

TP4 : Focométrie des lentilles minces

Objectifs :

- Déterminer la nature (convergente **CV** ou divergente **DV**) d'une lentille mince.
- Déterminer par différentes méthodes la distance focale image d'une lentille convergente \mathcal{L}_C (on prendra celle notée $+5\delta$) et d'une lentille divergente \mathcal{L}_D (on prendra celle notée -2δ ou $-3,3\delta$ selon les disponibilités)
- Comprendre le principe du viseur à frontale fixe et l'utiliser pour faire des mesures de distances.

Rq : Selon les méthodes utilisées, on sera amené à utiliser des lentilles auxiliaires dont les distances focales seront supposées connues.

Q : Quelles sont les focales f' correspondantes à ces vergences ?

Complément Internet : Animation qui présente toutes les constructions possibles avec une lentille quelconque :

<http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/gtulloue/index.html>

(section Optique géométrique > lentilles > §1 « Lentille sphérique mince »).

I Identification rapide : CV ou DV ?

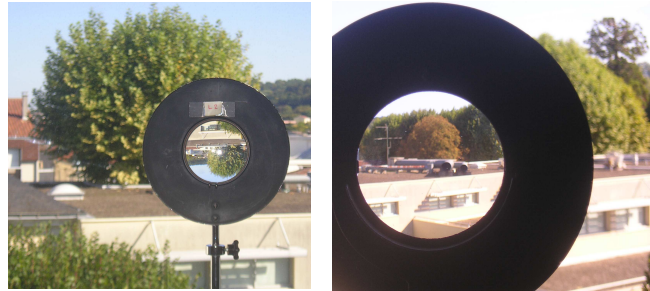
◆ **Observation directe :** Les lentilles minces à bords minces sont CV, les lentilles minces à bords épais sont DV.

◆ **Effet loupe :** Une lentille CV donne d'un objet placé à **faible distance** une image virtuelle, droite et **agrandie**.

◆ **Effet anti-loupe :** Une lentille DV donne d'un objet réel **proche ou éloigné** une image virtuelle, droite et **réduite**.

◆ Une lentille CV donne une image réelle et **renversée** d'un objet réel **éloigné**.

L'image étant réelle, on peut la recueillir sur un « écran » (feuille de papier ou bien le sol si le plafonnier est l'objet éloigné).



→ Q : Quelles sont les natures des lentilles photographiées ci-contre ?

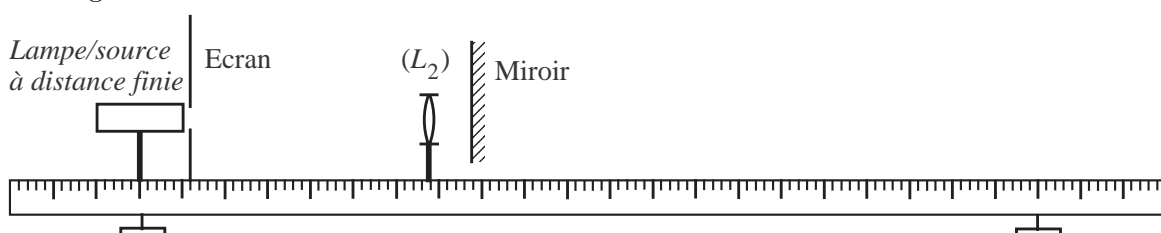
◆ Lorsqu'on déplace transversalement une lentille CV devant un objet placé à faible distance, son image se déplace dans le sens inverse de celui de la lentille. Dans le cas d'une lentille DV, le sens du déplacement est le même.

→ Déterminer à l'œil nu le caractère convergent et divergent des lentilles minces à votre disposition. Pour ce faire, utiliser l'« effet loupe » ou « anti-loupe » ou bien observer dans le couloir un objet à très grande distance (arbre, fenêtre...) comme sur les photos ci-dessus.

→ Déterminer l'ordre de grandeur de la focale des lentilles convergentes à l'aide d'un objet lointain et d'une feuille de papier.

