

# LES INSTRUMENTS D'OBSERVATION EN ASTRONOMIE

ATELIER D'INITIATION N° 1

William Pillet - 16 Novembre 2023

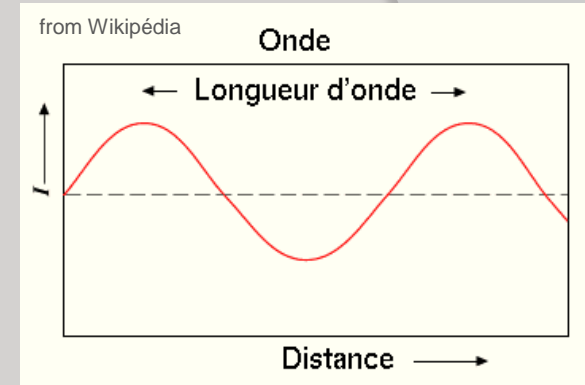
# Plan

- Introduction –Optique instrumentale
- Les jumelles
- Les lunettes astronomiques
- Les télescopes
- Les oculaires et accessoires
- Les montures
- Les réglages à faire
- Astrophotographie: montages instrumentaux

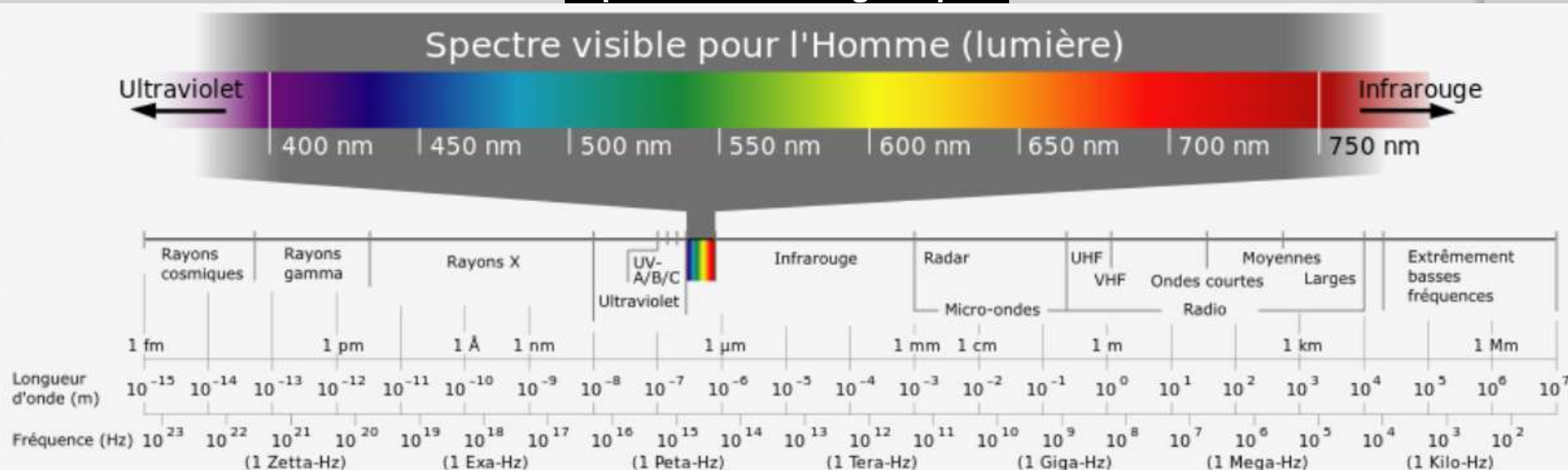
# UN PEU D'OPTIQUE INSTRUMENTALE....

# Lumière et ondes électromagnétiques

- Notion de **longueur d'onde**  $\lambda$  d'une onde électromagnétique (unité SI: mètre)  
Visible: n100 nanometres ( $10^{-9}m$ )
- $\lambda$  liée à la **fréquence** par la relation  
 $\lambda = c/f$  ( $c= 300,000km/s$  dans le vide)  
dom. radio utilise la fréquence



## Spectre électromagnétique

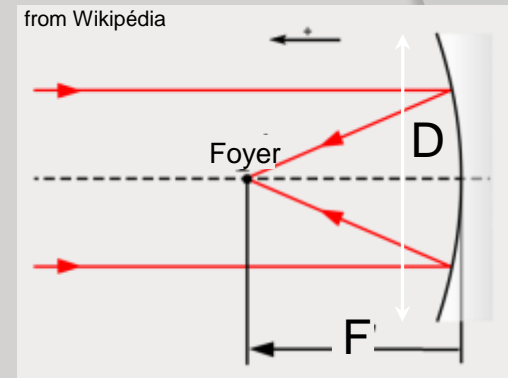
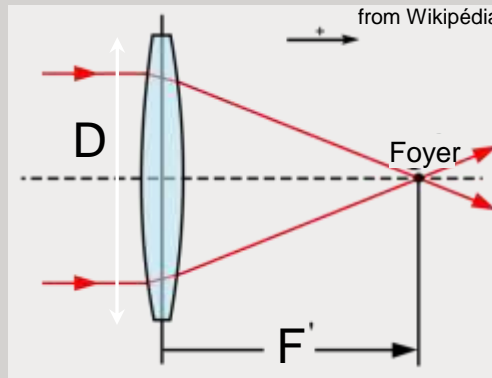


# Principales caractéristiques des instruments

## ➤ Objectif, miroir ou oculaire sont caractérisés par

➤ Diamètre:  $D$

➤ Distance focale:  $F$



➤ Rapport  $F/D$  (sans unité) = ouverture (obj. Photo)

