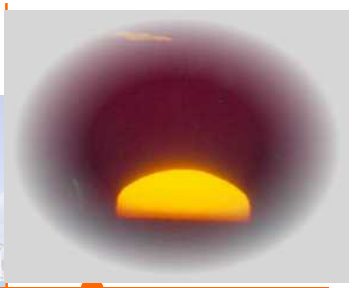
MP (O.Granier)

Lycée
Montesquieu



Déviation de la lumière par un prisme

Le Goniomètre

Olivier GRANIER

Lycée **Montesquieu**

MP - Physique

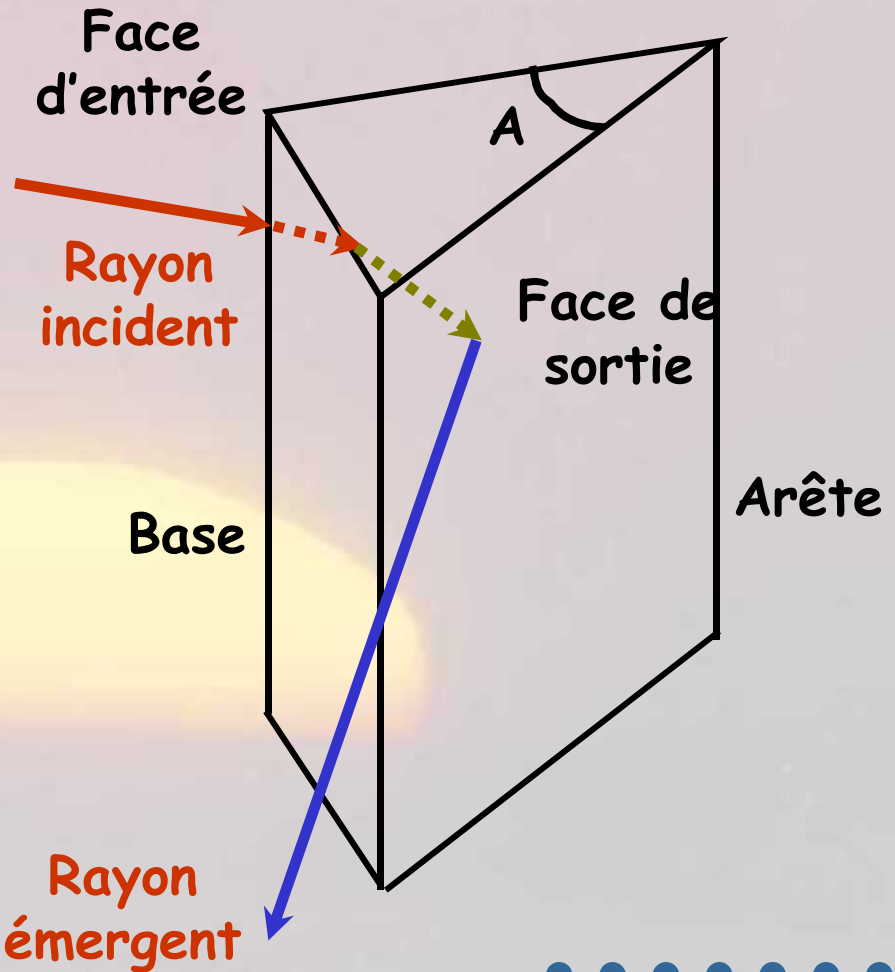
I – Présentation du prisme :

Le prisme correspond à un dièdre d'angle au sommet A, formé de l'association de deux dioptres plans air/verre et verre/air (les faces utiles du prisme). L'intersection des faces utiles constitue l'arête du prisme.

La troisième face est la base du prisme.

On note n l'indice du verre.

Les rayons lumineux envoyés sur le prisme se réfractent successivement sur ses deux faces.

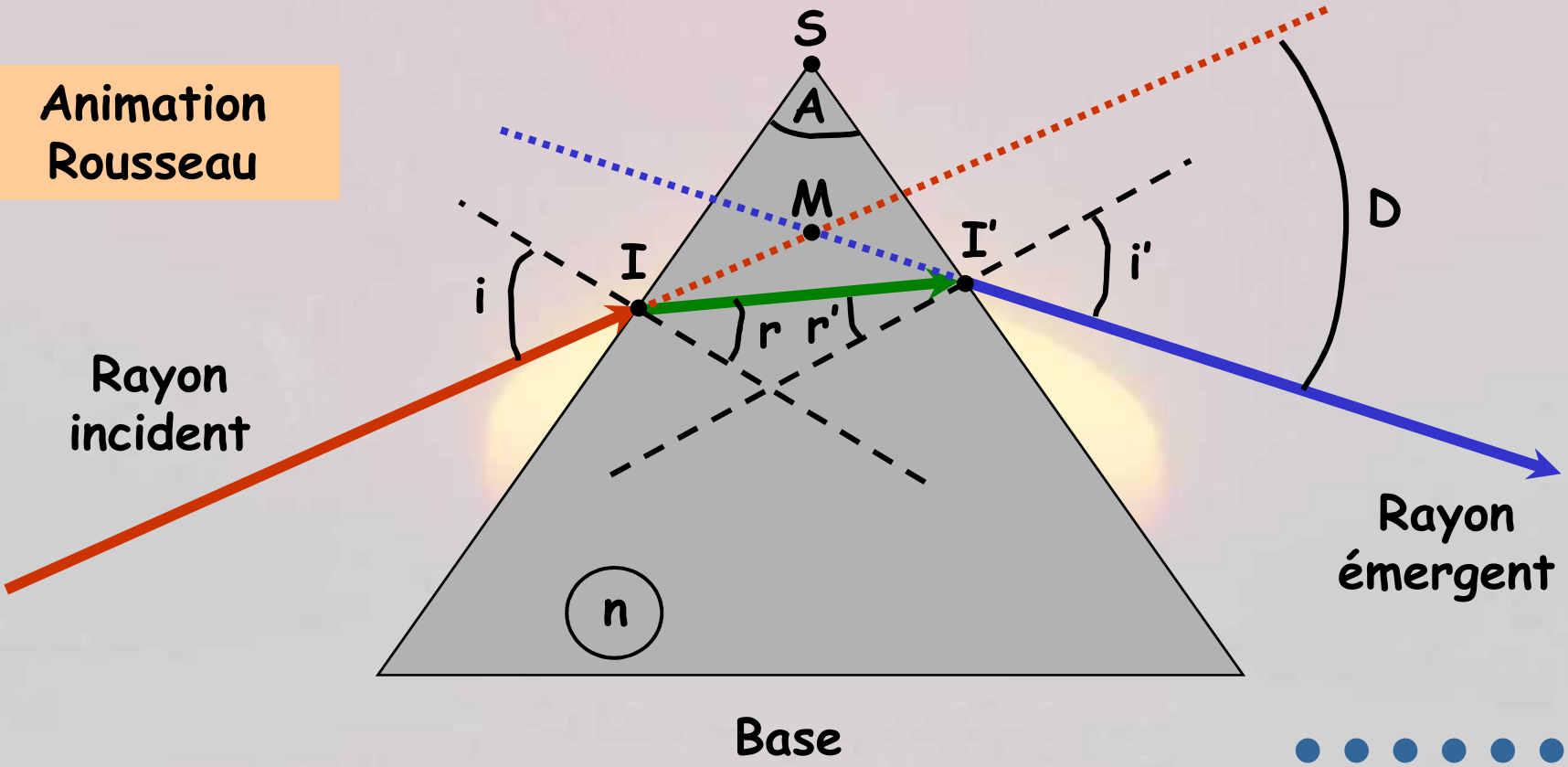


Olivier GRANIER

II – Les relations fondamentales du prisme :

On se place dans le plan d'incidence d'un rayon qui arrive par la face d'entrée du prisme (les angles sont tous positifs).

