

# *Spectrographie*

## *identification des raies des éléments*

à partir de spectres solaires et stellaires

### Introduction

L'analyse précise des longueurs d'onde des raies d'un spectre solaire ou stellaire permet de découvrir quels sont les éléments qui sont contenus dans leurs atmosphères.

Et ceci quelle que soit la distance à laquelle se trouve l'objet, quelques millions de kilomètres pour le Soleil, des milliards de milliards pour les objets lointains.

Même avec des spectres de faible résolution, il est possible d'identifier au moins les éléments les plus abondants.

C'est le propos de ce petit *Travail* qui permet de retrouver quelques éléments de la Table de Mendéléïev dans des étoiles aussi différentes que le Soleil, Procyon, Castor ou Bételgeuse.

### Documents

Les spectres ont été pris au spectrographe Lhires III de la Formation Continue, dans une même soirée, sans changer les réglages de l'appareil. Le spectre d'étalonnage du Neon est valable pour tous les spectres.

Le réseau du Spectrographe est de 300 traits / mm. La résolution est donc moyenne, mais le spectre couvre une bonne partie de la région visible.

Le capteur d'images est une camera CCD qui donne des images noir et blanc de 2047x2047 pixels, mais qui ont été ramenée à 2047x1538.

La série de spectres comporte :

Spectre	Nom fichier
Etalonnage Neon	d25_neon.jpg
Lune (spectre du Soleil)	d38_lune.jpg
Procyon	d36_procyon.jpg
Bételgeuse	d29_betelgeuse.jpg

Et des documents :

- Pour faciliter les identifications des raies du Néon, une fiche du spectre avec les longueurs d'onde



- Une table des éléments avec leurs principales raies *catal\_moore.xls*.
- Un fichier Geogebra de départ.

**Convention d'écriture pour Geogebra** : dans ce document les textes en **gras** et police Arial sont des textes à écrire dans la *fenêtre de saisie* ou apparaissent dans la *fenêtre algèbre* de l'application Geogebra.

Exemple, positionnement d'un point A à l'abscisse  $x_a$  et d'ordonnées 0 :

$$\mathbf{A} = (x_a, 0)$$

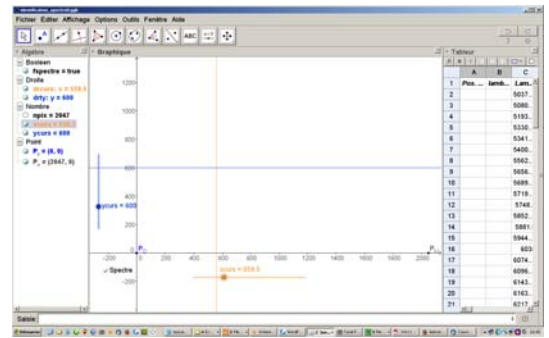
**Aide Geogebra** : consulter le document "*Eléments de base dans GeoGebra*" fichier d'initiation *elements\_geogebra.pdf* pour les commandes de base.

([http://cral.univ-lyon1.fr/labo/fc/cdroms/stages14-15/astrobase/elements\\_geogebra.pdf](http://cral.univ-lyon1.fr/labo/fc/cdroms/stages14-15/astrobase/elements_geogebra.pdf))

# Mise en route

Ouvrir Geogebra et charger le fichier : *ident\_spectre0.ggb*

Il contient quelques éléments que vous pouvez identifier.

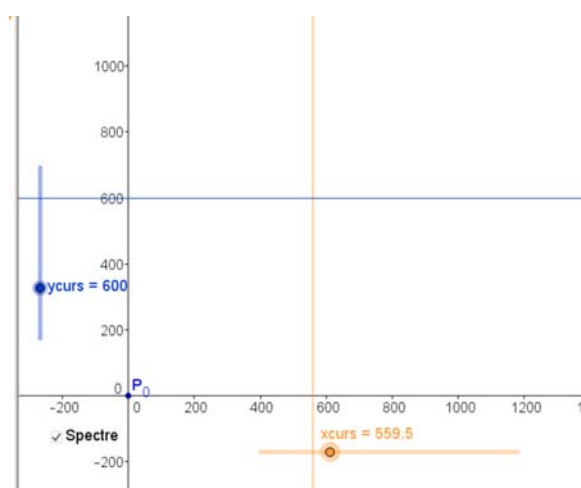


## Fenêtre Algèbre



- Un opérateur logique pour la visualisation de l'images spectrale de l'objet
- un curseur et sa droite verticale asservie pour positionner les raies en abscisse
- un curseur et sa droite verticale pour situer l'étalonnage
- npix le nombre de pixels de chaque côté de l'image
- deux points P<sub>0</sub> et P<sub>N</sub> pour positionner les images

