

TRAVAIL PRATIQUE No. 3A:

Etude d'un rétroprojecteur – première partie

1 But de l'expérience

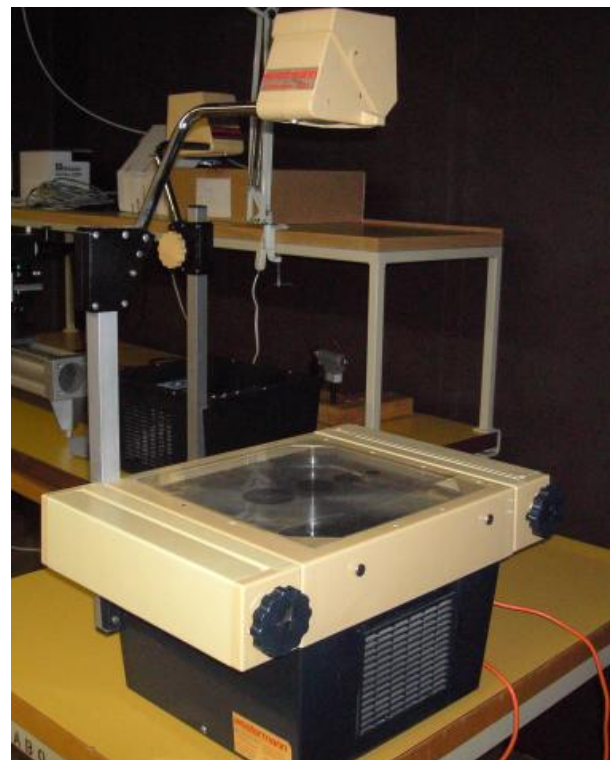
Le but de ce TP, qui sera réalisé en deux parties, est de :

1. comprendre le fonctionnement optique d'un rétroprojecteur,
2. estimer et calculer tous les paramètres optiques,
3. tracer son diagramme optique complet,
4. évaluer l'éclairement du plan du transparent
5. évaluer l'éclairement de l'écran
6. produire une courbe démontrant la relation entre hauteur de la lentille de projection, distance de l'écran et grandissement.

Pour cette première partie (points 1,2,3 ci-dessus) on limitera l'étude au système optique situé **dessous** le plan du transparent à projeter.

2 Matériel et instrumentation

- Rétroprojecteur fonctionnel.
- Rétroprojecteur démonté.
- Sphéromètre,
- Pied-à-coulisse, règles de mesure.
- Grand écran vertical.
- Rail pour montage optique, règles de mesure, écran, objet à imager (LED sur circuits de prototypage), supports pour lentille de Fresnel et lentille interne



3 Procédure

1. Identifier tout le matériel mis à disposition. Ouvrir le rétroprojecteur, observer les différents composants et les lister.
2. Faire un (ou plusieurs) **croquis** du système **avec toutes les dimensions importantes**, qui ensuite sera **mis au propre dans le rapport**. Le rétroprojecteur est essentiellement constitué d'un système d'illumination et d'un système d'imagerie: savez-vous identifier ces deux systèmes ?
3. Examiner la lampe et l'optique qui agit sur sa lumière. Quel est le but de cette optique ?
4. Mesurer avec le pied-à-coulisse et le sphéromètre la géométrie et le rayon de courbure du miroir. La **procédure d'utilisation du sphéromètre** se trouve dans l'annexe A.
5. Mesurer avec le sphéromètre les rayons de courbure de la lentille interne.
6. Calculer à partir de ces mesures les focales du miroir et de la lentille interne. Pour cette dernière utiliser les formules des lentilles épaisses (slides 8 et 9 du Powerpoint) en supposant un indice de réfraction de 1,5 . Calculer aussi la **position des points principaux**.
7. A quoi sert la grande lentille de Fresnel ? Estimer sa distance focale par les deux méthodes suivantes :

A. Méthode simple

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 réapparaît, mais sera inversée.

