

MP 12: Emission et
absorption dans le
domaine optique.

Biblio: Sextant Optique expérimentale. Notice Spid HR
Quaranta II. Thermo et applications. Notice wattmètre.
Cagnac

Proposits de jury.

[2003] L'émission du corps noir n'est pas stricto sensu une émission spontanée. Les ODG des largeurs de raies et leur origine devraient être connus des candidats

[2008] L'utilisation des récents spectromètres à fibre optique interfacés USB nécessite la connaissance de son mode de fonctionnement et doit s'accompagner d'une analyse critique des résultats, notamment en termes de résolution et de justesse.

Intro: Le domaine optique est la partie du spectre EM qui est visible pour l'œil humain. Il n'y a aucune limite exacte, mais on considère souvent la gamme $[380 \text{ nm}; 780 \text{ nm}]$, qui s'étend du violet au rouge. Une précédente leçon nous a permis de connaître les processus d'interaction entre le rayonnement et la matière. Aujourd'hui nous allons étudier l'émission spontanée, l'émission stimulée ainsi que le processus d'absorption de façon expérimentale. Le spectre de chaque source lumineuse sera l'outil servant à notre

I. Emission spontanée étude

On sait que l'énergie d'un atome, d'une molécule... est quantifiée.

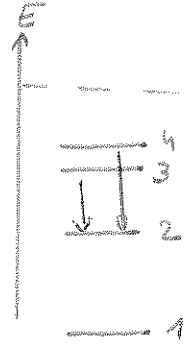
Pour qu'il y ait émission d'un photon d'énergie $E_{12} = h\nu_{12}$, il faut qu'un atome excité d'énergie E_2 retombe dans un état d'énergie E_1 . Une des manières d'exciter l'atome est de produire une décharge électrique dans un gaz de cet élément. C'est le principe des lampes spectrales.

1. Spectre de raies de l'hydrogène Sextant p 229. Cognac p 157

Lampe spectrale hydrogène : la décharge aux électrodes provoque l'émission d'un flux d'électrons qui entrent en collision avec les atomes de la vapeur qui subissent des transitions vers des états excités.

La désexcitation correspond à des transitions des niveaux de nombre quantique principal $n=3, 4 \dots$ vers le niveau $n=2$ pour le spectre visible (série de Balmer).

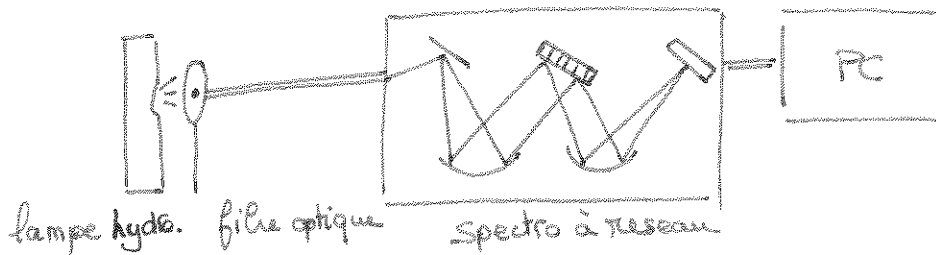
On observe un spectre de raies : voir ① correspondant à



But : déterminer la valeur de la constante de Rydberg

$$\frac{1}{\lambda_n} = R_H \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right) \Rightarrow R_H = \frac{4n^2}{\lambda_n (n^2 - 4)}$$

Manip : grâce au spectromètre SPID HR, Ulice, on enregistre le spectre d'émission de la lampe. (lampe au deutérium, car élément plus lourd que l'hydrogène, il s'échappe moins).



Résultats : à l'aide des curseurs

$$\lambda_{3 \rightarrow 2} = \quad \text{nm}$$

$$\lambda_{3 \rightarrow 2} \text{ attendu} = 656 \text{ nm}$$

$$\lambda_{4 \rightarrow 2} = \quad \text{nm}$$

$$\lambda_{4 \rightarrow 2} \text{ attendu} = 486 \text{ nm}$$

D'après la notice du spectromètre : précision en $\lambda = 0,5 \text{ nm}$
donc on arrondit λ au nm

$$R_{3 \rightarrow 2} = \frac{36}{5 \lambda_{3 \rightarrow 2}} = \quad \text{m}^{-1}$$

$$R_{4 \rightarrow 2} = \frac{32}{6 \lambda_{4 \rightarrow 2}} = \quad \text{m}^{-1}$$

