



# La loupe

# La loupe

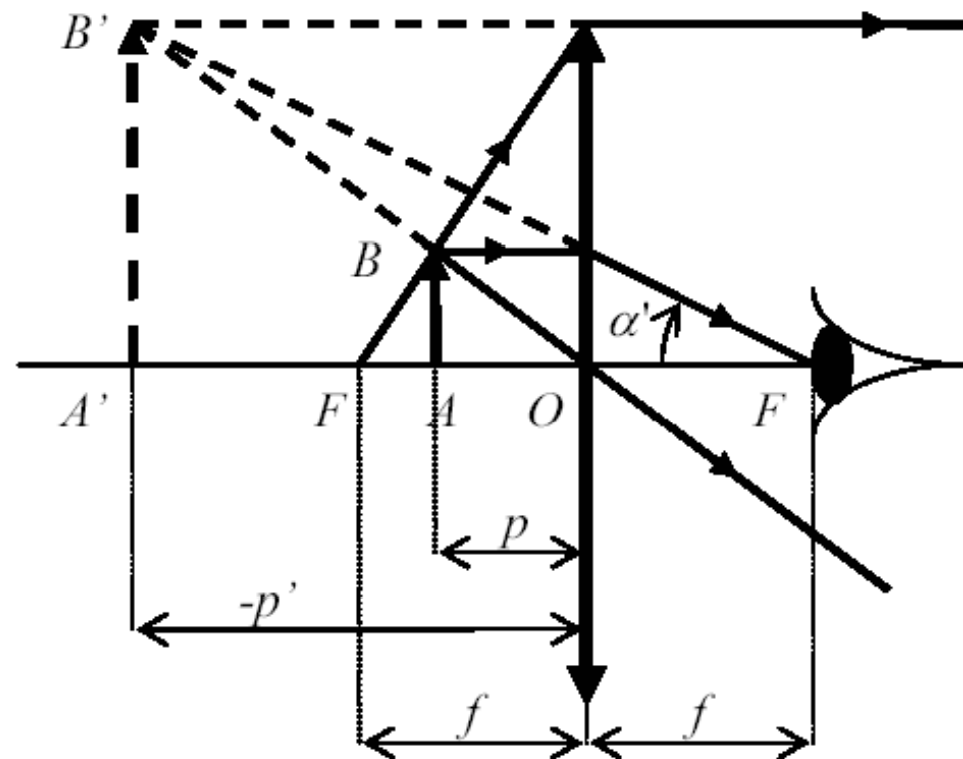
La loupe est le plus simple de tous les instruments d'optique. Elle permet de voir des détails dont le diamètre apparent est inférieur à  $3 \cdot 10^{-4}$  radians, le pouvoir séparateur de l'œil normal. Le principe est le suivant : on place l'objet à étudier entre le foyer et la loupe, puis on regarde l'image virtuelle produite par la loupe.

Supposons l'œil placé au foyer image de la loupe. L'angle sous lequel l'œil voit l'image  $A'B'$  est égal à  $\alpha' \approx AB/f$  (approximation de Gauss).

Cet angle ne dépend pas de la position de  $AB$ . Si  $AB$  est au foyer objet, l'image est rejetée à l'infini, mais l'angle sous lequel l'œil la voit est toujours égal à  $\alpha'$ .

Sans la loupe, l'angle le plus grand sous lequel l'œil peut voir l'objet  $AB$  est obtenu quand l'objet est situé au punctum proximum ( $\delta$ ).

Cet angle est égal à :  $\alpha \approx AB/\delta$ .



# Le grossissement

Le **grossissement** est le rapport des tailles **angulaires** (diamètres apparents) obtenu avec un instrument et à l'œil nu (à l'œil nu l'objet apparaîtra le plus grand quand il est placé le plus proche possible, donc au *punctum proximum*).

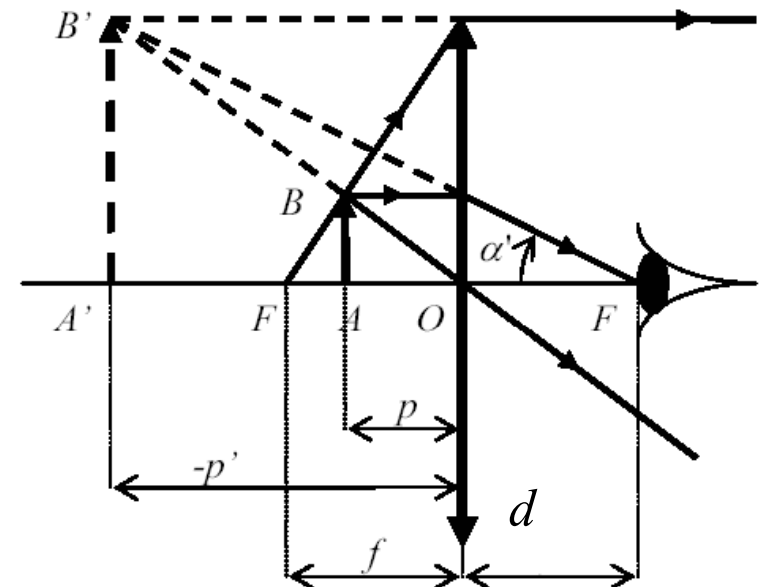
Ici, le **grossissement** angulaire est le rapport des **angles apparents** avec et sans loupe.

