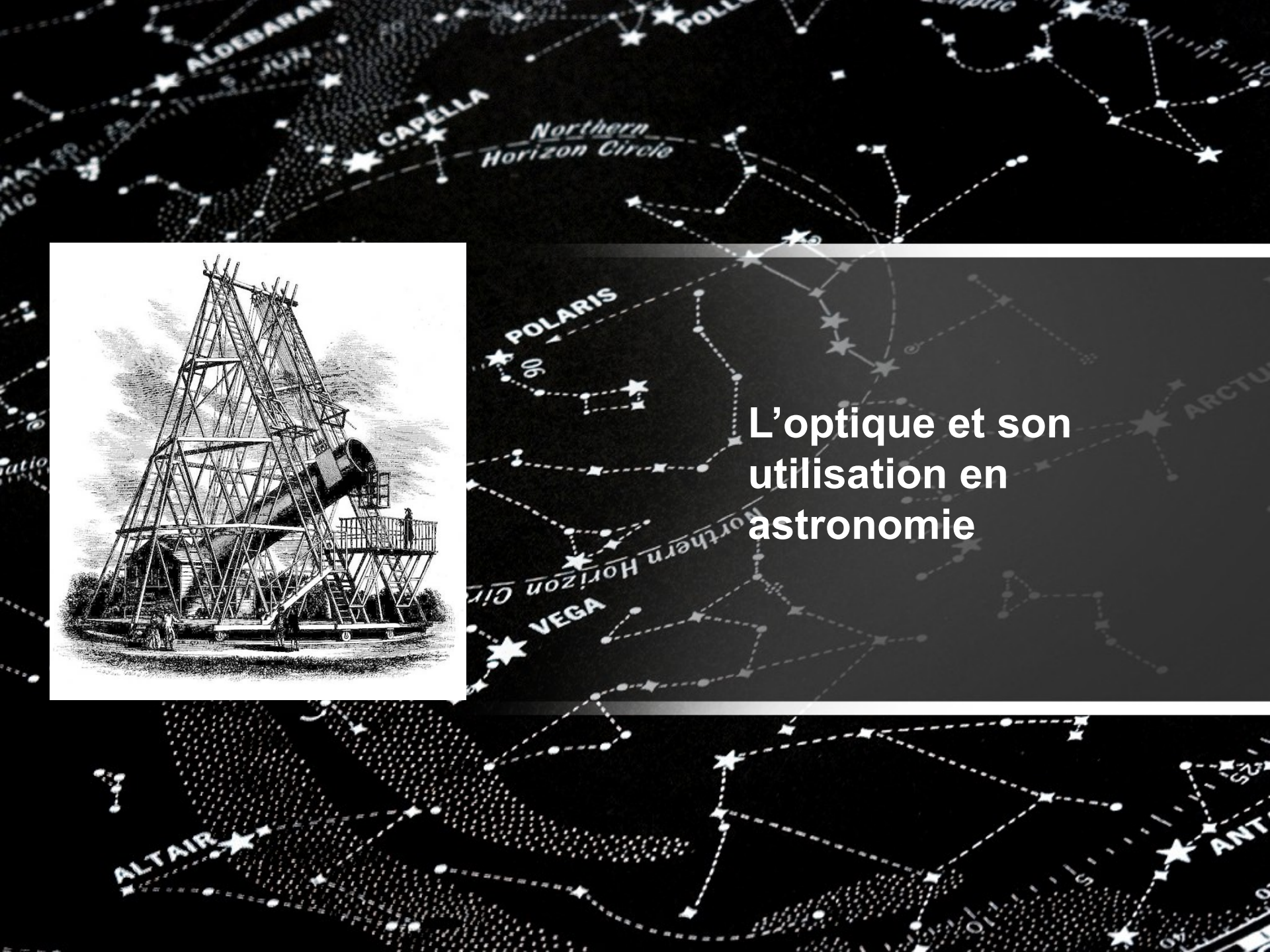


# L'optique et son utilisation en astronomie



# L'optique géométrique

- La lumière est réduite à des rayons lumineux
- On ne retient que la direction des ondes électromagnétiques.
- Les seules caractéristiques électromagnétique qui sont utilisées sont la direction de la lumière et sa couleur (longueur d'onde) puisqu'elle influe sur les caractéristiques des éléments traversés via la réfraction.

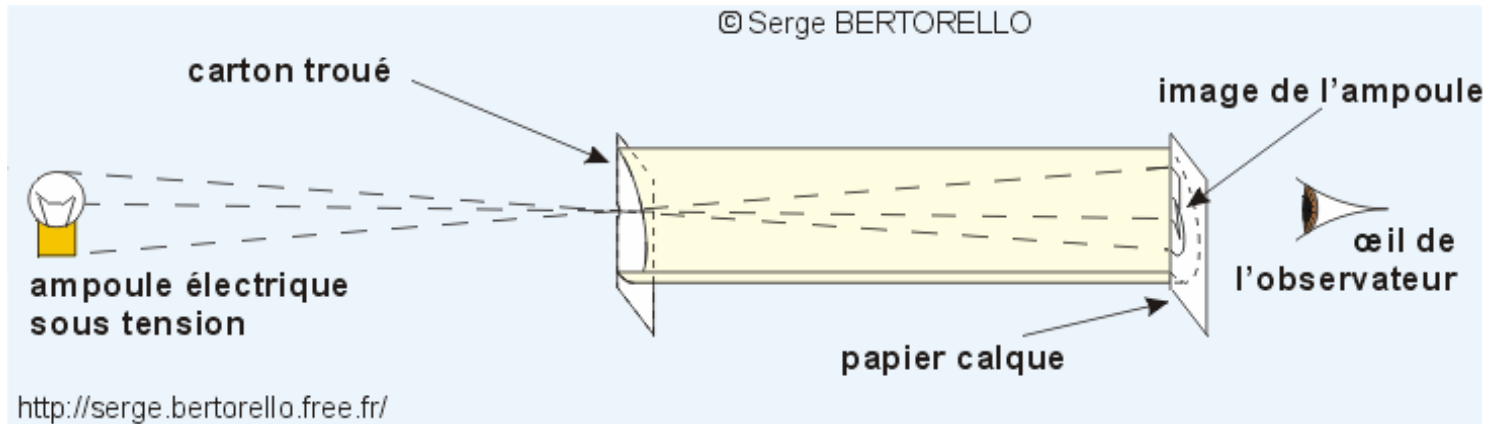


# Dates des découvertes

- Aristote ( 384 – 320 avant J.-C. ) : Principe de la chambre noire
- Ptolémée (100 -168 ) : Création de la plus ancienne table de réfraction de l'air à l'eau
- Ibn Sahl ( 983 ) : comment focaliser la lumière d'une source proche ou lointaine par réflexion ou par réfraction pour obtenir un point ardent ? Première mention de la **loi de la réfraction**.
- Alhazen 965 – 1040 : Pionnier de l'**optique géométrique**. Étudie la nature de la lumière et des couleurs, le trajet des rayons lumineux, les problèmes de réflexion et de réfraction.
- Kepler ( 1611 ) : Loi approchée de la réfraction
- W. Snell ( 1621 ) : Redécouvertes en Europe par le physicien hollandais
- René Descartes ( 1637 ) : Redécouvertes en France.
- *Cette propriété a été décrite expérimentalement par Snell et interprétée théoriquement par Descartes.*