B. Méthode de Bessel

On utilise le rail pour montages optiques avec:

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

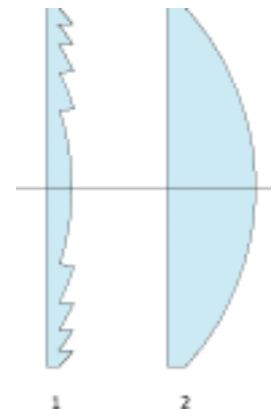
Soit A' l'image conjuguée de A pour la lentille L.
Pour un **même couple** de points conjugués (A,A'), il existe **deux positions possibles** de la lentille L - voir figure, les positions sont notées L(1) et L(2).

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

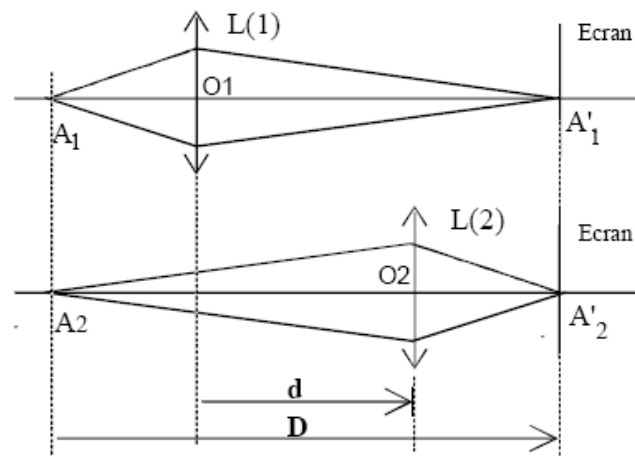
On peut démontrer que la distance focale image de la lentille L est donnée par

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

Vérifiez d'abord la méthode avec l'applet à l'adresse <http://www.webphysique.fr/Methode-de-Bessel.html>, ensuite, après le labo et en phase d'évaluation et rédaction du rapport, lisez la démonstration qui se trouve en annexe B.

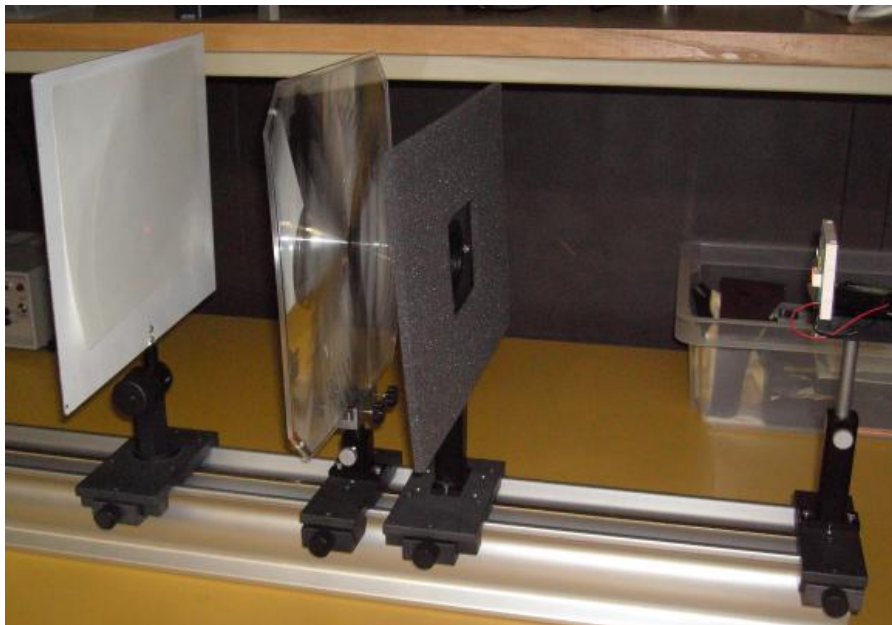


(1) coupe d'une lentille de Fresnel
(2) coupe d'une lentille plan-convexe de distance focale équivalente



8. Effectuez la mesure de la focale de la lentille de Fresnel avec le matériel à disposition. Pour la méthode de Bessel, il peut être utile de diaphragmer le faisceau afin d'améliorer la qualité de l'image (surtout lors de la mesure de la grande lentille de Fresnel, un cas empruntez un diaphragme auprès du TP "formation des images").

