

TRAVAIL PRATIQUE No. 4B:

Focométrie

La focométrie consiste en la détermination expérimentale de la distance focale d'une lentille optique.

Parmi les diverses méthodes focométriques on peut citer:

- la méthode de Bessel pour déterminer la focale d'une lentille convergente;
- la méthode d'autocollimation;

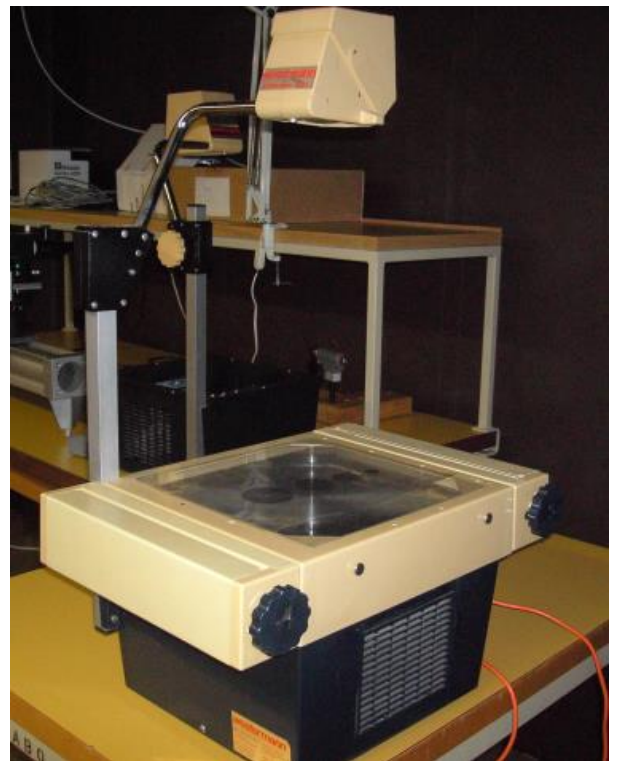
Il existe aussi d'autres méthodes, voir par exemple
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Focométrie>

1 But de l'expérience

Le but de ce TP est de réaliser des mesures focométriques sur les lentilles d'un rétroprojecteur.

2 Matériel et instrumentation

- Rétroprojecteur démonté.
- Pied-à-coulisse, mètre de mesure.
- Rail pour montage optique avec :
 - écran,
 - objet à imager (LED sur circuits de prototypage),
 - Lampe, lame dépoli avec cible
 - supports pour les lentilles
 - diaphragmes.



3 Procédure

1. Identifier tout le matériel mis à disposition. Ouvrir le rétroprojecteur, extraire les deux lentilles internes et une de celles de l'objectif (elles sont identiques) et les décrire : type, convergente/divergente, matériaux, ...

2. La grande lentille de Fresnel

A. Estimer d'abords sa distance focale par une **méthode simple** (mais très grossière ...)

Pour ce faire, poser la lentille de manière à pouvoir accéder ses deux côtés. Placer-vous d'un côté et tenez une feuille sur laquelle est imprimé un texte de l'autre côté, assez près de la lentille. Éloignez cette feuille lentement.

On observera que le texte est de plus en plus gros pour finalement **disparaître lorsque la feuille se trouve au foyer de la lentille**.

Si vous continuez à éloigner la feuille, elle réapparaîtra, mais sera inversée.

B. Méthode de Bessel

On utilise le rail pour montages optiques avec:

- un objet A (ici une LED en forme de carré ou rectangle)
- un écran.
- la lentille convergente dont on veut mesurer la focale f ,

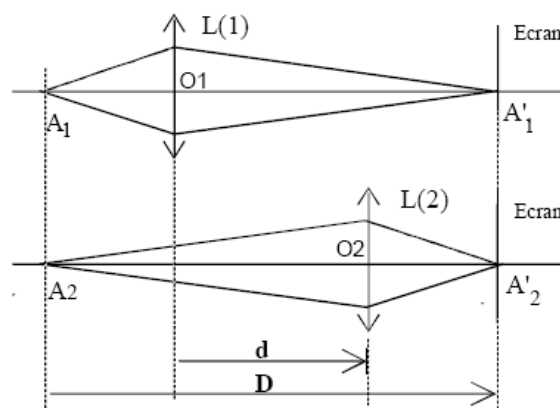


Soit A' l'image conjuguée de A pour la lentille L.
Pour un **même couple** de points conjugués (A,A'), il existe **deux positions possibles** de la lentille L - voir figure : ces positions sont notées L(1) et L(2).

