 et -1.

d. Avec un prisme ou un réseau, pour mieux séparer deux raies de longueurs d'onde proches, il faut chercher à augmenter la dispersion de la lumière.

- Avec un réseau, il vaut mieux utiliser le spectre d'ordre 2 (s'il est suffisamment lumineux) puisque la dispersion de la lumière y est plus grande, ce que l'on observe sur la figure : ce spectre s'étale en largeur davantage que le spectre d'ordre 1.

- Avec un prisme, pour que la dispersion soit plus importante, il faut utiliser un verre dont l'indice varie beaucoup avec la longueur d'onde, donc il faut préférer un verre flint à un verre crown.

EXEMPLE D'EXPOSÉ ORAL

On note trois différences majeures entre les spectres obtenus par dispersion de la lumière à l'aide d'un prisme et ceux obtenus à l'aide d'un réseau :

- un prisme ne produit qu'un seul spectre, alors qu'un réseau permet d'obtenir plusieurs spectres répartis symétriquement de part et d'autre de l'image centrale (blanche) de la fente.

Les plus proches de la fente sont dits spectres d'ordre 1 et -1, puis plus loin, on peut trouver les spectres d'ordre 2 et -2, etc ;

- les radiations violettes sont plus déviées par un prisme que les radiations rouges, c'est le contraire avec un réseau ;

- les spectres obtenus à l'aide d'un prisme sont plus lumineux que ceux obtenus avec un réseau (d'autant plus pour les ordres élevés) car la surface d'écran éclairée par les spectres de réseaux est plus grande que celle éclairée par le spectre d'un prisme.

On utilise les prismes et les réseaux dans des spectroscopes dont une des qualités recherchées (appelée résolution) est de pouvoir séparer des raies de longueurs d'onde proches qui, dans le cas contraire, se touchent et se confondent en une unique raie. Pour augmenter la résolution d'un spectroscopie, il faut augmenter la dispersion de la lumière :

- dans le cas d'un prisme, on choisira un verre dont l'indice varie beaucoup avec la longueur d'onde (verre flint) ;

- dans le cas d'un réseau, on observera les ordres élevés du spectre (l'ordre 2 par exemple s'il est assez lumineux) car le spectre de ces ordres est plus étalé en largeur, donc des raies proches ont plus de chance d'être séparées.

46 Il est délicat de donner une explication d'un phénomène particulier si l'on ne connaît pas précisément les conditions dans lesquelles il est observé. L'image proposée montre un « cercle en ciel », c'est-à-dire un halo coloré qui entoure l'ombre d'un randonneur, projetée sur un voile de brouillard.

Le Soleil est par conséquent dans le dos de l'observateur. On peut supposer par analogie que la production de ce halo coloré s'explique (au moins en partie) de la même façon que celle d'un arc-en-ciel : les gouttelettes d'eau (beaucoup plus petites dans le cas d'un brouillard que dans le cas de la pluie) joueraient le rôle d'un prisme en dispersant la lumière solaire par réflexion. Plus précisément, il y aurait deux réflexions et une réflexion au sein des gouttelettes pour expliquer que le halo est visible à l'opposé du Soleil (au contraire du cas d'un « halo solaire » qui est visible autour de l'image du Soleil). Dans tous les cas, quels que soient les mécanismes de production du phénomène, il met en évidence que la lumière blanche émise par le Soleil est polychromatique, c'est-à-dire composée de plusieurs lumières colorées superposées (dites couleurs de l'arc-en-ciel) ou plus précisément, de multiples radiations superposées dont la longueur d'onde varie continûment.

Informations supplémentaires :

Deux particularités du phénomène amènent à penser qu'il ne s'explique pas simplement par la réflexion et la réflexion de la lumière au sein des gouttelettes d'eau :

- l'ouverture angulaire du halo observé est voisine de 10° , donc plus faible que celle de l'arc-en-ciel primaire (41°) ;

- le diamètre du halo dépend du diamètre des gouttelettes : plus elles sont petites, plus le halo a une ouverture importante. On ne retrouve pas la même dépendance pour l'arc-en-ciel.

En fait, l'arc-en-ciel est engendré par des gouttes dont le diamètre est de l'ordre du millimètre et sa formation s'explique simplement à l'aide de l'optique géométrique. En revanche, pour les spectres de Brocken, les gouttelettes ont un diamètre de l'ordre de $10 \mu\text{m}$ (donc « proche » des longueurs d'onde du spectre du visible) et la nature ondulatoire de la lumière ne peut plus être négligée dans ce cas-là : le phénomène s'explique par la *diffusion de Mie*, dont la théorie est difficile.