Incertitudes : $\log R_H = \log \text{cte} + \log \frac{1}{\lambda_n} = \log \text{cte}' - \log \lambda_n$

$$\text{donc } \frac{\Delta R_H}{R_H} = \frac{\Delta \lambda_n}{\lambda_n}$$

Estimation : $\frac{\Delta R_H}{R_H} = \frac{0,5}{500} = 1 \text{ ‰}$ avec $R_H \sim 10^7$

(2)

$\Delta R_H = 10^4$ donc $R_H = 10^7 \pm 10^4 \text{ m}^{-1}$

En réalité $\Delta \lambda$ dû à la lecture avec les curseurs donne :

$\Delta \lambda = \pm 1 \text{ nm}$

d'où $\Delta R_{3 \rightarrow 2} = R_{3 \rightarrow 2} \times \frac{1}{\lambda_{3 \rightarrow 2}(\text{nm})}$ et $\Delta R_{4 \rightarrow 2} = R_{4 \rightarrow 2} \times \frac{1}{\lambda_{4 \rightarrow 2}(\text{nm})}$

Finalement $R_{3 \rightarrow 2} = \pm$ $R_{4 \rightarrow 2} = \pm$

Théoriquement $R_H = \frac{R_\infty}{1 + \frac{m}{M_H}}$ avec R_∞ constante de Rydberg calculée en supposant la masse du noyau infinie

$R_\infty = \frac{me^4}{(4\pi\epsilon_0)^2 4\pi c h^3} = 109\,737,3 \text{ cm}^{-1}$ m : masse de l'électron
 $= 1097,373 \cdot 10^4 \text{ m}^{-1}$ M_H : masse du proton

donc $R_H = 109\,677,7 \text{ cm}^{-1} = 1096,777 \text{ m}^{-1}$

2. Largeur de la raie du Mercure. Sextant p 24L

On l'a vu la raie d'émission n'est pas infiniment fine.
 Est-ce dû à l'utilisation du spectromètre Ulisse ? à l'hydrogène ?

On étudie le profil spectral de la raie verte du Mercure
 Pour cela on utilise l'interféromètre de Michelson en lame d'air.

D'après le théorème de Wiener Kintchine :

le facteur de cohérence γ est proportionnel à la TF du spectre.
 donc l'étude du contraste nous permet une évaluation de la largeur de la raie

But : donner ODE de la largeur de la raie verte ($\lambda = 546,1 \text{ nm}$) du Hg donnée par une ampoule HP.

Manip : Isoler la raie verte en plaçant un filtre interférentiel de $\lambda = 549 \text{ nm}$

Se placer au contact optique

Caractère pour avoir brouillage des anneaux.

Grâce au vernier, on détermine δ qui définit la longueur de cohérence de la source.

Résultats: $\delta =$ donc $L_c = 2\delta =$

$$\text{or } L = \frac{1}{\Delta\sigma} = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda} \quad \text{d'où } \Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{L}$$

Rmq: uniquement ADS car la chute de contraste évaluée à l'œil ne correspond pas à une diminution d'un facteur 2 de celui-ci

Rappel: largeur de la raie dite naturelle: 1 à 100 MHz

lampe BP: agitation thermique donne distribution

Maxwellienne des vitesses. Le profil est gaussien $e^{-\frac{(\sigma - \sigma_0)^2}{2(\Delta\sigma)^2}}$

$\Delta\nu \sim 1 \text{ GHz}$. dû à l'effet Doppler

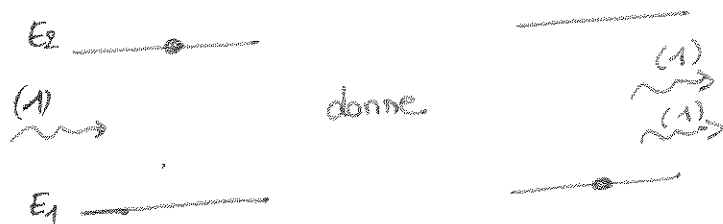
lampe HP: profil dominé par les chocs:

On a un profil Lorentzien $\frac{1}{(\sigma - \sigma_0)^2 + (\Delta\sigma)^2}$ $L(\text{HP}) < L(\text{BP})$
 $\Delta\lambda(\text{HP}) > \Delta\lambda(\text{BP})$

II. Emission stimulée

Jusqu'ici on a étudié des spectres de raies dû à la désexcitation spontanée d'un atome excité dans l'ampoule d'une lampe spectrale. Il existe l'émission stimulée ou induite selon laquelle l'action de l'onde EM peut provoquer une émission.

