

# Spectrophotomètre UV et visible

Le Soleil , cet ami qui ne nous veut  
pas que du bien

Sujet proposé par 4 élèves de la terminale STL PLPI  
du lycée Lavoisier de Mulhouse

**Gwenaëlle Dekreon**

**Alexis Leroy**

**Vincent Hoang**

**Eric Monsifrot**



TABLE DES MATIERES

<b>I)</b>	<b>REMERCIEMENTS.....</b>	<b>2</b>
<b>II)</b>	<b>POURQUOI CONSTRUIRE UN SPECTROPHOTOMETRE ? .....</b>	<b>2</b>
<b>III)</b>	<b>QUELQUES CARACTERISTIQUES DU RAYONNEMENT ULTRAVIOLET.....</b>	<b>2</b>
1)	LES DIVERSES RADIATIONS ELECTROMAGNETIQUES .....	2
2)	LES DANGERS DES UV ET MOYENS POUR S'EN PROTEGER.....	2
3)	MISE EN EVIDENCE DES RADIATIONS ULTRAVIOLETES.....	3
4)	NOTION DE LONGUEUR D'ONDE.....	3
<b>IV)</b>	<b>PRINCIPE DU SPECTROPHOTOMETRE UV VISIBLE.....</b>	<b>3</b>
1)	SCHEMA GENERAL DE L'APPAREIL.....	3
2)	TRANSMITTANCE-ABSORBANCE.....	4
3)	PROBLEMES SPECIFIQUES AUX U.V. ....	4
<b>V)</b>	<b>ETUDE DU RESEAU .....</b>	<b>4</b>
1)	QU'EST-CE QU'UN RESEAU DE DIFFRACTION? .....	4
2)	LE PHENOMENE DE DIFFRACTION.....	4
3)	VERIFICATION DE LA LOI DU RESEAU.....	5
<b>VI)</b>	<b>REALISATION PRATIQUE DE L'APPAREIL.....</b>	<b>7</b>
1)	SCHEMA GLOBAL DE NOTRE SPECTROPHOTOMETRE : .....	7
2)	LES SOURCES LUMINEUSES .....	8
3)	LE RESEAU.....	8
4)	LES MIROIRS .....	10
5)	LES FENTES.....	11
6)	MESURE DE L'INTENSITE DE RADIATION.....	12
7)	DETERMINATION DE LA LONGUEUR D'ONDE DES RADIATIONS FRAPPANT LE CAPTEUR.....	13
8)	VERIFICATION DU BON REGLAGE OPTIQUE DE L'APPAREIL. ....	13
9)	ENREGISTREMENT DES SPECTRES. ....	13
<b>VII)</b>	<b>ETALONNAGE DU MONOCHROMATEUR.....</b>	<b>13</b>
2)	SPECTRE DE LA LUMIERE SOLAIRE.....	15
3)	SPECTRES DE QUELQUES SOURCES.....	16
4)	TESTS DE QUELQUES LUNETTES DE SOLEIL ET DE PROTECTION .....	17
5)	TESTS DE QUELQUES CREMES SOLAIRES.....	17
<b>VIII)</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>19</b>
<b>IX)</b>	<b>ANNEXES .....</b>	<b>20</b>

## I) Remerciements

Nous remercions les professeurs du lycée Lavoisier qui nous guidés lors de l'élaboration de ce projet, ainsi que les agents du laboratoire de physique qui nous ont aidés lors de la réalisation pratique du spectrophotomètre.

Nous remercions plus particulièrement les professeurs Dalibor VUKICEVIC et Marc TORZYNSKI de l'école nationale supérieure de physique de Strasbourg qui ont accepté d'être nos partenaires, ils nous ont accueilli très chaleureusement et nous ont fait visiter leur laboratoire de photonique. Ils nous ont donné des conseils pour la présentation de notre projet.

## II) Pourquoi construire un spectrophotomètre ?

La presse et les médias conseillent souvent, en été, l'utilisation de crèmes solaires et de lunettes de soleil pour se protéger des rayons ultraviolets nocifs pour la peau.

Ces rayons ultraviolets sont responsables du cancer de la peau. Nous voulons vérifier que les dispositifs protecteurs absorbent réellement les UV et savoir dans quelle proportion.

Comment tester les divers produits protecteurs?

- Il faut un appareil qui détecte les ultraviolets
- Il faut pouvoir déterminer la longueur d'onde des radiations.
- Il faut déterminer le pouvoir absorbant des divers produits.

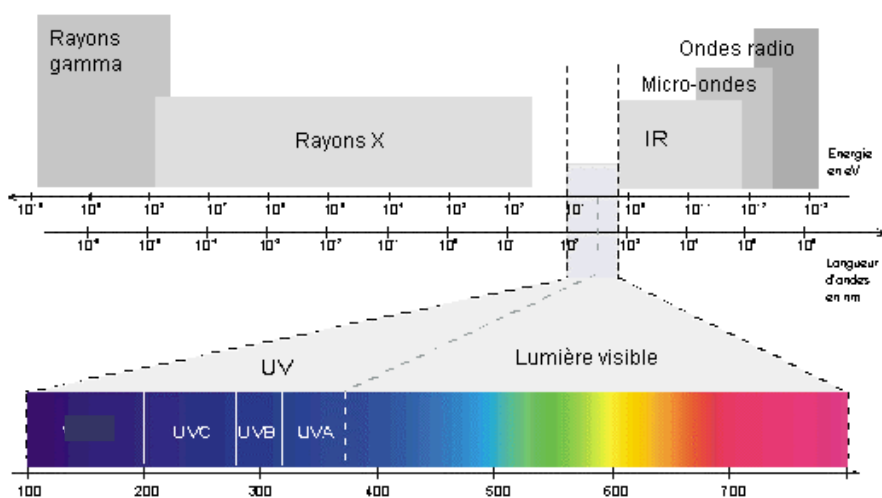
D'où l'utilisation d'un spectrophotomètre, que nous avons entièrement fabriqué, au cours de l'année.

Nous avons voulu construire ce spectrophotomètre UV visible afin de tester les lunettes de Soleil et les crèmes solaires.

## III) Quelques caractéristiques du rayonnement ultraviolet.

### 1) Les diverses radiations électromagnétiques

Les rayonnements UV forment une partie du spectre électromagnétique et sont invisibles à l'oeil nu. Ils sont définis par la zone spectrale 100-380 nm et se terminent dans la partie bleue de la lumière visible (380 -780 nm). La plus importante source de rayonnement UV provient du soleil qui joue un rôle important dans le maintien de la vie sur terre.



### 2) les dangers des UV et moyens pour s'en protéger

L'indice d'une crème solaire est le rapport entre la durée nécessaire à l'obtention de l'érythème avec application de la crème et la durée nécessaire à l'obtention de ce même érythème sans application de crème solaire.

Ainsi une crème solaire d'indice 12 doit permettre de rester théoriquement 12 fois plus longtemps au soleil.

**Il y a 4 zones de longueur d'onde pour l'UV :**

**UVA** : 380 - 315 nm peu dangereux

**UVB** : 315 - 280 nm dangereux

**UVC** : 280 - 200 nm très dangereux

**UVV** : 200 - 100 nm extrêmement dangereux

La couche d'ozone absorbe les UV C et V qui donc ne sont pratiquement pas présents dans la lumière solaire qui parvient au sol.

Les dispositifs de protection devront donc être efficaces surtout pour les UVA et UVB.

La protection idéale est évidemment l'ombre..., mais les loisirs ne sont guère comptables avec l'enfermement !

### 3) Mise en évidence des radiations ultraviolettes

Les radiations ultraviolettes sont invisibles, aussi faut-il des dispositifs nous permettant de les mettre évidence.

Une simple feuille de papier blanc, ou un textile blanc permet de visualiser les ultraviolets.

Si l'on place une telle feuille dans le spectre d'une lampe à vapeur de mercure, on constate l'apparition de raies bleutées dans la zone des ultraviolets.

Nous utilisons une photodiode sensible aux UV dans notre spectrophotomètre.

### 4) Notion de longueur d'onde

Pour comprendre la notion de longueur d'onde nous avons réalisé une expérience simple utilisant une cuve à onde.

Les vaguelettes sont équidistantes et se déplacent à vitesse constante.

La distance qui sépare les deux vaguelettes est appelée longueur d'onde.

La lumière est une onde et la notion de longueur d'onde s'applique à la lumière.

Il faut remarquer que la longueur d'onde de la lumière est très petite (500 nm environ)

## IV) Principe du spectrophotomètre UV visible

### 1) Schéma général de l'appareil

Un spectrophotomètre est un appareil qui comporte :

- Une source de radiations polychromatique
- Un monochromateur capable d'extraire une radiation monochromatique
- L'échantillon à tester
- Un photodétecteur



Le photodétecteur permet de mesurer l'intensité de radiation.

On mesure l'intensité  $I_0$  avant le milieu à tester, puis l'intensité  $I$  après le milieu à tester.

## 2) Transmittance-Absorbance

### a) Transmittance

Considérons un faisceau d'intensité  $I_0$ .

Il traverse un milieu absorbant d'épaisseur  $L$  et ressort avec une intensité  $I$ .

La transmittance d'un milieu est le rapport :

$$T = \frac{I}{I_0}$$

L'intensité d'une radiation est une énergie et s'exprime en watt/m<sup>2</sup>

T dépend de nombreux paramètres :

l'épaisseur,

la longueur d'onde de la radiation traversant le milieu

la nature du milieu

### b) Absorbance

L'absorbance est la grandeur :

$$A = \log\left(\frac{1}{T}\right)$$

Elle n'a pas d'unité.

### c) Loi de Lambert-Beer

Lorsqu'un milieu transparent de longueur  $L$  absorbe une radiation, l'intensité varie selon la loi de Lambert-Beer :

$$I = I_0 e^{-\epsilon.L}$$

$\epsilon$  est un coefficient d'extinction qui dépend de la longueur d'onde et du milieu traversé.

## 3) Problèmes spécifiques aux U.V.

Les ultraviolets lointains (UVB et UVC) sont absorbés par le verre et donc l'utilisation de lentilles et cuves en verre n'est pas adaptée à notre manipulation.

