

Oraux : Sujet 3 – SPECTROMÉTRIE OPTIQUE - COULEUR

Préparation à l'agrégation interne de Physique Chimie – Colas ANSELME
URCA Reims – mars 2018

I. Spectrométrie – Rappels théoriques

- A. Différentes sortes de spectres – Raies caractéristiques
- B. Les éléments dispersifs (prisme, réseau)
- C. Principe d'un spectromètre à fente
- D. Spectrométrie interférentielle : une application « simple »

II. Aspects pédagogiques du concept

- A. Activité expérimentale/documentaire en 1^{ère} S : La loi de Wien..... Hachette p.47
- B. Activité expérimentale en terminale STL : Mesure de longueurs d'onde avec un goniomètre
- C. Programmes

III. Montage

- A. Spectroscopes à fentes :
 - 1. Mise en place du dispositif (**POSTE 1**)..... Sextant p. 216
 - 2. Limitation du pouvoir de résolution par la fente d'entrée(**POSTE 1**)..... Sextant p. 218
 - 3. Mesures de longueurs d'onde au goniomètre (**POSTE 2**)..... Duffait p 135, mais pas complet
- B. Spectroscopie interférentielle (**POSTE 3**)
 - 1. Mesure de l'écart des doublets du sodium, du mercure, au Michelson..... Sextant p.239
.....Duffait p.76 pour la théorie, facile à interpréter
 - (2. Largeur spectrale de la raie verte du mercure..... ça fait sans doute long.....Sextant p240 et Duffait p.80)
- C. Différentes sortes de spectres, couleur
 - 1. Spectre continu des corps chauds
 - 2. Spectre de bande d'absorption

Conclusion : applications/ouvertures :

- Expansion de l'univers, décalage vers le rouge des raies spectrales de sources s'éloignant (effet Doppler-Fizeau, « Redshift ») ;
- Spectrophotométrie UV-visible (monochromateur + cuve + détecteur)
- Spectrométrie dans d'autres domaines de longueurs d'onde (I.R., fluorescence X,...) à la base de l'analyse chimique

I. Rappels théoriques

A. Différentes sortes de spectres

Spectre	Source	Applications	Réf. expériences
continu	lampe quartz-iode + variateur	spectre du corps noir, « température de couleur », étoiles rouges, bleues,...	
de raies d'émission	lampes spectrales (Hg, Na, Zn, H, Cd,...)		
de raies d'absorption	lampe QI + creuset, bec bunsen et Na	spectre d'une étoile	Duffait page 133
de bandes d'émission	lampe QI + cuve et solution de colorant spécial (Rhodamine, Fluorescéine,...)	fluorescence	Sextant page 227
de bandes d'absorption	lampe QI + cuve + solutions colorées (KMnO ₄ , CuSO ₄ ,...)	spectre d'une solution colorée, d'un filtre coloré synthèse soustractive des couleurs	Sextant page 226 Duffait page 130

Longueurs d'onde des principales raies visibles de quelques lampes spectrales :

Élément	Longueurs d'onde (nm)	Couleur
Sodium	589,00	doublet jaune
	589,59	
Mercure	365,02	UV
	404,66	violet
	435,83	violet
	546,07	vert
	576,96	doublet jaune
	579,07	
Cadmium	479,99	bleu
	643,85	rouge
Zinc	468,01	bleu
	472,22	bleu
	481,05	bleu
	636,23	rouge
Hydrogène	410,17	violet
	434,05	bleu
	486,13	bleu
	656,28	rouge

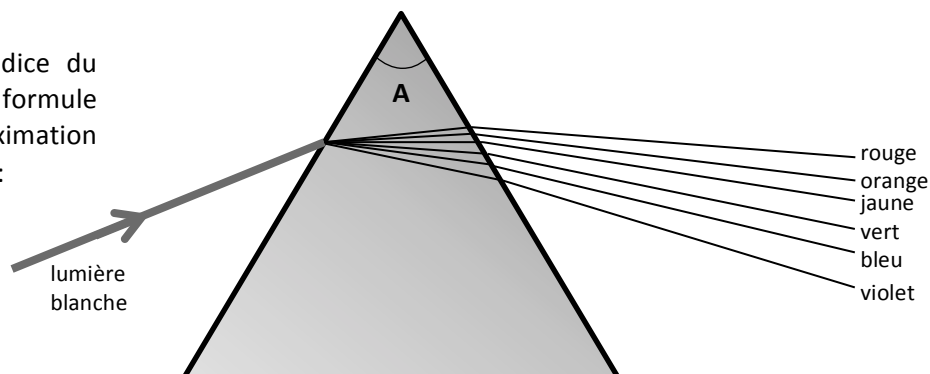
B. Les éléments dispersifs

1. Le prisme

Le prisme disperse la lumière car l'indice du verre dépend de la longueur d'onde. La formule de Cauchy donne en première approximation l'allure des variations de n en fonction λ :

$$n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2}$$

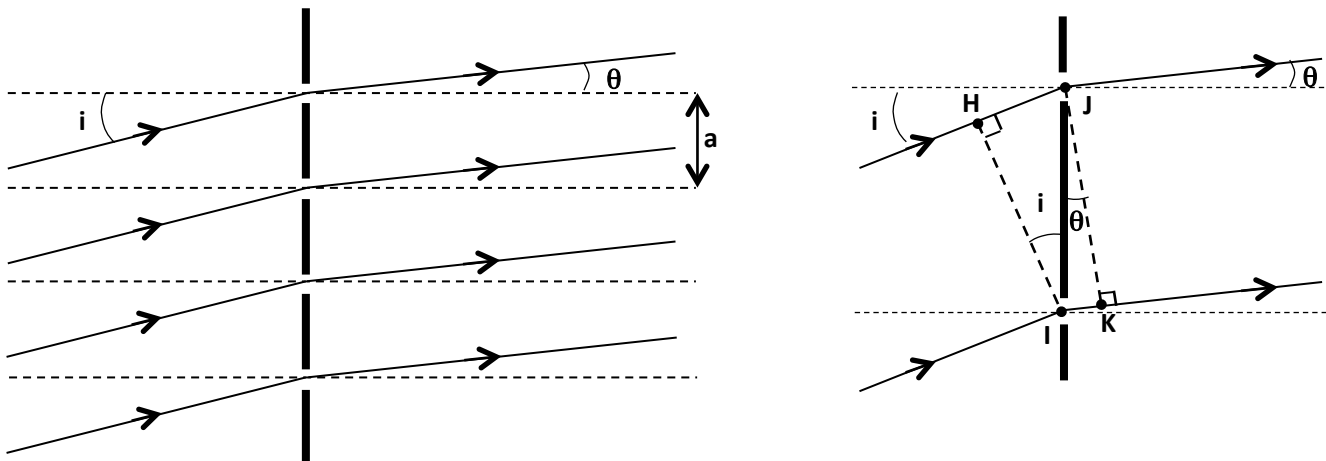
A et B sont deux coefficients positifs.