Animation Rousseau



Les lois de Snell-Descartes permettent d'écrire :

$$\boxed{\sin i = n \sin r} \quad et \quad \boxed{\sin i' = n \sin r'}$$

Dans le triangle (ISI') :

$$(\frac{\pi}{2} - r) + A + (\frac{\pi}{2} - r') = \pi \quad soit \quad \boxed{r + r' = A}$$

Dans le triangle (IMI') : (D est l'angle de déviation du rayon incident)

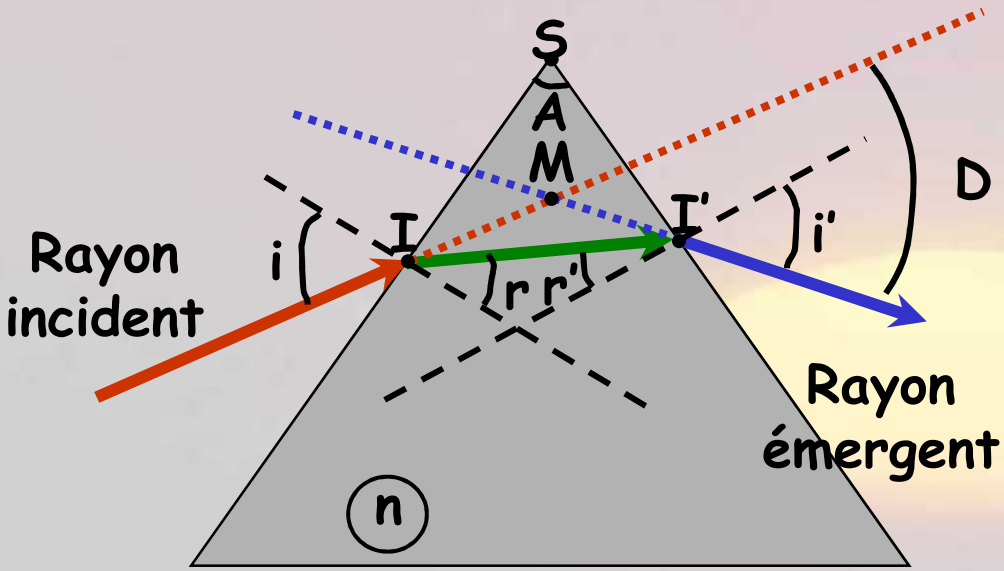
$$(i - r) + (\pi - D) + (i' - r') = \pi$$

Soit :

$$D = i + i' - (r + r') \quad d'où \quad \boxed{D = i + i' - A}$$

Conditions d'existence du rayon émergent :

Pour que le rayon émergent existe, il faut que $r' \leq i_\ell$, *avec* $\sin i_\ell = \frac{1}{n}$.



Par conséquent :

$$r \geq A - i_\ell$$

Et :

$$\sin i = n \sin r$$

Conduit à :

$$\sin i \geq n \sin(A - i_\ell)$$

Soit finalement :

$$\frac{\pi}{2} \geq i \geq i_0 \qquad avec \qquad \sin i_0 = n \sin(A - i_\ell)$$

Animation Rousseau

Applications numériques :

On choisit A = 60° et n=1,732 ; alors i_0 = 46,4°.

III – Étude de la déviation D(i) en fonction de l'angle d'incidence i du rayon incident :

En utilisant le principe de retour inverse de la lumière, on remarque que les angles d'incidence i et i' = D + A – i donnent le même angle de déviation D.

Ainsi, à une valeur de D correspond deux valeurs de l'angle d'incidence, sauf dans le cas où :

$$i = i' = \frac{D + A}{2}$$

qui correspond à un extremum de D(i) (voir transparent suivant).

Lycée **Montesquieu**

MP - Physique

Courbe D(i)

D(°)

75

60

45

D_m

2 valeurs de i pour une valeur de D

Minimum de déviation

$$i = i' = \frac{D_m + A}{2}$$

45 60 75 90

i(°)

Olivier GRANIER

Relation entre l'indice du prisme et le minimum de déviation :

Au minimum de déviation D_m, les angles i et i' sont égaux :

$$i = i' = \frac{D_m + A}{2}$$

Les deux relations de Descartes permettent d'en déduire que r = r' = A/2.

On en déduit :

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

Ainsi, la mesure du minimum de déviation permet d'en déduire l'indice du prisme.

Olivier GRANIER

IV – Dispersion de la lumière :

L'indice du prisme, donc la déviation, dépend de la longueur d'onde (phénomène de dispersion de la lumière).

La relation phénoménologique de Cauchy :

$$n(\lambda) = n_0 + \frac{B}{\lambda^2}$$

montre que l'indice est une fonction décroissante de la longueur d'onde.

La déviation croit avec l'indice du prisme

Animation Rousseau

La déviation croît du rouge au violet dans le domaine visible

Lycée **Montesquieu**

MP - Physique

V – Étude expérimentale ; utilisation du goniomètre à prisme

1 – Présentation du goniomètre : (voir également l'annexe)

Le goniomètre permet de mesurer des angles de déviations D(i) en fonction de l'angle d'incidence.

Animation Cabri

En se plaçant au minimum de déviation, on en déduit l'indice du prisme par la relation :

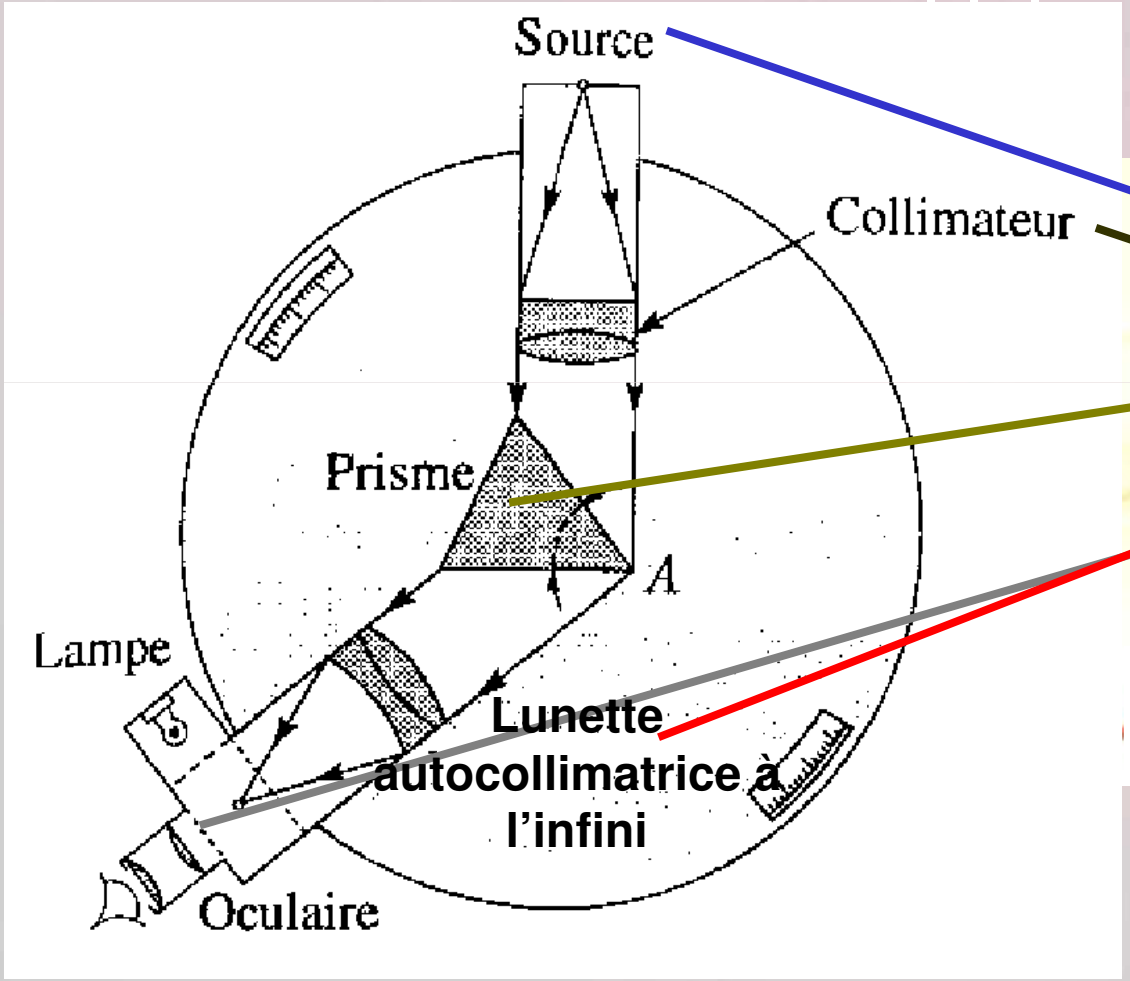
$$n = \frac{\sin\left(\frac{D_m + A}{2}\right)}{\sin\frac{A}{2}}$$