## Fenêtre Graphique



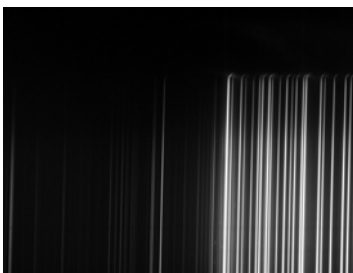
- un curseur horizontal xcurs pour la position des raies (en orange) de la fente
- un curseur vertical pour la position de l'étalonnage (en bleu)
- une boîte de visualisation Etalonnage (fetal) pour le spectre étalonnage
- une boîte de visualisation Spectre (fspectre) pour le spectre

## Fenêtre Tableau

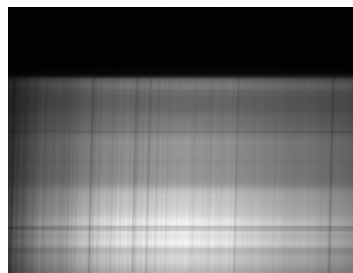
	A	B	C
1	Pos. ...	lamb...	Lam...
2			5037..
3			5080..
4			5193..
5			5330..
6			5341..
7			5400..
8			5562..
9			5656..

Les longueurs d'onde des raies du Néon.

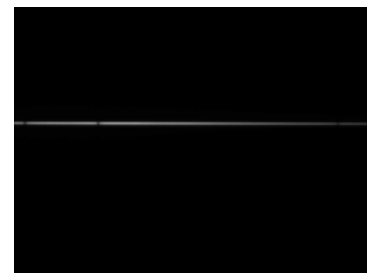
## Aspect des spectres



Etalonnage Néon



Lune (Soleil)



Stellaire

Le spectre du Néon comporte beaucoup de raies en émission, mais assez faibles dans la partie des courtes longueurs d'onde.

L'optique du spectrographe déforme les images de la fente, et les raies sont courbes. A chaque ordonnées correspond un étalonnage (relation position - longueur d'onde)

Il faudra bien mesurer la position des raies d'étalonnage à la même hauteur que celle du spectre à étudier.

Le spectre de la Lune est large et l'on peut choisir l'emplacement du spectre à étudier

Le spectre stellaire est filiforme et l'on mesurera son spectre au milieu de la bande.

## Méthode et plan de travail

On veut arriver à trouver les longueurs d'onde des raies d'absorption, signature de la présence des éléments de la classification de Mendéléïev, en fonction de leurs positions le long de la dispersion qui est ici horizontale.


Il sera procédé par étapes :

- 1 - Insertion de l'image spectrale du Néon qui sert d'étalonnage.
- 2 - Identification des raies du Néon pour leur attribuer leur longueur d'onde
- 3 - Insertion du spectre à mesurer et repérage de l'ordonnée à laquelle on va mesurer le spectre
- 4 - Etablissement de la relation d'étalonnage par mesures des positions des raies repérées
- 5 - Mesure des raies spectrales de l'objet et calcul de leurs longueurs d'onde
- 6 - Identifications


## Traitement sous Geogebra

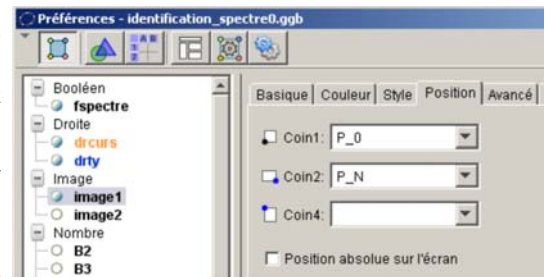
### 1 – Insertion de l'image spectrale du Néon

Insérer le fichier image *d25\_neon.jpg* (Voir page 5 du document *elements\_geogebra.pdf*)

Bien quitter le mode **Insertion image** en appuyant sur la touche .  
La version actuelle de Geogebra ajoute automatiquement un point aux deux coins bas de l'image. Par défaut ce sont les premières lettres majuscules qui n'ont pas été affectées. Si l'image est le premier objet introduit ou créé, ce seront les points **A** et **B**.