➤  $F/D = 2$  à  $5$ : ouvert → orienté ciel profond

➤  $F/D = 5$  à  $8$ : moyen → généraliste

➤  $F/D = 9$  à  $15$ : fermé → orienté planétaire, solaire

➤ Grossissement:  $G = F/f$  (objectif focale  $F$  et oculaire focale  $f$ )

➤ C8:  $F = 2000\text{mm}$  – Ocul de  $10\text{mm}$  →  $200X$

➤ Grossissement normal  $\approx 1X \text{ } \varnothing$  (mm) → C8:  $200X$

➤ Grossissement maximal  $\approx 2.5X \text{ } \varnothing$  (mm) → C8:  $500X$

# Pouvoir séparateur et défauts optiques

- Pouvoir séparateur: capacité d'un instrument à séparer deux étoiles très proches

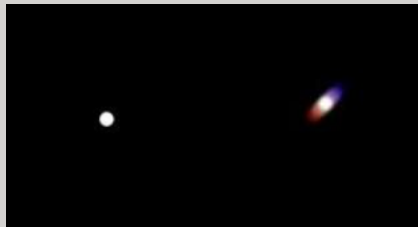
- $PS = 138/D$  (mm) exprimé en secondes d'arc (")

- Ex: C8: 200mm  $\varnothing \rightarrow 0.7''$

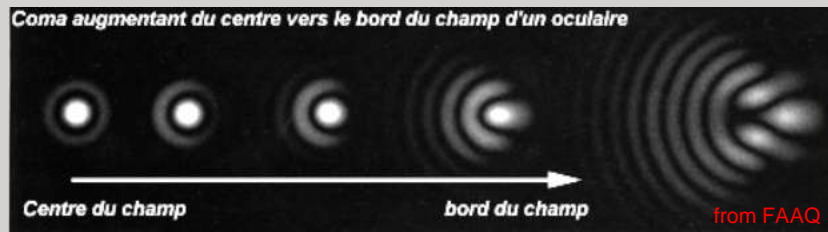
- Limité par la **turbulence**

- Défauts optiques

- Chromatisme (couleurs)



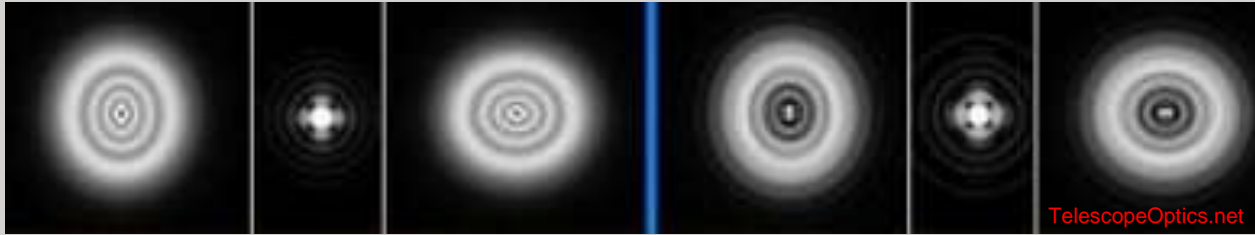
- Coma



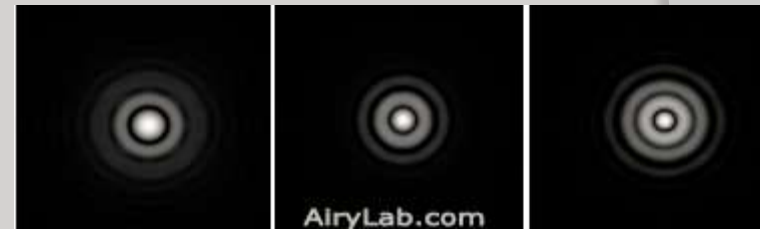
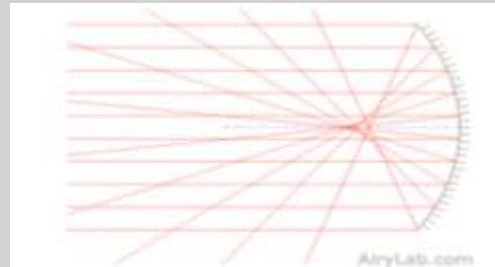
Diamètre Objectif	Magnitude visuelle limite	Pouvoir séparateur	Grossissement maximum
50 mm	10.2	2.8"	125x
60 mm	10.9	2.3"	150x
80 mm	11.2	1.7"	200x
100 mm	12.0	1.4"	275x
125 mm	12.5	1.1"	312x
150 mm	13.8	0.9"	375x
200 mm	14.4	0.7"	500x
250 mm	14.8	0.6"	625x
300 mm	15.5	0.5"	750x
400 mm	16.0	0.3"	900x