Nous utilisons donc des miroirs sphériques en tant que dispositifs de focalisation et des cuves en quartz pour la mesure de transmittance des divers produits.

Pour le monochromateur, deux dispositifs dispersifs sont possibles :

un prisme

un réseau

Les prismes classiques en Crown ou Flint présentent le problème de l'absorption des ultraviolets, et de plus, nous disposons d'un réseau par réflexion intact récupéré sur un vieux spectrophotomètre hors d'usage qui se trouvait dans la cave du lycée.

Nous utilisons donc ce réseau.

## V) Etude du réseau

### 1) Qu'est-ce qu'un réseau de diffraction?

Puisque nous utilisons un réseau, nous avons voulu en savoir plus sur le principe d'un tel dispositif.

Un réseau de diffraction est une surface sur laquelle sont gravés un très grand nombre de traits parallèles. Un réseau est caractérisé par son nombre de traits par mètre.

### 2) Le phénomène de diffraction

Ce phénomène a lieu dès que la lumière rencontre un obstacle.

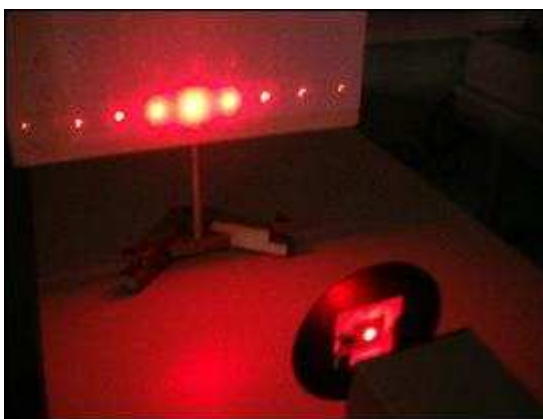
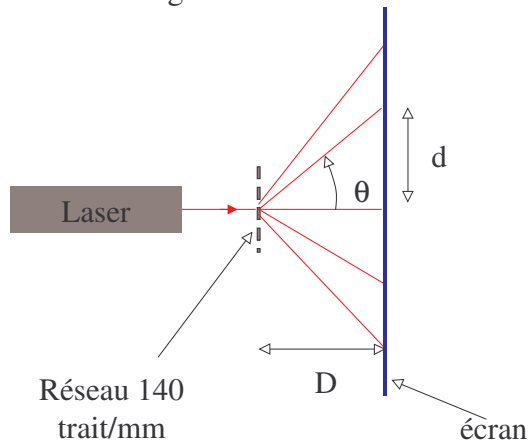
La lumière semble déviée, des zones de l'espace semblent accumuler la lumière ( même dans l'ombre géométrique ) et d'autres zones restent dans l'obscurité alors qu'elles seraient éclairées si l'optique géométrique s'appliquait.

Le phénomène de diffraction est une des preuves expérimentales que la lumière est une onde. Les ondes à la surface de l'eau suivent le phénomène de diffraction, de même que le son.

### 3) Vérification de la loi du réseau

#### a) Avec de la lumière monochromatique et un réseau en transmission

Un faisceau laser rouge traverse sous incidence normale un réseau de 140 traits/mm (Jeulin)



Nous constatons l'apparition de tâches brillantes de part et d'autre de la direction du faisceau Laser. En incidence normale, la théorie du réseau donne la position angulaire de ces tâches grâce à la relation

$$\sin(\theta) = p.n.\lambda.$$

$\theta$  est l'angle entre la normale au réseau et la direction de la tâche brillante ;

$\lambda$  est la longueur d'onde de la lumière

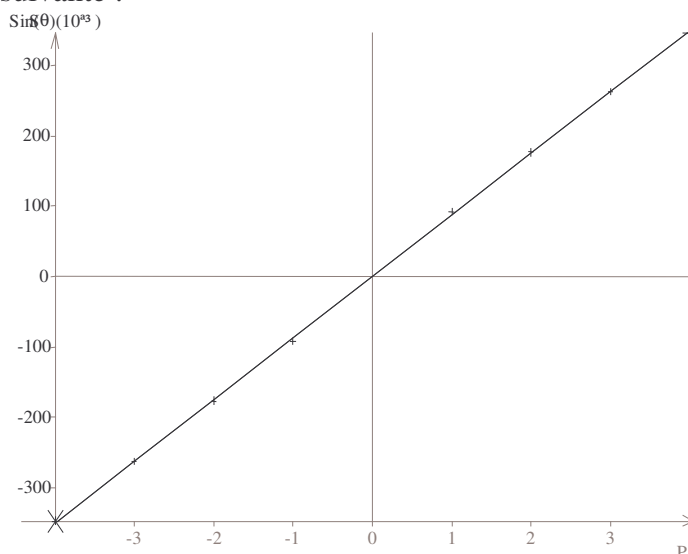
$p$  est le numéro de la tâche brillante encore appelé ordre.

$n$  est le nombre de traits par mètre du réseau.

Nous déterminons  $\sin(\theta)$  en mesurant  $d$  et  $D$  pour chaque tâche.

Nous traçons ensuite la courbe  $\sin(\theta)$  en fonction de  $p$ .

Nous obtenons la droite suivante :



A partir du coefficient directeur  $a$  de cette droite nous obtenons la longueur d'onde du laser :

$$a = 0,08729 \text{ donc } \lambda = \frac{a}{n} = \frac{0,08729}{140000} = 6,23 \cdot 10^{-7} \text{ m. qui correspond bien à la valeur du laser rouge He-Ne.}$$

Nous pouvons donc en mesurant l'angle de diffraction  $\theta$  déterminer la longueur d'onde de la radiation si l'on connaît le nombre de traits par mm du réseau.

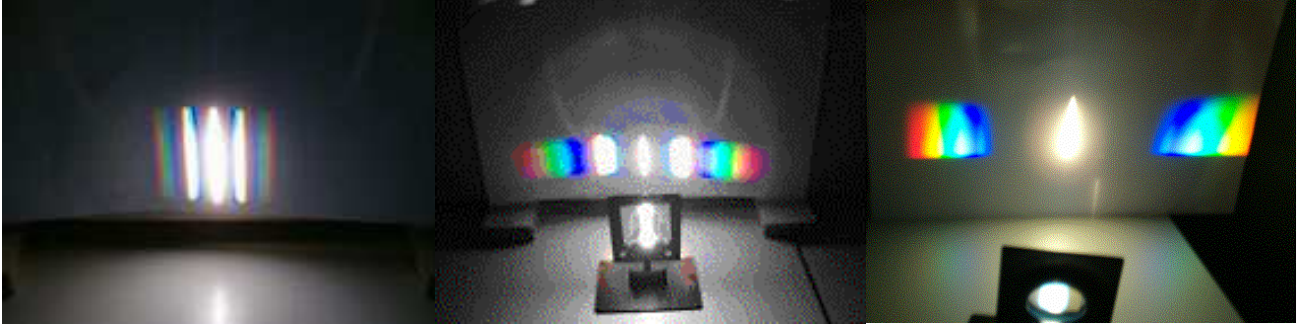
### b) Avec de la lumière polychromatique

Nous avons réalisé la même expérience à l'aide d'une source polychromatique : le projecteur de diapositive.

Nous obtenons autant de spectre qu'il y a de tâches rouges dans l'expérience utilisant le laser.

Si l'on utilise un réseau ayant plus de traits par mm le nombre d'ordres diminue.

Avec un réseau de 600 traits/mm on observe deux ordres de part et d'autre de la direction du faisceau incident et avec un réseau de 1000 traits/mm plus qu'un seul ordre.

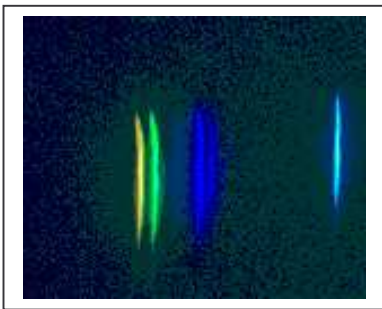
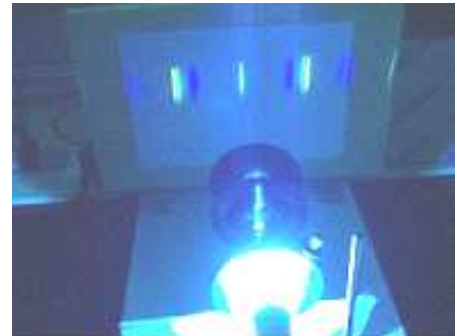
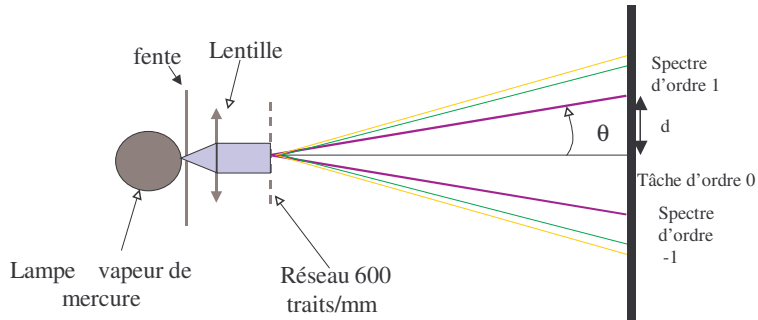


Spectres obtenus avec un réseau de 140, 600 et 1000 traits/mm

Sur l'ensemble de ces spectres nous constatons que le violet est le moins dévié et le rouge est le plus dévié.

### c) Principe de la mesure des longueurs d'onde à l'aide d'un réseau 600 traits/mm

Nous utilisons une lampe spectrale à vapeur de mercure.



Chaque radiation est connue et la longueur d'onde est donnée dans des tables officielles.

Nous déterminons  $\theta$  pour chaque radiation en mesurant la distance  $d$  entre l'ordre 0 et la tâche considérée. En utilisant la relation du réseau, nous en déduisons la valeur des longueurs d'onde. La photo ci-contre est le spectre du premier ordre. La tâche bleutée à droite est l'ordre 0. On remarque les raies de fluorescence UV sur le papier blanc après la raie indigo.

