

Étude du spectre d'une étoile.

Est-ce qu'un travail sur document peut-être un outil en sciences expérimentales ?

Dans la vie professionnelle, le chercheur est souvent confronté à divers document (courbe, image...) et lui qui parfois n'a pas fait la manipulation doit interpréter le document.

L'utilisation du document ne doit pas être proscrite, elle peut s'inscrire dans une pédagogie d'ouverture, de recherche, de découverte. Pour l'enseignant de physique, le but n'est pas d'utiliser systématiquement des documents (il faut pratiquer une science expérimentale), mais l'utilisation d'un document impossible à réaliser en classe, permet d'apporter une aide non négligeable.

Cela peut être la mise en place d'une méthodologie du traitement d'un document, d'une réflexion sur le dispositif nécessaire à son obtention, d'une recherche des "outils" nécessaires à son dépouillement.

La proposition qui est faite aux élèves leur permettra à partir d'une photographie du spectre de l'étoile Rigel (constellation d'Orion) et du spectre de l'argon comme spectre de référence de :

- définir l'échelle du document (les longueurs d'onde des raies du spectre de l'argon sont connues,
- déterminer les longueurs d'onde des raies d'absorption présentes dans le spectre de l'étoile,
- de retrouver les espèces chimiques responsables de ces raies.

Auparavant auront été abordés les sujets suivants : spectre continu en émission, spectre de raies en émission, spectre d'absorption.

Déroulement de la séance.

Le but est de faire trouver aux élèves quelles sont les espèces chimiques responsables des raies d'absorption de Rigel en les plaçant dans la situation du chercheur qui vient d'obtenir le spectre (**document-élève**). Les élèves par groupes (2 ou 3) doivent venir demander les documents nécessaires à l'avancement de leur recherche.

L'enseignant dispose d'une batterie de documents :

- **document-1** : spectre de raies d'émission de l'argon seul, à une autre échelle,
- **document-2** : spectre de Rigel accompagné du spectre de l'argon (donc même échelle), mais sans les valeurs des longueurs d'onde,
- **document-3** : courbe donnant le spectre d'émission de l'argon avec les longueurs d'onde des différentes raies (pics),
- **document-4** : spectre de Rigel accompagné du spectre de l'argon avec les longueurs d'onde de certaines raies.,
- **document-5** : document de travail,
- **document-6** : tableau des longueurs d'onde de quelques raies de certaines espèces chimiques,
- **document-7** : quelques questions permettant de compléter la recherche.

Rem. : Les documents sont numérotés pour une meilleure compréhension du texte, mais pour les distribuer aux élèves, il vaut mieux ne pas les numérotés. L'élève qui a demandé le spectre d'un élément connu (document-3), se demande quels sont les deux autres documents manquants.

Sur les documents 2 et 4, de part et d'autre du spectre de Rigel, le spectre de l'argon semble différent. En fait, il est moins exposé d'un côté pour éviter une surexposition des raies les plus intenses et plus exposé de l'autre pour faire apparaître les raies les moins intenses.

Certains groupes ayant une vue d'ensemble du travail à réaliser, avancent très vite et ont rapidement en leur possession tous les documents, après en avoir fait une demande argumentée : *"il nous faudrait un spectre connu pour pouvoir le comparer à celui de l'étoile"*.

Comme l'importance de l'échelle n'a pas été soupçonnée, on peut fournir le document-2 qui semble ne servir à rien, mais qui permettra aux élèves de prendre conscience :

- que le spectre de l'étoile et le spectre de référence ne doivent pas être indépendants,
- qu'un spectre seul, sans valeur des longueurs d'onde est inutilisable.

D'autres exploitent au fur et à mesure les documents obtenus et c'est après avoir calculé les longueurs d'onde des raies d'absorption du spectre de l'étoile qu'ils demandent : *"nous voulons la liste de toutes les longueurs d'onde des raies d'émission de tous les éléments chimiques pour savoir à quels éléments sont dues les raies d'absorption"*. On leur distribue alors notre modeste liste, document-6.

Pour le document-3, il n'est pas possible de laisser les élèves retrouver seuls les longueurs d'onde de toutes les raies d'émission de l'argon. Il est bon par contre de les laisser essayer de résoudre le problème. Ils peuvent seuls :

- orienter de la même façon les document 2 et 3 (de quel côté se trouvent les grandes longueurs d'onde ?),
- lier la taille du pic (**document-3**) à la trace laissée sur la photographie (**document-2**),
- reconnaître certaines raies pour les plus actifs.