2. Le réseau

Un réseau est constitué d'une plaque de matériau transparent sur laquelle sont gravées de manière rigoureusement équidistante des lignes qui dispersent la lumière dans toutes les directions. Les zones non-gravées ont des coefficients de transmission voisins de 1 et se comportent comme des fentes très fines qui diffractent la lumière.

Sur la figure ci-dessous, on a représenté un faisceau parallèle de rayons incidents, ainsi que les rayons correspondant au maxima de diffraction (chaque fente donne une figure de diffraction).



Relation fondamentale des réseaux :

Sur le schéma précédent, les maxima d'intensité lumineuse interfèrent à l'infini (ou dans le plan focal image d'une lentille convergente). Les interférences sont constructives pour des différences de marche δ correspondant à un nombre entier k de fois la longueur d'onde λ du rayonnement, soit :

$$\delta = k \times \lambda = IK - HJ = a \times (\sin \theta - \sin i)$$

d'où, pour une incidence normale :

$$\sin \theta_k = \frac{k\lambda}{a}$$

Remarques :

- Pour $k = 0$, $\theta = 0$, pas de dispersion : on obtient l'image de la fente source, dans le prolongement des rayons incidents.
- Pour $k \neq 0$, **l'angle θ dépend de la longueur d'onde, donc le réseau disperse la lumière**. On obtient plusieurs spectres de part et d'autre de l'image de la fente.
- θ est d'autant plus grand que la longueur d'onde est grande. **La déviation est plus grande pour le rouge que pour le violet** : c'est l'inverse que pour le prisme.
- Pour $|k| \geq 2$, il y a recouvrement des spectres (par exemple le rouge du « spectre 2 » recouvre le violet du spectre 3, ce qui provoque une teinte magenta : ces spectres, bien que plus étalés que ceux d'ordre 1, sont difficilement exploitables dans un spectroscopes).



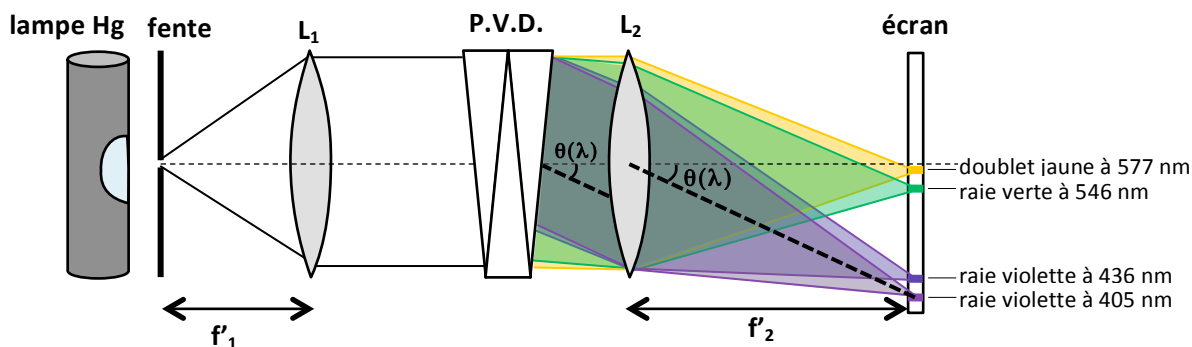
D'après : <http://physique-eea.ujf-grenoble.fr/intra/Organisation/CESIRE/OPT/photos.php>

C. Principe des spectroscopes à fentes

Un **spectroscop** est un appareil permettant de décomposer un rayonnement lumineux, suivant la longueur d'onde, pour permettre l'analyse de la répartition spectrale.

Le dispositif se compose (voir schéma ci-dessous avec une lampe Hg) :

- d'un élément dispersif central (prisme ou réseau) ;
- d'une fente d'entrée ;
- d'une première lentille convergente (L_1) permettant d'obtenir un faisceau de rayons parallèles, condition pour laquelle le prisme ou le réseau sont rigoureusement stigmatiques (objet à l'infini \rightarrow image à l'infini) ;
- d'une seconde lentille convergente (L_2) et d'un écran de projection située dans le plan focal image de (L_2) ou d'une lunette réglée à l'infini permettant d'observer le spectre.



La caractéristique essentielle d'un spectroscope est son **pouvoir de résolution**, noté R qui quantifie sa capacité à décomposer des longueurs d'onde voisines. Si $\delta\lambda$ est le plus petit intervalle de longueurs d'onde pouvant être résolu autour d'une longueur d'onde λ moyenne, on définit le pouvoir de résolution par :

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda}$$

Le pouvoir de résolution d'un spectroscope dépend de nombreux paramètres. Citons :

- la largeur de la fente d'entrée ;
- la diffraction par la monture de l'élément dispersif (largeur éclairée du dispositif).

D. Principe de la spectroscopie interférentielle

L'interféromètre de Michelson peut être utilisé en spectroscopie, afin de réaliser des mesures précises (détermination de la largeur d'un doublet, largeur spectrale d'une raie,...). En cela, il est complémentaire des spectroscopes à prisme ou à réseau.

1. Pour une raie parfaitement monochromatique de longueur d'onde λ

L'intensité mesurée par un détecteur en sortie de l'appareil, caractéristique d'une interférence à deux ondes, peut être donnée par la relation :

$$I(\delta) = I_0 \times \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi\delta}{\lambda}\right) \right]$$

En toute rigueur, les variations de I en un point donné de la figure d'interférence en fonction de δ permettent de remonter à λ . La mesure est délicate car I varie très vite (alternance d'anneaux sombre ou lumineux) pour un faible chariotage du miroir mobile.