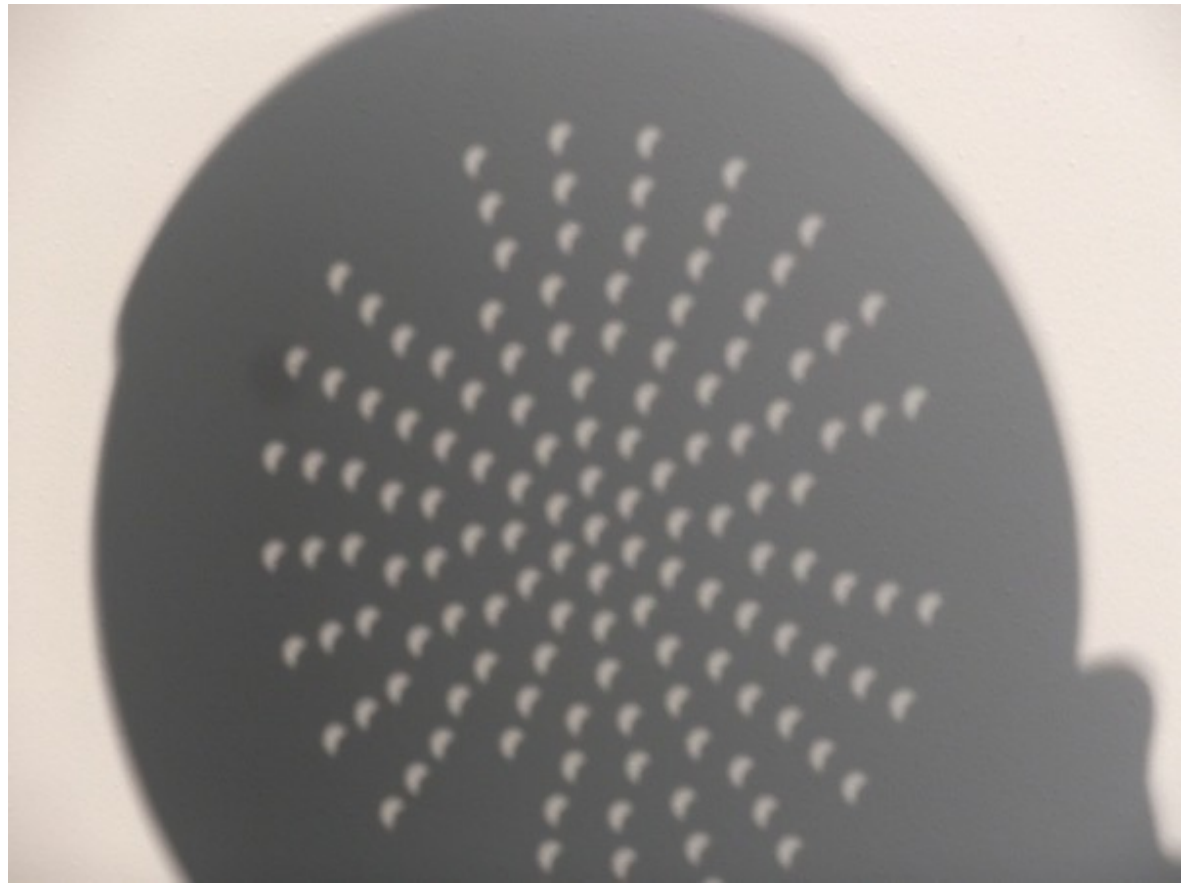


# Le sténopé ( Alhazen 965 – 1040 )



- L'image est renversée de bas en haut et de droite à gauche.
- Elle est floue et peu lumineuse.
- Plus le trou est gros, plus l'image est lumineuse et floue.
- Plus l'ampoule est éloignée du trou, plus son image est petite.
- Plus la longueur du tube est grande, plus l'image est grande et pâle (et inversement )

# Le sténopé



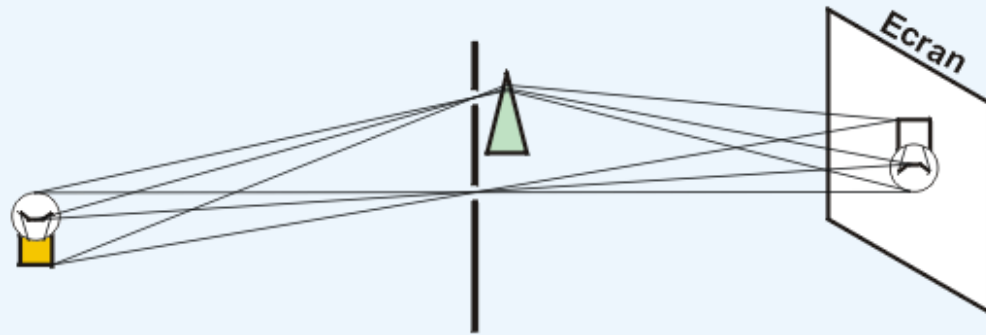
- Il y a autant de projections images qu'il y a de trous dans la passoire
- Les images projetées sont identiques et de même luminosité.

*Et si on superposait toutes les images pour n'en faire qu'une ?*

# Sténopé et plus si affinité

<http://serge.bertorello.free.fr/>

© Serge BERTORELLO



Les deux images se superposent

*Et si nous mettions plus de trous et plus de prismes ???*

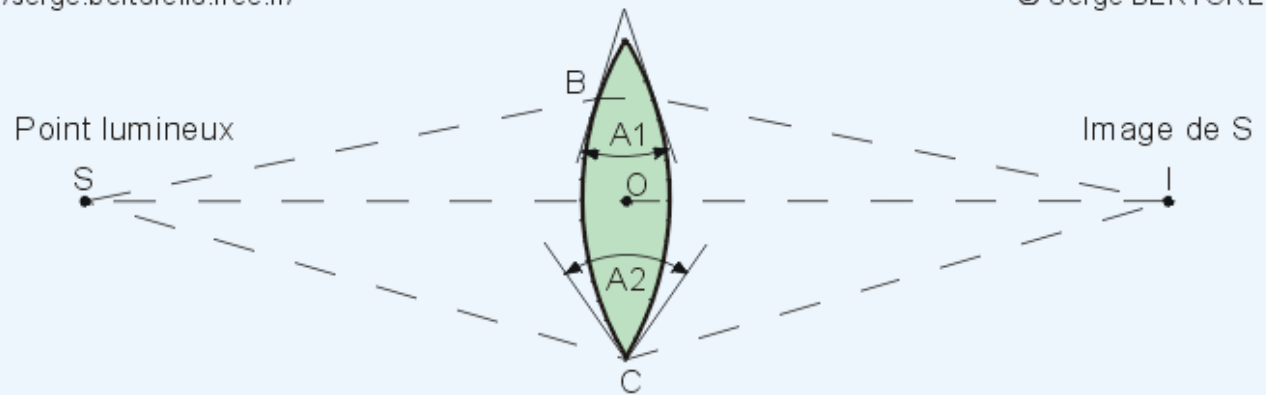
# Sténopé et plus si affinité

Si nous continuons encore à rajouter des sténopés, ceux-ci vont fusionner en **un seul trou de grand diamètre** et les prismes vont fusionner en **une seule pièce de verre à faces sphériques**.

