

► Correction : La grande muraille de Chine

1. Le modèle optique le plus simple pour l'oeil consiste en l'apposition d'une **lentille** (jouant le rôle du **cristallin**) et d'un **écran** (jouant le rôle de la **rétine**). On peut également représenter la **pupille** par un **diaphragme** qui se place devant la lentille.

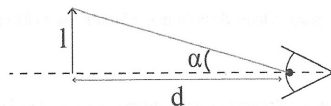
Parmi les grandeurs caractéristiques de l'oeil, on peut citer notamment (pour un oeil **emmétrope**, c'est-à-dire sans troubles de la réfraction) :

- *Punctum Remotum* : $+\infty$
- *Punctum Proximum* : 25 cm
- Résolution angulaire : 1' (minute d'arc) = $1/60^\circ$, soit 3×10^{-4} rad

Astuce

Le **critère de Rayleigh** permet de retrouver la résolution angulaire de l'oeil. En effet, la distance entre deux **taches d'Airy** (taches de diffraction) doit être supérieur à $1,22 \frac{\lambda}{D}$ pour qu'elles restent séparables. En supposant que la pupille mesure environ $D = 5$ mm, et pour le bleu, on obtient une résolution $\Delta\theta = 1 \times 10^{-4}$ rad.

2. On considère que la Grande Muraille est un objet de taille $l = 6$ m situé à une distance d de l'oeil. Pour vérifier si la muraille est visible depuis la Lune, on calcule l'ouverture angulaire à cette distance :



On a alors $\alpha = \arctan\left(\frac{l}{d}\right) \simeq \frac{l}{d}$ par l'approximation des petits angles.

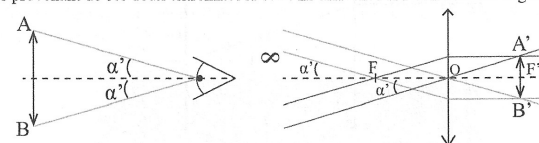
A.N. : $\alpha = 1.6 \times 10^{-8}$ rad

L'écart angulaire est bien inférieur à la résolution de l'oeil humain. La muraille n'est donc pas discernable à l'oeil nu depuis la Lune.

Question d'examinateur

Pourriez-vous tracer l'image de la muraille sur la rétine ?

La muraille est si loin qu'on la considère à l'**infini**. On la représente alors par des rayons parallèles incidents provenant de ses deux extrémités A et B . Ils arrivent sur l'oeil avec un angle $\alpha' = \frac{\alpha}{2}$:



On remarque que les dimensions des objets à l'**infini** sont mieux représentées par des **angles** que des distances. Ainsi les rayons émergeant du point A (qui représente l'extrémité gauche de la muraille) sont tous **parallèles**, et sont concourants sur le **plan focal image**.

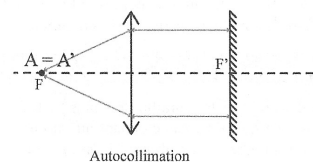
3. On cherche la distance d_{lim} de sorte que $\alpha'_{max} = 3 \times 10^{-4}$ rad = $\arctan\left(\frac{l}{d_{lim}}\right) \Rightarrow d_{lim} = \frac{l}{\alpha'_{max}}$

A.N. : $d_{lim} = 20$ km

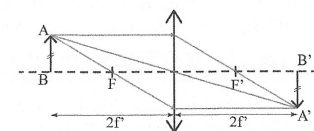
Il n'est donc pas possible pour les astronautes de voir la Grande Muraille à l'oeil nu.

4. La méthode la plus courante dans ce cas est l'**autocollimation**. On place un miroir au dos de la lentille et on la déplace de sorte que l'image se forme sur l'objet lui-même. La distance entre l'objet et la lentille correspond à la distance focale de la lentille.

On peut également mentionner la **méthode de Bessel** et la **méthode de Silbermann**, qui sont deux **méthodes focométriques** de détermination expérimentale de la focale d'une lentille optique convergente. Dans ce dernier cas, il faut déplacer la lentille et l'écran, en conservant la lentille à mi-distance entre l'objet et l'écran, jusqu'à obtenir une image nette de même grandeur que l'objet mais renversée.

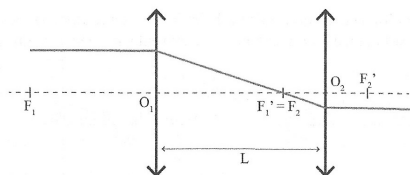


Autocollimation



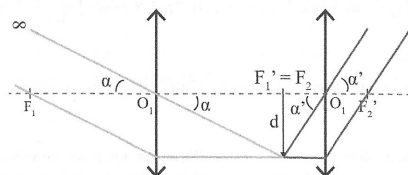
Méthode de Silbermann

5. Pour que la lunette soit **afocale**, l'image d'un objet à l'infini doit être renvoyée à l'infini. Il faut donc que le **foyer image** de la première lentille convergente coïncide avec le **foyer objet** de la seconde lentille.



■ **A.N.** : La seconde lentille doit être à une distance $L = f_1' + f_2' = 505 \text{ mm}$ de la première lentille.

6. Pour calculer le **grandissement**, on trace un rayon venant de l'infini et passant par le centre optique de la première lentille. Pour cela, on considère un objet à l'infini émettant des rayons lumineux parallèles avec un angle α par rapport au centre optique. L'image de cet objet se trouve sur le foyer image F_1' . Celle-ci est un objet virtuel pour la seconde lentille : on trace donc les rayons issus de cet objet.



On remarque alors, pour des angles α et α' très petits, que :

$$\begin{cases} \tan(\alpha) = \frac{d}{f_1} \approx \alpha \\ \tan(\alpha') = \frac{d}{f_2'} \approx \alpha' \end{cases} \Rightarrow G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{f_1'}{f_2'}$$

■ **A.N.** : $G = 100$

Même avec un grossissement angulaire de 100, l'angle de perception de la muraille depuis la Lune est de $\alpha_{\text{lunette}} = 100\alpha_{\text{oeil}} = 1.6 \times 10^{-6} \text{ rad}$, ce qui est toujours trop faible pour être discerné par l'oeil humain.

⊕ Petit plus

L'astronaute Thomas Pesquet confirme qu'il n'a pas pu discerner ni la muraille de Chine ni les pyramides à l'oeil nu depuis l'ISS située à 400 km du sol, ce qui n'est pas étonnant au vu des résultats précédents. En revanche, il a pu prendre des photos à l'aide de son **objectif à fort zoom**. On pourrait d'ailleurs estimer son grossissement...