

Olympiades nationales de physique 2009

XVI^{ème} édition

Le spectre du Soleil



Coline Friry
Elève de terminale S1
Alban Chalançon
Elève de terminale S3

1	Remerciements :	3
2	Introduction	3
3	Etude préliminaire	3
3.1	Historique de l'étude du spectre du Soleil.	3
3.2	Les méthode les plus couramment utilisées	3
3.3	Le choix du spectroscopie à réseau	3
4	Description générale	4
5	Schéma et principe du spectroscopie	4
5.1	Les différentes parties du spectroscopie	4
5.2	Principe de fonctionnement	4
6	Etude des divers constituants du dispositif	5
6.1	Les fentes	5
6.1.a	Constitution	5
6.1.b	Largeur des fentes	5
6.2	Les miroirs sphériques	5
6.2.a	Caractéristiques physiques	5
6.2.b	Vérification de leur distance focale.....	5
6.2.c	Problèmes dus aux aberrations	6
6.3	Le réseau	6
6.3.a	Caractéristiques physiques	6
6.3.b	Vérification du pas du réseau	6
6.4	Le système mécanique d'orientation du réseau	7
6.4.a	Valeur de l'amplitude de l'angle de rotation du réseau.....	7
6.4.b	Dispositif démultiplicateur	7
6.5	La photodiode et son dispositif d'amplification	8
6.5.a	Caractéristiques physiques	8
6.5.b	L'amplificateur.....	8
6.5.c	Alimentation.....	9
6.6	Le système d'acquisition automatisée	9
7	Construction et réglages du spectroscopie	9
7.1	Le bâti et le couvercle	9
7.2	Fixation des miroirs	9
7.3	Dispositif d'orientation du réseau	9
7.4	Réglages	9
8	Mesures	9
8.1	Etalonnage du spectroscopie	9
8.2	Tracé du spectre du Soleil	11
9	Interprétations	13
9.1.a	L'allure générale du spectre du Soleil : rayonnement du corps noir	13
9.1.b	Les raies manquantes de Fraunhofer.	13
10	Tracé du spectre d'absorption d'une solution de permanganate de potassium	14
11	Conclusion	14
	Annexes	15

1 Remerciements :

Nous remercions Elisabeth Massot chercheuse à l'Institut de Physique Nucléaire de Lyon qui nous a prodigué des conseils au cours de nos activités au club scientifique du lycée Rosa Parks.
Nous remercions M Bigi, proviseur du lycée, qui a mis notre disposition une salle dans laquelle nous avons pu réaliser nos expériences, construire, tester, et installer notre maquette.
Nous remercions M Jouve notre professeur de physique chimie pour les aides apportées.

2 Introduction

Nous voulons observer les raies de Fraunhofer dans le spectre du Soleil ainsi que les radiations UV .

3 Etude préliminaire

3.1 Historique de l'étude du spectre du Soleil.

1814 le physicien allemand Joseph von Fraunhofer remarque la présence de raies noires dans le spectre du Soleil.

1861 Kirchhoff mesure la position de plusieurs milliers de raies du spectre solaire et montra qu'elles coïncidaient avec celles émises par divers éléments chimiques tels l'hydrogène ou le calcium.
En 1869, le physicien suédois Anders Ångström exprima les longueurs d'onde en nm.

Au cours des années 1890 Henry Rowland découvrit que les spectre lumineux comportent environ 20 000 raies pour des longueurs d'onde allant de 300 à 700 nm. Ce catalogue est encore utilisé aujourd'hui.

3.2 Les méthode les plus couramment utilisées

Pour obtenir un spectre lumineux il y a deux méthodes :

utilisation d'un prisme :

utilisation d'un réseau de diffraction

Le spectre peut être obtenu sur une pellicule photo, ou mieux à l'aide d'un appareil photo numérique.

3.3 Le choix du spectroscopie à réseau

Le lycée possède des prismes en verre permettant de réaliser des spectres, mais le spectre est peu étalé.

Le lycée possède également des réseaux 1000 trait/mm par transmissions en matière plastique.

Le lycée Lavoisier de Mulhouse nous prêté la partie optique dispersive récupéré sur un spectroscopie à réseau hors d'usage pour étudier le principe d'un tel spectroscopie.

Nous avons pu constater que l'on fait tourner le réseau sur lui-même pour sélectionner la bonne longueur d'onde.

Nous avons pris exemple de cet appareil pour construire le notre.

Grâce à la subvention accordée par le concours C'Génial et celle accordée par le concours de Olympiades de Physique nous avons pu acheter des miroirs, un réseau de diffraction de bonne qualité et une alimentation – 15 V + 15 V et le petit matériel de bricolage.

4 Description générale

Le spectroscopie que nous avons construit comporte un réseau orientable, deux miroirs concaves sphériques et une photodiode. L'enregistrement des spectres s'effectue à l'aide d'un système d'acquisition de données.



L'ensemble du spectroscopie et du système d'acquisition de données et vue intérieure

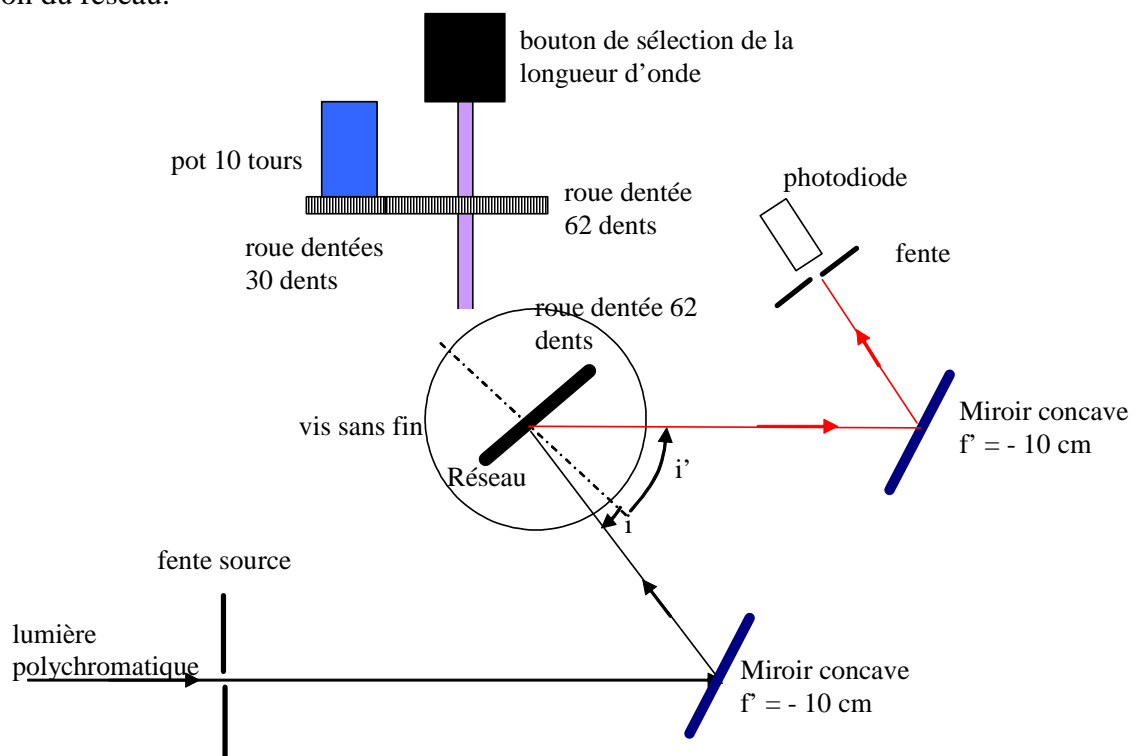
Le système est enfermé dans une boîte la plus hermétique possible à la lumière extérieure.

5 Schéma et principe du spectroscopie

5.1 Les différentes parties du spectroscopie

La version définitive de notre spectroscopie comporte un réseau de 1300 traits/mm aluminé en surface, deux miroirs sphériques concaves aluminés en surface de 5 cm de diamètre et distance focale - 10cm

Un système d'engrenages permet d'orienter le réseau pour sélectionner la radiation monochromatique qui frappe la photodiode. Un potentiomètre 10 tours est solidaire du système grâce à une transmission par engrenages. Il délivre une tension dépendant directement de l'angle de rotation du réseau.



