

La lunette astronomique ... Le retour !



*Stage « Astronomie – Notions de Base » DAFOP-CRAL
03 et 04/12/2019
Sylvain Valour - Professeur relais en astronomie*

Sommaire



I – Le retour dans les programmes

II – Petite histoire de la lunette

III – les éléments d'une lunette

IV- Réalisation simplifiée

V – Modélisation

VI – Lunette non afocale

VII – Lunette de Galilée

I – Le retour dans les programmes

Notions abordées en classe de première :

Relation de conjugaison d'une lentille mince convergente, image réelle, image virtuelle.

En Term : Notion et contenu : Modèle optique d'une lunette astronomique avec objectif et oculaire convergents.
Grossissement

Capacités exigibles, Activités expérimentales support de la formation :

- Représenter le schéma d'une lunette afocale modélisée par deux lentilles minces convergentes ; identifier l'objectif et l'oculaire.
- Représenter le faisceau émergent issu d'un point objet situé « à l'infini » et traversant une lunette afocale.
- Établir l'expression du grossissement d'une lunette afocale.
- Exploiter les données caractéristiques d'une lunette commerciale.
- Réaliser une maquette de lunette astronomique ou utiliser une lunette commerciale pour en déterminer le grossissement.*
- Vérifier la position de l'image intermédiaire en la visualisant sur un écran.*

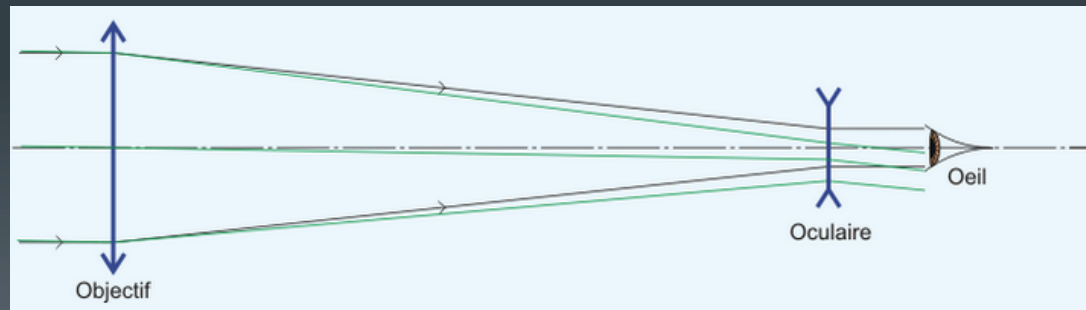
Capacités expérimentales :

- Estimer la distance focale d'une lentille mince convergente.
- Réaliser un montage optique comportant une ou deux lentilles minces.



II – Petite histoire de la lunette

- En 1608, l'opticien hollandais Hans Lippershey développe une longue vue
- 1609 : Galilée prend connaissance de cette invention, l'améliore, et la tourne vers les étoiles
- Instrument avec 2 lentilles
- 1610 : « Le messager des étoiles » par Galilée où il rassemble ses observations.



- Premier instrument d'observation, faible grossissement, faible champ. Image droite