*Nous venons d'inventer la lentille convergente.*

<http://serge.bertorello.free.fr/>

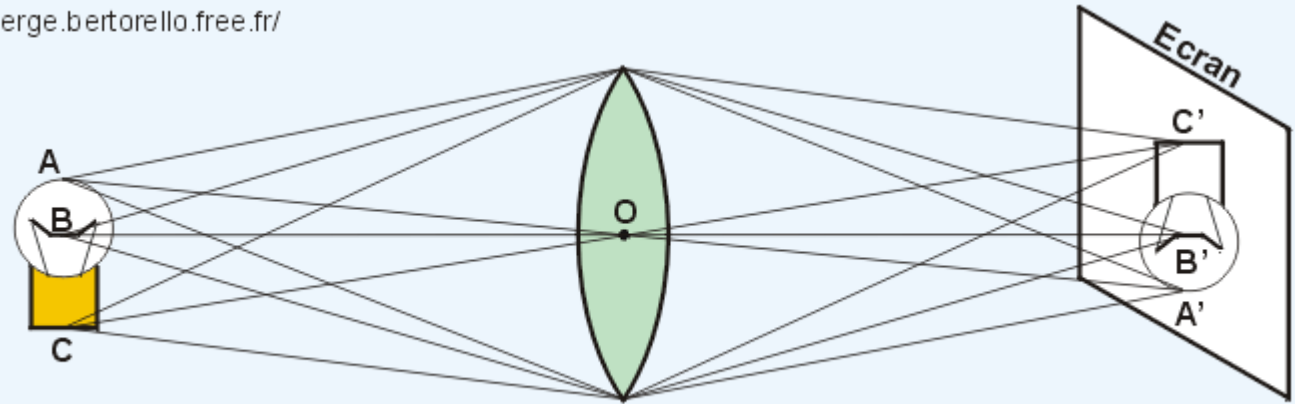
© Serge BERTORELLO



# Sténopé et plus si affinité



<http://serge.bertorello.free.fr/>



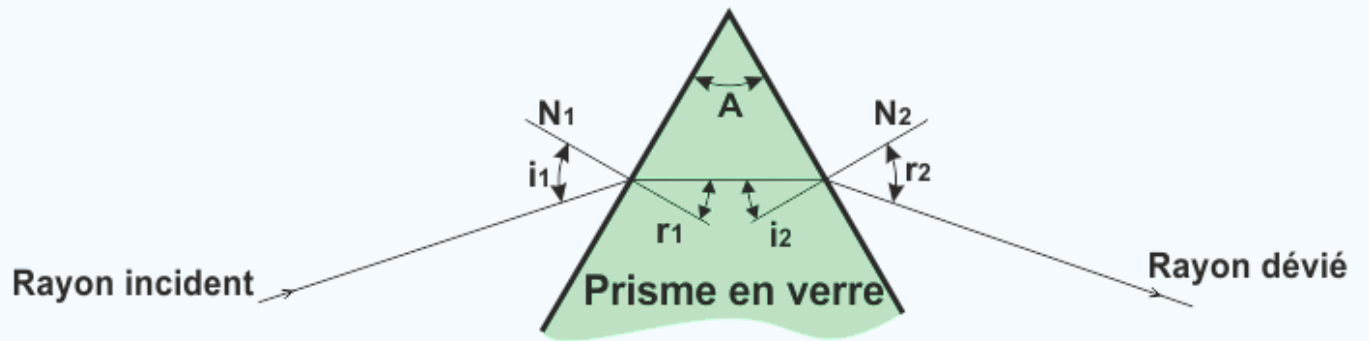
© Serge BERTORELLO

# Que s'est-il passé ?

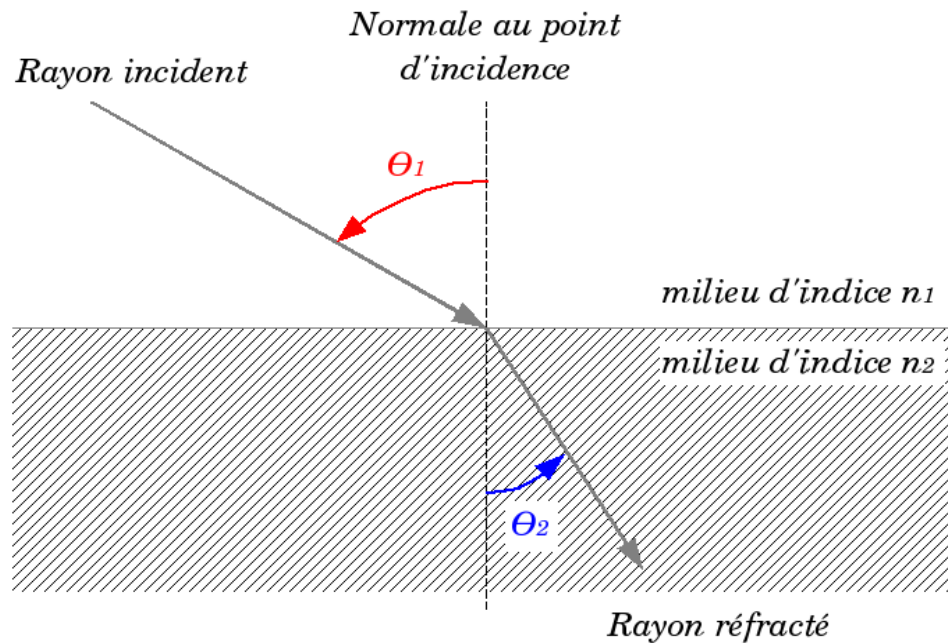


<http://serge.bertorello.free.fr/>

© Serge BERTORELLO



# loi de la réfraction de Snell-Descartes



**Snell-Descartes - loi de la réfraction ( 1937 )**

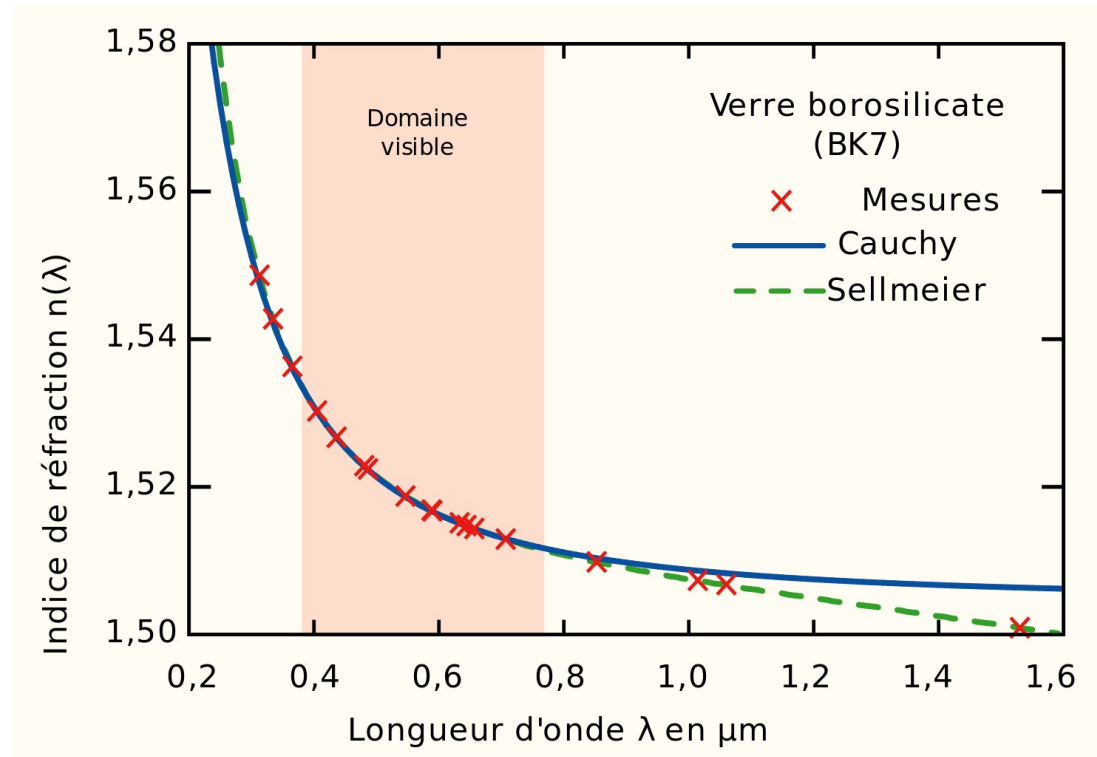
$$n_1 \times \sin \theta_1 = n_2 \times \sin \theta_2$$

- $n_1$  représente l'indice de réfraction du rayon incident
- $\theta_1$  représente l'angle d'incidence ( $^\circ$ )
- $n_2$  représente l'indice de réfraction du rayon réfléchi
- $\theta_2$  représente l'angle de réfraction ( $^\circ$ )