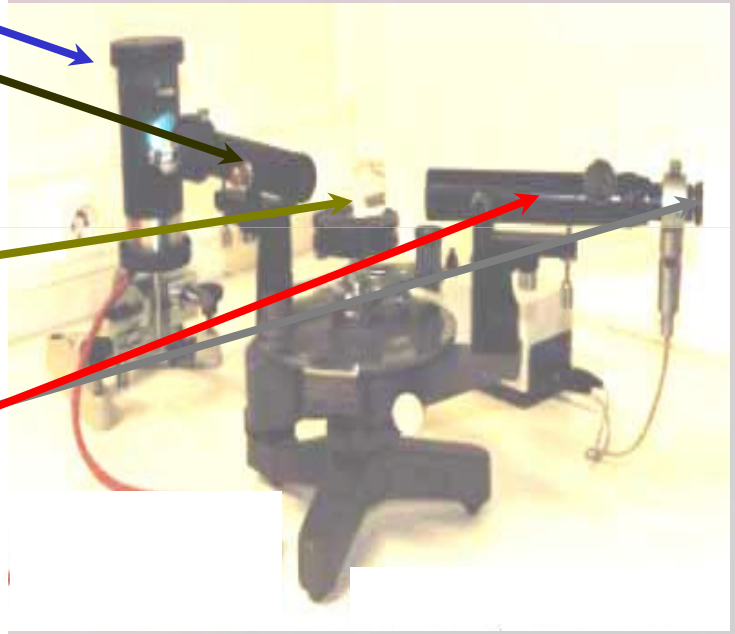
On peut ensuite vérifier la loi de Cauchy en traçant l'indice en fonction de $1/\lambda^2$ (afin de tracer une droite !).

Olivier GRANIER

Lycée **Montesquieu**

MP - Physique



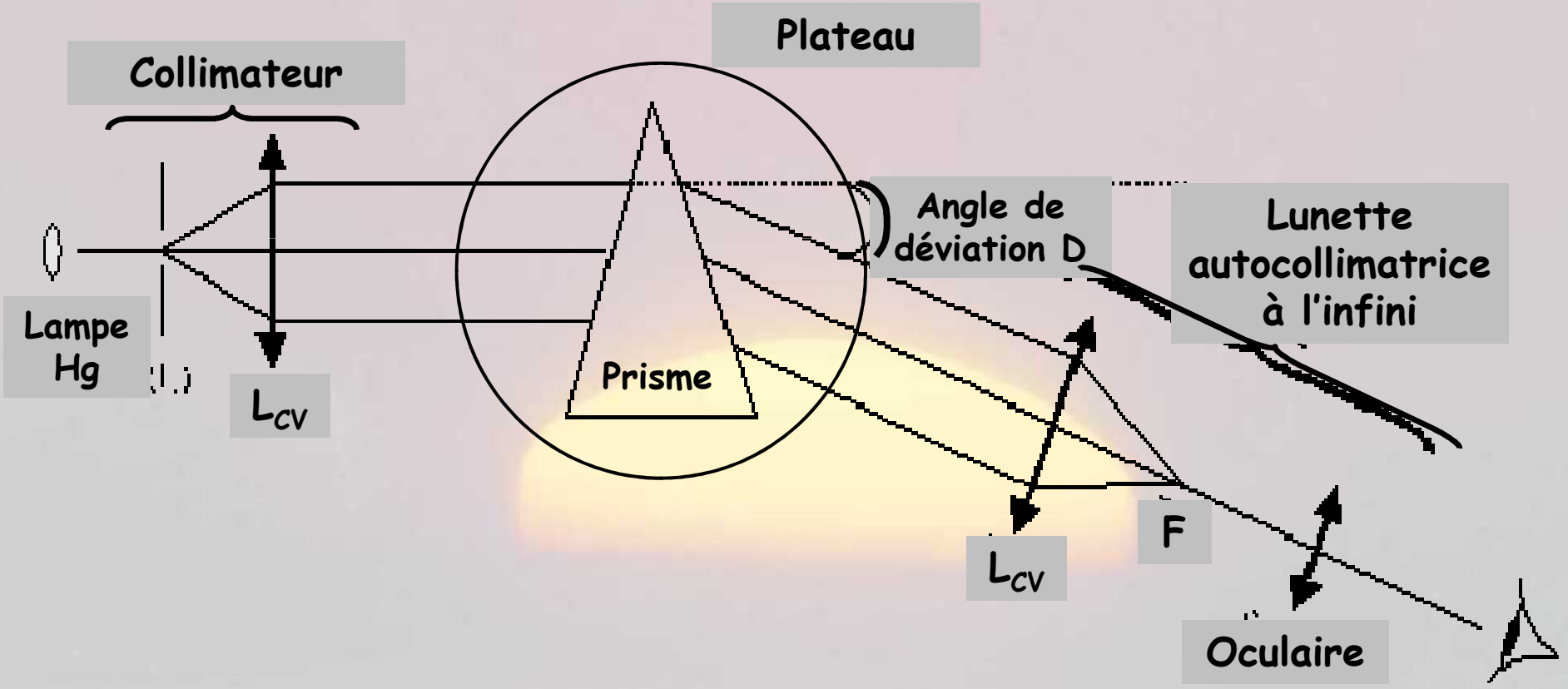


Olivier GRANIER

Lycée **Montesquieu**

MP - Physique

Principe du goniomètre à prisme



Olivier GRANIER

- Le faisceau incident est fourni par une source lumineuse (lampe à vapeur de Mercure, de Sodium, ...) éclairant la fente d'entrée d'un collimateur réglé sur l'infini, donc fournissant un faisceau de lumière parallèle. Ce collimateur est fixe, d'axe perpendiculaire à l'axe du goniomètre.

- Le faisceau émergent (du prisme) parallèle est examiné à l'aide d'une lunette autocollimatrice fixée sur un socle mobile.