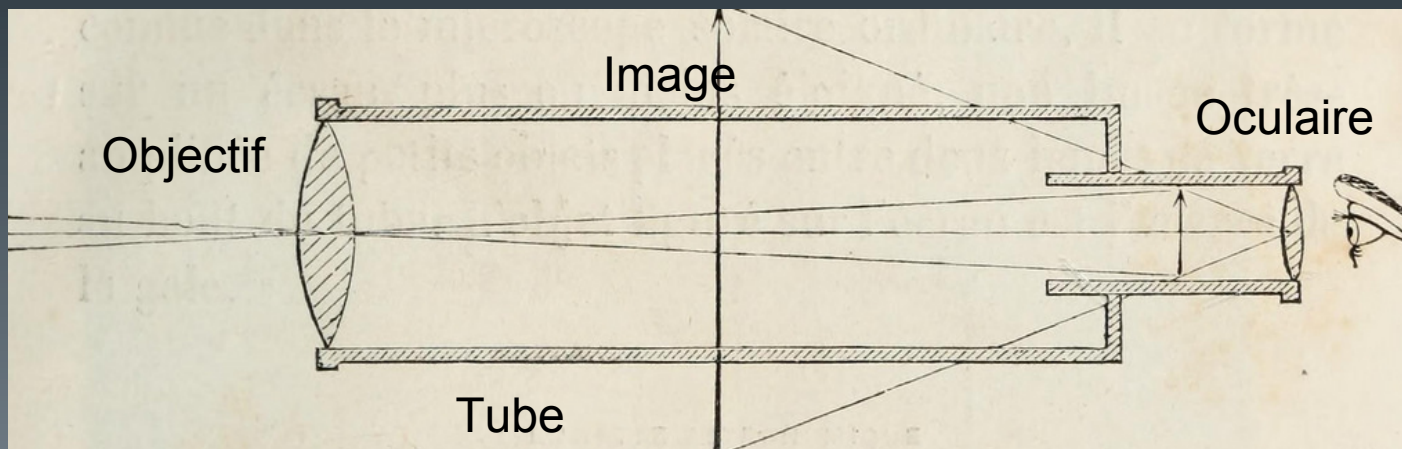
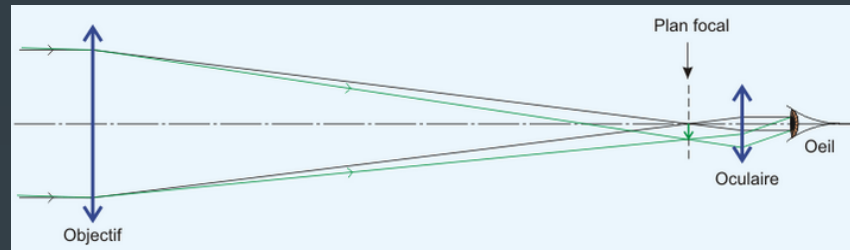
Evolution par Képler

1611 : Lunette de Kepler avec 2 lentilles convexes aux extrémités d'un tube réglable en longueur

Devenue la « Lunette astronomique » classique et pédagogique.

-montage de principe encore utilisé. Grossissement important ; champ plus significatif. Image renversée.

-Instruments contemporains corrigés d'aberrations chromatiques.



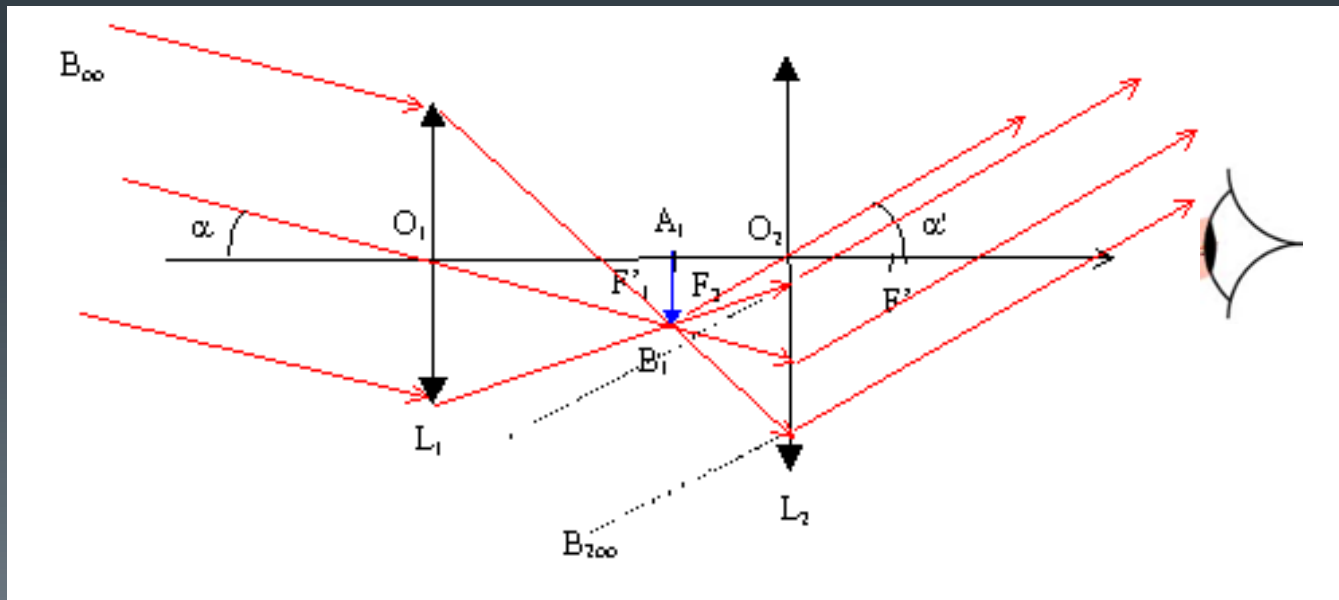
III – Les éléments d'une lunette de Képler