2. Pour un doublet

L'intensité lumineuse en un point donné de la figure d'interférence est donnée par la somme des intensités correspondant à chacune des raies. Soit, si l'on considère que chaque raie a une intensité égale à $I_0/2$:

$$I = I_1 + I_2 = \frac{I_0}{2} \times \left[2 + \cos\left(\frac{2\pi\delta}{\lambda_1}\right) + \cos\left(\frac{2\pi\delta}{\lambda_2}\right) \right] = I_0 \times \left[1 + \cos\left(\pi\delta \left(\frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_1}\right)\right) \cdot \cos\left(\pi\delta \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right)\right) \right]$$

En notant λ la longueur d'onde moyenne du doublet et $\Delta\lambda$ l'écart entre les deux longueurs d'onde, il vient :

$$\frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_1} \approx \frac{2}{\lambda} \quad \text{et} \quad \frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \approx \frac{\Delta\lambda}{\lambda^2}$$

On obtient la même figure d'interférence que pour une raie parfaitement monochromatique, modulée par un terme de contraste évoluant beaucoup moins rapidement en fonction de la différence de marche δ :

$$I = I_0 \times \left[1 + \cos\left(\pi\delta \frac{\Delta\lambda}{\lambda^2}\right) \cdot \cos\left(\frac{2\pi\delta}{\lambda}\right) \right]$$

On parle de battements en intensité. L'écart $\Delta x = \delta/2$ entre deux zones de contraste minimum est tel que (2 annulations successives du terme de contraste cosinusoidal) :

$$\pi\delta \frac{\Delta\lambda}{\lambda^2} = \pi \cdot 2\Delta x \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda^2} = \pi$$

soit :

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2\Delta x}$$

3. Pour une raie de largeur spectrale $d\sigma$

Pour une analyse précise, voir Duffait page 77 et après et/ou Sextant page 232 et au-delà.

L'analyse rigoureuse nécessite d'utiliser la notion de **transformée de Fourier**. En un point donné de la figure d'interférences, l'intensité est donnée par :

$$I(\delta) = \int_0^\infty B(\sigma) \times [1 + \cos(2\pi\sigma\delta)] d\sigma = I_0 + \int_0^\infty B(\sigma) \times \cos(2\pi\sigma\delta) d\sigma$$

$B(\sigma)$ est le « spectre en nombres d'onde » de l'interférogramme (courbe des variations de I sur un certain intervalle de chemins optiques, donc de positions successives du miroir M_1).

L'enregistrement de l'interférogramme $I(\delta)$, puis la détermination de la transformée de Fourier de sa partie modulée, permettent d'obtenir le spectre $B(\sigma)$, puis de déterminer $d\lambda$, l'écart de longueurs d'onde de la raie, à mi-hauteur.

II. Aspects pédagogiques concernant la spectrométrie et l'étude des couleurs

A. Activité documentaire/expérimentale en 1^{ère} S : La loi de Wien

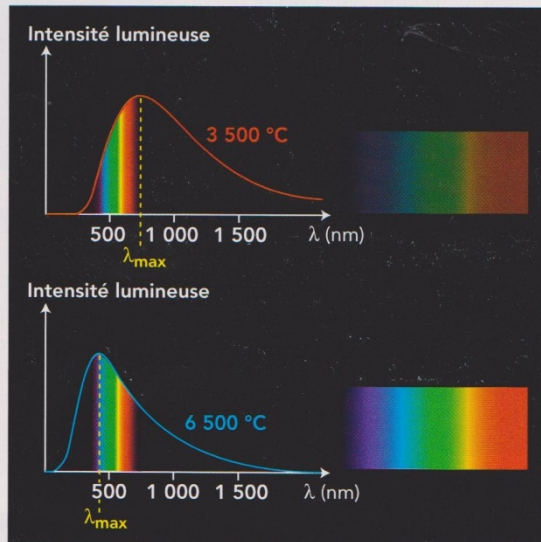
2 Quand vient la loi de Wien !



En classe de Seconde, on a observé qu'un corps chaud émet une lumière dont le spectre dépend de la température. On se propose de comprendre ce phénomène.

Comment déterminer la température d'un corps chaud ?

Le profil spectral d'un corps représente l'intensité lumineuse des radiations émises par ce corps en fonction des longueurs d'onde de ces radiations (**doc. 3**).



Doc. 3 Profil spectral et spectre de la lumière émise par un corps chaud à deux températures différentes. Par souci de simplification, l'intensité lumineuse est représentée sans unité.

Info

La température du filament d'une lampe à incandescence croît lorsque l'intensité du courant augmente.

Info

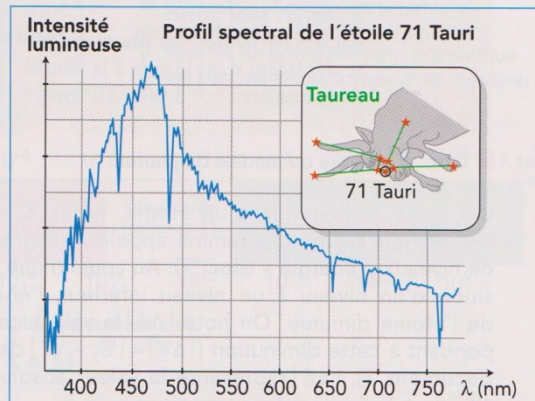
Loi de Wien

Un corps de température θ (en °C) émet une lumière dont le profil spectral présente un maximum d'intensité pour la longueur d'onde notée λ_{\max} (en nm).

Ces deux grandeurs sont liées par la loi de Wien :

$$\theta = \frac{2,89 \times 10^6}{\lambda_{\max}} - 273.$$

Cette loi permet, par exemple, d'évaluer la température de surface d'une étoile à partir de son profil spectral.



Doc. 4 Profil spectral de l'étoile 71 Tauri, située dans la constellation du Taureau.

1 Lorsque la température d'une source chaude augmente (**doc. 3**) :

- comment évolue le spectre de la lumière qu'elle émet ?
- comment évolue sa couleur ?
- comment évolue son profil spectral ?

2 On se propose de vérifier expérimentalement les résultats des questions **1a** et **1b**.

On dispose pour cela :

- d'un montage électrique permettant d'alimenter une lampe à incandescence par un courant d'intensité réglable ;
- d'un spectroscope.

- Proposer un protocole.
- Après accord du professeur, réaliser les expériences.
- Les résultats sont-ils en accord avec les réponses ?

3 Montrer que les λ_{\max} et les températures indiquées dans le **document 3** sont en accord avec la loi de Wien.

4 Quelle est la longueur d'onde λ_{\max} de la radiation émise par l'étoile 71 Tauri (**doc. 4**) avec la plus grande intensité ?

5 Évaluer la température de surface de cette étoile.

