

Compétences

Voici les compétences que vous devez acquérir à l'issue de ce cours :

- Décrire et expliquer le phénomène de dispersion de la lumière par le prisme ;
- 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.

Correction des exercices du chapitre 16

QCM p. 240

- La valeur de la vitesse de la lumière dans l'air est : (A) $3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Explication : cette valeur est très proche de celle du vide.
- La valeur de la vitesse de la lumière dans le vide est : (A) la plus grande existante ; (C) constante.
- Sur quel schéma la réflexion d'un rayon lumineux à la surface air-eau est-elle représentée ? Schémas (B) et (C).
- L'angle de réflexion : (A) est égal à l'angle d'incidence ; (B) est défini par rapport à la normale.
- Sur quel schéma la réfraction d'un rayon lumineux à la surface air-eau est-elle représentée ? (A) et (C). Explication : le rayon lumineux passe « de l'autre côté » de la normale, donc (C) faux ; à l'entrée dans l'eau, milieu plus réfringent (d'indice plus fort), le rayon se rapproche de la normale, l'angle de réfraction est plus faible que l'angle d'incidence, schéma (A) ; à la sortie de l'eau, passage dans l'air, milieu moins réfringent (d'indice plus faible), le rayon s'éloigne de la normale, l'angle de réfraction est plus grand que l'angle d'incidence, schéma (C).
- Sur le schéma, on mesure : (C) uniquement l'angle de réfraction.
- Pour la situation précédente, la loi de la réfraction peut s'écrire : (A) $n_1 \times \sin i = n_2 \times \sin r$; (C) $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1}$. Explication : un produit en croix.
- L'indice de réfraction n d'un milieu transparent : (A) est sans unité.
- Pour déterminer l'indice de réfraction n d'un milieu transparent : (A) on utilise la loi de Snell-Descartes pour la réfraction ; (C) on représente l'évolution de $\sin i$ en fonction de $\sin r$. Explication pour le (C) : il faut mesurer la pente de la droite représentée :

$$\sin i = n \times \sin r \quad \text{donc} \quad \frac{\sin i}{\sin r} = n$$

Exercices p. 241

16.1 n° 10 p. 241 – Propagation rectiligne

Pour comparer à la vitesse de la lumière, on forme le quotient de deux vitesses avec la même unité ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) :

$$\frac{c}{v} = \frac{3,00 \times 10^8}{980} = 3,06 \times 10^5 \sim 10^5$$

On constate cinq ordres de grandeur de différence entre les vitesses.

16.2 n° 12 p. 241 – Lois de Snell-Descartes

- Le milieu 1 est l'air, d'indice $n_1 = 1,00$, donné au début des énoncés (en haut de la page 241) ;
Le milieu 2 est le plexiglass, d'indice $n_2 > 1$, non indiqué par l'énoncé.
- ① est le rayon incident ; ② est le rayon réfléchi, toujours présent ; ③ est le rayon réfracté.
- Les angles d'incidence i et de réflexion i' sont égaux, et valent 30° ;
L'angle de réfraction r vaut 20° environ, il est plus petit que l'angle d'incidence, $r < i$ car la lumière passe d'un milieu moins réfringent à un milieu plus réfringent (l'indice du milieu 2 est plus élevé que celui du milieu 1 : $n_2 > n_1$).

16.3 n° 13 p. 241 – Lois de Snell-Descartes

Le milieu 1 est l'air, d'indice $n_1 = 1,00$; le milieu 2 est l'eau, d'indice $n_2 = 1,33$; l'angle d'incidence est noté i_1 et vaut 50° par rapport à la normale ; l'angle de réfraction est noté i_2 et peut être trouvé grâce à la loi de Snell-Descartes pour la réfraction :

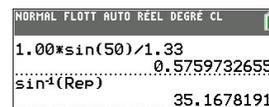
$$n_1 \times \sin i_1 = n_2 \times \sin i_2 \quad \text{donc} \quad \sin i_2 = \frac{n_1 \times \sin i_1}{n_2}$$

Application numérique (bien vérifier que la calculatrice est en degrés!) :

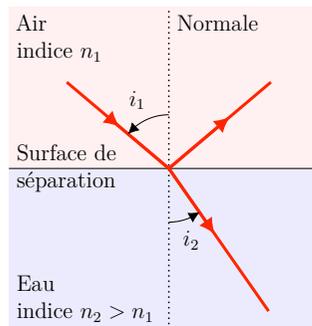
$$\sin i_2 = \frac{1,00 \times \sin 50^\circ}{1,33} = 0,576$$