Nous obtenons les valeurs suivantes pour le premier ordre avec  $n=472$

traits/mm (réseau Jeulin)

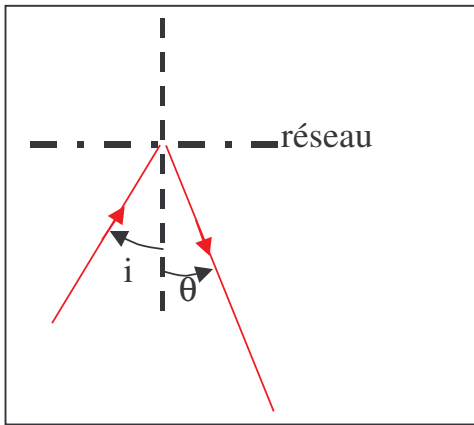
Le réseau est à une distance de 82 cm de l'écran.

On mesure la distance entre la tâche brillante et l'ordre 0.

D (cm)	28.9	28.7	27	21.1	19.6	17.65(fluorescence)
Sin ( $\theta$ )	0,333	0,330	0,313	0,249	0,232	0,210
$\lambda = \frac{\sin(\theta)}{n}$ en nm	581	577	546	436	406	365
$\lambda$ donnée par les tables en nm	579	577	546	436	406	368

On peut donc déterminer les longueurs d'onde d'une radiation diffractée par un réseau.

#### d) Cas du réseau utilisé en réflexion



Notre réseau est un réseau prévu pour être utilisé en réflexion. La loi du réseau reste la même. Les positions des tâches brillantes sont données par

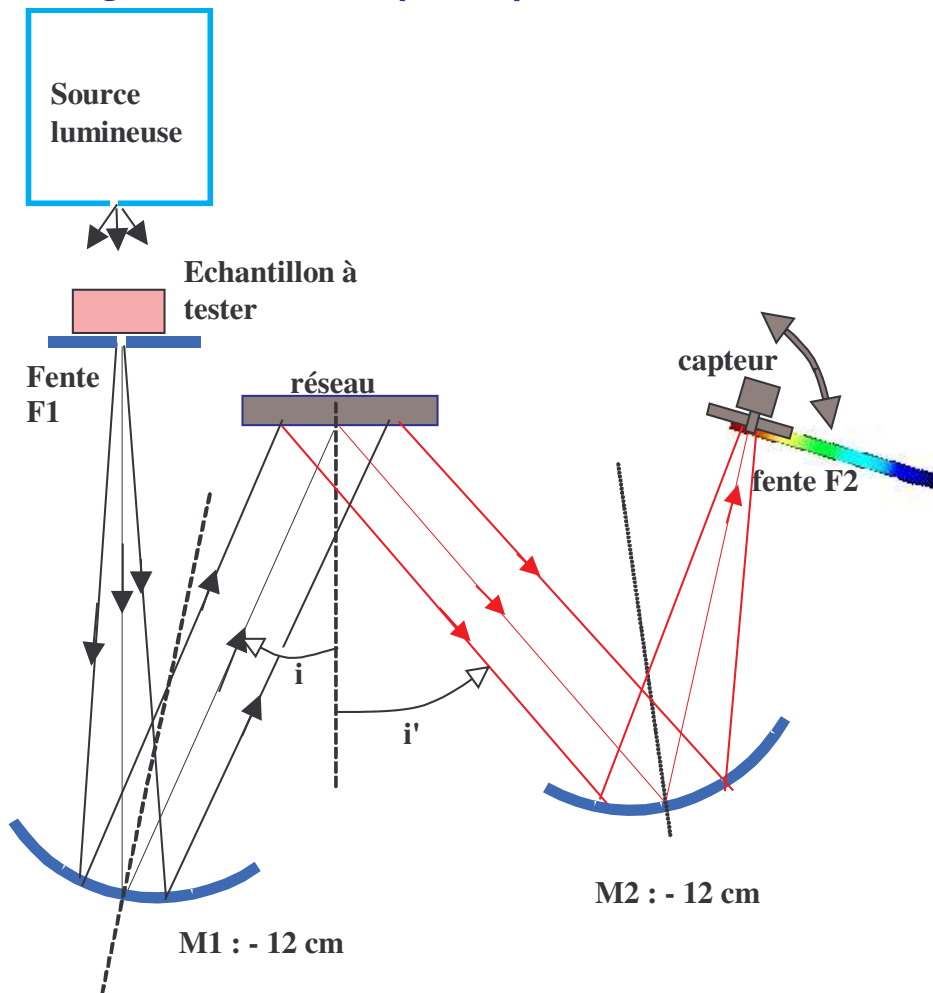
$$\sin(i) + \sin(\theta) = p.n. \lambda$$

#### e) Conclusion

Connaissant le nombre de traits par mm du réseau et l'angle de diffraction d'un ordre donné, il est possible de déterminer la longueur d'onde de la lumière correspondant à cet ordre. C'est la méthode que nous utiliserons dans notre spectrophotomètre.

## VI) Réalisation pratique de l'appareil

### 1) Schéma global de notre spectrophotomètre :

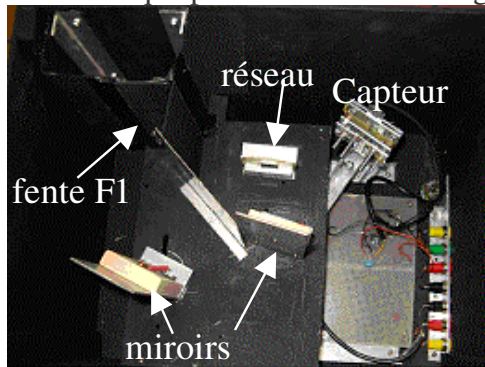


Le spectrophotomètre comporte :

- une source de radiation UV et lumineuse
- une fente source fine F1
- un miroir sphérique concave M1 de distance focale 12 cm permettant d'obtenir un faisceau de lumière parallèle
- un réseau de 598 traits/mm
- un second miroir sphérique concave de distance focale 12 cm qui permet de former l'image de la fente source F1 sur une fente fine F2 devant le capteur
- une fente fine F2 et un capteur sensible au UV (photodiode UV)



Le capteur se déplace dans le spectre grâce à un système mécanique comportant des engrenages, et un dispositif électronique permet de relier la longueur de d'onde de la lumière à sa position angulaire.



Vue de l'intérieur de l'appareil



Vue de l'appareil fermé et de la source lampe solaire

## 2) Les sources lumineuses

### a) Généralités

Notre projet impose l'utilisation d'une source lumineuse riche en ultraviolets.

Pour les lampes à incandescence, plus la température du filament est élevée plus l'émission de radiations ultraviolettes est importante.

L'intensité de radiation émise par un corps dépend de sa température. Elle suit la loi du corps noir.

Le maximum est donné par la loi de Wien.

$$\lambda_{\max} = \frac{2860}{T} \text{ en } \mu\text{m}$$

Les lampes à incandescence ne peuvent atteindre des températures supérieures à 3000 K, sinon le filament fond ou se vaporise. Elles n'émettent pas beaucoup d'UV.

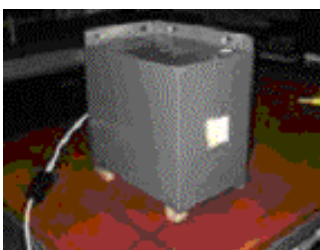
Seules les lampes à décharge dans un gaz peuvent réellement émettre dans l'ultraviolet, car l'émission de la lumière ne provient plus de l'agitation thermique des électrons, mais de l'excitation et de la désexcitation d'atomes entre des niveaux d'énergie.

### b) Sources utilisées

Nous avons initialement construit une source utilisant une lampe halogène 50 W.

Cette lampe délivre trop peu d'UV et nous l'avons abandonnée.

Nous avons utilisé une lampe spectrale à vapeur de mercure pour l'étalonnage de notre appareil.



Nous avons ensuite acheté une ampoule « à bronzer » au mercure type « germicide » de puissance 300 W qui délivre beaucoup d'UV. Nous l'avons « enfermée » dans une boîte métallique (aérée...) de telle sorte que sa lumière ne vienne pas nous éblouir (danger des UV ...).

Cette lampe présente le défaut de ne délivrer pratiquement que des raies intenses, le fond continu est très faible. La détermination de la transmittance des divers produits n'est alors possible que sur les pics de la lampe à bronzer.

Nous avons également récupéré une lampe au xénon de voiture, qui délivre principalement des UV dans le domaine 300-400 nm. Il faut casser le verre protecteur du tube à décharge pour obtenir le plus d'UV. C'est une bonne remarque faite par nos partenaires de Strasbourg.

## 3) Le réseau

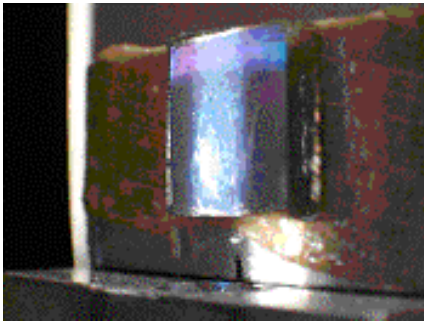
### a) Caractéristiques

Le réseau de récupération est aluminé en surface (il doit être utilisé en réflexion) et possède environ 600 traits/mm.

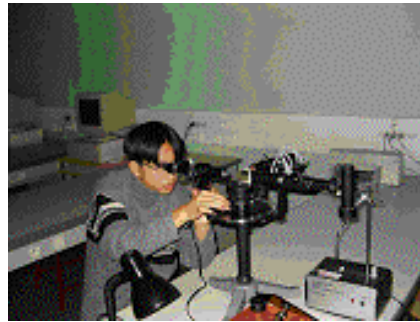
Ce nombre de traits a été déterminé par une manipulation décrite ci-dessous.

**b) Détermination du nombre de traits par mm du réseau**

L'étude de la théorie du réseau nous a montré qu'il faut connaître le nombre de traits par mm de notre réseau. Pour cela nous avons utilisé un goniomètre du laboratoire de physique et une lampe à vapeur de mercure.