Les effacer et dans l'onglet **Position** de l'image mettre à **Coin1 : P\_0** et à **Coin2 : P\_N** qui sont déjà créés.

 Sauvegarder en donnant au fichier un nom personnalisé (extension *ggb*).



### 2 – Identification des raies du Néon

Prendre la fiche annexe des raies du Néon avec leurs longueurs d'onde et faire l'identification sur le spectre de la fenêtre graphique.

### 3 – Insertion de l'image spectrale objet

On commencera par le spectre de Procyon qui a peu de raies  
Insérer le fichier image *d36\_procyon.jpg* comme précédemment :

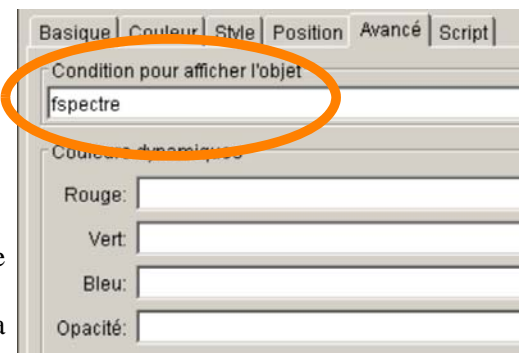
- effacer les deux points créés
- Positionner de même avec les points **P\_0** et **P\_N**.

Pour pouvoir revoir l'image de l'étalonnage, on met l'affichage de l'image spectrale sous condition.

On se sert de la "**Boîte de sélection**" "**fspectre**" qui est assujettie à la valeur logique "**fspectre**".

Mettre dans l'onglet "**Avancé**" des **Propriétés** de l'image dans "**Condition pour afficher l'objet**", la valeur logique **fspectre**.

Maintenant en cochant ou décochant la boîte "**fspectre**" l'image apparaît ou disparaît.



### Repérage de la position du spectre

A l'aide du curseur bleu "**ycurs**" placer la ligne horizontale bleue au milieu de spectre de l'étoile. Ce sera la position où l'on fera les mesures de positions des raies sur les deux spectres.

Cacher l'image du spectre de l'étoile.

 Sauvegarder.

## 4 - Etablissement de la relation d'étalonnage

a - A gauche du spectre, parmi les raies d'étalonnage repérées du néon, prendre une raie et mesurer avec précision son abscisse à l'aide du curseur **xcurs** et de la droite orange.

Rentrer dans la fenêtre de saisie son abscisse **x\_1** et sa longueur d'onde correspondante **l\_1**.

b - Faire de même pour une des dernières raies à gauche : **x\_2** et **l\_2**

La dispersion d'un réseau étant à peu près linéaire, il faut calculer les deux coefficients de la droite qui va relier les positions des pixels aux longueurs d'onde du spectre.

$$y = a x + b$$

x étant la position du curseur **xcurs** et y la longueur d'onde correspondante.

Le coefficient **a**, pente de la droite se calcule par :

$$a = (l_2 - l_1) / (x_2 - x_1)$$

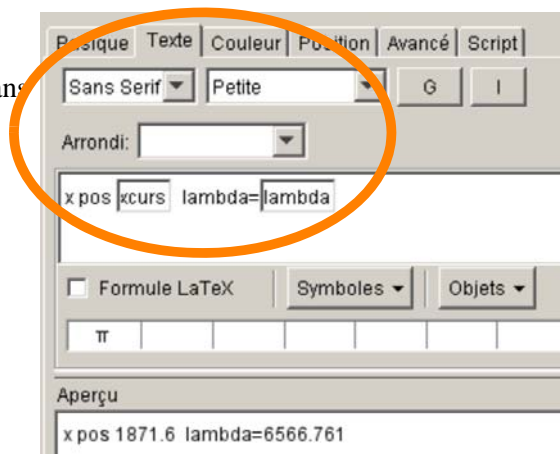
et l'ordonnée à l'origine :

$$b = l_1 - a * x_1$$

Et la droite d'étalonnage sera :

$$\lambda = a * x_{\text{curs}} + b$$

Faire écrire les valeurs de **xcurs** et lambda en gros caractères dans un objet texte, puis en changeant les propriétés dans l'onglet



## 5 - Mesure des raies spectrales et calcul des longueurs d'onde


Faire réapparaître le spectre de l'objet à mesurer.

