

## TP révisions C – Spectrogoniomètre

### Objectif :

Maîtriser l'usage du goniomètre et les réglages de ses systèmes optiques constitutifs pour déterminer la longueur d'onde d'une raie spectrale à l'aide d'un réseau (MP-MPI) ou d'un prisme (MP).

### ⚠ CONSIGNES

- ◆ Les lampes spectrales au mercure seront allumées à 13h et éteintes à la fin de ce TP.
- ◆ Eviter l'exposition à la lumière directe de la lampe au mercure (riche en UV).

## A) Spectroscopie

En spectroscopie, on souhaite mesurer des longueurs d'onde de sources inconnues.

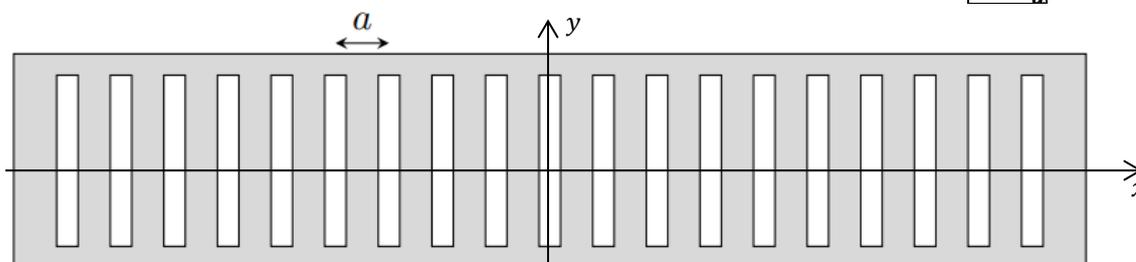
### 1) Eléments de théorie pour le réseau par transmission

#### a) Caractéristiques d'un réseau – Relation fondamentale des réseaux

◆ Un RESEAU OPTIQUE est un dispositif constitué d'une série de motifs identiques, équidistants, séparés par une distance  $a$ , permettant la réflexion ou la transmission d'ondes lumineuses.

La distance  $a$  entre deux motifs consécutifs est le pas du réseau.

Les constructeurs de réseaux donnent  $n$  le nombre de motifs par unité de longueur :  $n = \frac{1}{a}$ .



Un réseau par transmission est constitué d'un ensemble de fentes allongées, très fines, identiques, parallèles et équidistantes, séparées par un intervalle opaque. Ces fentes sont nommées traits du réseau.

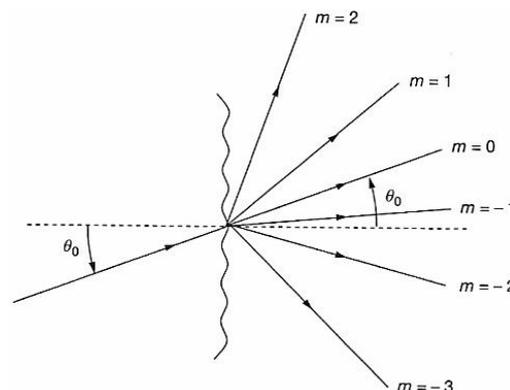
#### ◆ RELATION FONDAMENTALE DES RESEAUX :

On éclaire un réseau en transmission par un faisceau de rayons parallèles d'angle d'incidence  $\theta_0$  issu d'une source ponctuelle  $S$  monochromatique de longueur d'onde  $\lambda_0$ .

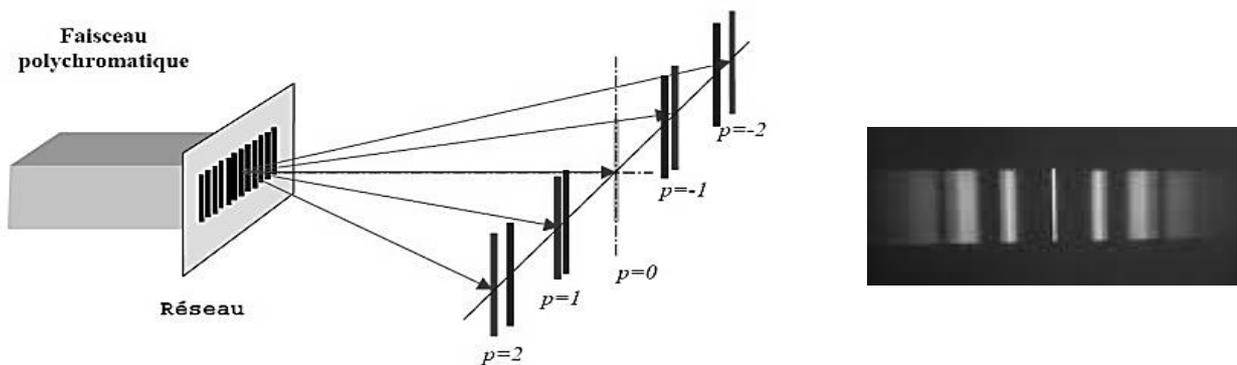
Les angles  $\theta_m$  correspondant aux maxima de lumière vérifient :

