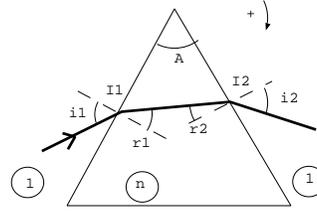


Révisions d'optique

I. Mesure de l'indice du verre d'un prisme

Soit un prisme d'angle A , transparent, homogène et isotrope d'indice n plongé dans l'air d'indice 1. On adopte les notations suivantes:



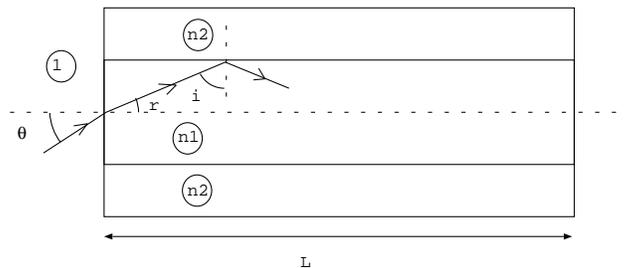
1. Ecrire les lois de Descartes en I_1 et en I_2 . Sur quel dioptré peut-il y avoir réflexion totale?
2. Ecrire la relation entre A , i_1 et i_2 . Définir et exprimer l'angle de déviation D en fonction de A , i_1 et i_2 (convention : le sens positif est le sens horaire).
3. Calculer r_1 , r_2 , i_2 et D pour $n = 1,60$, $A = 60,0^\circ$ et $i_1 = 50,0^\circ$.
4. On constate expérimentalement que l'angle de déviation D prend une valeur minimale D_m lorsqu'on $i_1 = i_2 = i_m$. Montrer qu'au minimum de déviation $r_1 = r_2$ et en déduire que l'indice n vérifie la relation:

$$n = \frac{\sin\left(\frac{A+D_m}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$$

Réponses : $r_1 = 28,6^\circ$, $r_2 = 31,4^\circ$, $D = 46,5^\circ$

II. Fibre optique

1. Décrire le phénomène de réflexion totale sur un dioptré séparant les milieux d'indice n_1 et n_2 où n_1 est l'indice du milieu du rayon incident. Quelle inégalité doivent vérifier n_1 et n_2 ? Définir et exprimer un angle limite.
2. Une fibre optique est composée d'un milieu d'indice n_1 (coeur de la fibre) inséré dans un milieu d'indice n_2 (gaine de la fibre). L'ensemble est placé dans l'air d'indice 1.



Données: $n_1 = 1,5227$, $n_2 = 1,5200$, et $L = 10 \text{ cm}$.

2.a. Tracer le trajet du rayon lumineux qui sort rasant au dioptré qui sépare les milieux d'indices n_1 et n_2 . Exprimer les angles limites correspondants i_l et θ_l . Montrer que $\theta_l = \arcsin(\sqrt{n_1^2 - n_2^2})$.

La lumière arrive dans un cône d'angle au sommet θ_0 (soit θ prend toutes les valeurs entre $-\theta_0$ et $+\theta_0$ avec $\theta_0 < \theta_l$) sous forme d'une impulsion de durée négligeable.

2.b. Montrer que la lumière est piégée dans le coeur de la fibre grâce au phénomène de réflexion totale.

2.c. Calculer le temps t_{min} mis par le rayon suivant le chemin le plus court pour traverser la fibre.

2.d. Calculer le temps t_{max} mis par le rayon suivant le chemin le plus long pour traverser la fibre. En déduire l'allongement temporel $\Delta t = t_{max} - t_{min}$ de ces impulsions en sortie de la fibre. On envoie des impulsions à une fréquence f , montrer que $f > \frac{1}{\Delta t}$ pour que les impulsions ne se superposent pas à la sortie de la fibre.

Réponses: $t_{min} = \frac{n_1 L}{c}$, $t_{max} = \frac{n_1 L}{c \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \theta_0}{n_1^2}}}$

III. Viseur

Un viseur est constitué d'un objectif, assimilé à une lentille convergente L_1 de focale image $f'_1 = 10 \text{ cm}$ et d'un oculaire, assimilé à une lentille convergente L_2 de focale image $f'_2 = 2 \text{ cm}$. La distance entre L_1 et L_2 se note $d = \overline{O_1O_2}$. On donne: $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$.