Cela permet à l'enseignant d'aider ceux qui ont le plus de difficultés en laissant les autres avancer à leur rythme.

Rem. : il faut leur faire remarquer que sur le document-4, l'échelle en ordonnée varie.

Quand un groupe a compris le principe de reconnaissance des raies d'émission de l'argon, il faut lui fournir le **document-4**, puis le **document-5** pour leur faciliter le travail.

Le questionnaire (**document-7**) peut être abordé en classe ou à la maison. Ces questions permettent d'approfondir les connaissances sur la spectroscopie stellaire (on ne peut pas dire qu'une espèce chimique est absente de la photosphère de l'étoile car aucune raie n'a été détectée. Peut-être que les conditions physiques dans la photosphère ne permettent pas l'absorption ou peut-être que l'absorption a lieu, mais dans un autre domaine de longueurs d'onde. De plus, si une espèce chimique est présente, toutes les transitions possibles dans le domaine étudié doivent être présentes sous forme de raies.

Document-1 : spectre de raies d'émission de l'argon.



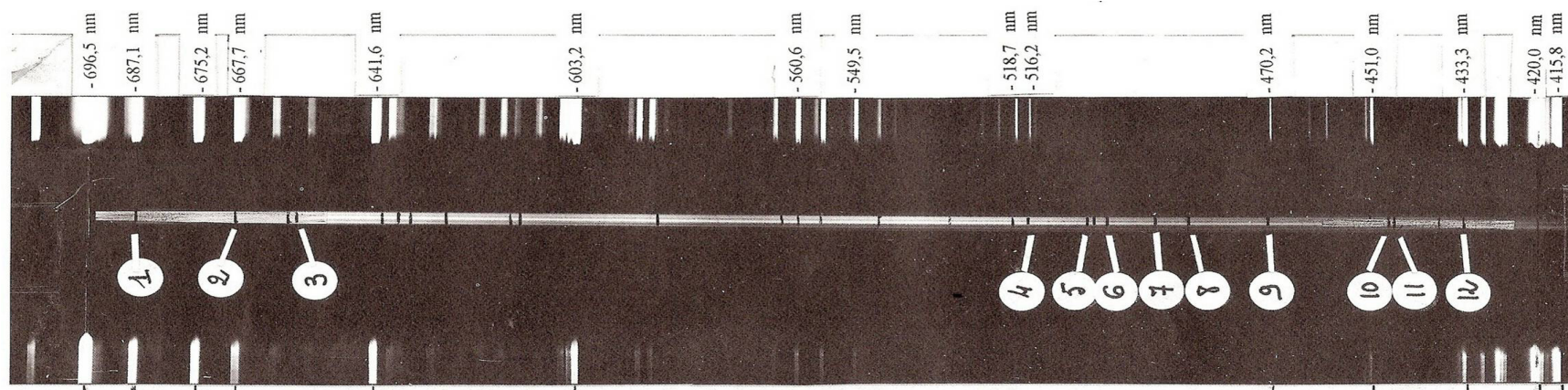
Document-4 : : spectres de Rigel et de l'argon (complet).

Spectre de Rigel (β Orionis) : spectre réalisé avec le télescope de 60 cm du Pic du Midi (Association T60) Mission CLEA. Objectif 115 mm- 2,8 pose 3 min film 2415 kodak hypersensibilisé ($AgNO_3$). Pour permettre la réalisation de photocopies, les raies ont été renforcées.

