



Thème I. Ondes et signaux (Optique)

TP n°22 Spectrogoniomètre à réseau

Vendredis 15 et 22 mai 2025

Capacité exigibles du programme :

- ✓ Mesurer une longueur d'onde optique à l'aide d'un goniomètre à réseau.
- ✓ Obtenir et analyser quantitativement un spectre à l'aide d'un réseau.
- ✓ Utiliser un viseur à frontale fixe, une lunette autocollimatrice.
- ✓ Utiliser des vis micrométriques et un réticule.
- ✓ Régler et mettre en œuvre une lunette autocollimatrice et un collimateur.

Matériel :

- En 5 groupes :
 - Goniomètre ;
 - Réseau 524 traits/mm ;
 - Miroir plan ;
 - Lampe à vapeur de mercure ;
 - Diverses lampes à vapeur (sodium, ...) .
- Au bureau prof : montage pour observation de la diffraction avec un réseau (sources lumineuses : laser, source de lumière blanche, lampes spectrales, fente réglable, réseaux, lentilles convergentes, écran).

Travail à faire AVANT la séance :

- Lire l'énoncé en entier.
- Lire et comprendre le principe de la mesure d'un angle sur un vernier angulaire.
- Visualiser :
 - Vidéo de réglage du goniomètre : <https://www.youtube.com/watch?v=gP0fQieBPQ8> ;
 - Vidéo sur la réalisation d'une mesure : https://www.youtube.com/watch?v=L8cT_YwTXzI&t=64s ;
 - Animation sur l'observation du spectre : <https://openprocessing.org/sketch/557687>



Objectif

À vous de l'écrire !

I Spectres de raies

Une lampe spectrale est constituée d'une ampoule en quartz contenant deux électrodes métalliques qui baignent dans un gaz (hydrogène, sodium, mercure ...). Les propriétés de la lumière émise dépendent essentiellement de l'élément chimique concerné, on le précise dans le nom de la lampe : on parle ainsi de lampe à vapeur d'hydrogène, de mercure ou de sodium ...

L'établissement d'une tension élevée entre les deux électrodes provoque un arc électrique. Il se produit alors une excitation : les atomes passent momentanément de l'état fondamental d'énergie minimale E_0 à un état excité d'énergie $E_n > E_0$.

Lorsqu'ils se dés excitent, c'est-à-dire lorsqu'ils regagnent un état d'énergie plus faible, les atomes émettent des photons, dont la fréquence ν ne peut prendre que des valeurs particulières.

En effet, les **niveaux d'énergie des atomes sont quantifiés** c'est-à-dire qu'ils correspondent à des valeurs discrètes. Le principe de conservation de l'énergie impose que l'énergie ε d'un photon émis ne puisse prendre qu'une valeur égale à la différence de deux niveaux d'énergie $E_n - E_p$ (où n et p sont des entiers) de l'atome :

$\varepsilon = E_n - E_p$. Or l'énergie ε d'un photon est liée à sa fréquence ν par la relation $\varepsilon = h\nu$, où h est la constante de Planck : $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, donc ν ne peut prendre que des valeurs discrètes : $\nu = \frac{E_n - E_p}{h}$.

Le spectre d'une lampe à vapeur atomique, observé grâce à un spectromètre (un prisme, ou un réseau ...) présente donc des raies fines et isolées les unes des autres, on parle de **spectre de raies**.

On retiendra que le caractère discret du spectre d'une lampe à vapeur atomique est la conséquence de la quantification de l'énergie des atomes.

Les éléments chimiques de la classification de Mendeleïev ont été identifiés et recensés au XIX^e siècle grâce à leurs spectres d'émission lumineuse. La mesure des longueurs d'onde constitutives du spectre d'un élément chimique permet donc d'identifier l'élément chimique étudié.

Le but de ce TP est de déterminer la longueur d'onde moyenne d'une radiation.

II Le réseau

II.1 Définition



Définition

Un réseau est une surface portant un ensemble de rayures parallèles régulièrement espacées. Les fentes sont équidistantes d'une distance a de l'ordre du micromètre, appelée **pas du réseau**. Grâce aux phénomènes d'interférence et de diffraction, le réseau permet d'obtenir le spectre de la lumière qui l'éclaire.



II.2 Observation de spectres



Expérience

À l'aide d'un réseau on cherche à observer le spectre du laser, d'une lampe spectrale (au mercure), et d'une lampe à incandescence.

Q1. Faire le schéma du montage et notez vos observations.

On fait tourner le réseau autour d'un axe vertical.

Q2. Que modifie-t-on dans ce cas ? Qu'observez-vous ?