II Méthode d'auto-collimation

- Montage :

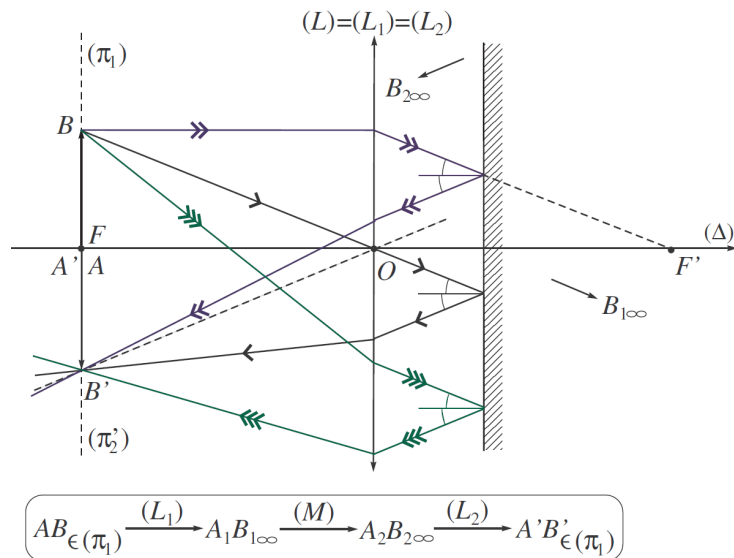


Ceci donne d'ailleurs une première évaluation grossière de la distance focale.

La méthode d'auto-collimation consiste à placer l'objet AB dans le plan focal objet de la lentille en s'aidant d'un miroir plan qu'on place à la sortie de la lentille.

Intérêt : L'image $A'B'$ de l'objet à travers \mathcal{L}_C est alors à l'infini et le système $\{AB; \mathcal{L}_C\}$ constitue un collimateur.

Aspect pratique : la méthode ne dépend pas de la position relative du miroir par rapport à la lentille ni de son inclinaison. Généralement, on accole le miroir à la lentille.



■ Méthode d'auto-collimation :

- Placer la lentille convergente devant l'objet étendu AB et disposer juste derrière la lentille un miroir plan.
- Déplacer l'ensemble Lentille, Miroir jusqu'à ce que l'image de l'objet apparaisse nette, de même taille et renversée dans le plan de l'objet ($Gt = -1$).
- La distance entre l'objet et la lentille est alors égale à la distance focale : $f' = \overline{AO}$.
- Réaliser l'auto-collimation pour la lentille \mathcal{L}_C (+5δ).
- Vérifier l'accord entre les valeurs expérimentale et théorique de la distance focale f' .

Rq : S'assurer que l'image observée est bien celle résultant de l'auto-collimation et non pas une image parasite éventuelle (provenant de la réflexion sur la face avant de la lentille). Pour ce faire, on peut interposer sa main entre la lentille et le miroir ou ôter le miroir.

Retenir : Très souvent en optique, on doit éclairer un dispositif en **lumière parallèle** : On doit donc « fabriquer », pour ce dispositif, une source objet à l'infini (**collimateur** ; cf. TPC - Spectro).

Un moyen simple consiste à placer **une source lumineuse au foyer objet d'une lentille CV**. L'**autocollimation** est une technique optique permettant de le faire avec précision.

III Utilisation d'un viseur

III.1 Oculaire

◇ **Définition :** L'oculaire est un composant de tous les instruments d'optique qui ont pour rôle de fournir une image virtuelle en sortie. Du latin *oculus* (« œil »), il correspond à la partie de l'instrument qui se trouve proche de l'œil. Il équipe entre autre viseur et lunette.

a Rôle

Le rôle de l'oculaire est de fournir une image virtuelle visible sans effort par l'utilisateur (cette image se situera donc au PR , soit à l'infini pour un œil sans défaut) à partir d'un objet. Il sert également à grossir l'image en question. Son fonctionnement est donc à rapprocher de celui d'une loupe.

b Constitution

L'oculaire est constitué d'un réticule, ensemble de deux fils orthogonaux appartenant au même plan de front, et d'un ensemble de deux lentilles (doublet) dont le fonctionnement est équivalent à celui d'une lentille convergente \mathcal{L} . On obtient donc la situation schématique suivante.