Pour trouver l'angle i_2 , on calcule à la calculatrice la fonction réciproque de la fonction sinus, qui se trouve être la fonction Arc sinus (notée asin ou \sin^{-1} sur certaines calculatrices) :

$$i_2 = 35,2^\circ$$



Un schéma avec les angles au rapporteur est systématiquement exigé :



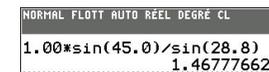
16.4 n° 16 p. 241 – Indice de réfraction

Le milieu 1 est l'air, d'indice $n_1 = 1,00$; le milieu 2 est l'huile, d'indice n_2 inconnu ; l'angle d'incidence est noté i et vaut $45,0^\circ$ par rapport à la normale ; l'angle de réfraction est noté r et vaut $28,8^\circ$. L'indice de l'huile peut être trouvé grâce à la loi de Snell-Descartes pour la réfraction :

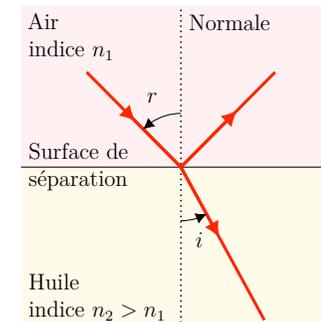
$$n_1 \times \sin i = n_2 \times \sin r \quad \text{donc} \quad n_2 = \frac{n_1 \times \sin i}{\sin r}$$

Application numérique :

$$n_2 = \frac{1,00 \times \sin 45,0^\circ}{\sin 28,8^\circ} = 1,47$$



L'indice est un nombre sans unité. Le schéma est toujours de rigueur :



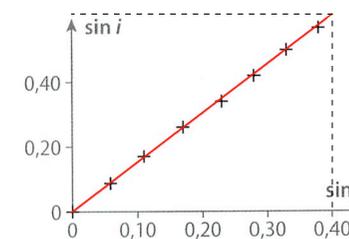
16.5 n° 18 p. 241 – Indice de réfraction

Pour déterminer l'indice de réfraction du verre crown (un type de verre particulier), il faut utiliser la loi de Snell-Descartes pour la réfraction, avec $n_1 = 1,00$ l'indice de l'air et n_2 l'indice inconnu du verre crown :

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r \quad \text{donc} \quad n_2 = \frac{n_1 \sin i}{\sin r}$$

On mesure la pente de la droite d'interpolation moyenne, relation linéaire de la forme $y = ax$. L'échelle utilisée sur le livre est de 2,0 cm pour 0,40 en ordonnée, ceci permet de trouver la valeur de $\sin i$ qui ne tombe pas sur une graduation :

$$\sin r = 0,40 \quad \text{et} \quad \sin i = \frac{0,40}{2,0} \times 3,1 = 0,62$$



$$\Rightarrow n_2 = \frac{n_1 \times \sin i}{\sin r} = \frac{1,00 \times 0,62}{0,40} = 1,6$$

1 Quelle est la nature de la lumière ?

1.1 Spectre de la lumière blanche

Le spectre de la lumière peut être obtenu avec un prisme : c'est l'expérience de NEWTON, représentée figure ci-dessous.

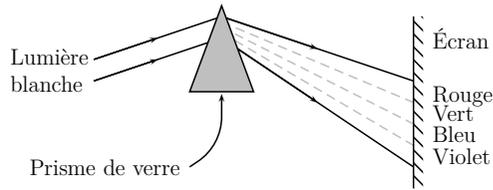


FIG. 1 – Dispersion de la lumière blanche.

- Que remarque-t-on en sortie du prisme ? Quelle est la couleur la plus déviée ?
- Qu'observe-t-on si on réalise l'expérience précédente avec un LASER ?

1.2 Interprétation

- La lumière blanche est dite **polychromatique** car elle peut être dispersée par un prisme ou un réseau (du grec *poly* : plusieurs, et *chroma* : couleur).
- Un LASER émet une radiation **monochromatique**. Elle ne peut pas être dispersée par un prisme. Elle contient une seule couleur (rouge en général, mais il existe aussi des LASERS bleus ou même infrarouges, comme dans les lecteurs de CD).

On peut donc dire que la lumière blanche, issue soit du Soleil soit d'une ampoule à incandescence, est composée d'une infinité de radiations monochromatiques.