Une photodiode UV-Visible est le capteur permettant d'obtenir l'intensité de la radiation sélectionnée.

Une fente est disposée à l'entrée du spectroscopie et une autre devant la photodiode.

5.2 Principe de fonctionnement

C'est le réseau qui permet d'obtenir la dispersion de la lumière.

La théorie montre que le réseau doit être éclairé par un faisceau de lumière parallèle.

Il faut donc que le miroir M1 soit à une distance de la fente F1 égale à sa distance focale.

La rotation du miroir permet de sélectionner la radiation qui est diffractée dans la direction donnée par l'angle i' .

Le miroir M2 forme dans son plan focal l'image de la fente source pour la radiation sélectionnée. La fente F2 doit donc être dans le plan focal du miroir M2.

6 Etude des divers constituants du dispositif

6.1 Les fentes

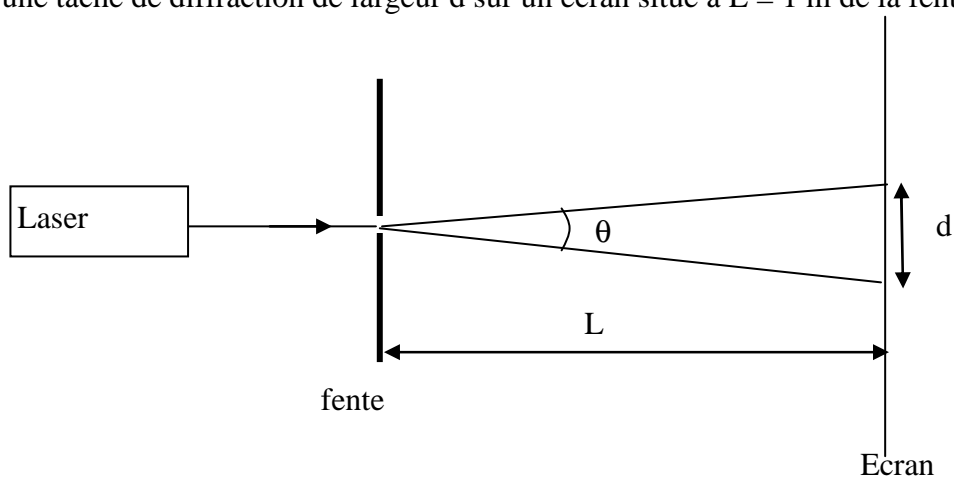
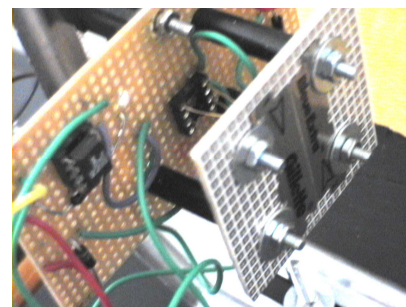
6.1.a Constitution

Elles sont fabriquées à l'aide de deux lames de rasoir. Nous avons réglé leur épaisseur à la plus petite valeur possible pour obtenir la meilleure résolution possible, tout en gardant une intensité lumineuse suffisante.

6.1.b Largeur des fentes

Nous mesurons la largeur de la fente source en utilisant la diffraction d'un faisceau laser rouge.

Nous plaçons le faisceau laser rouge de longueur d'onde $\lambda = 630 \text{ nm}$ derrière la fente source. Nous observons une tâche de diffraction de largeur d sur un écran situé à $L = 1 \text{ m}$ de la fente source.



La théorie de la diffraction donne la relation $\theta = 2 \frac{\lambda}{a}$. Or l'angle θ est petit donc $\theta \approx \frac{d}{L}$, donc

$$d = 2 \frac{\lambda \times L}{a} \text{ ce qui donne } a = 2 \frac{\lambda \times L}{d}.$$

Nous mesurons $d = 1,4 \text{ cm}$.

$$\text{La largeur de notre fente source est donc } a = 2 \frac{630 \cdot 10^{-9} \times 1,0}{0,014} = 90 \mu\text{m}$$

6.2 Les miroirs sphériques

6.2.a Caractéristiques physiques

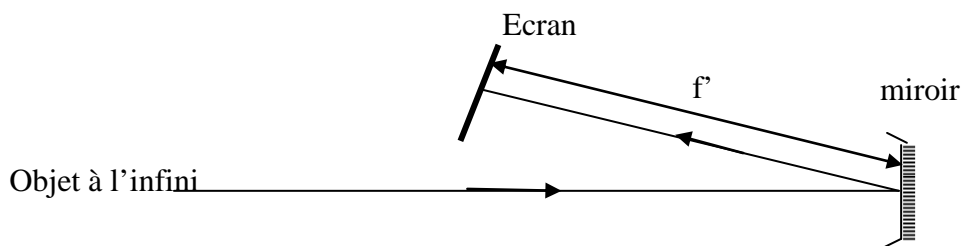
Ce sont des miroirs sphériques en pyrex de distance focale – 10 cm aluminés en surface et de diamètre 5 cm



6.2.b Vérification de leur distance focale

L'image d'un objet éloigné se situe dans le plan focal du miroir, nous avons dans une pièce semi obscure, fait l'image nette du paysage extérieur sur un écran. Nous mesurons alors la distance écran

miroir. Cette distance est égale à la distance focale du miroir. Nous trouvons bien pour les deux miroirs une valeur de 10 cm.



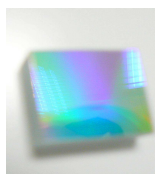
6.2.c Problèmes dus aux aberrations

Lors de l'expérience précédente nous constatons que l'image du paysage extérieur est très déformée si l'angle entre l'axe du miroir et la direction des rayons lumineux est trop grand. Il faudra donc faire en sorte que les faisceaux lumineux soient au plus près possible de l'axe optique des miroirs.

6.3 Le réseau

6.3.a Caractéristiques physiques

C'est un réseaux de 1300 traits/mm en pyrex, aluminé en surface et optimisé pour la radiation 589 nm.



6.3.b Vérification du pas du réseau

Notre professeur nous a indiqué que la longueur d'onde λ de la radiation sélectionnée par le réseau est donné par la relation

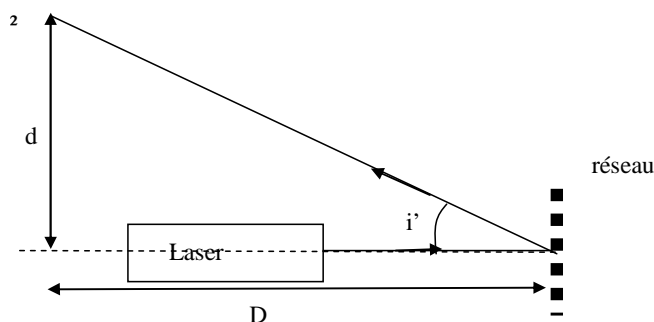
$$\sin(i) + \sin(i') = p \times n \times \lambda,$$

où p un nombre entier qui est l'ordre du spectre, n le nombre de traits/m du réseau, i l'angle d'incidence et i' l'angle de diffraction.

Nous avons donc utilisé un Laser He-Ne émettant une radiation de 630 nm.

En incidence normale ($i = 0$) nous avons déterminé l'angle de diffraction des deux ordres obtenus en mesurant la distance D entre le réseau et l'écran et la distance d entre la direction initiale du faisceau et la tâche de l'ordre choisi.