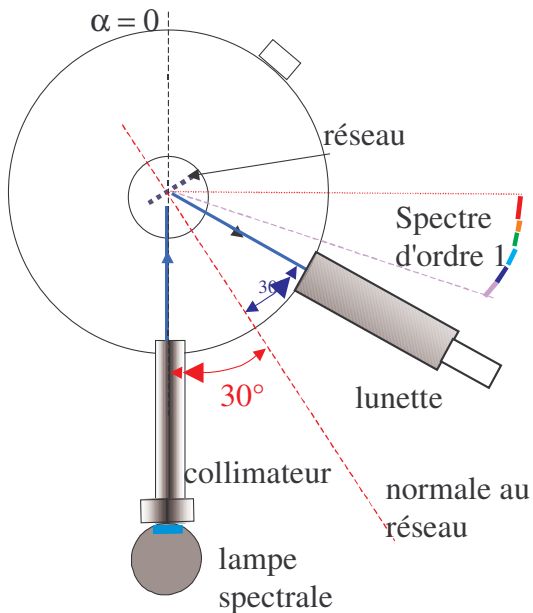


Le réseau



réglage du goniomètre

On fixe d'abord la position de la lunette pour que la direction de visée fasse un angle de  $60^\circ$  par rapport à la direction initiale du faisceau.



On place ensuite le réseau sur le plateau et on l'oriente pour que l'image directe de la fente source soit sur le trait vertical du réticule. On fixe ainsi l'angle d'incidence à  $30^\circ$ .

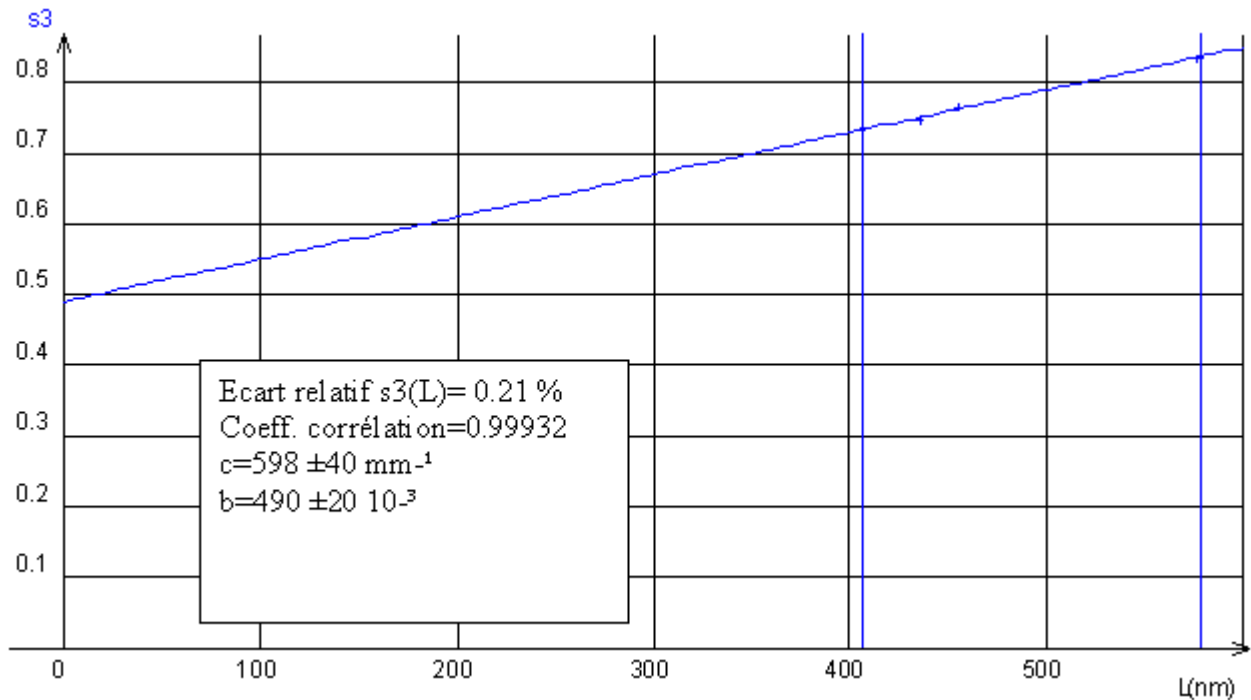
Il ne faut plus bouger le réseau ensuite.

On pointe les diverses raies du mercure pour l'ordre -1 et on note l'angle correspondant.

On constate que la raie jaune est un doublet, notre réseau est capable de séparer les deux radiations jaunes..

Nous obtenons le tableau de valeurs suivant :

$\lambda(\text{nm})$	406	436	546	577	578
angle	14,05	14,98	15,99	20,16	20,22
$\text{Sin}(\theta)$	0,7328	0,7485	0,7655	0,8346	0,8356



Nous traçons la droite  $\sin(\theta)$  en fonction de la longueur d'onde des raies. Nous obtenons une droite affine d'équation

$$\sin(\theta) = a \cdot \lambda + b$$

$a = 1 \cdot \lambda \cdot n$ , donc  $n = a = 598$  traits/mm

Le nombre de traits par m du réseau est donc  $n = 598000 \text{ m}^{-1}$ .

## 4) Les miroirs

### a) Nécessité de l'utilisation des miroirs

Pour que la loi du réseau soit correctement vérifiée, il faut que le faisceau de lumière incident sur le réseau soit un faisceau de lumière parallèle.

Il faut donc un premier miroir pour former l'image de la fente source à l'infini. Le faisceau de lumière ainsi réfléchi est donc parallèle.

Le second miroir M2 a pour rôle de former l'image de cette fente source à une distance de quelques cm compatible avec la taille de l'appareil. Elle se forme donc dans son plan focal puisque le faisceau qui le frappe est un faisceau de lumière parallèle.

### b) Type de miroirs

Nous avons utilisé des miroirs concaves sphériques aluminés en surface, que nous avons commandé à une entreprise qui les réalise à façon. (65 euros HT pièce chez Optique Commerciale payés par le lycée) L'aluminure est indispensable.

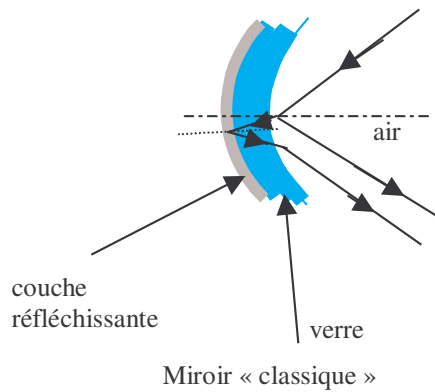
Initialement nous avons utilisé des miroirs « classiques » disponibles au laboratoire de physique et nous obtenions quatre spectres décalés les uns par rapport aux autres. Les mesures étaient impossibles.

Les miroirs communs ont une couche réfléchissante situés en arrière du verre.

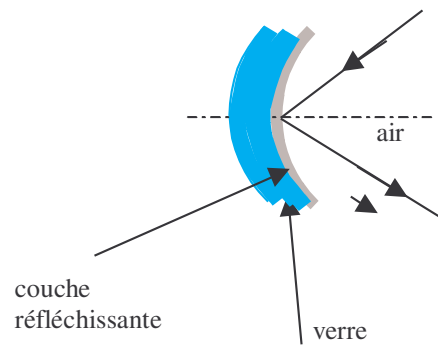
Il y a donc pour chaque miroir deux phénomènes de réflexion : l'un sur la face frontale du verre, et l'autre sur la couche réfléchissante.

Le phénomène de réfraction vient décaler les deux rayons et on obtient deux images. Dans notre dispositif, il y a deux miroirs donc finalement quatre images sont obtenues.





Miroir « classique »



Aluminure en surface

Avec les miroirs aluminés en surface ce défaut disparaît.

L'inconvénient de ces miroirs est qu'ils sont très sensibles à tout frottement : on risque d'arracher la couche d'aluminium par simple contact avec les doigts. Il est très délicat de les nettoyer. Nous avons choisi des miroirs sphériques, car leur coût de fabrication était beaucoup plus faible.

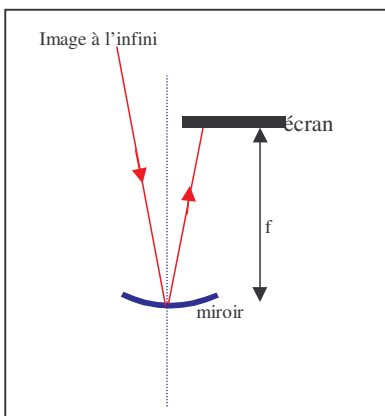
### c) *Choix de leur distance focale*

L'appareil ne doit pas être trop encombrant, et également les images formées par le miroir doivent être de bonne qualité.

Les angles ne doivent pas être trop importants, les plus faibles possibles.

Nous avons choisi une distance focale de 12 cm.

### d) *Vérification de leur distance focale*



Nous plaçons le miroir devant une fenêtre, et formons l'image du paysage sur un écran.

Le paysage peut être considéré comme un objet situé à l'infini, et ainsi l'image obtenue est dans le plan focal du miroir.

Nous mesurons ensuite la distance écran miroir.

Nous avons ainsi trouvé la valeur de 12 cm, celle que nous avons demandée au fournisseur.

### e) *Problèmes liés à la sphéricité des miroirs.*

Les miroirs sphériques ne sont stigmatiques que pour des angles très petits entre leur axe optique et les faisceaux lumineux.

Nous avons pu vérifier cela en examinant la qualité de l'image obtenue dans l'expérience précédente.

Elle n'apparaît nette que si elle se forme dans une direction proche du faisceau incident.

L'idéal est l'utilisation de miroirs paraboliques parfaitement stigmatiques pour les objets situés à l'infini. Malheureusement, leur prix est très élevé et dépasse notre budget.

## 5) *Les fentes*

### a) *La fente source.*

Sa largeur détermine la qualité du spectre.

Le spectre correspond à l'image de cette fente à travers le dispositif.

Il faut donc qu'elle soit très fine.

Nous l'avons réalisée à l'aide deux lames de rasoirs très proches l'une de l'autre et vissées sur un support métallique.

### b) *La fente située devant le capteur.*

Elle est réalisée avec deux lames de rasoir également.

