

## **SOMMAIRE**

- 1- Règlement du TP**
- 2- TP1 : Les spectres d'émission et d'absorption**
- 3- TP2 : Spectroscopie à prisme**
- 4- TP3 : Spectroscopie à réseau**
- 5- TP4 : Spectroscopie de l'atome d'Hydrogène**

### **1- Règlement du TP**

#### **Matériel nécessaire pour réaliser un TP :**

Les étudiants doivent se munir du matériel suivant :

Papier millimétré, papier blanc, cahier de TP, crayon, gomme, calculatrice, Blouse blanche.

#### **Manipulation et Compte-rendu**

Pour faire un bon TP, il est indispensable de lire le polycopié et de préparer la partie théorique du compte rendu. L'étudiant doit consulter son cours et son polycopié de travaux pratiques pour assimiler l'aspect théorique de la manipulation et sa mise en équation, en résumé :

1 - Il doit préparer **soigneusement** à l'avance chaque manipulation, en particulier en se reportant aux références théoriques proposées, de façon à savoir ce que l'on est sensé observer et étudier avant d'entrer dans la salle. L'étudiant doit consulter son cours et son polycopié de travaux pratiques pour assimiler l'aspect théorique de la manipulation et sa mise en équation.

2 - L'étudiant une fois en salle de travaux pratiques doit être en mesure de répondre à trois questions importantes :

- Le but de la manipulation,
- Les grandeurs à mesurer et les grandeurs recherchées,
- L'aspect théorique introduit pour expliquer ou exploiter les résultats expérimentaux.

#### **Notation du TP**

Le compte rendu est composé de deux parties : une partie théorique et une partie expérimentale :

- **La partie théorique est personnelle**. Elle est notée sur **05 points**. Chaque étudiant doit remettre son travail personnel avant le début de la séance. A défaut l'étudiant aura la note **00/05**. Et Il n'est pas permis aux étudiants de consacrer le temps de la manipulation et du compte rendu commun pour faire la partie théorique.

- **La partie expérimentale** qui doit être réalisée en collaboration avec les personnes qui composent le binôme ou trinôme. Elle est notée sur **10 points**.

Le compte rendu final, à remettre à la fin de la séance, sera composé de la partie expérimentale et les parties théoriques de chacun des étudiants du polynôme.

- **Travail pendant le TP.** Le comportement de l'étudiant pendant le TP est jugé et noté sur **05 points** (port de blouse, retard, matériels, états de propriétés des lieux et rangement de matériels...). Le travail le plus important (et le mieux noté) est celui qui fait ressortir les résultats expérimentaux par leur bonne présentation leur analyse et surtout par leurs critiques.

**Compte-rendu :**

A la fin de chaque séance, chaque binôme doit remettre un compte-rendu présentant proprement les résultats. Le jugement sera fait non seulement sur la précision et l'exactitude des résultats, mais aussi sur la pertinence des remarques et sur la clarté et la propreté de la présentation du rapport.

**Remarque :**

- Il est demandé aux étudiants de savoir réaliser les courbes et les régressions sur **EXCEL** ou **ORIGIN**.
- Tous les TP de spectroscopie nécessitent l'utilisation du goniomètre déjà utilisé en deuxième année.
- Nous allons utiliser le goniomètre pour les mesures :
  - ☛ mesurer avec précision l'angle d'un prisme et l'indice de réfraction de celui-ci pour une couleur donnée en mesurant l'angle de déviation minimale du prisme de cette couleur ;
  - ☛ réaliser une courbe d'étalonnage à l'aide d'une source dont les longueurs d'onde sont connues puis en déduire la longueur d'onde, supposée inconnue, de la raie double du Sodium.

**Attention !**

→ *Les lampes spectrales sont fragiles ; elles ne supportent pas les allumages et extinctions répétitifs. Donc, n'éteignez les lampes que lorsque vous êtes sûr de ne plus les utiliser (il faut attendre au moins 20 minutes avant de les rallumer).*

→ *Le prisme (le réseau) n'est pas fixé à la plate-forme ; manipuler celle-ci doucement pour ne pas qu'il tombe et éviter de toucher le prisme (réseau) ; serrer modérément les vis.*

→ *Ne pas la regarder directement la lampe de Mercure à cause des rayons ultraviolets émis.*

**TP1 Les spectres d'émission et d'absorption****1-Objectifs**

- Savoir qu'un corps émet un rayonnement quand la température de ce corps augmente.
- Savoir distinguer un spectre d'émission.
- Savoir reconnaître une entité chimique à partir d'un spectre.

**2-Théories****2-1- La spectroscopie**

La spectroscopie (ou spectrométrie) optique est l'étude du spectre d'un rayonnement lumineux. Le premier spectre précis fut produit par **Fraunhofer** vers 1814 à l'aide du premier réseau de diffraction, qu'il mit au point lui-même pour l'occasion. Elle est considérée comme une technique d'analyse basée sur l'**étude des spectres optiques**. Ces derniers sont utilisés pour **identifier ou quantifier** des substances inconnues, que ce soit sous formes liquide, solide ou gazeuse. La spectroscopie est basée sur la **décomposition de la lumière**, permettant d'observer et de quantifier les longueurs d'onde (fréquences) qui la constituent. La lumière d'une source quelconque peut être décomposée par un spectromètre (ou spectroscopie) en une suite continue ou discontinue de radiations monochromatiques correspondant chacune à une vibration de fréquence  $\nu$  bien déterminée. L'ensemble des fréquences émises ou absorbées par un élément constitue son **spectre** optique, qui est propre à chaque élément chimique.

