

## TP4b - Goniomètre

**Objectifs** : Déterminer le pas d'un réseau inconnu à l'aide d'une lampe de spectre connu en utilisant un goniomètre. Déterminer le spectre d'une lampe inconnue à l'aide d'un réseau connu en utilisant un goniomètre

**Matériel** : lampes spectrale, lame de verre, réseau, goniomètre.

# 1 Description d'un réseau

## 1.1 Pas d'un réseau

**def** : Un **réseau** est un composant comportant une succession de lignes opaques et transparentes microscopiques. Les lignes sont invisibles à l'œil nu et globalement le réseau paraît transparent. Mais quand on regarde un objet éclairé en lumière naturelle à travers un réseau, il apparaît des couleurs de type « arc-en-ciel » issues de la décomposition de la lumière. Pour caractériser un réseau, on donne souvent le nombre  $n$  de lignes opaques par unité de longueur, ou bien la distance  $a$  entre deux lignes opaques successives appelée « pas du réseau ». Ces grandeurs sont reliées par  $a = 1/n$ .

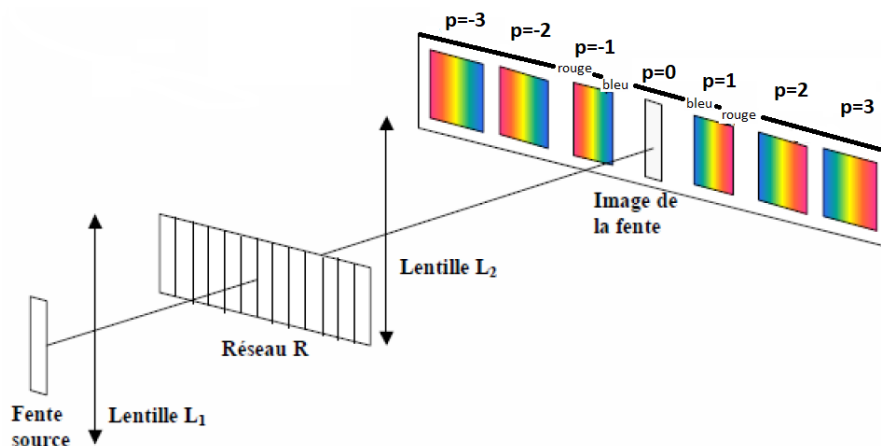
**ex** : Un réseau de pas  $a = 10 \mu\text{m} = 10^{-5} \text{ m}$  est de  $n = 10^5 \text{ m}^{-1} = 100$  traits par mm.

## 1.2 Formule des réseaux

**prop** : Pour un réseau de diffraction en transmission de pas  $a$  éclairé sous incidence  $\theta_0$ , les interférences constructives de longueur d'onde  $\lambda$  sont observées dans la direction  $\theta$  donnée par :

$$\text{formule des réseaux : } \sin \theta - \sin \theta_0 = p \frac{\lambda}{a} \quad (1)$$

avec l'ordre d'interférence  $p \in \mathbb{Z}$  entier.



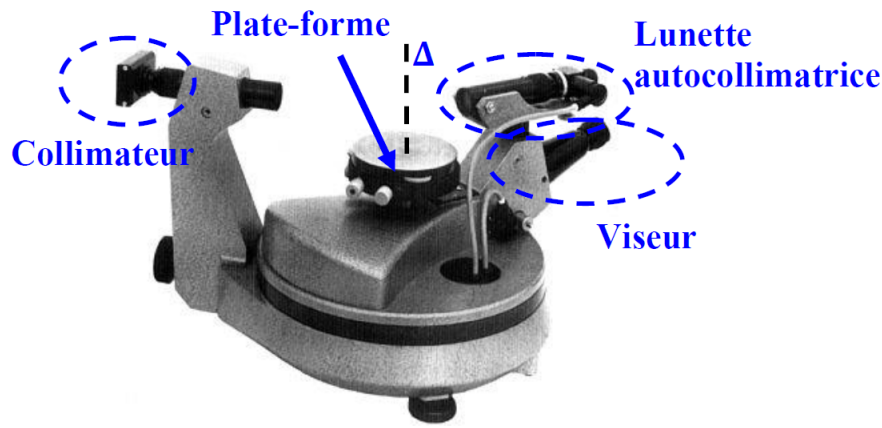
# 2 Description d'un goniomètre

## 2.1 Présentation générale

**pour quoi faire ?** : Un goniomètre est un appareil qui mesure des angles.

Il comporte :