# Défauts optiques

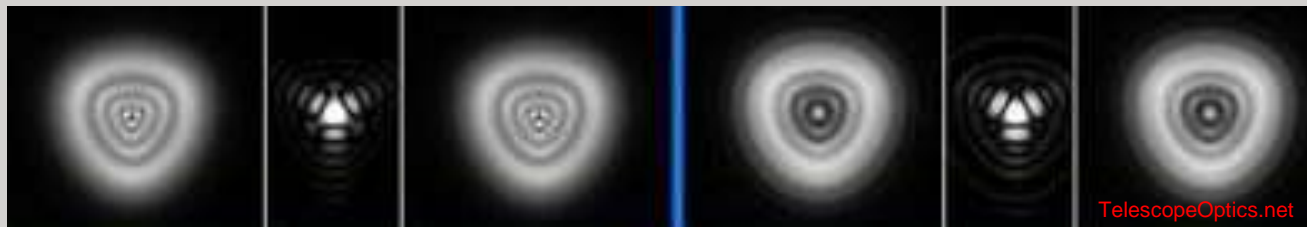
## ➤ Astigmatisme



## ➤ Aberration de sphéricité (miroir non parabolisé)



## ➤ Trefoil : miroir soumis a contraintes mécaniques



# Généralités sur les instruments astronomiques

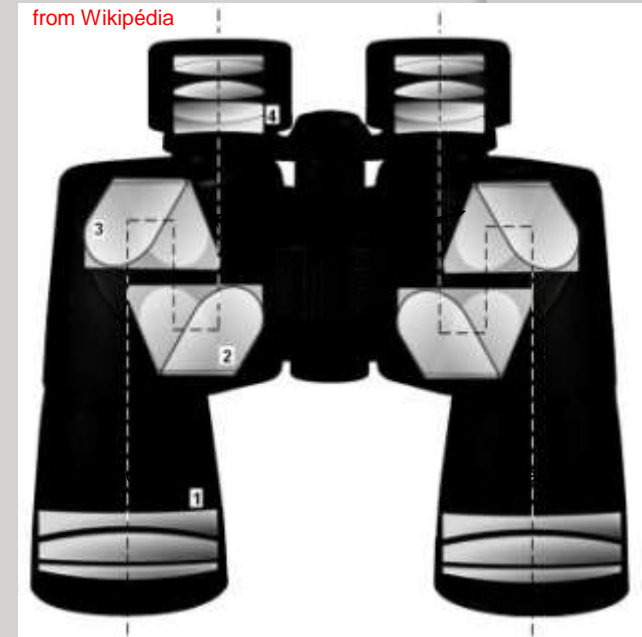
- Jumelles et lunettes sont composées de:
  - L'objectif: lentille(s) collectant la lumière et donnant par réfraction, une image agrandie de l'astre observé.
  - L'oculaire: lentille(s) grossissant l'image donnée par l'objectif.
  - Tube vide (prismes pour les jumelles) reliant les deux.
- **Télescope**
  - Miroir(s): collectant la lumière et donnant par réflexion, une image agrandie de l'astre observé.
  - L'oculaire: lentille(s) grossissant l'image donnée par l'objectif.
  - Tube vide reliant les deux.
- Instruments simples mais dont les éléments optiques et mécaniques doivent être très précisément assemblés et réglés.
- ➔ Prix très variable (50€ ➔ 15000€+)



# LES JUMELLES

# Les jumelles

- Deux prismes à réflexion totale replient les rayons lumineux, de façon à rendre compacte cette « double lunette ».
- Caractérisées par le grossissement et le diamètre: 7X50 →  $G=7$  et  $\varnothing = 50\text{mm}$
- Il existe des jumelles jusqu'à 125 – 150mm
- Si possible observer en fixant les jumelles sur un pied, ou en appui sur un support stable.
- Bien régler l'écartement des oculaires.
- Fermer l'œil droit et régler la vision œil gauche avec la molette centrale.
- Fermer l'œil gauche et régler la vision œil droit avec la bague oculaire seulement présente sur l'oculaire droit.

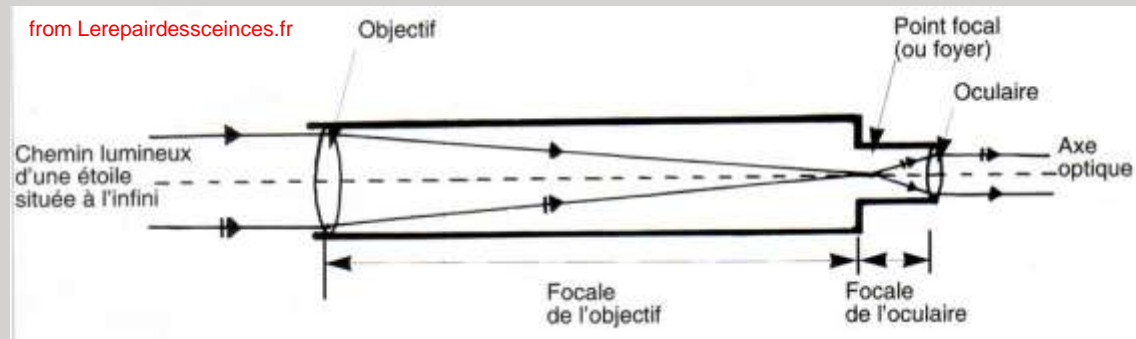


# Des jumelles: pour quoi faire ?

- Vous regardez avec vos deux yeux: confort et vision plus « profonde », plus de relief.
- Le champ visuel des jumelles est grand (plusieurs degrés d'arc) par rapport à celui des lunettes ou télescopes.
- Plus le diamètre des jumelles est grand, plus la luminosité sera grande et plus vous verrez d'étoiles et d'astres divers.
- 7X50 → mag. 10      20X100 → mag. 12
- Excellent outil, portable, pour « apprendre » le ciel et les cheminements d'étoile en étoile pour arriver à une galaxie ou un amas.
- Observations possibles:
  - Lune dont la lumière cendrée et les éclipses, planètes, comètes.
  - Soleil et ses éclipses: si filtre visuel (D 5.0) sur les deux objectifs.
  - Etoiles doubles peu serrées.
  - Voie Lactée (Cygne, Sagittaire).
  - Nébuleuses diffuses, grandes galaxies, amas ouverts ou globulaires brillants.