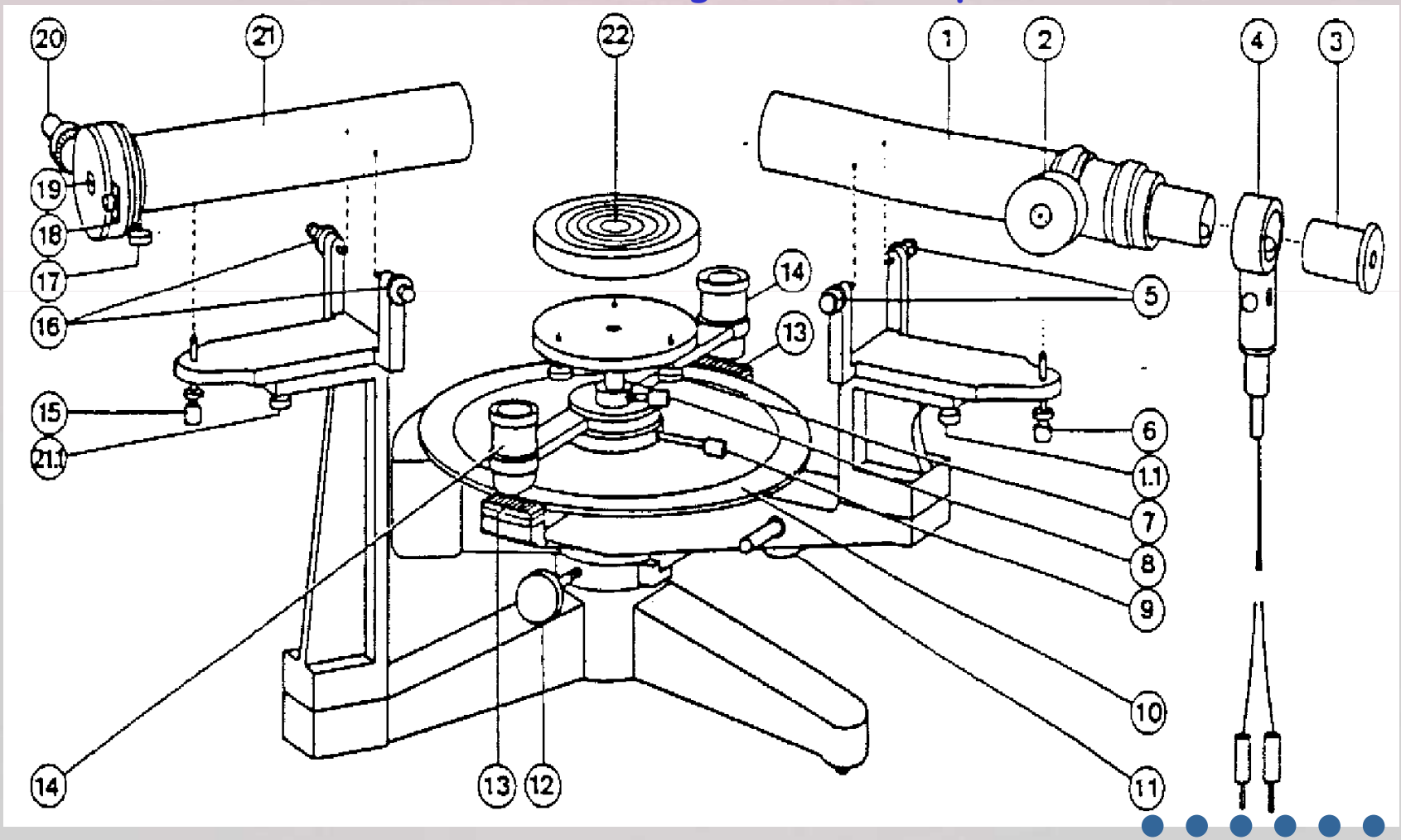
- Le prisme est placé sur un plateau qui peut tourner et dont on peut régler l'inclinaison de façon à ce que l'arête du prisme soit parallèle à l'axe du goniomètre.

- Le déplacement du socle mobile est repéré sur une graduation en degrés, munie d'un vernier et que l'on observe au moyen d'un viseur ou directement à l'œil nu (selon les modèles de goniomètre).

Lycée **Montesquieu**

MP - Physique

Schéma détaillé du goniomètre à prisme



Olivier GRANIER

Lycée **Montesquieu**

MP - Physique

(1) Lunette
(1.1) Vis d'ajustage pour compensation des défauts d'alignement
(2) Vis de réglage de netteté
(3) Oculaire de Gauss coulissant
(4) Dispositif d'éclairage
(5) Vis d'ajustage pour décalage latéral de la lunette
(6) Vis de réglage en hauteur de la lunette (1) blocable
(7) Vis calante de l'embase du prisme
(8) Vis de blocage de l'embase du prisme
(9) Vis de blocage du disque gradué
(10) Disque gradué
(11) Réglage fin de la rotation de la lunette
(12) Vis de blocage de la lunette (1)
(13) Verniers
(14) Loupes
(15) Vis de réglage en hauteur du collimateur
(16) Vis d'ajustage pour décalage latéral du collimateur (21)
(17) Vis de blocage du coulisseau porte- fente
(18) Limitateur de fente réglable
(19) Fente réglable
(20) Vis micrométrique de réglage de la largeur de la fente
(21) Collimateur
(21.1)Vis d'ajustage pour compensation des défauts d'alignement
(22) Embase du prisme