Un photon incident stimule l'émission d'un autre photon de même énergie, même phase et même polarisation.



Ce phénomène permet une amplification du champ incident

Principe du laser He-Ne:

une décharge électrique provoque l'excitation des atomes d'He

Par collision $\text{He}^* + \text{Ne} \rightarrow \text{He} + \text{Ne}^*$

$$\Delta E = E_{Ne^*} - E_{Ne} = 15\,800\text{ cm}^{-1} \text{ soit } \lambda = 632,816\text{ nm.}$$

(3)

Puis l'émission stimulée permet l'amplification

But: caractériser émission laser

Manip: Grâce au spectro Ulice, visualiser le spectre d'émission du laser dans la direction du faisceau.

dans la direction orthogonale au faisceau

Utiliser le laser "transparent" de la collection.

Résultats: dans la direction du faisceau

forte monochromaticité à $\lambda = 632,8\text{ nm}$ (voir (2))

dans la direction orthogonale (voir (3))

différentes raies correspondantes à l' ^4_2He et au Ne ($703,2$, $585,2$)

III. Absorption.

On rencontre souvent des solides, liquides ou gaz qui absorbent certaines longueurs d'onde.

Dans le spectre de la source, il apparaît une raie noire correspondant à λ du photon absorbé pour que l'atome passe du niveau d'énergie E_1 au niveau d'énergie E_2 avec $E_2 > E_1$.

Nous observons la couleur complémentaire à celle absorbée.

1. Mise en évidence. Sextant p 2. Duffait p 132

Nous utilisons ici une lampe à incandescence quartz iode: c'est une source thermique. Le fonctionnement est basé sur l'émission lumineuse d'un corps chauffé à haute température. L'incandescence d'un filament de tungstène donne un spectre continu qui couvre l'ensemble du domaine optique, si bien que l'œil a l'impression d'une lumière blanche.

A l'intérieur de l'ampoule, on ajoute un gaz halogène (ici iode) Celui-ci se combine avec le tungstène déposé sur les parois et le redépose sur le filament

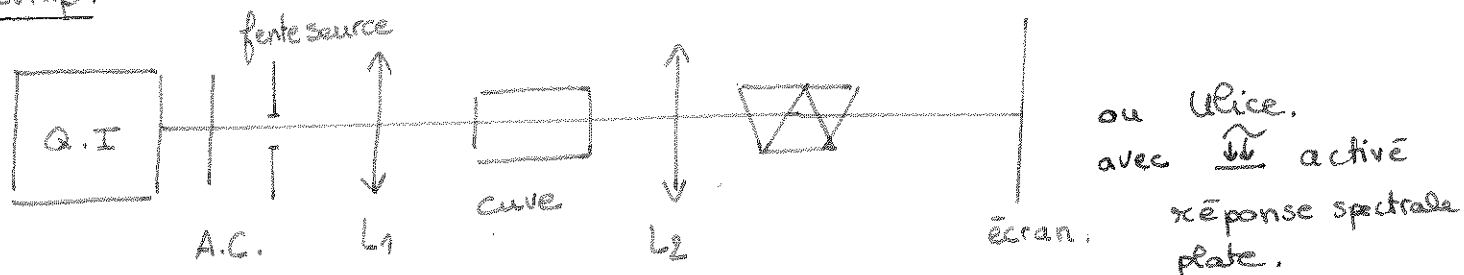


Sur les parois : basses T. Le sens (1) est privilégié

Sur le filament : hautes T. " (2) "

Ce mécanisme permet de porter le filament à une température plus élevée et donc de déplacer l'ensemble du spectre vers le visible. L'efficacité lumineuse est augmentée.

Manip.



cuve + eau distillée $\Rightarrow$ tout le spectre est visible

cuve + K^+MnO_4 diluée $\Rightarrow$ absorption du vert.

490 nm, 507 nm, 525 nm, 546 nm et 569 nm

La solution nous apparaît violette.