# LES LUNETTES ASTRONOMIQUES

# Les lunettes astronomiques ou réfracteurs

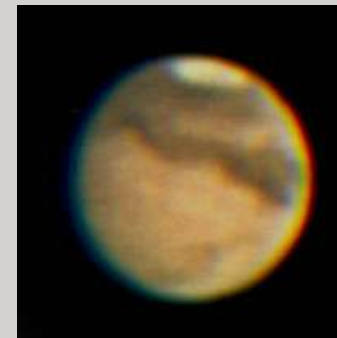
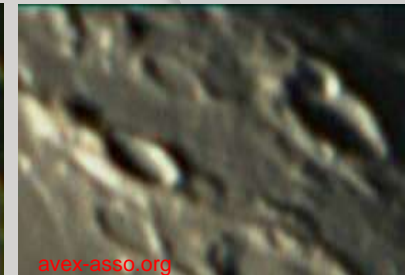
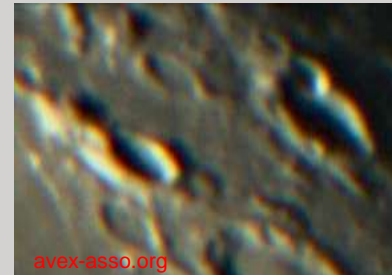
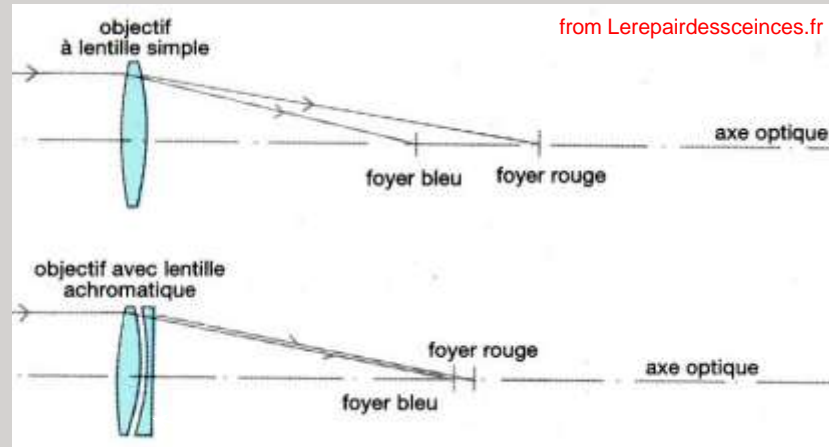


- Les lunettes achromatiques classiques sont assez « fermées »:  $F/D$  varie de 8 à 15, à cause des « aberrations chromatiques » résiduelles.
- Diamètre varie de 60 à 150mm
- Plutôt pour le planétaire, le **solaire**, ou ciel « peu profond »
- Prix: 100-800€



# Les lunettes astronomiques ou réfracteurs

- Problème des aberrations chromatiques



- Visibles sur les astres brillants: étoiles, planètes, Lune
- Soleil: mieux car utilisation de filtres
- Lunettes permettent SEULES l'utilisation des hélioscopes d'Herschel pour atténuer la lumière du Soleil



# Les lunettes astronomiques

- Les lunettes récentes sont dites semi-apochromatiques, avec un objectif à 3 ou 4 lentilles
- Leur rapport F/D inférieur: 5 à 7
- Prix: 700-2000€
- Ciel profond,
- Planétaire et solaire si Barlow et filtres
- Les lunettes apochromatiques: objectif à 4 voire 6 à 7 lentilles - rapport F/D: 4 à 6 → OK pour ciel profond
- Si courte focale (<500mm): CP grand champ possible
- Diamètre varie de 60 à 180mm
- Beaucoup plus chères → 15,000€  
Takahashi TOA 150





# Plus & Moins des lunettes

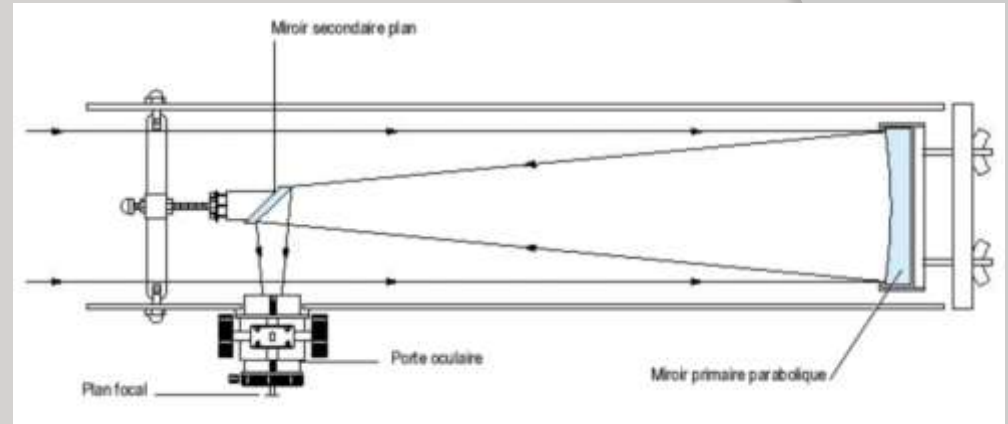
- Les lunettes classiques sont souvent vendues « tout compris »: porte-oculaire de base, chercheur (petit), 2 oculaires, 1 redresseur, Barlow (mauvaise), filtres (lune). Pied et monture sont souvent inclus. **A éviter!**
- Les lunettes modernes semi-apo ou apochromatiques sont vendues tube seul et équipées « a minima ». Porte oculaire de qualité avec démultiplication. Pas d'oculaire, ni de chercheur, pas de bague allonge (indispensable), pas de Barlow car selon l'usage que l'on en fait (observation ou imagerie APN ou caméra), l'utilisateur achètera (en plus) seulement ce dont il a besoin.
- A diamètre équivalent, la lunette est plus chère qu'un télescope mais il n'y a pas d'obstruction, est peu sensible à la turbulence et nécessite peu de réglages et se dérègle peu. Mais attention au chromatisme!
- Une petite lunette (70-80mm) semi-apo courte est légère et pratique pour voyages, astro photo nomade.
- Les grosses lunettes (>120mm) de qualité sont vite très chères, lourdes (parfois encombrantes).
- Les Astrographes (chers > 1200€) sont dédiés à l'imagerie CP grand champ.



