

Spectroscopie solaire en première S

Lycée Victor Grignard, Cherbourg

Virginie Dubourdieu, Jean-Baptiste Fardouet, Sophie Ulmann et Nancy Yuk, élèves en première S ont obtenu le 19 mai 2000 le premier prix du concours Lanfranc - Laënnec organisé par le CNRS (Pays de Loire Bretagne-Normandie). Avec l'aide de leur proviseur, René Cavaroz, ils ont traité le sujet : ce que nous apprend la lumière solaire ; spectroscopie solaire.

Cet article propose de rendre compte de ce travail, qui a fait l'objet de conventions "Passion - recherche" entre le lycée, l'Observatoire de Paris-Meudon, M. Alain Hairie, président de l'association normande d'astronomie et de M. Dominique Boust, président du groupe astronomique de la Hague et Querqueville.

Introduction

Auguste Comte, dans le tome II de son cours de Philosophie positive (1835) écrivait : *"Nous ne saurons jamais étudier, par aucun moyen, la composition chimique des étoiles"*.

Cette année, dans le cadre du concours Lanfranc -Laënnec, nous avons eu la chance de travailler sur un spectroscopie prêtée par le Groupe Astronomique Hague Querqueville.

Notre étude a comporté plusieurs étapes :

- une étude préalable du Soleil et de la spectroscopie
- la prise en main du spectroscopie et de son étalonnage.

Tout cela a abouti à la visualisation du spectre solaire et de ses raies d'absorption, ainsi qu'à un début d'analyse...

- I - Le spectroscopie à travers les âges.
- II - La lumière.
- III - Le spectre.
- IV - La description du spectroscopie.
- V - Notre approche du spectroscopie.
- VI - Nos expériences.

N.D.L.R. : la place manquante ici pour reproduire intégralement l'important dossier réalisé par les élèves, nous avons choisi de présenter la partie TP qui présente l'aspect le plus personnel de leur travail.

La description du spectroscopie.

Présentation générale : le spectroscopie utilisé est ainsi constitué :

- la lumière à analyser éclaire une fente d'entrée :

- la fente d'entrée est placée dans le plan focal objet d'un miroir parabolique. Ce dispositif permet de former, après réflexion sur le miroir, une onde dite "plane", nécessaire au bon fonctionnement du réseau :

- le réseau est éclairé sur une partie de sa surface (car le diamètre du miroir est inférieur à la longueur du réseau). Il va permettre de réaliser le spectre de la lumière, entrée par la fente :