Si l'œil est placé au **foyer image** de la loupe on a donc:

$$G_A = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{\delta}{f}$$

$\delta$  = distance du *punctum proximum*

Le grossissement est généralement indiqué come  $G_A \mathbf{X}$  (ex. 4X pour un grossissement de 4).



# Le grossissement, cas général

Prenons:

$$L = d - p'$$

$$y_0 = AB$$

$$y_i = A'B'$$

$$D = 1/f \quad (\text{vergence de la loupe})$$

On a donc:

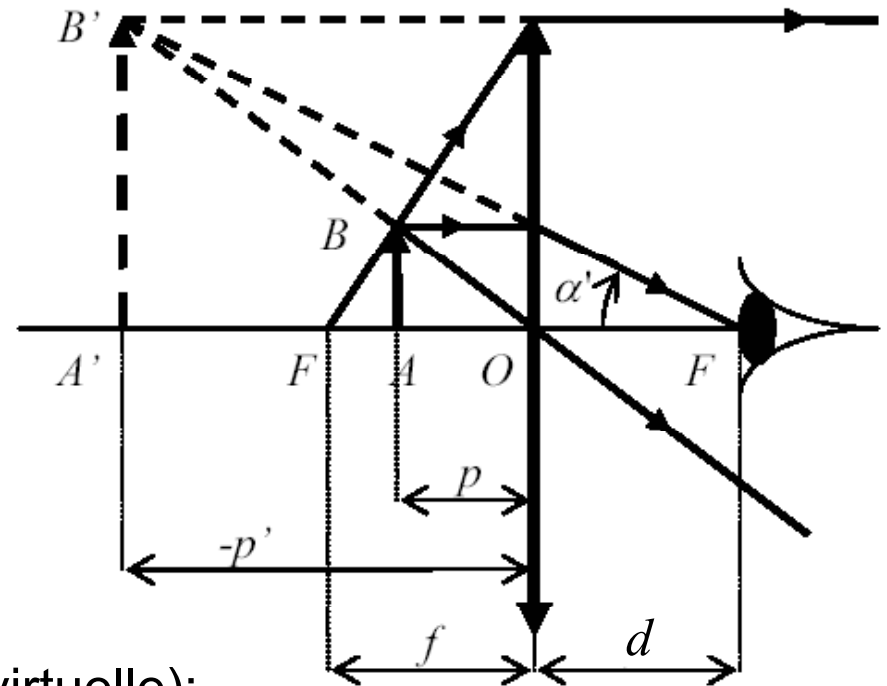
$$G_A = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{y_i}{L} \frac{\delta}{y_0} = -\frac{p'}{L} \frac{\delta}{p} = \left(1 - \frac{p'}{f}\right) \frac{\delta}{L}$$

Or, la distance image  $p'$  est négative (image virtuelle):

$$p' = -(L - d)$$

ce qui donne

$$G_A = \left[1 + D(L - d)\right] \frac{\delta}{L}$$



## Le grossissement, cas général (2)

$$G_A = \left[1 + D(L - d)\right] \frac{\delta}{L}$$

1. Si  $d = f$

$$G_A = \left[1 + D(L - f)\right] \frac{\delta}{L} = \left[1 + DL - 1\right] \frac{\delta}{L} = D\delta$$

2. Si  $d = 0$

$$G_A = \left[1 + DL\right] \frac{\delta}{L} = \delta \left[\frac{1}{L} + D\right]$$

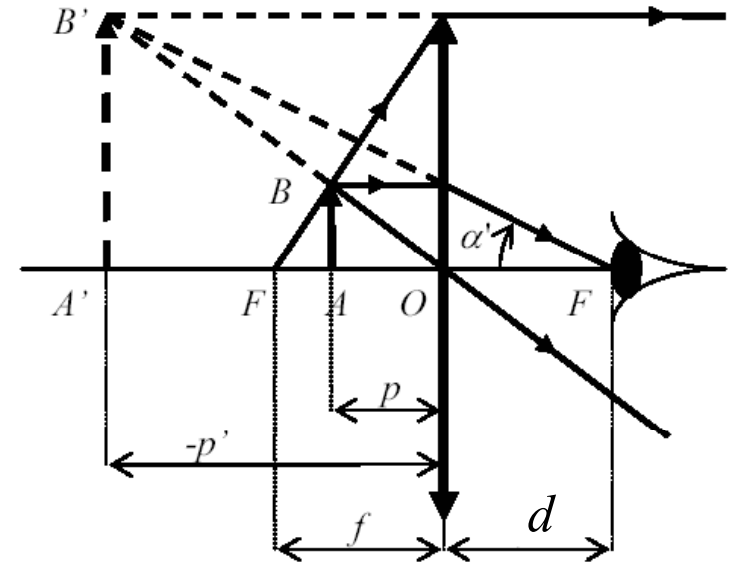
La plus petite valeur possible de  $L$  (donc le plus grand grossissement) égale à  $\delta$ , donc on a