1.3 Dualité

La lumière peut être décrite de deux manières distinctes, mais complémentaires. Cette **dualité** a longtemps gêné les scientifiques, chacun défendant l'un ou l'autre des aspects de la lumière, *in fine* complémentaires.

- La lumière est constituée de **photons**, petits grains d'énergie \mathcal{E} différente suivant la couleur.
- La lumière est constituée d'**ondes**, de longueur caractéristique appelée **longueur d'onde** λ , différente suivant la couleur :

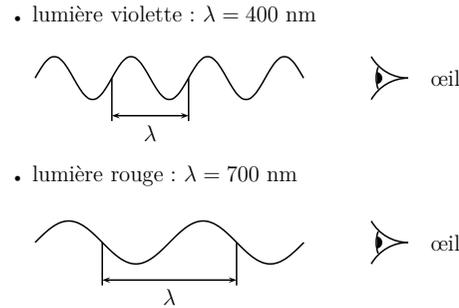


FIG. 2 – Longueurs d'ondes extrêmes du visible.

La relation entre la longueur d'onde d'une lumière monochromatique et la perception physiologique dépend des facultés visuelles de chacun ; cependant, on peut donner une correspondance grossière, indiquée dans le tableau 1 ci-après.

λ_0	Couleur
380 à 450 nm	violet
450 à 520 nm	bleu
520 à 560 nm	vert
560 à 600 nm	jaune
600 à 625 nm	orange
625 à 780 nm	rouge

TAB. 1 – Lien entre longueur d'onde et couleur.

Le domaine du visible est bordé par les **infrarouges** et les **ultraviolets**, radiations auxquelles l'œil n'est pas sensible. La sensibilité maximale de l'œil se situe dans le jaune, comme résultat de l'adaptation de notre capteur à la lumière reçue du Soleil à la surface de la Terre.

Définition

Domaine des radiations visibles :

$$380 \text{ nm} \leq \lambda \leq 780 \text{ nm}$$

2 Les raies spectrales renseignent sur la structure intime des atomes (LE Grand Secret)

Toutes les illustrations (en couleurs) sont regroupées page suivante.

2.1 Le rayonnement thermique

Tout corps rayonne des radiations, dont la longueur d'onde moyenne ne dépend que de la **température** du corps considéré. Quand le corps est suffisamment chaud, le rayonnement est dans l'infrarouge, voir même dans le domaine visible si le corps est très chaud.

Ce phénomène est appelé **rayonnement thermique**. Une application de ce phénomène est qu'il suffit de chauffer un corps à suffisamment haute température, pour obtenir une source de lumière. C'est là le principe des ampoules à filament incandescent.

Le spectre obtenu en analysant une telle source de lumière est un spectre **continu**.

2.2 Les spectres de raies

Lorsque les atomes ou les ions d'un gaz sous faibles pressions sont **excités**, soit par chauffage soit par décharges électriques, ces entités peuvent se **désexciter** en émettant de la lumière. Le spectre obtenu est composé d'un nombre **fini** de radiations **monochromatiques** bien distinctes, qu'on visualise sous forme de **raies**.

Définition

Le spectre de la lumière émise par un gaz sous faible pression et à haute température est un spectre de raies d'émission.

À contrario, lorsque des radiations lumineuses traversent un gaz froid et sous faible pression, certaines radiations peuvent être **absorbées**. Si le spectre du rayonnement incident est **continu**, il est am-

puté de certaines raies après passage à travers le gaz considéré.

Définition

Le spectre de la lumière qui a traversé un gaz sous faible pression et à basse température est un spectre de raies d'absorption.

Dans le spectre de raies d'absorption obtenu, les radiations absorbées sont de même longueur d'onde que celle que le gaz émettrait s'il était chaud.

Définition

Chaque élément chimique (atome ou ion) possède un spectre de raies d'émission ou d'absorption unique, ce qui permet de l'identifier.

2.3 Composition chimique d'une étoile

L'atmosphère ou **chromosphère** d'une étoile peut être assimilée à une couche de gaz sous basse pression. Lorsque la lumière émise par la **photosphère** traverse cette couche, les atomes ou les ions présents **absorbent** un certain nombre de radiations.

Définition

Les éléments chimiques de l'atmosphère d'une étoile sont identifiés par les raies d'absorption présentes dans le spectre de la lumière stellaire.