On pose : $AA' = D$; $O_1O_2 = d$; ($D > 0$)

On peut démontrer que la distance focale image de la lentille L est donnée par

$$f = \frac{D^2 - d^2}{4D}$$



Vérifiez d'abord la méthode avec l'applet à l'adresse

http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/optiqueGeo/focometrie/bessel.html ,

ensuite, après le labo et en phase d'évaluation et rédaction du rapport, apprenez la démonstration qui se trouve en annexe A.

Effectuez la mesure de la focale de la lentille de Fresnel avec le matériel à disposition. Il peut être utile de diaphragmer le faisceau afin d'améliorer la qualité de l'image.

Cherchez une distance D (objet-écran) telle que les deux positions $O1$ et $O2$ sont bien identifiables. Comparez les résultats des deux méthodes et notez votre meilleure estimation – en principe celle résultant de la méthode de Bessel.

3. Lentille plan-convexe

Effectuez également la mesure de la focale par la méthode de Bessel pour la lentille plan-convexe.

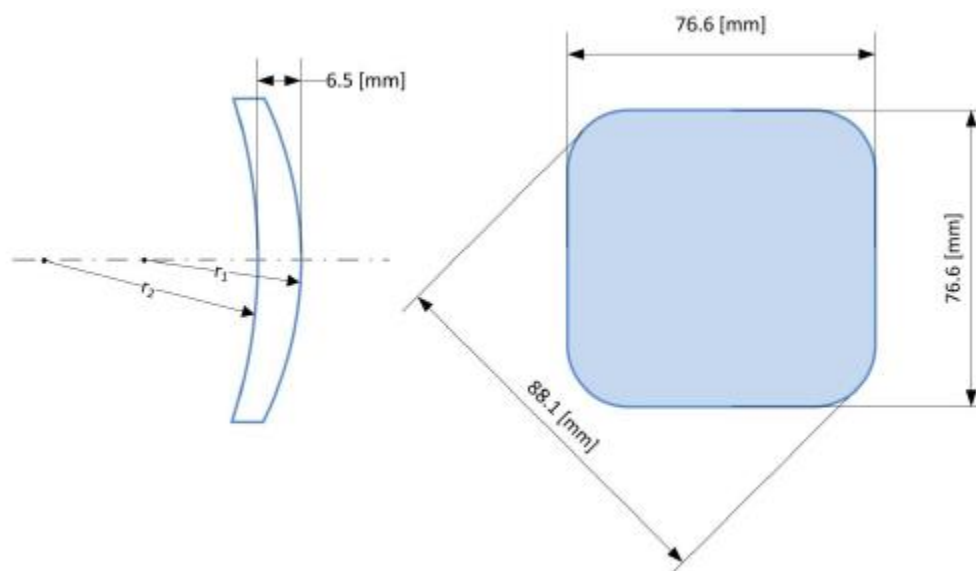
Cherchez une distance D (objet-écran) telle que les deux positions $O1$ et $O2$ sont bien identifiables.

Comparez la valeur trouvée avec celle calculée précédemment lors du TP sur la photométrie du rétroprojecteur, ce qui permettra d'évaluer l'indice de réfraction exact du matériaux de la lentille (à la précision des mesures, évidemment ...).



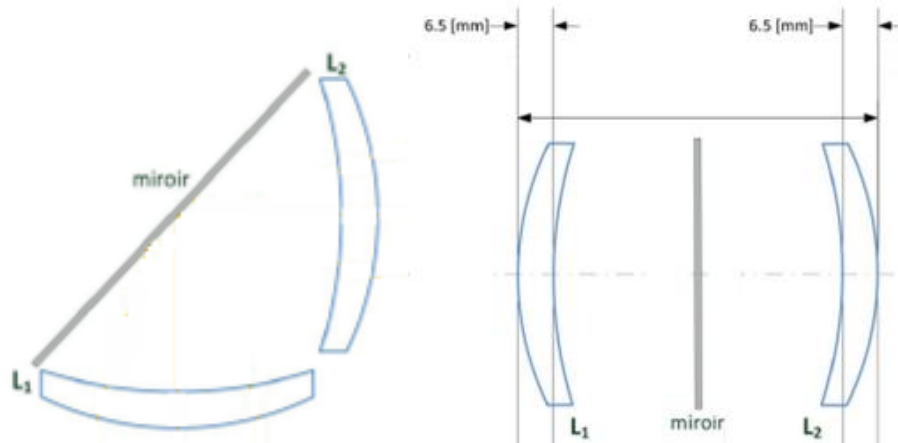
4. Lentille de l'objectif – méthode de l'autocollimation

