

Contexte

Dans le cadre du projet de rénovation de la lunette de 380 mm de la coupole Vitry, le dimensionnement du tube optique nécessite la détermination de la position du foyer image par rapport à l'objectif. Le foyer doit en effet être positionné suffisamment en arrière du tube pour permettre le montage de différents dispositifs optiques (porte oculaire, caméra, spectroscope, ...) dans son voisinage.

But de l'essai

L'essai doit permettre de positionner le foyer image par rapport à un plan de référence identifié sur la lentille avec une précision de l'ordre du cm.

Le plan de référence choisi doit être facilement et précisément identifiable sur la lentille.

Il est probable que cette lentille ancienne soit affectée de chromatisme. Dans la mesure du possible, on associera la position du foyer à une longueur d'onde particulière (typiquement vert 5550Å) et on évaluera le déplacement de ce foyer pour les longueurs d'onde extrêmes (typiquement bleu 3500Å et rouge profond Ha 6563 Å)

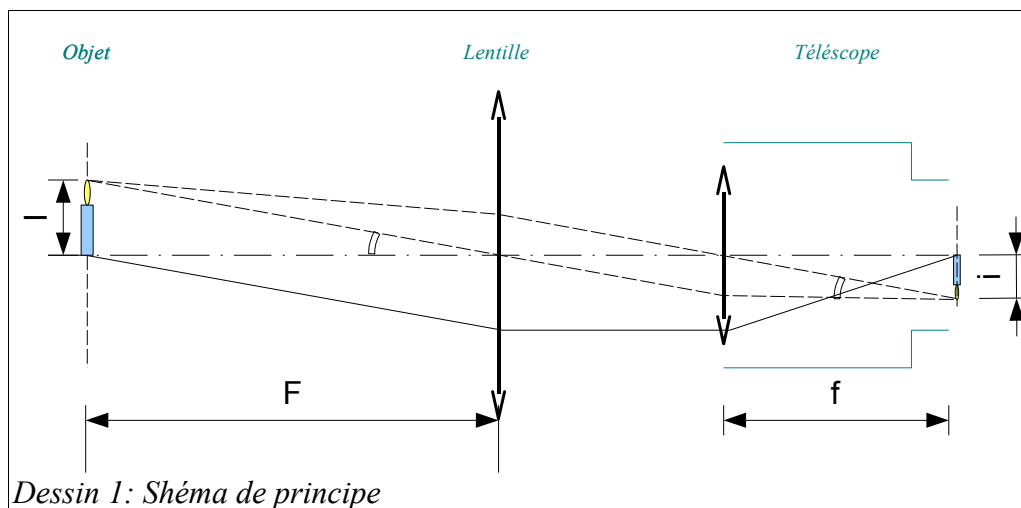
Méthode d'essai

La méthode la plus intuitive pour trouver le foyer d'une lentille consiste à utiliser un collimateur pour rendre parallèle le faisceau divergent d'une source de lumière ponctuelle. Ce faisceau de lumière parallèle (qui semble issu d'un point situé à l'infini), traverse ensuite la lentille à analyser et va converger en son foyer. Il suffit donc de rechercher le point où la tache lumineuse formée par le faisceau est la plus étroite pour matérialiser la position du foyer.

Il est cependant difficile d'obtenir une source de lumière « ponctuelle » et, surtout, de s'assurer que les rayons qui sortent du collimateur sont bien parallèles.

On propose donc ici une méthode de « collimation inverse » où les rayons lumineux suivent un chemin inverse à celui de l'expérience décrite ci-dessus. La source lumineuse – un objet plan contrasté présentant de fins détails et bien éclairé – est placée au voisinage du foyer de la lentille. Après avoir traversé celle-ci, les rayons issus de l'objet sont observés à travers un télescope mis au point sur un objet placé à l'infini. Si l'objet est rigoureusement au foyer de la lentille, celle-ci en forme une image rejetée à l'infini et l'objet apparaît net dans le télescope. Si l'image n'est pas à l'infini, c'est que l'objet n'est pas au foyer et son image apparaît floue dans le télescope.

Pour juger de la netteté de l'image de la façon la plus simple et la plus objective possible, on utilisera une webcam placée au « foyer » du télescope.