$$G_A = D\delta + 1 = 0.25D + 1$$

3. Si  $p = f$ , et donc  $L = \infty$  :

$$G_A = D\delta = \delta / f$$

pour toute valeur de  $d$  : c'est la **situation de référence** pour spécifier les loupes et les oculaires, et aussi la plus confortable pour l'œil.



# Le grossissement commercial

Le grossissement dépend de  $\delta$  qui est pris par convention

$$\delta = 0.25 \text{ m}$$

Par exemple:

Une loupe marquée 2,5X a une focale ( $f = \delta / G_A$ ) de 0.1 m, ou 10 dioptries.

# Exercice

Un bijoutier examine un diamant de 5 mm avec une loupe de focale 25.4 mm.

Déterminer:

1. Le grossissement maximal de la loupe
2. La distance entre la loupe et le diamant dans ce cas
3. L'angle sous-tendu par le diamant vu à l'œil nu
4. Cet angle vu dans la loupe
5. Le grossissement en vision relaxée
6. La distance entre la loupe et le diamant dans ce cas

# Exercice

Une loupe est constituée par une lentille mince convergente de focale 40 mm.

L'œil de l'observateur, placé au foyer image de cette loupe, ne peut voir nettement à travers la loupe que les objets situés entre deux positions  $A_1$  et  $A_2$  de l'axe.

- Supposons l'œil représenté par une optique de focale = 24 mm et une distance d'image du PP en rapport avec celle-ci.
- Calculer la latitude de mise au point =  $A_1-A_2$  de cette loupe quand l'œil est placé au foyer image.



# Travail personnel

## Exploration du système œil-loupe

- Supposons une loupe de 100 mm de focale.
- Supposons l'œil représenté par un dioptre de focale image = 23 mm et une distance d'image du PP en rapport.

Explorons le système œil-loupe dans les cas suivants:

1. Objet lointain (à 2 m): varions la distance œil-loupe, dans quelle étendue de distances l'objet est bien visible à l'œil ?
2. Objet à 25 cm (PP): varions la distance œil-loupe
3. Loupe contre l'œil: varions la distance de l'objet
4. Œil au foyer de la loupe: varions la distance de l'objet

[http://php.iai.heig-vd.ch/~lzo/optique/exercices/loupe\\_base.xls](http://php.iai.heig-vd.ch/~lzo/optique/exercices/loupe_base.xls)



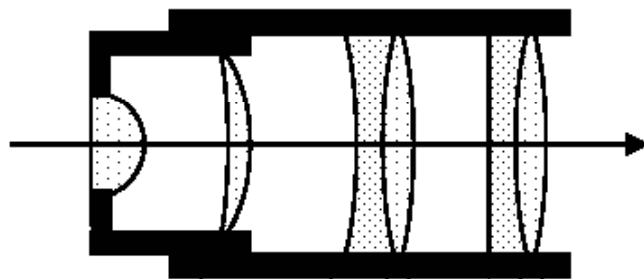


# Le microscope

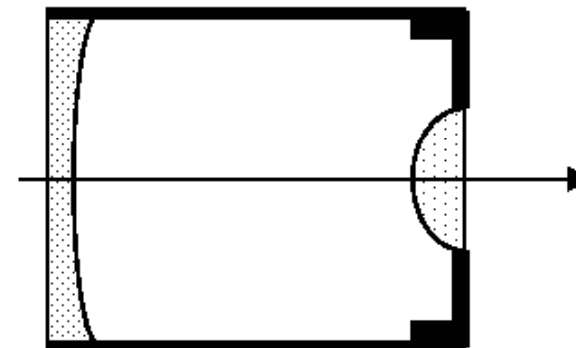
# Le microscope



Tout comme la loupe, le microscope est destiné à l'observation d'objets très petits. Le principe est le suivant : au moyen d'un premier système de lentilles très convergent, l'**objectif**, on forme une image virtuelle, de plus grand diamètre apparent, qu'on examine ensuite avec un **oculaire**, qui joue le rôle de loupe.