Les dimensions des lentilles de l'objectif sont données dans la figure ici bas :

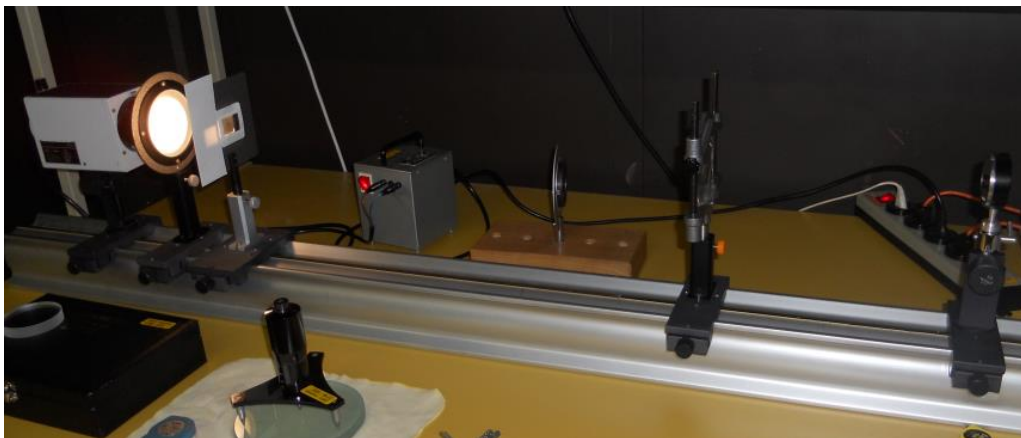
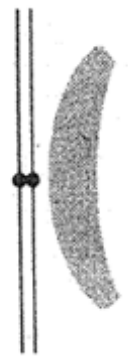


Les deux lentilles de l'objectif sont identiques et ont les suivants rayons de courbure : $r_1 = 103 \text{ mm}$, $r_2 = 158 \text{ mm}$.

- Mesurez aussi les distances entre les deux lentilles et dessinez un schéma de l'objectif "redressé" sur l'axe optique.



- Calculer la focale d'une lentille en supposant $n = 1,5$. Est-il utile de considérer les lentilles comme épaisses ou peut-on les assumer minces ? (voir annexe C pour un rappel théorique).
- Le cas échéant calculer la position des points principaux de la lentille (toujours en supposant $n = 1,5$). Pour une lentille à forme de ménisque convergent on doit s'attendre à que les plans principaux soient externes et du même côté de la lentille (figure ci-contre).
- Mesurer ensuite la focale d'une des lentilles par la **méthode d'autocollimation** (voir photos ici bas et l'annexe B).



- Utiliser comme objet la diapositive posée sur la plaque de support. Orienter le miroir pour que l'image se forme sur le côté en carton blanc du même support.
- Effectuer la mesure avec la lentille dans un sens, puis dans l'autre. Quelle est la signification de la différence observée ? Comment alors évaluer la **vraie focale** ? (l'interprétation du résultat et le calcul de la focale demande la prise en considération des plans principaux ...).
- Calculer enfin la focale de l'objectif, et comparer la valeur calculée avec celle notée sur l'objectif.

5. A la fin, rangez svp tout les composants utilisés et **remettez la manip dans l'état avant son début.**

4 Rapport

Le rapport doit inclure :

- Une description de toutes les configurations testées: objets, lentilles, distances, etc. (avec les schémas, photos à l'appui bienvenues).
- Tous les calculs y référant.
- Toutes les vérifications, ajustements, analyses effectués pour répondre aux questions posées.
- Vos conclusions et suggestions.

2. Distribution du travail

Ce TP sera généralement réalisé en équipe de 2 ou 3 personnes.

Chaque groupe est évidemment libre de s'organiser ; si le groupe est constitué de 3 personnes on suggère que :

- au moins une personne se dédie déjà durant la manip aux calculs théoriques de support et compréhension des résultats trouvés ;
- au moins une personne vérifie que toute la procédure est entièrement et bien suivie et prene des notes et des croquis exhaustifs durant la manip ;
- au moins une personne soigne particulièrement le montage et les mesures, prene des photos, etc..