Dans ce TP, on étudiera la **spectroscopie en absorption**, où l'on observe et quantifie les longueurs d'onde absorbées par la substance en question lorsqu'elle est illuminée par une source de lumière de spectre connu, et la **spectroscopie d'émission**, où l'on s'intéresse au spectre de la lumière émise par la substance.

Un spectromètre (ou spectroscopie) est toujours constitué d'une fente source, d'un élément dispersif (un réseau ou un prisme), et d'un moyen d'observation ou de mesure (vernier d'un goniomètre, capteur CCD, mesure sur une feuille de papier...). Il permet de séparer spatialement les différentes composantes spectrales qui constituent le rayonnement d'une source de lumière, afin d'identifier et de mesurer leur longueur d'onde  $\lambda$ , qui s'exprime généralement en angström ( $1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm} = 10^{-10} \text{ m}$ ). Cette décomposition spatiale peut se faire en exploitant le phénomène de la **réfraction de la lumière** lorsqu'elle traverse une interface entre deux milieux d'indice de réfraction différents. C'est le principe de fonctionnement du **spectromètre à prisme**. Le fait que l'indice de réfraction de ce prisme dépende de la longueur d'onde fait que les différentes composantes spectrales (couleurs) sont déviées (réfractées) dans des directions différentes.

Un autre moyen de séparer les différentes composantes spectrales de la lumière est par la **diffraction** d'un faisceau lumineux sur une structure périodique dont la période est de petite dimension (de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde). L'angle de diffraction dépend de la longueur d'onde, de la période du réseau et de l'angle d'incidence. C'est le principe de fonctionnement du **spectromètre à réseau**.

**2-2-Systèmes dispersifs****2-2-1-Le prisme**

Un prisme est un dispositif qui permet de dévier la lumière. Lorsqu'on essaye de dévier de la lumière issue d'une ampoule ou du soleil on observe un spectre :

**2-2-2- Le réseau**

Un réseau est constitué par la répétition périodique d'un motif diffractant, comme par exemple une fente. Les interférences entre les rayons issus des nombreux motifs successifs privilégient alors précisément certaines directions dans lesquelles l'énergie lumineuse est envoyée. Ce chapitre traite de la diffraction de la lumière par un réseau ainsi que de ses applications.

**3-Travail de préparation (obligatoire et noté)**

- 1- Donner les définitions suivantes : Spectre d'émission, spectre d'absorption et lampes spectrales
- 2- Dessiner les spectres d'émissions des lampes spectrales suivantes : Na, Zn, He, Cd, Hg et Hg-Cd
- 3- Donner la longueur d'onde de chaque raie du spectre de chaque lampe spectrale.

**4-Matériel**

- Générateur,
- Lampes spectrales de Na, Cd, Hg, He, H et lampe à filament de Tungstène.
- Réseau ou prisme,
- Goniomètre.

**4- Mode opératoire**

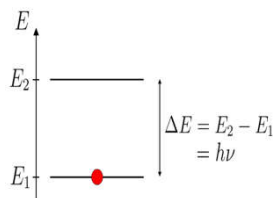
Dans ce TP, on dispose de différent type de lampe spectrale dans chaque poste et les étudiants doivent faire la rotation entre les **06** postes disponibles.

Nous allons étudier la spectroscopie d'absorption et la spectroscopie d'émission. Ainsi que les spectres continus et les spectres discontinus.

**A- Spectroscopie d'émission :**

**Spectre d'émission :** Lorsque les atomes d'un gaz sont excités, ils émettent des radiations caractéristiques des éléments chimiques qui constituent le gaz. Un atome excité émet un photon, c'est-à-dire un train d'ondes, à une fréquence  $\nu$  telle que :

$$\Delta E = h \nu \quad (h=6.63.10^{-34} J.s)$$



Niveaux d'énergies

L'étude des spectres d'émission permet de connaître la composition du gaz.

Dans cette expérience, on cherchera à déterminer la composition de lampes spectrales atomiques à partir de l'observation de leur spectre d'émission. Dans chaque poste, il y a une lampe spectrale à base d'un élément qui sera à déterminer. Les étudiants doivent faire la rotation entre les différents postes.

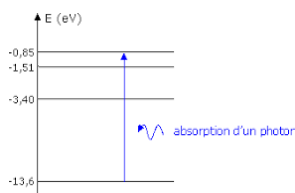
**Questions :**

- 1- Alimenter la lampe avec le générateur. Quelle est la couleur de la lumière émise par la lampe.
- 2- Observez à l'aide du goniomètre, le spectre d'une lumière émise par une lampe et reproduisez le spectre observé.
  - a. Décrire ce spectre en précisant la valeur de la longueur d'onde  $\lambda$  de la radiation lumineuse correspondante (en nm) de chaque raie.
  - b. Dessiner ce spectre avec précision dans le cadre ci-dessous.
  - c. Tous les spectres lumineux ressemblent-ils au spectre de la lumière blanche ?
- 3- Indiquez si la lumière émise par les lampes est monochromatique ou polychromatique
- 4- Quelle est la lumière colorée la plus déviée ?
- 5- Quelle est la lumière colorée la moins déviée ?
- 6- Identifié la lampe observée à l'aide de votre travail de préparation.

**B- Spectroscopie d'absorption :**

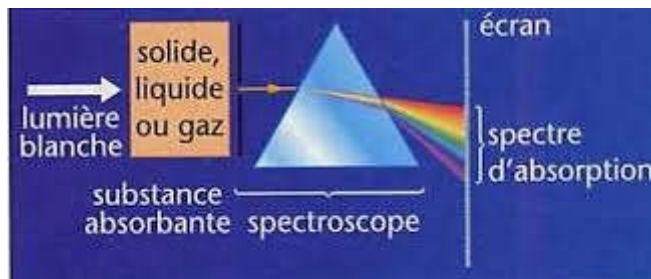
**Spectre d'absorption :**

Une espèce chimique en solution, éclairée par de la lumière blanche (ou par une lampe spectrale), est susceptible d'absorber, au moins en partie, des radiations caractéristiques du milieu traversé. La lumière transmise ne sera plus blanche mais colorée. L'étude du spectre d'absorption permet de connaître la composition du milieu absorbant.