L'indice de réfraction varie en fonction de la longueur d'onde

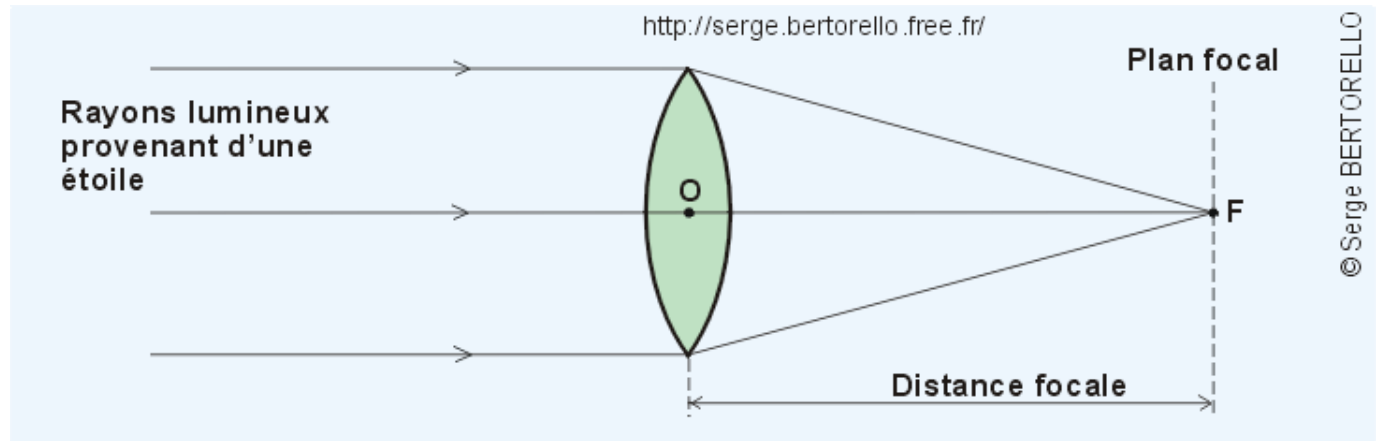
# loi de Cauchy



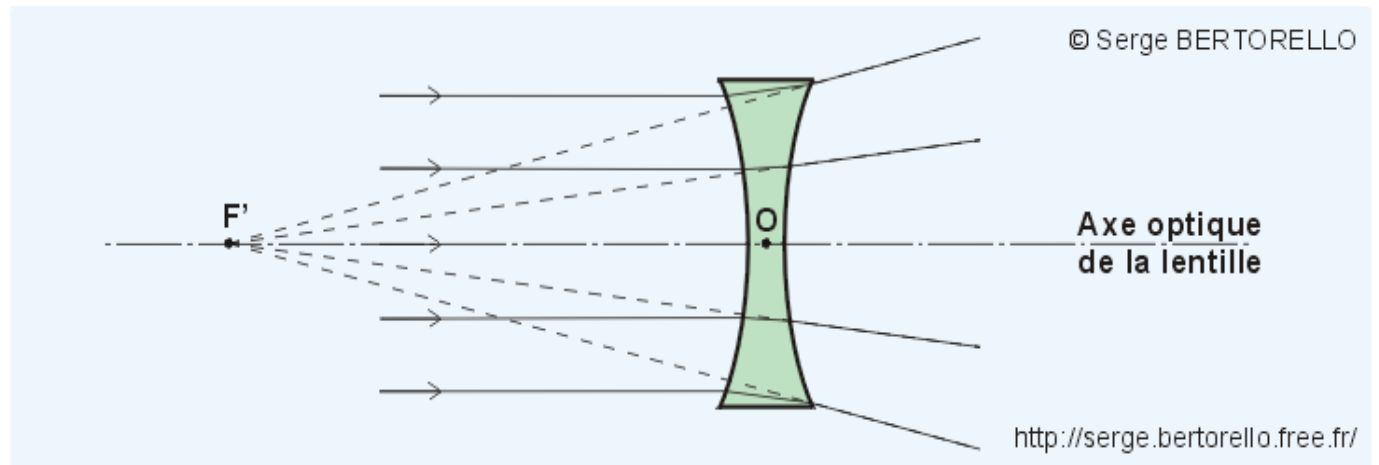
$$n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2}$$

Avec A et B des paramètres propres à chaque matériau.

# Convergentes / divergentes



lentille convexe → convergente



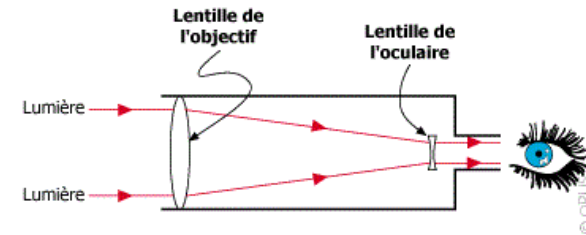
Une lentille concave -> divergente



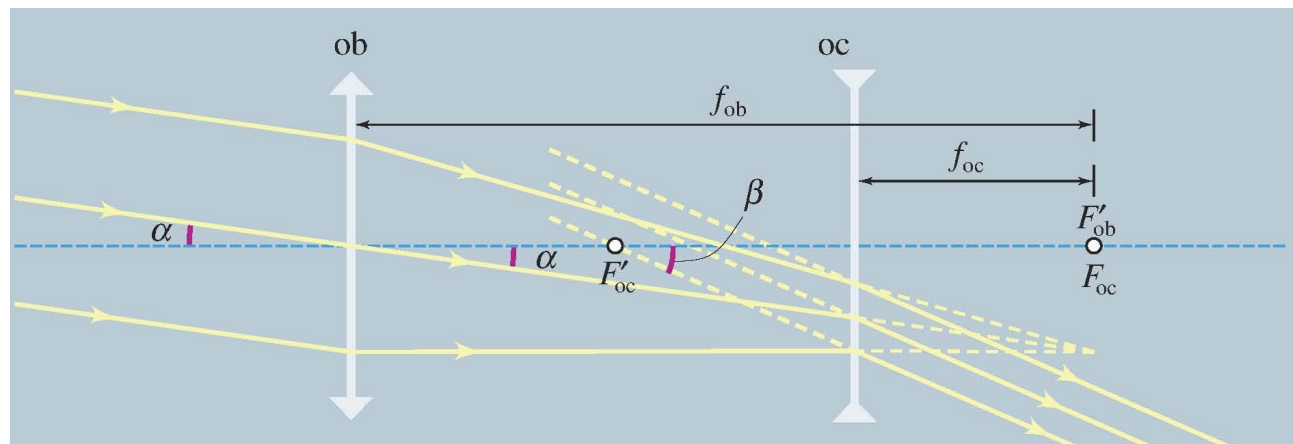
# Lunette de Galilée (1609)

Après avoir entendu parler de l'invention de la première lunette astronomique par le hollandais Hans Lippershey, Galilée fabriqua un modèle perfectionné qu'il orienta vers le ciel.

- La lunette de Galilée est composée :
- D'une première lentille convergente
  - d'une seconde lentille divergente

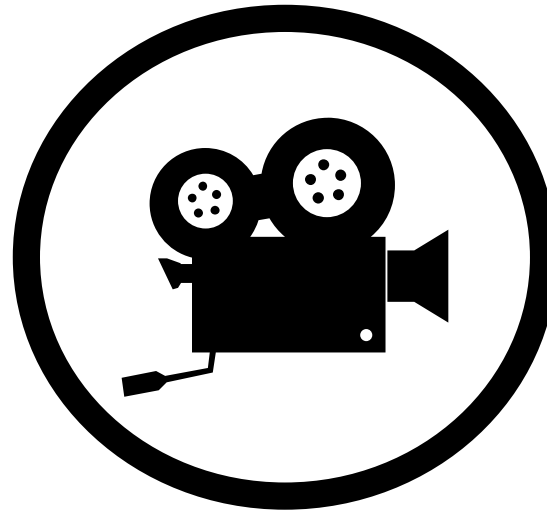


Lunette astronomique de Galilée



$$G = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{f_{ob}}{f_{oc}}$$

# Lunette de Galilée (1609 )



Lien Video : [https://youtu.be/GKlIzJTYS0\\_M](https://youtu.be/GKlIzJTYS0_M)