L1 : objectif : Lentille convergente (distance focale de qq dizaines de cm)

L2 : oculaire : Lentille convergente (distance focale de qq cm)

$\alpha' > \alpha$ d'où le grossissement

Lunette astronomique réglée à l'infini



A partir d'illustration, de modèles anciens ou actuels, répondre aux questions suivantes à propos de la lunette astronomique :

- Son rôle
- La façon dont on l'utilise
- Sa taille
- Repérer objectif et oculaire et leurs caractéristiques
- Calculer le grossissement pour un oculaire donné

Et concernant les objets observés :

- Leur distance
- Forme du faisceau de lumière qui en est issu
- Angle apparent

Dans la suite nous essaierons de positionner un objet à grande distance (quelques mètres), et nous considérerons qu'il est placé « à l'infini »



IV– Réalisation simplifiée : C'est à vous !

- Choix des types de lentilles : diamètre et focale
 - l'objectif : lentille grande et focale longue donc vergence faible : lentille $+2\delta$ ou $+3\delta$
 - l'oculaire : lentille pouvant être plus petite ; loupe donc focale courte et vergence élevée : lentille $+20\delta$
- Positionnement de l'objet « à l'infini » : scotcher le texte sur papier millimétré au mur (4 ou 5 m de distance idéalement)
- Positionnement de l'objectif sur le banc : au bout du banc (la grande règle graduée), coté objet ; aligner l'objet, et l'objectif avec le banc.
- Observation de l'image intermédiaire sur un écran mobile (Position, sens, taille)
- Positionnement de l'oculaire (aligner en hauteur l'objet, l'objectif et l'oculaire) ; positionner le foyer image de l'objectif au même endroit que le foyer objet de l'oculaire. Autrement dit, entre les deux lentilles, la distance doit être égale à la somme de leurs focales.

- Pourquoi est-il possible de lire un texte à travers la lunette alors qu'il est illisible à l'œil nu ?

Observer l'objet « à l'infini » à l'œil nu : Que lit-on ?

Observer l'objet « à l'infini » à travers la lunette (donc l'œil à l'oculaire) : Que lit-on ?

Explications :

- Explications :

Taille du texte :

Lettres de 1cm observées à 5m soit un angle apparent de $\theta \approx 0,002$ rad

Lettres de 5mm observées à 5m soit un angle apparent de $\theta \approx 0,001$ rad

Lettres de 2mm observées à 5m soit un angle apparent de $\theta \approx 0,0004$ rad

- Pour l'œil humain, la limite de résolution est d'environ $\theta \approx 1'$ d'angle soit environ 0,0003 rad

A 5 m le plus petit objet observable a une taille de $r = L \times \tan \theta \approx L \times \theta \approx 5 \times 0,0003 \approx 1,5$ mm