c Réglage

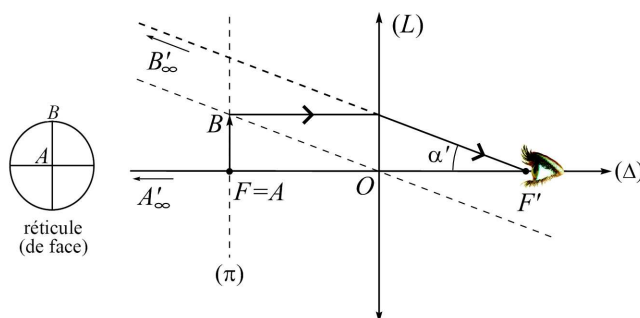
◆ On raisonne dans le cas d'un œil sans défaut (ou corrigé).

Le but du réglage est de placer à l'infini l'image $A'B'$ d'un réticule AB , donc de faire coïncider A et F . L'image sera alors vue sans effort.

Si A est avant F , l'image n'est pas virtuelle et ne peut être observée, si A est entre F et O , l'image est virtuelle mais à distance finie.

Pour régler, il faut donc :

- placer l'objet loin de \mathcal{L} et regarder à l'infini (œil relâché) ;
- diminuer progressivement la distance AF sans chercher à accommoder ;
- dès que l'image est nette, on a atteint le point voulu : $A = F$.



Rq : La difficulté de ce réglage vient du fait que l'œil cherche naturellement à accommoder pour obtenir une image. Il faut donc arriver à sentir que l'on observe au *P.R.* (relâchement total).

De plus, une fois le réglage effectué, il faut toujours observer à l'infini pour voir net.

◆ Chaque œil étant particulier, le *P.R.* varie selon les observateurs. **Ce réglage est donc personnel.** Il faut placer l'œil très près de l'oculaire pour qu'il recueille le plus de lumière possible. Les myopes et hypermétropes portant des lunettes auront intérêt à les enlever pour faire ce réglage (*attention!* ce n'est pas toujours possible en cas de grosses corrections). Les astigmatiques devront eux garder leurs lunettes.

Une fois le réglage effectué, toute image placée dans le même plan de front que le réticule sera vue nette par l'utilisateur.

III.2 Viseur ou Lunette à frontale fixe

◆ Cf. Figure page suivante.

a Rôle

◆ **Définition :** Un **viseur** donne une image nette d'un objet à distance finie.

b Constitution

◆ **Définition :** Un **viseur** comprend :

- un **objectif** (\mathcal{L}_1) (placé près de l'objet donc !) : c'est une lentille convergente qui donne de l'objet AB observé (« pointé ») une image intermédiaire A_1B_1 .

- un **oculaire** (\mathcal{L}_2) : pour observer « à la loupe » l'image intermédiaire.

Lorsque la mise au point est effectuée, l'image A_1B_1 de l'objet AB par l'objectif se situe dans le plan du réticule, et l'oculaire donne de A_1B_1 une image $A'B'$ virtuelle située au *P.R.* de l'observateur.

Pour ce faire, il faut que A_1B_1 soit placée dans le plan focal objet de l'oculaire (pour qu'un œil normal observe au repos / n'accomode pas).

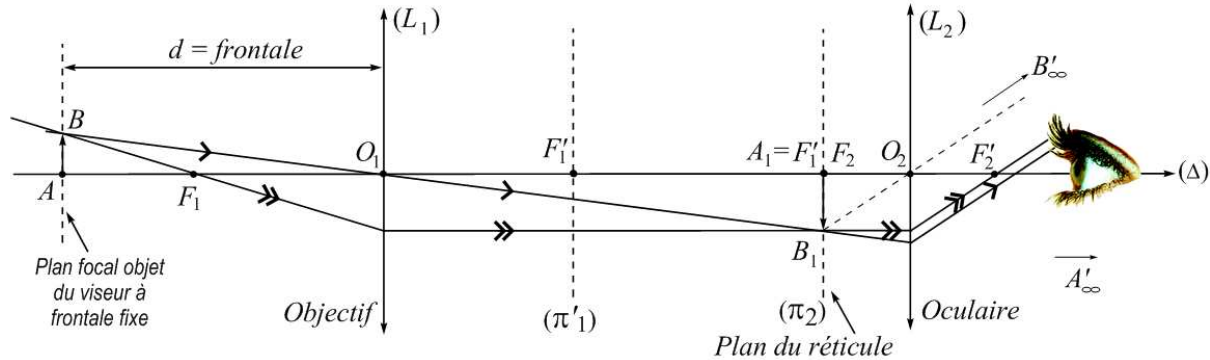
- avec son **réticule** : mire qui doit être placée dans le plan de l'image intermédiaire (*i.e.* (π_2) pour un œil normal).