S 1. Dans cette question, le viseur constitue un système afocal. Exprimer la distance d correspondant à cette situation. Exprimer le grossissement $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$ où α est l'angle que font les rayons venant de l'infini par rapport à l'axe du viseur et α' l'angle que font les rayons émergents du viseur par rapport à son axe.

2. On règle maintenant le viseur pour observer, sans accommoder, un objet AB placée à 20 cm devant L_1 .

2.a. Déterminer la nouvelle valeur de D .

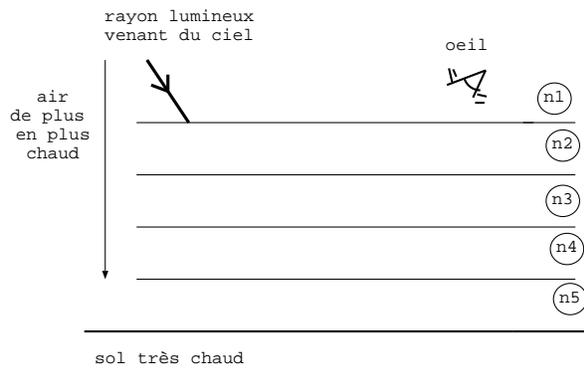
2.b. L'observateur voit alors l'image de AB sous un angle α' . Calculer le rapport $\frac{\alpha'}{AB}$.

2.c. En accommodant l'oeil voit des images placées à une distance minimale $d_m = 20 \text{ cm}$ devant lui. On place l'oeil sur l'axe optique, au point image par la lentille L_2 du centre O_1 de L_1 , on note P cette position. Quelle région de l'espace objet peut être vue nettement par l'oeil placé en P qui regarde à travers ce viseur.

Réponses: 1- $D = 12 \text{ cm}$ 2- $G = -5$ 3a- $D = 22 \text{ cm}$ 3b- $\frac{\alpha'}{AB} = 50 \text{ m}^{-1}$ 3c- $\overline{O_2P} = 2,2 \text{ cm}$, $-20 \text{ cm} \leq \overline{O_1A} \leq -19,8 \text{ cm}$

IV. Mirage

En été lorsqu'il fait très chaud, l'air au voisinage du sol est plus chaud que l'air en hauteur. Cela provoque des mirages, mirages qui par exemple nous font voir de l'eau sur le bitume. Ces mirages sont liés au fait que la lumière se propage en ligne courbe car l'indice de l'air n'est pas homogène. Pour tracer le trajet du rayon lumineux dans un milieu qui n'est pas homogène, on découpe ce milieu en couches homogènes d'indices différents d'une couche à l'autre comme illustré sur le schéma ci-contre.

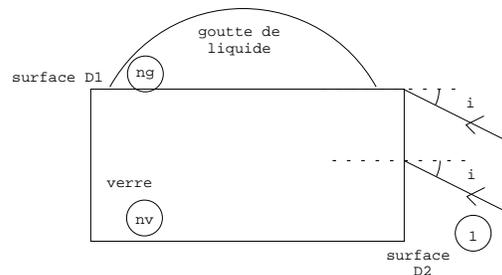


Comment évolue l'indice de l'air lorsque l'on descend vers le sol très chaud? Classer par ordre croissant les indices n_1, n_2, n_3 et représenter le vecteur $\text{grad } n$. Montrer que le rayon venant du ciel arrive jusque dans l'oeil. D'où vient ce rayon? D'où semble-t-il venir? (en fait l'oeil voit du ciel sur le sol, l'interprétation du cerveau qui sait que cette situation n'est pas possible, est que sur le sol il y a de l'eau).

Expliquer de la même façon pourquoi en été à Nice, on peut observer le sommet du mont Canigou (dans les Pyrénées). Les rayons lumineux passent sur la mer, étudier le gradient d'indice de l'air en été au dessus de la mer pour comprendre le phénomène.

V. Détermination d'un indice optique

Sur la face horizontale (D1) d'un parallélépipède de verre, d'indice n_v , on dépose une goutte de liquide dont on veut déterminer l'indice n_g ($n_g < n_v$). La face verticale (D2) du parallélépipède de verre est éclairée par un faisceau cylindrique de lumière monochromatique sous l'incidence i .