**Protocole expérimentale :**

Réalisez le montage expérimental ci-dessous, en plaçant entre le collimateur et le prisme (ou le réseau), une cuve contenant des solutions colorées.



**Expérience n°1 : le permanganate de potassium**

Versez dans la cuve une solution de permanganate de potassium et observez le spectre obtenu sur l'écran. Représentez le spectre obtenu ci-dessous :



**Expérience n°2 : le sulfate de cuivre**

Versez dans la cuve une solution de sulfate de cuivre et observez le spectre obtenu sur l'écran. Représentez le spectre obtenu :



**Questions :**

- Q1.** Que représentent les traits noirs ?
- Q2.** Quelles sont les radiations (couleurs) absorbées (par rapport au spectre de la lumière blanche) ?
- Q3.** Quelles sont les couleurs transmises ?
- Q4.** Quelle est la couleur de la solution ?
- Q5.** Concluez sur la couleur de la solution.

**Conclusion :**

- 1. Combien de radiations lumineuses l'élément sodium est-il capable d'absorber ?
- 2. Quelle(s) radiation(s) lumineuse(s) l'élément sodium est-il capable d'émettre ?
- 3. D'une manière générale, quelle(s) radiation(s) un élément est-il capable d'absorber ?
- 4. Les éléments absorbent-ils tous les mêmes radiations lumineuses.
- 5. Écrire en quelques lignes un paragraphe résumant le TP.

## ***TP 2 : Spectroscopie à prisme***

### ***I) Objectif :***

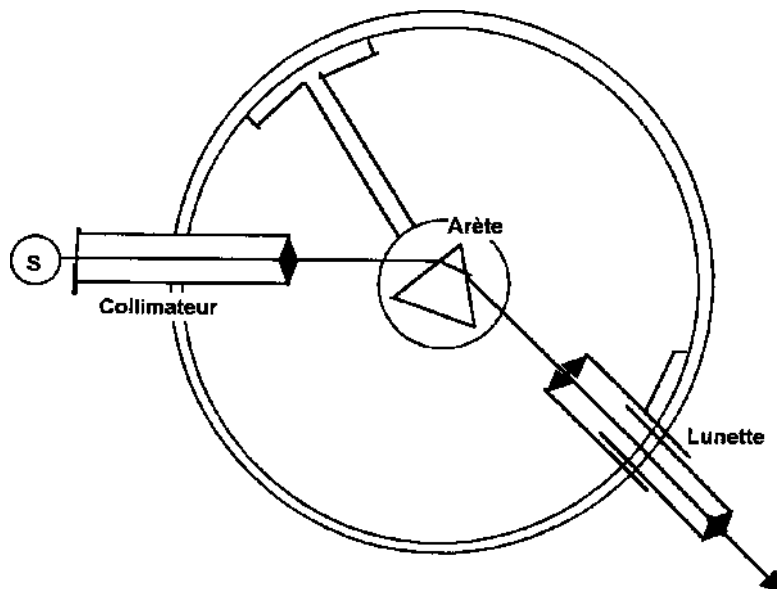
- Déterminer les longueurs d'onde des différentes radiations qui constituent une lumière polychromatique, au moyen d'un spectroscopie à prisme et de plusieurs lampes spectrales.
- Construire une courbe d'étalonnage qui permettra de déterminer la nature d'une lampe inconnue.

### ***II) Description de l'appareil :***

#### ***II-1) Qu'est-ce qu'un spectroscopie ?***

Un spectroscopie à prisme est un appareil qui permet de séparer les différentes radiations qui constituent le rayonnement d'une source lumineuse et d'en mesurer les longueurs d'onde. Le principe de l'appareil repose sur la déviation par un prisme d'une radiation lumineuse en fonction de sa longueur d'onde (phénomène de dispersion), et sur la théorie de l'émission d'une onde par un atome. La spectroscopie consiste à faire l'étude de ce spectre, c'est-à-dire à déterminer les longueurs d'onde de ces différentes raies.

#### ***II-2) Schéma de principe du Spectroscopie:***



- **Source S** : lampe spectrale est une ampoule de verre dans laquelle on a fait le vide. Elle comprend deux filaments situés aux extrémités d'un tube dans lequel on a placé sous faible pression, un gaz rare et un peu de métal vaporisé (Na, Hg, Cd par exemple).

- **Collimateur** : il est constitué d'un diaphragme (fente F) réglable, qui joue le rôle de source secondaire, et d'une lentille convergente (L). La fente doit être située dans le plan focal objet de la lentille pour produire un faisceau de rayons parallèles émergents.

- **Prisme** : généralement en verre et possédant un angle de 60°, il représente le système dispersif.

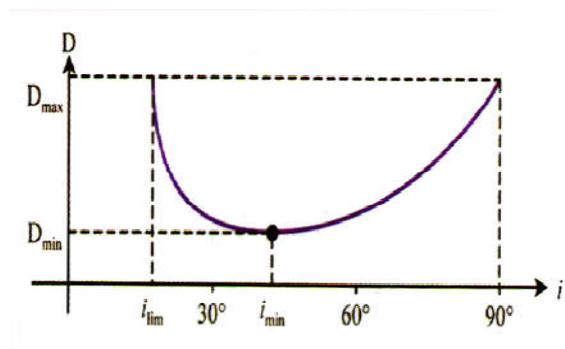
- **Lunette** : elle est constituée par deux lentilles convergentes, dont (L1) est l'objectif et (L2) l'oculaire. Les images des différentes radiations dispersées par le prisme se forment dans le plan focal image de (L1). Elles constituent le spectre. Ce spectre est observé à travers l'oculaire (L2), qui est positionné de façon que son plan focal objet (P) soit confondu avec le plan focal image de (L1). La lunette est ainsi réglée sur l'infini, ce qui a pour but de diminuer la fatigue oculaire lors d'observations prolongées.