Elle permet de sélectionner la radiation de longueur d'onde qui vient illuminer le capteur. Plus sa largeur est petite plus la résolution du spectre sera bonne.

Elle doit donc être très fine également.

## 6) Mesure de l'intensité de radiation

### a) Le capteur

Le capteur est une photodiode amplifiée sensible aux ultraviolet (V les caractéristiques en annexes b) et de coût raisonnable(57 euros)

Des détecteurs plus sensibles existent mais sont très chers.

Sa sensibilité n'est pas constante, elle passe de 20% à 200 nm à 100% à 1000 nm.

Le calcul de la transmittance n'en est pas affecté car elle est le rapport de deux valeurs de la tension de sortie du détecteur pour la même longueur d'onde

Le capteur est soudé sur une plaque imprimée fixée elle-même sur un support mobile.

La fente fine F2 située devant le capteur est à une distance de M2 exactement égale à la distance focale du miroir.

Nous avons fait suivre ce capteur d'un amplificateur d'instrumentation AD620 dont on peut faire varier l'amplification( gain) grâce à diverses résistances de précision 0,1 %.

Les amplifications sont 1, 10, 50, 100, 500.

Nous pouvons donc obtenir un signal compris entre 0 et 5 V pour une assez grande gamme de puissance de la source de radiation.

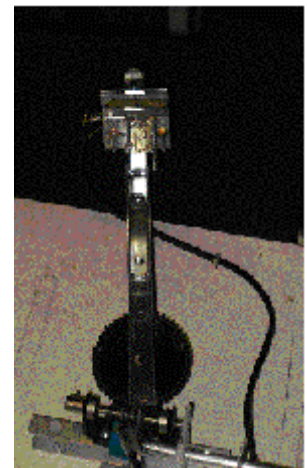
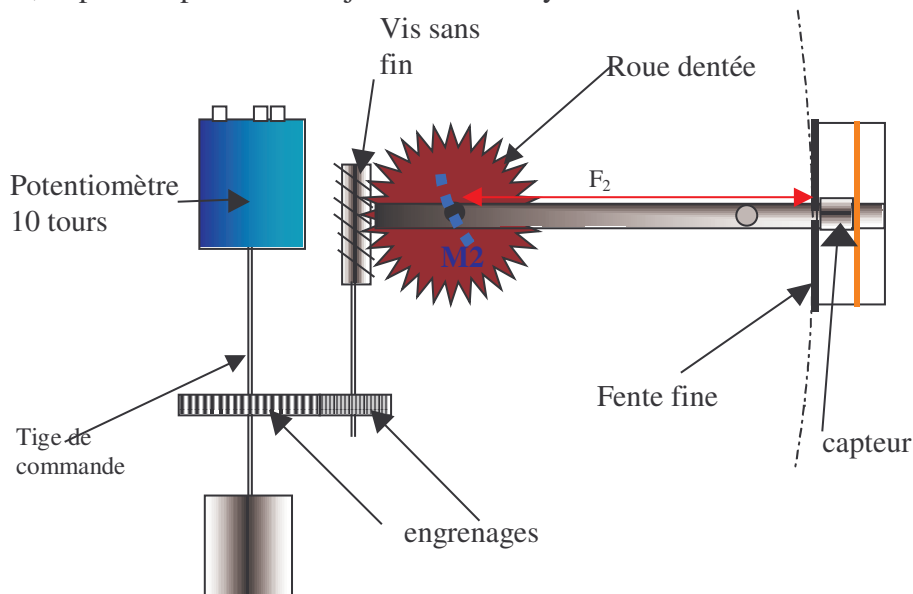
### b) Déplacement du capteur dans le spectre

Le support est entraîné par une roue dentée dont la rotation est provoquée par une vis sans fin.

L'opérateur tourne une tige fixée à un potentiomètre 10 tours qui, par l'intermédiaire de deux engrenages, fait tourner la vis sans fin.

L'axe de rotation du support est situé exactement à la verticale du sommet du miroir M2, de telle sorte que la fente F2 se déplace dans le plan focal du miroir en suivant un arc de cercle centré sur le sommet de M2.

Ainsi, le photocapteur fait toujours face au rayon incident.



L'ensemble {roue dentée plus vis sans fin} a été récupéré sur une vieille maquette du laboratoire de physique du lycée et les engrenages proviennent d'un lecteur CD (hors d'usage) que l'un d'entre nous possédait.

Nous avons dû choisir les engrenages pour que la rotation de 10 tours du potentiomètre corresponde au déplacement du capteur dans l'ensemble du spectre compris entre 200 nm et 800 nm.

50 tours de la vis sans fin correspondent à une rotation de 360 degrés de la roue dentée.

La théorie du réseau nous permet de connaître les angles extrêmes du spectre d'ordre  $p = -1$  sous une incidence de  $-30^\circ$  et avec un nombre de traits  $n = 6 \cdot 10^5$  traits/m

$$\sin(i) + \sin(\theta) = p \cdot n \cdot \lambda$$

Pour  $\lambda = 200$  nm l'angle de diffraction est  $\theta_{\min} = 1,30^\circ$

Pour  $\lambda = 800$  nm, l'angle de diffraction est  $\theta_{\max} = 22,3^\circ$

La variation d'angle de diffraction est de  $21^\circ$  environ.

Il faut donc que la vis sans fin tourne de  $50/360 \times 21 = 2,9$  tours

Le rapport des nombres de dents des engrenages doit être égal au rapport des nombres de tours :

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{10}{2,9}$$

L'engrenage fixée sur la tige de commande doit donc posséder 3 fois plus de dents que celui fixé à la vis sans fin.

Nous avons trouvé ce couple d'engrenage dans le lecteur CD démonté.

## **7) Détermination de la longueur d'onde des radiations frappant le capteur**

Un potentiomètre dix tours est solidaire de la roue dentée et donc délivre une tension électrique proportionnelle à la rotation de la roue dentée, donc à la variation de l'angle de diffraction  $\theta$ .

A une tension lue aux bornes du potentiomètre, il est donc possible de relier la longueur d'onde de la lumière qui frappe le photodétecteur.

## **8) Vérification du bon réglage optique de l'appareil.**

Il faut vérifier que les miroirs sont convenablement disposés, c'est dire que le spectre obtenu au niveau du capteur corresponde à l'image de la fente source.

Pour cela, on déplace latéralement la source de radiation, le spectre ne doit pas se déplacer, seule son intensité varie.

## **9) Enregistrement des spectres.**

### **a) Essais d'utilisation d'une barrette CCD**

Nous avons essayé d'enregistrer le spectre à l'aide d'une barrette CCD récupéré sur un scanner, puis à l'aide d'une webcam. La mise au point de ce dispositif étant plus délicate que prévue, nous avons opté pour la solution décrite ci dessus.

### **b) Utilisation du logiciel winorphy**

Nous utilisons le logiciel Winorphy associé à une interface ORPHGTS.

Sur la voie EA0 nous enregistrons la tension délivrée par le potentiomètre 10 tours donc dépendant directement de la longueur d'onde de la lumière reçu par le capteur.

Sur la voie EA1 nous enregistrons la tension délivrée par le capteur photoélectrique qui est donc proportionnelle à l'intensité lumineuse.

Nous fixons le mode enregistrement par point et automatique pour une variation de l'une des deux grandeurs égale à au moins 1 % de l'échelle.

Une fois les mesures effectuées, nous les transférons dans le logiciel regressi.

Nous pouvons ensuite corriger les valeurs obtenues et éditer le graphe correspondant au spectre.

## **VII) Etalonnage du monochromateur**

### **a) Premier étalonnage**

Nous utilisons une lampe à vapeur de mercure, lampe spectrale disponible dans le laboratoire de physique du lycée.

Son spectre présente des raies qui ont une longueur d'onde bien connue.

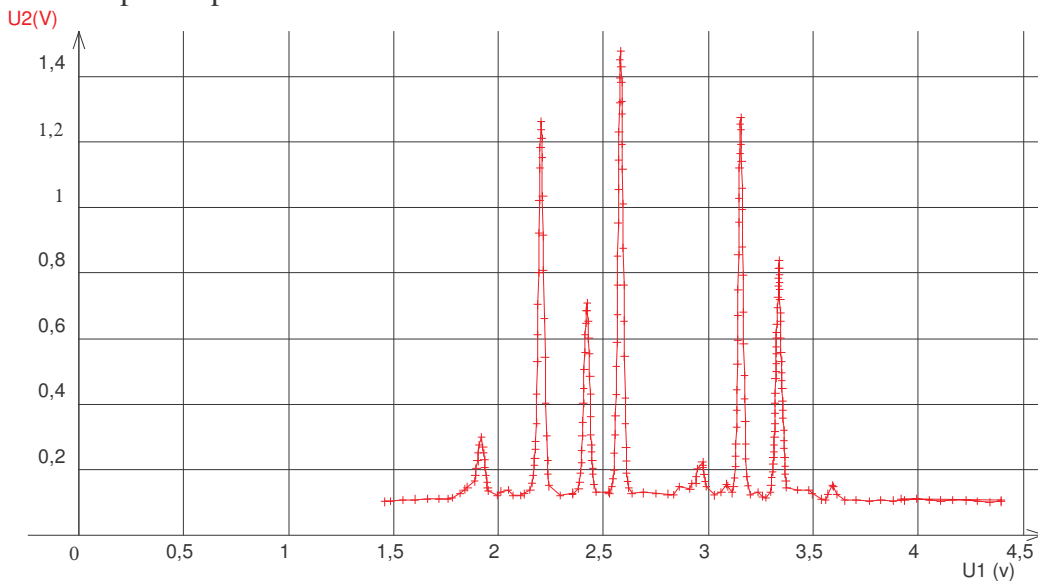


Nous plaçons, d'abord, la fente fine du capteur sur la raie jaune du mercure, nous notons la valeur de la tension délivrée par le potentiomètre 10 tours, et ainsi de suite pour chaque raie caractéristique du mercure en allant vers les longueurs d'onde décroissantes.