# LES TÉLESCOPES

# Le télescope type Newton

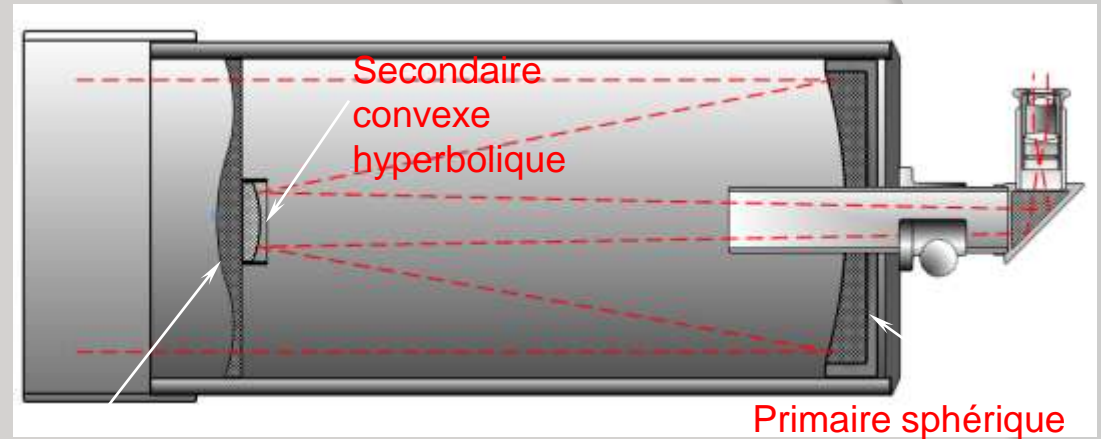
- Configuration des plus courantes, simple et pas chère, quel que soit F/D .
- Diamètres très élevés (750 à 1000mm) possibles à un cout acceptable, mais tube devient long si F/D élevé...
- Position du porte oculaire sur le coté parfois problématique
- Champs de netteté réduit pour grand diamètre et faible F/D
- Plage de back-focus réduite
- Aigrettes dues au support du secondaire
- Coma et astigmatisme
- Collimation assez facile
- Les Dobson sont un type particulier de Newton



Sky-Watcher 200/800

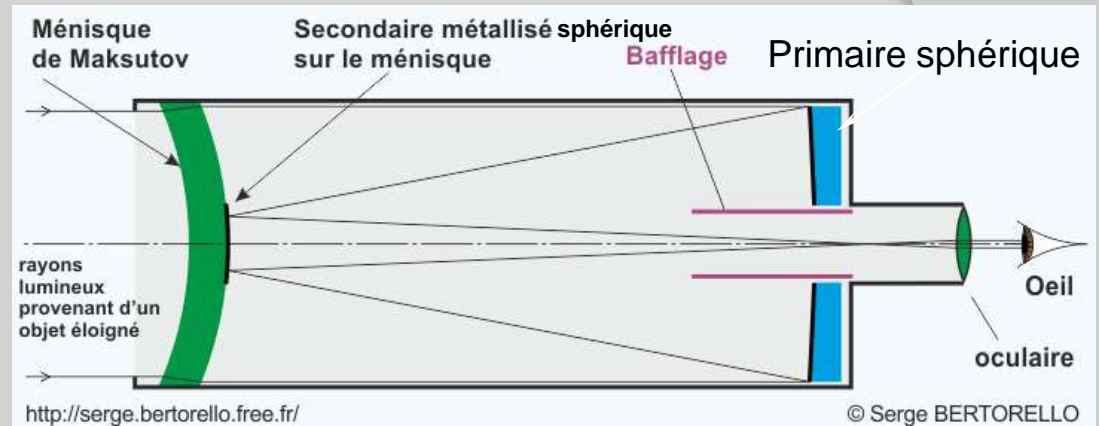
# Le télescope type Schmidt-Cassegrain

- Configuration très répandue car belle compacité et poids acceptable.
- Polyvalent.
- Pas d'aigrettes
- Peu sensible aux turbulences internes mais condensation (lame de fermeture).
- Faible coma.
- Spherochromatisme
- Assez forte obstruction (>30%).
- Plus cher qu'un Newton de même  $\emptyset$ .
- Collimation plus délicate et à faire souvent.