### III) Théorie :

Dans le TP de deuxième année; nous avons établi que la déviation D en fonction de l'angle d'incidence i varie selon la courbe ci-dessous. La détermination expérimentale du minimum de déviation est importante, car elle est reliée à l'indice du prisme par la relation suivante :

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

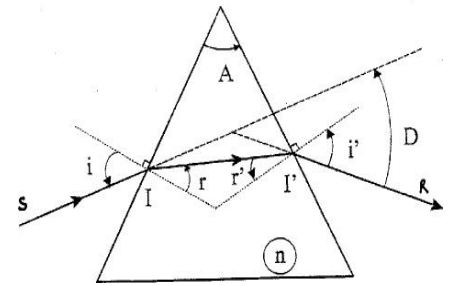
Le verre étant un matériau dispersif, l'indice n dépend de la longueur d'onde, et donc  $D_m$ . La détermination expérimentale de  $D_m$  pour des longueurs d'onde connues, permet donc de déterminer l'indice n du prisme pour différentes longueurs d'onde. Nous tracerons la courbe  $n = f(\lambda)$  ou la courbe  $D_m = f(\lambda)$  (courbe d'étalonnage). Il nous restera à mesurer le minimum de déviation  $D_m$  pour une longueur d'onde inconnue, à en déduire  $\lambda$  inconnue grâce à la courbe d'étalonnage.



### IV) Travail de préparation (obligatoire et noté)



On considère un prisme d'indice  $n$ . Sa section droite est un triangle d'angle au sommet  $A$ . Le prisme est placé dans l'air d'indice égal à 1. Un rayon incident rencontre la face d'entrée au point  $I$  sous l'angle d'incidence  $i$  et l'émergent associé ressort par l'autre face au point  $I'$  sous l'angle  $i'$ . La convention de signe pour les angles est trigonométrique.



- 1) Grâce aux lois de Descartes, donner une relation entre  $i$  et  $r$ , et une relation entre  $r'$  et  $i'$ . On suppose que le prisme permet l'existence du rayon émergent et on néglige, dans la suite, toute réflexion.
- 2) Par des considérations géométriques, trouver une relation simple entre  $r$ ,  $r'$  et  $A$ .
- 3) Établir la relation :  $D = i + i' - A$ .
- 4) En appliquant le principe de retour inverse de la lumière, montrer que, pour une valeur de  $D$  possible donnée, il existe deux couples de solutions  $(i, i')$ . En déduire l'égalité de  $i$  et  $i'$  lorsque  $D$  passe par un minimum (supposé unique).
- 5) Déterminer la valeur  $i_0$  de  $i$  correspondant au minimum de déviation en fonction de  $n$  et de  $A$ . En déduire la relation où  $D_m$  est la déviation minimale.

### V) Expérimentation :

#### V -1) Matériel :

Un prisme, Un goniomètre, Lampe spectrales de Mercure et Cadmium

#### V-2) Recherche expérimentale du minimum de déviation :

- Placer une lampe spectrale devant la fente du collimateur.
- Placer la lunette à environ  $120^\circ$  du collimateur, et placer le prisme de telle sorte que la bissectrice de l'angle au sommet du prisme coïncide grossièrement avec la bissectrice de l'angle formé par la lunette et le collimateur.
- Ajuster les positions du prisme et de la lunette afin d'observer des raies lumineuses à travers la lunette.
- Tourner lentement le prisme et suivre en même temps le déplacement des raies lumineuses à travers l'oculaire de la lunette.
- Lorsque la raie observée revient en arrière, le minimum de déviation est atteint.
- Pour une meilleure précision, recommencer en réduisant l'ouverture de la fente pour avoir une image la plus fine possible et placer le trait vertical du réticule sur la raie observée. Noter la position angulaire  $\theta_1$  de la lunette.
- Méthode directe : enlever le prisme et viser la fente du collimateur. Lire la position angulaire correspondant. La déviation minimale vaut alors :  $D_m = |\theta_1 - \theta_0|$
- Méthode de la double déviation : faire tourner la plate-forme de façon à inverser le rôle des faces du prisme. Rechercher à nouveau la valeur minimale de la déviation et lire la position angulaire  $\theta_2$ . On a alors  $D_m = 2 |\theta_1 - \theta_2|$ .

Laquelle des deux méthodes vous semble la plus précise ?

**V-3) Mesures expérimentales de minima de déviation :**

Mesurer le minimum de déviation  $D_m$  pour différentes longueurs d'onde connues issues de la lampe spectrale de Mercure.

**Remarque 1 :** Vu le temps dont vous disposez, vous utiliserez la méthode directe, et non pas la méthode de la double déviation (qui est deux fois plus précise, mais qui, à une mesure près, est deux fois moins rapide).

**Remarque 2 :** Vos mesures seront d'autant plus précises que la fente du collimateur sera fine. Mais si la fente est trop fine, les raies les moins intenses ne pourront plus être observées. Il faudra donc élargir plus ou moins la fente du collimateur selon la raie observée.