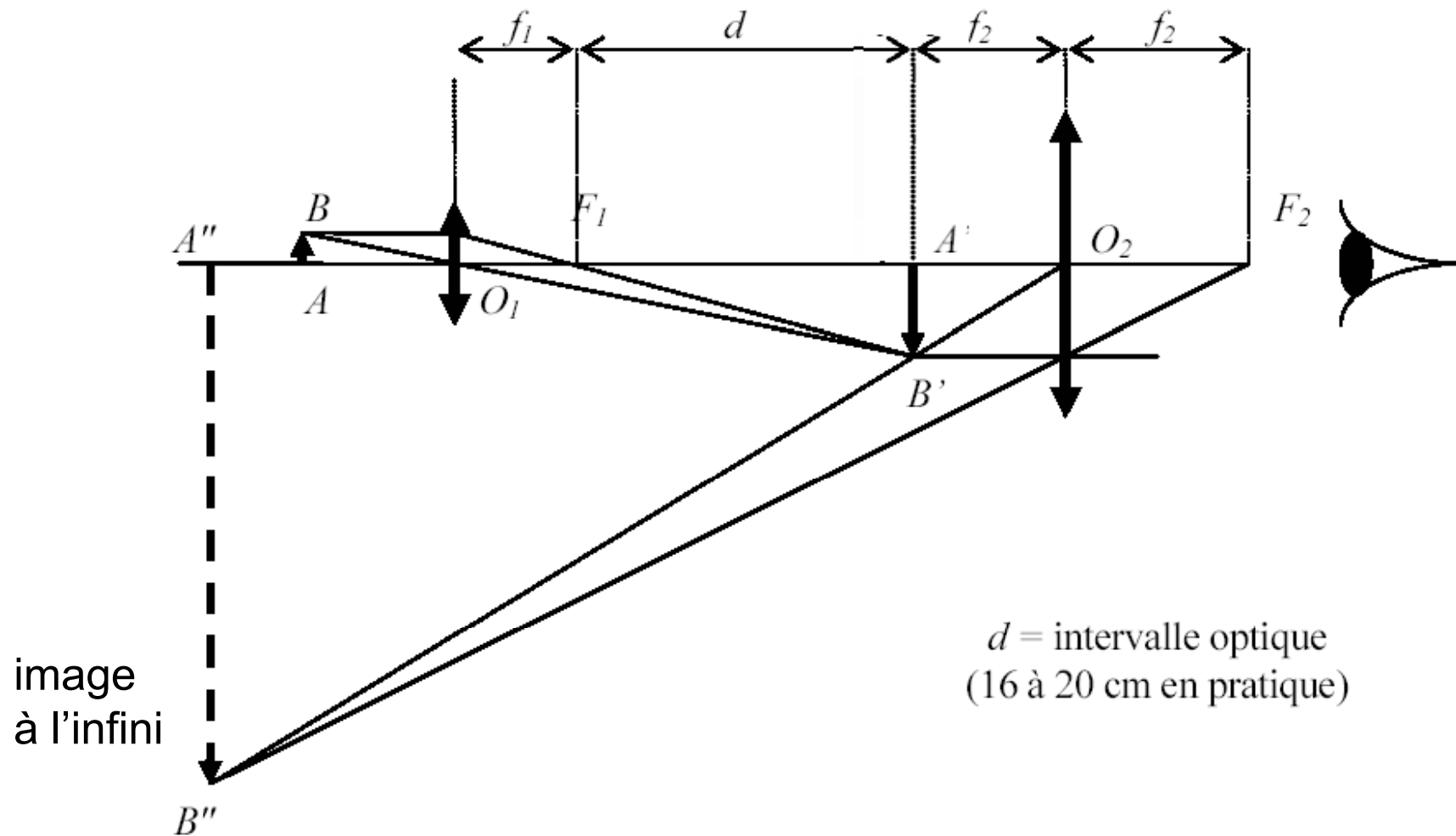
Objectif



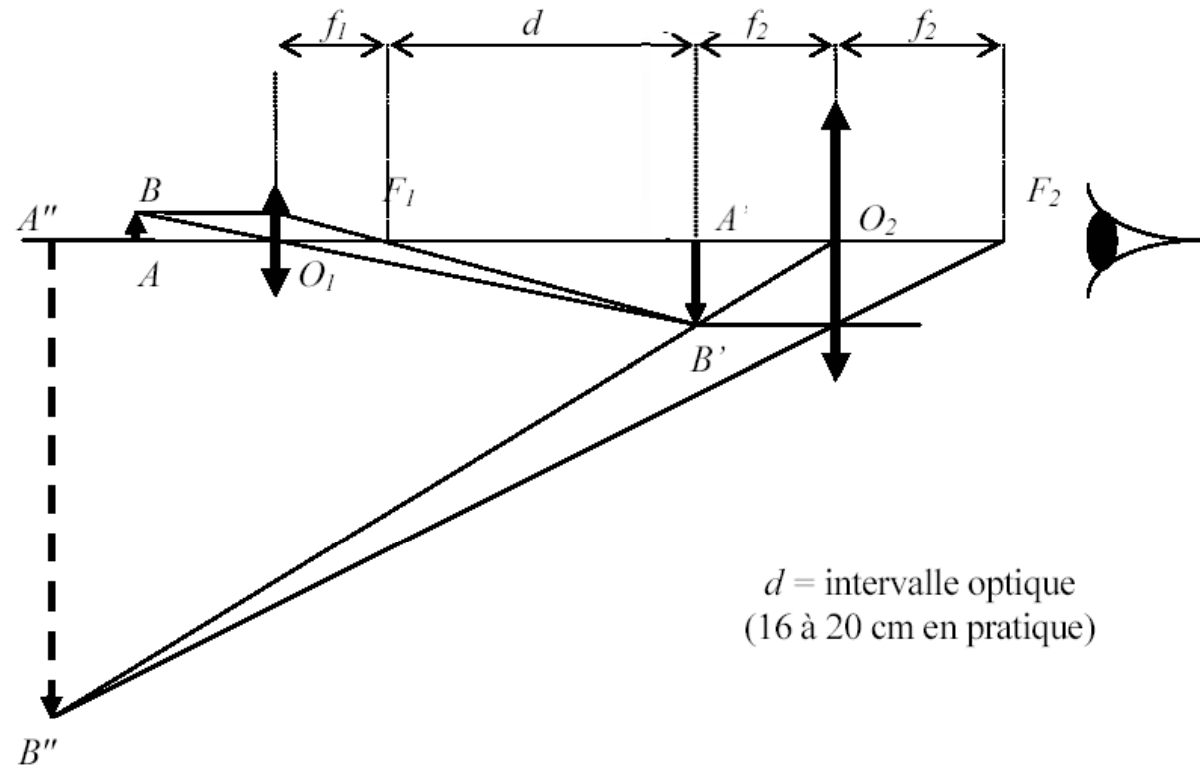
Oculaire

# Le microscope

Pour étudier le principe du microscope, nous représenterons l'objectif par une seule lentille de très courte distance focale. De même pour l'oculaire.



# L'objectif du microscope



Soit  $AB$  l'objet à observer.

L'**objectif**  $O_1$  forme une image réelle intermédiaire  $A'B'$ ,  