- ★ un bâti fixe,
- ★ un collimateur solidaire du bâti avec une fente-source de largeur réglable,
- ★ une plate-forme qui tourne autour d'un axe  $\Delta$  vertical et sur laquelle on va poser le réseau,
- ★ une lunette autocollimatrice qui tourne elle aussi autour du même axe, qui va permettre de repérer la position angulaire des spectres,
- ★ un viseur solidaire de la lunette qui permet de lire la position angulaire de la lunette sur une graduation solidaire du bâti (entre 0 et 360°).



réglages du goniomètres : Il y a deux types de réglages à faire dans l'ordre :

★ **Réglages optiques (lunette, collimateur), exigibles !** L'objectif est que le plateau central soit éclairé par un faisceau parallèle, et qu'un observateur voit net sans accommoder à travers la lunette.

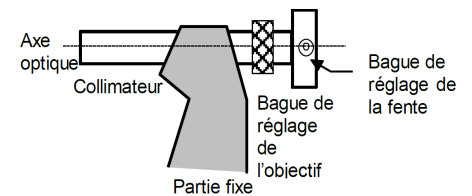
★ **Réglages mécaniques** (axe de la lunette, plateau à adapter au support du réseau). L'objectif est qu'un réseau posé sur le plateau central soit bien vertical. Aux concours, ce réglage est en général déjà effectué.

## 2.2 Le collimateur

Le collimateur réglé produit un faisceau parallèle à partir d'une lampe à distance finie.

★ La « bague de réglage de la fente » ajuste la largeur de la fente. L'augmenter rend les observations plus lumineuses mais moins précises.

★ La « bague de réglage de l'objectif » ajuste la position d'une lentille qui produira le faisceau parallèle.



## 2.3 La lunette

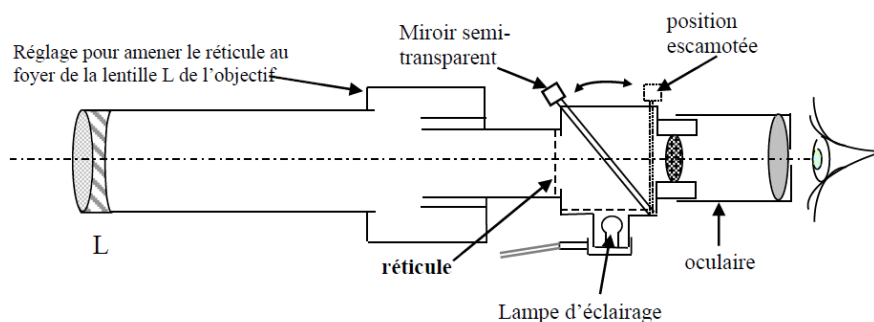
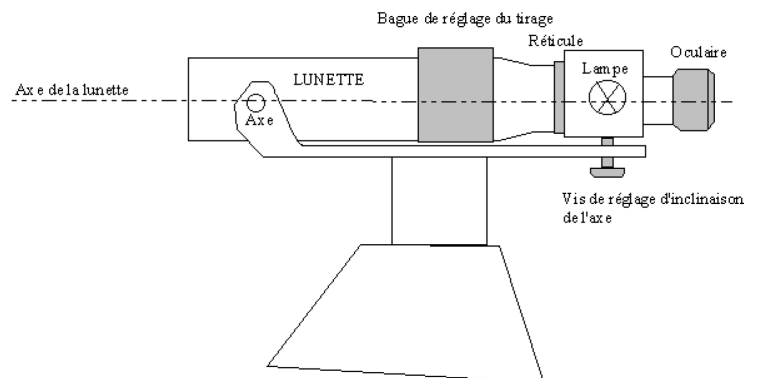
La lunette réglée est un système afocal qui se règle par autocollimation. Elle est mobile autour de l'axe  $\Delta$ .

★ On peut tourner l'« oculaire » constitué d'une lentille pour la déplacer.