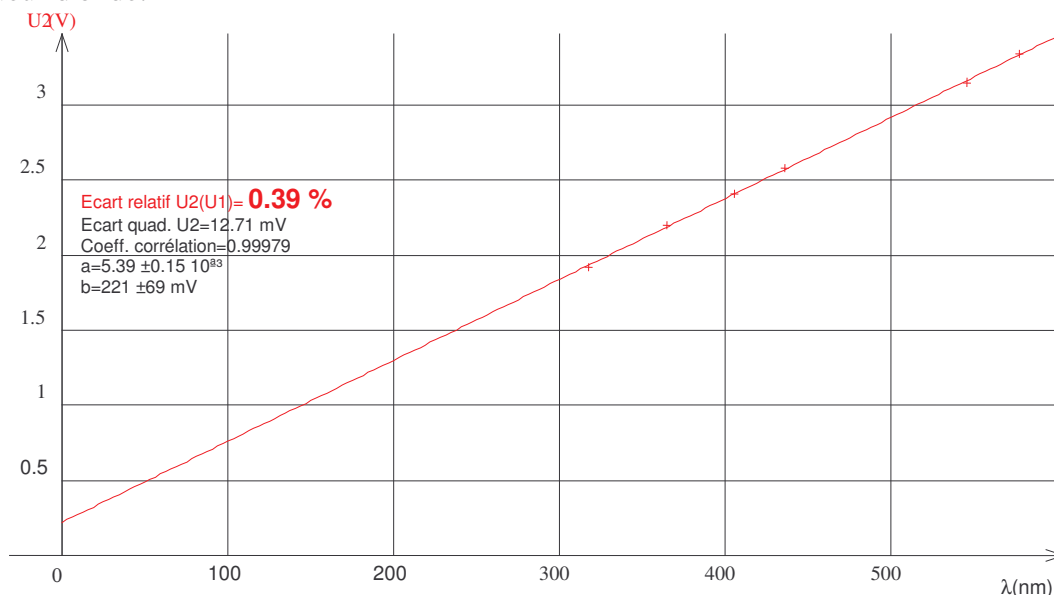
Pour les raies ultraviolettes, c'est l'ordre dans lequel on rencontre les pics qui nous renseignent sur la longueur d'onde de la radiation.

$\lambda(\text{nm})$	U(V)
578	3,34
546	3,15
436	2,58
406	2,42
365	2,20
318	1.92

Le spectre de la lampe à vapeur de mercure est donné ci dessous :



Nous traçons ensuite la courbe donnant la tension délivrée par le potentiomètre 10 tours en fonction de la longueur d'onde.



On constate que la courbe obtenue est quasiment une droite. Le coefficient de corrélation égal à 0,99979 montre que nous pourrions considérer que la tension varie proportionnellement à la longueur d'onde.

En procédant de cette façon, le nombre de traits/mm du réseau n'est donc pas vraiment nécessaire à la détermination de la longueur d'onde. Nous pouvons procéder par extrapolation linéaire entre les points donnés par la lampe à vapeur de mercure.

### b) Etalonnage pratique

Puisque nous pouvons considérer que les variations de tensions sont proportionnelles aux variations de longueur d'onde, il est possible d'utiliser la fonction « étalonnage interactif » de Winorphy.

Avant chaque manipulation, nous plaçons d'abord la fente du capteur dans la raie jaune délivrée par une lampe à vapeur de mercure, nous indiquons la longueur d'onde de cette raie et enregistrons ce point, puis ensuite nous plaçons la fente du capteur dans la raie violette, nous indiquons la longueur d'onde de cette raie puis enregistrons ce nouveau point.

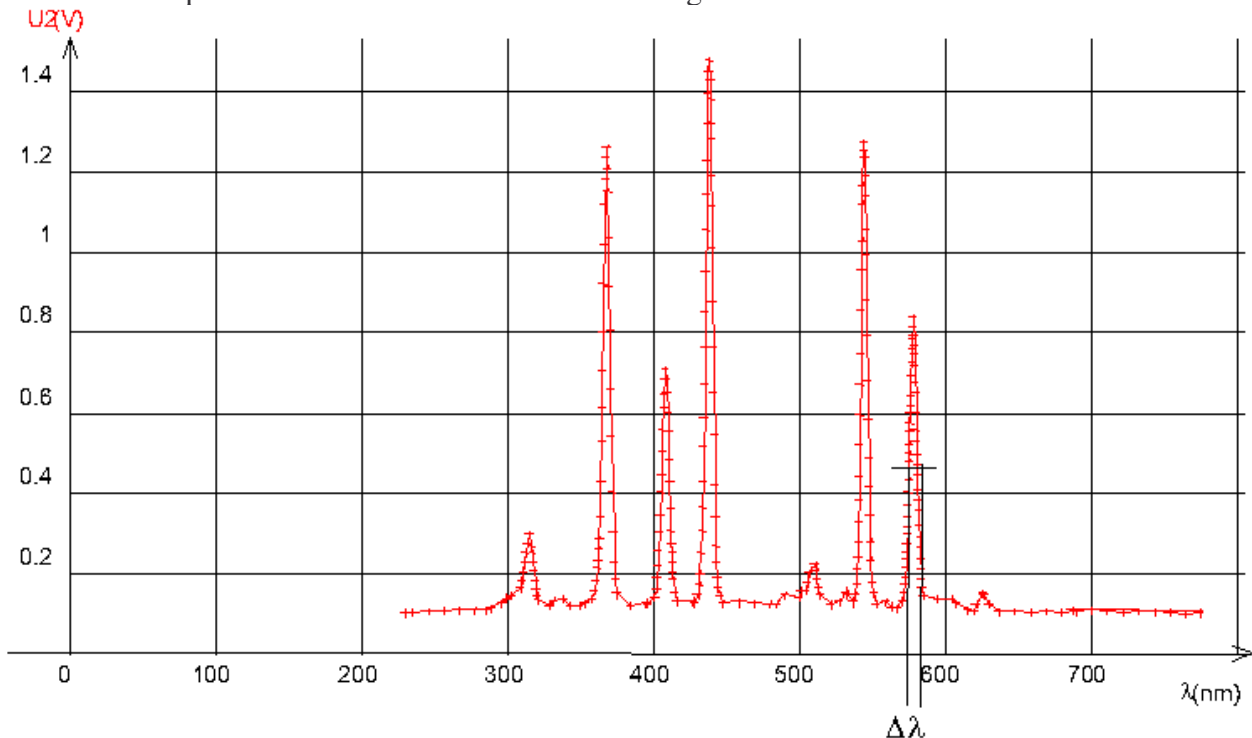
Le logiciel calcule ensuite la valeur de la longueur d'onde à partir de la tension mesurée en utilisant une fonction affine analogue à celle que nous avons déterminé lors du premier étalonnage.

Les engrenages présentent des jeux inévitables, aussi sommes nous obligés d'enregistrer les spectres en tournant la tige de commande du potentiomètre toujours dans le même sens.

Nous partons donc du proche infrarouge pour aller ensuite vers l'ultraviolet.

### c) Résolution du monochromateur

Voici la courbe après transformation des tensions en longueur d'onde:



Nous ne pouvons pas séparer les deux composantes de la raie jaune du mercure, de plus, la demi-largeur  $\Delta\lambda$  des pics obtenus est assez élevée : 7 nm environ.

Nous pouvons donc considérer que la résolution de notre appareil est de l'ordre de 10 nm.

## 2) Spectre de la lumière Solaire

Nous dirigeons la lumière du soleil à l'aide d'un miroir directement dans l'ouverture du spectrophotomètre.

Il ne faut pas perdre de temps car le soleil « bouge » dans le ciel et très vite les conditions d'éclairement varient.

Nous avons également obtenu le spectre d'émission du Soleil à travers une vitre épaisse de 5 mm. Pour tracer ces courbes nous avons d'abord retranché la tension d'obscurité délivrée par le capteur lorsqu'il n'est frappé par aucune radiation, puis nous avons divisé les valeurs de la tension par la sensibilité du capteur en fonction de la longueur d'onde.

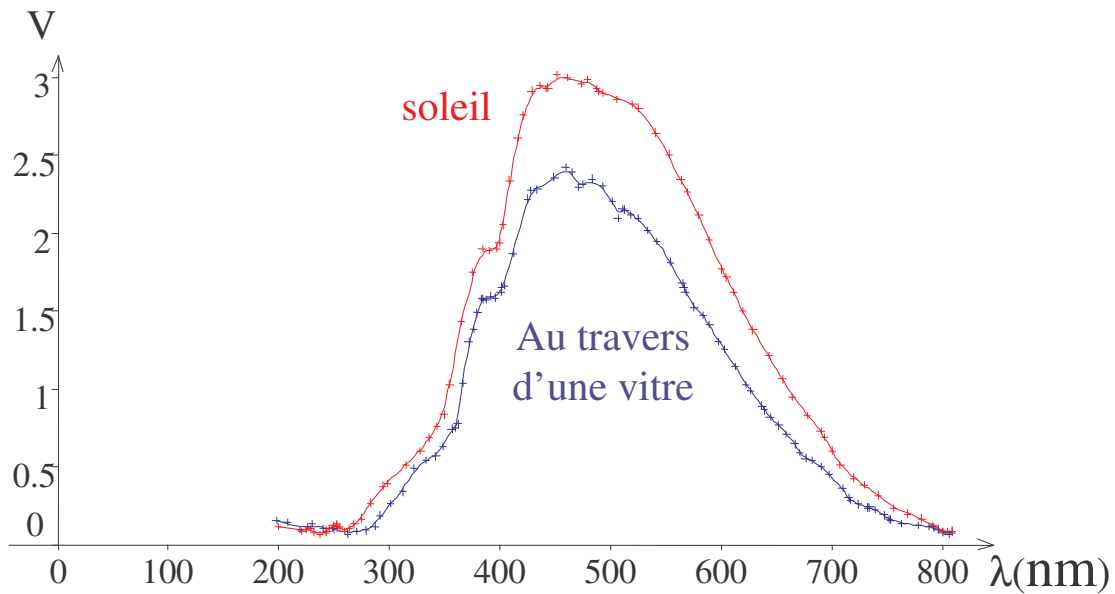
La sensibilité varie environ selon la loi  $s = a \cdot \lambda + b$  (voir la courbe en annexe)

La variation de sensibilité est de 0,6 pour une variation de longueur d'onde de 600 nm (entre 200 et 800 nm).  $a = 0,001 \text{ nm}^{-1}$  et pour  $\lambda = 200 \text{ nm}$  la sensibilité est 20 % de la sensibilité à 1000 nm.