 $G_T$  fois plus grande, mais renversée.

## Rappel: formule de Newton (pour une lentille)

Soit  $x$  la distance de l'objet au foyer objet :

$$x = p - f$$

Soit  $x'$  la distance de l'image au foyer image :

$$x' = p' - f$$

Multiplions:

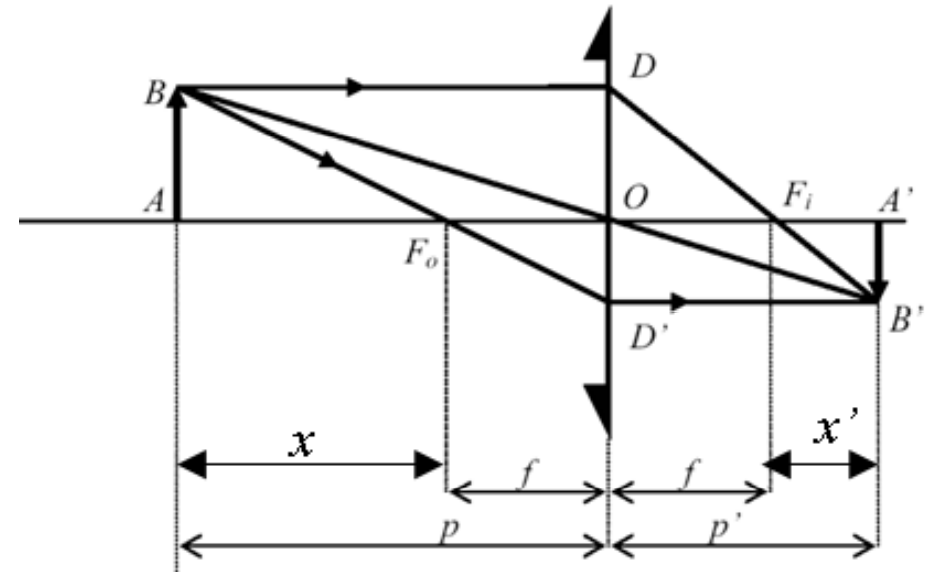
$$xx' = (p - f)(p' - f) = pp' - pf - p'f + f^2$$

Compte tenu de l'équation de Gauss ( $pp' - pf - p'f = 0$ )  
on obtient la formule de Newton (pour les lentilles)