Rq :

- On appelle « **tirage** » la distance {Objectif}-{Réticule-Oculaire}.
- Pour un tirage donnée, on ne voit une image $A'B'$ nette que si AB se trouve à une distance bien particulière de l'objectif, appelée « **distance de visée** » ou « **frontale** », et dépendant de

\mathcal{L}_1 et du tirage O_1F_2 . L'image est alors superposée à celle du réticule.

Sur de nombreux viseurs, la tirage et donc la frontale d sont fixées par construction. On parle alors de « viseur à frontale fixe » VFF.



c Réglage du VFF pour un œil normal

- Plus on veut observer un objet proche du viseur et plus il faut augmenter le tirage.¹
- Mais l'objet ne peut être à une distance inférieure à la focale de l'Objectif f_1' ²
- Régler l'oculaire comme indiqué au paragraphe III.1c) afin de voir le réticule sans accommoder.
- Sur le viseur utilisé, la distance d est fixée; la mise au point consiste donc à déplacer l'ensemble du viseur jusqu'à la distance de visée. Quand l'image est nette, la distance {Objet}-{Objectif} est égale à la distance de visée.
- Pour vérifier que A_1B_1 se trouve bien dans le même plan que le réticule, on peut déplacer légèrement la tête verticalement et horizontalement : l'image et le réticule ne doivent pas se déplacer l'un par rapport à l'autre (ils se déplacent en bloc).
- Placer un objet sur le banc et mettre au point le viseur chacun à son tour. Attention le réglage de l'oculaire est personnel mais la position du viseur doit être la même pour tous. Vérifier que vous obtenez la même position.

Cela revient à « dérégler » une lunette afocale (cf. TP-Spectro) en modifiant son tirage (pour avoir $F_1' \neq F_2$).

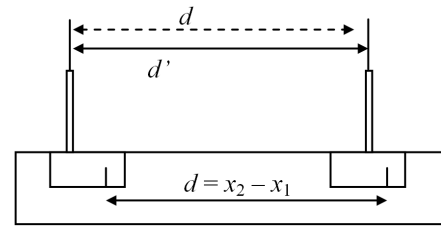
d Application à la mesure sur banc d'optique

• Mesure grossière :

On peut bien sur utiliser les graduations du banc pour déterminer la distance entre deux éléments. Mais cette mesure est très imprécise car le repère indiquant la position du patin sur le banc est décalé d'une distance inconnue par rapport à l'objet placé sur le support.

Une telle mesure introduit des erreurs de l'ordre du centimètre. On ne peut donc s'en servir que pour placer grossièrement les différents appareils sur le banc.

On voit sur la figure que la distance d mesurée est différente de la distance réelle d' .

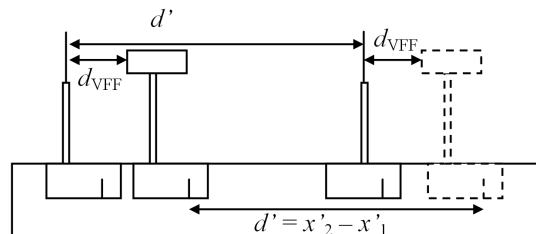


• Mesure au viseur :

Pour déterminer la distance d' entre deux objet on réalise deux relevés de position grâce au viseur.