★ On peut tourner l'« objectif » constitué d'une lentille pour la déplacer.

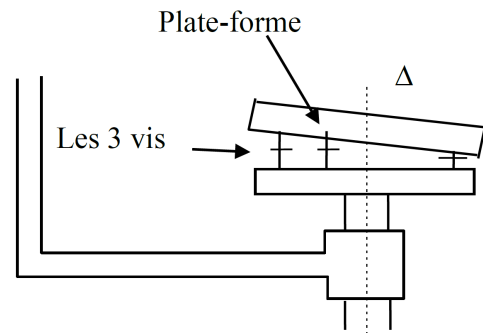
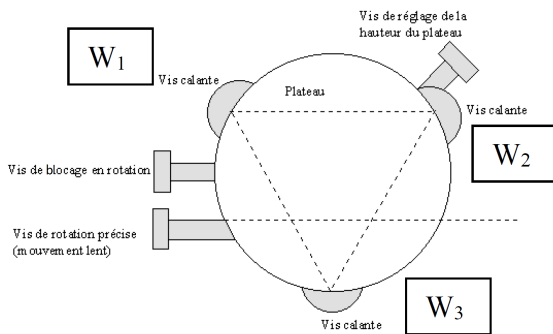
★ La vis en dessous ajuste l'inclinaison.

★ Elle possède un miroir interne escamotable permettant d'introduire un faisceau lumineux venant d'une lampe de réglage.



## 2.4 La plate-forme

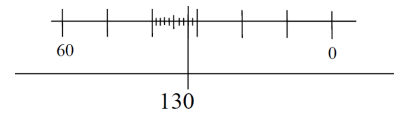
Elle est mobile autour de l'axe central  $\Delta$  et elle est orientable. On peut régler d'une part sa hauteur, d'autre part l'orientation de sa normale, grâce à trois vis de réglage fin  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $W_3$ . On peut aussi bloquer la rotation du plateau à l'aide d'une vis.



## 2.5 Le viseur de lecture d'angles

La lecture des angles se fait grâce à un viseur (éventuellement régler l'oculaire à sa vue). Sur la graduation principale, on lit les degrés. Les petites graduations donnent les minutes d'angles.

Sur l'exemple ci-contre, on lit  $130^{\circ}32'$  (et non pas  $130,32^{\circ}$ ).



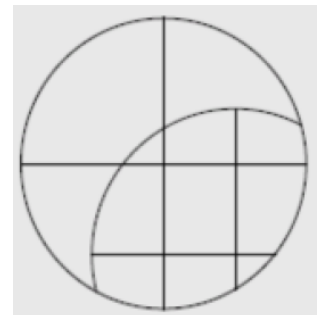
## 3 Réglage optique du goniomètre : à effectuer

→ Effectuez le réglage suivant exigible aux concours.

### 3.1 Réglage de la lunette

Protocole de réglage de la lunette par autocollimation :

- Allumer la *lampe interne de la lunette*, basculer le *miroir semi-réfléchissant* de la lunette vers l'avant. Le réticule est alors éclairé par la lampe.
- Tourner l'*oculaire* pour voir net le réticule. Ce réglage peut dépendre des défauts de vision de l'observateur.
- Mettre en place la *lame de verre à faces parallèles* sur la plate-forme.
- Tourner la lunette (ou la plate-forme) de manière à observer le faisceau réfléchi par la lame : on voit un disque lumineux.
- Tourner l'objectif pour voir net le deuxième réticule, dû à la réflexion sur la lame. Typiquement on observe l'image ci-contre.
- Si l'horizontalité du plateau central est déjà réglée<sup>1</sup>, ajuster celle de la lunette : tourner la vis de réglage de hauteur de la lunette jusqu'à aligner le trait horizontal des réticules.
- Retirer la lame de la plate-forme.
- Escamoter vers l'arrière le miroir interne à la lunette pour ne plus éclairer le réticule et éteindre la lampe interne du goniomètre.



rq : Ne plus toucher désormais aux réglage de l'objectif et oculaire de la lunette !

### 3.2 Réglage du collimateur

Protocole de réglage du collimateur :

- Ouvrez la fente du collimateur si celle-ci est fermée.
- Placer la lampe spectrale derrière la fente.