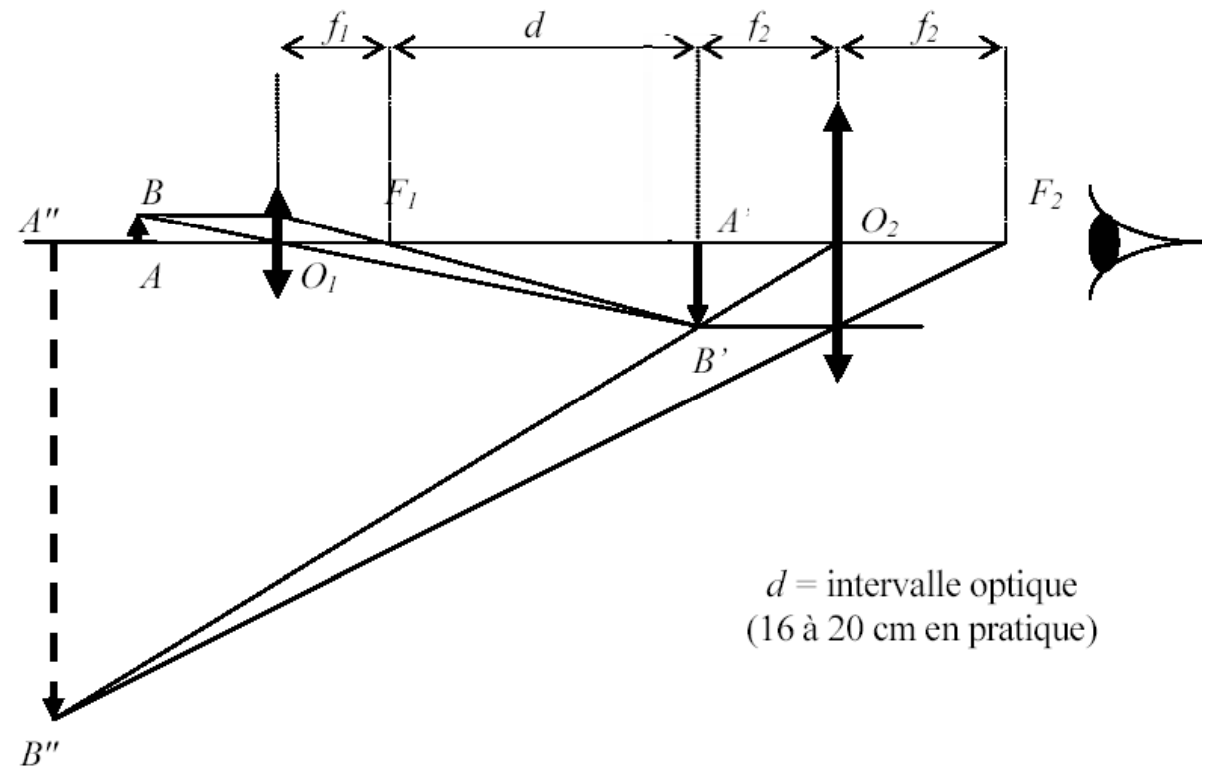
$$xx' = f^2$$

Ce qui donne aussi pour le grandissement

$$G = \frac{f}{p - f} = \frac{f}{x} = -\frac{x'}{f}$$



# Grandissement de l'objectif du microscope



On a donc pour le grandissement latéral de l'objectif

$$G_L = -\frac{d}{f}$$



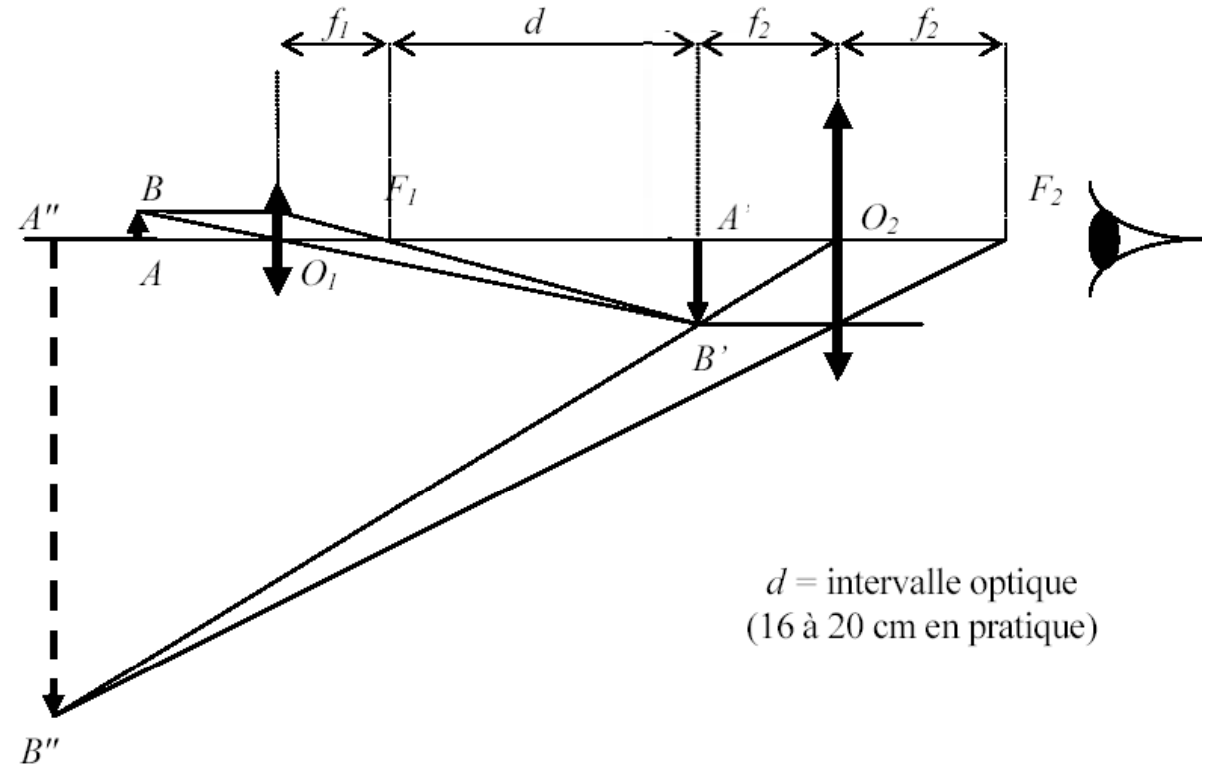
# L'oculaire du microscope

L'**oculaire**  $O_2$  sert de **loupe** pour observer l'image intermédiaire  $A'B'$ .