Montrer que seuls les rayons ayant une incidence supérieure à i_{min} , à déterminer, peuvent traverser le dioptré verre-liquide. Déterminer n_g pour $i_{min} = 48,71^\circ$. On donne $n_v = 1,607$.

Réponse: $n_g = 1,42$

VI. Mesure de l'épaisseur d'un film alimentaire

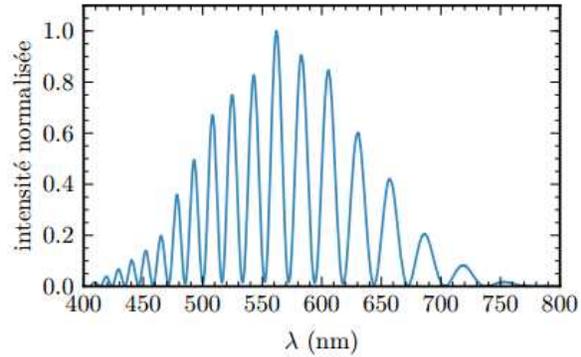
On dispose d'un interféromètre de Michelson réglé en configuration lame d'air éclairé par une source de lumière blanche.

1. Décrire le dispositif, notamment l'allure des franges d'interférences et la façon de les observer.

On règle le Michelson au contact optique, puis on insère dans l'un des bras de l'interféromètre un film alimentaire tendu, assimilé à une lame à faces parallèles d'épaisseur e d'indice $n = 1,5$. L'écran apparaît blanc dans les deux cas.

2. On donne le spectre de la lumière au centre de l'écran en présence du film. Commenter la courbe et en déduire la valeur numérique de e .

Réponse: $e = 15,4 \mu\text{m}$



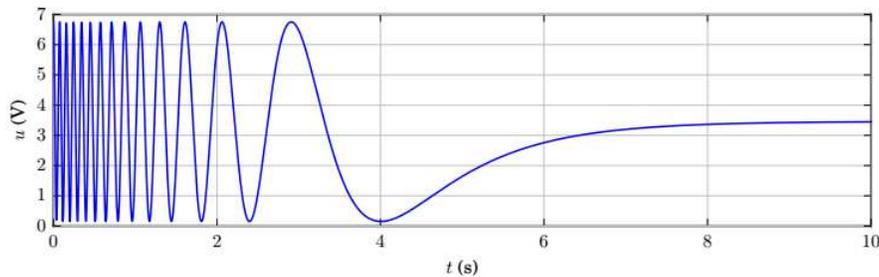
VII. Mesure de l'indice de l'air

On cherche à mesurer expérimentalement l'indice n_0 de l'air avec un interféromètre de Michelson réglé en lame d'air et éclairé par un laser de longueur d'onde $\lambda = 632,8 \text{ nm}$.

1. Faire un schéma du montage et de la figure d'interférences. Si une source étendue avait été utilisée à la place du laser, où les franges auraient-elles été localisées ? Aucune démonstration n'est attendue.
2. Donner l'ordre d'interférences au centre de la figure d'interférences.

Sur un des bras de l'interféromètre, on insère une cuve de verre fermée hermétiquement. La cuve a pour longueur $l = 1,6 \text{ cm}$. La cuve contient initialement de l'air, et on y fait le vide progressivement: l'indice du contenu de la cuve diminue progressivement de n_0 à 1. Au cours de l'opération, on mesure l'éclairement au centre de la figure d'interférences grâce à un capteur qui délivre une tension u proportionnelle à l'éclairement. On obtient la courbe suivante. La tension est maximale à l'instant initial.

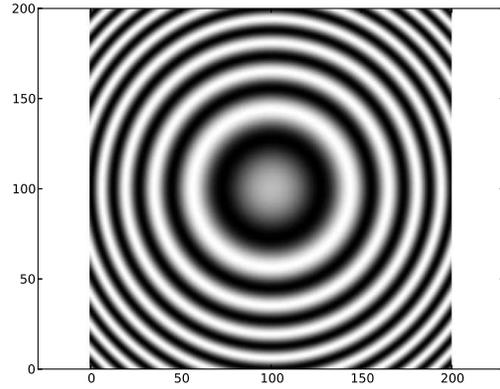
Commenter la courbe et en déduire la valeur numérique de $n_0 - 1$.