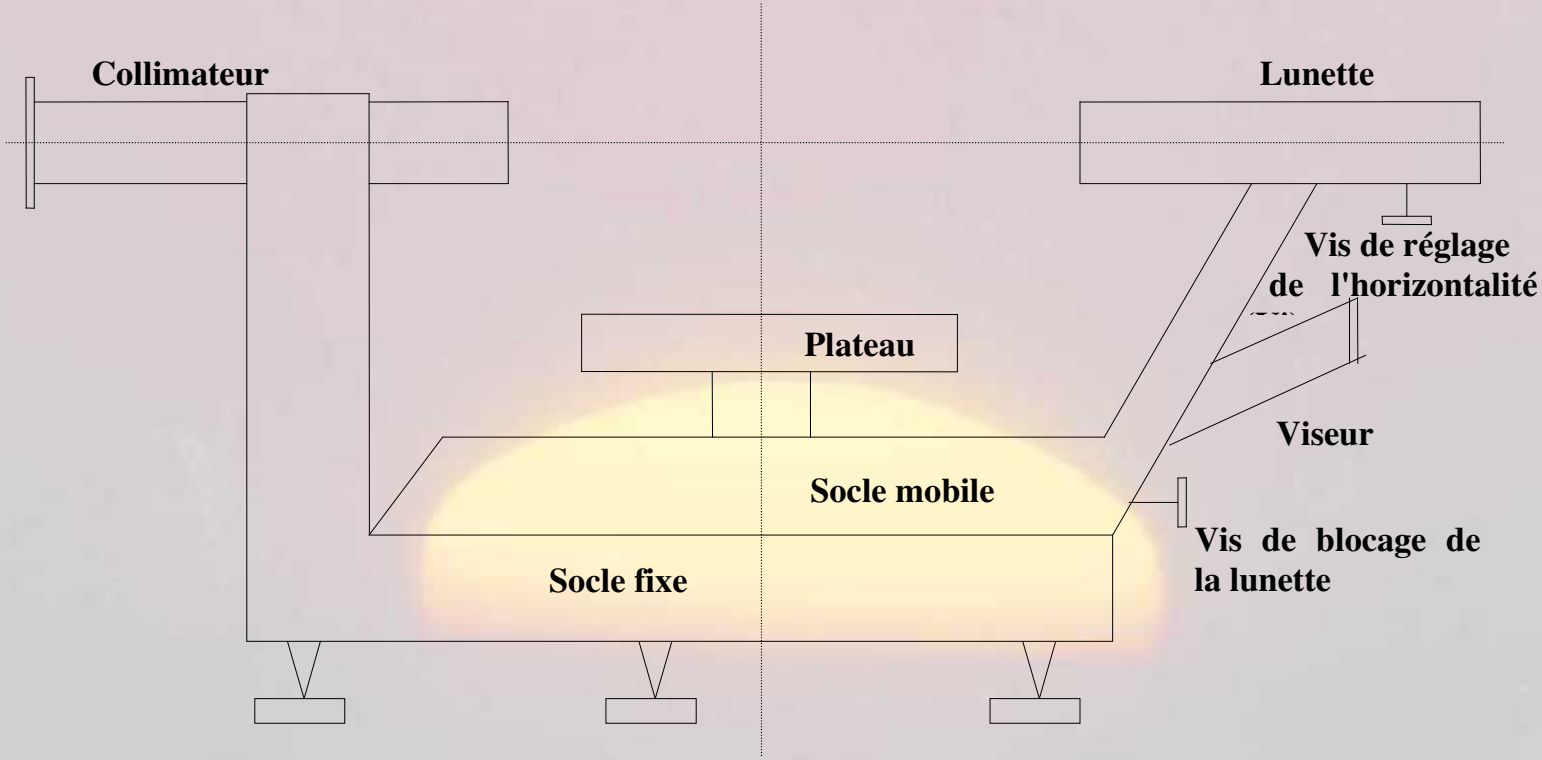
Olivier GRANIER

Lycée **Montesquieu**

MP - Physique

Schéma simplifié du goniomètre à prisme

(vue en coupe)



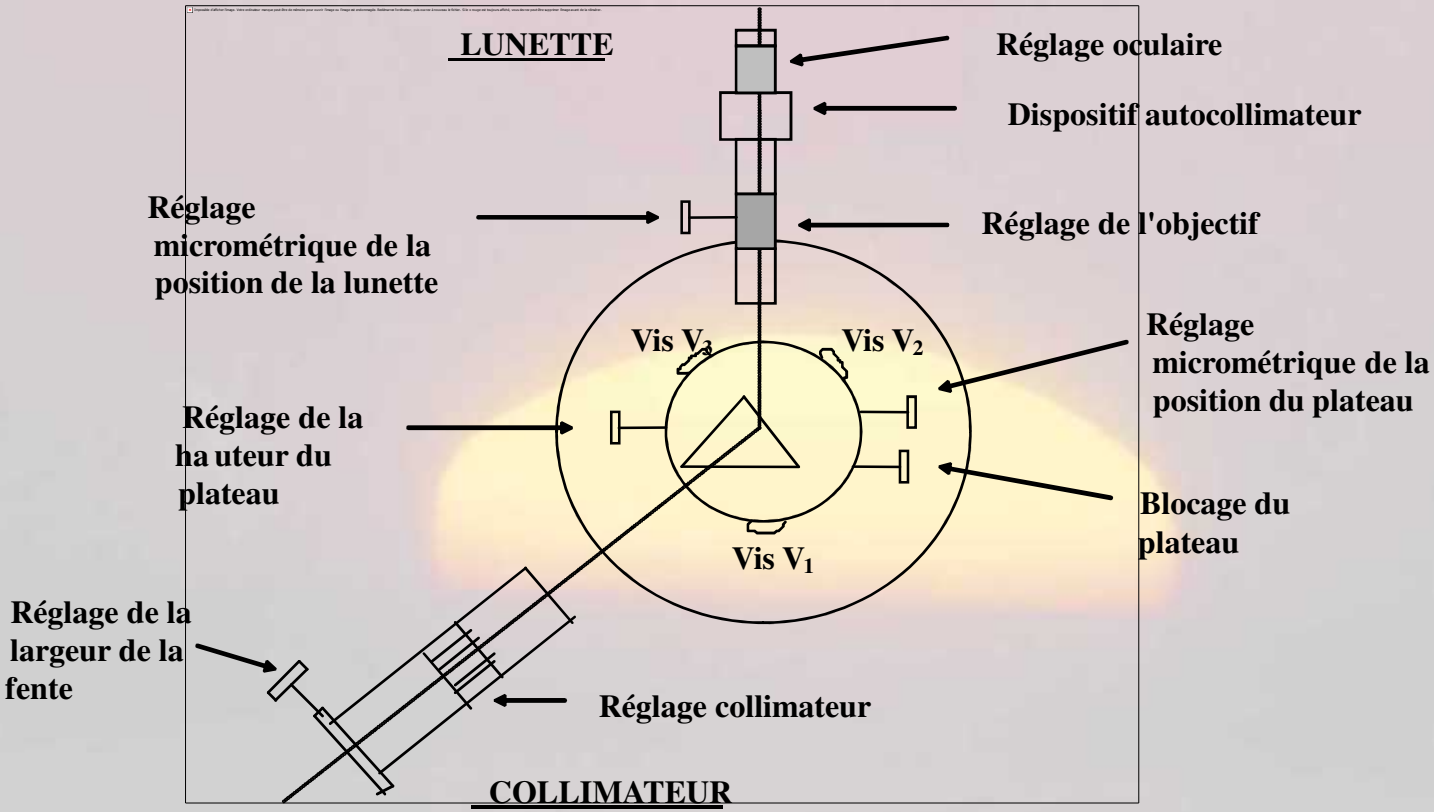
Olivier GRANIER

Lycée **Montesquieu**

MP - Physique

Schéma simplifié du goniomètre à prisme

(vue de haut)



Olivier GRANIER

2 – Réglage du goniomètre :

Le goniomètre est un appareil de précision ; il doit être manié avec beaucoup de soin ! Notamment, ne jamais aller en butée pour les vis de réglage et, surtout, ne jamais forcer !

*** A l'œil nu, régler grossièrement :

- L'horizontalité de la lunette autocollimatrice, au moyen de la vis de réglage V' (voir figures précédentes).

- L'horizontalité du plateau, au moyen des vis V_1, V_2 et V_3, en observant le plateau lorsqu'il tourne.

On peut aussi, en introduisant une lame métallique mince entre le plateau et son support au niveau des trois vis, assurer un quasi-parallélisme entre ces deux éléments. Penser à laisser aux vis la possibilité d'être tournées dans les deux sens par la suite.

*** Réglage de la lunette autocollimatrice :

- Allumer l'ampoule permettant d'éclairer le réticule.

- Régler l'oculaire pour voir net le réticule ; ce réglage dépend de l'observateur et pourra être modifié en fonction de l'œil de celui-ci.

- Mettre une face du prisme contre la lunette pour réaliser l'auto collimation. Régler l'objectif de la lunette pour voir nette l'image de retour du réticule. La lunette est alors réglée à l'infini.

*** Réglage du parallélisme de la lunette et du plateau :

- Mettre la vis V_1 face à la lunette.
- Mettre le prisme sur le plateau, face à la lunette.
- Faire coïncider l'image du réticule avec le réticule en agissant pour moitié sur V_1 et pour moitié sur V'.
- Amener la vis V_2 face à la lunette et replacer la lame ou le prisme face à la lunette. On observe un décalage entre le réticule et son image. Agir sur V_2 et sur V' pour les faire coïncider.
- Faire de même avec V_3.
- Recommencer avec V_1, V_2 puis V_3 si nécessaire.

On a ainsi réalisé, de proche en proche, le parallélisme de la lunette et du plateau. Dans la suite, éteindre l'ampoule de la lunette autocollimatrice.

*** Réglage du collimateur :

- Éclairer la fente du collimateur avec une lampe à vapeur de mercure (choisir une largeur de fente fine)

- Viser l'image de la fente au moyen de la lunette.

- Régler le tirage du collimateur de façon à voir l'image de la fente nette. La fente est alors au foyer du collimateur.

Attention : une lampe à vapeur métallique est fragile. Elle ne doit jamais être rallumée chaude !

*** Positionnement du prisme sur le plateau :

- Disposer l'arête utile du prisme au voisinage du centre du plateau de manière à ce que les vis V_1 et V_2 permettent le réglage fin de la verticalité des faces (F_1) et (F_2) non noircies du prisme.