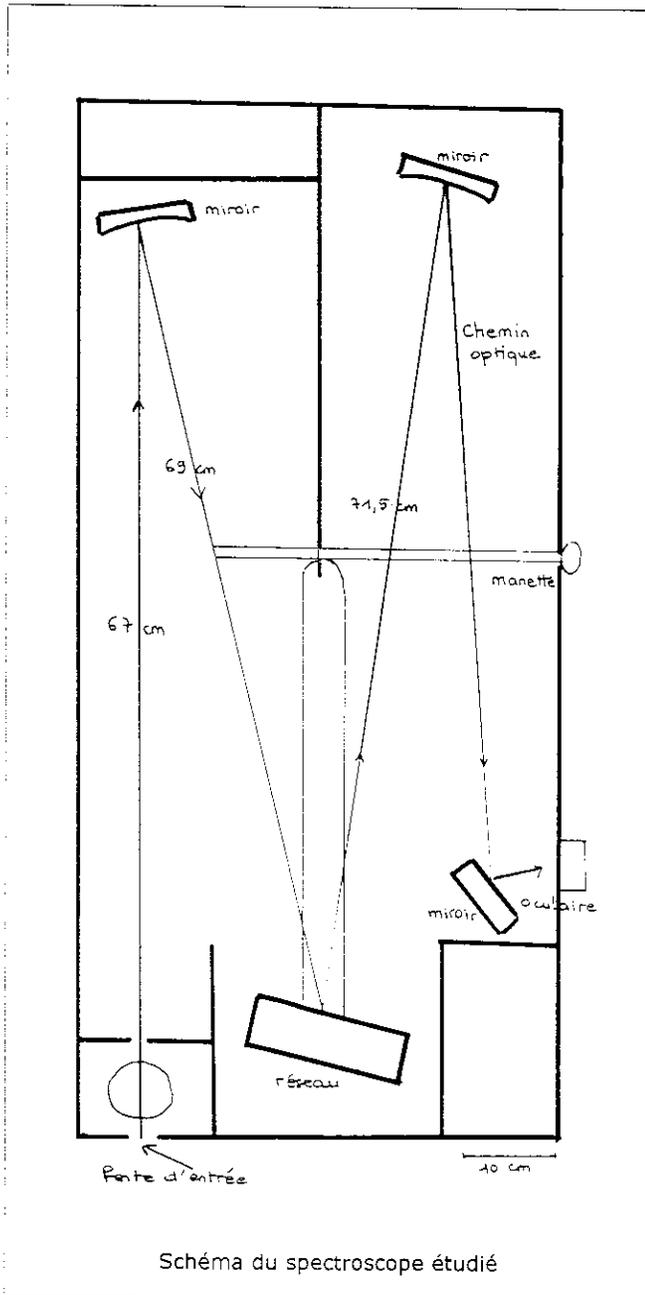


Schéma du spectroscopie étudié

- la lumière renvoyée par le réseau est alors captée par un miroir parabolique qui forme l'image du spectre dans son plan focal image.

- l'image est renvoyée vers l'oculaire par un miroir plan.

Le réseau : un réseau est un système optique dispersif formé par la répétition sur un support d'un motif à intervalles réguliers.

On peut distinguer deux sortes de réseaux :

- les réseaux par transmission, constitués par un ensemble de N fentes rectangulaires régulièrement espacées d'une distance p (le pas du réseau).

- les réseaux par réflexion, constitués par un ensemble de N miroirs qui peuvent être ordonnés comme sur le schéma ci-contre.

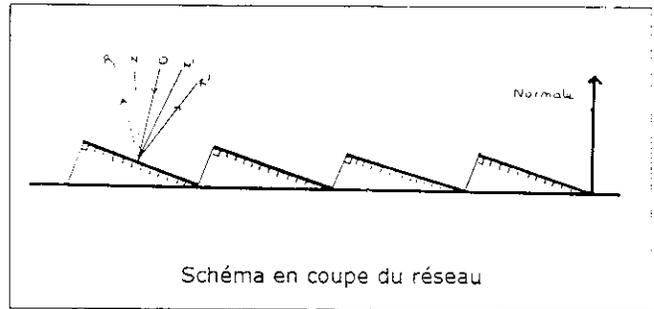
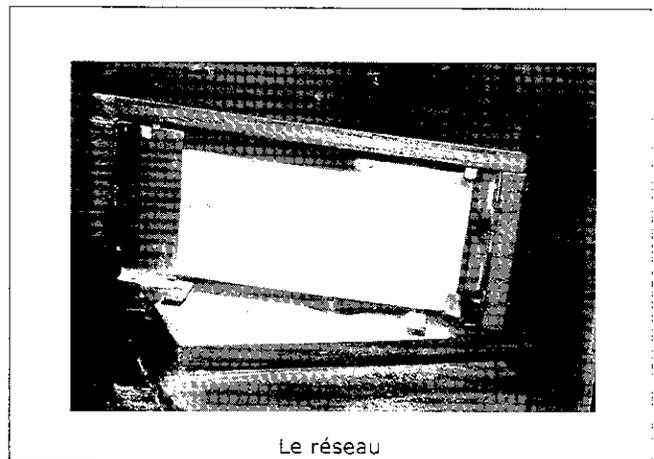


Schéma en coupe du réseau

C'est ce type de réseau qui équipe notre spectroscopie : un réseau à échelettes. Il constitue l'élément le plus important du spectroscopie, il est donc nécessaire de bien connaître son fonctionnement.



Le réseau

Pour comprendre le principe d'un réseau, on peut considérer un réseau par transmission. Il sera alors plus facile de comprendre l'intérêt du réseau à échelettes.

Si on éclaire un réseau par transmission avec une seule onde lumineuse contenant une seule couleur (λ), on constate que la lumière se répartit dans des directions privilégiées.

A chaque couleur est associée un ordre.