# Le télescope type Maksutov-Cassegrain

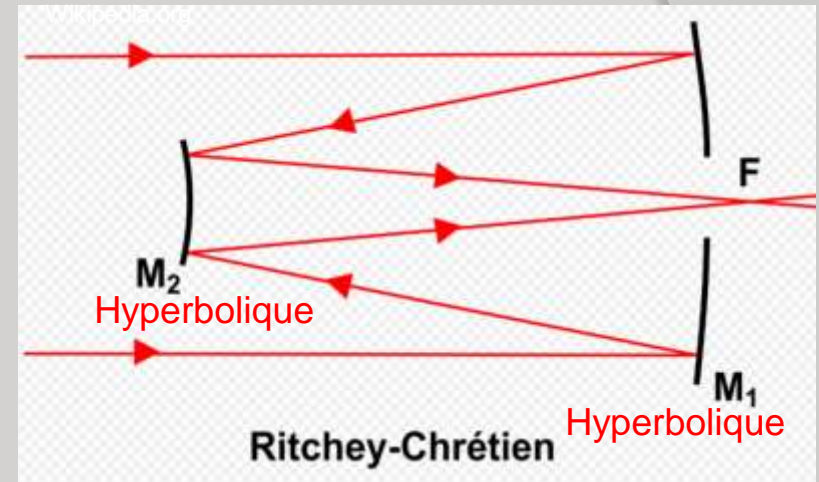
- Fréquent en  $\varnothing$  100 à 180mm grâce à sa compacité et sa transportabilité (ne se dérègle pas).
- Collimation stable et images de qualité
- Pas trop cher
- F/D élevés  $> 10$
- Champ de netteté important
- $\varnothing < 200$ mm dans le commerce (épaisseur de ménisque  $\rightarrow$  poids élevé et mise en température + longue).
- Collimation que sur le 1<sup>re</sup>.



Sky-Watcher Maksutov 127/1500

# Le télescope type Ritchey Chrétien (RC)

- Télescope haut de gamme, orientés astrophotographie ciel profond, d'un prix élevé.
- Diamètres: 200 à >500mm commercialisés.
- $F/D \approx 8$ , avec ou sans lame correctrice.
- Obstruction centrale importante (<50%).
- Plus large champ sans coma, ni aberration de sphéricité (défauts optiques).
- Collimation délicate.
- C'est la config du Hubble Space Telescope, Keck, VISTA et nombreux grands télescopes modernes.



# Autres types

- Télescope **Cassegrain**: : primaire parabolique et secondaire hyperbolique sans lame de fermeture donc avec support du secondaire. Peu fréquent dans le commerce: GSO (Opt. Unterlinden) – TS → Planétaire-Solaire



- Télescope de **Dall Kirkham**: primaire elliptique + secondaire sphérique + lentilles correctrices près du foyer (Cassegrain amélioré): < 300mm et peu commercialisé (**Mewlon** de Takahashi, Orion, Plane-wave). Chers mais excellents en planétaire
- Télescope de **Gregory**: primaire parabolique et secondaire elliptique. Non commercialisé



# Autres types

- **Télescope Rowe-Ackerman-Schmidt:**  
Spécialisé Astrophotographie: Primaire  
+ lame de Schmidt + correcteur: Très  
ouvert  $F/D=2$  et très grand champ.



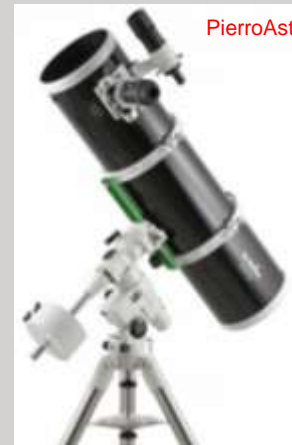
# Plus & Moins des télescopes

- Coût moins élevé que la lunette à  $\emptyset$  équivalent.
- Rapports F/D faibles (<4) possibles → très lumineux
- Grands diamètres possibles → gros collecteur de lumière → ciel profond, astrophotographie.
- Nombreuses combinaisons optiques → adaptés à divers domaines
- Pas d'aberrations chromatiques (réflexion de la lumière) mais aberrations optiques résiduelles selon les configurations et la qualité de la taille des miroirs.
- Sensibles aux turbulences locales (A/R lumière).
- Nécessite plus d'entretien et de réglages.
- Collimation parfois délicate.
- Plus encombrants que les lunettes.
  
- **→ Bien établir ses besoins avant de choisir entre lunette et télescope, puis éventuellement quel type de télescope.**



# Considérations générales pour un achat

- Plus diamètre augmente, plus la collecte de lumière augmente, ais aussi poids, longueur.....
- F/D à choisir pour CP versus solaire/planétaire
- Sur un télescope complet, le prix vient souvent de la monture. Ex Dobson vs Tube sur monture allemande



Newton 200/1000 sur NEQ5: 860€



Dobson 200/1200 : 465€

- Considérer les tubes seuls et adapter la monture à son besoin
- Bien choisir le type optique en fonction du besoin:
  - Planétaire: MC, C, DK
  - CP: N, RC, RASA
  - Mixte: SC, N
- Un miroir industriel moyen peut être douci par un artisan opticien (F, I)