$$\sin\theta_m - \sin\theta_0 = m \frac{\lambda_0}{a}$$

Avec  $m \in \mathbb{Z}$  appelé l'ordre de la raie



Pour une lumière polychromatique, chaque radiation interfère constructivement selon un angle différent : on obtient alors le **spectre** de la lumière. Plus exactement, on observe un spectre pour chaque ordre d'interférences  $m$ .



### b) Minimum de déviation

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

Pour une longueur d'onde  $\lambda_0$  donnée et pour un spectre d'ordre  $m$  donné, on note  $D_m = \theta_m - \theta_0$  la déviation entre la lumière incidente (ordre 0) et la lumière émergente.

La déviation  $D_m$  ne dépend que de l'angle d'incidence  $\theta_0$  ; elle passe par un minimum quand  $\theta_0$  varie.

On peut montrer que le minimum de déviation  $D_{m,min}$  vérifie :

$$\sin\left(\frac{D_{m,min}}{2}\right) = \frac{m \cdot \lambda_0}{2a}$$

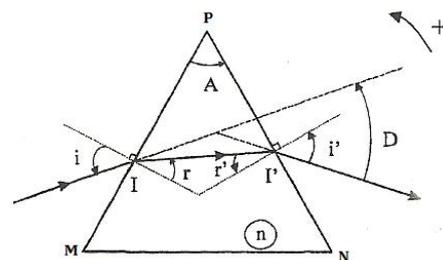
Connaissant  $a$  le pas du réseau, on peut exploiter cette relation pour déterminer  $\lambda_0$  mais auparavant il faut mesurer  $D_{m,min}$ . Nous allons procéder à la **mesure de l'angle de minimum de déviation** selon le protocole décrit au § C.2 et grâce au **goniomètre**.

## 2) Éléments de théorie pour le prisme

L'indice  $n$  d'un milieu transparent varie en fonction de la longueur d'onde  $\lambda$  d'après la relation de Cauchy :

$$n = a + \frac{b}{\lambda^2}$$

Soit un prisme d'angle au sommet  $A$ . On l'éclaire par un faisceau de rayons parallèles d'angle d'incidence  $i$  issu d'une source **monochromatique** de longueur d'onde  $\lambda$ .



Il existe un angle d'incidence sur la face d'entrée du prisme pour lequel la déviation est minimale et vaut  $D_m$  (cf ex 7 TDO1).

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

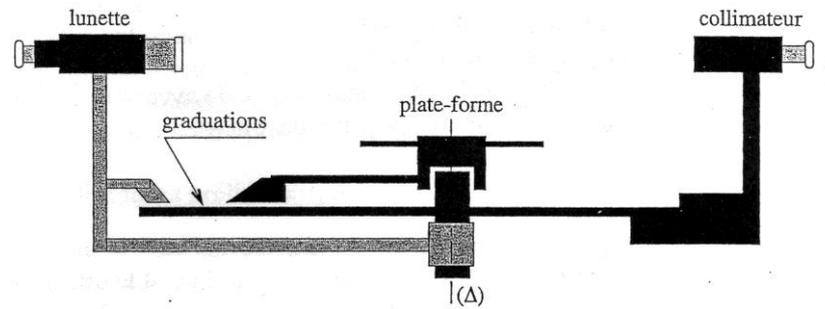
Après avoir mesuré l'angle  $A$ , on peut exploiter cette relation pour déterminer l'indice  $n$  du prisme pour la longueur d'onde étudiée mais auparavant il faut mesurer  $D_{min}$ . Nous allons procéder à la **mesure de l'angle de minimum de déviation** selon le protocole décrit au § D.2 et grâce au **goniomètre**.