**Remarque 3 :** Les différentes raies ne sont pas à leur minimum de déviation pour la même position du prisme. Avant d'effectuer une mesure sur une nouvelle raie, il faudra donc faire tourner légèrement le prisme pour placer la nouvelle raie à son minimum de déviation, puis « pointer » précisément la raie.

**V-3-1) Courbe d'étalonnage :**

Pour chacune des lampes utilisées (Hg) sauf la lampe inconnue (Cd), vous devez reporter sur un graphe les points de coordonnées ( $D_m ; \lambda$ ) (où  $\lambda$  est la longueur d'onde de radiation correspondante à l'angle de déviation minimale  $D_m$ ).

- Tracer la courbe d'étalonnage du spectroscope  $D_m = f(\lambda)$ . Faire en sorte que la courbe passe par un maximum de points si ceux-ci sont un peu éparpillés.

**IV-3-2) Évaluation de la longueur d'onde de la lampe de Cadmium :**

-Reporter les valeurs  $D_m$  mesurées avec la lampe Cd sur la courbe d'étalonnage et en déduire par report graphique les longueurs d'onde des raies émises par cette lampe.

Remarque :

Le goniomètre sert à mesurer des angles. La spectrométrie réalise l'analyse de lumière polychromatique sous forme de raies spectrales associées à diverses longueurs d'onde. Le système dispersif peut être un prisme ou un réseau. Nous allons utiliser le goniomètre pour :

☛ mesurer avec précision les angles de déviation minimale du prisme de cette couleur ;

☛ réaliser une courbe d'étalonnage à l'aide d'une source dont les longueurs d'onde sont connues puis en déduire la longueur d'onde, supposée inconnue, de la raie double du Sodium.

**Données : longueurs d'onde des raies les plus intenses pour une lampe à vapeur de mercure**

Couleur	Longueur d'onde (nm)	Intensité
Rouge	690,7	Faible
Rouge	623,4	Faible
Jaune doublet	579,1-577,0	Intense
Vert-jaune	546,1	Très intense
Bleu-vert	491,6	Faible
Bleu-violet indigo	435,8	Intense
Violet	404,7	Intense

## TP 3 : Spectroscopie à réseau

### I- Objectif :

Un réseau est un objet qui sépare les différentes longueurs d'onde qui constituent la lumière incidente. Une mesure précise de l'angle dans lequel est émise une longueur d'onde permet de déterminer la valeur de la longueur d'onde. On se propose dans un premier temps d'étudier qualitativement la diffraction de la lumière par un réseau. Puis de faire une courbe d'étalonnage donnant l'angle de dispersion en fonction de la longueur d'onde autour de la dispersion normale, où cette courbe est une droite. Enfin on utilise la courbe d'étalonnage pour mesurer une longueur d'onde inconnue.

### II- Description du réseau :

#### II-1) Description :

Un réseau de diffraction par transmission est constitué d'une plaque de verre sur laquelle sont gravées des stries parallèles, laissant apparaître entre elles des bandes très fines, transparentes, parallèles et équidistantes, équivalentes à des fentes.



Figure 1

La distance entre deux telles fentes consécutives est notée  $a$  et est appelée pas du réseau. Son ordre de grandeur est le micromètre. On donne souvent, pour caractériser un réseau, plutôt le nombre de traits par unité de longueur noté  $n$ . (ex :  $n=600$  traits/mm correspondent à un pas  $a = \frac{1}{n} = (600 \cdot 10^3)^{-1} = 1,67 \mu\text{m}$ ). Les traits peuvent être tracés un à un au diamant ou globalement à l'aide d'un cliché photographique. Les réseaux les moins coûteux sont des diapositives obtenues par photographie d'un autre réseau.

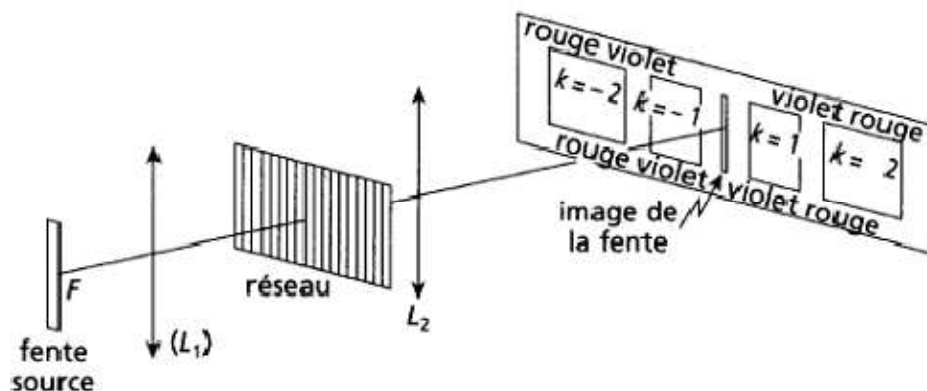


Figure 2

**II-2) Formules du réseau****Rappel de cours :**

Deux ondes sinusoïdales monochromatiques interfèrent de manière constructive en un point lorsque les deux ondes en ce point sont en phase. En supposant qu'il n'y ait pas d'autres causes de déphasage que la différence de marche entre les deux ondes, celle-ci est un nombre entier de longueur d'onde :  $\delta = n \lambda$

Quand on éclaire un réseau par un faisceau de lumière parallèle, chaque trait sur le réseau se comporte comme une source cohérente avec les sources voisines. Il y a à la fois un phénomène de diffraction par chaque trait et dans les zones où les faisceaux transmis se recouvrent, il y a interférence entre N ondes, N étant le nombre de traits éclairés. On considère que les rayons incidents sont parallèles entre eux ainsi que les rayons transmis (diffraction à l'infini). Le principe est le même que pour deux ondes : On observera des raies lumineuses intenses dans les directions pour lesquelles l'interférence entre les N ondes est constructive : dans ces directions, toutes les ondes issues des différents traits sont en phase les unes par rapport aux autres.