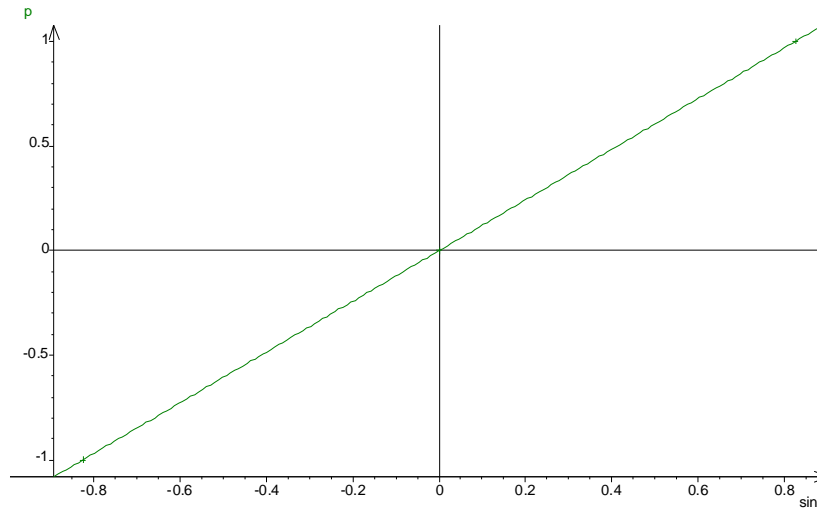
Nous calculons l'angle i' avec $i' = \text{Atan}\left(\frac{d}{D}\right)$



Nous n'observons qu'un seul ordre.

Résultats $D = 2$ m

ordre p	-1	0	1
d	2,92	0	2,92
$\tan(i') = d/D$	1,46	0	1,461
i' en degrés	55,6	0	55,7
$\sin(i')$	0,826	0	0,826



Le coefficient directeur de la droite obtenue est de $a = 0,826$

Le nombre de traits par m du réseau est donné par $n = a/\lambda = 0,826/6,35 \cdot 10^{-7} = 1,3 \cdot 10^6$ traits/m qui est la valeur annoncée par le constructeur.

6.4 Le système mécanique d'orientation du réseau

6.4.a Valeur de l'amplitude de l'angle de rotation du réseau

La relation $\sin(i) + \sin(i') = p \times n \times \lambda$ permet d'évaluer l'intervalle dans lequel varie l'angle i' .

λ varie entre 800 nm et 250 nm, $p = 1$ et $n = 1300$ traits/mm.

La somme des angles $S = i + i'$ est constante de l'ordre de 15° donc $i' = S - i$.

Si l'angle i' est compté positivement, l'angle i est compté négativement puisque de l'autre côté de la normale.

La relation du réseau devient :

$$\sin(S-i) + \sin(i) = p \times n \times \lambda$$

A l'aide d'un tableur nous avons trouvé les valeurs suivantes :

$$\lambda = (\sin(15 - A2) + \sin(A2)) \times 1000$$

i en degrés	-2,00	-7,50	-14	-24
lambda(nm)	251	394	558	796

Nous constatons que le réseau doit tourner d'un angle de 22° environ pour que l'ensemble des valeurs comprises entre 250 nm et 800 nm soient sélectionnées.

6.4.b Dispositif démultiplicateur

Nous avons acheté un jeu d'engrenages divers comportant divers roues dentées et une vis sans fin (voir annexe).

Le réseau est solidaire d'une roue dentée de 62 dents.

Nous avons considéré une rotation totale de 30° afin de

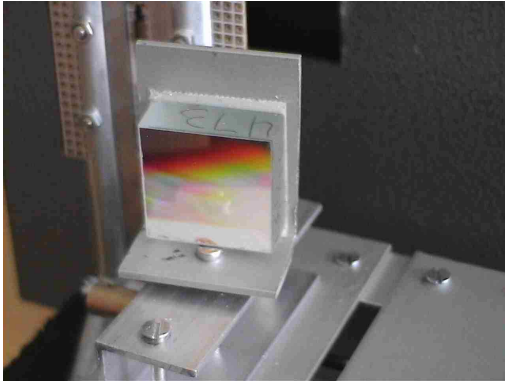
30° correspond à 0,083 tours, soit 5,2 dents.

La vis sans fin solidaire de l'axe 1 doit donc tourner de 5,2 tours car un tour de la vis sans fin fait tourner la roue dentée d'un angle correspondant à une dent.

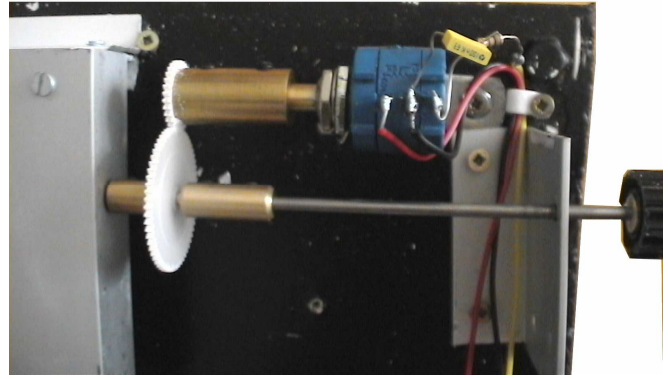
Le potentiomètre dix tours doit tourner de .. 10 tours lorsque l'axe 1 tourne de 5,2 tours.

Il faut donc un rapport entre le nombre de dents de la roue dentée2 et la roue dentée3 égal à $10/5,2 = 1,9$

La roue dentée solidaire du potentiomètre dix tours possède 12 dents et la roue dentée solidaire de l'axe1 possède 30 dents.



le réseau



le système de roues dentées
et le potentiomètre 10 tours

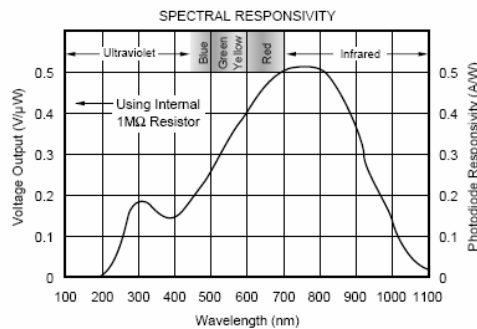
6.5 La photodiode et son dispositif d'amplification

6.5.a Caractéristiques physiques

Sa référence est Opt301, nous l'avons achetée chez radiospars. V annexe

Elle est sensible aux radiations comprises entre 250 nm et 1100 nm, avec une sensibilité maximale vers 750 nm.

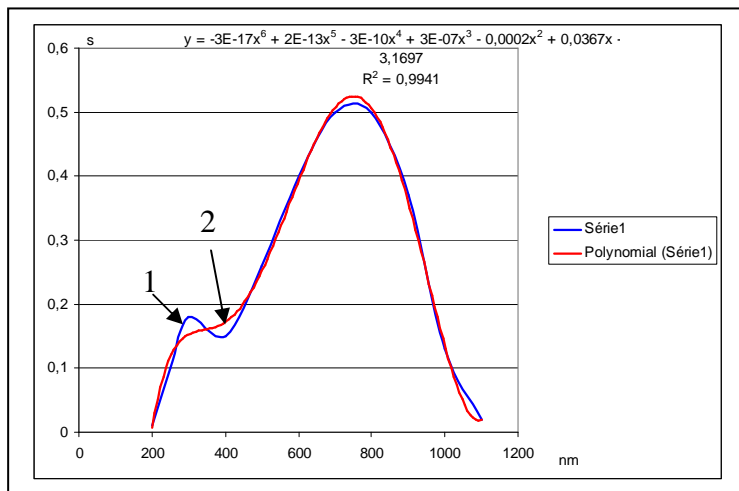
Le constructeur donne la sensibilité de la photodiode en fonction de la longueur de la radiation.



Il faudra donc diviser les valeurs de la tension délivrée par la photodiode pour chaque longueur d'onde par cette sensibilité pour que les spectres ne soient pas déformés.

Il serait très fastidieux de relever chaque valeur de cette sensibilité pour les 3 ou 4000 valeurs que comporte notre fichier de mesures. Nous avons modélisé la courbe de sensibilité à l'aide du tableur Excel à l'aide d'un polynôme de degré 6.

$y = -3,03914676E-17x^6 + 1,69712789E-13x^5 - 3,44510529E-10x^4 + 3,29468561E-07x^3 - 1,57712366E-04x^2 + 3,67381916E-02x - 3,16965958E+00$ avec un coefficient de corrélation égal à 0,9941.



1 : la courbe donnée par le constructeur. 2 : la courbe modélisée.