- Le texte peut donc (très) difficilement être lu à l'œil nu à 5m

- Et à travers la lunette ?
- Calculer son grossissement

G =

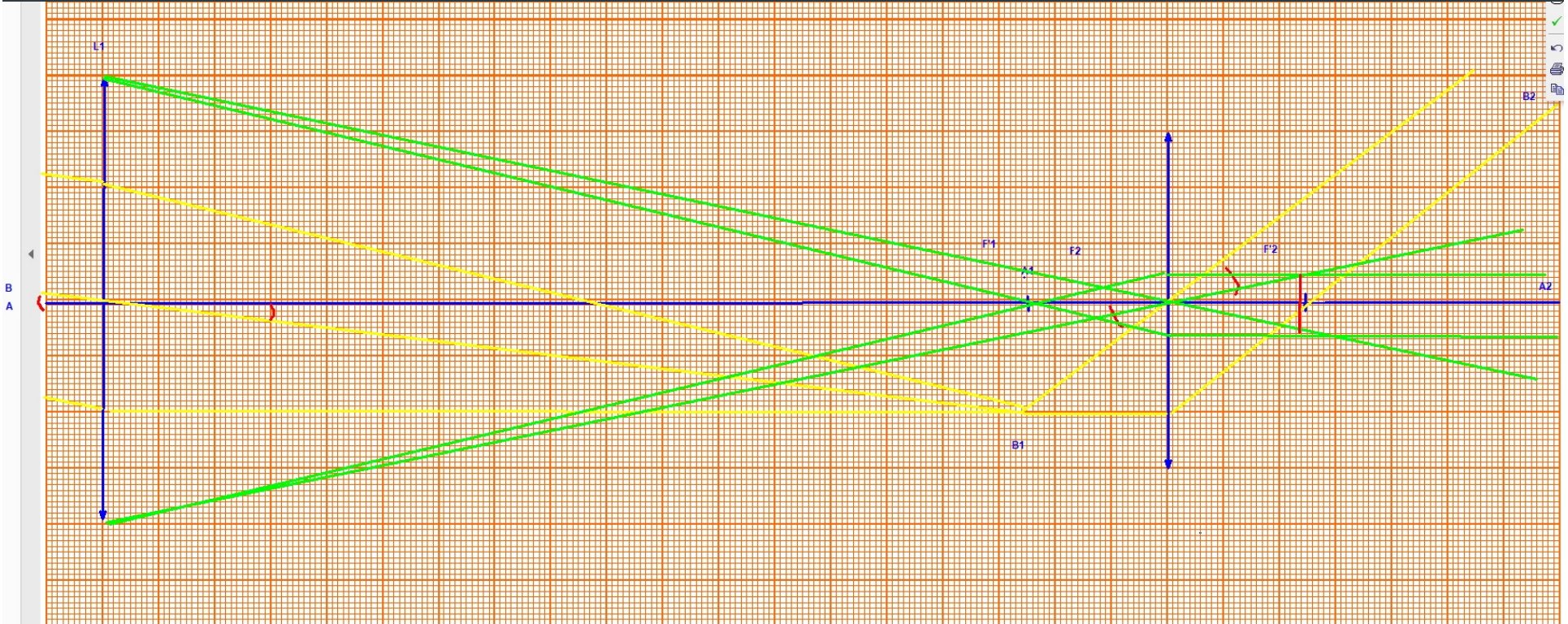
- Prouver que le texte a pu devenir lisible

Taille de la lettre écrite (mm)	Angle apparent à 5m (sans la lunette) (rad)	Angle apparent à 5m (Avec la lunette) (rad)	Limite de résolution œil humain (rad)
10	0,0020		0,0003
5	0,0010		0,0003
2	0,0005		0,0003

- Conclusion :

V – Modélisation : à vos crayon !

- Tracer de façon schématique, et sans souci d'échelle, le montage de la lunette pour un réglage afocal ($F'1$ est superposé avec $F2$)
- Tracer à l'échelle votre lunette modélisée (réglage afocal) ;
Sur papier millimétré
(Echelle verticale 1cm pour 1cm ; échelle horizontale 1cm sur le schéma pour 2 cm réels)
- Tracer la position de l'image intermédiaire puis l'image donnée par l'oculaire.
- Tracer le cercle oculaire : C'est l'image des bords de l'objectif donnée par l'oculaire. (Utilisation de 3 rayons particuliers...)
- Vérifier par le calcul sa position et sa taille
(Formule de conjugaison et de grandissement...)



VI – Lunette non afocale

Deux « dérèglages » possibles :

1) F2 « après » F'1 : projection sur un écran

Intérêt en observation solaire

[Animation](#)

2) F2 « avant » F'1

Visualisation de l'effet « loupe » de l'oculaire et position de l'image définitive.

Pour la voir, il faut regarder DANS la lunette.



J'espère que
vous avez tout
compris sur
l'utilisation des
lunettes
astronomiques

...