Un pas vers le cours...

6 Présenter la méthode permettant de déterminer la température de surface d'une étoile à partir de son profil spectral.

B. Activité expérimentale en T STL : Mesure de longueur d'onde au goniomètre

C. Programmes :

Classe	Problématiques abordées
4 ^{ème}	1 ^{er} exemple de décomposition de la lumière blanche, prisme, réseau Principe de l'absorption par un filtre coloré Synthèse additive
2 ^{de}	Longueur d'onde, lumière mono/polychromatique Spectres des étoiles : raies d'absorption, température de surface Spectres de raies d'émission (→identification d'éléments chimiques)
1 ^{ère} S	Couleur des objets, synthèses additive et soustractive Spectre d'une étoile, loi de Wien, Longueurs d'onde du domaine visible, quantification des échanges énergétiques $E = h \nu$
TS	Quasiment rien (couleur d'un composé)
1 ^{ère} STL/STI2D, option SPCL	spectres d'absorption, d'émission pour différentes sources identification d'éléments chimiques mesure de longueurs d'onde dans le visible
T ^{le} STL/STI2D	Loi de Wien
T ^{le} STL/STI2D, option SPCL	Réseau : choisir et utiliser un réseau adapté pour mesurer une longueur d'onde

4^{ème} :

C. La lumière : couleurs, images, vitesse

C1 - Lumières colorées et couleur des objets

Cette partie prolonge le programme de cinquième par la notion de couleur. Le monde qui entoure l'élève est un monde coloré. Cette rubrique, qui constitue une première approche de la couleur

abordée également en arts graphiques, est un terrain favorable pour une importante activité d'expérimentation raisonnée.

Connaissances	Capacités	Commentaires
LUMIERES COLORÉES ET COULEUR DES OBJETS : comment obtenir des lumières colorées?		
La lumière blanche est composée de lumières colorées.	Suivre un protocole pour obtenir un spectre continu par décomposition de la lumière blanche en utilisant un prisme ou un réseau.	
Éclairé en lumière blanche, un filtre permet d'obtenir une lumière colorée par absorption d'une partie du spectre visible.	Extraire des informations d'un fait observé.	
<i>Des lumières de couleurs bleue, rouge et verte permettent de reconstituer des lumières colorées et la lumière blanche par synthèse additive.</i>	<i>Suivre un protocole. Faire des essais avec différents filtres pour obtenir des lumières colorées par superposition de lumières colorées.</i>	La synthèse soustractive est hors programme.
La couleur perçue lorsqu'on observe un objet dépend de l'objet lui-même et de la lumière qui l'éclaire.	Faire des essais pour montrer qualitativement le phénomène. Présenter à l'écrit ou à l'oral une observation.	On ne demandera pas à l'élève de prévoir la couleur perçue par un observateur.

2^{de} : Thème « l'Univers »

Les étoiles : l'analyse de la lumière provenant des étoiles donne des informations sur leur température et leur composition. Cette analyse nécessite l'utilisation de systèmes dispersifs.	
<p>Les spectres d'émission et d'absorption : spectres continus d'origine thermique, spectres de raies. Raies d'émission ou d'absorption d'un atome ou d'un ion. Caractérisation d'une radiation par sa longueur d'onde.</p> <p>Dispersion de la lumière blanche par un prisme. Réfraction. Lois de Snell-Descartes.</p>	<p>Savoir qu'un corps chaud émet un rayonnement continu, dont les propriétés dépendent de la température.</p> <p>Repérer, par sa longueur d'onde dans un spectre d'émission ou d'absorption une radiation caractéristique d'une entité chimique. <i>Utiliser un système dispersif pour visualiser des spectres d'émission et d'absorption et comparer ces spectres à celui de la lumière blanche.</i> Savoir que la longueur d'onde caractérise dans l'air et dans le vide une radiation monochromatique. Interpréter le spectre de la lumière émise par une étoile : température de surface et entités chimiques présentes dans l'atmosphère de l'étoile. Connaître la composition chimique du Soleil.</p> <p><i>Pratiquer une démarche expérimentale pour établir un modèle à partir d'une série de mesures et pour déterminer l'indice de réfraction d'un milieu.</i> Interpréter qualitativement la dispersion de la lumière blanche par un prisme.</p>

1^{ère} S : Thème « observer »

<p>Couleur des objets. Synthèse additive, synthèse soustractive. Absorption, diffusion, transmission.</p> <p>Vision des couleurs et trichromie. Daltonisme. Principe de la restitution des couleurs par un écran plat (ordinateur, téléphone portable, etc.).</p>	<p>Interpréter la couleur observée d'un objet éclairé à partir de celle de la lumière incidente ainsi que des phénomènes d'absorption, de diffusion et de transmission. Utiliser les notions de couleur blanche et de couleurs complémentaires. Prévoir le résultat de la superposition de lumières colorées et l'effet d'un ou plusieurs filtres colorés sur une lumière incidente. <i>Pratiquer une démarche expérimentale permettant d'illustrer et comprendre les notions de couleurs des objets.</i></p> <p>Distinguer couleur perçue et couleur spectrale. Recueillir et exploiter des informations sur le principe de restitution des couleurs par un écran plat.</p>
Sources de lumière colorée	
<p>Différentes sources de lumière : étoiles, lampes variées, laser, DEL, etc. Domaines des ondes électromagnétiques.</p> <p>Couleur des corps chauffés. Loi de Wien.</p> <p>Interaction lumière-matière : émission et absorption. Quantification des niveaux d'énergie de la matière. Modèle corpusculaire de la lumière : le photon. Énergie d'un photon. Relation $\Delta E = h\nu$ dans les échanges d'énergie. Spectre solaire.</p>	<p>Distinguer une source polychromatique d'une source monochromatique caractérisée par une longueur d'onde dans le vide. Connaître les limites en longueur d'onde dans le vide du domaine visible et situer les rayonnements infrarouges et ultraviolets.</p> <p>Exploiter la loi de Wien, son expression étant donnée.</p> <p><i>Pratiquer une démarche expérimentale permettant d'illustrer et de comprendre la notion de lumière colorée.</i></p> <p>Interpréter les échanges d'énergie entre lumière et matière à l'aide du modèle corpusculaire de la lumière. Connaître les relations $\lambda = c/\nu$ et $\Delta E = h\nu$ et les utiliser pour exploiter un diagramme de niveaux d'énergie.</p> <p>Expliquer les caractéristiques (forme, raies) du spectre solaire.</p>

Matières colorées	
Synthèse soustractive.	Interpréter la couleur d'un mélange obtenu à partir de matières colorées.