Le réseau, placé dans l'air, est éclairé en lumière parallèle sous un angle d'incidence  $i$ . Entre deux rayons transmis par deux traits voisins, la différence de marche est :

$$\delta = L_2 - L_1 = KI - HJ$$

On s'intéresse aux rayons qui émergent avec un angle  $\theta$ .

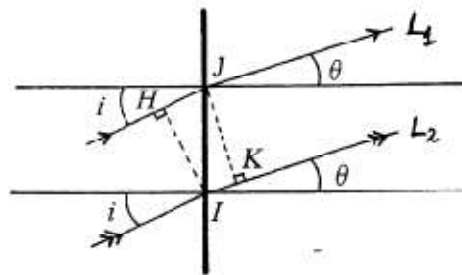


Figure 3

Soit:  $\delta = a (\sin \theta - \sin i)$

Et  $\varphi = \frac{2\pi \delta}{\lambda}$  est le déphasage entre les deux ondes à l'infini.

L'interférence est constructive si  $\varphi = \frac{2\pi \delta}{\lambda} = p2\pi$  avec p entier, représentant l'ordre du maximum d'intensité lumineuse considéré. On a alors :  $\theta = \theta_p$ , tel que :

$\varphi = \frac{2\pi \delta}{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda} a (\sin \theta_p - \sin i) = p2\pi$ . Comme a est constant, si une onde est en phase avec ses proches voisines, elle est nécessairement en phases avec toutes les autres ondes transmises par le réseau.

D'où la formule des réseaux  $\sin \theta_p - \sin i = \frac{p\lambda}{a}$ , avec  $p = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4 \dots$

**IV) Travail de préparation (obligatoire et noté)****V) Expérimentation :****V-1) Matériel :**

Réseaux à transmissions ; un goniomètre ; lampes spectrales de Mercure et Cadmium.

**V-2) Mesures :****V-2-1) Mesures en incidence normale :**

Sous incidence normale ( $i = 0$ ), la formule des réseaux devient :  $\sin \theta_p = \frac{p\lambda}{a} = n p \lambda$ .  
 Pour régler le réseau en incidence normale, on opère de la manière suivante :

Éclairer la fente du collimateur avec une lampe spectrale. Positionner le réseau parfaitement perpendiculaire à l'axe du collimateur (on veut obtenir une incidence nulle, c'est-à-dire  $\alpha_0 = 0$ ) en procédant de la façon suivante :

- placer la lunette dans le prolongement du collimateur en la faisant tourner jusqu'à ce que l'intersection des fils du réticule coïncide avec l'image de la fente du collimateur. Noter alors la position angulaire  $\alpha_0$  de la lunette.

- éloigner la lampe spectrale du collimateur et placer le réseau sur la platine centrale.

- allumer la lampe de la lunette, mettre en place son miroir semi-réfléchissant, réaliser l'auto-collimation sur le réseau en le faisant tourner devant la lunette qui reste immobile.

Le réseau est alors perpendiculaire à la lunette, donc au collimateur.

Sans faire varier les positions du collimateur et du réseau, on peut dès lors faire tourner la lunette et faire ainsi varier  $\theta = |\alpha - \alpha_0|$ , où  $\alpha$  est la position angulaire de la lunette.

**V-2-2) Mesures en minimum de déviation :**

Comme dans le cas du prisme, on observe l'existence d'un minimum de déviation, pour une longueur d'onde donnée et un ordre  $p$  donné. On montre qu'il est atteint lorsque  $\theta = -i$ :

On différencie la formule des réseaux :  $\sin \theta_p - \sin i = n p \lambda \Rightarrow \cos \theta_p d\theta_p = \cos i di$

La déviation  $D$  vaut  $D = |\theta_p - i|$ . On différencie cette relation :  $dD = d\theta_p - di$

On en déduit :  $\frac{dD}{di} = \frac{d\theta_p}{di} - 1 = \frac{\cos i}{\cos \theta_p} - 1$

On a un minimum de déviation si  $\frac{dD}{di} = 0$ , c'est-à-dire si  $\cos \theta_p = \cos i$

La solution  $\theta_p = i$  correspond à la raie d'ordre 0 (image géométrique). La solution qui correspond au minimum de déviation est donc :  $\theta_p = -i$

Au minimum de déviation, on a donc  $D_{\min} = 2\theta_p = 2i$ .

La formule des réseaux devient :  $\sin \theta_p - \sin i = -2 \sin i = 2 \sin \frac{D_{\min}}{2} = n p \lambda$ .

Dans ce TP, on travaillera avec la méthode du minimum de déviation. Comme dans le TP2, il existe deux façons : simple déviation et double déviation. Pour des raisons pratiques, on travaillera avec la première qui est deux fois moins précise mais deux fois plus rapide.

**Remarque :**

- Les différentes raies ne sont pas à leur minimum de déviation pour la même position du réseau. -  
 - Avant d'effectuer une mesure sur une nouvelle raie, il faudra donc faire tourner légèrement le réseau pour placer la nouvelle raie à son minimum de déviation, puis « pointer » précisément la raie sur le réticule.

**V-2-3) Courbe d'étalonnage :**

On utilisera la lampe de mercure (Hg) dont on connaît les longueurs d'ondes de chaque raie du spectre.

- Reporter sur un tableau les coordonnées ( $D_m ; \lambda$ ) (où  $\lambda$  est la longueur d'onde de radiation correspondante à l'angle de déviation  $D_m$ ).