Merci de votre attention

Sylvain Valour – Professeur relais en astronomie – Lycée Albert Camus Firminy

▪ Ressources-sitographie :

-Les lunettes de Galilée :

<http://www.astrosurf.com/luxorion/galilee-lunettes.htm>

-BO 2019 TERM générale spécialité SPC

-Ressource/Rappels d'optique géométrique :

https://media4.obspm.fr/public/ressources_lu/pages_optique-geometrique/og-introduction.html

-Physique-Chimie Term S Spécialité – Hachette – Programme 1994

-Animation :

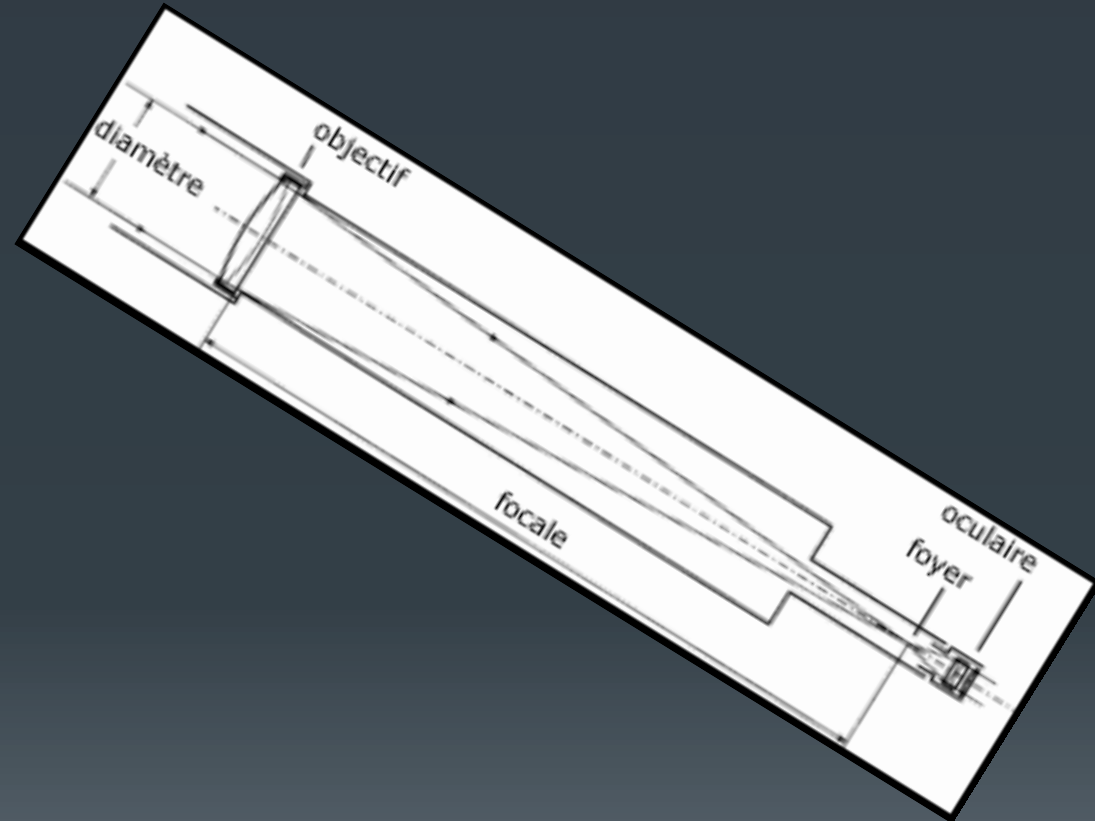
https://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/optiqueGeo/lentilles/doublet.php

VII– Complément 1 : Lunette de Galilée

- Une vidéo de présentation et construction du schéma modélisé [ici](#)

Complément 2 – Diversité des réfracteurs

1) Conception classique



2) Lunette méridienne

Lunette méridienne de l'observatoire de Lyon

Astrométrie : mesure des coordonnées d'une étoile ;
Permet aussi de se localiser sur Terre si les coordonnées de l'étoile sont connues (navigation)