Le rapport peut être rédigé en se partageant le travail mais il devra être revu et corrigé avant livraison par tous les membres.

Il est en tout cas important que **tous les membres de l'équipe maîtrisent tous les aspects**, à la fois pratiques et théoriques, de ce TP.

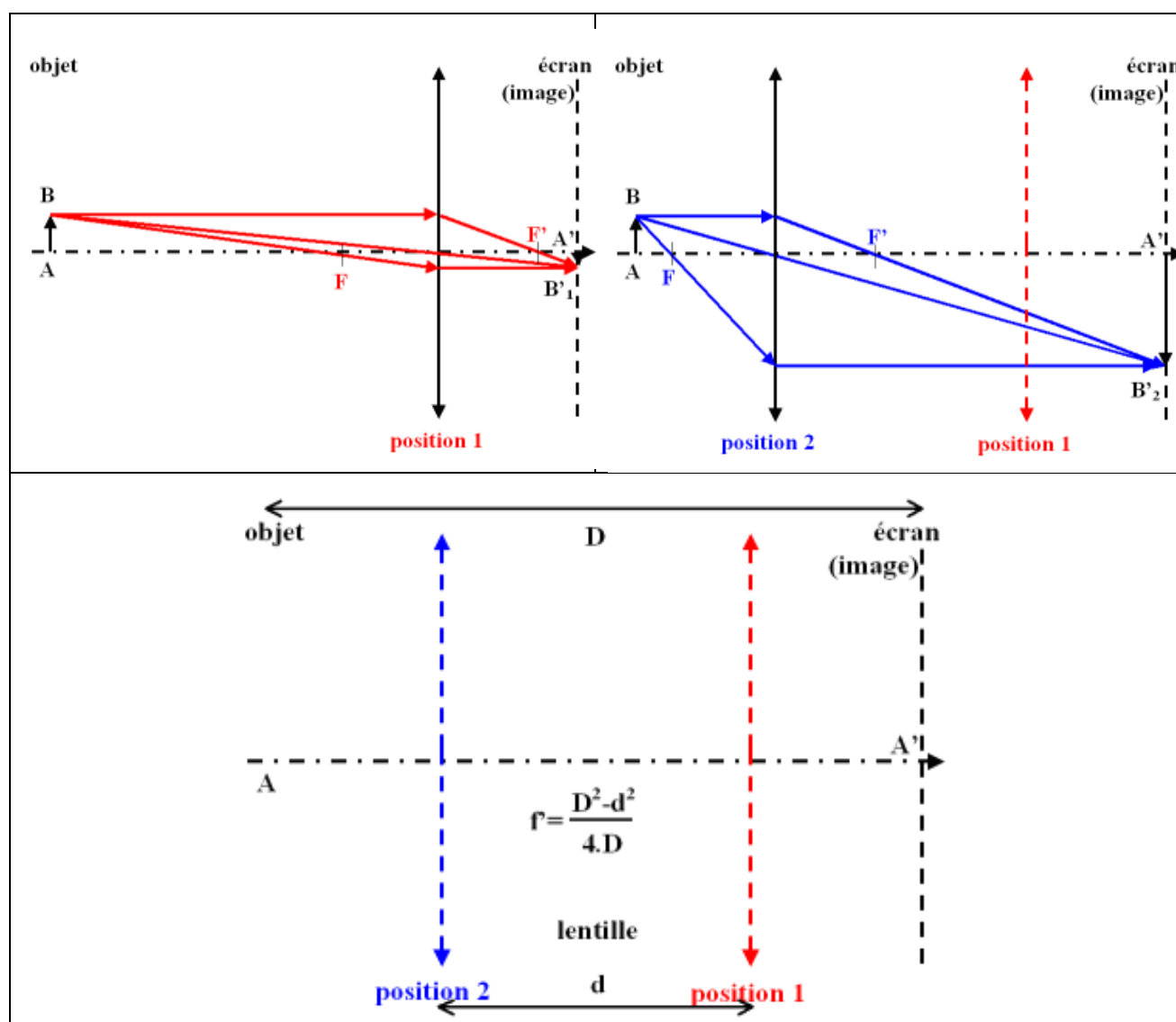
On rappelle que les tests de contrôle continu et l'examen final d'optique pourront inclure des questions en rapport avec les TP effectués.

