

# LP10 : Instruments optiques

**Éléments imposés possible :** Loupe, microscope, lunette astronomique, télescope

**Niveau :** Terminale SPCL

L'étude des instruments d'optique se limite aux dispositifs constitués de lentilles et de miroirs convergents.

**Prérequis :**

- Vocabulaire optique (objet, image, axe optique) (1ere)
- Lentille convergente : foyers (1ere)
- Tracé de rayons lumineux (1ere)
- Grandissement (1ere)
- Notions de trigonométrie (cos, sin, ...)
- L'oeil (modélisation) (1ere STL)
- Diffraction (Terminale SPCL)
- Miroirs (plans ou sphériques) (Terminale SPCL)

**Difficultés :**

- Ne pas mélanger objectif/oculaire
- Ne pas confondre les foyers
- Grandissement / grossissement
- Tracer les rayons lumineux dans le cas de plusieurs lentilles

**séquence pédagogique** TD : Calcul de grandissement / Grossissement

Construction de rayons sur d'autres systèmes optique

TP : escape game choix de lentilles et fabrication de lunettes

Activité documentaire : étude d'un microscope à force atomique et comparaison avec un microscope optique.

**Objectif :**

- Savoir faire des choix de lentilles

**Bibliographie**

- Manuel Terminale SPCL [ici](#)

## Contents

<b>1</b>	<b>Voir plus grand</b>	<b>2</b>
1.1	Une solution simple : la loupe . . . . .	2
1.2	Modélisation d'un microscope . . . . .	3
1.3	Pouvoir de résolution . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Voir plus loin</b>	<b>5</b>
2.1	La lunette astronomique . . . . .	5
2.2	Le télescope . . . . .	6

## Introduction

L'année dernière on s'est intéressé au modèle de l'oeil émétrope. Cependant, l'oeil est limité lorsque l'on essaye de lire des petits symboles ou de regarder les étoiles.

Des instruments optiques nous aident à dépasser ces limites. Comment caractériser et optimiser cette aide ? C'est l'objet du cours d'ajd.

## 1 Voir plus grand

### 1.1 Une solution simple : la loupe

Si j'essaie de lire des petites inscriptions, j'ai envie de les grossir. Pour ça, on imagine dans un premier temps utiliser une lentille convergente simple. C'est le principe de la loupe.

Deux cas de figure se présentent :

- Si l'objet se trouve entre la lentille et son plan focal objet le faisceau qui émerge de la lentille ne converge pas : il ne se forme pas d'image réelle pouvant être recueillie sur un écran.

S'il est reçu par l'oeil, le faisceau qui émerge de la lentille semble provenir d'un lieu  $A'B'$  imaginaire : c'est une image virtuelle. Celle-ci est droite et agrandie. On obtient  $A'B'$  plus grand que  $AB$ .

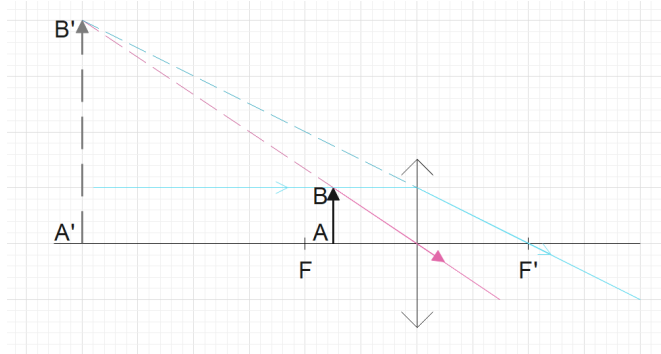


Figure 1: Loupe avec l'objet entre la lentille et le plan focal objet

Une **image virtuelle** est le lieu d'où semble provenir le faisceau qui émerge de la lentille : elle est observable à l'oeil nu mais ne peut pas être recueillie sur un écran. On voit l'image à travers la lentille.

- Si on place l'objet sur le foyer objet, l'image est à l'infini donc l'oeil n'a pas besoin d'accommoder.

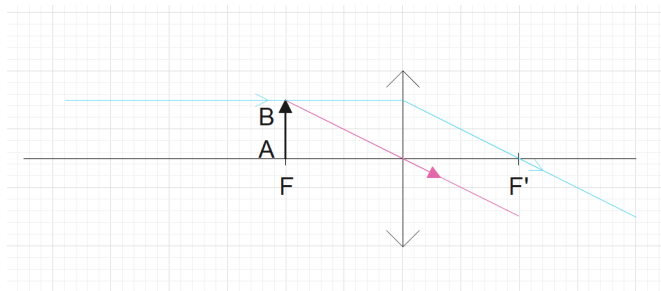


Figure 2: Loupe avec l'objet dans le plan focal objet

Ce qui nous intéresse pour qualifier la lentille est la modification du **diamètre apparent** ou **diamètre angulaire** l'angle maximal entre deux rayons issus de cet objet.