6.5.b L'amplificateur

Le signal délivré par la photodiode est très faible, il faut donc l'amplifier. Nous avons utilisé un amplificateur d'instrumentation AD620 peu onéreux, qui permet d'obtenir une tension ayant un faible offset et un faible bruit de fond.

Nous avons ajouté un réglage du gain de l'amplificateur. Un commutateur à trois positions permet de sélectionner trois résistors au choix : 49 Ω, 100 Ω, et 490 Ω. afin d'obtenir des gain de 100, 500 et 1000.

6.5.c Alimentation

Une alimentation – 15 V + 15 V filtrée délivre une tension symétrique rigoureusement constante.

6.6 Le système d'acquisition automatisée

Le choix a été imposé par le matériel dont nous disposons au lycée : le système SYSAM d'EUROSMART qui est facile d'utilisation.

Nous réglons le logiciel Latis qui pilote l'interface en mode XY, la voie EA0 mesure la tension délivrée par le potentiomètre 10 tours, et la voie EA1 mesure la tension délivrée par la photodiode. L'enregistrement des valeurs s'effectue lorsque la variation de tension EA0 est de 0,002V s

7 Construction et réglages du spectroscope

7.1 Le bâti et le couvercle

Le bâti est en bois aggloméré mélaminé, peint en noir. Le couvercle est en bois contreplaqué de 5 mm d'épaisseur peint en noir. Nous avons recouvert le couvercle d'une feuille d'aluminium car nous nous sommes aperçu que la lumière du Soleil traversait le bois contreplaqué trop fin.

7.2 Fixation des miroirs

Des équerres en acier destinées normalement à l'assemblage de charpente et des plaques d'époxy permettent d'obtenir une bonne stabilité de miroirs.

7.3 Dispositif d'orientation du réseau

Le système d'engrenage a été assemblé à l'aide de cornières en aluminium.

7.4 Réglages

Nous utilisons la lampe à bronzer disponible au lycée.

Nous utilisons une feuille de papier blanche placée au niveau de la fente F2 sur laquelle l'image du spectre se forme.

Nos premiers essais de la version comportant un seul miroir furent peu satisfaisants : la tension délivrée par la photodiode présentait des pics parasites dus au potentiomètre 10 tours, de plus les raies observées n'étaient pas fines du tout. Nous constatons également une absence de détection dans l'ultraviolet.

Nous avons fixé un condensateur de 100 nF aux bornes du potentiomètre ce qui a fait disparaître les parasites.

Nous avons placé un second miroir afin d'obtenir l'image de la fente source dans le plan focal de ce miroir..

Nous avons réduit la largeur de la fente d'entrée, réglé la distance entre le miroir M1 et la fente F1, nous repérons la position de la feuille blanche qui donne l'image la plus nette du spectre possible
Remarque : sur la feuille blanche, nous pouvons voir des raies bleues dans la zone des ultraviolets : c'est le phénomène de fluorescence.

8 Mesures

8.1 Etalonnage du spectroscope

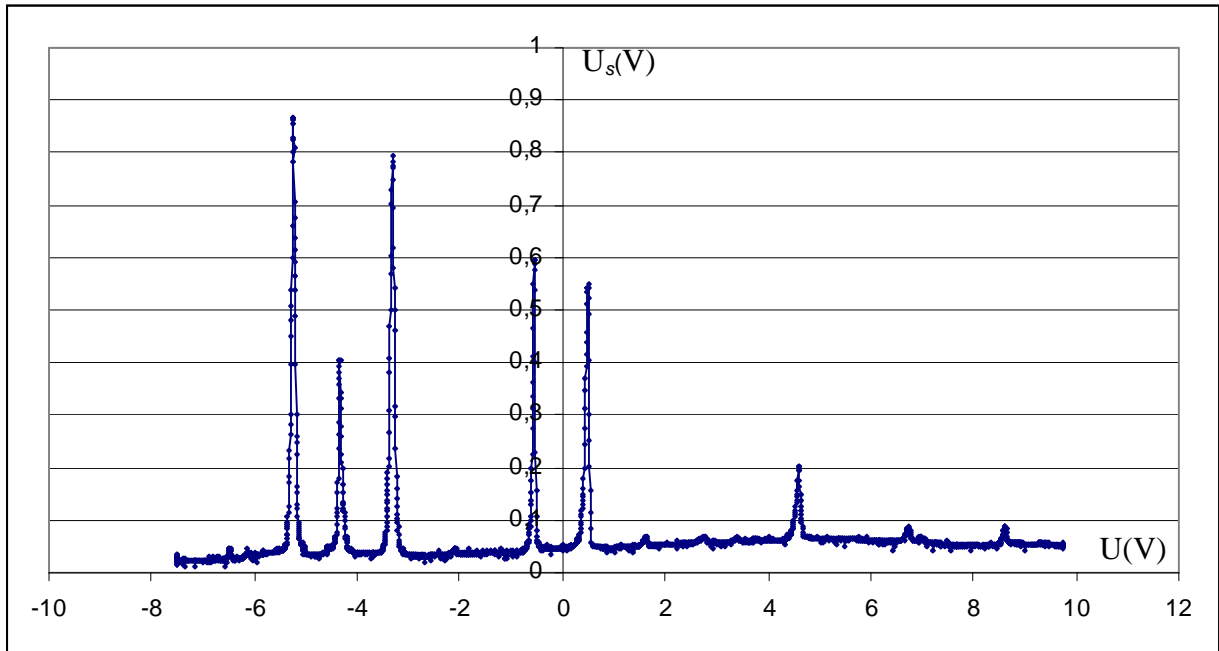
Nous plaçons une lampe à bronzer devant la fente du spectroscope.

Une lampe à bronzer est une lampe à vapeur de mercure. Les raies caractéristiques de l'élément mercure sont connues et permettrons d'étalonner l'appareil.

Nous tournons le bouton de sélection des longueurs d'onde de telle sorte que l'on lise une tension de 10 V aux bornes du potentiomètre 10 tours.

Nous tournons ensuite ce bouton très lentement vers la gauche.

L'acquisition s'effectue automatiquement. Nous transférons les valeurs dans le tableur Excel. Nous obtenons la courbe ci – dessous.



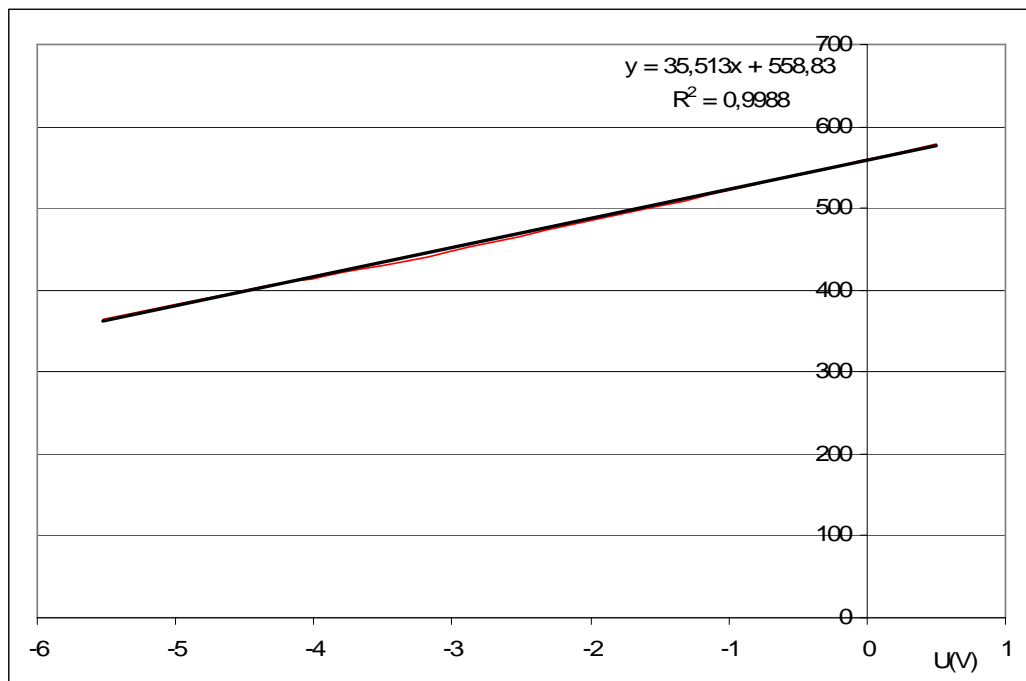
Les pics observés correspondent aux raies du mercure de longueur d'onde connue.