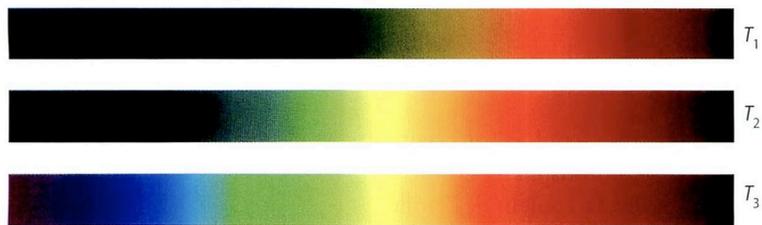


FIG. 3 – Spectres d'émission d'un filament dont la température augmente ($T_3 > T_2 > T_1$).

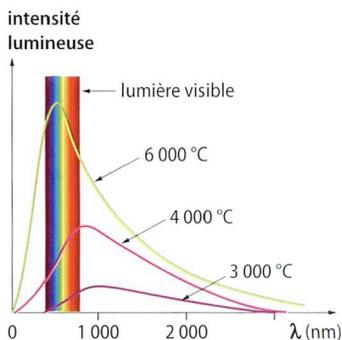


FIG. 4 – Intensité lumineuse en fonction de la température. À 6000 °C, maximum d'émission dans le bleu, à 4000 °C, dans le rouge.

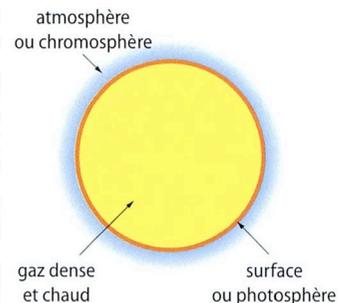


FIG. 6 – Structure d'une étoile tel que le Soleil.

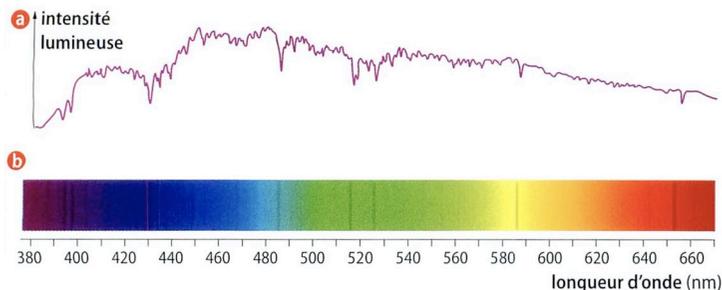


FIG. 8 – Spectre solaire : (a) intensité lumineuse en fonction de la longueur d'onde ; (b) spectre coloré.

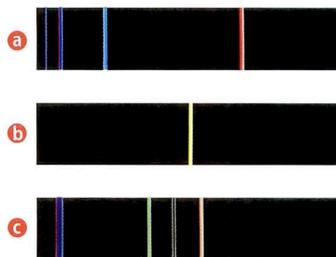


FIG. 5 – Spectres d'émission de lampes à décharge électrique contenant un gaz (a) hydrogène ou des vapeurs métalliques (b) sodium et (c) mercure).

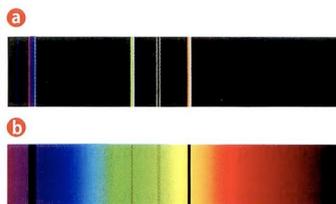


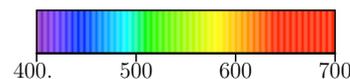
FIG. 7 – Exemples de spectres d'émission (a) et d'absorption (b) du mercure.

RÉSUMÉ

Rayonnement thermique Tout corps rayonne des radiations, dont la longueur d'onde moyenne ne dépend que de la température du corps considéré. Quand le corps est suffisamment chaud, le rayonnement est dans l'infrarouge, voir même dans le domaine visible si le corps est très chaud.

Ce phénomène est appelé rayonnement thermique. Une application de ce phénomène est qu'il suffit de chauffer un corps à suffisamment haute température, pour obtenir une source de lumière. C'est là le principe des ampoules à filament incandescent.

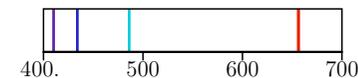
Spectre continu Les radiations émises par rayonnement thermique forment un spectre continu.



Spectre de raies Lorsque les atomes, ions ou molécules d'un corps sont excités soit par chauffage soit par la circulation d'un courant, ces entités peuvent émettre des radiations par un mécanisme appelé *émission induite*.