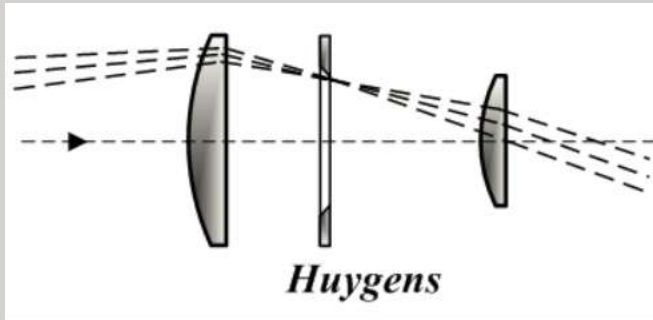
# LES OCULAIRES ET ACCESSOIRES

# Généralités

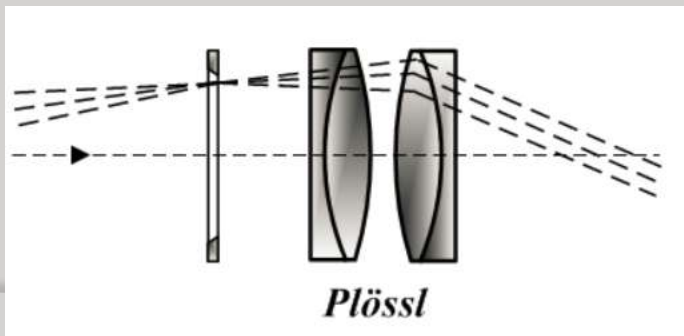
- Les oculaires sont les dispositifs d'agrandissement de l'image fournie par l'objectif (lentille ou miroir). Se placent au Foyer.
- Ils sont supportés par le Porte oculaire, qui se déplace longitudinalement pour permettre la mise au point.
- Diamètre: (25mm), 31.75mm ou 50mm.
- Se caractérisent par
  - Leur focale  $f$ : 3-4 mm → 50mm
  - Leur champ apparent  $Ca$ : 30° à 100°: moins il y a de lentilles, plus le champ est réduit.
  - Notion de Champ X Focale: donne une mesure comparative fiable entre les oculaires pour déterminer quel oculaire offre le plus grand champ apparent sur un même instrument. Ex. Televue Nagler 31mm - 82° :  $CaF = 2542$
- Pour l'ensemble objectif + oculaire
  - Pupille de sortie:  $Pu = D/G$
  - Champs réel:  $Cr = Ca / G$  (rappel Pleine lune: 0.5°)

# Principaux types d'oculaires

- Oculaires de base à 2 lentilles, Ramsden (R ou SR) et Huygens (HM): champ  $< 40^\circ$



- Oculaires à 3-4 lentilles Kellner, Plössl et orthoscopique champ de  $50^\circ$ - $60^\circ$ , pour le planétaire



# Principaux types d'oculaires

- Oculaires à grand champ: Erflé (Er), König (Ko), Wide Angle (WA), Panoptic à champ 60-70°

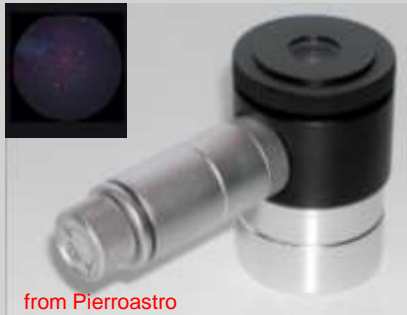


- Oculaires à champ extra large: Televue Nagler avec 82° et Televue Ethos, XWA avec 100° (volumineux, lourds (200g à 1kg!) et très chers)
  - Nagler 20mm sur C8:  $Cr = 82/100 = 0.82^\circ$
  - Ramsden 20mm sur C8:  $Cr = 40/100 = 0.4^\circ$ 
    - ➔ lune non visible en entier.



# Accessoires

- Oculaire réticulé (+/- éclairé): pour guider sur une étoile, ou bien centrer un chercheur.



- Réducteur de focale: permet de diminuer la longueur focale d'un instrument → plus grand champ et F/D inférieur.



- Renvoi coudé: pour observer plus confortablement au zénith avec lunette, Cassegrain ou Mak.



- Barlow: permet de doubler, tripler voire quintupler la longueur focale d'un instrument → fort grossissement.

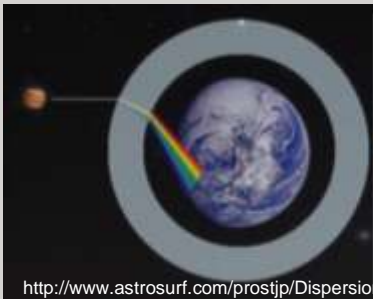


# Accessoires

- Tête binoculaire: permet d'observer avec les 2 yeux sur n'importe quel instrument.



- Correcteur de dispersion atmosphérique: pour astrophoto planétaire.



- Correcteur de coma: Dispositif de correction de la coma pour l'astrophoto.



- Filtres: filtres oculaires pour isoler certaines  $\lambda$  (planétaire, ciel profond, astrophoto).





# Chercheur

- Le chercheur est une pièce de visée, attachée au tube et réglée parallèlement à celui-ci pour permettre de pointer visuellement les astres.
- Indispensable, même avec une monture GOTO
- Le top: non inversé et éclairé
- A régler correctement de jour sur un objet lointain





# Porte oculaire

- Le porte-oculaire est le dispositif cylindrique dans lequel se glisse et se bloque l'oculaire utilisé. Il coulisse longitudinalement et permet la mise au point, quel que soit l'oculaire ou le complément inséré.
- Diamètre: 24.5mm rare, 31.75mm courant, 50mm haut de gamme.
- Il est en général fourni avec le tube de l'instrument acheté, mais on peut le changer.
- Il peut être à « deux vitesses » (X1 et X/10), voire motorisé.
- Cas particulier: les Schmidt-Cassegrain dont la mise au point se fait par une translation du miroir primaire, ce qui décale l'image vue.