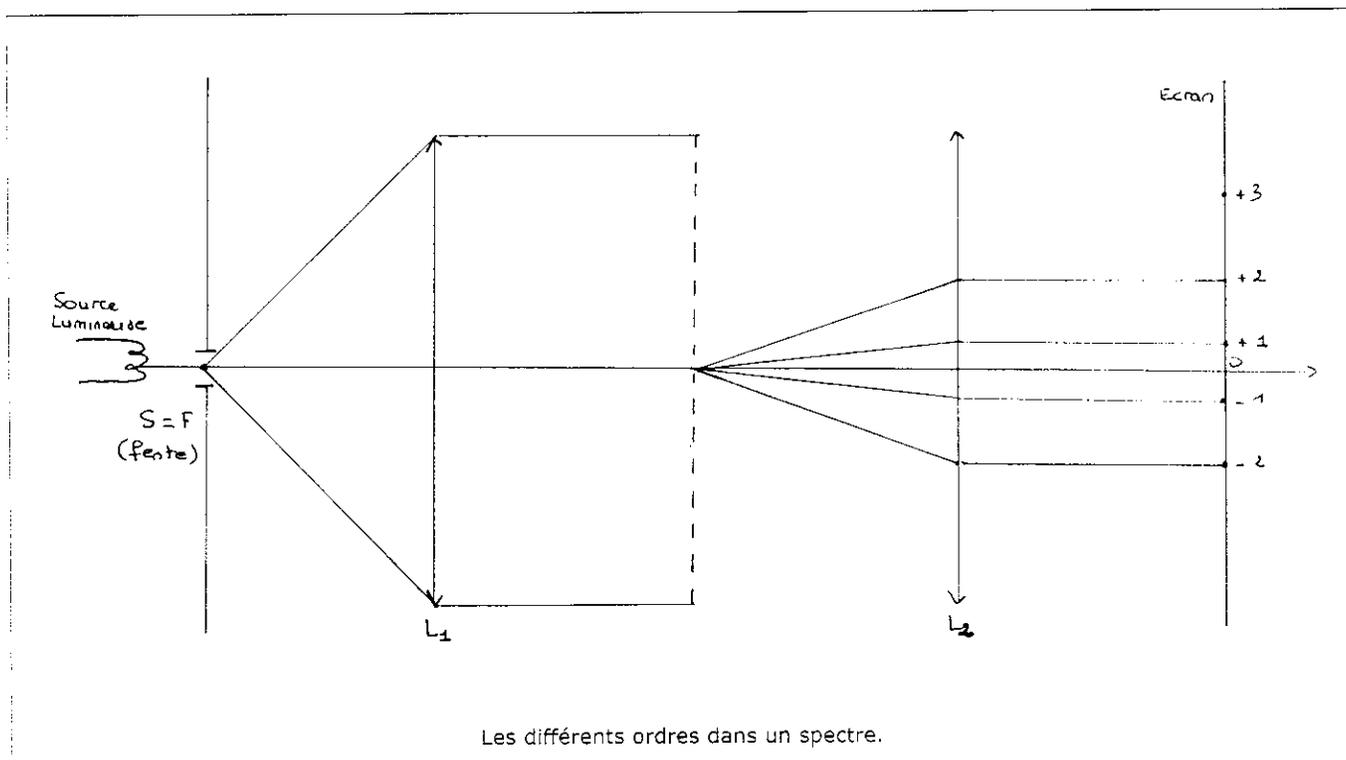
Si, pour éclairer le réseau, on s'est servi d'un dispositif semblable à celui du spectroscopie, on obtient sur un écran une image de la fente source pour chaque ordre.

Les images n'ont pas toutes la même intensité lumineuse. L'intensité est maximale au centre (0) puis diminue rapidement de part et d'autre. Si la lumière contient maintenant deux longueurs d'onde, on obtient sur l'écran :

- dans l'ordre 0 : λ_1 et λ_2 sont mélangées.
- dans l'ordre 1 : λ_1 et λ_2 sont séparées.
- dans l'ordre 2 : λ_1 et λ_2 sont séparées et plus écartées que dans l'ordre 1.

Le réseau sépare les longueurs d'onde dans les ordres différents de 0. La séparation est d'autant plus importante que l'ordre est élevé. On pourrait montrer aussi que la séparation est d'autant plus importante que le nombre de fentes, N , est élevé.

Les physiciens traduisent ceci en introduisant la notion de résolution, R .