Choisissez une distance D (objet-écran) telle que les deux positions $O1$ et $O2$ sont bien identifiées. Comparez les résultats des deux méthodes et notez votre meilleure estimation.



9. Effectuez également la mesure de la focale par la méthode de Bessel pour la lentille interne, dont vous avez auparavant mesuré les rayons de courbure. **Adaptez la distance D (objet-écran) telle que les deux positions $O1$ et $O2$ sont bien identifiées.** Comparez la valeur trouvée avec celle estimée précédemment au point 4, ce qui permettra d'évaluer l'indice de réfraction exact du matériaux de la lentille (à la précision des mesures, évidemment ...).



10. On veut maintenant calculer les **paramètres photométriques du système d'illumination jusqu'au plan du transparent** sur la base des caractéristiques suivantes de la lampe :

Tension : 24 Volts
Puissance : 250 watts
Culot : G6.35
Dimension : Ø13.5mm*55mm
Axe Filament : 33mm du bas du culot
Temp. couleur : 3.400° KELVIN



Le flux lumineux nominale de la lampe est donné à 10'000 lumen, mais il se trouve que sa distribution n'est pas isotrope: elle est fortement augmentée dans les directions verticales (vers le haut et le bas) et réduite à un moins d'un tiers latéralement.

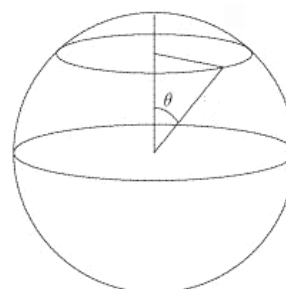
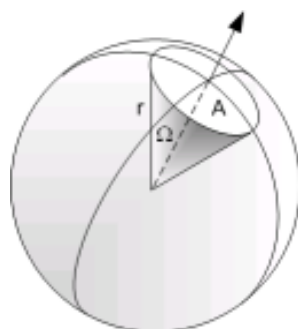
Pour les calculs, on prendra donc **comme référence** l'intensité moyenne des deux cônes de lumière vers le haut et le bas qui sont effectivement utilisés: **1250 cd**.

Calculez donc sur cette base les flux incidents (en **lumen**) sur le miroir et sur la lentille. Effectuez ensuite un bilan aussi complet que possible de la **répartition et des pertes du flux lumineux**, en suivant pas par pas les chemins **de la lampe jusqu'au plan** où on pose le transparent à projeter.

Pour cela il faut avoir préalablement **déterminé toute la géométrie précise et les paramètres des éléments optiques**. Enfin on dessinera à l'échelle le **schéma optique** du système d'illumination, jusqu'à la lentille de Fresnel et au delà. Les principales étapes sont les suivantes :

- a) En première approximation supposons la source (lampe) ponctuelle. Calculez combien de *lumen* venants de la lampe directement de la source traversent effectivement la première lentille¹.
- b) Calculez ensuite combien de *lumen* sont réfléchis par le miroir et traversent également la première lentille (vous constaterez probablement que l'image de la source par le miroir se trouve très proche de l'objet lui-même, dans ce cas on pourra considérer par simplification qu'ils occupent la même place).
- c) Quelle est la répartition spatiale de l'éclairement (en lux) de la lentille, et tenant compte des deux contributions ?
- d) Calculez et dessinez les rayons extrêmes qui traversent cette lentille en provenance directe de la lampe et ceux passant par le miroir sphérique. Pour cela vous devrez calculer la position de l'image des sources par la lentille en tenant compte des plans principaux de la lentille épaisse.