II.3 Quelques relations utiles

Un faisceau monochromatique de rayons parallèles arrivant sur le réseau sous un angle d'incidence i est diffracté dans une direction particulière i' .

Les angles i et i' sont reliés par la relation :

$$\sin(i') - \sin(i) = p \frac{\lambda}{a}$$

avec a le pas du réseau, λ la longueur d'onde de la radiation considérée et p l'ordre du spectre ($p = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots$).

En incidence normale, $i = 0$ et

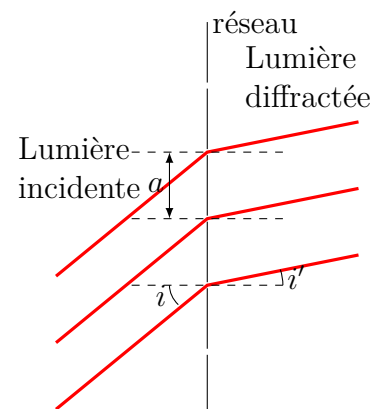
$$\sin(i') = p \frac{\lambda}{a}$$

Avec une source de lumière polychromatique :

— À l'ordre $p = 0$, on n'observe pas de spectre car aucune radiation n'est déviée.

— Pour les ordres $p \neq 0$, on observe un spectre, car chaque radiation (de longueur d'onde différente), est déviée avec un angle i' différent.

On définit l'**angle de déviation** D qui est l'angle entre la direction du faisceau diffracté et du faisceau incident : $D = i' - i$.



On peut montrer que cet angle de déviation passe par un minimum, appelé « **minimum de déviation** », qui est relié à la longueur d'onde par :

$$\sin\left(\frac{D_m(\lambda)}{2}\right) = p \times \frac{\lambda}{2a}$$

où a est le pas du réseau et p l'ordre du spectre.

La mesure précise d'angle étant peu aisée sur la paillasse, nous allons utiliser un instrument d'optique qui permet de faire ces mesures facilement et précisément : le goniomètre.

III Goniomètre

Présentation du goniomètre et de son réglage : <https://www.youtube.com/watch?v=gP0fQieBPQ8>

III.1 Présentation



Définition

Le goniomètre est constitué de trois parties :

- un **collimateur** (C) : système formé d'une fente source et d'une lentille mince convergente (l'objectif du collimateur).
- une **lunette de visée à l'infini autocollimatrice** (L) montée sur un support mobile autour d'un axe central et constituée d'un **oculaire**, d'un **objectif** et d'un **réticule**. La position de la lentille être repérée précisément à l'aide d'un vernier angulaire.
- une **platine** (P) : mobile en rotation autour de l'axe vertical du support fixe, sur laquelle on dispose le réseau (ou le prisme).



Le collimateur permet de former un faisceau de lumière parallèle à partir de la fente éclairée par la source lumineuse. Tous les rayons atteignent le réseau sous le même angle d'incidence.

La lunette, réglée à l'infini, permet ensuite d'observer à l'œil l'image de la fente dans la direction où elle se forme. Les images correspondant à deux radiations de couleurs différentes sont observées dans des directions différentes.

Le vernier permet alors de mesurer l'angle de déviation pour chaque radiation du spectre d'émission.

On peut effectuer différents réglages :

- ☞ réglages optiques : tirage du collimateur, tirage de l'oculaire de la lunette ;
- ☞ réglages mécaniques : largeur de la fente du collimateur, vis d'orientation de la lunette, vis de blocage de la lunette (lorsque la lunette est bloquée, de légères rotations sont encore possibles au moyen d'une vis de réglage fin), de la platine (lorsqu'elle est bloquée, on peut encore effectuer de légères rotations à l'aide d'une vis de réglage fin).

III.2 Réglages du goniomètre

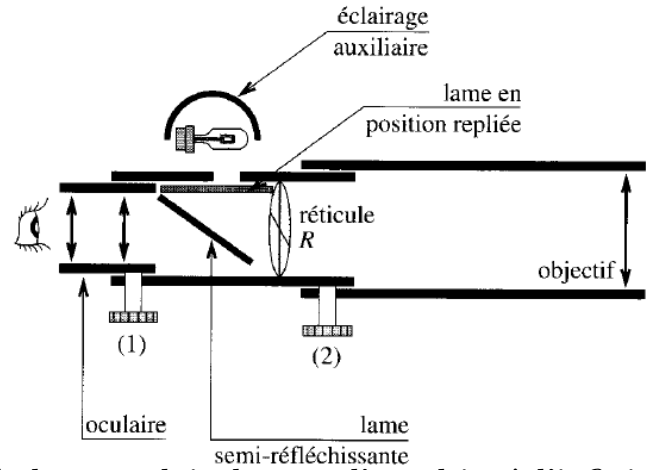
Pour régler le goniomètre, on part de l'œil pour arriver à l'objet : on commence donc par régler l'oculaire de la lunette, puis l'objectif de la lunette et enfin le collimateur.