Les différents ordres dans un spectre.

Plus R est grand, plus le réseau est capable de donner à deux longueurs d'onde voisines des directions suffisamment différentes pour obtenir deux images séparées sur l'écran.

Une grande résolution permet donc un bon "étalement" des longueurs d'onde et nous offre la possibilité d'observer "les détails du message contenu dans la lumière".

Si on éclaire le réseau par transmission, avec une lumière blanche ($400 \text{ nm} < \lambda_{\text{vis}} < 800 \text{ nm}$) on observe :

- lumière blanche brillante dans l'ordre 0 ;
- décomposition dans l'ordre 1 ;
- décomposition dans l'ordre 2 : le spectre est plus large ;
- risque de recouvrement des ordres ;
- l'intensité lumineuse diminue quand l'ordre augmente.

L'idéal pour réaliser un spectre serait donc :

- de travailler dans un ordre plus élevé pour une bonne dispersion ;
- qu'il n'y ait pas de risque de recouvrement pour ne pas gêner l'analyse ;
- d'avoir un maximum d'intensité pour une bonne observation.

Le réseau à échelottes permet de :

- concentrer la lumière dans un seul ordre (ici l'ordre 1) ;
- supprimer les autres ordres pour ne pas avoir de recouvrements ;
- avoir une bonne résolution grâce au grand nombre de miroirs (= traits). $N = 30\,000$ miroirs par pouce soit $1181,098$ miroirs par mm.

On peut ainsi réaliser un spectre, par exemple de la lumière solaire, où des détails comme le doublet du sodium ou la raie H_{α} , peuvent apparaître.

Pour ce faire, il faut préalablement réaliser un étalonnage, qui nous permettra de savoir où sont positionnées les raies dans le spectre, par rapport à une échelle arbitraire.

Notre approche du spectroscopie.

Le mardi 14 décembre 1999, nous découvrons pour la première fois le spectroscopie prêté par le GAHQ : une boîte blanche, tout à fait banale en apparence...

A l'intérieur, une association de lentilles et un réseau s'offrent à nos yeux émerveillés. Peu à peu, nous avons pris conscience de l'importance et de la complexité de l'appareil.

Au cours d'une première séance, M. Boust et M. Bruneau (professeur de physique en MP au lycée Victor Grignard) nous ont appris à nous servir du spectroscopie. Les premiers spectres que nous avons observés sont ceux de la lampe à vapeur de sodium (Na) et à vapeur de mercure (Hg).

Après avoir positionné la lampe en face de la fente d'entrée, nous suivons le trajet des rayons lumineux à l'aide d'un carton blanc. Nous nous assurons par là même que la lampe est bien positionnée en face du miroir, que les rayons sont bien parallèles au réseau et qu'ils sont décomposés par celui-ci. Nous regardons ensuite dans l'oculaire. Suivant la netteté des raies visibles, nous procédons à des réglages. M. Boust et M. Bruneau guident nos gestes hésitants. Ils nous montrent comment agrandir ou rétrécir la fente d'entrée et comment régler l'oculaire afin d'obtenir une image nette du spectre du sodium et du mercure.

A la deuxième entrevue, nous allions déjà beaucoup plus vite dans nos réglages. Les gestes devenaient plus habituels.

Ensuite nous avons appris à étalonner l'instrument, étape capitale dans notre approche du spectroscope. En effet, l'étalonnage doit nous permettre de connaître la position exacte de chaque raie sur une échelle arbitraire. Un compteur avait été implanté sur le spectroscope à cet effet.

Ainsi nous avons pu associer à chaque longueur d'onde des raies (connue) une valeur lue sur le compteur. Nous avons ainsi établi une échelle arbitraire, les résultats sont consignés dans les tableaux ci-après.

Notre échelle arbitraire	Raies jaunes	Raie verte	Raie violette	Raie violette
1ère mesure	726	665	426	356
2ème mesure	732	660	422	355
3ème mesure	727	660	422	357
4ème mesure	728	663	425	358
Moyenne	728,3	662	423,8	356,5
Longueur d'onde	577 nm	546,1 nm	407,7 nm	?