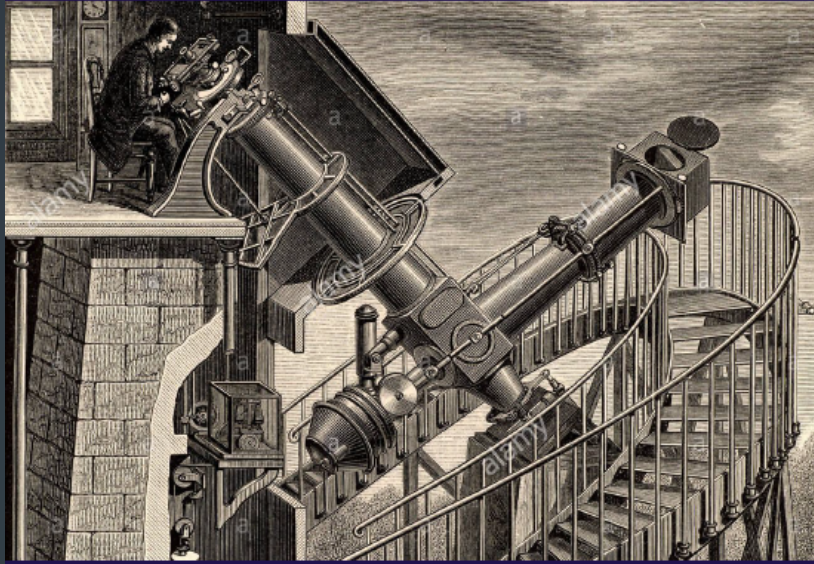
Lunette FASST(USA) 0,2m

Astrométrie stellaire jusqu'à magnitude 17

Positions dans le système solaire pour la navigation des sondes et atterrisseurs (Huygens)



3) Lunette coudée



- Pour réduire l'encombrement, ou pour des raisons d'accessibilité au foyer, il peut être intéressant de replier le faisceau optique d'un instrument.
- L'objectif est sur l'une de faces du cube et le mouvement de déclinaison se borne à faire tourner le cube. 2 miroirs (un dans le cube, le second à la croisée des axes) permettent de renvoyer le foyer dans le bâtiment sur lequel est adossé l'instrument.
- L'observateur observe au chaud et l'oculaire ne bouge pas quelque soit l'orientation de l'instrument.

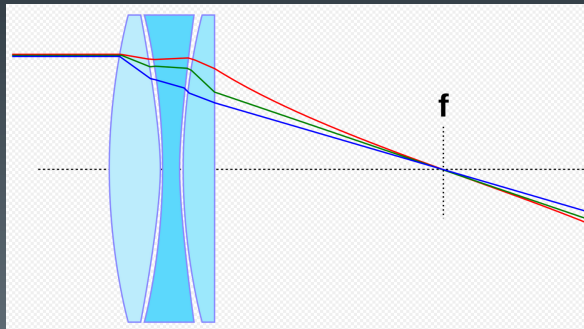
4) Lunette apochromatique

C'est une lunette dont l'objectif a été conçu pour limiter le plus possible les aberrations chromatiques, et géométriques

Des verres (2, souvent 3) aux propriétés opposées sont accolés pour que leurs défauts se compensent sur 2 ou 3 longueurs d'onde

Très belle qualité d'image

Inconvénient : le prix ! (2500€ pour une lunette de 100 mm de belle qualité)





Mais les réfracteurs ont plusieurs défauts :

- Absorption et diffusion à la traversée du verre
- Polissage de l'objectif (4 surfaces à polir au lieu d'une seule)
- Longueur du tube (flexions et coût de coupole)
- Rapport d'ouverture (f/D) moins favorable qu'un télescope
- Difficultés pour faire des lentilles de grand diamètre
- **Avantage** : moins de turbulence car tube fermé (vrai pour instruments d'amateurs)
- Réfracteurs de très belles qualités existent mais sont très chers

(Solution : prendre un réflecteur !)

Complément 2 :

Comment bien observer ?