Réponse: $n_0 - 1 = 2,7 \cdot 10^{-4}$

VIII. Anneaux

A la sortie d'un interféromètre de Michelson on place une lentille convergente de focale $f' = 1 \text{ m}$ suivie d'un écran de carré de côté $a = 200 \text{ mm}$ dans le plan focal de la lentille. On observe la figure suivante. La source monochromatique a une longueur d'onde moyenne $\lambda = 589,0 \text{ nm}$. Les franges sombres sont en noir sur la photo.



1. Préciser comment est réglé l'interféromètre. Sur le schéma équivalent dessiner la marche des deux rayons qui interfèrent en un point de l'écran.

2. Lire les rayons r_1 du premier et r_5 du cinquième anneau brillant. Calculer l'épaisseur de la lame d'air.

3. La source comprend en réalité deux longueurs d'onde $\lambda_1 = 589,0 \text{ nm}$ et $\lambda_2 = 589,6 \text{ nm}$. On chariote le miroir mobile de façon à observer un brouillage total. La position x_1 du miroir est lue sur la vis micrométrique (voir photo). Déterminer les valeurs $x_2 < x_1$ et $x'_2 > x_1$ voisines de x_1 pour lesquelles on observe encore un brouillage total.

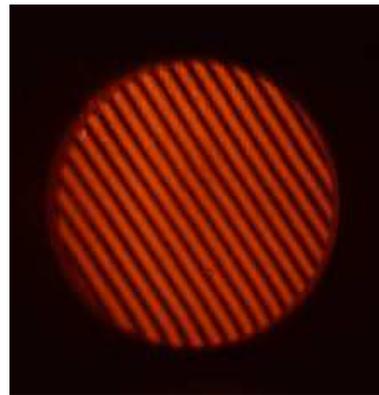


Réponses : $e = \frac{4\lambda f'^2}{r_5^2 - r_1^2} \approx 0,25 \text{ mm}$, $x_2 = 5,49 \text{ mm}$ et $x'_2 = 6,07 \text{ mm}$

IX. Franges rectilignes

L'interféromètre de Michelson est éclairé par une source monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 630 \text{ nm}$. On utilise une lentille de projection de focale image $f' = 25 \text{ cm}$ placée à une distance $d = 30 \text{ cm}$ des miroirs. On donne la photo de l'écran (dans la réalité l'écran est un carré de côté 15 cm).

On rappelle : $\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'}$ et $\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$.



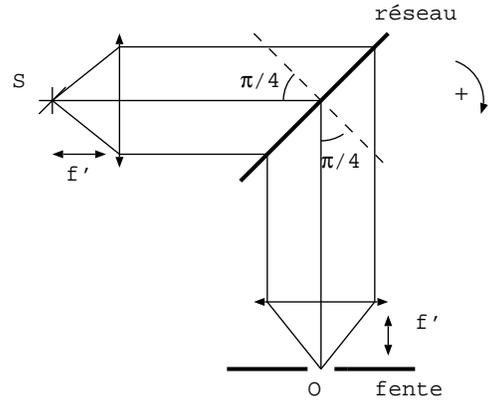
1. Préciser comment est réglé le Michelson et calculer la distance entre la lentille et l'écran. 2. Dédire de la photo l'angle α entre les deux miroirs.

3. Quand on place une lame transparente d'épaisseur d et d'indice optique $n = 1,523$ devant un des miroirs et parallèlement à celui-ci on constate que le système de franges se translate de 20 interfranges. Déterminer la valeur de d .

Réponses : distance lentille-miroir $1,5 \text{ m}$, $\alpha = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$, $d = 12 \mu\text{m}$

X. Réseau de diffraction

Pour obtenir de la lumière monochromatique à partir d'une source S de lumière blanche ($400 \text{ nm} < \lambda < 750 \text{ nm}$) on réalise un monochromateur à l'aide d'un réseau plan de pas $a = 820 \text{ nm}$ suivant le montage indiqué. Les axes des deux lentilles (identiques, de distance focale $f' = 10 \text{ cm}$) sont orthogonaux et le plan du réseau est la bissectrice de ces deux axes.