Dans le cas où  $A'B'$  est au foyer objet de l'oculaire, l'image finale  $A''B''$  est rejetée à l'infini.

Le **grossissement standard** (angulaire) de l'oculaire est égale à

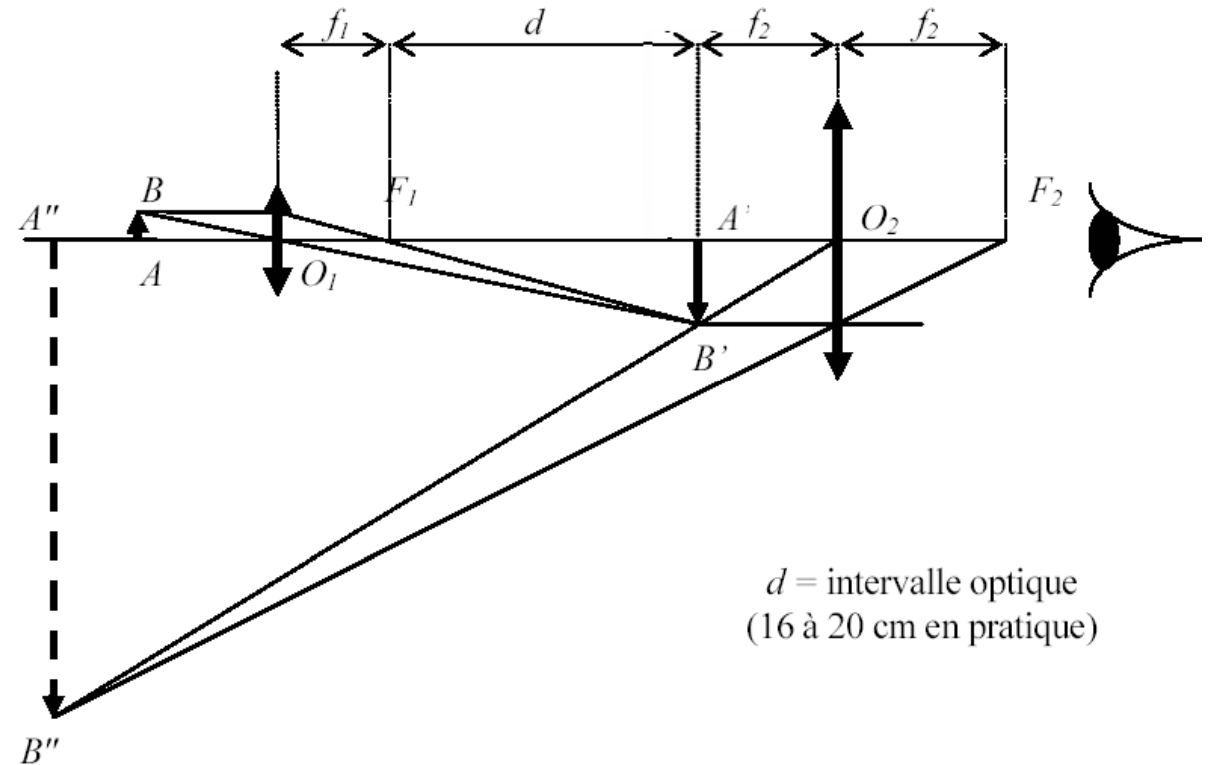
$$G_A = \frac{\delta}{f_2}$$



# Le grossissement du microscope

Le grossissement du microscope est donc le grandissement  $G_T$  de l'objectif fois le grossissement angulaire  $G_A$  de l'oculaire.