On voit alors que l'objet plus proche est vu plus grand car son diamètre apparent est plus grand.

Pour caractériser la loupe, on a besoin de comparer le diamètre apparent maximal de l'objet vu à l'oeil nu au diamètre apparent de l'objet vu à travers la loupe.

Le rapport des deux est appelé **grossissement** commercial de la loupe.

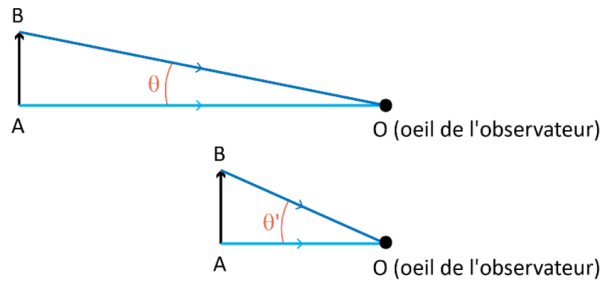


Figure 3: Définition de l'angle optique dans le cas d'un même objet à deux distances de l'œil *Manuel Terminale SPCL*

Le diamètre apparent maximal est celui observé à la distance d'observation distincte minimale  $d_m = 25$  cm. Au delà, l'accommodation est trop douloureuse.

On définit alors :

$$G = \frac{\theta}{\theta'}$$

Pour un objet à l'infini, on a  $\tan \theta' = \frac{AB}{f'} \simeq \theta'$ .

On a alors

$$G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{AB}{f'} \frac{d_m}{AB} = \frac{d_m}{f'}$$

Donc le grossissement augmente quand  $f'$  diminue. Pour la lentille, de l'ordre de 10. D'autres dispositifs permettent de voir plus grand (microscope environ 100) à voir en TD.

## 1.2 Modélisation d'un microscope

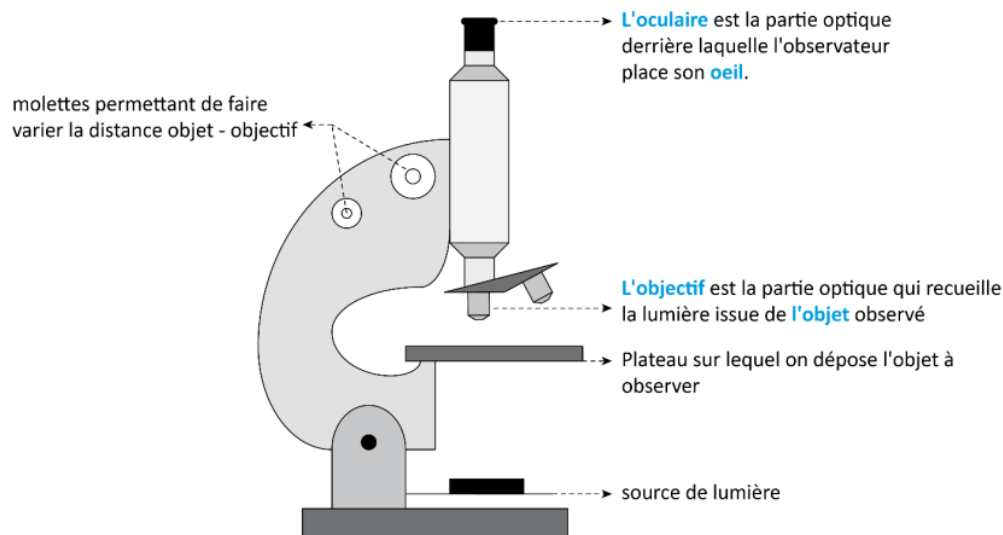


Figure 4: Schéma d'un microscope *Manuel Terminale SPCL*

L'**oculaire** est la partie optique du côté de l'œil. L'**objectif** est la partie optique du côté de l'objet.

L'image finale donnée par l'instrument optique doit être à l'infini.

Pour modéliser le microscope (Figure 5), on modélise l'**objectif** par une lentille L1 et l'**oculaire** par une lentille L2.