# Lunette de Galilée

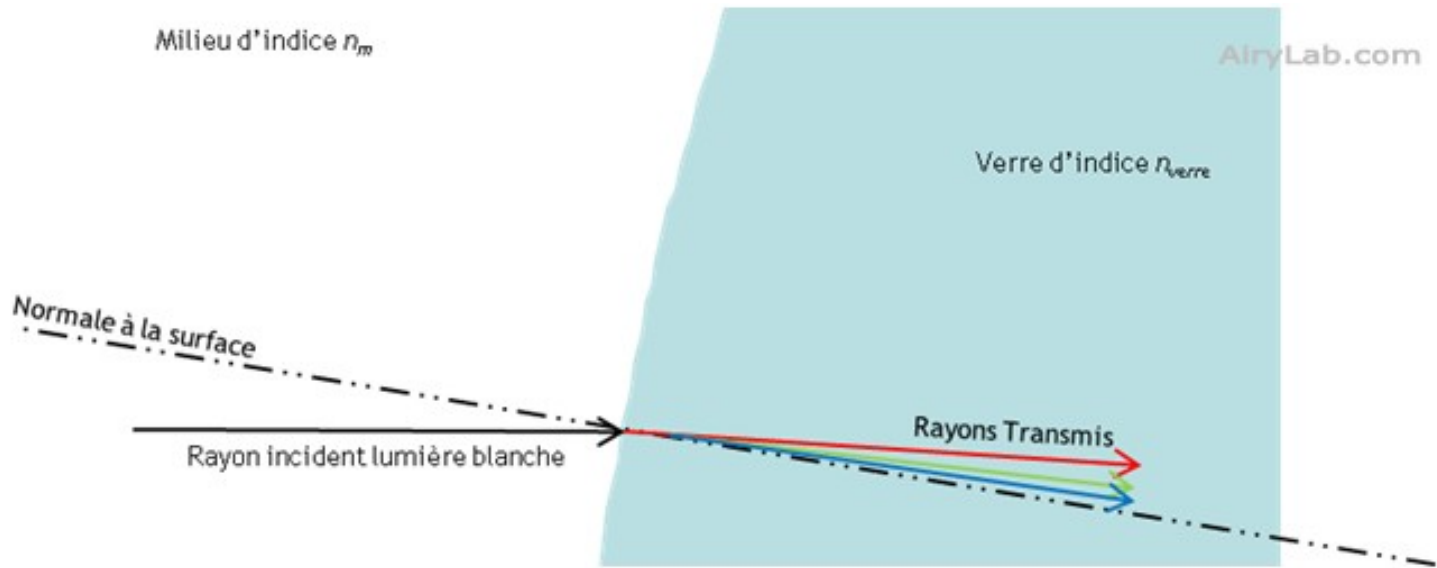
A permis de découvrir que :

- les montagnes et cratères de la Lune
- que Jupiter avait des satellites
- que la Voie Lactée est faite de petites étoiles
- que Vénus avait des « phases » comme la lune

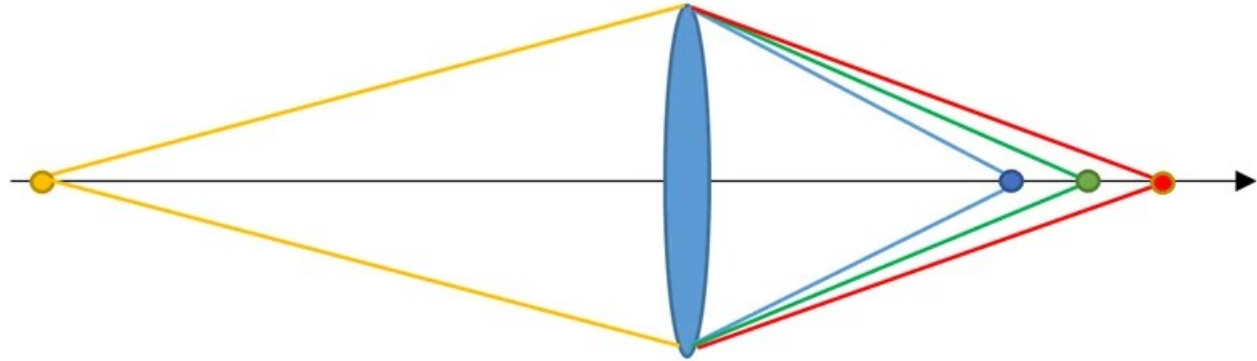


La tare majeure de ces instruments est **l'aberration chromatique** mais pas seulement...

# Le chromatisme



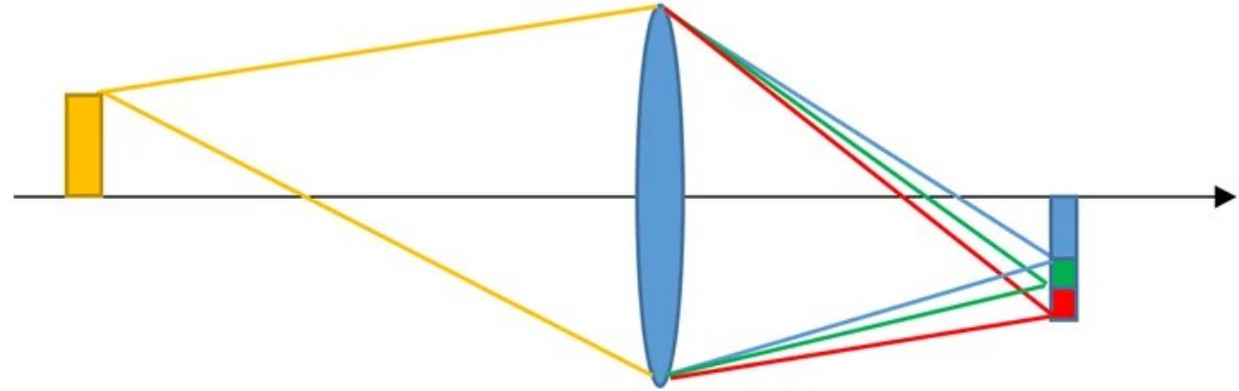
# L'aberration chromatique axiale



- la mise au point n'est pas la même pour les différentes couleurs => Image floue
- aberration particulièrement forte sur les longues focales.



# L'aberration chromatique latérale



- l'aberration latérale se produit perpendiculairement à l'axe
- aberration affecte principalement les courtes focales.
- irisations sur les bords des objets à fort contraste.