¹ Pour rappel: l'aire d'une calotte sphérique est $2\pi \cdot r \cdot h$, r étant le rayon de la sphère et h la hauteur de la calotte. L'angle solide Ω d'un cône de révolution d'angle θ est égal à $\Omega = 2\pi \cdot (1 - \cos \theta)$



- e) Localisez précisément la position et taille des divers diaphragmes le long du parcours de la lumière jusqu'au plan du transparent. Par simplification on pourra considérer ces diaphragmes comme circulaires avec aire égale à celle réelle.
 - f) Combien de *lumen* arrivent sur le plan de la lentille de Fresnel ?
 - g) Calculez la déviation des rayons extrêmes par la lentille de Fresnel (considérée comme lentille mince) et évaluez ensuite le flux (**lumen**) qui traversera le **plan du transparent**.
 - h) Calculer enfin l'**éclairage moyen du plan du transparent** et évaluer ensuite sa **distribution spatiale** (on ignorera les pertes par atténuation à travers les divers lentilles et lames).
 - i) **Mesurer** ensuite cet éclairage avec le **luxmètre** dans un certain nombre de points: afin d'établir la répartition spatiale effective, que vous pourrez comparer avec votre calcul.
11. 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 :

- 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..

Ce TP demandera un important travail d'analyse et calcul (en particulier le point 10.) après le labo. 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 l'examen final d'optique inclura des questions en rapport avec les TP effectués.

Annexe A

Mesure du rayon de courbure avec un sphéromètre

But de l'expérience

Il s'agit de mesurer les rayons de courbure de lentilles sphériques (ou quasi-sphériques). Si on connaît ensuite le type de verre, donc l'indice de réfraction, on peut calculer la distance focale.

Matériel et instrumentation

- Sphéromètre Edmund no.53859 avec comparateur Mitutoyo GSY784
- Surfaces planes de référence
- Lentilles et miroirs à analyser
- Pied à coulisse, palmer



But de l'expérience

Ce sphéromètre est constitué d'un comparateur avec une résolution de traits de 0.01 mm, associé à plusieurs bases de diamètres différents pour mesurer de manière optimale des lentilles de taille et courbure différente.

Chaque base est définie respectivement par ses diamètres intérieur et extérieur.

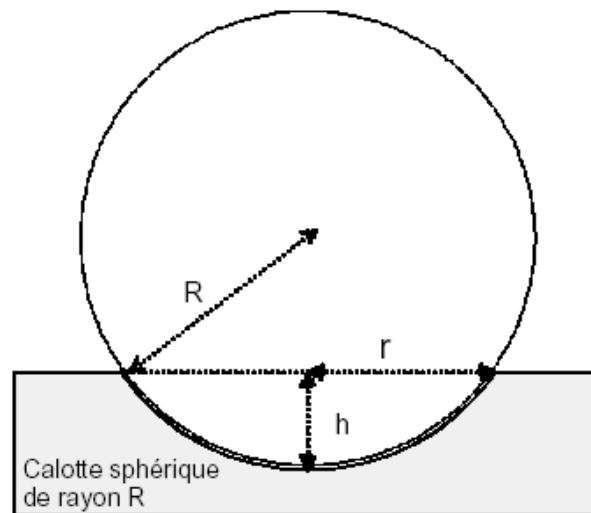
Base No.	Diamètre intérieur (mm)	Diamètre extérieur (mm)
1	4	8
2	8	12
3	12	16
4	16	20
5	20	24
6	24	28

Dans le cas d'une lentille convexe le diamètre d'appui sera le **diamètre intérieur**.

Dans le cas d'une lentille concave le diamètre d'appui sera le **diamètre extérieur**.

Relation entre - r rayon de la base d'appui du sphéromètre
- h déplacement vertical de la pointe
- IRI rayon de la surface sphérique

$$IRI = \frac{r^2 + h^2}{2h}$$



Pour plus de détail, voir le manuel de sphéromètre (an anglais)

Préparation

Vérifier la propreté et le cas échéant nettoyer avec soin les surfaces à contrôler et s'assurer que le comparateur fonctionne normalement.

Mesurage

1. Placer le sphéromètre sur une surface plane de référence et faire le zéro.
2. Placer le sphéromètre sur la lentille et mesurer le déplacement de la pointe.