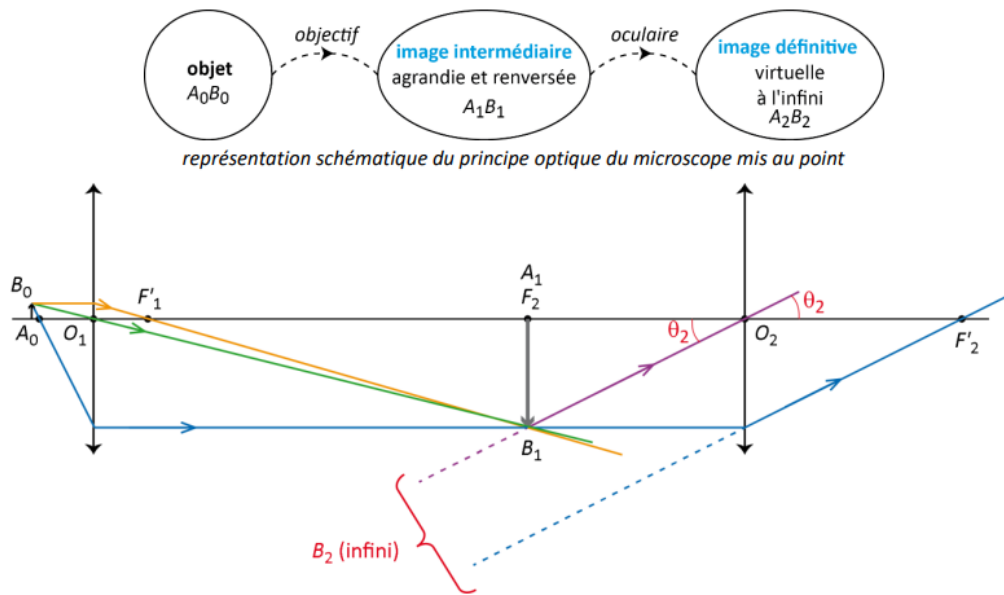


Figure 5: Modélisation d'un microscope mis au point

De la même manière que pour la loupe, on définit le **grossissement commercial**

$$G = \frac{\theta_2}{\theta_0}$$

Pour un grossissement de 100, on a un diamètre apparent 100 fois plus grand que celui observé par un oeil à la distance  $d_m$ .

Le grossissement du microscope est alors :

$$G = \frac{\theta_2}{\theta_0} \simeq \frac{A_1B_1}{f'_2} \frac{d_m}{A_0B_0} = \frac{A_1B_1}{A_0B_0} \times \frac{d_m}{f'_2} = \gamma_{objectif} \times G_{oculaire}$$

Avec  $\gamma_{objectif}$  le **grandissement** de l'objectif. C'est ce qui est écrit sur les objectifs du microscope.

Mais si l'on peut voir plus gros, il existe un moment où on est limité par les détails.

### 1.3 Pouvoir de résolution

Définition : Le **Pouvoir de résolution** d'un instrument d'optique est l'angle minimal entre deux points objet pouvant être nettement distingués.

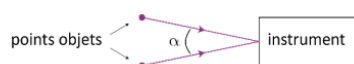


Figure 6: Représentation schématique du pouvoir séparateur d'un instrument optique *Manuel SPCL*

Pour un oeil humain, le pouvoir de résolution est en moyenne de  $3 \times 10^{-4}$  rad.

Le pouvoir de résolution est limité par le phénomène de **diffraction optique**.

On a en effet

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

avec theta l'angle du cône de diffraction,  $\lambda$  la longueur d'onde de la lumière et  $a$  le diamètre de l'ouverture.

C'est à la diffraction du faisceau lumineux à l'**entrée** de l'instrument optique que l'on s'intéresse car c'est elle qui est limitante.

Pour avoir un meilleur pouvoir de résolution, donc un pouvoir de résolution plus PETIT, on a intérêt à limiter la diffraction en augmentant la taille de l'objectif. Cependant, il existe un optimum dû au fait que les lentilles présentent des aberrations lorsqu'on s'éloigne de l'axe optique.

