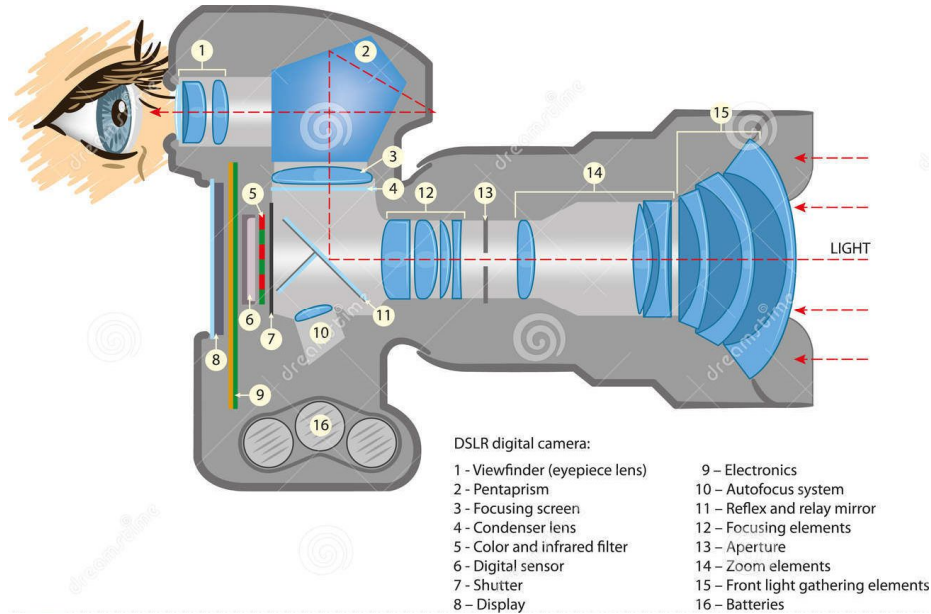


Instruments d'optique

(Optical instrument)

Exemple : appareil photo numérique



En général, un **instrument d'optique** est un système optique formant une *image* d'un *objet* ; il est alors constitué de l'association de plusieurs systèmes optiques (*objectif* et *oculaire*).

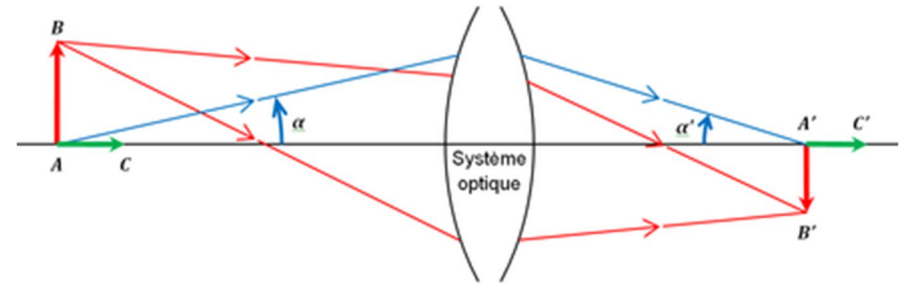
Il existe des instruments dont le but n'est pas de former des images, ce sont les instruments destinés au « transport » de l'énergie lumineuse comme les phares, les miroirs des centrales solaires ou la fibre optique.

Un **objectif** (*objective*) est un système optique constitué d'un ensemble de lentilles. L'objectif forme le premier élément de l'instrument d'optique : il *reçoit les rayons lumineux émanant de l'objet* (d'où l'origine du mot). **L'objectif forme une image réelle de l'objet observé** (dans son plan focal image puisque l'objet est à l'infini).

Un **oculaire** (*Eyepiece*) est un système optique utilisé dans les instruments tels que les microscopes ou les télescopes pour agrandir l'image produite par l'objectif. Un oculaire est en fait une *loupe* perfectionnée fournissant une *image finale à l'infini*, c'est-à-dire une image nette sans accommodation de l'œil, et avec le moins d'aberrations optiques possible.

Note : en rouge, tout ce qu'il faut mémoriser (vocabulaire, définitions, relations, démonstrations...)

Relations et définitions



<https://fr.wikipedia.org/wiki/Grandissement>

Il existe plusieurs grandissements (*magnification*) (cf. schéma ci-dessus pour les notations) :

- le **grandissement transversal** $\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{\text{taille image}}{\text{taille objet}}$ (algébrique) ;
- le grandissement angulaire $g = \frac{\alpha'}{\alpha}$ (algébrique).