✎ Régler, à l'œil, l'horizontalité de la lunette (L) de sorte à ce qu'elle soit perpendiculaire à l'axe vertical du goniomètre. Régler également la hauteur de la lunette pour qu'elle soit à la même hauteur que le collimateur.

III.2.a) Réglage de la lunette autocollimatrice

Une lunette autocollimatrice (de visée à l'infini) a une constitution et un « fonctionnement » proche de celui de la lunette astronomique étudiée en TD.

Une lunette autocollimatrice est constituée d'un objectif assimilable à une lentille convergente, d'un oculaire assimilable à une lentille convergente, et d'un réticule qui peut être éclairé par une source auxiliaire.



Objectif du réglage de la lunette autocollimatrice : la lunette doit donner d'un objet à l'infini une image au punctum remotum de l'œil (situé à l'infini pour un œil « normal »).

① Régler l'oculaire à sa vue (*identique au réglage du viseur, cf TP n°3 VFF*) :

✎ Le premier réglage à faire est le réglage de l'oculaire, il consiste à mettre le réticule dans le plan focal objet de l'oculaire afin que son image par l'oculaire se forme à l'infini : il faut voir net le réticule SANS ACCOMMODER.

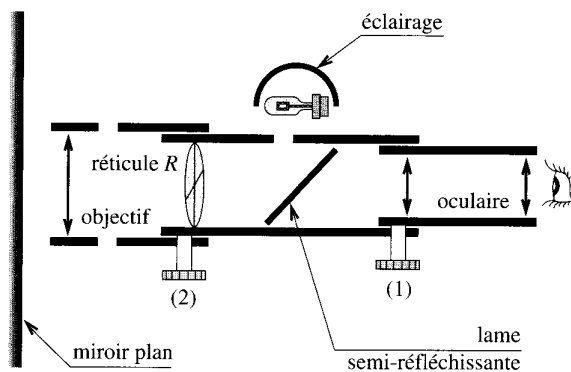
Il n'est cependant pas facile de se rendre compte si l'œil accommode ou pas.

✎ Le réglage correct correspond au **tirage maximal de l'oculaire** pour lequel le réticule paraît net. *Si le tirage est trop faible, vous verrez le réticule net mais en accommodant (donc le réglage sera mauvais) et si le tirage est trop élevé vous ne verrez pas le réticule net, même en accommodant.*

En pratique, régler le tirage de l'oculaire pour voir le réticule net, puis augmenter le tirage jusqu'à ne plus voir le réticule net, revenir à la dernière position de l'oculaire permettant de voir le réticule net : c'est la position permettant d'utiliser l'oculaire sans accommodation.

Le réglage de l'oculaire est un réglage personnel et doit être refait à chaque changement d'utilisateur.

② Régler la lunette sur l'infini par autocollimation :



Le réglage de la lunette peut alors se faire par autocollimation par réflexion sur un miroir plan placé à la sortie de la lunette.

✎ Allumer la lampe de la lunette autocollimatrice.

L'œil collé à l'oculaire observe deux images : l'image directe du réticule par l'oculaire et l'image du réticule après réflexion sur le miroir plan.

Pour que les deux images soient vues nettes simultanément, il faut que les deux images du réticule se forment dans le même plan.

✎ En pratique, on modifie la position de l'objectif par rapport au réticule (à l'aide de la vis (2)) jusqu'à observer R et son image R' simultanément nets par observation à travers l'oculaire. Le réticule R se trouve alors dans le plan focal image de l'objectif.

Cependant, l'accommodation de l'œil peut fausser cette condition de netteté : on peut voir deux objets nets simultanément alors qu'ils ne se trouvent pas exactement dans le même plan.

🔧 En pratique, après le réglage préalable de l'objectif, on déplace latéralement l'œil devant l'oculaire (oui/oui non/non) ; si on observe un déplacement relatif de R et R' , alors R et R' ne se situent pas exactement dans le même plan. Il faut donc modifier légèrement le réglage de l'objectif jusqu'à ce que R et R' ne se déplacent quasiment plus l'un par rapport à l'autre, ainsi ils seront rigoureusement dans le même plan et la lunette sera parfaitement réglée.