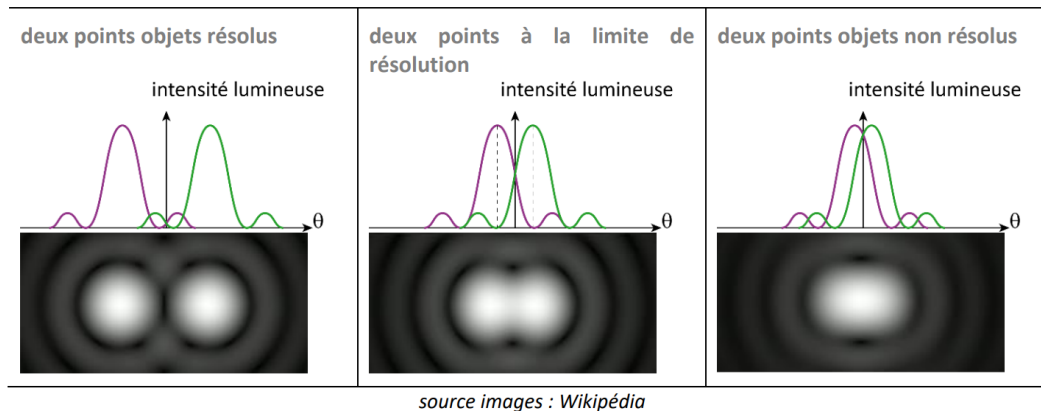


Figure 7: Forme des points objets pour définir le critère de résolution (*Manuel SPCL*)

On voit sur la figure que l'on peut distinguer les deux points dans le cas du milieu : les tâches ne se chevauchent pas de plus de la moitié de leur diamètre. Ce sera notre critère du pouvoir de résolution (critère de Rayleigh)

Grâce à cela, on peut évaluer le pouvoir de résolution théorique de l'instrument optique en ne se basant que sur ce critère de diffraction. On a alors une première approximation ne prenant pas en compte les aberrations des lentilles.

$$\theta_r = 1,22 \frac{\lambda}{a}$$

Application numérique : on prend  $a = 5,0 \text{ mm}$  et une longueur d'onde visible dans le visible, rose (éosine pour le cytoplasme) donc de  $\lambda = 500 \text{ nm}$  ce qui nous donne  $\theta_r = 1,2 \times 10^{-4} \text{ rad}$ . Pour un échantillon placé à  $1 \text{ cm}$ , on peut alors distinguer nettement deux détails séparés de  $1,2 \times 10^{-6} \text{ m}$ .

C'est donc suffisant pour observer des cellules végétales et animales par exemple. En dessous, on devra utiliser des méthodes autres qu'optiques comme le [microscope à force atomique](#), vu en analyse documentaire.

## 2 Voir plus loin

### 2.1 La lunette astronomique

Instrument optique qui permet de voir les étoiles. Développement à la fin du XVI, composé de lentilles et permet de faciliter l'observation des objets lointains. Elle a un rôle déterminant en astronomie et a permis à Copernic de valider sa thèse selon laquelle le Soleil est au centre de notre système.

Les rayons proviennent de l'infini contrairement au microscope. Le but est toujours de produire une image à l'infini, on appelle alors la lunette astronomique un [système afocal](#).

Définition : Un instrument afocal donne d'un objet à l'infini une image à l'infini.

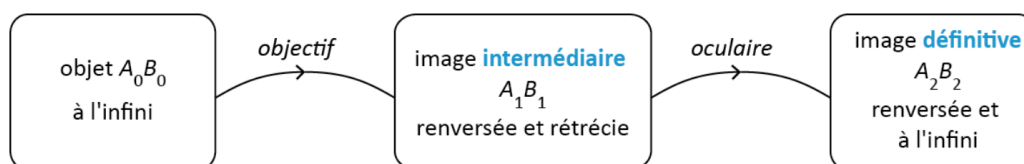


Figure 8: Principe de fonctionnement de la lunette astronomique (*manuel SPCL*)

Pour la mettre au point, on place le plan focal objet de l'oculaire  $L2$  sur le plan focal image de l'objectif. On peut alors tracer les rayons :