Lentilles minces dans les conditions de Gauss

Relations de Descartes (origine au centre) (*thin lens formula*)

Relation de conjugaison (relation entre positions) :
$$-\frac{1}{OA} + \frac{1}{OA'} = \frac{1}{OF'} = \frac{1}{f'} = V$$

Relation de grandissement (permet de calculer γ) :
$$\gamma = \frac{OA'}{OA}$$

Comprendre :

- ✓ la relation de conjugaison permet de calculer OA' connaissant OA et f' .
- ✓ la relation de grandissement permet de calculer γ à partir de OA' et OA ;
- ✓ la définition du grandissement permet de calculer $A'B'$ à partir de γ et AB .

Relations de Newton (origine aux foyers) (*Newtonian form of thin lens formula*)

Relation de conjugaison (relation entre positions) :
$$\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = \overline{ff'} = -f'^2$$

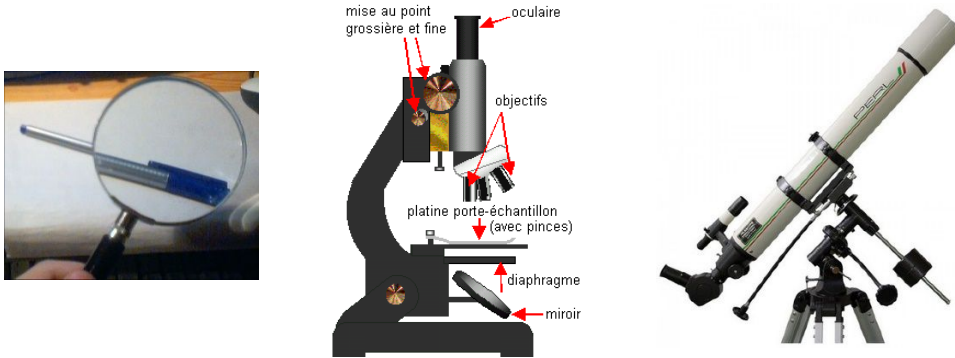
Relation de grandissement (permet de calculer γ) :
$$\gamma = -\frac{f}{FA} = -\frac{\overline{F'A'}}{f'}$$

Méthode : choisir Descartes ou Newton mais *ne pas mélanger les relations* de ces deux jeux de formules !

Instruments d'optique : classification

On distingue deux familles d'instruments d'optique :

- ✓ les **instruments oculaires** donnent d'un objet une **image finale virtuelle** observée par l'**œil** (loupe, microscope, lunette) et sont caractérisés par leur **grossissement** ou leur **puissance** (car la taille de l'image finale ne peut pas être mesurée puisqu'elle est virtuelle, le grandissement n'est donc pas la grandeur pertinente).



- ✓ les **instruments objectifs** ou de **projection** donnent d'un objet une **image réelle** reçue sur un **écran** (rétroprojecteur), un **film** photographique ou un **capteur CCD** (appareil photo, caméscope, webcam) et sont caractérisés par leur **grandissement** (pertinent puisque l'image finale est réelle).



Résumé :

| Instrument | Image finale | Observation | Caractérisé par |
|--------------------------|--------------|---------------|--|
| Oculaire | Virtuelle | Œil | Grossissement G Puissance \mathcal{P} |
| Objectif (de projection) | Réelle | Ecran/capteur | Grandissement γ |

Instruments d'optique : caractéristiques

Grossissement (magnification)

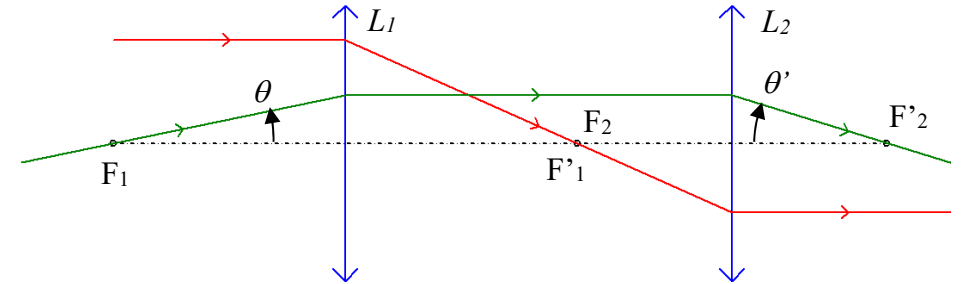
Le **grossissement** d'un instrument d'optique **afocal** est défini en *optique paraxiale* par :

$$G = \frac{\theta'}{\theta} \quad \text{où } \theta' \text{ est le l'angle sous lequel est vue l'image de l'objet à travers l'instrument et}$$

θ l'angle sous lequel il est vu à l'œil nu (cf. paragraphe sur l'œil ci-dessous).