- Tracer la courbe d'étalonnage du spectroscopie  $\sin \frac{D_m}{2} = f(\lambda)$ . Faire en sorte que la courbe passe par un maximum de points si ceux-ci sont un peu éparpillés.

**V-3-4) Détermination de la longueur d'onde de la lampe de Cadmium à partir de la courbe d'étalonnage:**

-Reporter les valeurs  $D_m$  mesurées avec la lampe Cd sur la courbe d'étalonnage et en déduire par report graphique les longueurs d'onde des raies émises par cette lampe.

**V-3-4) Détermination directe de la longueur d'onde de la lampe de Cadmium :**

Nous utiliserons la relation du prisme au minimum de déviation :  $2 \sin \frac{D_{\min}}{2} = Np\lambda$ .

Pour un ordre p fixé, trouver la déviation minimale pour chaque raie du spectre du Cd. En déduire la longueur d'onde de chaque raie.

**VI-) Conclusion :**

- Comparer les résultats trouvés par la méthode graphique et la méthode directe avec celles des valeurs théoriques de la longueur d'onde de chaque raie du Cd.
- Donner vos conclusions.

**Tableau1 : longueurs d'onde des raies les plus intenses pour une lampe à vapeur de mercure**

Couleur	Longueur d'onde (nm)	Intensité
Rouge	690,7	Faible
Rouge	623,4	Faible
Jaune doublet	579,1-577,0	Intense
Vert-jaune	546,1	Très intense
Bleu-vert	491,6	Faible
Bleu-violet indigo	435,8	Intense
Violet	404,7	Intense

Remarque : les couleurs très faibles n'apparaissent pas dans ce tableau.

**Tableau2 longueurs d'onde des raies d'une lampe à vapeur de Cadmium.**

Couleur	Longueur d'onde (nm)	Intensité
Rouge	643,8	Très intense
Vert	508,6	Très intense
Bleu turquoise	480,0	Très intense
Bleu	467,8	Très intense

## TP 4 : Spectroscopie de l'atome d'Hydrogène

### I. Introductions et objectifs

Le spectre d'émission est caractéristique du matériau et peut servir d'empreintes digitales pour identifier le gaz. Les spectres de raies servent donc de clé pour comprendre la structure de l'atome: toute théorie de la structure atomique doit permettre d'expliquer pourquoi les atomes émettent seulement de la lumière de longueurs d'onde discrètes et doit pouvoir prédire ces fréquences.

Le spectre de l'hydrogène possède une caractéristique théorique intéressante, n'ayant qu'un seul proton et qu'un seul électron, il est l'atome le plus simple. Les lignes spectrales de l'hydrogène ont été expliquées par le modèle atomique de Bohr. Cependant, quelque temps auparavant, les raies du spectre de l'hydrogène pouvaient être déterminées par une formule empirique dans laquelle on retrouvait la constante de Rydberg. Dans cette expérience, des raies spectrales seront observées et la relation entre la constante empirique de Rydberg et les paramètres physiques théoriques découlant du modèle de Bohr sera analysée.

Les buts de la manipulation sont :

- Observer le spectre de l'atome d'Hydrogène
- Mesurer, à l'aide du spectromètre, les longueurs d'ondes du spectre de l'hydrogène
- Vérifier la formule de Balmer et déterminer la constante de Rydberg.

### II. Théorie

Les électrons sous **agitation thermique** dans une source de lumière incandescente émettent une radiation électromagnétique (lumière) composée de différentes longueurs d'onde, produisant ainsi un **spectre continu** et sont apparentés au spectre du **rayonnement du corps noir**, qui est par définition un corps absorbant toute radiation incidente, et qui le seul susceptible d'être expliqué théoriquement de manière relative simple ( loi de Planck)

Par contre l'analyse de la lumière émise d'un gaz excité, d'un liquide vaporisé ou d'un solide, des lignes spectrales, comme celles de la figure 1, sont observées.

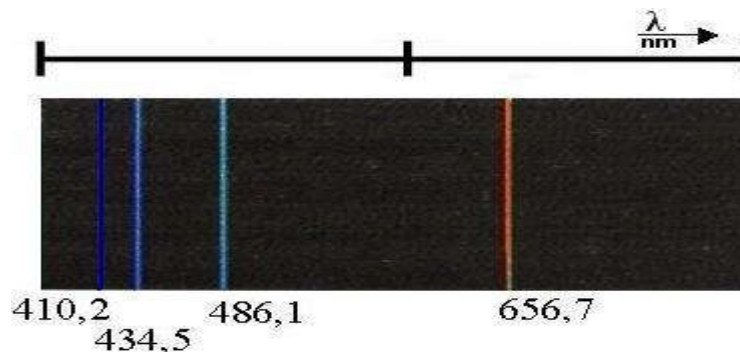


Figure 1 : Spectre visible de l'Hydrogène

La physique moderne explique ces spectres en termes de photons de lumière de longueurs d'onde discrètes émis lors de transitions entre deux niveaux d'énergie. Chaque substance possède un ensemble de raies spectrales de longueurs d'onde bien déterminées.

L'Hydrogène est le premier atome de la classification périodique et donc l'élément le plus simple. Il est formé d'un électron en orbite autour d'un proton. Selon le modèle de Bohr et l'expression suivante :

$$E_n = -R_H hc \frac{1}{n^2} = -21.7 \cdot 10^{-19} \frac{1}{n^2} [\text{J}]$$

Où  $R_H = 10979708,01 \text{ m}^{-1}$ , est la constante de Rydberg.

L'énergie de l'électron ne peut prendre que les valeurs discrètes suivantes qui ne dépendent que de la valeur du nombre quantique principale  $n$ .