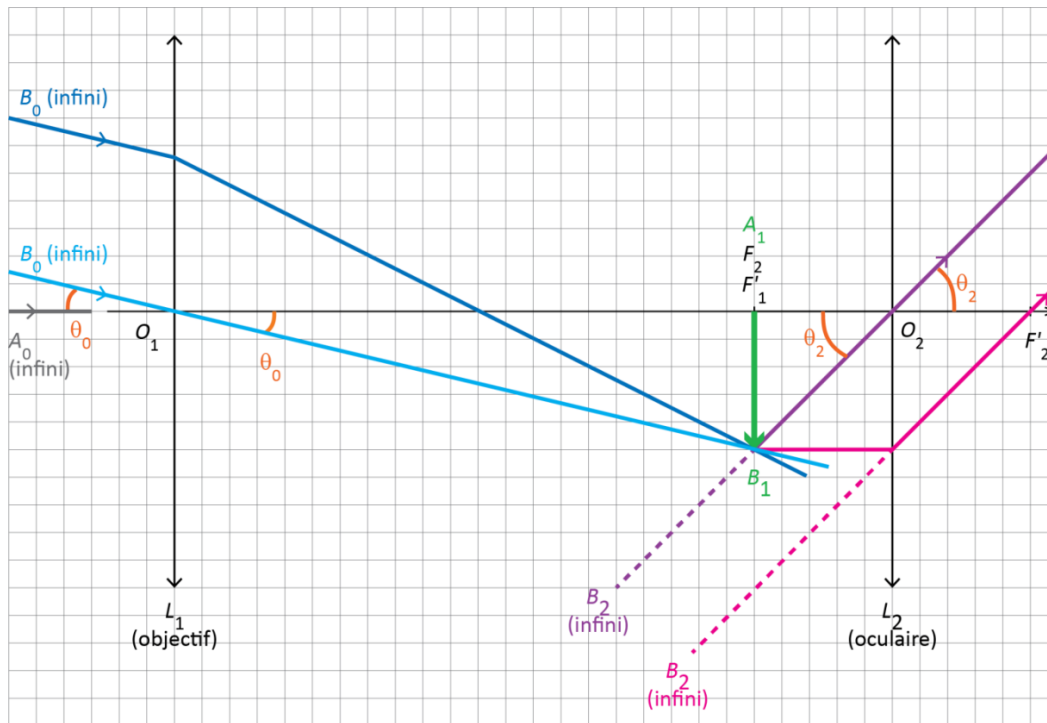


Figure 9: Tracé des rayons dans une lunette astronomique

On définit de la même manière le grossissement de la lunette.

$$G = \frac{\theta_2}{\theta_0}$$

En se plaçant dans les triangles  $O_1F'_1B_1$  et  $O_2F_2B_1$ , on obtient :

$$G = -\frac{A_1B_1}{f'_1} \frac{f'_2}{A_1B_1} = -\frac{f'_1}{f'_2}$$

donc  $G$  est toujours négatif car l'image formée est renversée et il augmente si  $f'_1 > f'_2$

**Manip : mesurons le grossissement d'une lentille** On a quatre lentilles  $L$  ( $f' = 10,0$  cm),  $L_1$  ( $f'_1 = 10,0$  cm),  $L_2$  ( $f'_2 = 5,0$  cm),  $L_3$  ( $f'_3 = 12,0$  cm).  $L$  nous permet de former l'image à l'infini,  $L_3$  nous permet de former une image réelle sur l'écran, et symbolise alors le cristallin.  $\tan \theta_0 = \frac{AB}{f'} \simeq \theta_0$   $\tan \theta_2 = \frac{A'B'}{f'_3} \simeq \theta_2$

Donc  $G = \frac{\theta_2}{\theta_0} = \frac{A'B'}{AB} \frac{f'_1}{f'_3}$  avec  $\gamma = \frac{A'B'}{AB}$  le grandissement de la lunette.

On mesure et on trouve avec les  $f'$   $G = 2$  et avec les  $AB$ ,  $G = 1,7$  et les incertitudes donnent :  $\frac{u_G}{G} = \sqrt{\left(\frac{u_{AB}}{AB}\right)^2 + \left(\frac{u_{A'B'}}{A'B'}\right)^2}$  donc avec  $G = 1,7 \pm 0,2$  ce qui explique qu'on ne soit pas dans l'intervalle de confiance c'est les incertitudes sur les distances focales.

Pour augmenter le grossissement de la lunette, on a donc intérêt à ce que la distance focale de l'oculaire soit plus petite. Mais cette diminution mène aussi à une baisse de la luminosité des images et une réduction du champ.

Pour s'affranchir de ces inconvénients, on peut mettre en place un instrument optique avec des miroirs.

## 2.2 Le télescope

L'objectif est alors un miroir convergent, l'oculaire est une association convergente de lentilles.

On définit de la même manière que pour la lunette le grossissement.