1. Déjà effectuée par un technicien, la méthode non exigible est décrite partie 6.

- Tourner la lunette pour voir à travers celle-ci de la lumière provenant du collimateur (lampe interne éteinte).
  - Régler l'objectif du collimateur (et surtout pas de la lunette!) pour obtenir une image nette de la fente. On doit pouvoir observer les irrégularités des bords de la fente.
- rq : Ne plus toucher désormais aux réglage de l'objectif du collimateur !

## 4 Mesure du pas du réseau à l'aide d'une lampe connue

On suppose connu le spectre de la lampe spectrale au cadmium utilisée et on cherche à mesurer le pas du réseau. Deux protocoles permettent la mesure précise à l'aide du goniomètre.

### 4.1 Observation qualitative

- Tourner la lunette et remarquer l'ordre 0, ainsi que les ordres 1, 2, -1, -2, etc de part et d'autre. Remarquer que le sens du spectre est différent de part et d'autre de l'ordre 0.
- Pour repérer plus précisément la position d'une raie, diminuer la largeur de la fente source sans la fermer complètement. Pour mieux voir le réticule, il est possible de rallumer temporairement l'éclairage par la lampe interne.

### 4.2 Méthode 1 : par le minimum de déviation, souvent demandé

Ce protocole est potentiellement plus précis car il permet de s'affranchir du réglage du réseau en incidence normale et car mesurer un angle de déviation minimum est plus fiable.

- observation du phénomène du minimum de déviation : Relâcher la vis de blocage de la rotation de la plate-forme. Observer une raie donnée d'ordre  $p \neq 0$  tout en faisant tourner la plate-forme. On note  $D$  l'angle par rapport à l'ordre 0. Remarquer qu'il existe une position de la plate-forme telle que l'angle  $D$  est minimal. On l'appelle « *angle du minimum de déviation  $D_m$*  ». Voici son expression admise<sup>2</sup> :

prop : Pour un réseau de diffraction en transmission de pas  $a$ , le minimum de déviation  $D_m$  pour la raie d'ordre  $p$  de longueur d'onde  $\lambda_0$  est :

$$\text{minimum de déviation : } 2 \sin \left( \frac{D_m}{2} \right) = p \frac{\lambda}{a} \quad (2)$$

1. Mesurer l'angle minimum de déviation de plusieurs longueurs d'ondes et à plusieurs ordres (prendre au moins deux longueurs d'ondes différentes et au moins jusqu'à l'ordre 2).
2. Proposition de tracé : Proposer un protocole de tracé à l'ordinateur d'une grandeur en fonction d'une autre qui prendra en compte toutes les mesures<sup>3</sup> (toutes longueurs d'onde et tous ordres).
3. Effectuer ce tracé à l'ordinateur. Si la loi semble bien vérifiée, en déduire le pas  $a$  du réseau.

### 4.3 Méthode 2 : par éclairage en incidence normale

4. Proposition de protocole : proposer un protocole pour que le réseau soit éclairé en incidence normale<sup>4</sup>. Cela permettra de prendre  $\theta_0 = 0$  dans la formule des réseaux. Appeler le professeur après y avoir réfléchi quelques minutes.
- Effectuer le réglage pour avoir le réseau en incidence normale. Penser à bien fixer la plate-forme ensuite.
5. Mesurer l'angle associé à l'ordre 0.

2. Pour faire la démo, on part de la déviation  $D = \theta - \theta_0$  qu'on dérive par rapport à  $\theta_0$ . On différencie la formule des réseaux qu'on injecte ensuite dans la dérivée.

3. On pourrait tracer  $\sin \theta$  en fonction de  $\lambda$  à  $p$  donné, ou bien fonction de  $p$  à  $\lambda$  donné, mais cela ne prendrait qu'une partie des mesures.

4. On souhaite donc que l'axe du collimateur soit orthogonal au plan du réseau, mais cela ne peut pas être effectué en une seule étape. Il va falloir être rusé pour le faire à l'aide de la lunette.