Ces grandeurs ne sont pas caractéristiques de l'instrument tout seul : elles dépendent des positions de l'objet et de l'observateur par rapport à l'instrument.

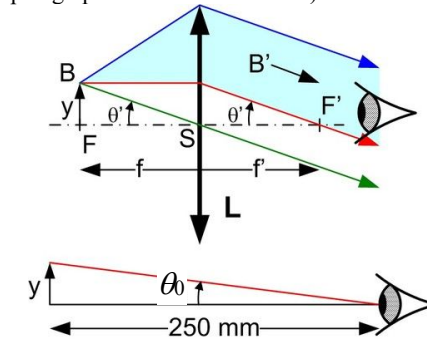
Systèmes afocaux (exemple ci-dessous) : montrer que $G = -\frac{f_1'}{f_2}$ et $\gamma = -\frac{f_2'}{f_1}$



Rq : dans ce cas (système afocal, objet à l'infini $G = g$).

Le **grossissement commercial** d'un système optique **focal** est $G_C = \frac{\theta'}{\theta_0}$, il est défini pour

une image vue au PR à travers l'instrument et un objet vu au PP à l'œil nu pour l'œil normal ($d_m = 25$ cm) (cf. paragraphe sur l'œil ci-dessous).



Puissance (optical power)

La **puissance** d'un instrument en *optique paraxiale* est définie par :

$$\mathcal{P} = \left| \frac{\theta'}{AB} \right| \quad \text{où } \theta' \text{ est l'angle sous lequel est vue l'image de l'objet à travers l'instrument et}$$

AB la taille de l'objet. Elle se mesure en **dioptries**.

Si l'image est à l'infini, on parle de **puissance intrinsèque**.

L'œil

Lire <https://femto-physique.fr/optique/instruments.php>

Lire le texte correspondant aux deux premiers schémas : <https://www.gatinel.com/recherche-formation/acute-visuelle-definition/acute-visuelle-resolution-et-pouvoir-separateur-de-loeil/>

Reproduire ci-dessous le 1^{er} schéma du site du Dr Gatinel :

Retenir : ordre de grandeur du **pouvoir séparateur de l'œil** $\approx 1' = 1/60^\circ$.

Regarder la **vidéo** « Œil » sur beharelle.fr (Optique géométrique).

Loupe (Magnifying glass)

La loupe permet d'obtenir d'un objet proche une image virtuelle agrandie (elle permet également d'augmenter le pouvoir séparateur de l'œil).

Elle est généralement constituée d'une lentille convergente mince ou *épaisse*.

Lire <https://femto-physique.fr/optique/instruments.php>

La puissance intrinsèque d'une loupe assimilée à une lentille mince est sa vergence :

$$\mathcal{P}_i = \frac{1}{f'} = V \text{ en dioptries.}$$

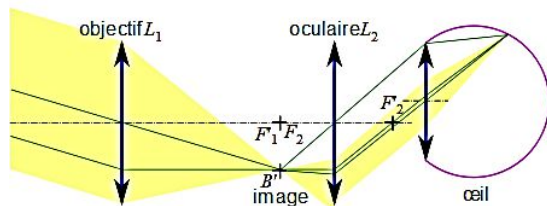
Justifier ce résultat à l'aide de la définition de la puissance et du site femto-physique (lien ci-dessus).

Lunette astronomique (refracting telescope)

Une lunette est constituée d'un objectif convergent L_1 de grande distance focale (quelques mètres) et d'un oculaire L_2 dont le foyer objet coïncide avec le foyer image de l'objectif. C'est

donc un instrument afocal caractérisé par son grossissement $G = -\frac{f_{Ob}'}{f_{Oc}'}$.

La lunette donne des objets une image renversée (peu gênant pour l'observation des astres).



Regarder la **vidéo** « Lunette astronomique » sur beharelle.fr (Optique géométrique).