2. Loi de Beer Lambert.

But : vérifier si la loi de Beer Lambert $A = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon l c$ est vérifiée pour le permanganate de potassium.

A absorbance

l : longueur d'échantillon traversée

ϵ coefficient d'extinction molaire.

c : concentration de la solution

Déterminer à partir de nos résultats $\epsilon_{\text{KMnO}_4}(\lambda_{\text{max}})$

Manip : Utiliser le module d'absorption du spectromètre, avec cuve de 1 cm de longueur (voir notice Spid HR) à $\lambda_{\text{max}} = 530 \text{ nm}$

Charger l'environnement - abs - cuve. spd

Faire le blanc avec de l'eau distillée

Pour $\neq$ concentrations de KMnO_4 , mesurer l'absorbance

Résultats :

$C \text{ (mol. l}^{-1}\text{)}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$
A	0,09	0,18	0,55	0,74	0,91	1,83

Passe par (0,0) $\Rightarrow$ modèle linéaire

Pente de $A = f(C)$ est $2,289 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$

d'air $\varepsilon = 2289 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$

Valeur attendue: $\varepsilon = 2,2 \cdot 10^3 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$

Incertitudes $\varepsilon = \frac{A}{\ell C}$ d'air $\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon} = \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta \ell}{\ell} + \frac{\Delta C}{C}$

Dans la notice résolution $A = 0,1\%$ mais ΔA n'est pas donné

On peut considérer que l'incertitude principale est ΔC , car les solutions ont été préparées par dilution

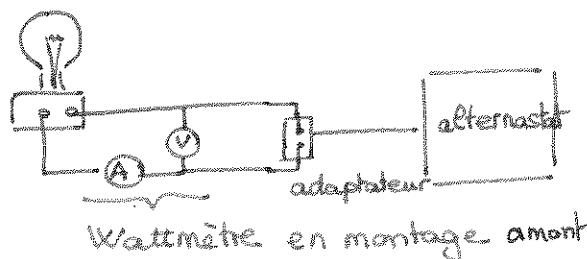
IV. Rayonnement du corps noir. QII.

Il reste à étudier l'émission d'un objet du quotidien : la lampe à incandescence. C'est également une source thermique, le filament de tungstène est porté à une température d'environ 2800 K . Il est placé dans une atmosphère gazeuse inerte pour ralentir la vaporisation. Le spectre continu émis est proche de celui du corps noir.

But: vérifier la loi de Stefan $P = S \sigma T^4$ avec $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

Manip:

On fait varier la puissance électrique envoyée au filament grâce à l'alternostat.



Ampoule:
filament tungstène
 $P = 100 \text{ W}$
 220 V

On relève P , U et I au wattmètre pour $\neq$ éclairements.

On estime les pertes par effet Joule négligeables dans les fils donc

$$P_{\text{électrique}} = P_{\text{rayonnée}}$$

et la valeur de $R = U/I$ nous donne la température du filament

$$T = 273 + \frac{1}{2\beta} \left(\sqrt{\alpha^2 + 4\beta \left(\frac{R}{R_0} - 1 \right)} - \alpha \right)$$

Pour connaître R_0 , on branche un ohmètre aux bornes de l'ampoule à l'ambiante.

$$R_0 (T_{\text{amb}}) = 42,3 \, \Omega.$$

Résultats: Tracer $\log P = \log T \cdot a + b$.

$a =$

donc on retrouve la loi de Stefan.

En réalité la lampe à incandescence est un corps gris pour lequel le coefficient d'absorption moyen (en λ et T) est de 0,43.

Incertitudes :

D'après la notice constructeur du wattmètre.

$$\Delta P = 1,5 \% \text{ de la valeur lue } \pm 2 \text{ digits}$$

$$\Delta U = 0,5 \% \text{ de la valeur lue } \pm 2 \text{ digits}$$

$$\Delta I = 1,5 \% \text{ de la valeur lue } \pm 5 \text{ digits} + 1 \text{ mA}$$

$$\text{d'où } \frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I} \quad \text{et} \quad \frac{\Delta T}{T} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4\beta}{R_0} \cdot \frac{\Delta R}{R} = \frac{2\beta}{R_0} \cdot \frac{\Delta R}{R} = 3,21 \cdot 10^{-8} \frac{\Delta R}{R}$$

donc $\frac{\Delta T}{T}$ négligeable.