On peut écrire  $s \approx 0,0010 \cdot (\lambda - 200) + 0,2$

La correction est donc :

$$U = \frac{U_{\text{mesurée}} - U_{\text{obscurité}}}{(0,001 \cdot (\lambda - 200) + 0,2)}$$



Spectre du Soleil le 08/09/2004 à Mulhouse à 14h30

Nous vérifions que le soleil émet beaucoup d'UV entre 250 nm et 400 nm.

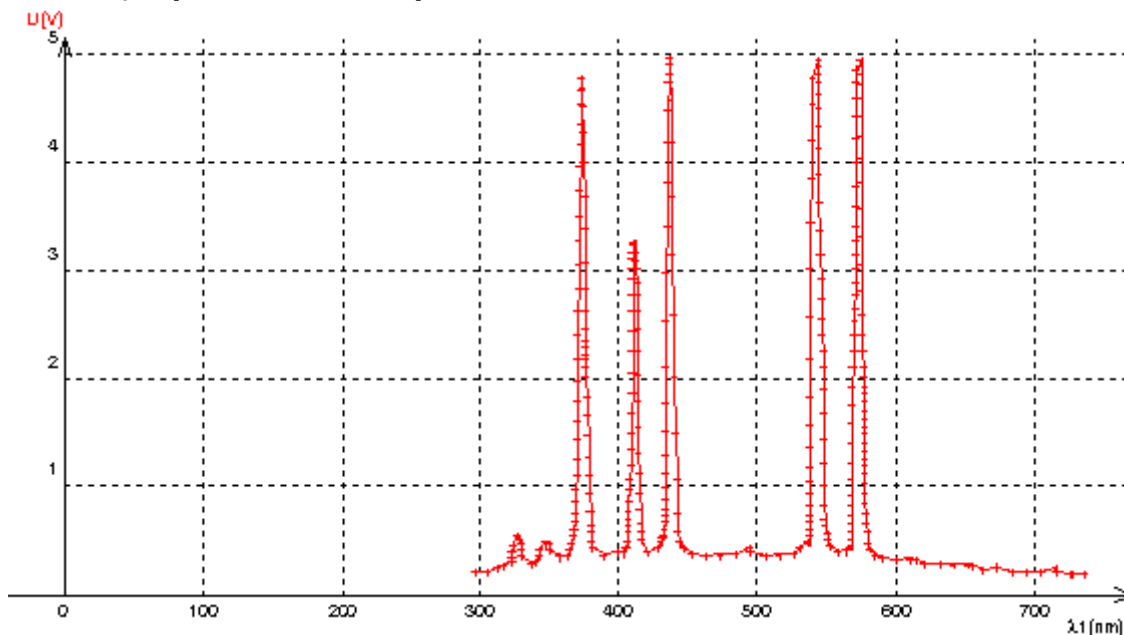
Par contre une vitre ordinaire ne protège pas du Soleil, il y a bien une certaine atténuation, mais les UV passent tout de même.

### 3) Spectres de quelques sources

#### a) Spectre de la lampe à vapeur de mercure

C'est le spectre qui nous permis d'étalonner notre monochromateur.

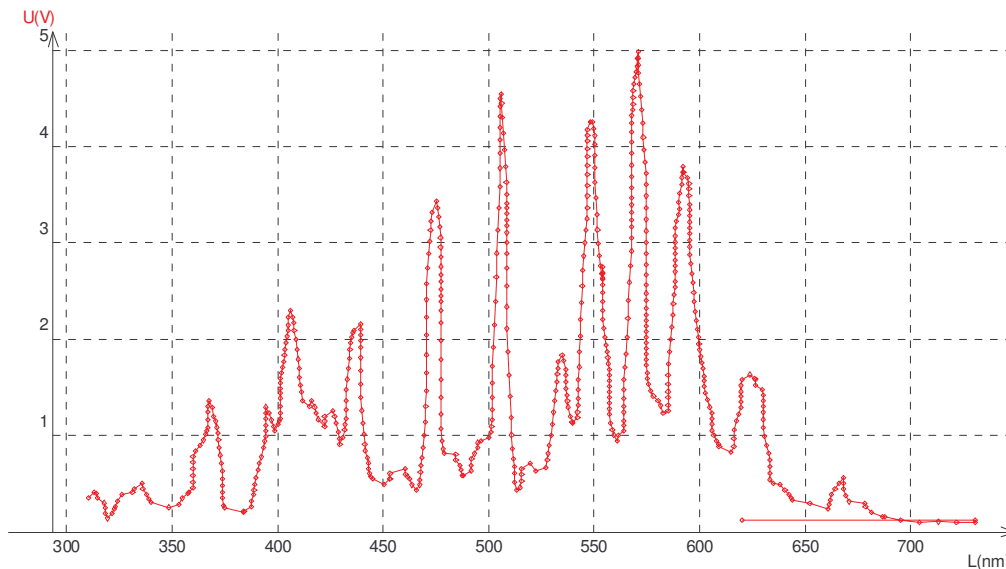
#### b) Spectre de la lampe « à bronzer »



Elle présente un fond continu peu intense sur lequel se superposent les raies du mercure. Une lampe à bronzer est donc une lampe à vapeur de mercure.



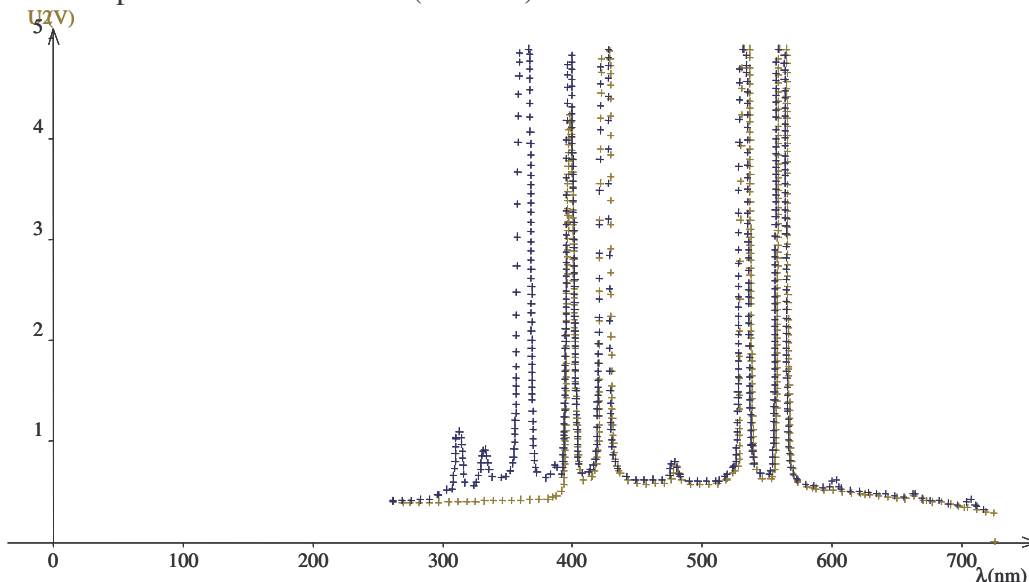
### c) spectre de la lampe au xénon



### 4) Tests de quelques lunettes de Soleil et de protection

On trace le spectre du « blanc » c'est à dire le spectre de la source seule(en bleu)

On trace ensuite le spectre de l'échantillon (en olive)



lunette de protection de soudeur classe II(verre non coloré)

On constate que ces lunettes de protection sont très efficaces.

La transmittance est déterminée en retranchant d'abord la tension d'obscurité au deux spectres. On obtient ainsi deux valeurs notées respectivement  $U_0$  pour la tension du blanc et  $U$  pour la tension de l'échantillon.

Nous n'avons pas toujours correspondance entre les longueurs d'onde d'une acquisition à l'autre.. On fait donc le rapport des tensions correspondant aux pics UV du mercure pour calculer la transmittance..

### 5) Tests de quelques crèmes Solaires

#### a) Protocole expérimental

Pour chaque crème nous dissolvons 25 mg de crème solaire dans du propanol-2 dans une fiole jaugée de 50 ml

La pesée est effectuée sur une balance de grande précision à  $10^{-4}$  g près.

La solution ainsi réalisée est ensuite versée dans une cellule en quartz de 5 mL Ces cellules sont disponibles au lycée.

Dans un premier temps nous réalisons le « blanc », c'est à dire que nous relevons le spectre à travers une cuve identique ne contenant que du propano2 pur.  
 Ensuite nous relevons le spectre de la solution de crème solaire.

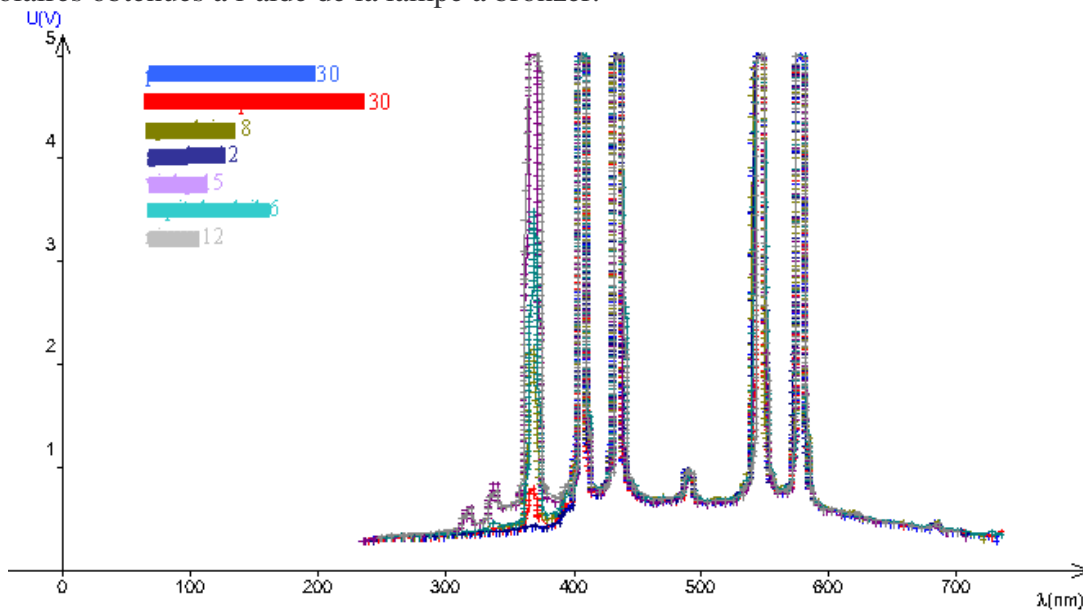
Les deux séries de valeurs sont ensuite exploitées de la même façon que lors du test des lunettes de Soleil.