Lunettes terrestres (Magnifying glass)

La longue-vue ou lunette terrestre ou les jumelles fournissent une **image droite** d'un objet (contrairement à une lunette astronomique).

La **lunette de Galilée** utilise un *oculaire* assimilable à une *lentille divergente* afin de redresser l'image.

Les autres systèmes utilisent un redresseur assimilable à une lentille convergente placée entre l'objectif et l'oculaire.

Facultatif : regarder la **vidéo** « Lunette de Galilée » sur beharelle.fr (Optique géométrique).

Microscope

Un microscope comprend deux systèmes optiques importants :

- **l'objectif**, placé près de l'objet à examiner, à une distance de l'ordre du millimètre. Ce système est construit de façon à être stigmatique et aplanétique pour cet objet *bien qu'il ne fonctionne pas dans l'approximation de Gauss* (objet très proche de la première lentille donc grand champ angulaire ; il faut alors corriger les aberrations géométriques). L'objectif est constitué de plusieurs lentilles (dont certaines ne sont pas minces).
- **l'oculaire**, placé devant l'œil est utilisé comme une loupe.

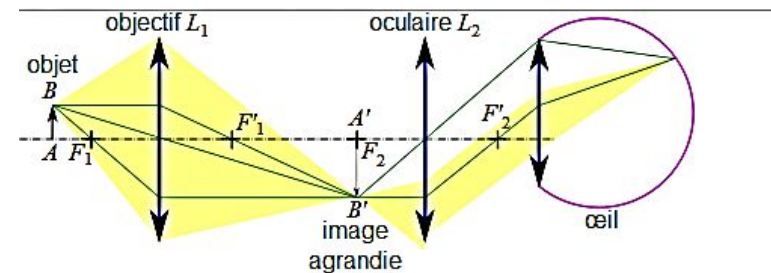
L'ensemble {objectif - oculaire} peut se déplacer par rapport à l'objet examiné à l'aide d'une crémaillère commandée par un bouton de mise au point rapide et un bouton micrométrique.

L'objet, placé entre une lame porte - objet et une lamelle couvre - objet, est posé sur la platine percée de façon à être éclairé.

Le microscope donne une image virtuelle agrandie à l'infini d'un objet à distance finie.

Le grossissement commercial G_C^{Mi} du microscope est donné par la formule : $G_C^{Mi} = |\gamma^{Ob}| \times G_C^{Oc}$

où γ^{Ob} est le grandissement transversal de l'objectif et G_C^{Oc} le grossissement commercial de l'oculaire.

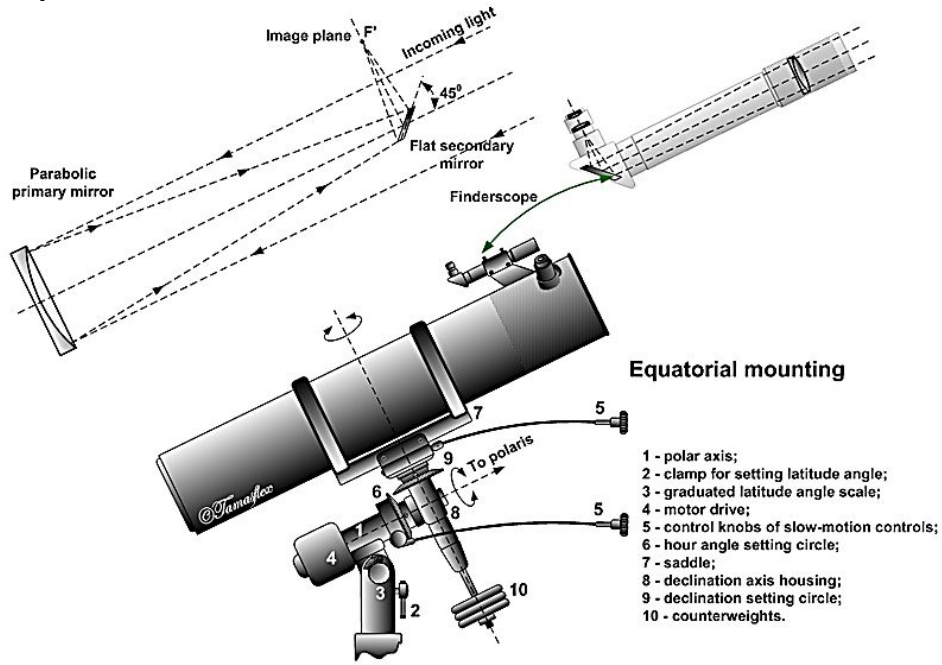


Regarder la **vidéo** « Microscope » sur beharelle.fr (Optique géométrique) (calcul du grossissement facultatif).