Remarque : Ce réglage est indépendant de la position et de l'orientation du miroir.

On ne touchera plus au tirage de la lunette dans la suite.

🔧 Éteindre la lampe de la lunette autocollimatrice.

III.2.b) Réglage du collimateur

Objectif du réglage du collimateur : Un collimateur sert à créer un objet à l'infini. Le réglage consiste à placer la fente du collimateur dans le plan focal objet de l'objectif du collimateur de façon à obtenir une image nette à l'infini (on obtient un faisceau de lumière parallèle).

🔧 À l'aide de la lunette de visée à l'infini réglée préalablement, viser la fente d'entrée éclairée du collimateur (prendre une fente plutôt fine pour éviter d'être ébloui).

🔧 Agir sur la bague de tirage du collimateur pour observer la fente nette à travers la lunette autocollimatrice.

On ne touchera plus à la bague de tirage du collimateur.

La largeur de la fente pourra être réglée si besoin.

🔧 BILAN : Réglage du goniomètre

Objectif du réglage : obtenir fente $\xrightarrow{\text{collimateur}} \infty \xrightarrow{\text{lunette autocollimatrice}} \infty$ permettant de voir la fente nette sans accommoder à travers l'ensemble {collimateur – lunette}.

- 🔧 Régler l'oculaire de la lunette autocollimatrice : tirage maximal de l'oculaire permettant de voir le réticule net.
- 🔧 Régler l'objectif de la lunette autocollimatrice par autocollimation : voir le réticule et son image nets simultanément, à affiner en faisant oui/oui-non/non jusqu'à non déplacement relatif du réticule par rapport à son image.
- 🔧 Régler le collimateur afin de voir la fente nette à travers la lunette autocollimatrice.

IV Mesures

Objectif final des expériences : mesurer une longueur d'onde inconnue.

Avant toutes choses il est nécessaire de régler convenablement le goniomètre.

IV.1 Premières observations

Animation permettant de visualiser ce que vous verrez à travers la lunette du goniomètre :

<https://openprocessing.org/sketch/557687>

👁 Expérience

- 🔊 Éclairez la fente du collimateur à l'aide de la lampe spectrale au mercure.
- 🔊 Cherchez, à l'œil nu, à travers le réseau, le spectre, et l'observer.
- 🔊 Observez les spectres des différents ordres.

📌 Observations

- 🔊 Q3. Noter précisément vos observations : spectres visibles, ordres des couleurs, ...

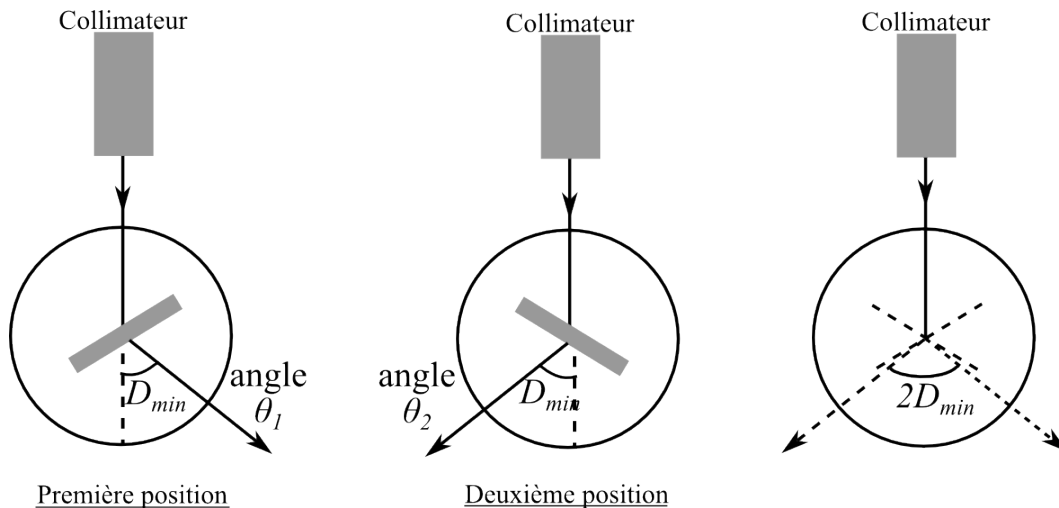
IV.2 Détermination du minimum de déviation

Présentation de la mesure du minimum de déviation : https://www.youtube.com/watch?v=L8cT_YwTXzI&t=64s

Animation permettant de visualiser ce qu'il faut rechercher : <https://openprocessing.org/sketch/557687>