Dimensionnement

Pour dimensionner le banc d'essai, on prendra les hypothèses suivantes :

Focale de la lentille : $F = 6$ m

Diamètre lentille : $D = 380$ mm

taille du capteur webcam : 3×4 mm

Focale du télescope : $f = 2$ m

Diamètre télescope : $d = 205$ mm

taille d'un photosite : $5,7 \mu\text{m}$

Taille de l'image

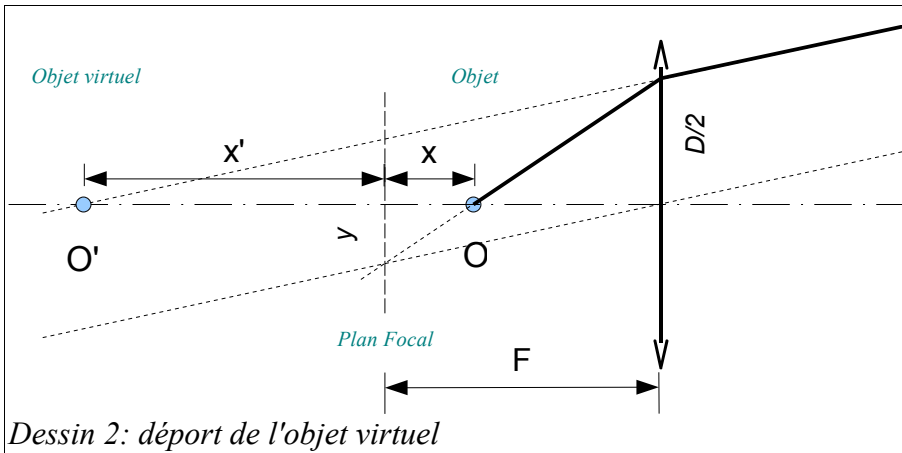
Du Dessin 1 on déduit aisément que la taille i de l'image formée au foyer du télescope, sur le capteur de la webcam, est relié à la taille I de l'objet placé au foyer de la lentille par la relation

$$i = \frac{f}{F} \cdot I \quad \text{soit ici} \quad i = 3 \cdot I$$

L'image d'un objet de 9 x 12 mm occupera toute la surface du capteur de la webcam.

Déport de l'objet virtuel

Lorsque l'objet O est placé au foyer F de la lentille, celle-ci en donne une image rejetée à l'infini. Si l'objet est placé plus près de la lentille, à une distance x du foyer, elle en donne une image O' . Les rayons lumineux semblent provenir d'un objet virtuel O' situé à une distance x' au-delà du foyer (cf. Dessin 2)



Du Dessin 2 on déduit :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{(F-x)}{(D/2)} = \frac{x}{y} \\ \frac{(F+x')}{(D/2)} = \frac{F}{y} \end{array} \right. \Rightarrow \frac{x'}{F} = \frac{F}{x} - 2 \quad \text{soit ici} \quad \begin{array}{l} x=0 \text{ mm} \Rightarrow x' = \infty \\ x=1 \text{ mm} \Rightarrow x' = 36 \text{ km} \\ x=1 \text{ cm} \Rightarrow x' = 3600 \text{ m} \end{array}$$

Défocalisation

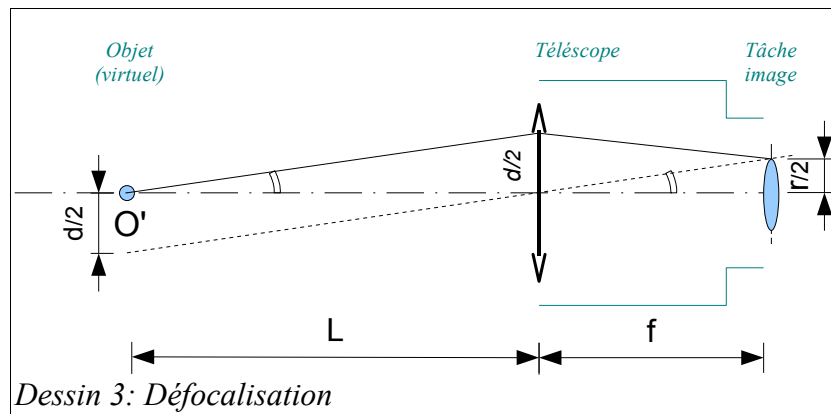
Le télescope ayant été réglé sur l'infini (par exemple en visant une étoile), il donne une image ponctuelle d'un objet réel (une étoile) ou virtuel (mire au foyer de la lentille en essai) situé à l'infini. En revanche, si cet objet se trouve placé à une distance L finie de l'objectif du télescope, son image dans le plan focal est un disque de rayon r .