Annexe A - Démonstration de la méthode de Bessel (Wikipédia)

On considère une lentille mince convergente de focale f' , de centre O, de foyers image F' et objet F .

Soient D , la distance entre l'objet A (sur l'axe optique) et l'écran (où l'on visualise l'image A'), et d , la distance entre les deux positions de la lentille qui assurent la conjugaison de A et A' , (c'est-à-dire la netteté de l'image sur l'écran). On peut déduire la valeur de la focale f' par la formule:

$$f' = \frac{D^2 - d^2}{4.D}$$



Formules de conjugaison

Les formules de conjugaison de Descartes donnent une relation entre les positions sur l'axe optique d'un objet A et de son image A' par rapport au centre optique O. Elles sont exprimées avec des distances algébriques.

Soit A un point de l'axe optique et A' son image par la lentille :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{f'}$$

On suppose que A' est réelle (c'est-à-dire projetable sur un écran): $\overline{OA'} > 0$.

Il faut pour cela que A soit placé sur l'axe optique à une distance $\overline{OA} < -f'$.

Formation d'une image réelle à partir d'un objet réel

On fixe $D = \overline{AA'}$, la distance entre l'objet (A) et l'écran (A') et on pose $x = \overline{OA}$ et $y = \overline{OA'}$, donc

$$D = \overline{AA'} = \overline{OA'} - \overline{OA} \Rightarrow y = D + x.$$

Les relations de conjugaison se réécrivent:

$$\frac{1}{y} = \frac{1}{f'} + \frac{1}{x} \Rightarrow y = \frac{f' \cdot x}{f' + x}.$$

La combinaison des deux précédentes équations donne bien une équation du second ordre en x: $x^2 + D \cdot x + f' \cdot D = 0$

Cette équation n'a de solution réelle que si $\Delta = D^2 - 4 \cdot f' \cdot D = D \cdot (D - 4 \cdot f') \geq 0$

Aussi, il faut que $D \geq D_{min} = 4 \cdot f'$

Positions respectives de l'image et de l'objet

Si $D > D_{min}$, alors $\Delta > 0$: il y a deux solutions réelles (il existe alors deux positions de la lentille qui permettent de conjuguer c et A').

Les solutions sont: $x_{\pm} = \frac{-D \pm \sqrt{D^2 - 4 \cdot f' \cdot D}}{2}$. Aussi, ces deux positions possibles de l'objet sont éloignées de

$$|x_+ - x_-| = \sqrt{D^2 - 4 \cdot f' \cdot D}.$$

Cette distance est aussi la distance entre les deux positions de la lentille qui assurent la conjugaison de A et A':