TS tronc commun : partie « Observer »

Analyse spectrale

Notions et contenus	Compétences exigibles
Spectres UV-visible Lien entre couleur perçue et longueur d'onde au maximum d'absorption de substances organiques ou inorganiques.	<i>Mettre en œuvre un protocole expérimental pour caractériser une espèce colorée.</i> Exploiter des spectres UV-visible.

1^{ère} STL/STI2D : Option SPCL - Module « D'une image à l'autre » :

Image et vision

Notions et contenus	Capacités
Spectroscopie : prisme et réseaux. Spectres visibles.	<ul style="list-style-type: none"> - Réaliser expérimentalement et décrire les spectres de différentes sources lumineuses dont une source laser. - Distinguer spectres d'émission et spectres d'absorption, spectres continus et spectres de raies. - Identifier, en utilisant une banque de données, un élément chimique à partir de son spectre d'émission ou d'absorption. - Exploiter la courbe d'intensité spectrale d'un spectre lumineux.
	<ul style="list-style-type: none"> - Relier la longueur d'onde d'une radiation monochromatique à sa fréquence. - Mesurer des longueurs d'onde du spectre visible.
Perception des couleurs.	<ul style="list-style-type: none"> - Expliciter le rôle de chacun des deux types de cellules photosensibles de l'œil.

Term. STL-STI2D : Thème « Santé »

Santé
Quelques outils du diagnostic médical

Notions et contenus	Capacités exigibles
Ondes électromagnétiques ; rayonnements gamma, X, UV, visible, IR.	<ul style="list-style-type: none"> - Classer les ondes électromagnétiques selon leur fréquence, leur longueur d'onde dans le vide et leur énergie. - Expliciter la dépendance entre la puissance rayonnée par un corps et sa température. - Exploiter le lien entre la température d'un corps et la longueur d'onde pour laquelle l'émission de lumière est maximale.

Term. STL-STI2D : Option SPCL - Module « Ondes »

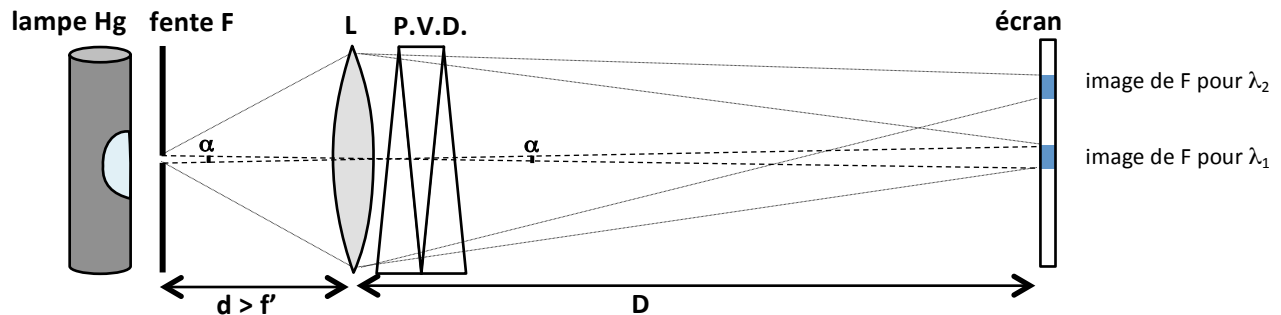
Réseaux, pas d'un réseau.	<ul style="list-style-type: none"> - Exprimer la différence de marche entre deux chemins optiques. - Relier l'intensité reçue par un capteur à la différence de marche de deux ondes. - Utiliser un capteur d'intensité lumineuse pour visualiser une figure d'interférences, le protocole étant donné. - Exploiter les interférences créées par un dispositif à deux ondes et par un réseau. - Choisir et utiliser un réseau adapté pour mesurer une longueur d'onde. - Effectuer une mesure dimensionnelle avec un dispositif interférométrique, le protocole étant fourni. - Décrire le principe de la mesure de distances entre plans cristallins par une méthode interférométrique.
Absorption ; spectrophotométrie.	<ul style="list-style-type: none"> - Exploiter des spectres d'absorption dans différents domaines de longueurs d'onde.

III. MONTAGE

A. Spectroscopes à fentes

1. Mise en place du dispositif

On peut simplifier le montage de la page 4. On enlève la lentille (L_2) et on place l'écran à grande distance. Les figures comportent moins d'aberrations chromatiques, le montage est plus lumineux et les réglages plus aisés.



Réglages du dispositif :

- Placer une fente réglable en sortie d'une lampe à vapeurs de mercure, puis un écran, à grande distance.
- Positionner une lentille convergente ($f' = 15$ ou 20 cm) entre la lampe et l'écran de façon à former l'image de la fente sur l'écran.
- Ajouter un élément dispersif (prisme à vision directe, réseau), **accolé à la lentille**.
- Réajuster la mise au point (le PVD, de grande largeur, peut modifier légèrement les chemins optiques).
- Typiquement, pour une distance $D = 2,00$ m, le doublet jaune du mercure doit être résolu.

- a) Discuter des avantages et inconvénients du réseau par rapport au P.V.D. Comparer plusieurs réseaux (le « 100 traits/mm » et le « 600 traits/mm » par exemple).

2. Limitations du pouvoir de résolution

2a. Dispersion angulaire

- Reprendre le dispositif expérimental précédent avec le P.V.D.
- Au départ, la fente source est très fine. Placer l'écran suffisamment loin ($D = 2,00$ m), de manière à bien dédoubler le doublet jaune du mercure.
- Mesurer l'écartement des deux raies grâce au viseur de Fresnel (oculaire + vis micrométrique).

- b) En déduire la **dispersion angulaire** du prisme à vision directe : $\frac{d\theta}{d\lambda}$, en fonction de la distance D et des longueurs d'onde théoriques du doublet (voir page 2). Évaluez l'incertitude sur cette mesure (type B).

2b. Influence de l'ouverture de la fente source :

- Sans changer la position des différents appareils, observer l'effet d'une ouverture de la fente source, de plus en plus grande. Le doublet est-il toujours dédoublé ?
- Essayer de se placer à la limite de résolution du doublet jaune. Mesurer la largeur a de la raie verte.
- Calculer alors la largeur angulaire α de la fente à la limite de résolution.