Enfin avec une courbe d'étalonnage qui s'appuie sur la loi de Cauchy, on peut déterminer la longueur d'onde émise par une autre source.

## B) Instruments d'optique

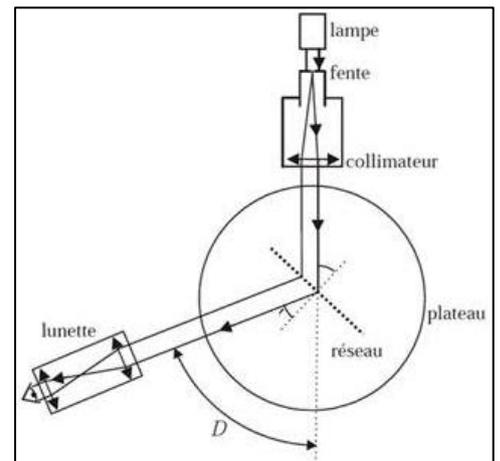
### 1) Constitution du goniomètre

Un **goniomètre** permet d'effectuer des **mesures d'angles**.



Il est constitué de trois éléments mobiles :

- un **collimateur** à fente de largeur réglable, permettant de réaliser un faisceau parallèle à partir d'une source de lumière (par exemple une lampe spectrale) ;
- une **plate-forme mobile** autour d'un axe vertical ( $\Delta$ ). Elle supportera l'élément étudié provoquant la déviation du faisceau incident (prisme ou réseau) ;
- une **lunette de visée à l'infini** (ici autocollimatrice) pouvant recevoir le faisceau dévié. Un **vernier angulaire** permet de mesurer l'angle de déviation  $D$  à la minute près, cf DOC 2.



### 2) Réglages

✎ Placer le collimateur vers la graduation  $0^\circ$  du goniomètre (*pour éviter des erreurs sur les valeurs des différences d'angles*).

✎ Régler à l'œil l'horizontalité de la lunette de façon à ce qu'elle soit perpendiculaire à l'axe  $\Delta$ .

✎ Régler l'oculaire et l'objectif de la lunette de visée à l'infini autocollimatrice et l'objectif du collimateur en suivant le protocole décrit dans le DOC 3.

## C) Manipulations avec le réseau → MPI (MP cf TP 11F)

### 1) 1<sup>e</sup> observations

Éclairer la fente du collimateur à l'aide d'une lampe spectrale. Régler la largeur de la fente du collimateur : compromis entre précision des mesures (fente très fine) et luminosité (fente large).

Déplacer la lunette jusqu'à observer le spectre d'ordre 0 (= image géométrique de la fente du collimateur). Pour la suite, on note  $P_0$  la position de la lunette dans ce cas.

A partir de  $P_0$ , déplacer la lunette dans un sens autour de la platine, identifier alors les spectres d'ordres 1 et 2 ; puis dans l'autre sens, identifier alors les spectres d'ordres -1 et -2.

1. Comparer la luminosité des spectres d'ordre 1 et 2 (ou -1 et -2). Commenter.

Dans la suite, on travaille sur les spectres d'ordre 1 et -1.

### 2) Mesure d'une longueur d'onde (mesure « directe »)

On s'intéresse à une raie précise du spectre de la lampe spectrale au mercure.

Mettre en œuvre le protocole décrit ci-dessous.

2. Déterminer la longueur d'onde de la raie étudiée. Estimer l'incertitude sur le résultat et analyser ce résultat.

#### Protocole de mesure du minimum de déviation :

Déplacer la lunette jusqu'à observer le spectre d'ordre 1 et pointer une raie précise du spectre.