On pourra donc utiliser cet exercice pour mettre en évidence toute la prudence que doit manifester le scientifique lorsqu'il cherche à expliquer un phénomène : ici, le raisonnement analogique montre ses limites !

Acquérir des compétences p. 263

47 > Le problème à résoudre

On cherche à séparer au mieux deux raies voisines dont les longueurs d'onde sont comprises dans l'intervalle 450-500 nm. Pour cela, il faut avoir la plus grande dispersion possible, donc utiliser le verre le plus dispersif, c'est-à-dire celui dont le pouvoir dispersif est le plus grand.

Pour chacun des verres, on calcule la variation d'indice optique Δn correspondant à $\Delta \lambda$ (**doc. 1**) :

$$\Delta \lambda = 500 - 450 = 50 \text{ nm}$$

- Pour le verre crown (**doc. 2**), on lit sur la courbe $n(\lambda = 450 \text{ nm}) \approx 1,519$ et $n(\lambda = 500 \text{ nm}) = 1,515$. Donc : Δn (verre crown) = $1,519 - 1,515 = 0,004$.

- Pour le verre flint (**doc. 3**), on utilise la formule

$$n = 1,589 + \frac{10,20 \times 10^3}{\lambda^2} :$$

$$n(\lambda = 450 \text{ nm}) = 1,589 + \frac{10,20 \times 10^3}{450^2}$$

$$n(\lambda = 450 \text{ nm}) = 1,639$$

$$n(\lambda = 500 \text{ nm}) = 1,589 + \frac{10,20 \times 10^3}{500^2}$$

$$n(\lambda = 500 \text{ nm}) = 1,589$$

Donc Δn (verre flint) = $1,639 - 1,589 = 0,050$.

Comme Δn (verre flint) > Δn (verre crown), c'est le verre flint qu'il faut utiliser.

48 ■ Lien url

Ce lien fait référence au site :

<http://www.physagreg.fr/animations.php>

Il permet d'identifier par comparaison avec les spectres d'une base de données, la composition chimique d'une étoile à partir de son spectre.

>Analyse

1. La photosphère est la surface de l'étoile émettrice de la lumière.

La chromosphère est l'atmosphère de l'étoile, entourant la photosphère.

2. a. Le spectre de la lumière de l'étoile à la sortie de la photosphère est un spectre d'émission continu.

b. À la sortie de la chromosphère, le spectre contient des raies plus sombres.

3. On constate que les raies absorbées par un gaz ont les mêmes longueurs d'onde que celles que ce même gaz émet quand il est excité.

4. On coche les différents atomes de telle sorte à ce que les raies d'émission qui apparaissent sur le spectre du haut correspondent aux raies sombres du spectre de Deneb (en dessous).

On en déduit les atomes présents dans la chromosphère de l'étoile : argon, fer, sodium, titane (voir document ci-dessous).

› Synthèse

Pour connaître la composition de l'atmosphère d'une étoile (appelée chromosphère) :

- on réalise le spectre de cette étoile ;
- on observe des raies sombres dans ce spectre et on en note les longueurs d'onde ;
- on cherche dans une banque de données, regroupant les raies spectrales de tous les atomes, les raies dont les longueurs d'onde sont identiques aux précédentes ;
- on en déduit ainsi les atomes présents dans la chromosphère de l'étoile.

Spectroscopie et astrophysique

49 › Démarche experte

Le **document 1** permet de déterminer la distance d , on a besoin de connaître la vitesse de la galaxie.

La formule donnée dans le **document 1** permet de déduire la vitesse, et les longueurs d'onde sont fournies dans le **document 3**.

D'après le **document 3**, on constate que $\lambda_E(H_{\alpha}) < \lambda_R(H_{\alpha})$ ($656,3 \text{ nm} < 658,5 \text{ nm}$), donc la galaxie NGC1808 s'éloigne de la Terre (**Doc. 1**).

Par ailleurs, d'après le **document 1**, pour une galaxie qui s'éloigne à la vitesse v , on peut écrire :

$$\lambda_R - \lambda_E = \frac{v}{c} \cdot \lambda_E$$

où c est la vitesse de la lumière dans le vide.

En isolant v , on a : $v = c \cdot \frac{\lambda_R - \lambda_E}{\lambda_E}$.

Sachant que $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, on calcule v :

$$v = 3,00 \times 10^8 \times \frac{658,5 - 656,3}{656,3}$$

$$v = 1,01 \times 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Or la loi de Hubble indique (**doc. 2**) que la vitesse v d'une galaxie est proportionnelle à la distance d qui nous en sépare :

$$v = H_0 \cdot d$$

le coefficient de proportionnalité étant la constante de Hubble H_0 .