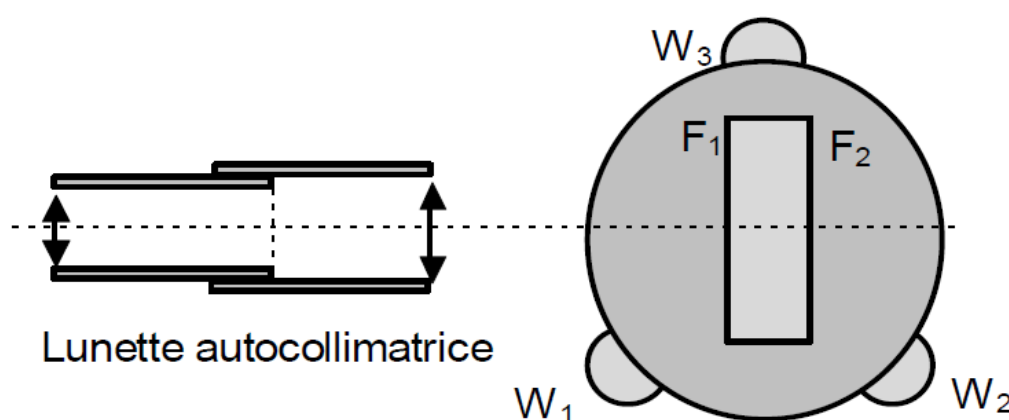
6. Mesurer l'angle de plusieurs longueurs d'ondes et à plusieurs ordres (prendre au moins deux longueurs d'ondes différentes et au moins jusqu'à l'ordre 2).
7. Comme avec l'autre protocole, effectuer un tracé à l'ordinateur prenant en compte l'ensemble des mesures. Si la loi semble bien vérifiée, en déduire le pas  $a$  du réseau.

## 5 Mesure du doublet du sodium à l'aide du réseau connu

8. Remplacer la lampe spectrale au cadmium par celle au sodium. Adapter un des protocoles précédent pour mesurer l'écart  $\Delta\lambda$  entre les deux raies oranges du sodium.

## 6 Annexe facultative : réglage mécanique du goniomètre

objectif : à la fin de ce réglage, l'axe optique de la lunette sera orthogonal à l'axe  $\Delta$



- Repérer les trois vis de réglage de la hauteur de la plate-forme. Placer la lame semi-réfléchissante sur la plate-forme de manière à ce qu'une des vis soit dans le plan de la lame. Par exemple  $W_3$  sur le schéma ci-contre : il ne faudra a priori pas y toucher.
- Allumer la lampe interne de la lunette autocollimatrice, basculer la lame semi-réfléchissante de la lunette vers l'avant.
- Tourner la lunette et/ou le plateau autour de  $\Delta$  pour avoir autocollimation sur une des deux faces de la lame (il faut voir l'image de retour du réticule, et si vous avez bien réglé la lunette l'image de retour doit être encore nette dans le même plan).
- Retourner le plateau de  $180^\circ$ , et vérifier que l'image de retour existe aussi sur l'autre face.

Si jamais l'image de retour n'est pas visible dans les deux cas, alors rechercher le retour du faisceau lumineux à l'œil nu et modifier l'inclinaison de la lunette et/ou du plateau pour qu'il en soit ainsi !

- Amener l'image de retour en coïncidence verticale avec le réticule (les traits verticaux du réticule et de son image de retour doivent être confondus) en tournant légèrement la plate-forme ou la lunette autour de son axe.
- Amener l'image de retour en coïncidence horizontale en agissant pour moitié sur la vis commandant le réglage de la hauteur de la lunette (sous celle-ci, ne pas toucher à l'oculaire ou l'objectif!) et pour l'autre moitié sur la vis à l'arrière en regardant depuis la lunette (c'est  $W_2$  sur le schéma précédent).
- Tourner la plate-forme de  $180^\circ$ . Le réticule et son image de retour ne sont plus confondus. Amener l'image de retour en coïncidence horizontale exacte en agissant de nouveau pour moitié sur la vis commandant le réglage de la hauteur de la lunette et pour l'autre moitié sur la vis à l'arrière (mais attention, ce n'est plus la même car on a tourné le plateau!).
- Tourner de nouveau la plate-forme de  $180^\circ$  et continuer la procédure jusqu'à ce que le réticule et son image de retour restent confondus quand on tourne le plateau. En pratique, la procédure converge au bout de 2 à 6 itérations.