On trouve pente max = avec $P + \Delta P$

pente min = avec $P - \Delta P$

Conclusion: Ce montage nous a permis à travers l'étude des spectres d'émission ou d'absorption de :

déterminer la constante de Rydberg

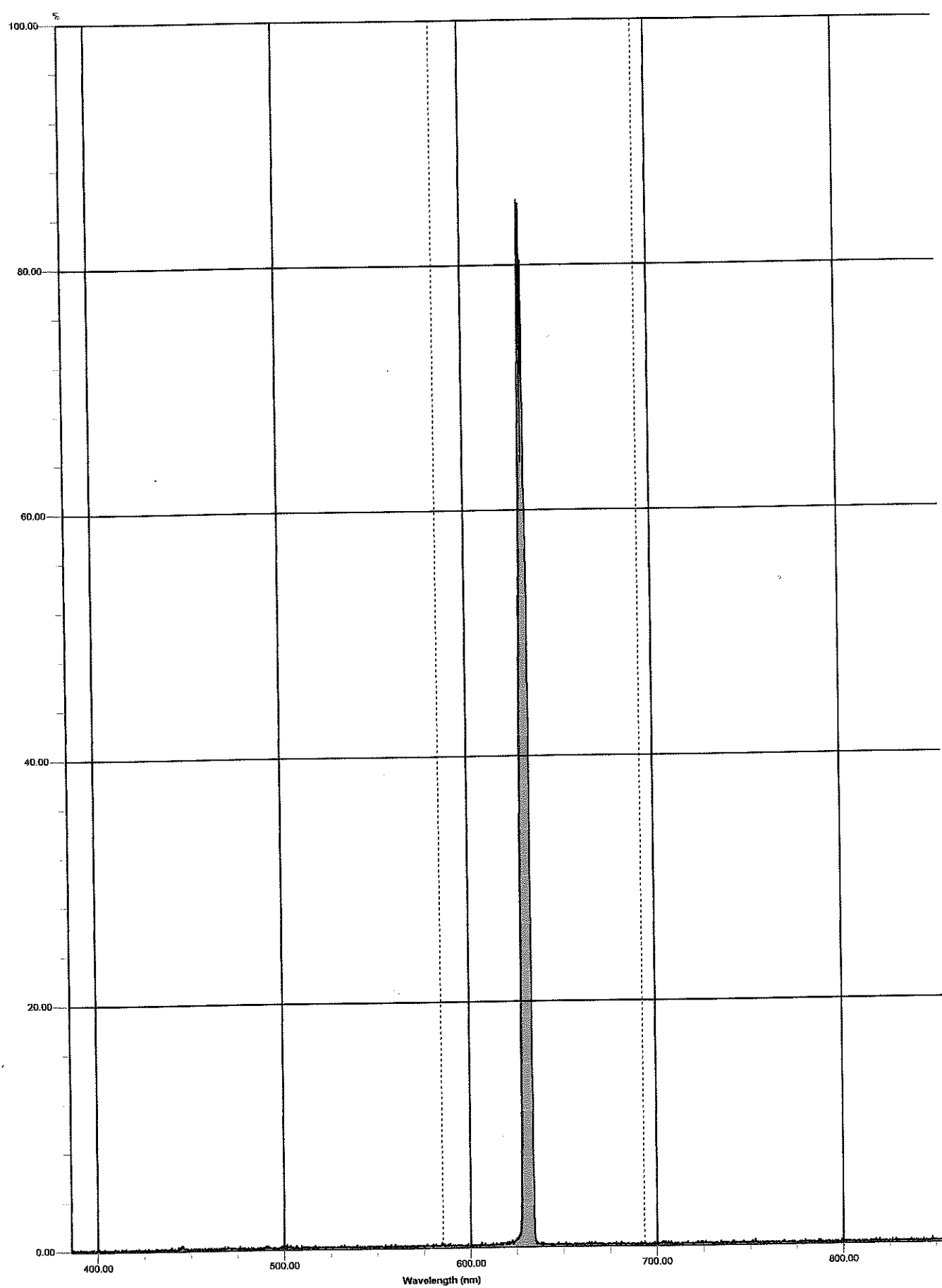
estimer l'ODG de la largeur de la raie verte du mercure

vérifier la loi de Stefan pour le corps noir.