Principe : décupler les performances de l'œil :

- Capter davantage de lumière
→ Image plus lumineuse, ou perception possible d'objets très ténus
- Etaler l'image sur davantage de cellules réceptrices sur la rétine
- Voir plus de détails
→ Image plus « grosse »
- S'affranchir des défauts de l'atmosphère :
→ Mouvements de l'air, humidité, nuages ...
- S'affranchir des défauts des verres et miroirs
→ Défauts chromatiques et géométriques

Principales caractéristiques d'une lunette (1)

- **Diametre** de la lentille objectif D
→ surface collectrice
- **Distance focale F**
→ longueur entre la surface du miroir et le lieu de formation de l'image
- **Grossissement : $G = F/f$**
Avec F la focale de l'objectif et f celle de l'oculaire
- **Rapport d'ouverture : F/D**
→ « Rapidité » de la lunette à accumuler de la lumière
(Plus rapide si F/D est petit)

Principales caractéristiques d'une lunette (2)

Résolution angulaire : $\theta = 1,22.\lambda / D$ (Critère de Rayleigh)

Angle apparent minimal séparant deux sources ponctuelles pouvant être distinguées dans l'appareil. Il est impossible de distinguer des détails plus rapprochés que cet angle minimal à cause du phénomène de diffraction.

- **Champ oculaire**

Diamètre angulaire maximum visible à travers l'oculaire seul
(à diviser par le grossissement pour avoir le champ réel)

- **Courbure de champ, astigmatisme, coma, aberration sphérique...**

Problèmes pour la photo sur les télescopes grand champ.

Capter davantage de lumière

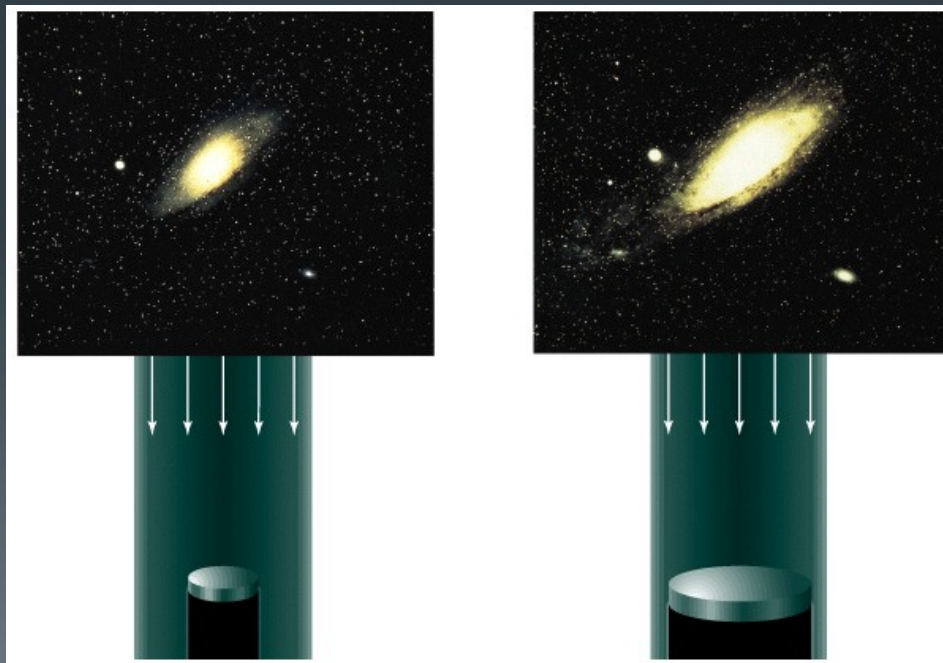
Pourquoi une lunette plus grosse ?

Une lunette est un entonnoir à lumière

Elle accumule et concentre davantage de photons si son ouverture est plus large

...

La quantité de lumière collectée est proportionnelle à la surface ou au diamètre au carré D^2 .