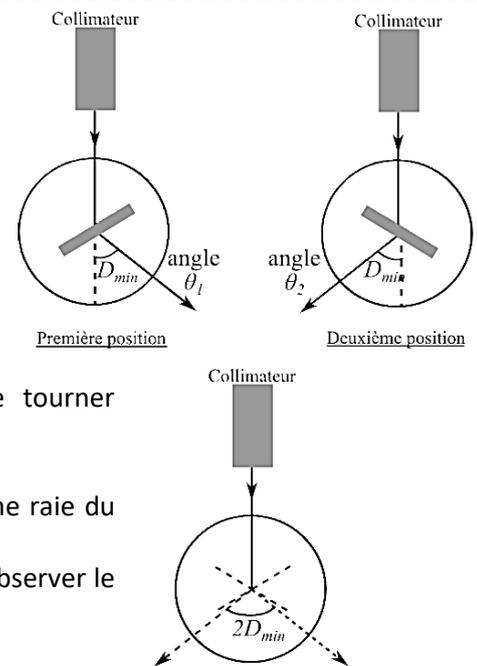
Faire tourner la platine supportant le réseau dans le sens qui fait diminuer la déviation du faisceau diffracté. On observe que cette déviation passe par un minimum  $D_{1,min}$  (la raie semble faire un aller-retour).

Positionner la platine et la lunette telles que l'on observe le minimum de déviation pour la raie étudiée.

Pour repérer précisément le minimum de déviation : fixer la lunette et la déplacer avec la vis micrométrique jusqu'à ce que la raie au minimum de déviation se superpose avec un axe du réticule (il est possible de faire tourner l'orientation des axes du réticule ou l'orientation de la fente). Noter l'angle  $\theta_1$ .

Déplacer la lunette jusqu'à observer le spectre d'ordre -1 et pointer la même raie du spectre.

Repérer comme précédemment la position précise de la lunette permettant d'observer le minimum de déviation. Noter l'angle  $\theta_2$ .



### 3) Construction d'une courbe d'étalonnage – Mesure du pas du réseau

On souhaite construire la courbe d'étalonnage d'un réseau avec la lampe au mercure (S).

#### Protocole :

On mesure les minima de déviation associés aux raies d'émission de la lampe au mercure dont les longueurs d'onde sont connues, cf DOC 1.

Avec ces mesures, on trace une courbe d'étalonnage reliant les minima de déviation aux longueurs d'onde.

On pourrait ensuite mesurer les minima de déviation, des spectres d'ordres  $\pm 1$ , associés aux raies de la source (S') puis on utilise la courbe d'étalonnage pour déterminer les longueurs d'onde de (S').

3. Donner l'expression des coordonnées (x, y) à choisir pour que la courbe d'étalonnage puisse être modélisée par une droite. En supposant que le pas du réseau est inconnu, comment peut-on le déterminer expérimentalement ?

Remplir le tableau TAB 1 de la page 6 puis construire et analyser la courbe d'étalonnage.

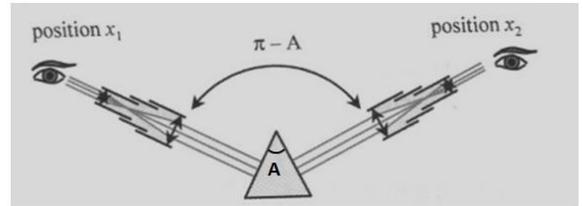
## D) Manipulations avec le prisme → MP

### 1) Mesure de l'angle au sommet $A$

Deux méthodes sont décrites, vous mettrez en œuvre la 1<sup>ère</sup>.

#### a) Méthode 1 (méthode du $\pi - A$ )

Allumer la lampe de la lunette, basculer le miroir semi-réfléchissant tel que l'œil reçoive la lumière de la lampe.  
Placer la platine dans une position qui vous permet de pointer l'image du réticule sur les deux faces du prisme sans tourner la platine. Bloquer la rotation de la platine.

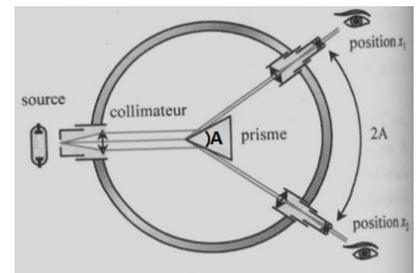


#### b) Méthode 2 (méthode du $2A$ )

Eteindre la lampe de la lunette autocollimatrice et basculer le miroir semi-réfléchissant.

L'arête du prisme étant orientée vers le collimateur, pointez l'image de la fente obtenue par réflexion sur la face  $F_1$  puis pointez l'image de la fente sur l'autre face  $F_2$ .

*Rq* : Ne pas hésiter à rendre la plus fine possible la fente.