Nous mesurons la tension pour chaque pic :

U(V)	λ (nm)
0,496	578
-0,537	540
-3,306	436
-4,339	406
-5,5248	365

Nous traçons la courbe donnant λ en fonction de U.

On modélise la droite obtenue par une fonction affine $\lambda = 35,513 \times U + 558,83$

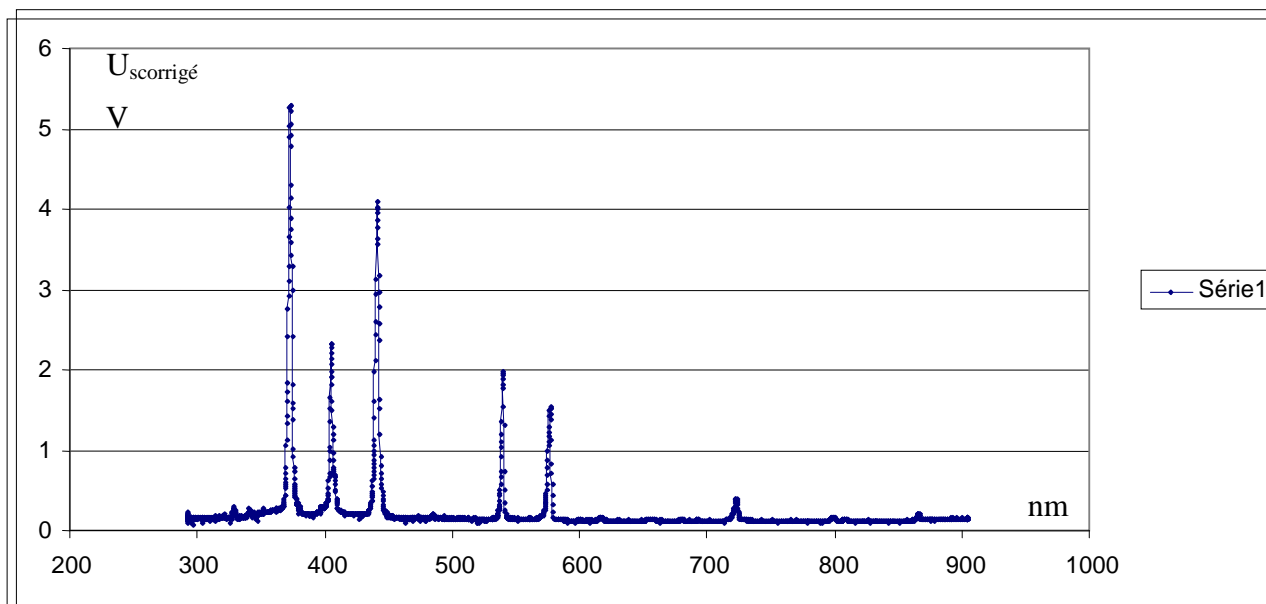


Pour chaque spectre nous réaliserons deux transformations des valeurs mesurées :

en abscisse la tension U est convertie en longueur d'onde avec la relation $\lambda = 35,513 \times U + 558,83$

en ordonnée la tension délivrée par la photodiode est corrigée en la divisant par le sensibilité : $s = -3E^{-17}\lambda^6 + 2E^{-13}\lambda^5 - 3E^{-10}\lambda^4 + 3E^{-07}\lambda^3 - 0,0002\lambda^2 + 0,0367\lambda - 3,1697$

Ainsi le spectre du mercure a l'allure suivante :

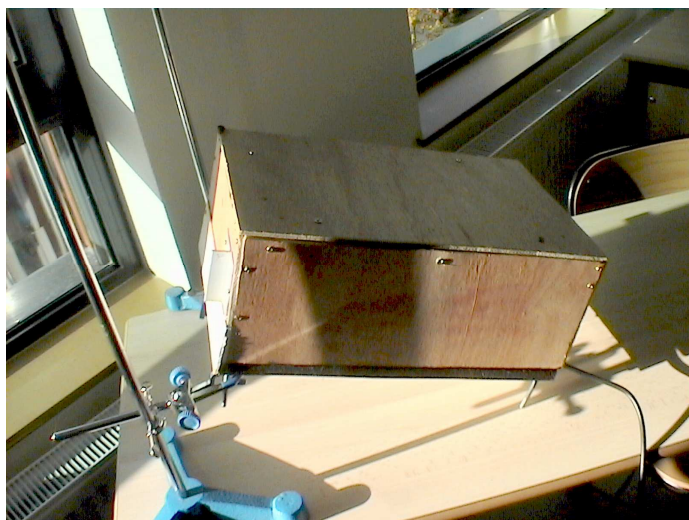


Les pics observés pour $\lambda > 700$ nm sont les pics UV et violet du spectre d'ordre 2.

La résolution d'un spectroscope est la largeur minimale qui permet de séparer deux raies. Ici les deux raies jaunes du mercure sont à peine distinguables. Elles ont pour longueur d'onde 577 et 579 nm. On peut donc considérer que la résolution est de 2 nm. La résolution plus faible que prévue qu'un réseau de 1300 traits/mm permet normalement d'obtenir.

8.2 Tracé du spectre du Soleil

Nous avons tracé ce spectre fin septembre 2008.

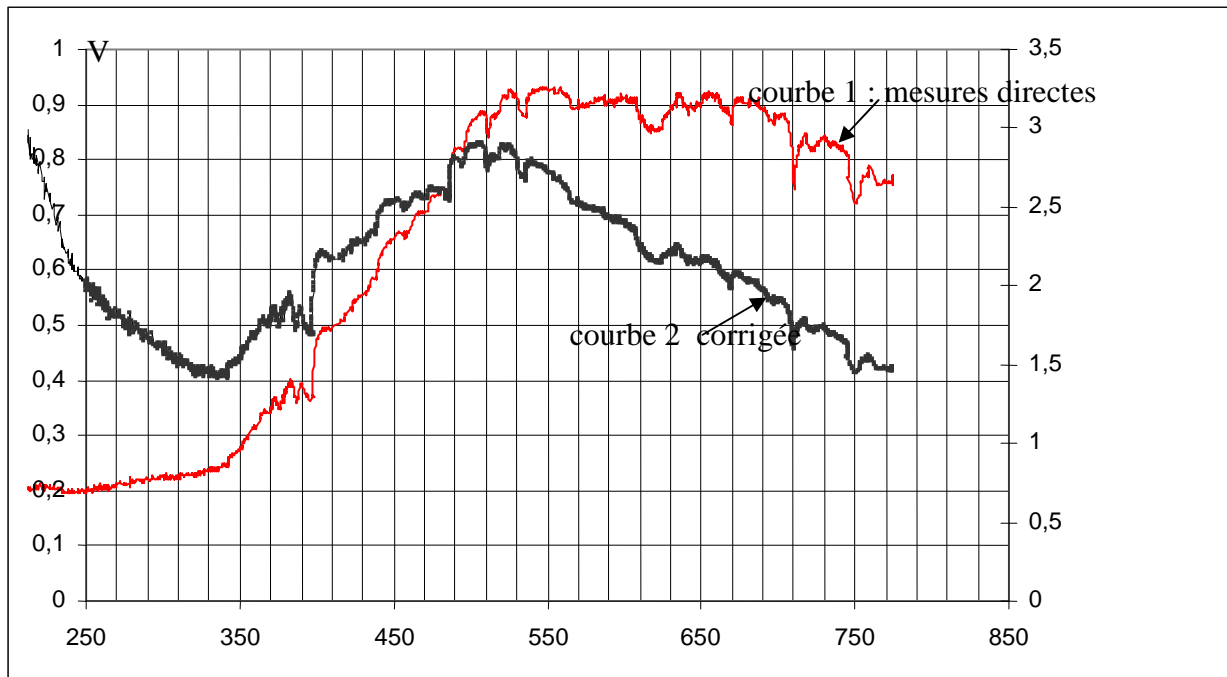


Nous obtenons la courbe 1 ci-dessous.