Notre échelle	Doublet du sodium
1ère mesure	754
2ème mesure	752
3ème mesure	754
4ème mesure	753
Moyenne	753,3
Longueur d'onde	589,3 nm

Au dessus, les résultats concernant la lampe à vapeur de mercure et ci-contre ceux correspondant à la lampe à vapeur de sodium.

Le graphique obtenu (ci-dessous) permet de connaître, pour une longueur d'onde donnée, son équivalence dans notre échelle et vice-versa.

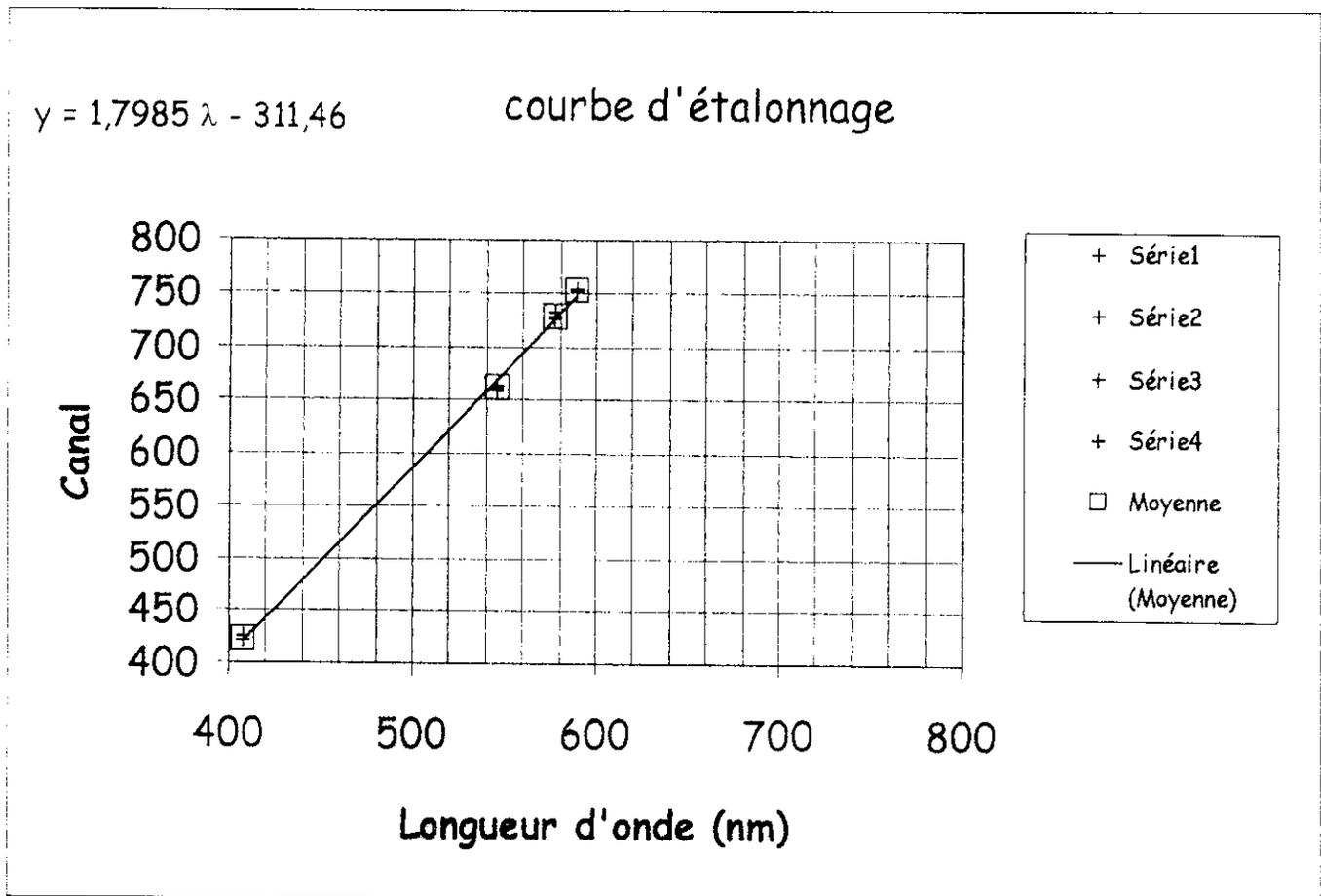
Nos expériences.