Discussion :

Chaque raie donne une image de la fente source, de même largeur « a » sur l'écran. Depuis la lentille, la fente source est vue sous un angle α . Si ces images sont trop larges, elles risquent de se recouper et de ne pas être résolues. Il ne sera pas possible de séparer deux longueurs d'onde voisines de $\Delta\lambda$ et correspondant à un écart angulaire $d\theta$, si l'élément dispersif ne les sépare pas suffisamment, compte-tenu de sa dispersion angulaire, c'est-à-dire si : $\alpha \geq d\theta$

À la limite de résolution des deux raies : $\alpha = d\theta = \Delta\lambda \times \left(\frac{d\theta}{d\lambda}\right)$.

Dans ces conditions le pouvoir de résolution du spectroscopie défini par $R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$ devient :

$$R = \frac{\lambda}{\alpha} \times \left(\frac{d\theta}{d\lambda}\right)$$

Longueur d'onde moyenne du doublet

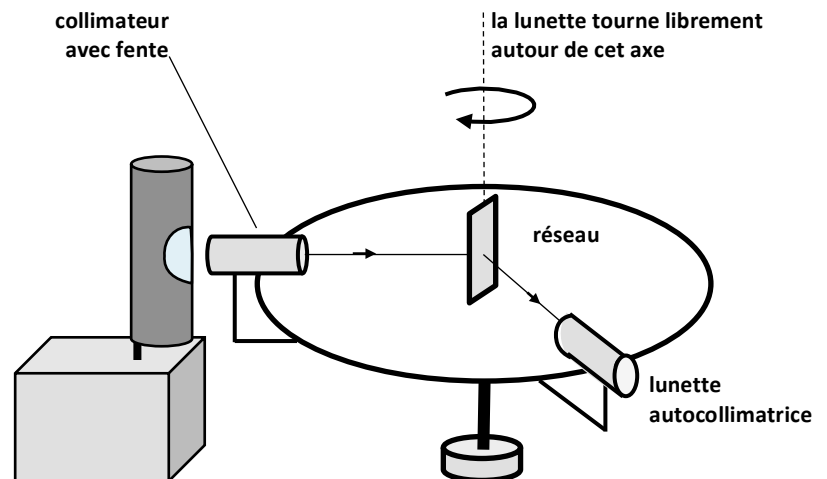
Angle sous lequel est vu chaque image de la fente

Dispersion angulaire

- Calculer R en utilisant la dispersion angulaire (déterminée au 2.a.), la largeur angulaire α de la fente et la longueur d'onde moyenne du doublet.
- Si le temps le permet, recommencer l'étude avec le réseau plutôt que le P.V.D.

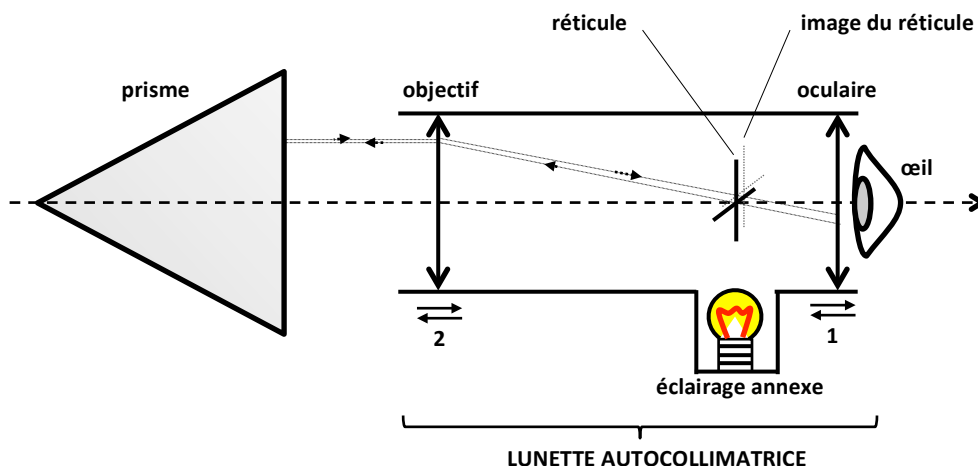
3. Mesures avec le goniomètre

3a. Réglages du goniomètre



La lunette autocollimatrice

- Régler la distance entre l'**oculaire** et le réticule, pour voir nettement le réticule sans accommoder (ie, l'oculaire en forme une image virtuelle à l'infini). Pour faciliter, allumer l'éclairage auxiliaire de la lunette, pour rendre le réticule plus visible.
- Régler la distance de l'**objectif** afin qu'il donne une image de l'infini dans le plan du réticule (La lunette sera alors afocale et permettra d'observer des objets situés à l'infini). Pour cela, placer une face du prisme perpendiculaire à l'axe optique de la lunette, de sorte que le réticule et son image par réflexion sur le prisme soient bien nets tous les deux (pas forcément alignés).

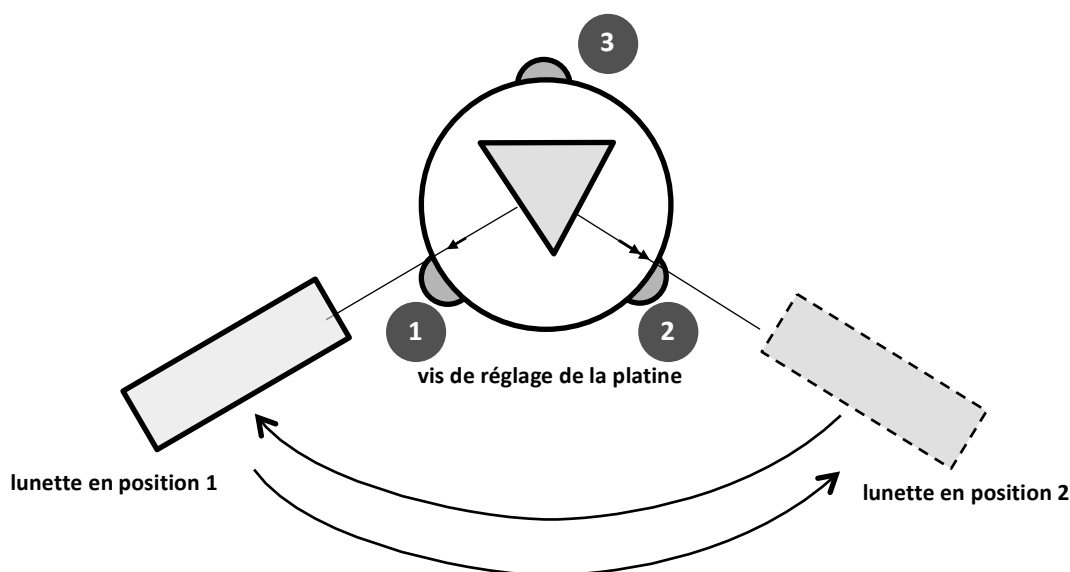


Le collimateur : Il doit former à l'infini une image virtuelle de la fente source, éclairée par la lampe source.