- Modifier éventuellement les réglages des vis V_1 et V_2 pour que l'auto collimation soit parfaite sur les faces (F_1) et (F_2) du prisme.

- Ne plus déplacer le prisme une fois ces réglages effectués !

3 – Étude de la courbe D(i) :

Choisir une raie bien lumineuse du spectre de la lampe à Mercure. Regarder, dans les tables, la valeur de la longueur d'onde λ de cette raie monochromatique (λ = μm).

Pour mesurer l'angle d'incidence i, on observe le rayon réfléchi sur la face d'entrée ; l'angle (rayon incident - rayon réfléchi) vaut alors 2i. On fera varier i en faisant tourner le plateau sur lequel repose le prisme (sans toucher au prisme). Vérifier que l'angle d'incidence doit être supérieure à une valeur i_0 pour qu'il y ait émergence. Comparer avec la valeur attendue théoriquement.

La mesure de l'angle de déviation s'effectue en pointant la lunette sur la raie et en lisant la déviation correspondante.

Vérifier l'existence d'un minimum de déviation, noté D_m, pour un angle d'incidence i_m.

Remplir le tableau de valeurs :

(Radiation de longueur d'onde : λ = μm)

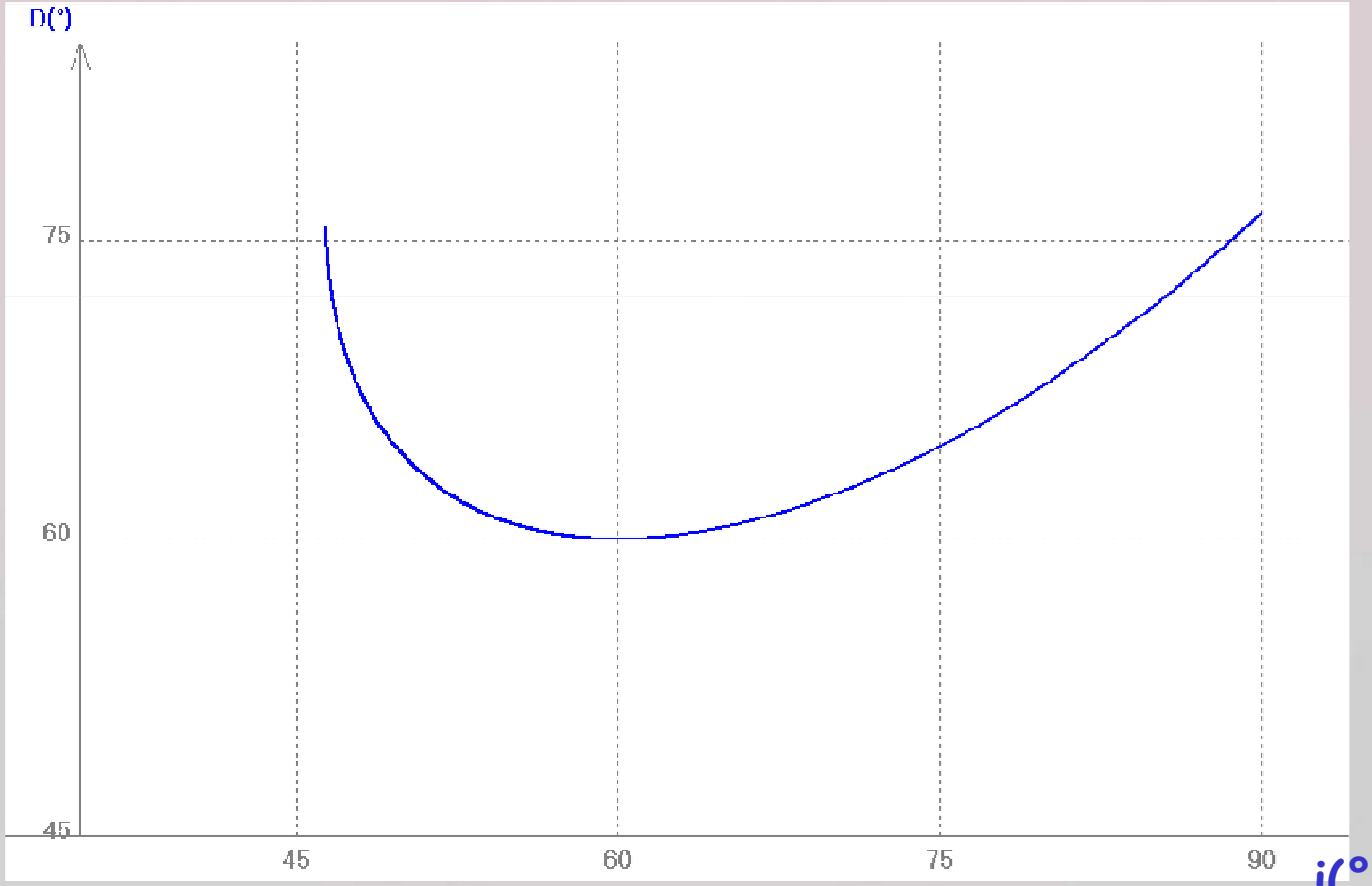
i (°)									
D (°)									

Tracer sur un logiciel graphique (Synchronie ou Regressi) la courbe expérimentale D = D(i).

Lycée **Montesquieu**

MP - Physique

Courbe D(i)



Olivier GRANIER

4 – Indice du prisme pour la longueur d'onde étudiée :

a) Mesure de l'angle au sommet du prisme :

Cette mesure s'effectue au moyen de la lunette autocollimatrice : plus précisément, elle s'effectue par auto collimation, successivement sur les deux faces du prisme.

Le prisme étant immobile, régler la lunette normalement à une des faces, puis normalement à la seconde.

L'angle dont il a fallu tourner la lunette est $\pi - A$.

b) Détermination de l'indice du prisme :

Déduire de ces mesures l'indice n du prisme pour la longueur d'onde considérée en utilisant la relation :

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

5 – Vérification expérimentale de la loi de Cauchy :

Déterminer expérimentalement, pour plusieurs longueurs d'onde (lampe à vapeur de Mercure, lampe à vapeur de Sodium, lampe à vapeur de cadmium) l'angle minimum de déviation D_m. Compléter le tableau de valeurs :