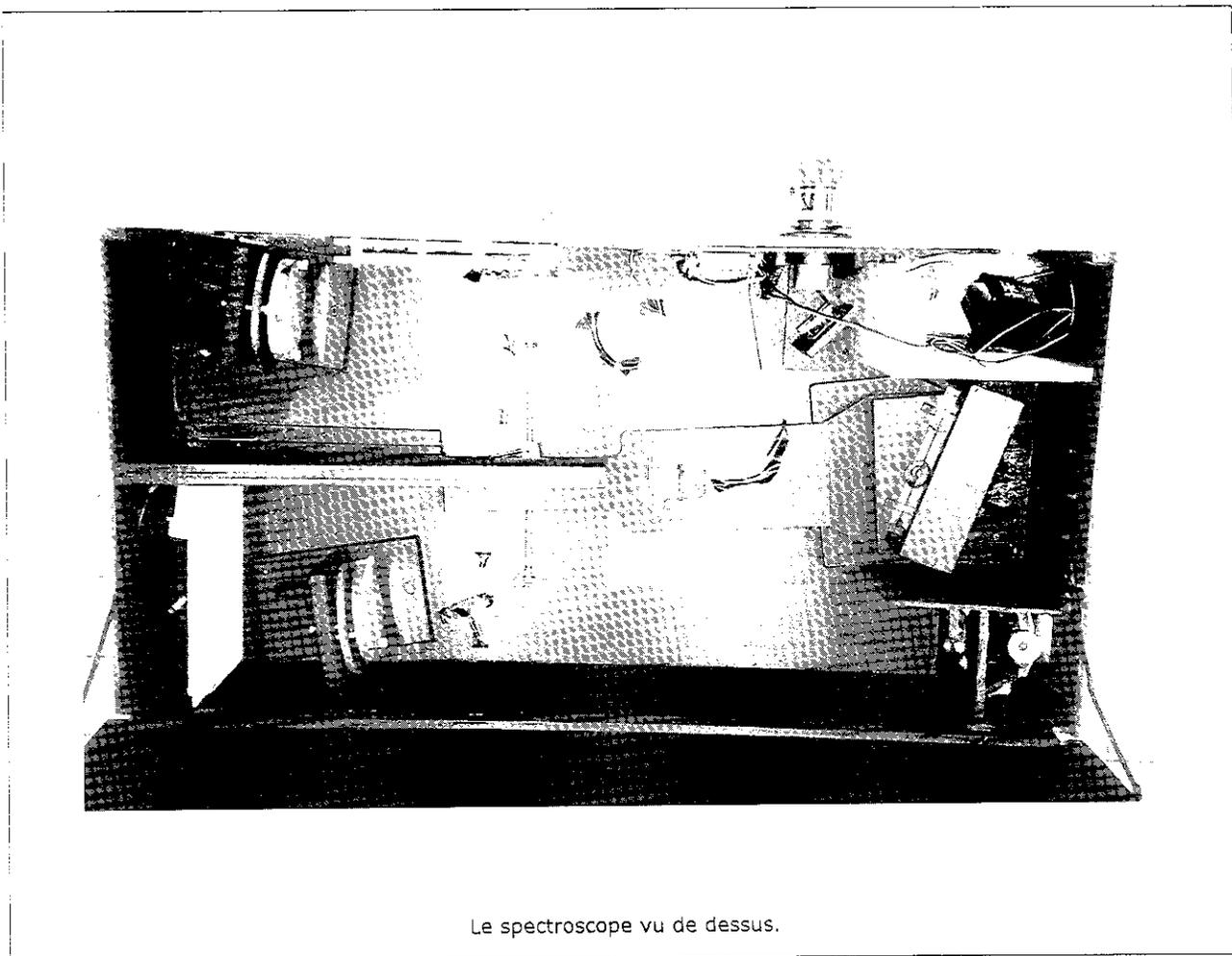
Une première expérience.

Mardi 7 mars 2000, enfin, quelques éclaircies nous permettent d'observer le spectre du Soleil. Aidés par M. Boust, nous installons tout le dispositif : nous plaçons le spectroscope en face d'une fenêtre. A l'aide du miroir du "spinosa" nous captions la lumière du Soleil pour la renvoyer vers la fente du spectroscope. Après avoir suivi le cheminement des rayons solaires, nous baissons le couvercle de l'appareil. Quelques petits réglages et nous pouvons observer le spectre solaire !