# L'aberration chromatique



# L'aberration sphérique

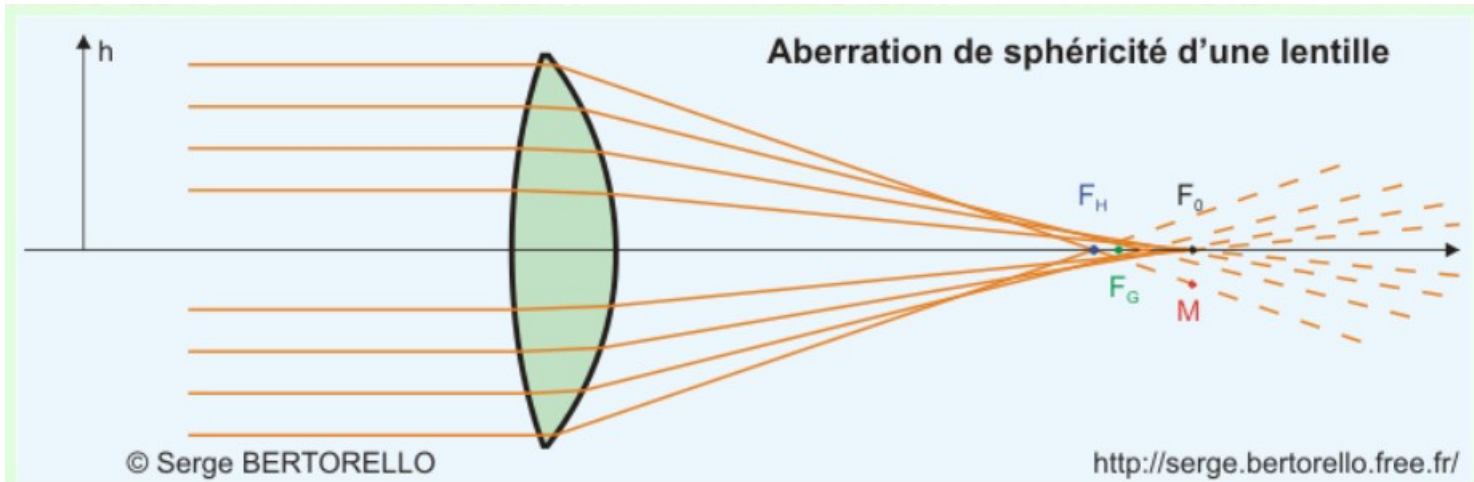
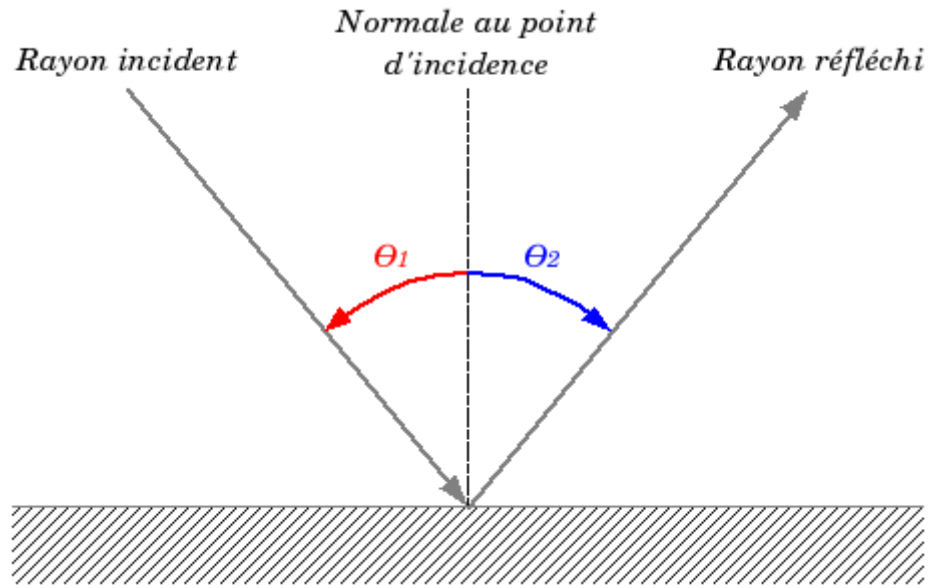


Figure 10 : Image d'une étoile fournie par une lentille affectée par l'aberration de sphéricité.  
 $F_0$  = foyer des rayons centraux,  $F_H$  = foyer des rayons marginaux,  
 $F_G$  = lieu de la plus petite section du faisceau.

*Il est plus facile de polir des lentilles plus larges que des petites... sans diaphragme les images sont plus floues.*

Dans une lettre à Antoine de Médicis du 7 janvier 1610, Galilée écrit :  
*« le verre convexe situé loin de l'œil doit être recouvert en partie car ainsi les objets sont vus plus distinctement »*

# Loi de la réflexion de Snell-Descartes



Les lois de la réflexion s'énoncent ainsi :

- le rayon réfléchi, le rayon incident et la normale (au dioptre) sont contenus dans le plan d'incidence
- les angles incidents et réfléchis sont égaux en valeurs absolues ;  $\theta_1$  et  $\theta_2$  vérifient :  $\theta_2 = - \theta_1$ .

*Remarque : La notion d'indice du milieu disparaît...*

# Reflecteur type Newton ( 1671 )

Dans les années 1660 (Après Snell/Descartes) Newton fait lui aussi ses expériences sur la lumière, les lentilles, l'aberration chromatiques...

**Il est persuadé qu'il n'y a pas de solution à l'aberration chromatique...**

→ utilisation d'un miroir concave métallique pour obtenir des images du ciel, et construit en 1668 le premier télescope

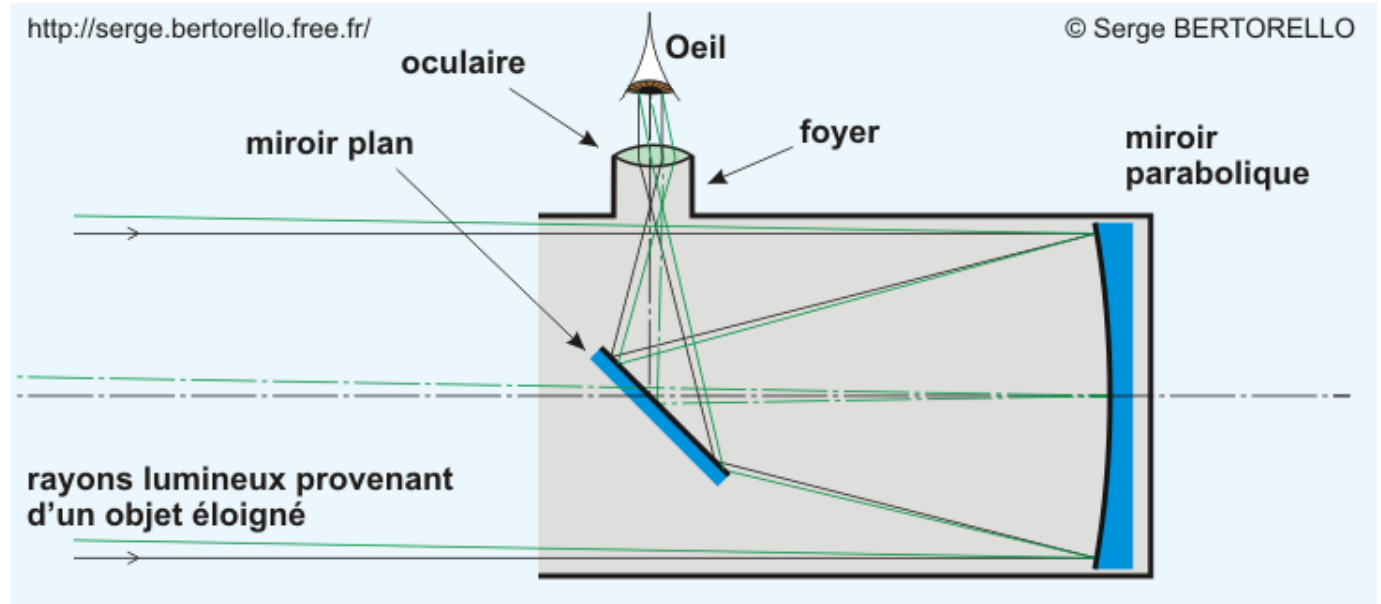
- Miroir primaire sphérique en bronze ( 2/3 cuivre + 1/3 étain )
- Miroir secondaire plan

L'idée n'est pas nouvelle mais la réalisation si.

La difficulté de cette réalisation rebutait les autres opticiens de l'époque et c'est pour cela que pendant les cinquante années qui suivirent cette solution n'eut pas d'adeptes. D'autant que 60 ans plus tard, la solution contre l'aberration chromatique était trouvée.