Lorsque l'électron passe d'un niveau d'énergie  $E_n$  élevé à un niveau  $E_m$  plus bas, il émet un photon dont l'énergie  $E$  correspond à la différence des deux niveaux :  $E = E_n - E_m$ .

Ainsi, les photons émis ne peuvent avoir que des valeurs discrètes de l'énergie, donc de longueur d'onde. Le spectre de l'hydrogène est l'ensemble des longueurs d'ondes présentes dans la lumière émise par cet atome (Figure 2). Ces longueurs d'ondes sont données par la formule de Rydberg :

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

L'espacement entre les raies dans le spectre de l'hydrogène diminue de façon régulière. En effet, en 1885, J.J. Balmer (1825- 1898) montra que les quatre raies visibles dans le spectre de l'hydrogène (dont les longueurs d'onde sont, expérimentalement, de 656 nm, 486 nm, 434 nm et 410 nm) obéissaient à la formule empirique suivante :

**Remarque :**

Pour  $m = 1$ , on retrouve la série de Lyman

$m = 2$ , la série de Balmer

$m = 3$ , la série de Paschen.

Niels Bohr (1885-1962) a posé deux affirmations :

**Postulat mécanique :** L'électron de l'atome d'hydrogène ne possède qu'un nombre limités d'états accessibles. Chaque état possède une énergie invariante (quantification des niveaux d'énergies de l'hydrogène).

**Postulat optique :** La transition entre deux états accessibles s'accompagne de l'absorption ou de l'émission d'un photon d'énergie égale à la différence de l'énergie entre les deux états.

$$\Delta E = h\nu$$

La longueur d'onde des raies spectrales pouvait être donnée par la relation théorique :



$$\lambda = \frac{h \cdot c}{\Delta E}$$

Ou

$$\Delta E = 13,6 \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \text{ eV}$$

$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s} = 4,14 \times 10^{-15} \text{ eV.s}$  (la constante de Planck), et  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m/s}$  (la vitesse de la lumière dans le vide). Les valeurs  $n = 1, 2, 3, 4$  sont appelées nombres quantiques principaux.

Pour des lignes spectrales dans la région visible, l'état final est  $n_f = 2$ , et

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{\Delta E} = \frac{hc}{13,6 \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)} \text{ avec } n=3, 4, 5, \dots$$

Ou encore (formule de Ritz)

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{13,6}{hc} \times \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \text{ avec } n=3, 4, 5, \dots$$

En comparant cette équation théorique avec l'équation empirique, il est évident que :

$$R_H = \frac{13,6 \text{ eV}}{hc}$$

### III. Dispositif expérimental et mesures

1- Réaliser le montage suivant (figure 2) et utiliser la lampe à Hydrogène comme source :



Figure 2 : Spectromètre à réseau

2- Faites la mise au point de l'appareil (réglages) :

- En regardant à la sortie du collimateur, on doit avoir une image nette de la fente étroite (trait étroit de couleur rosée). Une vis d'ajustement permet de placer la fente au foyer du collimateur, de manière à obtenir de la lumière parallèle à la sortie. Une autre vis d'ajustement permet de varier l'ouverture de la fente.

- En alignant la lunette avec le collimateur, on doit voir à la fois distinctement: l'image de la fente; et le réticule dont le rôle est de viser le centre de la fente. Des ajustements sont possibles par le déplacement de l'oculaire de la lunette.
- Lorsque la mise au point est adéquate, placez le réseau au centre du plateau du spectromètre, perpendiculairement au faisceau de lumière qui émerge du collimateur. Notez alors la position angulaire de l'ordre d'observation  $k = 0$  sur le vernier. Observez ensuite les raies d'émission de l'hydrogène en tournant la lunette de part et d'autre du centre et notez les positions de toutes les raies observables. La ligne rouge fait référence à  $H_\alpha$  en notation spectroscopique et les autres raies selon la séquence  $H_\beta$ , avec dans l'ordre, les indices de l'alphabet grec.
- À l'aide de la connaissance du pas du réseau, de l'ordre  $k$  et de l'angle  $\theta$  d'observation d'une raie d'émission donnée, déterminez la longueur d'onde  $\lambda$  en vous servant de l'équation:

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

Ou :

$a$  est le pas du réseau

$\theta$  est l'angle d'observation par rapport au centre

$k = 0, 1, 2, 3, \dots$  (Ordre d'observation d'une raie),  $\lambda$  est la longueur d'onde recherchée.

- 3- Représenter graphiquement  $\frac{1}{\lambda}$  en fonction de  $\frac{1}{n^2}$ . En débutant l'abscisse à zéro, tracer la meilleure droite, et déterminer la pente de cette droite.

$$\frac{1}{\lambda} = R \cdot \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) = \frac{R}{4} - \frac{R}{n^2}$$

Notez que cette équation possède la forme d'une droite  $y = A \cdot x + B$ , avec une pente négative égale en grandeur à la constante de Rydberg.

- 4- Comparer la valeur de cette pente avec la constante de Rydberg en calculant l'écart en %. Comparer l'ordonnée à l'origine avec  $R/4$ .
- 5- Conclusion du TP (voir buts) !

#### Remarque :

- Mesurer pour chaque couple de raies symétriques (situées de part et d'autre de la raie centrale) les angles  $\theta'$  (à gauche) et  $\theta''$  (à droite) pour en déduire l'angle de diffraction  $\theta = \frac{|\theta' - \theta''|}{2}$ .
- L'ordre d'observation  $k$  dépend du réseau utilisé.
- Longueurs d'ondes des raies de l'Hydrogène.

Couleur	$\lambda$ (nm)
Rouge $H_\alpha$	656,3
Turquoise $H_\beta$	486,1
Violet $H_\gamma$	434,1
Violet $H_\delta$	410,2