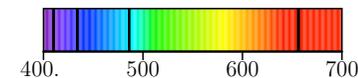
Ce mode d'émission de radiations est différent du

rayonnement thermique. Le spectre obtenu est uniquement formé de raies monochromatiques :



Un tel spectre de raies est caractéristique de l'élément considéré.

Spectre d'absorption Lorsque des radiations lumineuses traversent un corps, ses atomes, ions ou molécules peuvent absorber *sélectivement* certaines radiations bien précises, selon un mécanisme appelé *absorption induite*. Si le spectre du rayonnement incident était continu, il est amputé de certaines raies monochromatiques après passage au travers du corps considéré :



Ces raies sont appelées raies d'absorption, elles sont exactement complémentaires des raies d'émission que l'on peut obtenir avec le corps considéré.

EXERCICES

Faites les exercices impairs pour la prochaine fois. L'exercice pair qui suit est corrigé et du même type que l'exercice impair.

Rayonnement thermique

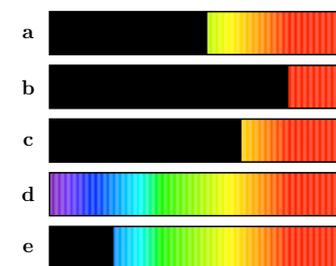
17.1 Filament d'une lampe de poche

On observe l'éclat de la lumière émise par une lampe de poche, au fur et à mesure de l'usure de la pile qui l'alimente. On note les observations suivantes :

Pile	neuve	10 min	30 min	1 h	2 h
Lumière émise	Blanc	Jaune-blanc	Jaune	Orange	Rouge-orangé

À l'aide d'un spectroscope, on analyse la lumière émise par le filament aux différents stades d'usure de la pile précédents. Les spectres obtenus sont reproduits ci-contre, et notés a, b, et cetera jusqu'à e.

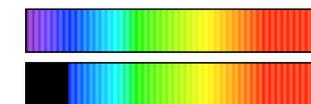
1. Classez les cinq spectres a, b, c, d et e dans l'ordre croissant de la température du filament.
2. Les spectres ont été malencontreusement mélangés ; sauriez-vous les remettre dans l'ordre d'usure de la pile ?



17.2 Lampe halogène

Le filament d'une lampe à incandescence classique a une température voisine de 2600 °C. Celui d'une lampe « halogène » a une température voisine de 3200 °C.

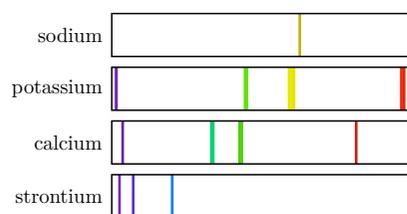
- a. On observe les spectres de chacune de ces deux lampes. Associer chaque spectre à la lampe concernée.



- b. Une lampe halogène éclaire plus fort qu'une lampe classique, à consommation égale. Expliquer pourquoi.

17.3 Spectres et éléments

On donne les spectres de quelques éléments :



On pulvérise dans la flamme d'un Bec Bunsen une solution contenant deux des éléments précédents. En observant la flamme avec un spectroscopie, on obtient le spectre suivant :



Quels éléments parmi le sodium, le potassium, le calcium et le strontium ce spectre permet-il d'identifier ?

17.4 Spectres du zinc et du mercure

1. Le document ci-dessous reproduit le spectre émis par la vapeur de zinc.



- Est-ce un spectre d'émission ou d'absorption ?
- Quelle est la grandeur représentée sur le segment gradué ? L'unité n'est pas précisée : quelle est-elle ?
- Déterminer la valeur de la plus petite longueur d'onde des raies du spectre, située dans le bleu, le plus à gauche.
- Même question pour la plus grande longueur d'onde, située dans le rouge, le plus à droite.

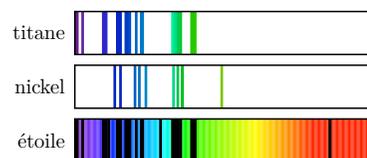
2. Le document ci-dessous reproduit le spectre émis par la vapeur de mercure.



- Nous avons indiqué dans le cours qu'un spectre est caractéristique de l'élément considéré ; justifiez cette affirmation, en vous basant sur une comparaison des spectres du mercure et du zinc.
- Pour obtenir ces spectres, il a été nécessaire de placer les éléments zinc et mercure, qui sont des métaux, sous forme d'une vapeur (les métaux sont alors dans l'état gazeux, en suspension dans l'air). Pourquoi ?
- Quelle serait l'allure du spectre, si on mélangeait les vapeurs de zinc et de mercure ?