On retranche la valeur de la tension d'obscurité au deux spectres.

En réalise le rapport des deux tensions pour des longueurs d'onde identiques ou très proches en se plaçant sur les pics d'émission de la lampe.

### b) Résultats expérimentaux

Nous présentons ci-dessous plusieurs courbes superposées correspondant à diverses solutions de crèmes solaires obtenues à l'aide de la lampe à bronzer.



.Les pics visibles sont volontairement saturés pour que la sensibilité soit meilleure dans l'UV.

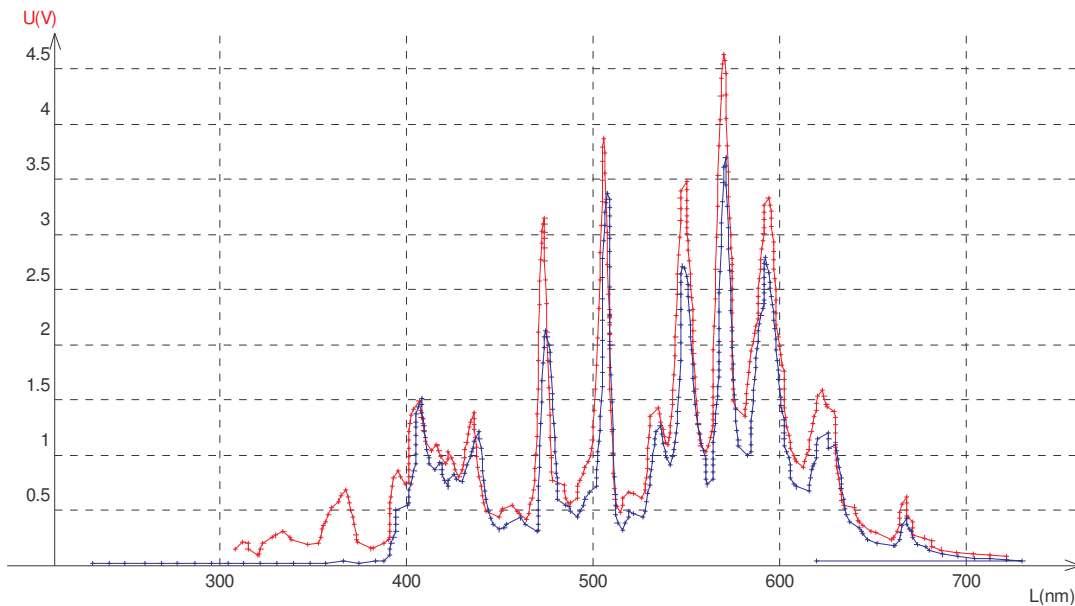
### c) Transmittance des crèmes testées pour les pics UV de la lampe à bronzer.

Nous avons calculé la transmittance pour certaines crèmes solaires et pour les pics UV 368 nm

crèmes	violet 406 nm	UV A 368 nm
indice 30 rouge	1	0,1
indice 30 bleu	1	0,03
indice 12 bleu	1	0,028
indice 6	1	0,66

Pour les radiations de longueur d'onde plus faible on peut constater qualitativement que certaines crèmes bloquent bien les UVB, mais d'autres moins, surtout celles d'indices moins élevés.

#### d) Utilisation de la lampe à Xénon dans l'UV.

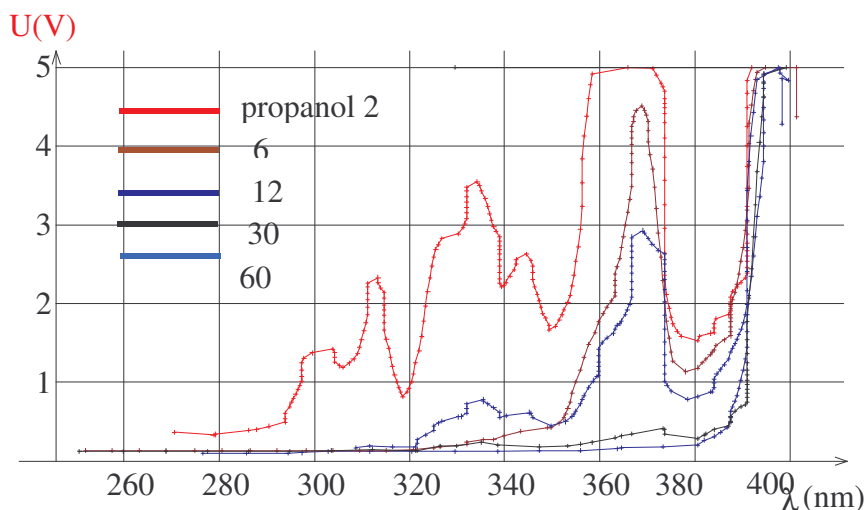


En rouge : Spectre de la lampe au xénon à travers une cuve en quartz contenant du propanol 2 pur

En bleu : Spectre de la lampe au xénon à travers une cuve en quartz contenant une solution de crème solaire d'indice 30.

On constate que les UV sont bloqués. La lumière visible est seulement atténuée.

En augmentant l'amplification et en restant dans le domaine des UV, nous avons obtenu les courbes suivantes :



On constate également que plus l'indice d'une crème est élevé plus l'absorption est importante dans l'UV.

## VIII) Conclusion

Pendant un an, chaque mercredi après midi, guidé par notre professeur, nous avons réfléchi, construit, manipulé, et avons ainsi approfondi nos connaissances dans le domaine de l'optique. Notre participation aux concours des Olympiades de Physique nous aura permis de constater que les notions vues dans nos cours ne sont pas limitées au seul cadre scolaire. Elles sont utilisées dans l'industrie et les laboratoires.



## IX) Annexes

### a) Caractéristiques du capteur



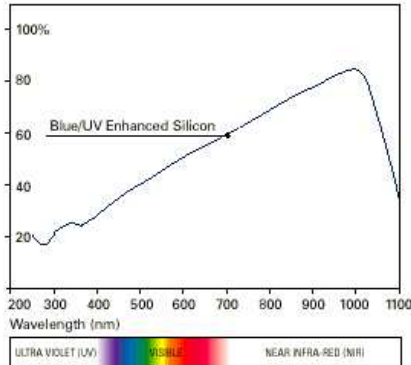
Le capteur est une photodiode amplifiée sensible aux ultra violets.

IPL10531

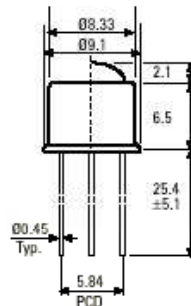
La courbe de réponse spectrale de ce capteur est donnée ci-dessous :

Ce capteur doit être alimenté sous  $\pm 15$  V

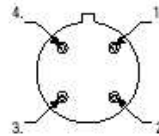
Silicon Relative Spectral Response



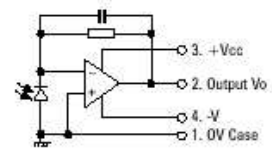
Dimensions (mm)



Pinout

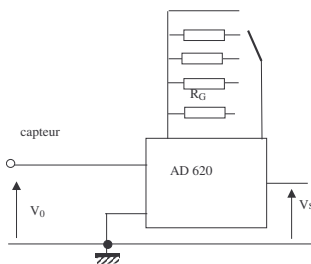


Basic Circuit



### b) Schéma de l'amplificateur

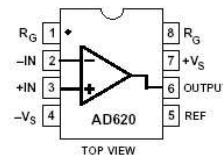
L'amplificateur est bâti autour d'un amplificateur d'instrumentation AD620



$$R_G = \frac{49k}{G-1}$$

CONNECTION DIAGRAM

8-Pin Plastic Mini-DIP (N), Cerdip (Q)  
and SOIC (R) Packages



### c) Bilan financier

Date	Mode de paiement	Libellé	Débit	Crédit	Solde
17/11/2003	Espèces	Castorama	22,6		- 22,60 €
24/11/2003	Espèces	Wigi	49,5		- 72,10 €
02/12/2003	Chèque	Radiospares	121,5		- 193,58 €
09/12/2003	Espèces	Bricorama	2,58		- 196,16 €
10/12/2003	Chèque	Radiospares	57,55		- 253,71 €
16/12/2003	Espèces	Castorama	34		- 287,71 €
08/01/2004	Espèces	Wigi	13,2		- 300,91 €
20/01/2004	Espèces	Bicorama	22,49		- 323,40 €
27/02/2004		Subvention SFP		250	- 73,40 €
10/03/2004	Espèces	Scanner d'occasion cash converter	39		- 112,40 €
11/05/2004	Espèces	Bricorama	25,9		- 138,30 €
01/07/2004		Subvention SFP		350	211,70 €
06/09/2004	Chèque	Castorama	15,75		195,95 €
27/10/2004	Espèces	sacs carrefour	12,9		183,05 €
27/10/2004	Espèces	papeterie	22,8		160,25 €
29/10/2004	chèque	Phare au xénon	239,2		- 78,95 €
31/10/2004		Subvention SFP		350	271,05 €
08/11/2004	CB	Photodiode UV	47,94		223,11 €
16/11/2004	CB	Photodiode UV	57,17		165,94 €
27/11/2004		ampoule au xénon auto AD Shoettle	163,6		2,33 €
06/01/2005		<b>Solde</b>			2,33 €