$$d = |x_+ - x_-| = \sqrt{D^2 - 4 \cdot f' \cdot D}.$$

En élevant au carré, on trouve la formule: $f' = \frac{D^2 - d^2}{4 \cdot D}$

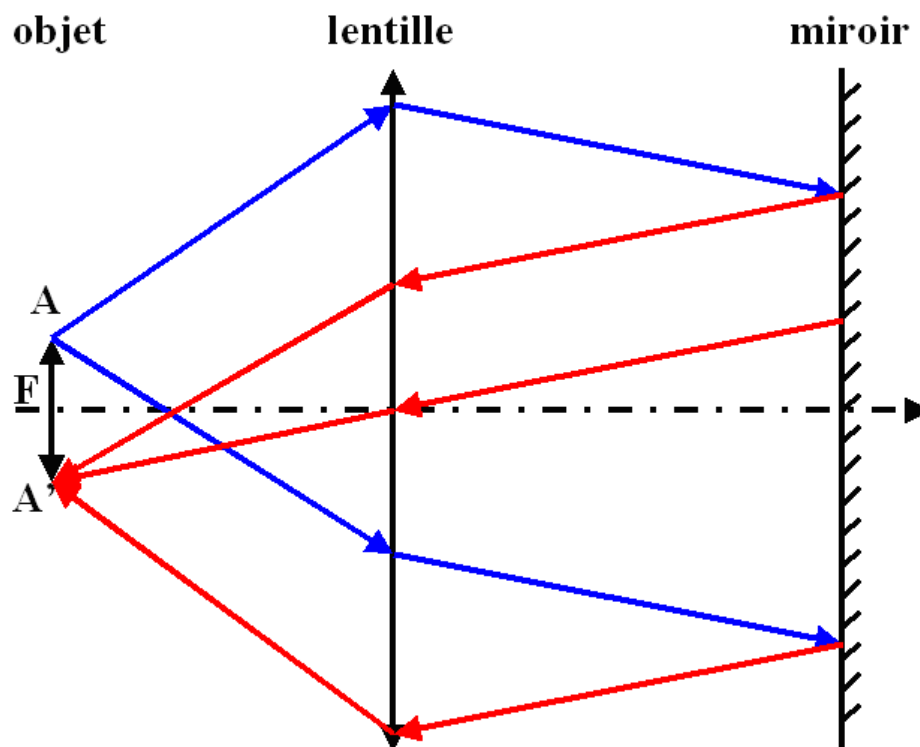
Annexe B - Méthode d'autocollimation

L'**autocollimation** est une méthode permettant de déterminer la position du foyer d'un système optique. Elle nécessite, en plus du système optique à mesurer, l'utilisation d'un miroir plan et d'un objet plan lumineux.

Dans le cas d'une lentille convexe, celle-ci est placée entre le miroir et l'objet plan lumineux. On obtient donc, par réflexion, une image de l'objet qui se trouvera à côté de celui-ci, selon comment on oriente le miroir.

On déplace alors la lentille jusqu'à ce que le plan de l'**image nette** coïncide avec le plan de l'objet et a la **même taille**.

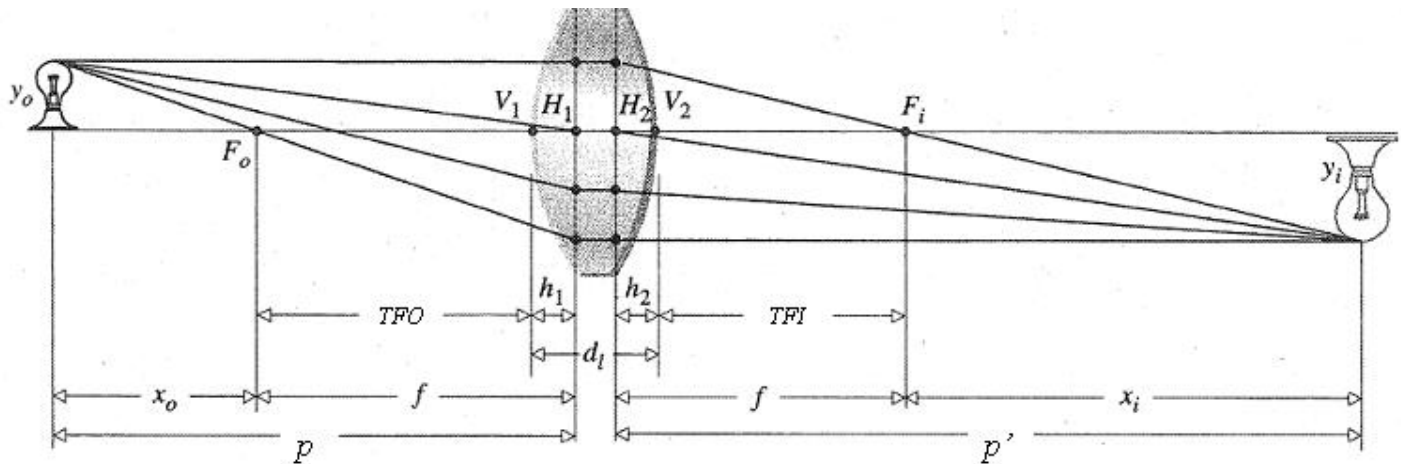
La distance entre la lentille et l'objet est alors la distance focale de la lentille.



La méthode est aussi illustrée dans la vidéo :

<http://fr.video.yahoo.com/watch/616785/2931039>

Annexe C – Rappel sur les lentilles épaisses



La focale d'une lentille épaisse est donnée par

$$\frac{1}{f} = (n_l - 1) \left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} + \frac{(n_l - 1)d_l}{n_l R_1 R_2} \right]$$

Les foyers se trouvent d'une par et l'autre la distance focale des plans principaux.

Les plans principaux se situent a des distances $V_1 H_1 = h_1$ et $V_2 H_2 = h_2$, qui sont **positives** lorsque les plans sont **à droite de leur sommet respectif**.

Les valeurs de h_1 et h_2 sont

$$h_1 = - \frac{f(n_l - 1)d_l}{R_2 n_l}$$

$$h_2 = - \frac{f(n_l - 1)d_l}{R_1 n_l}$$