Avec **xcurs**, pointer et mesurer avec précision les raies de l'étoile, au moins les plus fortes et les inscrire dans la **colonne A** du tableur

Dans la **colonne B** du tableur appliquer le calcul de la longueur d'onde avec la relation trouvée précédemment.

$$= a A2 + b$$

Appliquer aux autres cellules comme dans un tableur.

 Sauvegarder.

Tableur			
	A	B	C
1	Pos. xcurs	lambda cal..	Etalonna...
2	1869.3		5037.751
3	1323.7		5080.383
4	1318.3		5193.17
5	742.1		5330.777
6	733.1		5341.094
7	729		5400.562
8	479.6		5562.766

Tableur			
	A	B	
1	Pos. xcurs	lambda cal..	Et
2	1869.3	=a A2 + b	5

## Remarque sur l'étalonnage

La méthode de prendre deux raies du spectre aux extrémités pour trouver la relation d'étalonnage est une méthode simple mais peu précise.

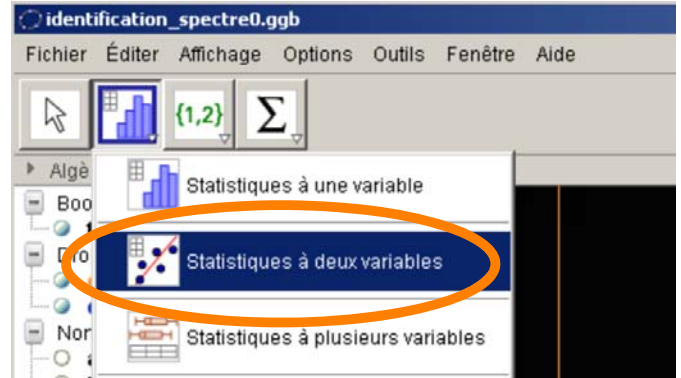
Il serait mieux de mesurer un plus grand nombre de raies identifiées et faire une régression linéaire parmi les couples de points mesurés.

Ceci se fait aisément dans Geogebra en mettant les mesures dans le tableur, en sélectionnant l'ensemble des couples et en se servant de la fonction **Statistique à deux variables**.

Puis on fait un ajustement "affine"

Geogebra permet de voir les résidus de l'ajustement.

Si les aberrations optiques déforment la dispersion linéaire, il est alors facile de faire un nouvel ajustement par un polynôme du 2<sup>ème</sup> ou 3<sup>ème</sup> degré qui assure un meilleur ajustement de l'étalonnage.



## 6 - Identifications

Ouvrir avec un tableur le fichier *catal\_moore.xls* qui est un catalogue de raies spectrales plus spécialement d'intérêt astrophysique.

- Dans la première fenêtre "**Ensemble**", il y a toutes les raies et leurs éléments par longueurs d'onde croissante.
- Dans la deuxième fenêtre "**Astro Eléments**", les longueurs d'onde sont mises par éléments, lesquels sont classés par ordre alphabétique de leur symbole sauf H et He placé en début.

Des intensités très relatives sont données pour guider un peu le jugement de la présence ou non des raies.

## Autres spectres

### Spectre lunaire - solaire

Effacer le spectre de l'étoile et le remplacer par le spectre de la Lune *d38\_lune.jpg*.

La Lune étant un objet large, elle couvre toute la fente.

Les raies noires horizontales ne sont que des poussières qui cachent la lumière.

Par contre on voit les changements d'intensité dues aux différentes régions de l'image se trouvant sur la fente.

On peut garder la position de la ligne bleue pour faire les mesures si elle ne se superpose pas à une bande noire. L'étalonnage ne sera pas à refaire.

On regardera la différence avec le spectre de l'étoile précédente qui semble contenir les mêmes raies, mais avec des intensités très différentes dues à la classe spectrale de Procyon F5 IV plus chaude que celle du Soleil G2 V.

Sauver dans un nouveau fichier pour avoir un fichier par objet.

### Spectre Bételgeuse

Idem avec le fichier *d29\_betelgeuse.jpg*.

L'étoiles étant à un autre endroit sur la fente, il faut déplacer le curseur bleu pour se mettre dessus.

Il faut donc refaire l'étalonnage.

La aussi, la différence de spectre est très sensible, l'étoile plus froide (M1-2) possède beaucoup plus de raies et surtout des bandes moléculaires qui apparaissent à ces températures.