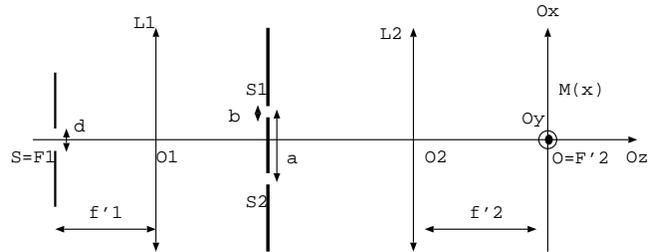


1. Appliquer la formule des réseaux et montrer que l'on ne peut observer qu'un seul ordre au point O . Calculer la valeur de l'ordre visible au point O et la longueur d'onde correspondante.
2. La fente de sortie est de largeur $2l = 2 \text{ mm}$ (centrée sur O). Calculer le domaine de longueur d'onde visible au niveau de la fente d'observation.

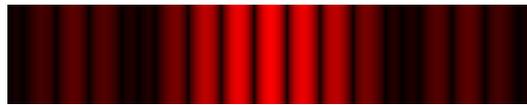
Réponses: 1- $p = 2$ et $\lambda = 580 \text{ nm}$ 2- $549 \text{ nm} < \lambda < 607 \text{ nm}$

XI. Fentes d'Young

Un écran opaque percé de deux fentes d'Young identiques de largeur $b = 17 \mu\text{m}$ et dont les centres sont distants de a , est éclairé par une fente source fine placée dans le plan focale objet d'une lentille L_1 de focale $f'_1 = 20 \text{ cm}$. On observe la figure de diffraction dans le plan focal image d'une lentille convergente de focale L_2 de focale $f'_2 = 50 \text{ cm}$.



1. Représenter les deux rayons lumineux qui interfèrent en M et exprimer la différence de marche entre ces deux rayons en fonction des données et de x , position de M sur Ox . En déduire l'expression de l'interfrange. On donne la photo de l'écran (Ox est la direction horizontale et Oy la direction verticale):



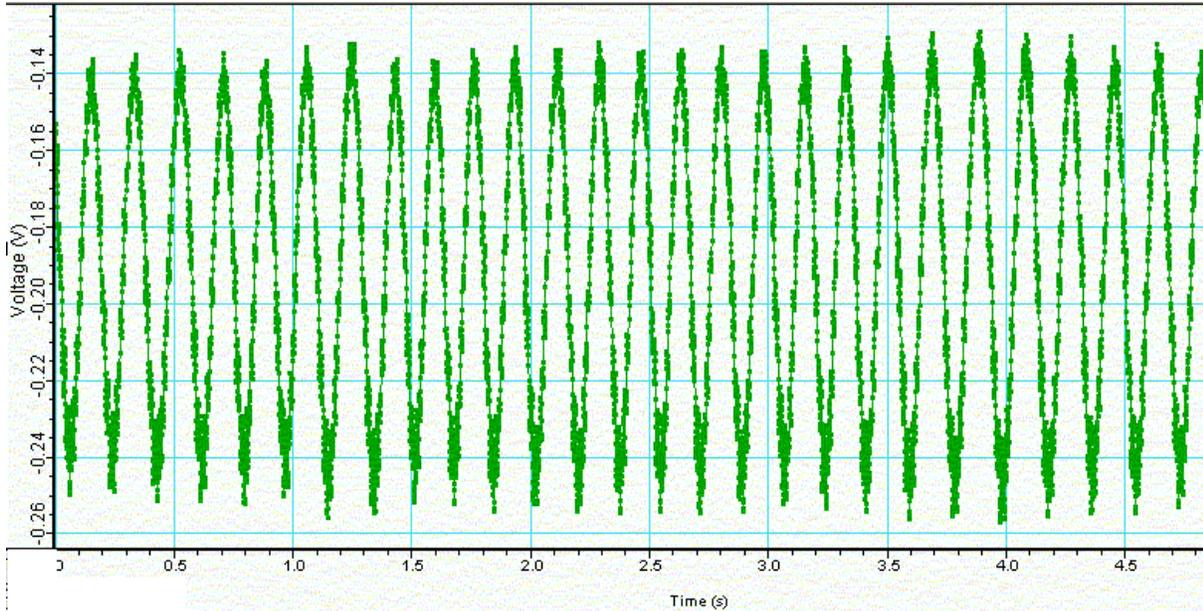
2. Mesurer la largeur de la tache centrale de diffraction et en déduire une estimation la longueur d'onde de la source.
3. Estimer la valeur de a le plus précisément possible.
4. Soit un objet AB placé dans le plan focal objet de L_1 . Sur un schéma, construire l'image $A'B'$ de cet objet par l'association $L_1 - L_2$. En déduire l'expression de $\frac{A'B'}{AB}$. Déduire de la photo, la hauteur h de la fente source (dimension de la fente selon Oy).
5. Lorsqu'on augmente la largeur de la fente source S , le contraste des franges diminue à l'écran. Quelle est la largeur maximale d de la fente source pour conserver des franges à l'écran ? (pensez à appliquer le critère semi-quantitatif $|p_{S_{1/2}} - p_{S_0}| < \frac{1}{2}$)