Nous dirigeons directement la fente du spectroscope vers le Soleil comme l'indique la photo ci-contre.

Nous tournons très lentement et très régulièrement le potentiomètre depuis le rouge vers l'ultraviolet.

Nous sélectionnons les valeurs obtenues dans le tableur du logiciel Latis, puis nous les transférons dans le tableur Excel.

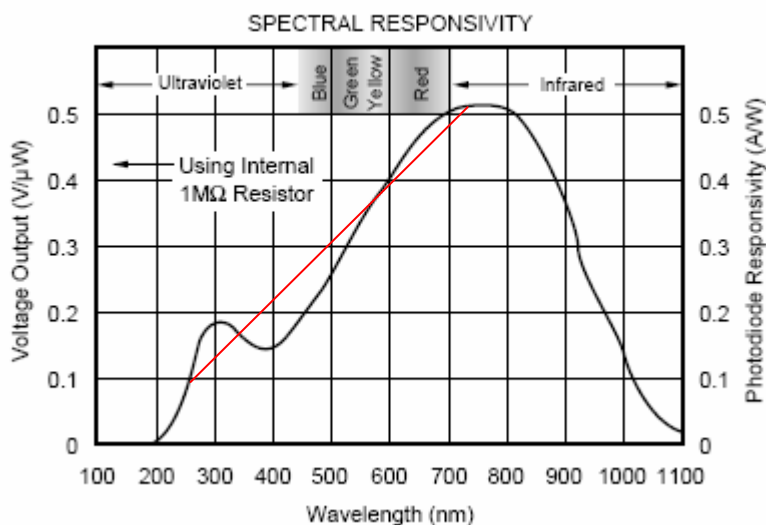


La photodiode présente une sensibilité variant en fonction de la longueur d'onde. A cette époque l'appareil était réglé pour mesurer des longueurs d'onde comprises entre 700 nm et 250 nm.

Nous avons approximé cette sensibilité par une fonction affine $s = a \times \lambda + b$ sur l'intervalle [250 nm, 750 nm] droite rouge.

$a = 8.10^{-4} \text{ nm}^{-1}$ et $b = 0,5$. (sans unité pour nous, puisque correction arbitraire)

Nous divisons les valeurs mesurées par s . Nous obtenons la courbe 2 en noir..



Les valeurs obtenues pour des longueurs d'onde inférieures à 300 nm ne sont pas valables, il s'agit en fait de lumière parasite., ce ne sont pas des radiations UV.

Nous avons maintenant corrigé ce défaut, le boîtier est beaucoup plus étanche à la lumière.

Nous n'avons pas pu tracer de nouveau le spectre du Soleil au début du mois de janvier 2009 avec les nouveaux réglages.

9 Interprétations

9.1.a L'allure générale du spectre du Soleil : rayonnement du corps noir

Notre spectre présente un maximum vers $\lambda_{max} = 500 \text{ nm}$.

La loi de Wien permet de trouver la température du Soleil :

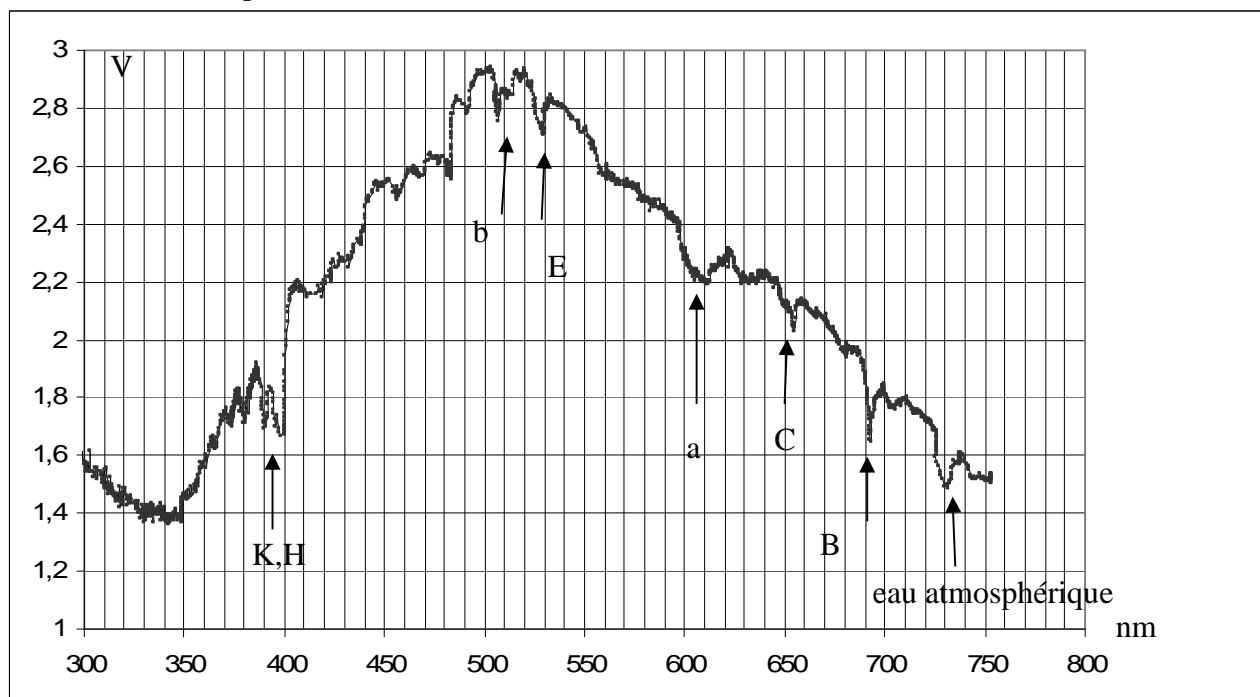
$$\lambda_{max} = \frac{2,898.10^{-3}}{T} \quad \text{où } \lambda_{max} \text{ est exprimée en m et T est la température en kelvin.}$$

$$T = \frac{2,898.10^{-3}}{\lambda_{max}} = 5296 \text{ K}$$

La valeur annoncée par les astronomes est 5781 K, notre valeur présente un écart de moins de 1 % par rapport à cette dernière.

9.1.b Les raies manquantes de Fraunhofer.

Nous zoomons le spectre obtenu



Sur wikipedia nous avons trouvé le spectre du Soleil avec les radiations absorbées repérées par leur lettre. voir annexe.

Nous retrouvons les raies :

raies K, H : le calcium

raie F : l'hydrogène

a : dioxygène

C : Hydrogène

B : Dioxygène

b : Les raies du fer et du magnésium

E : Les raies du fer

Ce sont des éléments présents dans la photosphère du Soleil.

10 Tracé du spectre d'absorption d'une solution de permanganate de potassium

Nous utilisons un réglage différent de celui utilisé pour le tracé du spectre du Soleil.