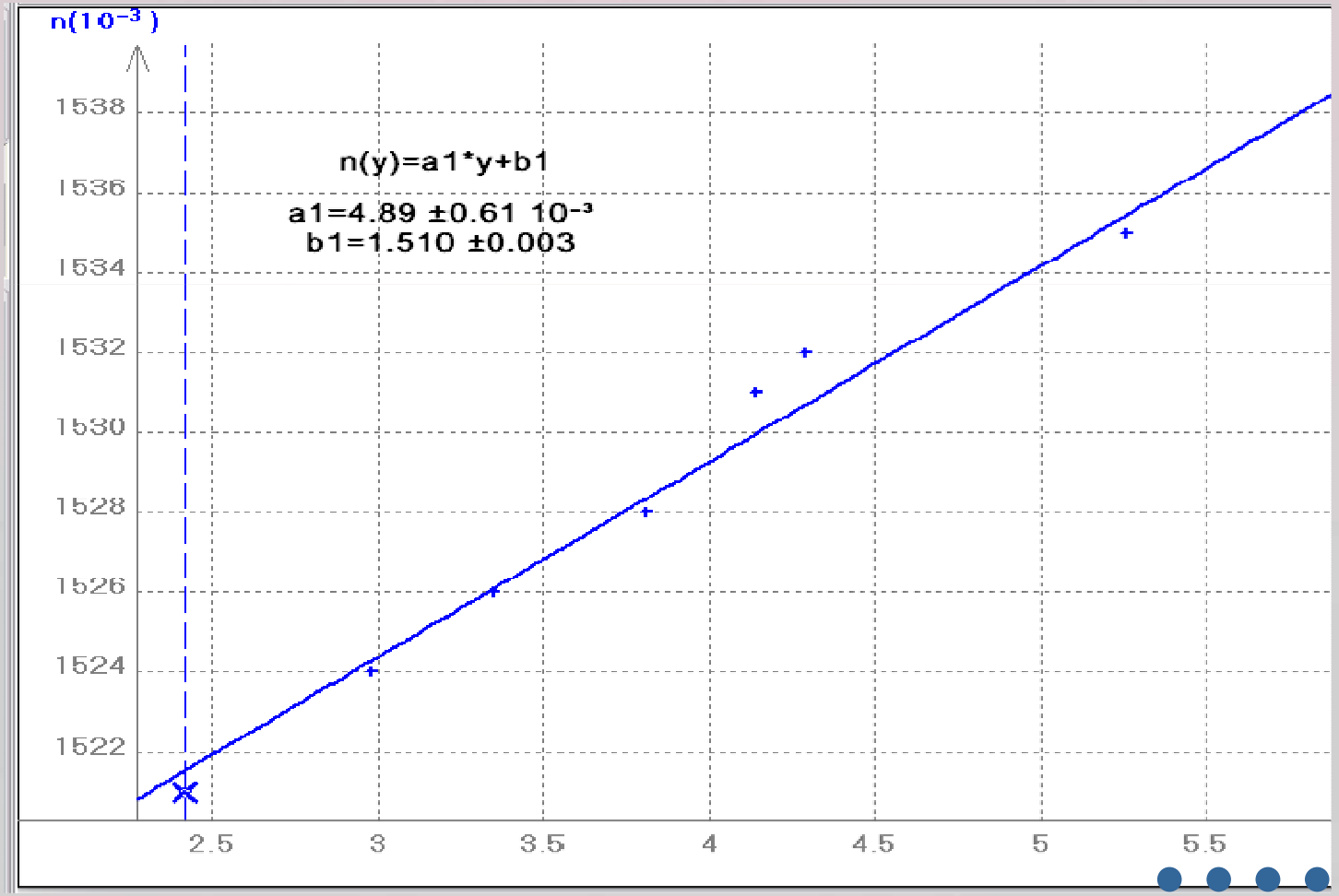
λ (nm)									
D_m (°)									
n									
$1/\lambda^2$ (nm^2)									

Tracer, en utilisant un logiciel graphique, la courbe $n=n(1/\lambda^2)$ et déterminer les constantes n_0 et B qui permettent de modéliser n sous la forme $n = n_0 + B / \lambda^2$.

Exemples de résultats expérimentaux :

λ (nm)	404,7	435,9	483	491,6	512	546,1	579	643
n	1,539	1,535	1,532	1,531	1,528	1,526	1,524	1,521
$1/\lambda^2$ (10^{-6} nm^2)	6,11	5,26	4,29	4,14	3,81	3,35	2,98	2,42

Courbe n=n(1/λ²) :



ANNEXE (Retour au goniomètre)

Les instruments fondamentaux (collimateur, lunette à réticule et viseur) du laboratoire d'optique

a – Lunette simple (à réticule) :

Remarque : pour l'utilisation correcte d'un instrument d'optique, l'œil ne doit pas accommoder (sinon, il se fatigue). Les instruments étudiés dans ce paragraphe sont utilisés pour un œil normal, qui voit net à l'infini sans fatigue (mettre des lunettes dans le cas contraire !).

Une lunette simple (ou lunette de visée à l'infini) permet de voir net des objets à l'infini : elle est constituée d'un objectif, d'un oculaire et d'un réticule.

L'objectif (lentille convergente) : il donne de l'objet observé à l'infini une image intermédiaire A_iB_i située dans le plan focal image de l'objectif.

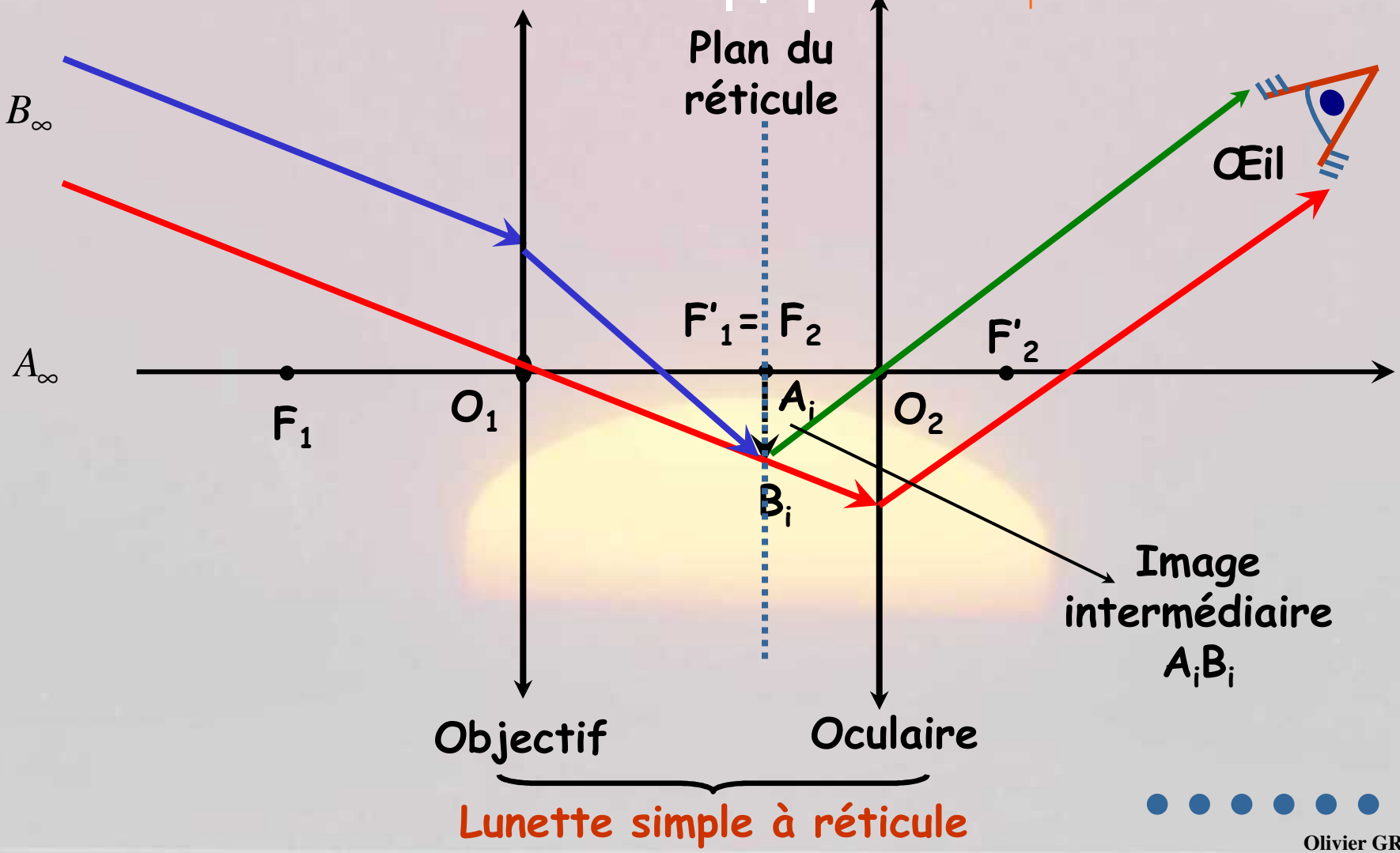
L'oculaire (lentille convergente): le plan focal objet de l'oculaire est confondu avec le plan focal image de l'objectif. Ainsi, l'oculaire joue le rôle de loupe : il donne de l'image intermédiaire A_iB_i une image droite virtuelle rejetée à l'infini, dont l'œil forme, sans accommoder, une image sur la rétine.