Nous avons également visualiser le spectre du laser HeNe, dont le principe de fonctionnement est basé sur l'émission induite.

Cette source monochromatique, très particulière possède de nombreuses applications et sera étudiée lors d'un prochain montage.

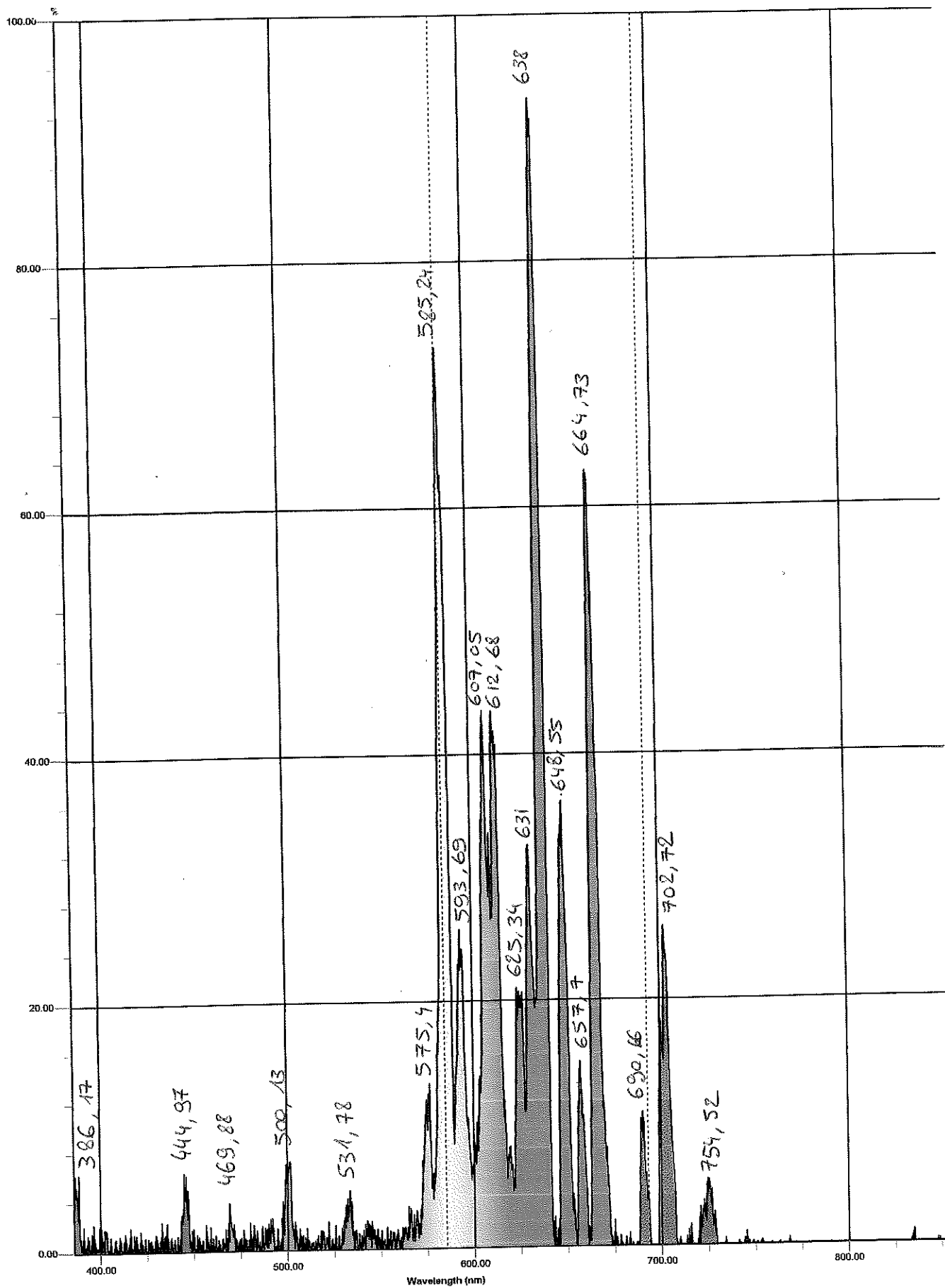
2



X1: 585.24