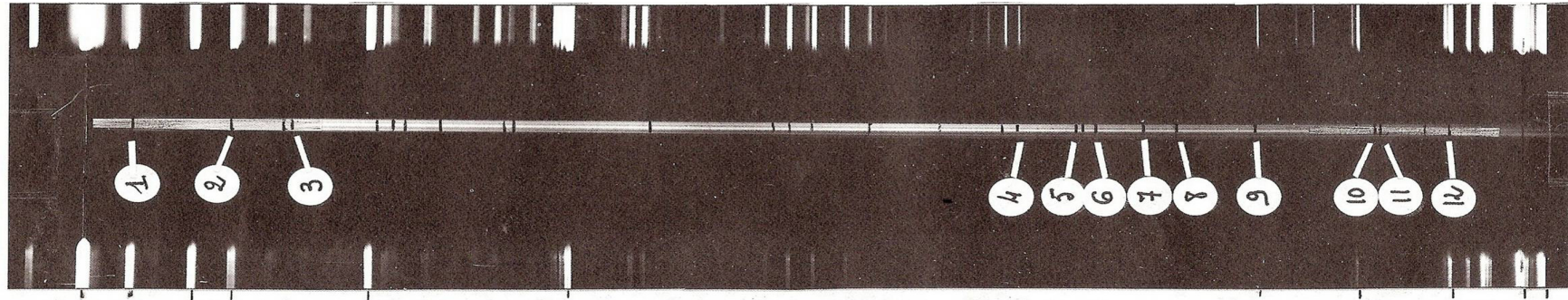
Classement des raies par groupes selon leur intensité – des plus intenses aux moins intenses *

(I, II, XXIII, XXVIII) ; (VI, VII, XI, XXI, XXII, XXV, XXVI) ; (IV, VIII, XVIII, XIX, XX, XXVII) ; (III, V, XII, XIII, XIV, XV, XVI, XVII, XXIV).

* numérotation en chiffres romains du rouge vers le violet (1 correspond à I et 12 à XXVIII).



Document-2 : spectre de Rigel et spectre de l'argon



Document 7 : Questions

1. Pourquoi les raies du spectre de l'argon sont brillantes, alors que celles du spectre de l'étoile sont sombres ?
2. Vous venez de caractériser certains éléments chimiques présents dans les couches externes de l'étoile Rigel. Peut-on dire qu'il n'y a pas d'autres éléments présents dans cette étoile.
3. L'élément hydrogène a été détecté (raies H_α , H_β et H_γ), pourquoi la raie H_δ n'a pas été détectée ?
4. L'élément hélium (HeI) a été détecté, pourquoi la raie de longueur d'onde $\lambda = 587,6$ nm ne l'a pas été ? Est-elle présente dans le spectre ?

Document-5 : Document de travail

1. Déterminer l'échelle X (nm/mm) du document à partir des raies 687,1 nm et 420,0 nm. Faire des mesures avec précision en essayant d'évaluer le quart de millimètre.

2. Déterminer les longueurs d'onde des raies repérées de 1 à 12.

Pour cela :

- Mesurer la distance l_1 (mm) qui sépare la raie 1 de la raie 420,0 nm sur le document.

- En utilisant l'échelle du document, calculer la différence de longueur d'onde (L_1 en nm) qui sépare ces deux raies

$$L_1 = l_1 \cdot X$$

- En déduire la longueur d'onde λ_1 de la raie 1 :

$$\lambda_1 = L_1 = 420,0$$

Faire de même pour toutes les raies

Tableau des mesures

n° de la raie	l (mm)	L (nm)	λ (nm)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			

Document-6 : Longueur d'onde de raies caractéristiques de certains éléments chimiques

Remarque : En spectroscopie, les astrophysiciens ont l'habitude de noter **H I** l'atome d'hydrogène et **H II** l'ion H^+ , ainsi **Mg I** = **Mg** et **Mg II** = Mg^+

H I : (série de Balmer) : Ha 656,3 nm ; Hb 486,1 nm ; Hg 434,2 nm ; Hd 410,3 nm ; He 397,1 nm

He I : 728,1 nm ; 706,5 nm ; 667,8 nm ; 587,8 nm ; 504,8 nm ; 501,6 nm ; 492,5 nm 471,3 nm ; 447,1 nm ; 414,4 nm ; 404,6 nm ; 388,9 nm.

He II : 486,6 nm ; 164,1 nm ; 30,3 nm

Mg I : 518,4 nm ; 517,3 nm ; 516,7 nm ; 383,2 nm

Mg II : 448,1 nm ; 280,3 nm 279,5 nm

Document-3 : spectre de l'argon

Le document ci-dessous donne les longueurs d'onde des raies d'émission de l'argon et leur intensité (hauteur du pic). Attention l'échelle des ordonnées varie d'une ligne à l'autre et parfois sur une même ligne..

En abscisse, les longueurs d'onde sont données en angströms (Å). $10 \text{ \AA} = 1 \text{ nm}$