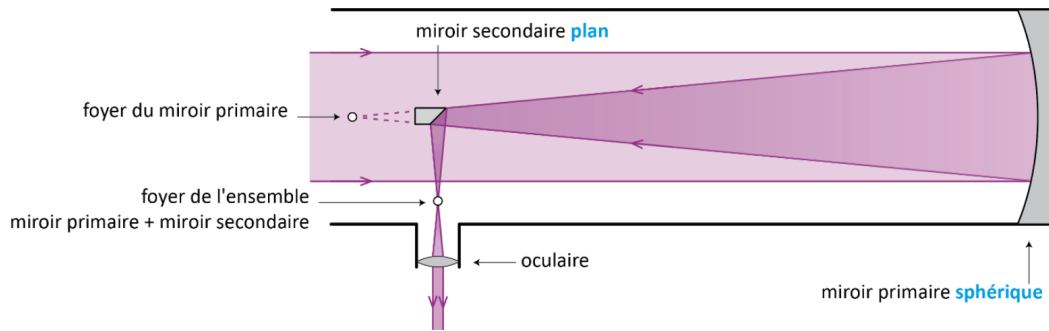


Figure 10: Trajet d'un faisceau parallèle dans le télescope de Newton

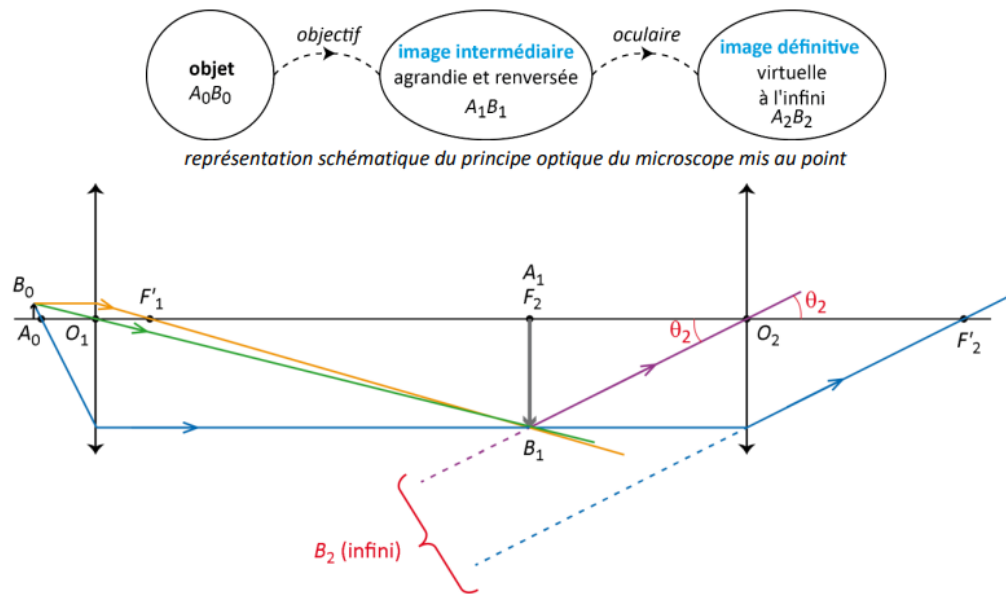


Figure 11: Tracé des rayons dans le télescope

## Conclusion

Plusieurs objets optiques nous permettent de voir des choses invisibles à l'œil nu en dépassant les limites de l'œil humain : le diamètre apparent maximal et le pouvoir de séparation de l'œil.

## Question

- Pourquoi  $d_m$  existe ? L'image doit être réelle et sur la rétine donc l'œil se rend plus ou moins convergent et en dessous d'une distance, il n'est plus capable d'accommoder. Avec l'âge, ce point s'éloigne : presbytie.
- Myopie et hypermétropie : comment corriger un œil myope ? Trop convergent donc lentille conv et pour l'autre, lentille convergente. Techniquement, permet de mettre les objets sur la rétine (myope donne objet avant la rétine). L'astigmatie vient d'un défaut de courbure donc l'image d'un point ne sera plus un point. Systèmes stigmatiques rigoureux ? Miroir plan. Hypermétropie donne l'image plus loin que la rétine donc à courte distance, difficile de lire. Presbytie : pp bouge, mais pas pr donc on met des verres progressifs.
- construction par l'image de la loupe ? Image virtuelle. Conditions de gauss ? Rayons proches de l'axe optique donc approx des petits angles. Pourquoi on se met dans les conditions de gauss ? On évite les aberrations optiques donc on reste dans des systèmes à peu près stigmatiques. Télescope pareil que la lunette ? Miroirs dedans et lentille au niveau de l'oculaire. L'objectif ici serait le miroir sphérique. Avantages du télescope par rapport à la lunette ? Pas de réfraction donc on garde bien la luminosité

## Retours

-