En notant d_{VFF} la distance de visée et x'_1, x'_2 les deux positions successives du viseur, on a

$$d' = x'_2 - x'_1$$

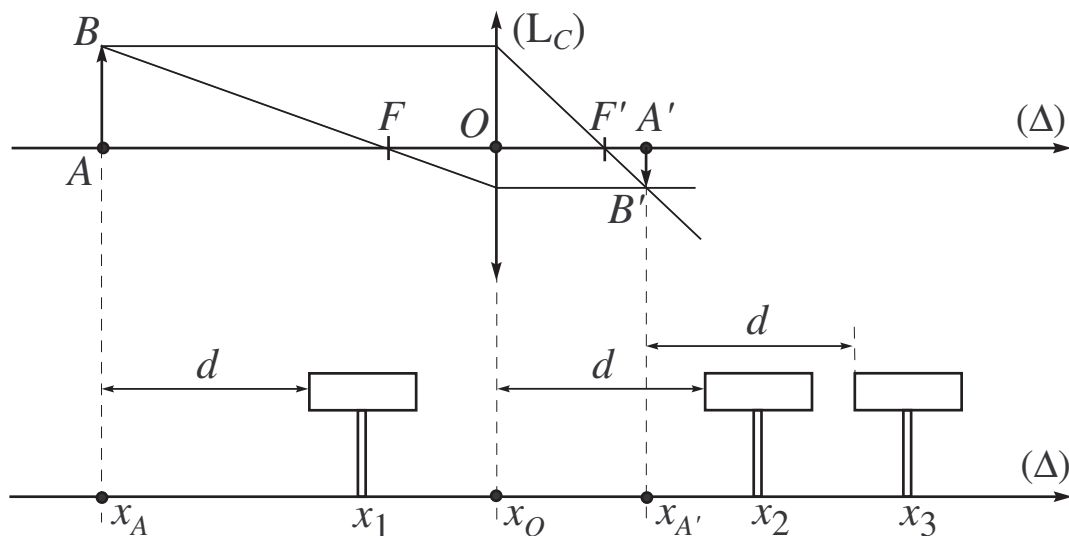


On remarque que la connaissance de d_{VFF} n'est pas nécessaire pour la mesure, il suffit qu'elle reste constante.

1. N'oubliez pas qu'il y a nécessairement une distance supérieure à $4f_1'$ entre l'objet et l'image intermédiaire de celui-ci par l'Objectif!

2. Sinon, l'Objectif donnerait de l'objet une image intermédiaire virtuelle *en avant* de (\mathcal{L}_1) qu'il serait impossible de placer en (π_2) , puisque ce plan est *après* (\mathcal{L}_1) : il serait donc impossible d'avoir en sortie une image à l'infini!