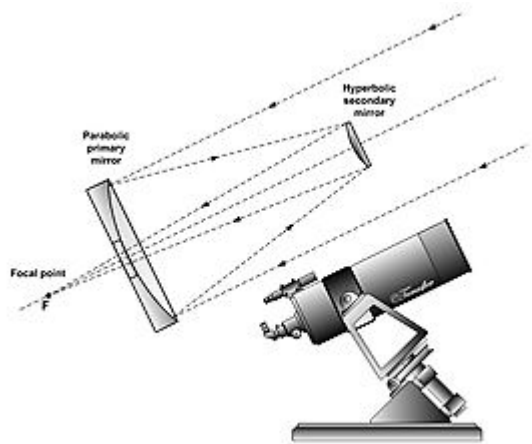
Télescope (reflecting telescope)

Dans un **télescope**, l'objectif est remplacé par un miroir (qui est dépourvu d'aberrations chromatiques).

Télescope de Newton :



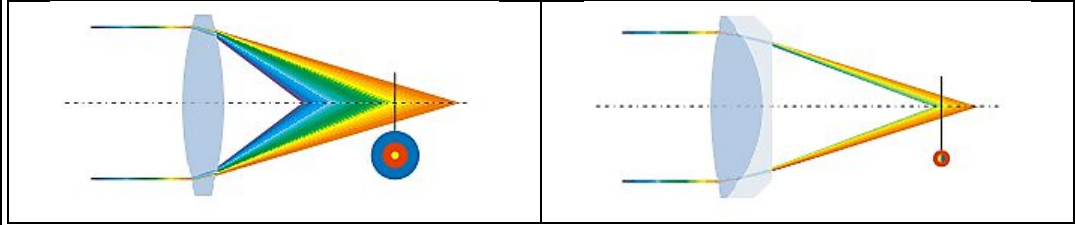
Télescope de Cassegrain :



Images de cette page : wikipédia

Aberrations (optical aberrations)

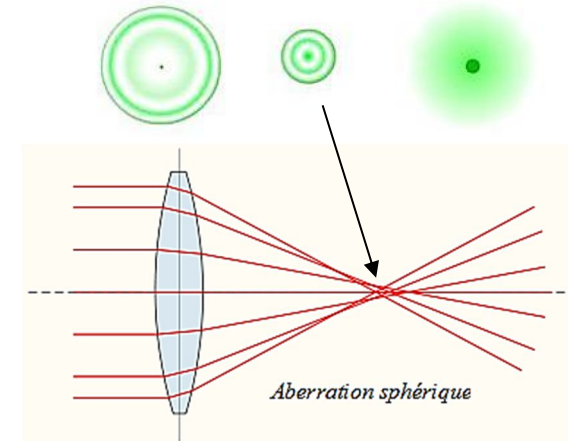
Aberration chromatique



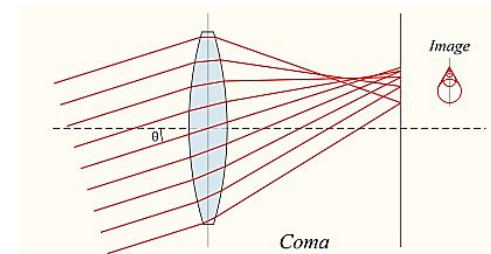
Aberrations géométriques

Aberration sphérique

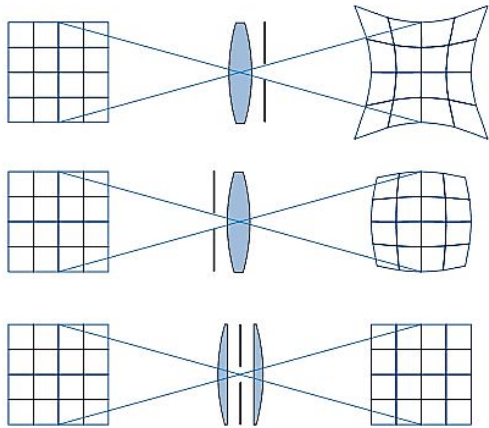
Foyer marginal Meilleur foyer (au sens de la moindre diffusion) Foyer paraxial