Deux photos
d'Andromèdes prises
avec lunettes de diamètre
différent

Etaler l'image sur davantage de cellules réceptrices sur la rétine

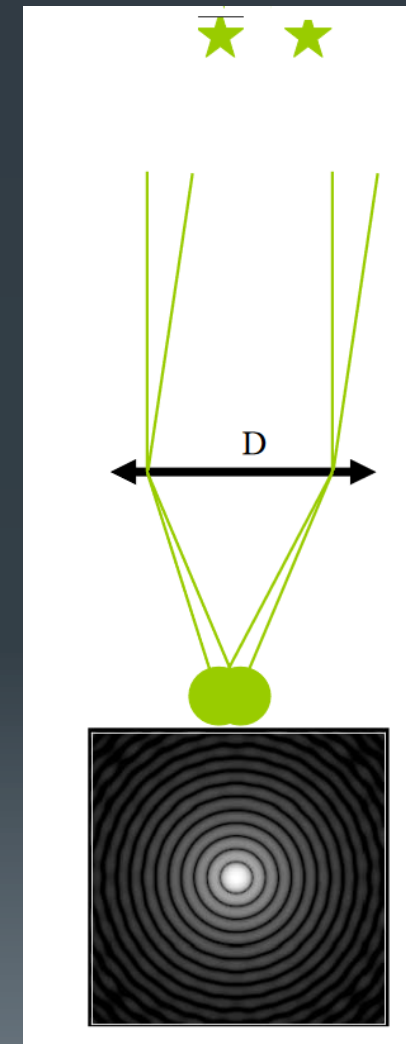
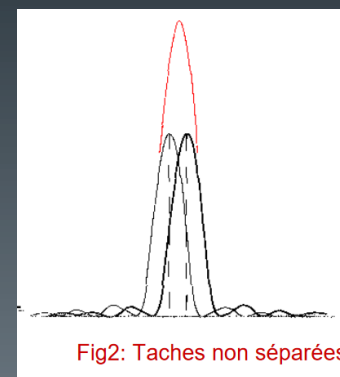
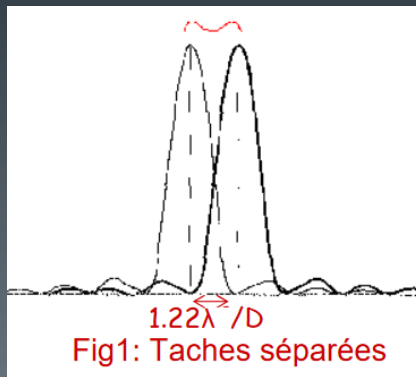
→ Grossir plus

Donc choisir un objectif de focale plus longue (ce qui rallonge la lunette) et un oculaire de focale plus courte

Mais augmenter le grossissement n'augmente pas le pouvoir de résolution de l'instrument !

Il est limité par la diffraction et déterminer selon le critère de Rayleigh :
 $\theta_{\min} = 1,22 \cdot \lambda / D$

Taches d'airy :



Résolutions maximales théoriques selon le diamètre de l'instrument

$$\theta = 138 / D$$

θ = angle en ", D = ouverture du télescope [mm]

Ouverture du télescope	Résolution selon Rayleigh
60mm	2,3"
80mm	1,7"
100mm	1,3"
120mm	1,15"
150mm	0,92"
200mm	0,69"
250mm	0,55"

D'où la distance r minimale entre deux point sur l'objet (distant de L) qui pourront être distingués :

$$r=L.\tan(\theta) = L.\theta$$

Outil	diamètre (m)	$\Delta\theta$ (rad)	$\Delta\theta$ (")	Détails sur la Lune	Détails à 200 km
Œil	0,0025	$2,7 \times 10^{-4}$	55	103 km	53 m
	0,010	$6,7 \times 10^{-5}$	13	25 km	13 m
Jumelles	0,050	$1,3 \times 10^{-5}$	2,8	5 km	2,7 m
	0,10	$6,7 \times 10^{-6}$	1,4	2,6 km	1,3 m
Télescope 150	0,15	$4,5 \times 10^{-6}$	0,92	1,7 km	89 cm
	0,20	$3,4 \times 10^{-6}$	0,69	1,3 km	67 cm
Télescope 1 m	1,0	$6,7 \times 10^{-7}$	0,14	260 m	13 cm
Hubble	2,4	$2,8 \times 10^{-7}$	0,058	110 m	55 mm
VLT	8,0	$8,4 \times 10^{-8}$	0,017	32 m	16 mm
Télescopes du Keck	10	$6,7 \times 10^{-8}$	0,014	25 m	13 mm
E-ELT (2024)	40	$1,7 \times 10^{-8}$	0,0035	6 m	3,3 mm

Les calculs ci-dessus sont effectués, comme précédemment, avec le critère de Rayleigh et pour une longueur d'onde de 550 nm ; $\Delta\theta \approx 1,22 \lambda / D$.

En pratique, la turbulence atmosphérique limite la résolution à 1" d'arc
Et un diamètre supérieur à 200 mm n'améliore pas la résolution globale télescope+atmosphère