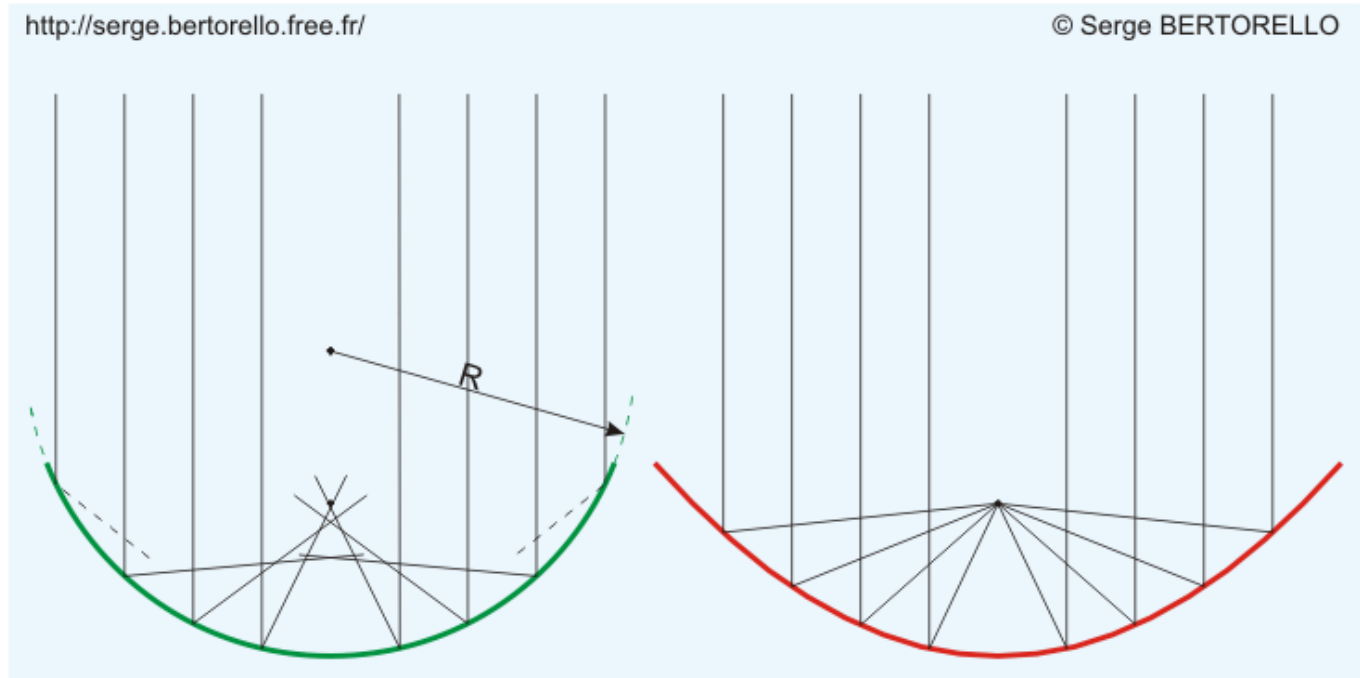


# Reflecteur type Newton ( 1671 )



# Reflecteur type Newton ( 1671 )

La réalisation d'un miroir parabolique est difficile. Même de nos jours, cela reste plus complexe qu'un miroir sphérique.

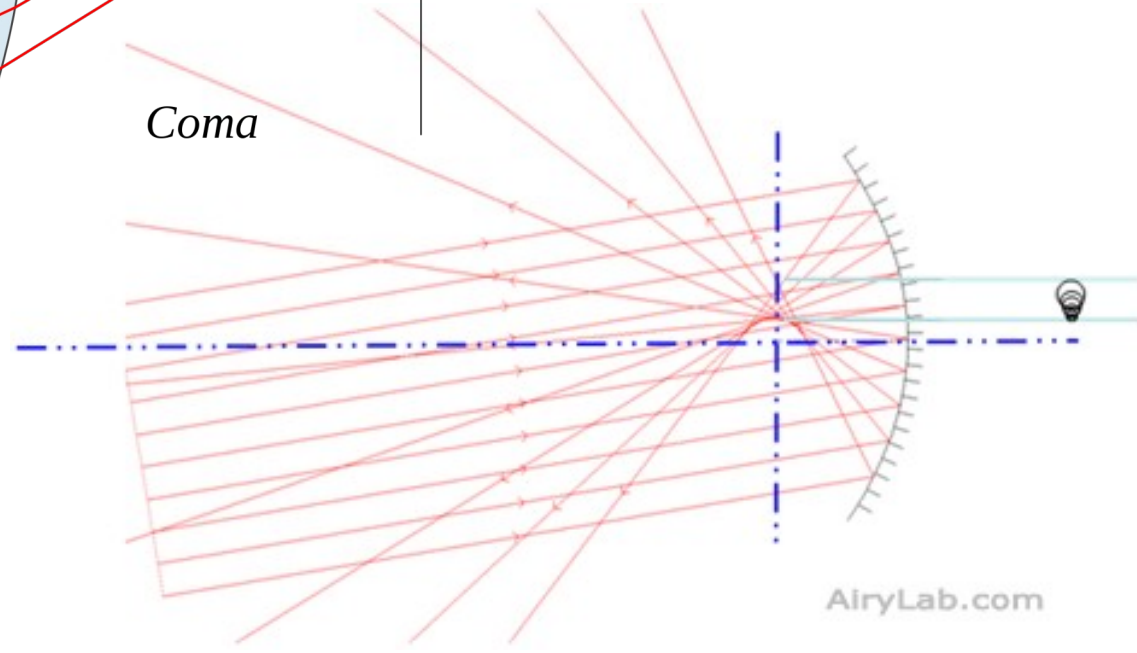
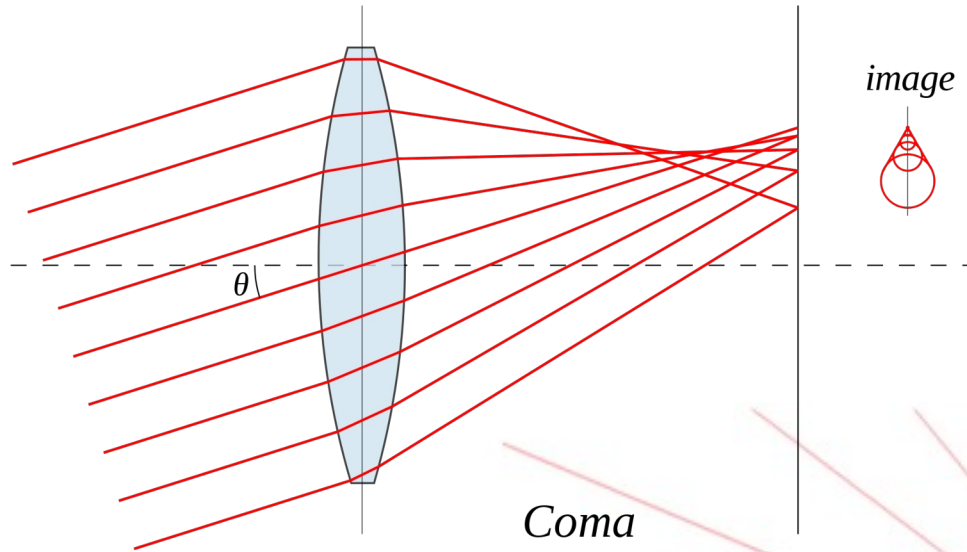
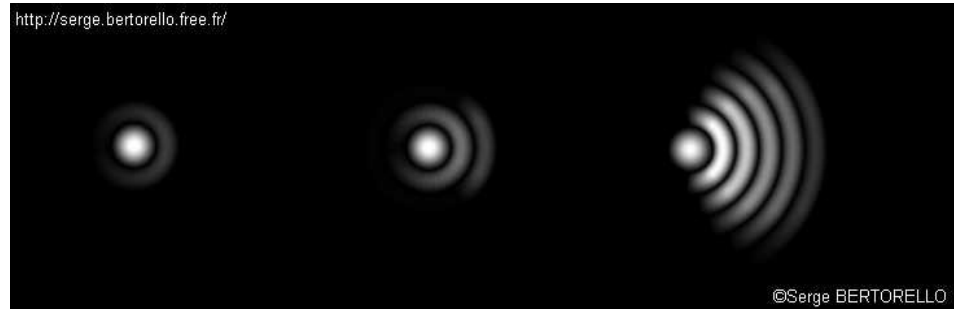