Nous avons pu observer un spectre continu sur lequel on peut admirer un nombre considérable de raies sombres.

Ensuite, grâce au graphique préalablement réalisé, nous observons que certaines raies sombres coïncident avec les raies d'émission du sodium. Certaines raies sombres sont particulièrement intenses comme le doublet du sodium.





Le spectroscopie vu de dessus.

Interprétation :

Le Soleil émet un spectre continu. On en déduit, d'après les lois de Kirchhoff, que le Soleil est constitué d'un gaz sous pression.

Le spectre du Soleil présente aussi des raies d'absorption qui caractérisent les éléments chimiques constituant sa région superficielle : sa région interne est très chaude et sa région superficielle plus froide. Le rayonnement continu émis par le gaz chaud subit une absorption sélective caractéristique des éléments chimiques qui constituent l'atmosphère plus froide. Il y a donc une corrélation entre la composition chimique du Soleil et ces raies.

Ainsi, il semblerait que l'atmosphère du Soleil contienne du sodium.

Une autre expérience :

Aidés de M. Boust, nous avons cherché à établir une formule permettant d'obtenir, à partir de la longueur d'onde de la raie cherchée, sa valeur dans notre échelle arbitraire.

Avec Excel, nous avons établi une formule du type $y = ax + b$.

La formule est la suivante : $y = 1.7985x - 311,46$ avec y le canal et x la longueur d'onde théorique.

Après notre première expérience nous avons voulu affiner l'observation.

Ainsi nous avons procédé à une autre manipulation.

Nous avons remarqué près du doublet du sodium une autre raie à 748 sur notre échelle arbitraire. Cette raie pourrait correspondre à l'hélium neutre ($\lambda = 587 \text{ nm}$).

Pour le vérifier nous avons utilisé la formule ci-dessus. Nous avons remplacé x par la longueur d'onde et effectué le calcul : $(1,7985 \times 587) - 311 = 745,6$.

En tenant compte de l'imprécision de la manoeuvre, cela confirme bien notre hypothèse.

Nous avons recommencé l'expérience précédente en cherchant les raies H_{α} , H_{β} , H_{γ} .

Longueur d'onde théorique	Raie considérée	Canal
587,6	hélium neutre	745,34
656,2	H_{α}	868,72
486,1	H_{β}	562,79
434	H_{γ}	469,09

Les points critiques.

Au cours de notre utilisation du spectroscope, nous avons observé certains inconvénients concernant l'appareil et ses conditions de manipulation.

Ainsi, un changement de la température ambiante ou un choc peut modifier l'étalonnage du spectroscope.

Comme ce dernier n'est muni que d'un seul oculaire (focale de 25 mm), chaque membre de l'équipe a dû passer tour à tour pour observer le spectre. Ceci occasionne perte de temps et divergence sur ce qui a pu être vu. Pour remédier à ce problème, nous pouvons placer une caméra devant l'oculaire et projeter l'image enregistrée sur un téléviseur. Nous pouvons donc faire un commentaire commun.

Pour que les lois de l'optique s'appliquent, la lumière du "spinoso" doit arriver parallèlement dans la fente. Pour cela le centre du miroir doit coïncider avec le centre de la fente. Si le "spinoso" est mal réglé, les rayons incidents seront envoyés dans tous les sens, le réseau ne pourra pas capter et diffracter la lumière. Alors, nous n'obtiendrons pas de spectre.

De même, notre geste est démultiplié par la manette : à chaque observation, nous ne voyons qu'une portion du spectre. Et regarder la totalité du spectre est un travail long et fastidieux, du fait qu'il faut tourner longuement la manette.

Enfin, seul un ciel dégagé nous permet d'utiliser le spectroscope et d'observer la lumière décomposée du Soleil.

En ce qui concerne les lampes de sodium et de mercure qui nous ont servi pour identifier les gaz présents dans le Soleil, lors de leurs études, nous avons pu détecter la présence de raies "étranges" caractérisant des éléments qui ne devraient pas être présents dans les lampes en question. Ce phénomène doit être dû à leur vieillesse et des gaz tels que l'azote et l'hydrogène ont pu s'y infiltrer.