#### c) Mise en œuvre de la 1<sup>ère</sup> méthode

Pointez l'image du réticule (le réticule et son image en coïncidence) sur une des deux faces : repérez la position  $\theta_1$  de la lunette par le viseur.

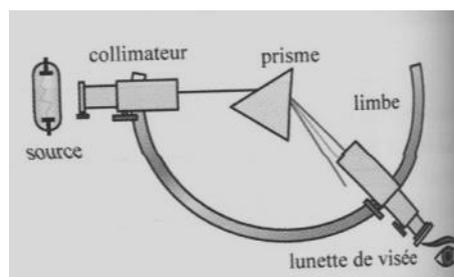
Pointez l'image du réticule sur l'autre face du prisme : relever  $\theta_2$ .

➔ 1'. Déterminer expérimentalement la valeur de l'angle  $A$ .

## 2) Courbe d'étalonnage

### a) Repérage d'un minimum de déviation

Diminuer au minimum la largeur de la fente, sans forcer sur la vis !



Repérer le spectre à l'œil nu. Faire tourner la platine. Constaté l'existence d'un minimum de déviation. Quand vous l'avez localisé, intercaler la lunette entre le spectre et votre œil.

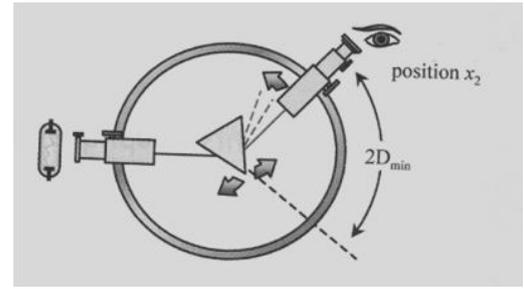
Affinez le minimum de déviation en observant la raie qui vous intéresse avec la lunette : bloquer la lunette puis, avec la vis de réglage fin, il est possible de faire subir à la lunette de légères rotations. Placez votre lunette de telle sorte qu'au minimum de déviation la raie soit exactement confondue avec le fil vertical du réticule : repérez l'angle repérant la position de la lunette.

## b) Mesures

### Protocole de mesure du minimum de déviation :

Pour une raie de la source étudiée, viser sur la 1<sup>ère</sup> face du prisme le minimum de déviation. Relever  $\theta_1$ .

Faire tourner le plateau de façon à ce que le collimateur illumine l'autre face du prisme. Refaire la manipulation en recherchant le minimum de déviation pour l'autre face du prisme. Relever  $\theta_2$ .



Remplir le tableau TAB 1 de la page 6.

➔ 3'. En déduire la valeur de  $n$  pour chaque raie.

➔ 4'. Tracer la courbe  $n = f\left(\frac{1}{\lambda^2}\right)$  : courbe d'étalonnage.

*NB : Cette courbe pourrait ensuite être exploitée pour déterminer une (ou les) longueur(s) d'onde du spectre d'une autre source lumineuse (S').*

### TAB 1 :

Pour la lampe spectrale au mercure :

Couleur				
$\lambda$				
$\theta_1$				
$\theta_2$				
$D_{min}$				

**NB : Pour plus d'efficacité, mesurer tous les  $\theta_{1k}$  pour les différentes raies ( $k$ ) de la source puis tous les  $\theta_{2k}$ .**

**DOC 1 : Tables des longueurs d'onde du spectre des lampes au sodium et au mercure**

Longueur d'onde	Couleur de la raie	Longueur d'onde	Couleur de la raie
690,7 nm	Rouge	616,1 nm	Rouge
<b>623,4 nm</b>		615,4 nm	(doublet)
<b>579,1 nm</b>	<b>Jaune (doublet)</b>	<b>589,6 nm</b>	<b>Jaune (doublet)</b>
<b>577,0 nm</b>		<b>589,0 nm</b>	
<b>546,1 nm</b>	<b>Vert - Jaune</b>	<b>568,8 nm</b>	<b>Vert (doublet)</b>
491,6 nm	Bleu - Vert	515,2	Vert
<b>435,8 nm</b>	<b>Bleu -Violet</b>	497,9 nm	Bleu-Vert
404,7 nm	Violet	475,0 nm	Bleu
		466,7 nm	

Tableau 1 : spectre de la lampe au mercure.

Tableau 2 : spectre de la lampe au sodium.