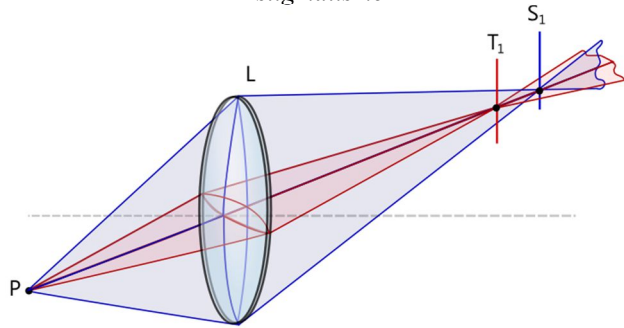
Aberration de coma



Distorsion



Astigmatisme



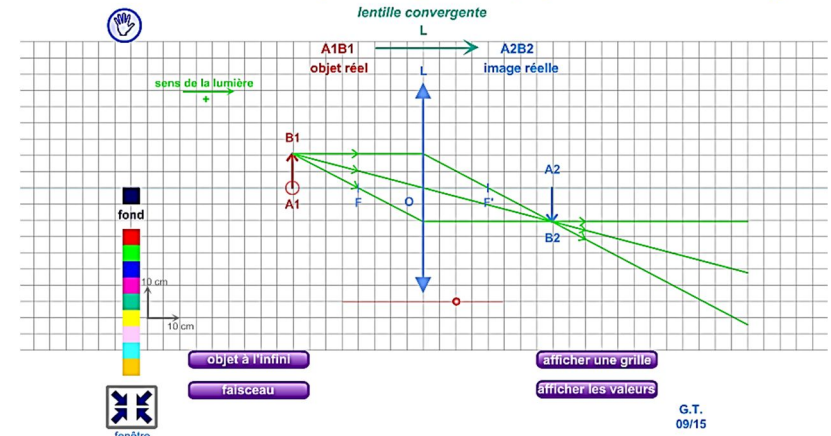
Sources :

- http://fr.wikipedia.org/wiki/Aberrations_des_lentilles_optiques
- http://en.wikipedia.org/wiki/Spherical_aberration
- http://fr.wikipedia.org/wiki/Distorsion_%28optique%29
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Astigmatism>

Réviser les constructions en manipulant

Entraînez-vous à effectuer des constructions et vérifiez vos résultats en utilisant l'applet ci-dessous (déplacez les points A1, B1 ou la lentille avec la souris et modifiez la focale avec le curseur) :

http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tullou/optiqueGeo/lentilles/lentille_mince.php



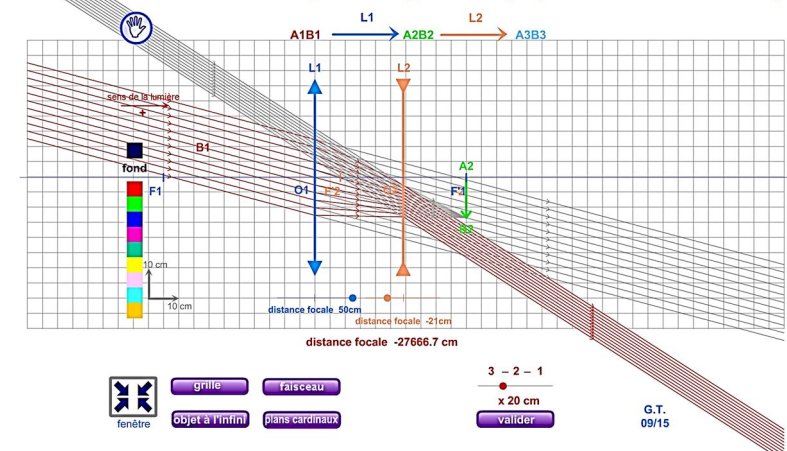
Vous voulez de l'aide pour les constructions ? Vous trouverez des tutoriels pas à pas ici :

http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tullou/optiqueGeo/lentilles/index.php

Comprendre les instruments d'optique en manipulant

Construisez une lunette astronomique, une lunette de Galilée, un microscope en manipulant l'applet ci-dessous (même principe que la précédente) :

http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tullou/optiqueGeo/lentilles/doublet.php



Autres applets intéressantes (aberrations chromatiques...) :

http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tullou/optiqueGeo/lentilles/index.php