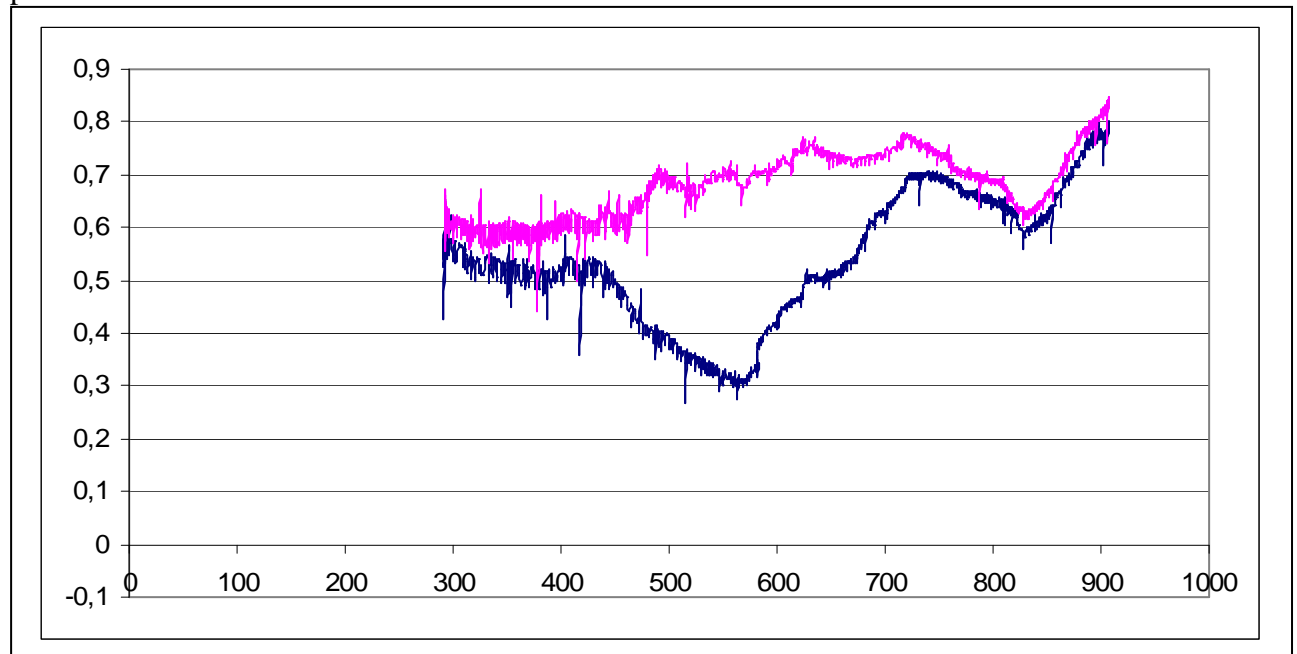
N

Nous utilisons une lampe à incandescence devant la fente du spectroscopie.

Nous plaçons la cuve en verre de largeur 1cm juste devant la fente source

Nous traçons d'abord le spectre de la source lumineuse à travers une cuve remplie d'eau distillée.

Ensuite nous traçons ce même spectre à travers la cuve remplie d'une solution de permanganate de potassium.



Courbe 1 : cuve remplie d'eau

Cuve 2 : cuve remplie d'une solution de permanganate de potassium de concentration $4 \cdot 10^{-3}$ mol/L

Nous sommes surpris du résultat, notre correction de sensibilité de la photodiode est trop importante aux basses longueurs d'onde ce qui se traduit par une augmentation de l'intensité émise par la lampe à incandescence dans l'ultraviolet !

La courbe précédente montre cependant que la solution de permanganate de potassium absorbe entre 450 nm et 700 nm.

Les petits décrochements sont des signaux parasites captés dans les câbles de liaison entre le spectroscopie et l'interface.

11 Conclusion

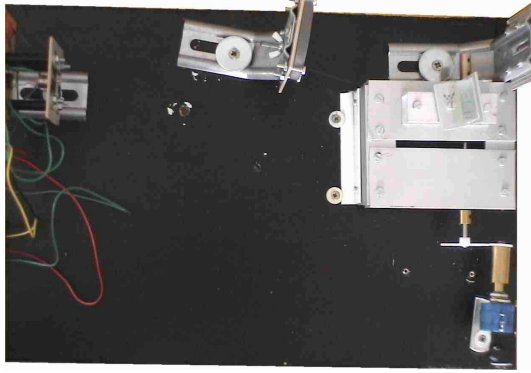
Malgré le côté rudimentaire de notre appareil les résultats obtenus sont tout de même satisfaisants puisque nous retrouvons des valeurs proches de celles données par les laboratoires . Nous devons améliorer l'étanchéité à la lumière extérieure et la résolution.

Notre dispositif « réinvente la poudre » mais il peut intéresser les lycéens et club d'astronomie qui voudrait construire un tel appareil avec finalement peu de moyens.

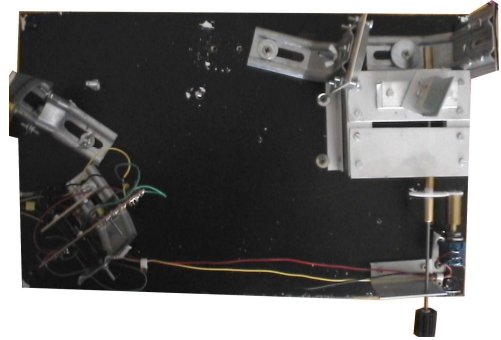
Nous sommes déçus par la résolution plus faible que prévue obtenue par notre dispositif.

Annexes

annexe 1 Photos de l'évolution de l'appareil

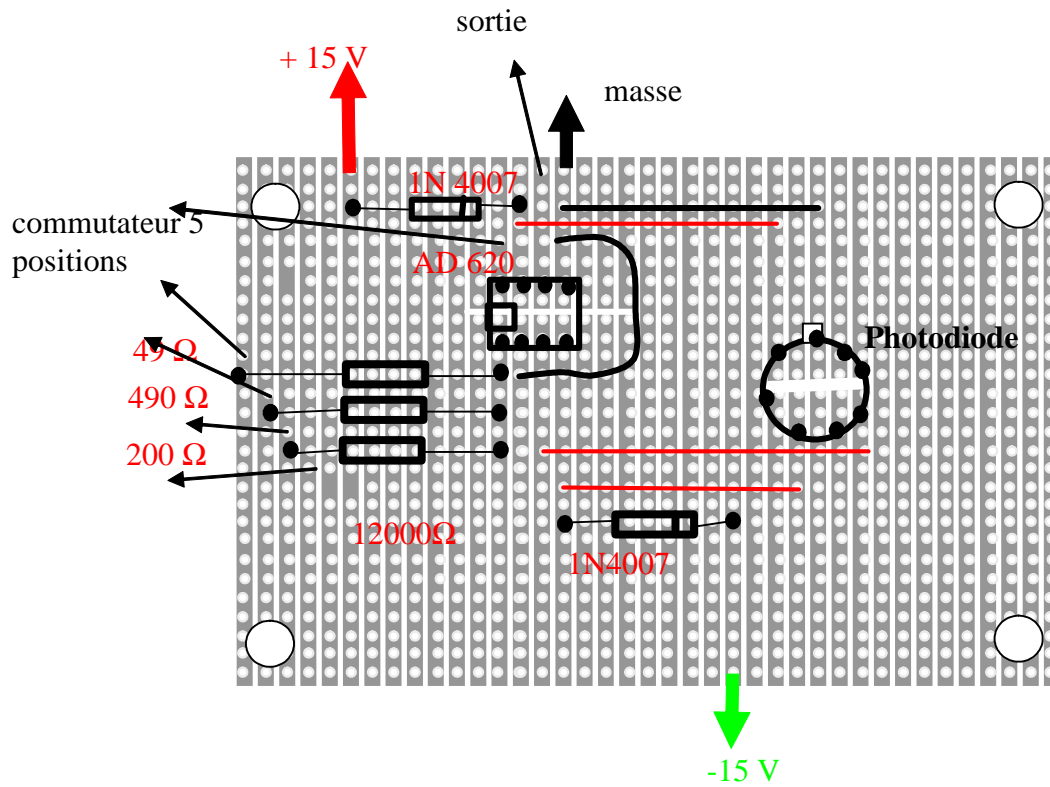


Version1 avec un seul miroir

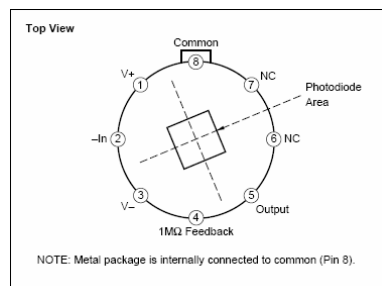


Version définitive avec deux miroirs

annexe 2 Le plan de câblage de l'amplificateur
vue côté composants



annexe 3 La photodiode



Brochage



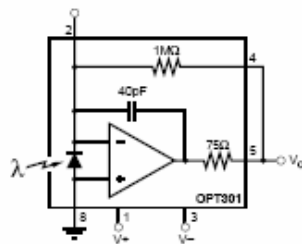
INTEGRATED PHOTODIODE AND AMPLIFIER

FEATURES

- PHOTODIODE SIZE: 0.090 x 0.090 inch (2.29 x 2.29mm)
- 1MΩ FEEDBACK RESISTOR
- HIGH RESPONSIVITY: 0.47A/W (650nm)
- IMPROVED UV RESPONSE
- LOW DARK ERRORS: 2mV
- BANDWIDTH: 4kHz
- WIDE SUPPLY RANGE: ±2.25 to ±18V
- LOW QUIESCENT CURRENT: 400μA
- HERMETIC TO-99