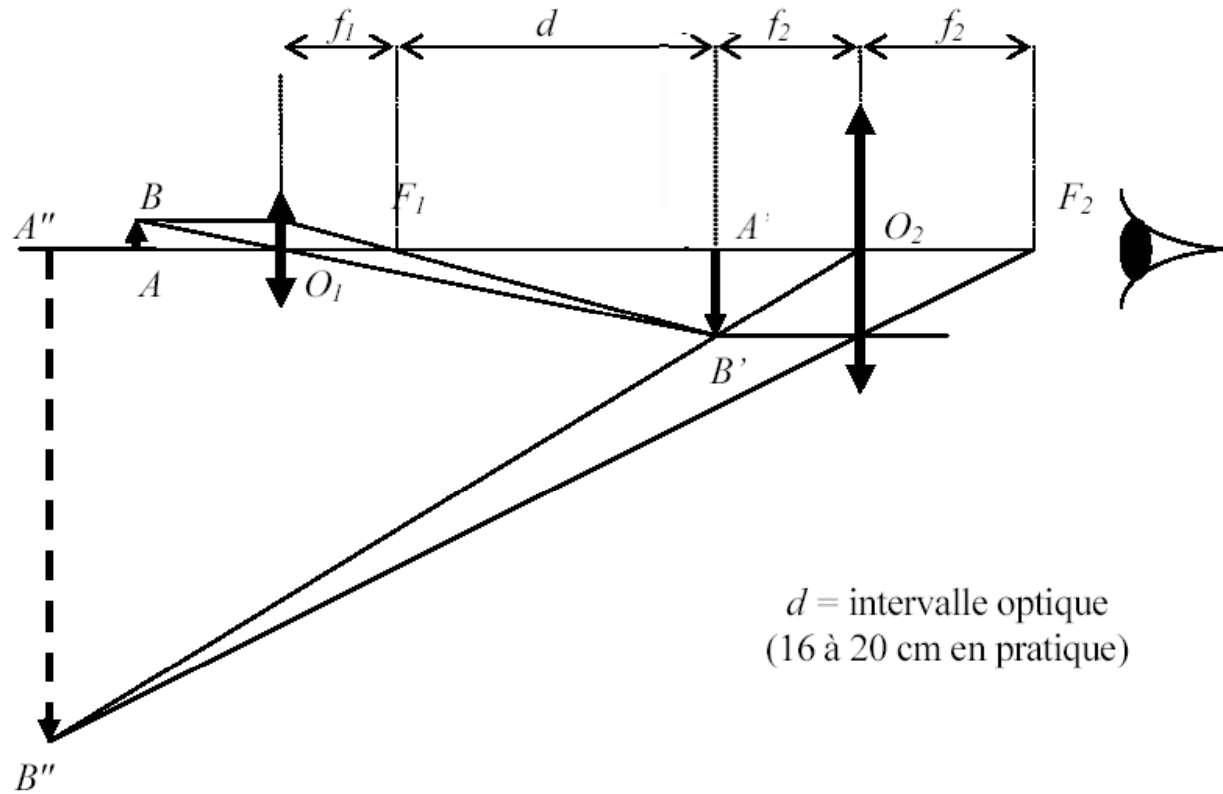
$$G_{microscope} = G_L \cdot G_A = -\frac{d}{f_1} \cdot \frac{\delta}{f_2}$$



Généralement on réalise ce calcul en valeur absolue, pour avoir toujours un grossissement positif.

$$G_{microscope} = G_L \cdot G_A = \frac{d}{f_1} \cdot \frac{\delta}{f_2}$$

# Puissance du microscope



$d$  = intervalle optique  
(16 à 20 cm en pratique)

$$P_{\text{microscope}} = \frac{G_{\text{microscope}}}{\delta} = \frac{d}{f_1 \cdot f_2}$$

[dioptries] = vergence (=  $1/f$ ) du microscope

# Grossissement commercial du microscope

Le grossissement commercial correspond a  $\delta = 25 \text{ cm}$

Il est donné comme une valeur positive

Par exemple si

- l'objectif indique 5x
- l'oculaire indique 10x

Le microscope a un grossissement de 50x

# Exercice

On a un microscope avec:

$$f_1 = 5 \text{ mm}$$

$$f_2 = 20 \text{ mm}$$

$$d \text{ (intervalle optique)} = 160 \text{ mm}$$

Calculez

- le grossissement et la puissance
- la position de l'objet pour une observation
  - à l'infini (œil normal)
  - par une personne myope avec  $PR = 10 \text{ cm}$



# Travail personnel

Etudier les chapitres du polycopié:

- « Loupe »
- « Microscope »