Expérience : Mesure du minimum de déviation

- ☞ Éclairer la fente du collimateur à l'aide de la lampe spectrale au mercure.
- ☞ Chercher, à l'œil nu, à travers le réseau, le spectre, et l'observer.
- ☞ Puis observer le spectre à travers la lunette autocollimatrice.
- ☞ Repérer la raie verte intense du mercure, à travers la lunette autocollimatrice, tourner la plateforme lentement et toujours dans le même sens : vous allez observer que « le spectre se déplace dans un sens, puis s'arrête et enfin revient dans l'autre sens. » Quand le spectre s'arrête, le réseau est au minimum de déviation.
- ☞ Faire coïncider la raie verte, au minimum de déviation, avec le réticule et noter l'angle θ_1 .
- ☞ Tourner la plateforme (avec le réseau dessus) pour qu'elle se trouve dans une position symétrique de la position précédente par rapport au faisceau incident.
- ☞ Faire la mesure de l'angle θ_2 (qui repère le minimum de déviation dans cette 2^{ème} position) comme précédemment.



Mesures

Q4. Noter les mesures des deux angles θ_1 et θ_2 .

Q5. En déduire l'angle de déviation minimale $D_{m,vert}$, avec $D_m = \frac{\theta_2 - \theta_1}{2}$

IV.3 Mesure du pas du réseau

On choisit une lampe spectrale donnant un grand nombre de raies réparties dans tout le spectre visible et de longueurs d'ondes connues : la lampe à mercure.

Lampe	Couleur	λ en nm	Intensité
Mercure	rouge	690,7	faible
		623,4	faible
		612,3	très faible
		607,2	très faible
	jaune	579,1-577,0	doublet intense
	vert-jaune	546,1	très intense
	vert	496,0	très faible
	bleu-vert	491,6	faible
	bleu-violet	435,8	intense
	violet	407,8	très faible
		404,7	intense

Protocole

Q6. Proposer un protocole utilisant l'expression du minimum de déviation pour déterminer le pas du réseau.

On détaillera précisément les paramètres modifiés et les paramètres à mesurer, les mesures à effectuer (comment, avec quoi,...), les formules à utiliser, les calculs à effectuer ... Votre protocole doit être réalisable par quelqu'un qui n'a pas déjà fait le TP !

Expérience

 Mettre en œuvre le protocole, après l'avoir soumis à l'enseignante.

Mesures et conclusion

Q7. Noter les mesures.

Q8. En déduire la valeur moyenne, l'écart-type et l'incertitude-type du pas du réseau.

Q9. Conclure sur la valeur du pas du réseau, sous la forme habituelle : $a = \dots; u(a) = \dots$ (avec le bon nombre de chiffres significatifs et les unités!).


IV.4 Mesure d'une longueur d'onde inconnue

On souhaite mesurer une longueur d'onde inconnue (doublet jaune du sodium, raie rouge du Cadmium, ...)

Protocole

 Q10. Proposer un protocole détaillé permettant de mesurer la longueur d'onde inconnue.

Expérience

 Mettre en œuvre le protocole, après l'avoir soumis à l'enseignante.

Mesures et conclusion

Q11. Noter les mesures effectuées.

Q12. Les exploiter pour en déduire la valeur de λ .

Q13. En utilisant une simulation Monte-Carlo, déterminer l'incertitude-type sur la longueur d'onde.

Pour la simulation Monte-Carlo, :

- évaluer la demie-largeur $\Delta\theta$ de l'intervalle des angles mesurés au sein duquel on est « certain » de trouver la valeur ;
- simuler un grand nombre d'expériences :
 - avec une distribution rectangulaire : `np.random.uniform(th-Delta_th,th+Delta_th,N)` pour les angles θ_1 et θ_2 ;
 - avec distribution gaussienne `np.random.normal(a-u_a,a+u_a,N)` pour le pas du réseau (on choisit une distribution gaussienne, car on a connaît son incertitude-type) ;
- en déduire un tableau de N valeurs de λ .

Q14. Conclure sur la valeur de la longueur d'onde inconnue et son incertitude-type.

Q15. Comparer à la valeur tabulée, en calculant un écart normalisé.

Ce qu'il faut retenir

Résumez, à la fin de votre compte-rendu les points suivants :

- utilisation d'une lunette autocollimatrice ;
- réalisation d'un faisceau de lumière parallèle à l'aide d'un collimateur ;
- réglage d'un goniomètre ;
- mesure d'une longueur d'onde à l'aide d'un goniomètre à réseau ;
- la lecture d'un angle à l'aide d'un vernier angulaire.