X2: 693.57

3



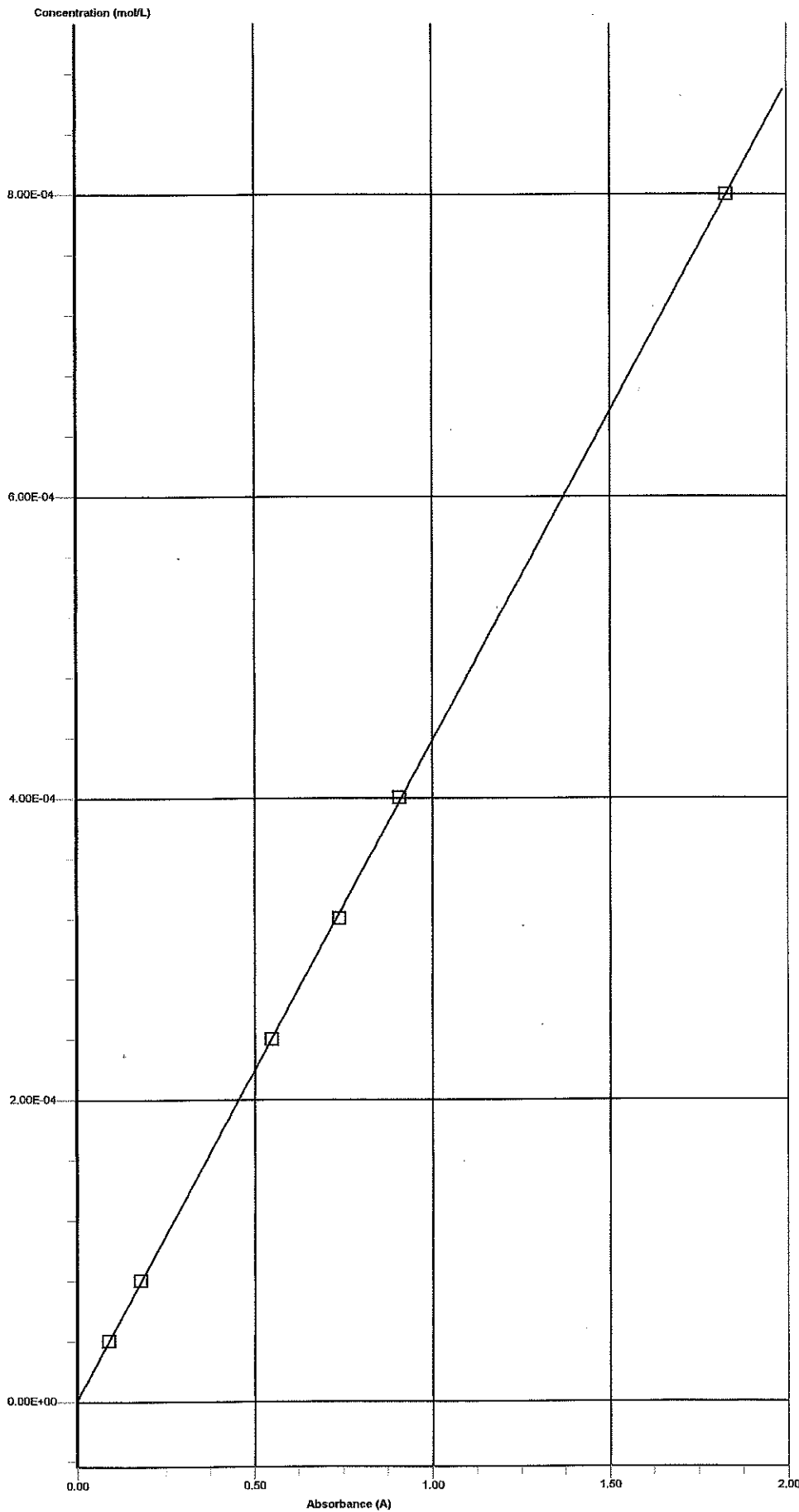
X1: 585.24

X2: 693.57

Vérification de la loi de Beer Lambert.

4

$C = 0.000047 \text{ mol/l}$



Permanganate de potassium		Absorbance.
C (mol/L)		A
1: 0.0000400		0.09
2: 0.0000800		0.18
3: 0.0002400		0.55
4: 0.0003200		0.74
5: 0.0004000		0.91
6: 0.0008000		1.83