APPLICATIONS

- MEDICAL INSTRUMENTATION
- LABORATORY INSTRUMENTATION
- POSITION AND PROXIMITY SENSORS
- PHOTOGRAPHIC ANALYZERS
- SMOKE DETECTORS

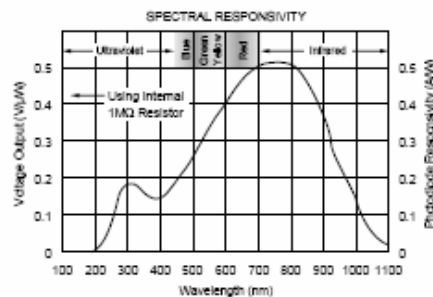


DESCRIPTION

The OPT301 is an opto-electronic integrated circuit containing a photodiode and transimpedance amplifier on a single dielectrically isolated chip. The transimpedance amplifier consists of a precision FET-input op amp and an on-chip metal film resistor. The 0.09 x 0.09 inch photodiode is operated at zero bias for excellent linearity and low dark current.

The integrated combination of photodiode and transimpedance amplifier on a single chip eliminates the problems commonly encountered in discrete designs such as leakage current errors, noise pick-up and gain peaking due to stray capacitance.

The OPT301 operates over a wide supply range (±2.25 to ±18V) and supply current is only 400μA. It is packaged in a hermetic TO-99 metal package with a glass window, and is specified for the -40°C to 85°C temperature range.



annexe 4 Kit roues dentées Gotronic

Kit engrenages S796

Ensemble d'engrenages en plastique et d'axes métalliques permettant de résoudre vos problèmes de transmission et de réduction de vitesse.

Module 0,5.

Contenu:

2 axes acier Ø3 x 50 mm

2 axes acier Ø3 x 70 mm

2 axes acier Ø3 x 95 mm

2 axes acier Ø3 x 120 mm

1 pignon Ø6 mm 10 dents (perçage Ø1,9 mm)

1 pignon Ø7 mm 12 dents (perçage Ø1,9 mm)

1 pignon Ø7 mm 12 dents (perçage Ø2,9 mm)

2 vis sans fin Ø6 mm (perçage Ø1,9 mm)

2 couronnes 90° Ø13,5 mm 24 dents (perçage Ø2,9 mm)

4 roues dentées Ø16 mm 30 dents + Ø6 mm 10 dents (perçage Ø2,9 mm)

4 roues dentées Ø25 mm 48 dents + Ø7 mm 12 dents (perçage Ø2,9 mm)

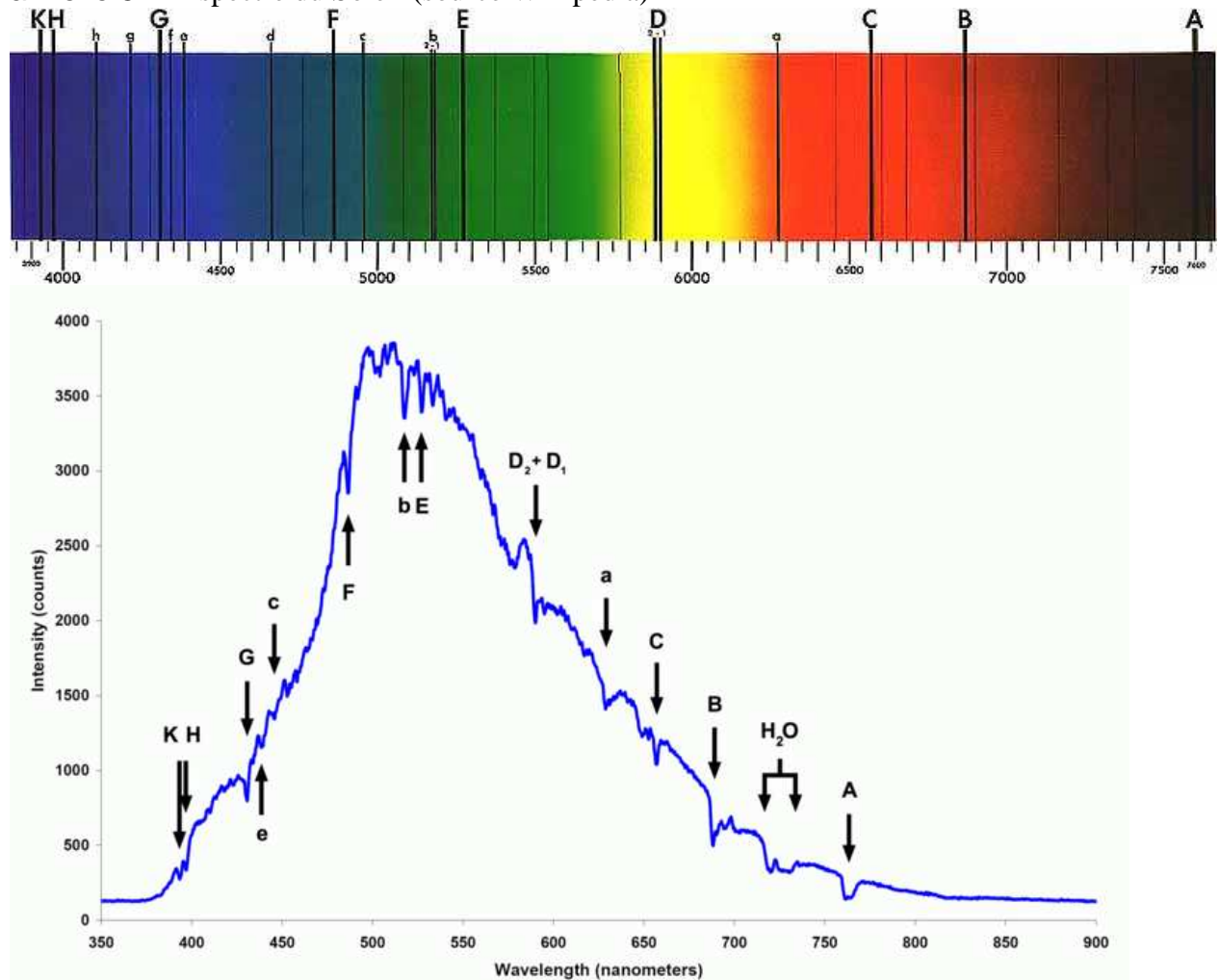
4 roues dentées Ø25 mm 48 dents + Ø7 mm 12 dents (perçage Ø3,1 mm)

4 roues dentées Ø26 mm 50 dents + Ø6 mm 10 dents (perçage Ø2,9 mm)

4 roues dentées Ø32 mm 62 dents + Ø7 mm 12 dents (perçage Ø2,9 mm)



annexe 5 spectre du Soleil (source Wikipedia)



y	O₂	898,765	c	Fe	495,761
Z	O ₂	822,696	F	H β	486,134
A	O ₂	759,370	d	Fe	466,814
B	O ₂	686,719	e	Fe	438,355
C	H α	656,281	G'	H γ	434,047
a	O ₂	627,661	G	Fe	430,790
D ₁	Na	589,594	G	Ca	430,774
D ₂	Na	588,997	h	H δ	410,175
D ₃	He	587,565	H	Ca ⁺	396,847
E ₂	Fe	527,039	K	Ca ⁺	393,368
b ₁	Mg	518,362	L	Fe	382,044
b ₂	Mg	517,270	N	Fe	358,121
b ₃	Fe	516,891	P	Ti⁺	336,112
b ₄	Fe	516,751	T	Fe	302,108
b ₄	Mg	516,733	t	Ni	299,444

Die Fraunhofer C-, F-, G'-, und h-Linien stimmen mit den alpha,