e Application à la focométrie : Méthode de conjugaison

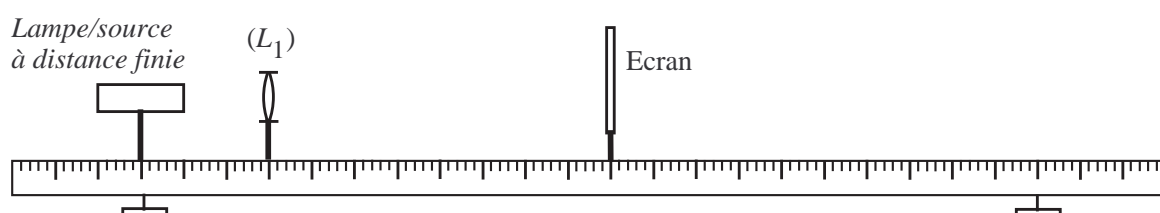


- Réglage du viseur : régler l'oculaire du viseur pour voir le réticule sans accommoder.
- Placer l'objet (lettre « P » sur un support) sur la graduation 20 cm. Mettre un verre dépoli avant l'objet pour diminuer l'éclairement. Placer le viseur sur la graduation 70 cm. Régler le tirage de l'objectif du viseur pour voir l'objet AB.
- Noter l'abscisse x_1 du viseur qui pointe l'objet AB.
- Placer la lentille de focale inconnue et déplacer le viseur pour observer l'image de l'objet à travers la lentille.
- Noter l'abscisse x_2 du viseur correspondante.
- Déplacer à nouveau le viseur pour observer la face avant de la lentille (on repère en réalité les imperfections du verre constituant la lentille) (si on rencontre des difficultés : mettre un objet à la place de la lentille et viser l'objet).
- Noter l'abscisse x_3 correspondante.
- Calculer $p = \overline{OA}$ et $p' = \overline{OA'}$.
- Recommencer l'opération pour différentes positions de la lentille.
- **Exploitation des mesures :**
 - La relation de conjugaison de Descartes s'écrivant $\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f'}$, représenter $\frac{1}{p'}$ en fonction de $\frac{1}{p}$ (**Régression Linéaire!**) et conclure qu'on obtient une droite d'ordonnée à l'origine $b = \frac{1}{f'}$ et de coefficient directeur $a = +1$.
 - En déduire la valeur de f' et de la vergence de la lentille.

IV Méthodes de Bessel et de Silbermann

IV.1 Méthode de Bessel

On cherche à faire d'un objet **réel** AB une image **réelle** A'B' à une distance $D = \overline{AA'}$ fixe de l'objet.



- On montre que si

$$D > 4f'$$

il existe **deux positions possibles** de la lentille réalisant la conjugaison objet-image entre les points A et A' séparés de la distance D .

- Soient O_1 et O_2 les deux positions de la lentille \mathcal{L} réalisant la conjugaison entre A et A' .

- On montre que ces deux positions, distantes de d , sont symétriques par rapport au milieu du segment AA' .

- On établit enfin que :

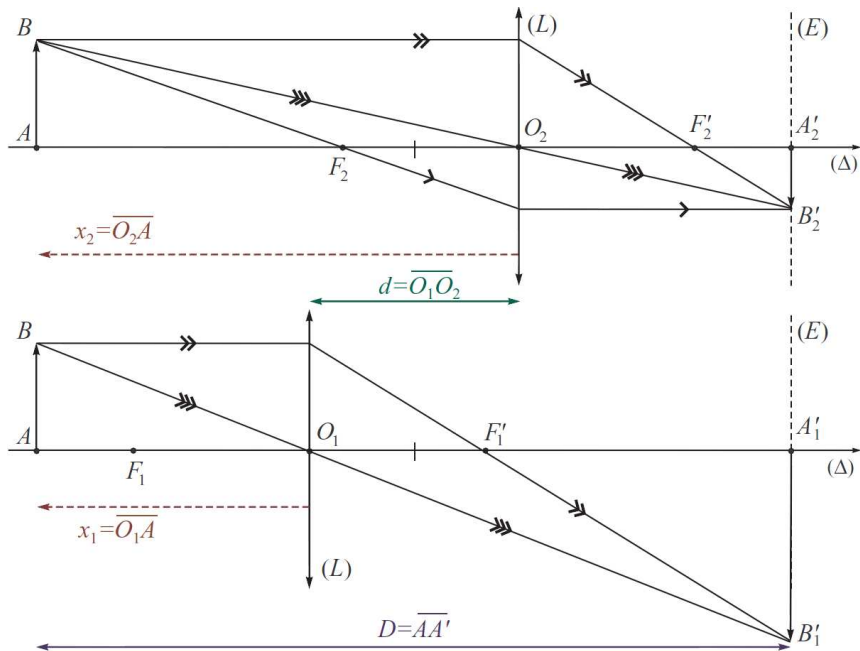
$$f' = \frac{D^2 - d^2}{4D}$$

- Puisque la méthode de Bessel conduit à $D^2 - d^2 = 4f'.D$, en représentant $D^2 - d^2$ en fonction de D , et on obtient une droite de pente $a = 4f'$.