Rapport de mesure

Le rapport de mesure inclura :

- La démonstration de la formule du sphéromètre.
- Les configurations de mesure, les résultats bruts et les calculs des rayons de courbure.

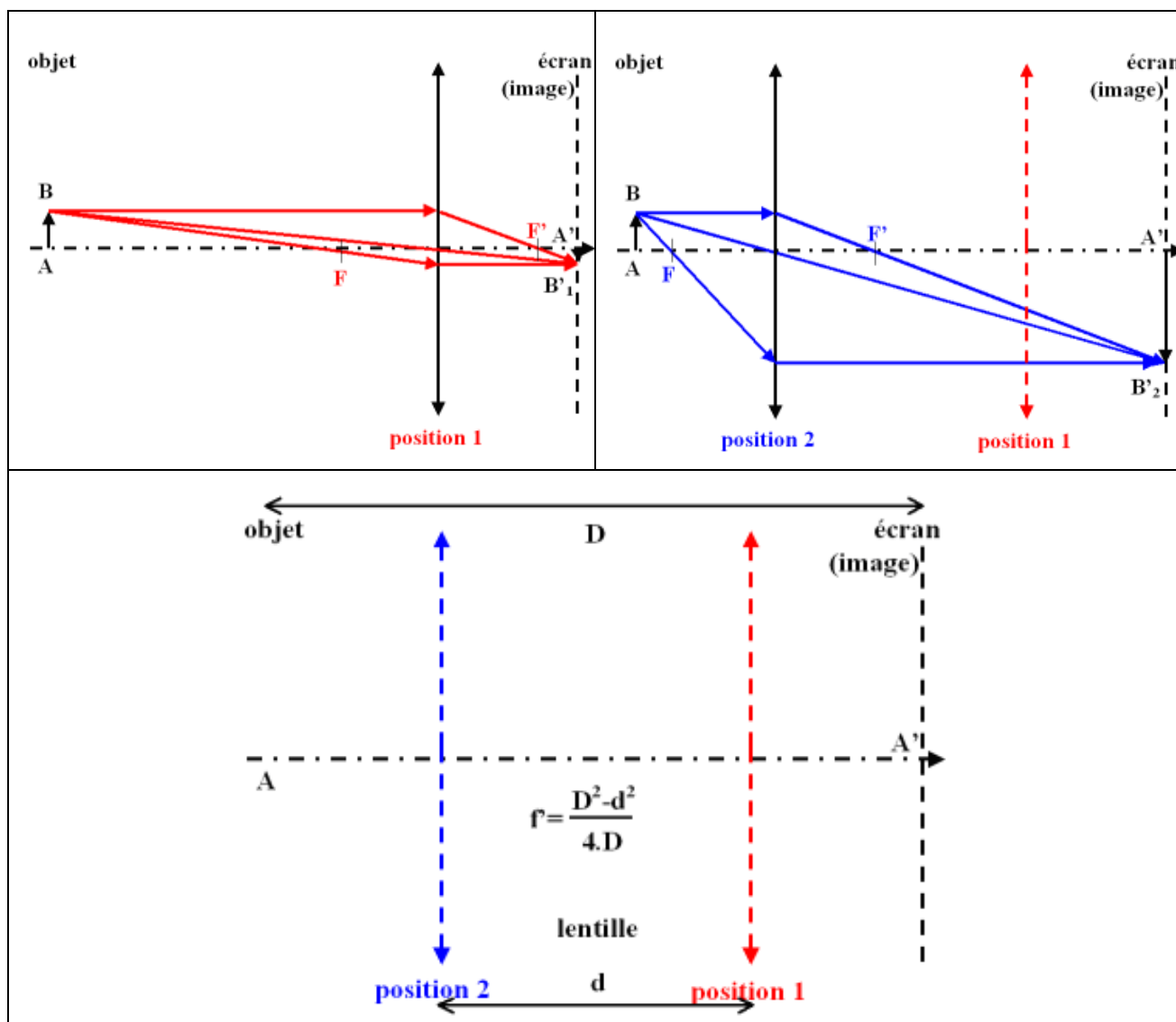
Annexe B

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