Réponses: 1- $i = \frac{\lambda f'_2}{a}$ 2- $\lambda = 542 \text{ nm}$ 3- $a = 68 \mu\text{m}$ 4- $\frac{A'B'}{AB} = \frac{f'_2}{f'_1}$ et $h = 0,5 \text{ cm}$ 5- $d < 1,6 \text{ mm}$

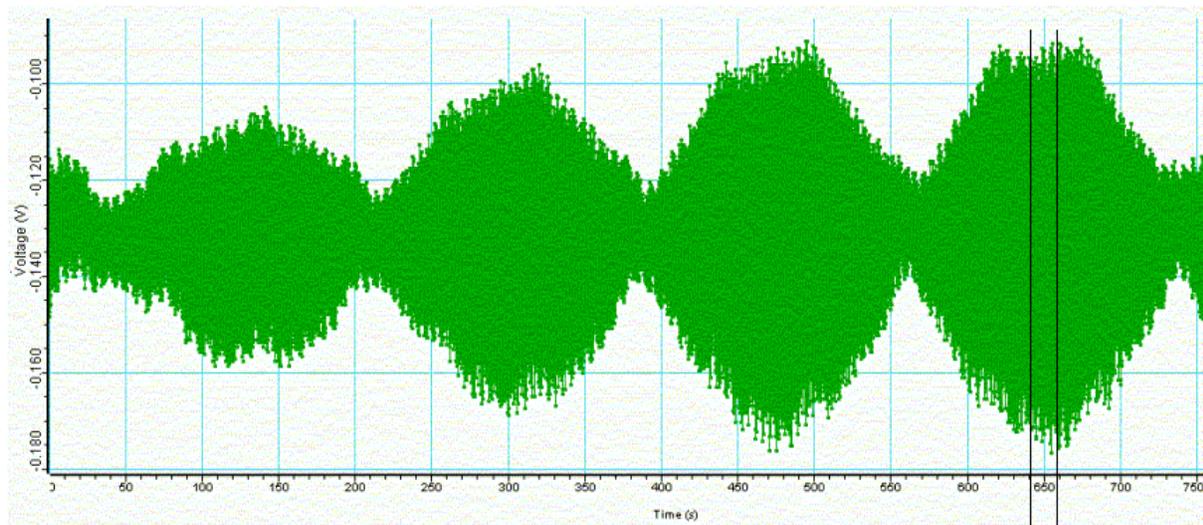
XII. Doublet du sodium

On considère un interféromètre de Michelson réglé en lame d'air éclairé par une lampe spectrale présentant un doublet de longueurs d'onde λ_1 et λ_2 . On déplace un des miroirs à une vitesse $v = 1.65 \mu\text{m}/\text{s}$. On observe les franges sur un écran à l'aide d'une lentille de focale $f' = 1 \text{ m}$. On mesure l'éclairement reçu au centre de l'écran à l'aide d'un capteur.

1. La première courbe donne l'éclairement en fonction du temps pour un temps variant de 0 à 5 s. Commenter la courbe et en déduire la longueur d'onde moyenne de la source.



2. La seconde courbe donne l'éclairement en fonction du temps pour un temps variant de 0 à 750 s. Commenter la courbe et en déduire les longueurs d'onde du doublet.



Réponses: 1- $\lambda_m = 594 \text{ nm}$ 2- $\Delta\lambda = 6,3 \cdot 10^{-10} \text{ m}$