Rq : un doublet est un couple de raies de longueurs d'onde très proches.

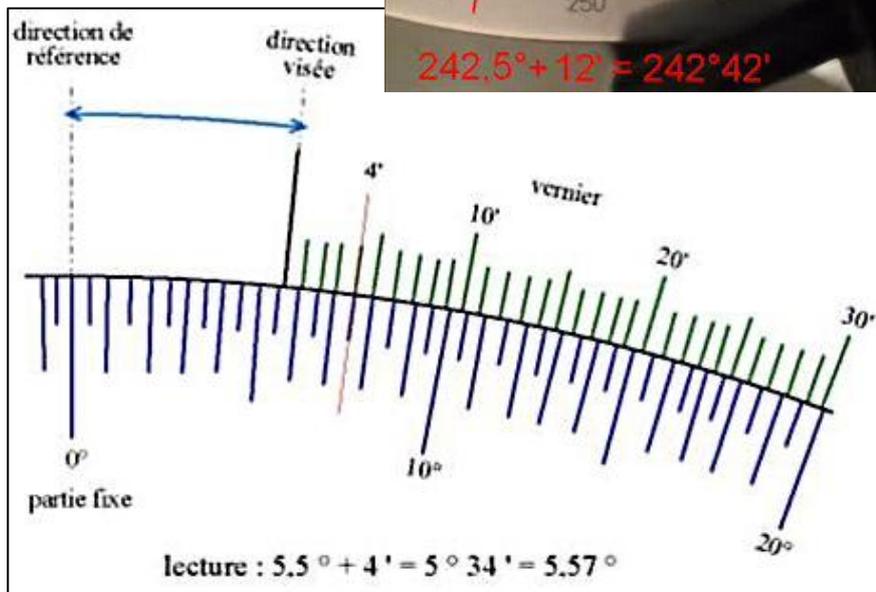
**DOC 2 : Lecture sur le vernier**

Le vernier du goniomètre fonctionne sur le même principe que celui du pied à coulisse mais il s'agit de mesurer des angles et non des longueurs.

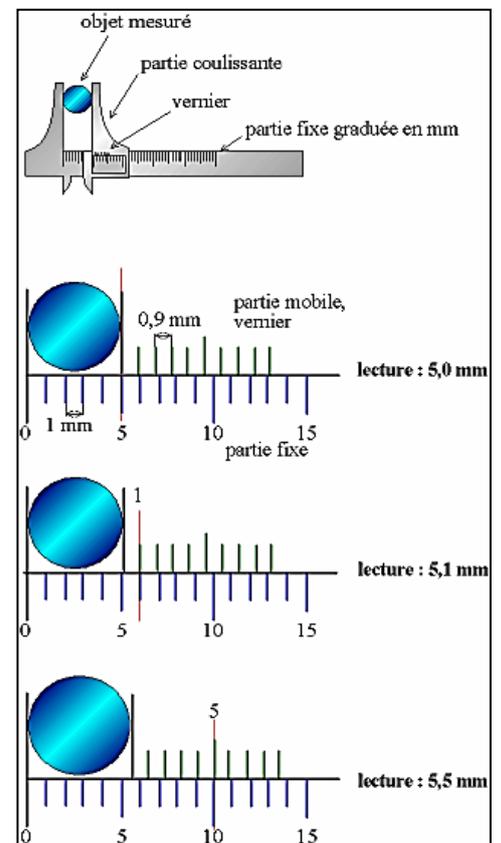
Une minute d'angle (noté 1') correspond à un 60<sup>e</sup> de degré.