On peut donc utiliser cette loi pour calculer d :

$$d = \frac{v}{H_0}$$

$$d = \frac{1,01 \times 10^6}{2,3 \times 10^{-18}}$$

$$d = 4,4 \times 10^{23} \text{ m} = \frac{4,4 \times 10^{63}}{9,5 \times 10^{15}} \text{ a.l.} = 4,6 \times 10^7 \text{ a.l.}$$

soit 46 millions d'années-lumière.

> Démarche avancée

1. D'après le **document 3**, on constate que $\lambda_E(H_\alpha) < \lambda_R(H_\alpha)$ ($656,3 \text{ nm} < 658,5 \text{ nm}$), donc la galaxie NGC1808 s'éloigne de la Terre (**Doc. 1**).

2. D'après le **document 1**, pour une galaxie qui s'éloigne à la vitesse v , on peut écrire :

$$\lambda_R - \lambda_E = \frac{v}{c} \cdot \lambda_E$$

où c est la vitesse de la lumière dans le vide.

$$\text{En isolant } v, \text{ on a : } v = c \cdot \frac{\lambda_R - \lambda_E}{\lambda_E}$$

Sachant que $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, on calcule v :

$$v = 3,00 \times 10^8 \times \frac{658,5 - 656,3}{656,3}$$

$$v = 1,01 \times 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

3. La loi de Hubble indique (**doc. 2**) que la vitesse v d'une galaxie est proportionnelle à la distance d qui nous en sépare :

$$v = H_0 \cdot d$$

le coefficient de proportionnalité étant la constante de Hubble H_0 .

$$d = \frac{v}{H_0}$$

$$d = \frac{1,01 \times 10^6}{2,3 \times 10^{-18}}$$

$$d = 4,4 \times 10^{23} \text{ m} = \frac{4,4 \times 10^{63}}{9,5 \times 10^{15}} \text{ a.l.} = 4,6 \times 10^7 \text{ a.l.}$$

soit 46 millions d'années-lumière.

50 1. On utilise le logiciel libre *LibreOffice Calc*.

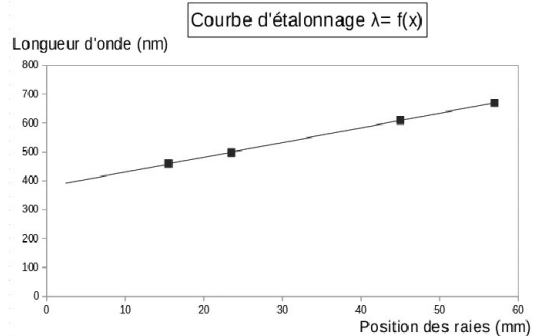
a. On remplit un tableau de mesures : voir ci-dessous.

	A	B
1	position x (mm)	Longueur d'onde λ (nm)
2	2,5	
3	6	
4	9	
5	15,5	460
6	23,5	497
7	45	610
8	57	670

On constate que certaines valeurs de longueurs d'onde sont manquantes.

Par défaut, la première colonne regroupe les valeurs portées en abscisses tandis que la deuxième colonne représente les ordonnées.

On obtient la courbe d'étalonnage $\lambda = f(x)$ représentée ci-dessous :



b. On peut faire apparaître l'équation de la courbe de tendance :

$$f(x) = 5,10x + 379,33$$

2. On ajoute dans le tableau précédent de *LibreOffice Calc* les valeurs des positions des raies numérotées de 1 à 5, puis on saisit dans la cellule **B9** l'équation de la courbe de tendance comme ci-dessous :

	A	B	C
1	Position x (mm)	Longueur d'onde λ (nm)	Raies numérotées
2	2,5		
3	6		
4	9		
5	15,5	460	
6	23,5	497	
7	45	610	
8	57	670	
9	6	= 5,1*A9 + 379	1
10	11	435,1	2
11	21	486,1	3
12	54	654,4	4
13	65	710,5	5

En « étirant » la cellule **B9** jusqu'à la cellule **B13**, le tableau calcule les autres valeurs de longueurs d'onde :

	A	B	C
1	Position x (mm)	Longueur d'onde λ (nm)	Raies numérotées
2	2,5		
3	6		
4	9		
5	15,5	460	
6	23,5	497	
7	45	610	
8	57	670	
9	6	409,6	1
10	11	435,1	2
11	21	486,1	3
12	54	654,4	4
13	65	710,5	5

3. On compare ces valeurs à celles des données de l'exercice : les raies numérotées de 1 à 4 sont les raies de l'hydrogène H. On en déduit que l'atmosphère de Véga contient de l'hydrogène.