On déduit facilement du Dessin 3 la relation suivante :

$$\frac{d/2}{L} = \frac{r/2}{f} \quad \text{soit} \quad r = d \cdot \frac{f}{L} \quad \text{ou} \quad L = f \cdot \frac{d}{r} \quad \text{soit ici} \quad \begin{array}{l} r = 1 \text{ mm} \Rightarrow L = 410 \text{ m} \\ r = 0,11 \text{ mm} \Rightarrow L = 3600 \text{ m} \\ r = 11,4 \mu\text{m} \Rightarrow L = 36 \text{ km} \end{array}$$

Ainsi, une source ponctuelle (réelle ou virtuelle) située à 410 m produira une tache de 1 mm de diamètre sur le capteur CCD de la webcam, soit 175 pixels. Une source située à 36 km produira une tache de 11,4 mm soit 2 pixels. Au-delà, la tache sera de l'ordre du pixel et on ne saura pas la différencier de l'image ponctuelle d'un objet situé à l'infini.

On note au passage que le diamètre de la tache est directement proportionnel au diamètre du télescope, d'où l'intérêt d'utiliser un diamètre important comme celui du Celestron C8

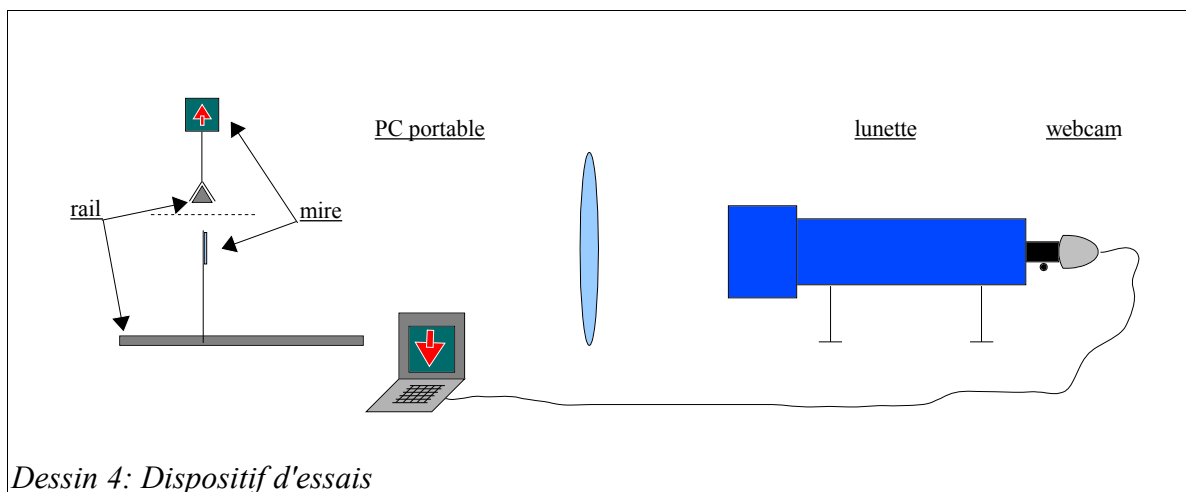


Précision de la méthode

Les applications numériques ci-dessus nous montrent que si l'objet est écarté d'1 cm du plan focal de la lentille, l'image présentera un flou de 0,11 mm (soit 20 pixels) très facile à détecter. Cette méthode est donc compatible avec l'objectif de la mesure. Au mieux, elle doit permettre de détecter la position du foyer avec une précision de l'ordre du mm (mais pas en dessous).

Mode Opérateur

Dispositif général



Le dispositif d'essais est constituée d'une mire qui peut se déplacer sur un rail de section triangulaire. L'image de cette mire formée par la lentille est observée avec une webcam montée sur le porte-oculaire d'une lunette. La webcam est reliée à un PC portable par un câble USB couplé à une rallonge de 5m. Ceci permet de placer le PC près de la mire. L'opérateur peut ainsi déplacer la mire tout en observant son image sur l'écran et déterminer ainsi la position donnant l'image la plus nette.

Mesure de distance

La mire

La focalisation à l'infini

La mesure