◆ **Mesures et exploitation :**

- En utilisant la lentille $\mathcal{L}_C (+5\delta)$, mettre en œuvre la méthode de Bessel pour une distance $D = 150 \text{ cm}$.
- Recommencer pour d'autres valeurs, toujours plus petites, de D : $D = 140 \text{ cm}$, $D = 135 \text{ cm}$, $D = 130 \text{ cm}$, $D = 125 \text{ cm}$, $D = 120 \text{ cm}$, $D = 110 \text{ cm}$, $D = 100 \text{ cm}$ et $D = 90 \text{ cm}$.
- Rassembler les différentes mesures (D_i ; d_i) dans un tableau.
- Effectuer une **régression linéaire** pour $D^2 - d^2 = f(D)$.
- En déduire la distance focale f' .
- Estimer l'incertitude $\Delta f'$ correspondante.
-

$$f' = \dots \pm \dots$$



IV.2 Méthode de Silbermann

Principe : Elle dérive de la précédente. On réduit progressivement D jusqu'à ce qu'il n'y ait plus qu'une seule position de la lentille permettant de conjuguer A et A' .

Alors $d = 0$. On a donc $D = 4f' \Rightarrow$ soit : $f' = \frac{D}{4}$

- Quelle est, dans cette expérience, la valeur du grandissement transversal G_t ?
- Réaliser l'expérience et déterminer la distance focale f' de \mathcal{L}_C .
- Estimer l'incertitude $\Delta f'$ correspondante.
-

$$f' = \dots \pm \dots$$

- Faire le schéma correspondant à la méthode de Silbermann ; y préciser les distances \overline{AF} , $\overline{F'A'}$. En quel point particulier se trouve O ? Pourquoi appelle-t-on ce montage un « montage $4f$ » ?

V Focométrie des lentilles divergentes

V.1 Utilisation d'un viseur

Proposer une méthode pour déterminer la focale d'une lentille divergente à l'aide d'un viseur.

V.2 Méthode des lunetiers : lentilles accolées

Lorsque deux lentilles sont accolées, leurs vergences s'ajoutent.
(**Attention !** Ceci est faux si les lentilles ne sont pas accolées).

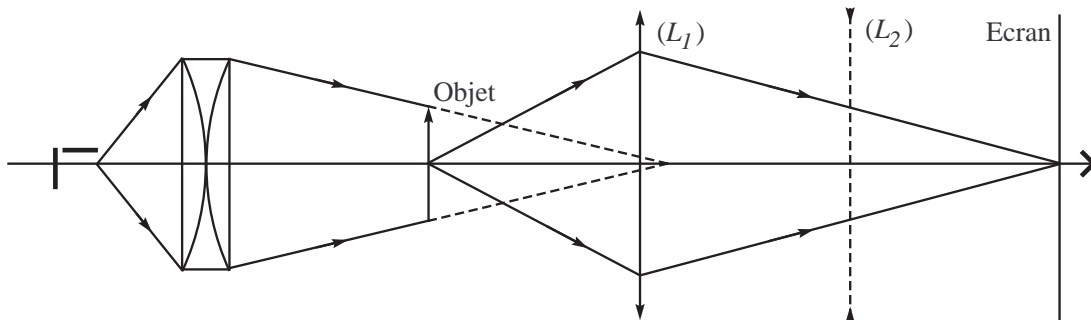
Principe : Se ramener à l'étude précédente en accolant à la lentille divergente une lentille convergente, pour former l'équivalent d'une lentille convergente.

- Accoler la lentille divergente « inconnue » (f'_D) à une lentille convergente appropriée (f'_C).
- Déterminer par auto-collimation la focale f' de l'ensemble.
- En déduire la distance focale f'_D de la lentille divergente « inconnue ».

Rq : On pourra appliquer la méthode à la détermination de la vergence de verre de lunettes de myopes (qui est de quel signe ?).