Le réticule : généralement constitué d'un ensemble de deux fils à angle droit, il est placé dans le plan focal image de l'objectif (confondu avec le plan focal objet de l'oculaire).

Voir figure sur la diapositive suivante

Lycée **Montesquieu**

MP - Physique



Olivier GRANIER

Lycée **Montesquieu**

MP - Physique

Réglage d'une lunette simple

Réglage de l'oculaire : régler la distance réticule-oculaire afin de voir le réticule net sans accommoder. Le réticule est alors dans le plan focal objet de l'oculaire.

Réglage de l'objectif : viser un objet à l'infini (un arbre de la cours d'honneur du lycée, par exemple). Régler la bague de tirage de l'objectif pour que l'image de cet arbre se forme dans le plan du réticule. Le plan focal image de l'objectif est alors confondu avec le réticule, donc avec le plan focal objet de l'oculaire.

Remarque : une fois la lunette réglée pour un utilisateur, si un autre utilisateur de vue différente veut la régler à sa vue, il lui suffit de modifier la distance oculaire-réticule pour avoir une image nette mais sans toucher à la distance objectif-réticule !

Olivier GRANIER

b – Viseur (ou lunette à frontale fixe) :

Un viseur est une lunette donnant une image nette d'un objet à distance finie D, caractéristique du viseur. Cette image est rejetée à l'infini et peut être récupérée par l'œil.

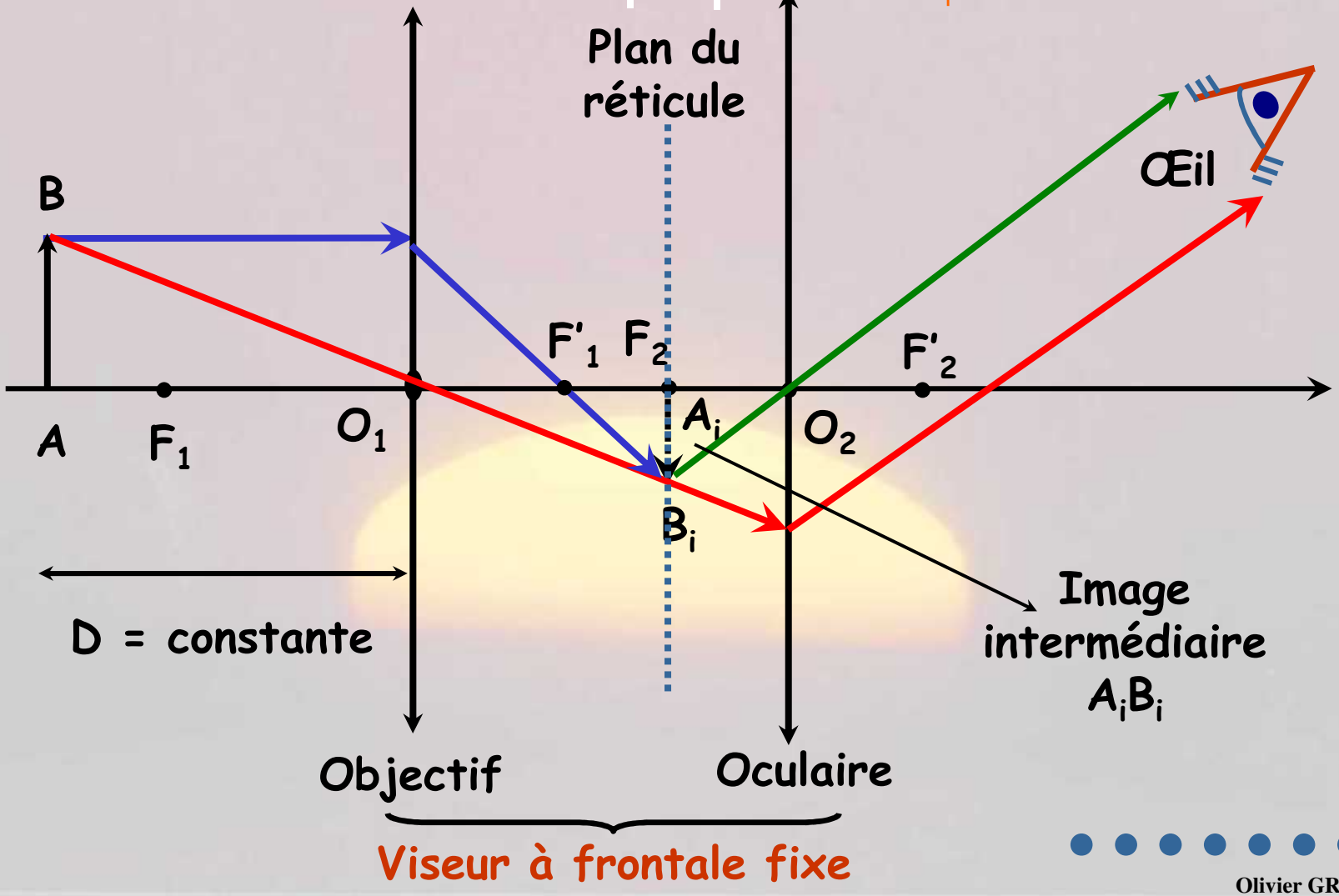
Un viseur est appelé « lunette à frontale fixe » car la distance entre l'objet et la lunette est constante et caractéristique du viseur.

On transforme une lunette simple en viseur en ajoutant, par exemple, devant l'objectif d'une lunette simple, une lentille CV additionnelle, appelée bonnette.

Voir figure sur la diapositive suivante

Lycée **Montesquieu**

MP - Physique



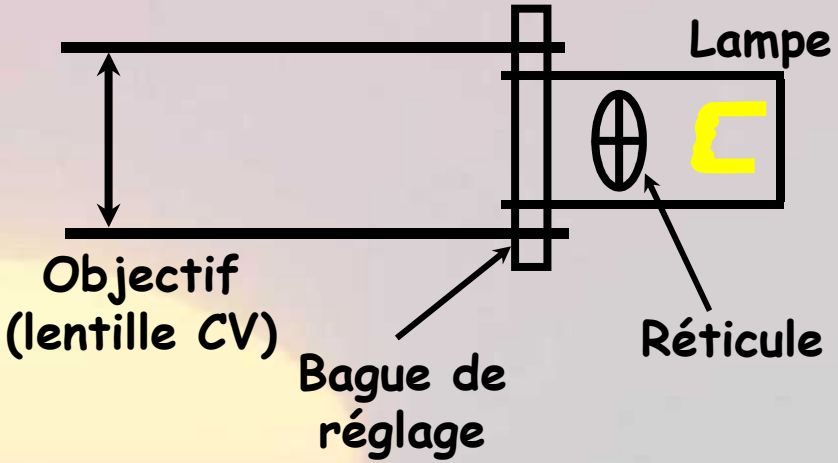
Olivier GRANIER

c – Collimateur :

Un collimateur est un système optique permettant d'obtenir une image à l'infini qui pourra, éventuellement ensuite, être visé par une lunette de visée à l'infini.

Le réticule est éclairé par une lampe. Il doit être placé dans le plan focal objet de l'objectif afin de réaliser une image à l'infini.

Pour régler le collimateur, on utilise une lunette de visée à l'infini ; l'image du réticule du collimateur doit, par le système (collimateur-lunette à l'infini), être nette.



La bague de réglage permet d'ajuster la distance (réticule-lampe) et de placer ainsi le réticule dans le plan focal objet de l'objectif.