James Gregory en 1663. Dans le livre qu'il publie, *Optica Promota*, il pointe le fait que l'utilisation de miroirs dont la forme est une conique (parabole, hyperbole ou ellipse) permet de s'affranchir de l'**aberration chromatique** et de l'**aberration sphérique**

# Mirroir parabolique : La coma

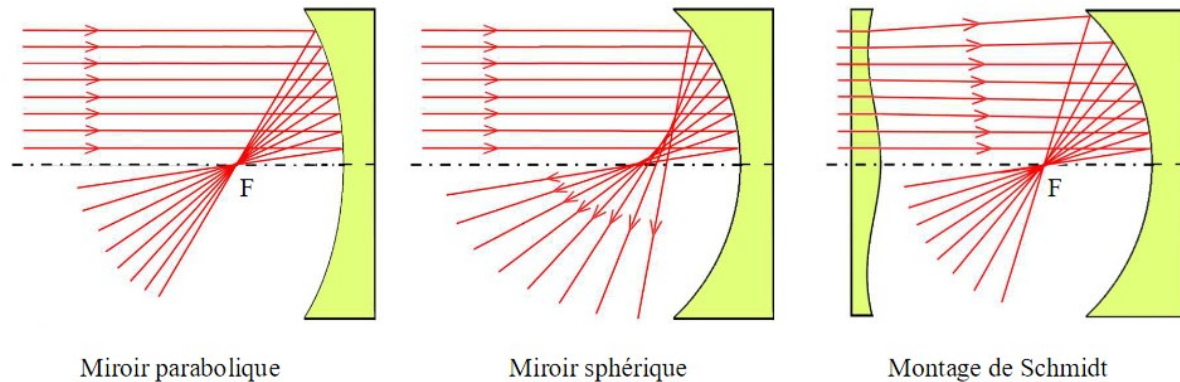
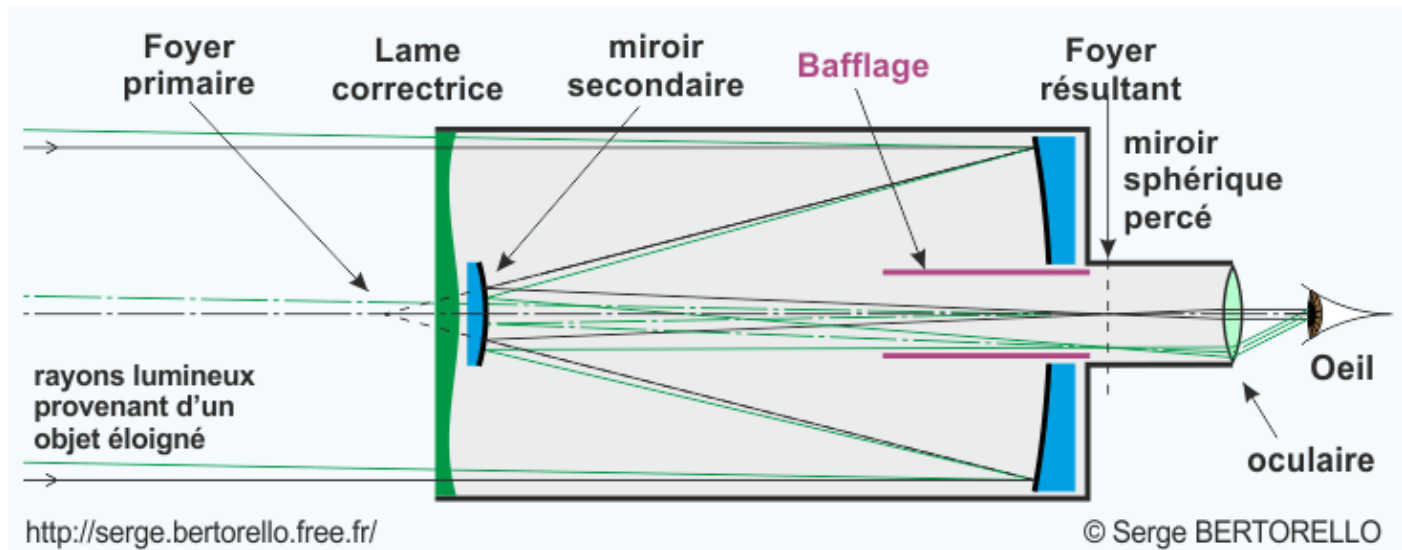


# La coma



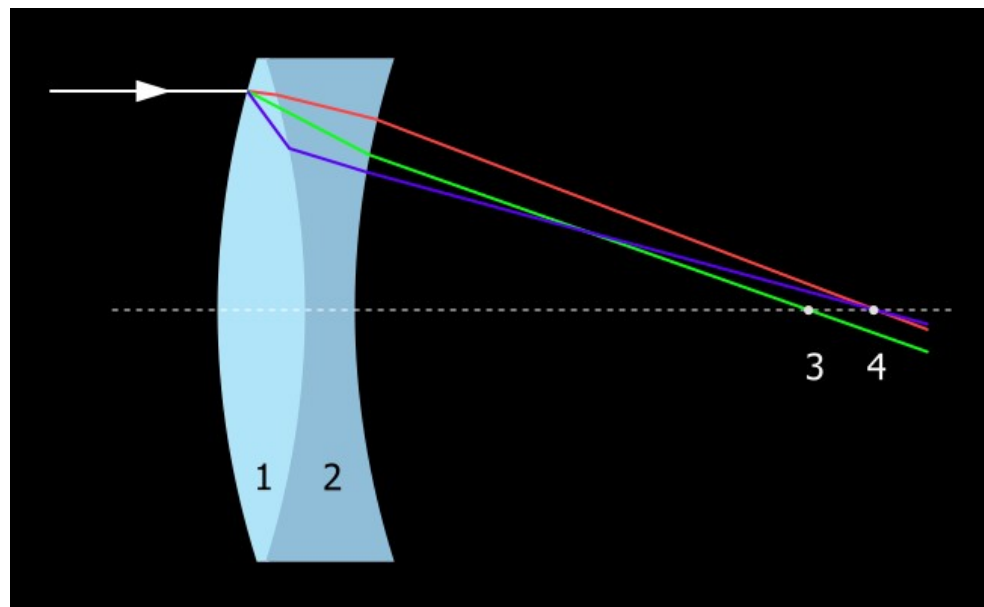


# Type Schmidt-Cassegrain ( catadioptrique )

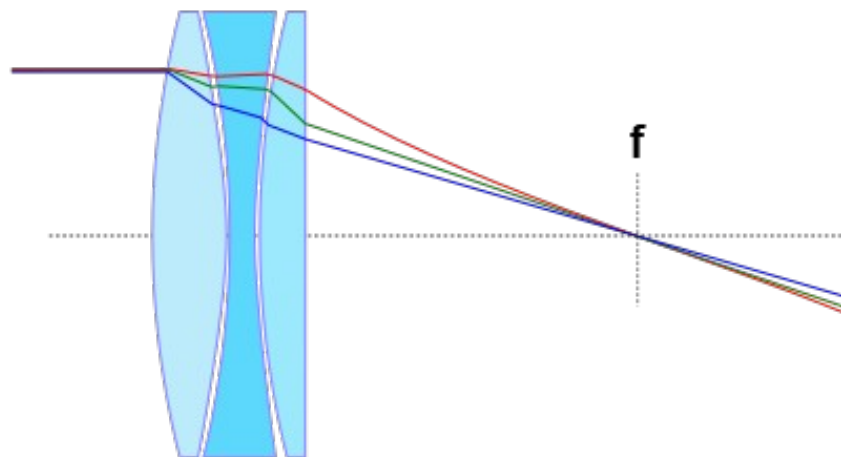


- Miroir primaire sphérique
- Lame de Schmidt corrige l'aberration de sphéricité
- Le miroir secondaire est habituellement sphérique
- Retour du chromatisme mais très faiblement

# Solution au chromatisme



Doublet achromatique



Triplet apochromatique



**Fin**  
**Merci pour votre courage**