V.3 Méthode de conjugaison

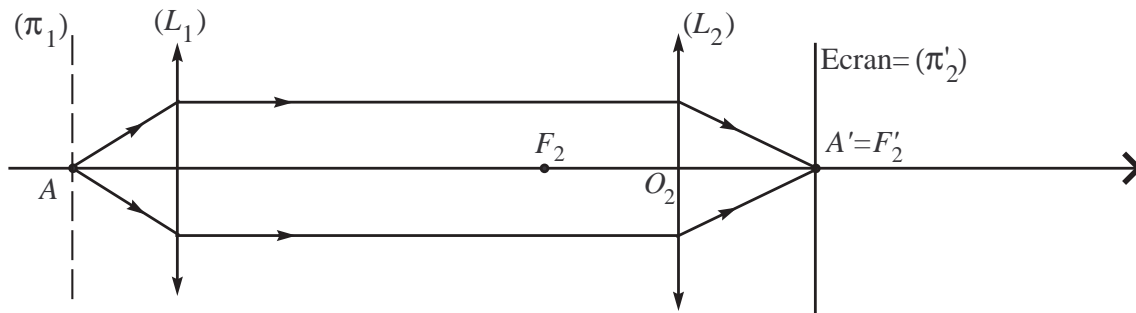
- À l'aide d'une lentille auxiliaire convergente, on fait une image sur un écran.
- Noter la position de l'image. Cette image peut devenir objet virtuel pour la lentille divergente « inconnue » \mathcal{L}_D .
- Intercaler la lentille divergente entre la lentille convergente et l'écran de manière à réaliser une conjugaison {Objet virtuelle-Image réelle}. Noter sa position.
- Décaler l'écran pour récupérer l'image finale. Repérer sa position.
- Déterminer f' par application de la relation de conjugaison.



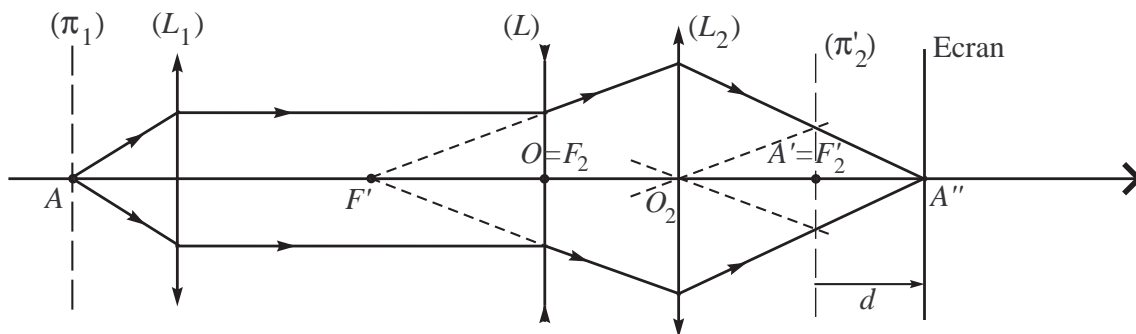
V.4 Méthode de Badal

On rappelle la formule de conjugaison de Newton : $\overline{F'A'} \cdot \overline{FA} = -f'^2$
valable pour toute lentille mince réalisant la conjugaison du point objet A et du point image A' .

- Réaliser, par autocollimation, un faisceau parallèle à l'aide d'une lentille $+8\delta$. Cette première lentille est dite « collimatrice ».
- Former l'image de l'objet sur l'écran à l'aide d'une lentille de focale connue (on prendra une lentille $+5\delta$ dont on aura précédemment déterminé la focale f'_2). Cette deuxième lentille est dite « collectrice ».
- Repérer la position de l'écran.



→ Introduire alors la lentille divergente de focale f' dans le plan focal objet de la lentille collectrice.



→ Rechercher la nouvelle image A'' de A en éloignant l'écran d'une distance d que l'on mesurera.
 → Montrer à l'aide de la formule de Newton appliquée à la lentille collectrice que :

$$f' = -\frac{f_2'^2}{d}$$

→ En déduire la distance focale f' de la lentille divergente.
 → Déterminer par cette méthode, lorsque c'est possible, les distances focales des lentilles convergentes \mathcal{L}_C disponibles.

Complément Internet : Vidéos des méthodes d'autocollimation, de Bessel, de Silbermann et de Badal dans le billet « [Focométrie](#) »

BLOG

Complément auto-collimation : Lorsqu'on n'est pas dans la situation d'auto-collimation, l'image $A'B'$ associée à une position quelconque de l'objet AB s'obtient en recherchant l'intersection de deux rayons émergents du système optique {Lentille/Miroir/Lentille} :