3. Aligner la lunette et le collimateur et ouvrir légèrement la fente.
4. Sur le collimateur, régler la distance collimateur/lunette, de sorte que l'on voie l'image de la fente dans la lunette le plus nettement possible.

Horizontalité de la platine :

5. Placer le prisme avec l'une de ses faces perpendiculaire au collimateur et positionner la lunette, dans la configuration de la figure ci-dessous.
6. Agir sur la molette n°1 pour faire coïncider le réticule et son image sur la face du prisme. Tourner d'un tiers de tour la lunette (position 2) et agir sur la vis n°2 pour faire coïncider le réticule et son image. Enfin, revenir en position 1 et agir cette fois sur la vis n°3.
7. Recommencer cette procédure, mais cette fois en partant de la position 2 ($\frac{\text{pos}^\circ 2 - \text{vis } 2}{\text{pos}^\circ 1 - \text{vis } 1} / \text{pos}^\circ 2 - \text{vis } 3$).
8. En recommençant ces deux procédures de manière récursive, on ajuste l'horizontalité de la platine. Au bout d'un certain nombre de fois, le réticule et son image restent toujours alignés.



3b. Courbe d'étalonnage

- Placer le réseau en incidence normale et verrouiller la position de la platine.
- Pour chaque raie connue du mercure, noter les valeurs des angles θ correspondantes.
- **ATTENTION** : Prendre garde à choisir des raies correspondant au même spectre ($k = 1$ par exemple).

e) Tracer la courbe : $\sin \theta = f(\lambda)$.

f) Effectuer la régression linéaire. Vérifier le pas du réseau à partir de cette courbe.

3c. Mesures de longueurs d'onde inconnues

- Reprendre le même montage, mais en remplaçant la lampe à vapeurs de mercure par une lampe à vapeurs de sodium, puis par une lampe à vapeurs de cadmium.
- Comparer la valeur des longueurs d'onde des raies expérimentales par rapport à leurs valeurs référencées page 2.

B. Spectroscopie interférentielle

1. Réglages du Michelson

Parallélisme approché de la séparatrice et de la compensatrice : cf Duffait

- Envoyer un faisceau laser perpendiculairement à la séparatrice. On obtient deux séries de points lumineux, correspondant à des réflexions multiples entre séparatrice et compensatrice.
- Jouer sur les deux vis de réglages de la compensatrice pour faire coïncider les deux séries de points en hauteur et en largeur.

Parallélisme entre miroirs : cf Duffait

- Éteindre le laser. Allumer une lampe à vapeurs de mercure, munie d'un dépoli, sur lequel est dessiné une mire, en entrée du Michelson.
- Observer en direction du miroir M_2 . On voit deux images de la mire correspondant aux réflexions sur les deux miroirs.
- Jouer sur les deux vis de réglages grossiers de M_1 , afin de faire coïncider les deux images des mires. Affiner à l'aide des deux vis de réglages fins de M_2 . À ce stade, des anneaux ou des franges doivent apparaître.

Vers le contact optique : cf Duffait

- Actionner la vis micrométrique (« chariotage ») qui fait translater M_1 . Les anneaux se concentrent ou s'écartent du centre.
- Charioter grossièrement sur quelques millimètres, puis très doucement pour vérifier si les anneaux se resserrent. Refaire cette manipulation plusieurs fois.
- À l'approche du contact optique, les anneaux deviennent plus larges et il y en a moins sur la figure.
- Au contact optique, il y a changement de courbure, des anneaux qui se rapprochaient du centre, se mettent à s'en éloigner. Revenir en arrière.

NOTE IMPORTANTE : le contact optique est proche de 31,9 mm sur la vis micrométrique. Ne pas s'éloigner trop de cette valeur SVP !!!

2. Étude du doublet du sodium :

- Remplacer la lampe à vapeurs de mercure, par une lampe à vapeurs de sodium. Des anneaux concentriques sont observables « sur » M_2 .
- Se placer au voisinage du contact optique et charioter très délicatement. On doit pouvoir obtenir des positions de M_1 pour lesquelles il y a un fort contraste et d'autres au contraire où il se produit un brouillage total de la figure d'interférence.
- Relever précisément les positions successives pour lesquelles il y a brouillage. Comme la détermination d'un brouillage n'est pas très précise, relever 10 à 15 positions successives permettant d'obtenir le brouillage.
- On peut refaire la manipulation, cette fois avec la lampe à vapeurs de mercure pour étudier son doublet jaune, à condition de lui adjoindre un filtre interférentiel à 580 nm, qui ne laisse passer que ce doublet.

À partir de l'écart moyen Δx calculé sur les différentes valeurs de x pour lesquelles le contraste est nul, déterminer l'écart de longueurs d'onde entre les deux raies du sodium.

3. Largeur de la raie verte du mercure

- On travaille avec la lampe à vapeurs de mercure, à laquelle on adjoint un filtre interférentiel de longueur d'onde 546 nm.
- Recommencer alors la manipulation précédente, mais en utilisant le défilement automatique avec le moteur couplé au Michelson et la caméra CCD, afin de procéder à l'enregistrement de l'interférogramme.