**Conseil : convertir à chaque mesure les minutes en ° pour éviter les erreurs de calculs !**

Vernier du goniomètre



Vernier du pied à Coulisse

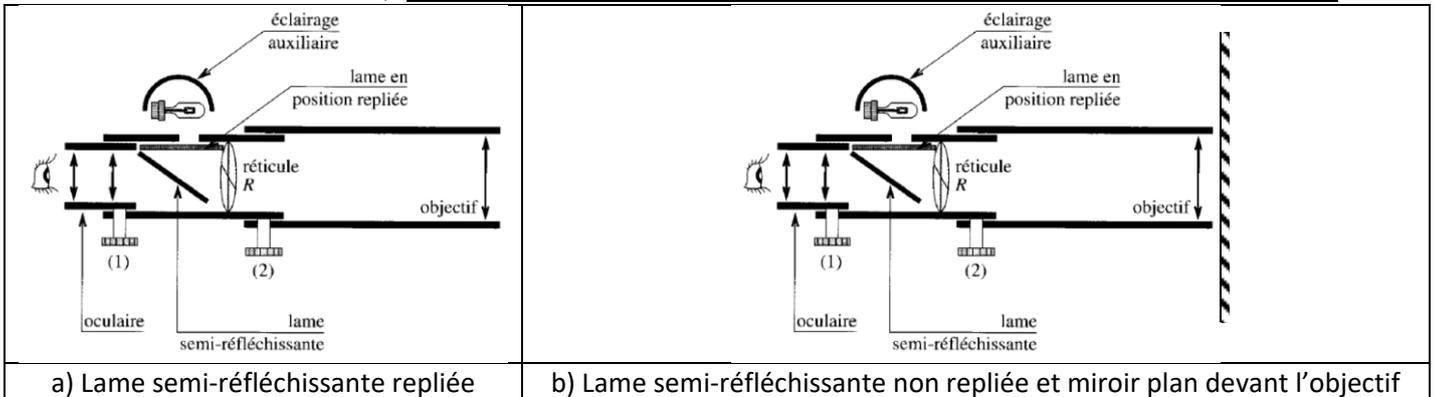


### DOC 3 : Réglages des instruments du goniomètre

Réglages successifs dans l'ordre suivant : du plus proche de l'œil vers le plus proche de l'objet.

#### ① Réglage de la lunette autocollimatrice

Objectif des réglages de la lunette : la lunette doit donner d'un objet à l'infini une image au punctum remotum de l'œil. Pour cela, le plan focal image de l'objectif doit coïncider avec le plan du réticule.



a) Réglage de **L'OCULAIRE DE LA LUNETTE** (propre à l'utilisateur) :

Déplacer l'oculaire jusqu'à voir net le réticule **SANS ACCOMMODER**.

Pour être sûr de ne pas accommoder : Le réglage correct correspond au tirage maximal de l'oculaire (le plus vers vous) pour lequel le réticule paraît net.

b) Réglage de **L'OBJECTIF DE LA LUNETTE** par « autocollimation » :

Placer un miroir plan devant l'objectif de la lunette. Allumer l'ampoule de la lunette autocollimatrice et basculer la lame semi-réfléchissante pour éclairer le réticule.

L'œil observe deux images du réticule :

- l'image directe  $R'$  du réticule par l'oculaire :  $R \xrightarrow{\text{oculaire}} R'$ .
- l'image finale  $R_4$  du réticule :  $R \xrightarrow{\text{objectif}} R_1 \xrightarrow{\text{miroir plan}} R_2 \xrightarrow{\text{objectif}} R_3 \xrightarrow{\text{oculaire}} R_4$ .

Le réticule  $R$  se trouve dans le PFI de l'objectifssi  $R'$  et  $R_4$  sont vues nettes simultanément.

Modifier la position de l'objectif par rapport au réticule (à l'aide de la vis (2)) jusqu'à observer  $R'$  et  $R_4$  simultanément nets (cf méthode d'autocollimation).

**Ne plus toucher à l'objectif de la lunette !**

#### ② Réglage du collimateur

Objectif du réglage : un collimateur sert à créer un objet à l'infini. Pour cela, la fente du collimateur doit être dans le plan focal objet de l'objectif du collimateur.

Réglage de **L'OBJECTIF DU COLLIMATEUR** :

Installer la lampe spectrale au mercure derrière la fente source du collimateur, le filament de la lampe à hauteur de la fente. Choisir une largeur de la fente du collimateur assez fine pour éviter d'être ébloui.

Basculer la lame semi-réfléchissante et éteindre l'ampoule de la lunette. Observer la fente source du collimateur à travers la lunette préalablement réglée.

Agir sur la bague de tirage du collimateur pour observer la fente nette.

**NB** : Diminuer la largeur de la fente pour s'assurer de la parfaite netteté de l'image de la fente !

**Ne plus toucher au tirage du collimateur !**

Une fois tous les réglages effectués, on a : fente  $\xrightarrow{\text{collimateur}} F_1 \infty \xrightarrow{\text{lunette}} F_2$  au PR de l'œil