Spectres d'absorption**17.5 Titane ou nickel dans l'étoile**

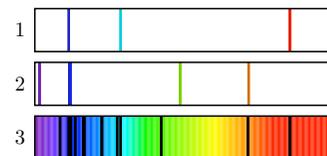
Les figures ci-dessous donnent les spectres de deux éléments, le titane et le nickel, et le spectre de la lumière émise par une étoile. Tous les spectres sont réalisés dans les mêmes conditions et avec les mêmes réglages.



Le spectre de la lumière émise par l'étoile montre-t-il la présence de titane dans l'atmosphère de l'étoile ? De nickel ? Justifier les réponses.

17.6 Raies d'émission et spectre stellaire

Les figures 1 et 2 ci-dessous représentent, à la même échelle, les raies d'émission de deux éléments différents notés par la suite (1) et (2). La figure 3 représente le spectre de la lumière d'une étoile.



- Que représentent les traits verticaux noirs dans le spectre de l'étoile ?
- Le spectre de l'étoile permet-il de déceler la présence de l'élément (1) dans l'atmosphère de celle-ci ? Même question pour l'élément (2).

CORRIGÉS**Rayonnement thermique****17.1 Filament d'une lampe de poche****17.2 Lampe halogène**

- Le premier spectre, comportant le violet, de longueur d'onde plus faible, correspond à l'ampoule dont le filament est le plus chaud : 3 200 °C. Le second spectre correspond au filament à 2 600 °C.

L'ajout d'halogène (une famille d'éléments chimiques très stables) permet de porter le filament à plus haute température, et d'obtenir une lumière plus intense, plus blanche.

- Ces deux lampes émettent principalement dans l'infrarouge. On ne sait pas fabriquer de lampe à incandescence dont le filament résiste à des températures suffisamment élevées pour que la longueur d'onde moyenne soit dans le domaine visible. Cette difficulté technique explique la forte consommation d'énergie des ampoules à incandescence, une grande partie étant perdue en chaleur. En permettant une température de filament légèrement plus élevée, la lampe à halogène se rapproche plus de la lumière blanche du Soleil.

Spectres de raies**17.3 Spectres et éléments****17.4 Spectres du zinc et du mercure**

- Il s'agit d'un spectre de raies d'émission.
 - La grandeur portée en abscisse est la longueur d'onde λ ; l'unité est le nanomètre (nm).
 - Avec de bons yeux, on peut lire $\lambda_{\text{bleu}} \simeq 470$ nm.
 - $\lambda_{\text{rouge}} \simeq 640$ nm.

✎ Exercices n° 25, 29 et 30 p. 243 à 245 (il s'agit d'exercices du chapitre 16 plus complexes, qui vont vous permettre de progresser) + Exercices **17.1**, **17.3** et **17.5** ci-dessus. Bon courage, bon travail !

- Les spectres du mercure et du zinc sont totalement différents ; ils ne comportent quasiment aucune raie monochromatique en commun. On a bien là une véritable *signature* de l'élément considéré (l'existence d'un spectre est la manifestation de la structure interne de l'atome, différente pour chaque élément).

- Les éléments ont été portés à haute température, afin d'exciter leurs atomes ou ions constituants. Ces entités, une fois excitées, se dés excitent en émettant les spectres de raies observés.
- Le spectre résultant serait un exact mélange des deux spectres. Tout l'art du spécialiste en spectroscopie stellaire consiste à *reconnaître* les raies caractéristiques de tel ou tel élément, mélangées qu'elles sont avec toutes les autres raies du spectre d'une étoile.

Spectres d'absorption**17.5 Titane ou nickel dans l'étoile****17.6 Raies d'émission et spectre stellaire**

- Les traits verticaux noirs représentent les raies d'absorption, dues aux éléments présents dans l'atmosphère de l'étoile. Ces éléments de l'atmosphère absorbent certaines radiations du spectre continu émis (par rayonnement thermique) par la surface de l'étoile, très chaude.
- On constate que le spectre de raies (1) complète partiellement le spectre d'absorption (3) ; cet élément est donc présent dans l'atmosphère de l'étoile. En revanche le spectre de raies (2) ne complète pas le spectre d'absorption (3), malgré quelques raies communes. Cet élément doit donc être écarté, et l'on doit chercher l'origine des raies d'absorption non encore élucidées avec d'autres éléments.