C. Différentes sortes de spectres - Couleur

Spectres continu des corps chauds :

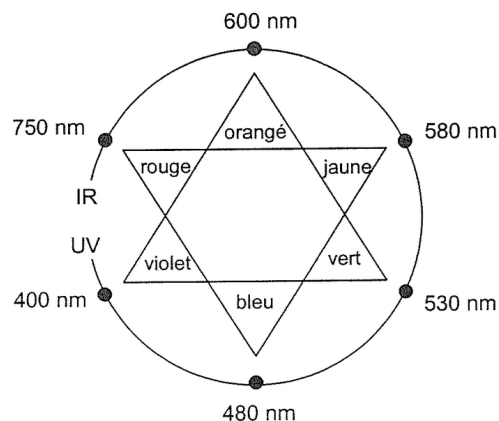
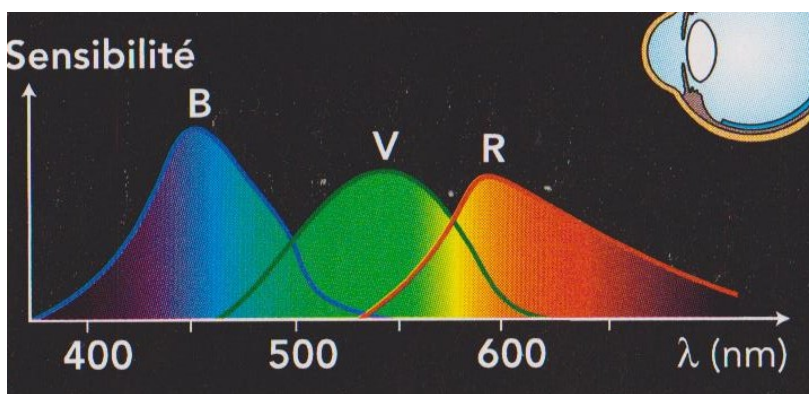
- Dans le montage du spectroscope page 10, placer une source de lumière blanche (lampe quartz-iode), munie d'un rhéostat, en plus de l'alimentation.
- On observe un spectre continu sur l'écran, d'autant plus riche que la lampe est chaude.

1. Discuter de l'influence de la résistance (et donc de la valeur de l'intensité et donc de la température du filament de la lampe quartz-iode) sur l'allure du spectre obtenu : un spectre correspondant à une source de plus en plus chaude, « s'enrichit vers le violet ».

Spectres de bandes d'absorption :

- Dans le montage du spectroscope, placer une cuve contenant une solution de permanganate de potassium ou de sulfate de cuivre entre la QI et la fente.

2. Discuter de l'influence de la concentration de la solution, ou de la largeur de la cuve sur le spectre d'absorption.
3. Interpréter la couleur des solutions, en utilisant « l'étoile des couleurs complémentaires », ou les courbes de sensibilités relatives des différents cônes de l'œil.



Remarques : la dispersion par un prisme « normal » est plus importante qu'avec un PVD. Si on veut juste projeter le spectre en classe, on peut l'utiliser. On peut également réaliser « l'expérience du rétroprojecteur ».

Bibliographie :

Optique, cours et 94 exercices corrigés, Faroux et Renault, collection j'intègre Dunod, édition 1998.

Le cours sur le réseau est très concis. On y retrouve bien tout.

Optique – Fondements et applications 7^{ème} édition, José-Philippe PÉREZ :

La référence !

Le cours sur les spectromètres à prisme (chapitre 26) et à réseau (chapitre 27) ne sont pas si longs que ça

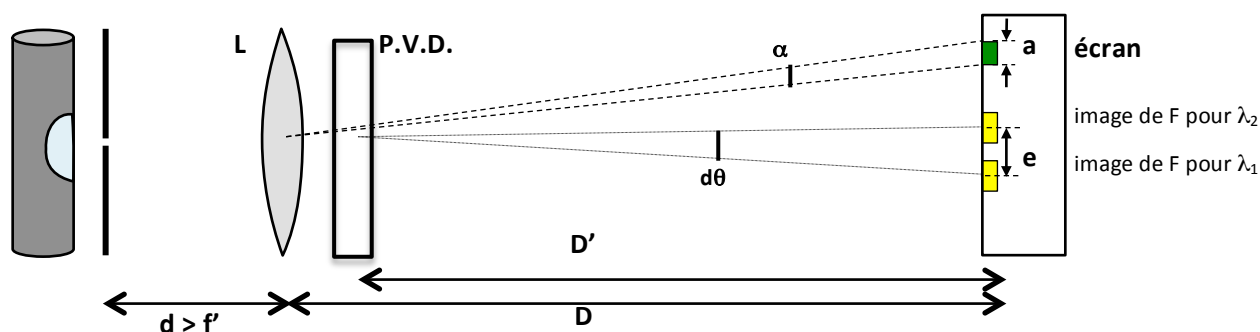
Expériences d'optique – Agrégation de sciences physiques 2^{ème} édition (1997), R. DUFFAIT

Optique expérimentale, Sextant (1997,... année faste !)

S'il n'y a qu'un livre à retenir pour ce montage, c'est celui-là !

Physique Chimie 1^{ère} S, Hachette éducation, collection Dulaurans Durupthy éd°2011

Réglages du spectrogoniomètre : Jean-Marc ☺



	PVD	réseau 600 traits/mm
e doublet du mercure écart entre les raies	4,23-3,66 = 0,56 +/- 0,02 mm 3,88-3,32 = 0,57 mm (2 séries de mesures avec oculaire de Fresnel)	6,33-4,08 = 2,25 mm
D' Distance entre l'élément dispersif et l'écran	165,0 +/- 0,2 cm (mesure sur banc optique)	175 +/- 2 cm
$\left(\frac{d\theta}{d\lambda}\right)$ dispersion angulaire	$\left(\frac{d\theta}{d\lambda}\right) \approx \frac{e}{D' \cdot \Delta\lambda_{\text{doublet}}} = \frac{5,6 \cdot 10^{-4}}{1,65 \cdot (579,07 - 576,96)}$ $= (1,61 \pm 0,06) \cdot 10^{-4} \text{ rad. nm}^{-1}$	6,1. 10⁻⁴ rad. nm⁻¹
D Distance fente - écran	173,0 +/- 0,2 cm (mesure sur banc optique)	
R dépend de la longueur d'onde choisie pour l'évaluer et de l'ouverture de la fente	$R = \frac{\lambda}{d\lambda} = \frac{\lambda_{\text{moy}}}{\alpha} \left(\frac{d\theta}{d\lambda}\right) = \lambda_{\text{moy}} \frac{D}{a} \left(\frac{d\theta}{d\lambda}\right)$ $= 578,01 \cdot \frac{1,73}{0,59 \cdot 10^{-3}} 1,61 \cdot 10^{-4} \approx \mathbf{300}$	

remarque : On peut attendre une certaine précision de la mesure de $\left(\frac{d\theta}{d\lambda}\right)$, mais pas de celle de R, car les angles α et $d\theta$ ne sont pas évalués depuis la même origine. En outre, l'incertitude pour déterminer a est importante, car il n'est pas aisé de cerner à quelles positions de la vis micrométrique de l'oculaire de Fresnel « commence » et « termine ».