Porte oculaire Crayford



Pierroastro

Célestron 8 HD



Tube of

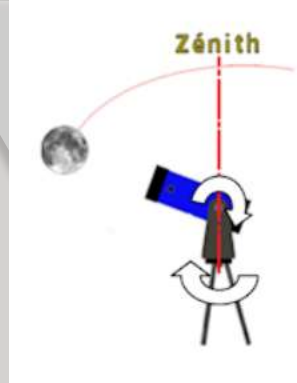
# LES MONTURES

# Généralités

- La monture est le dispositif mécanique supportant le tube (lunette ou télescope) qui permet des mouvements dans 2 directions pour pointer un astre et suivre son mouvement. Elle est en général montée sur un trépied (bois ou métal) stable, ou un pied colonne (métal ou béton).
- Grande variabilité de taille (poids), complexité mécanique, selon le tube utilisé, pointage et/ou suivi, l'automatisation (GOTO), etc...
- En bois ou en métal. Elle peut être fabriquée à la main, par un bon bricoleur.
- Transportable, démontable ou installée à demeure (observatoire).
- Grande variabilité de prix: 50€ pour une azimutale de base à 10,000€+ pour des équatoriales motorisées, lourdes et sophistiquées.

# Monture azimutale ou altazimutale

- Comporte un axe vertical perpendiculaire au sol (azimut) et un axe horizontal parallèle au sol (hauteur) → orientation facile et intuitive de l'instrument .
- Equipe les petites lunettes et les petits télescopes amateurs et les télescopes Dobson.
- Sa réalisation mécanique simple et stable (sans porte à faux) → pas chère.
- Peut être motorisée pour pointer et suivre automatiquement, donc sur les 2 axes à la fois, mais rotation du champ observé (pb pour l'astrophoto).
- Facile à mettre en œuvre et à installer.
- Transportable
- Idéale pour observation visuelle
- Pas de visée au zénith avec une lunette ou un Cassegrain.





Pierroastro



Monture  
DOBSON



LaClefdesetoiles

Altazimutale GOTO



Fourche Monobras  
Célestron azimutale

LaClefdesetoiles

# Monture équatoriale

- Comporte un axe parallèle à l'axe de rotation de la terre (axe polaire) et un axe perpendiculaire (axe de déclinaison) → orientation un peu moins intuitive de l'instrument.
- Très courante car le suivi d'un astre peut se faire avec un seul mouvement.
- Quasi indispensable pour l'astrophoto.
- Sa réalisation mécanique est plus complexe.
- Poids variable mais important (se méfier des équatoriales trop légères).
- Mise en œuvre plus compliquée: mise en station (orientation vers le nord géographique) obligatoire.
- Peut être motorisée pour pointer et suivre automatiquement, parfois sur un seul axe, mais le plus souvent sur les 2 axes.
- Peut être complètement automatisée: GOTO



# Monture équatoriale à fourche

- Simple et pratique.
- Pas de porte à faux, ni de contrepoids requis .
- Visée au zénith parfois délicate.
- Adaptable à toute configuration: Newton, SC, Mak.

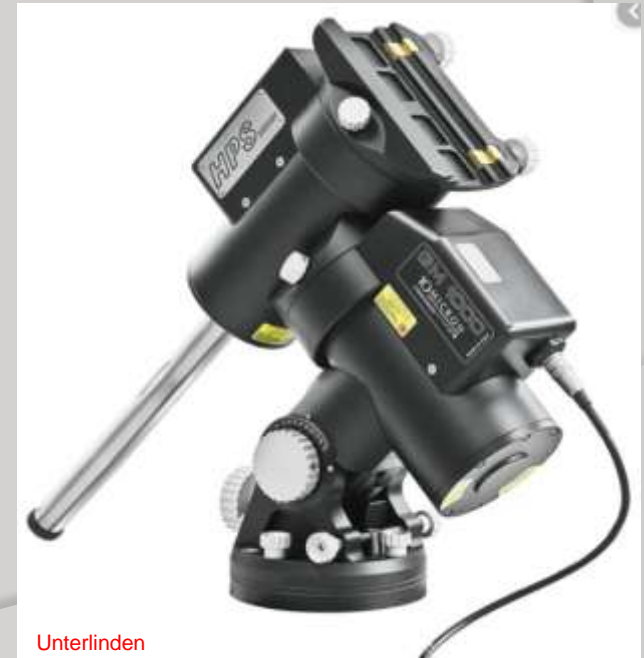
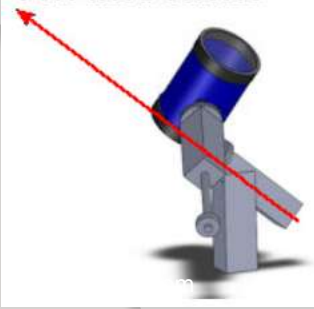




# Monture équatoriale Allemande

- Plus complexe: tube optique en porte à faux → contrepoids requis.
- Compacte mais nécessite un trépied stable pour mettre l'instrument à hauteur d'œil.
- Problème passage méridien.
- Lunette, Newton, Schmidt-Cassegrain, Mak.

Pôle Nord Céleste





# Motorisation de la monture

- La monture équatoriale peut être motorisée, ce qui permet une fois un astre pointé, que le tube suive **automatiquement** cet astre malgré la rotation de la Terre et le mouvement propre de cet astre.
- Les deux axes (horaire et déclinaison) sont motorisés avec des moteurs gérés par un boîtier électronique.
- Une raquette permet les mouvements Av/Ar selon ces deux axes.



# Motorisation de la monture

- Un boîtier supplémentaire peut être ajouté pour permettre de pointer automatiquement les astres: c'est la fonction GOTO, qui requiert mise en station très précise de la monture.
- La mise en station sera avantageusement effectuée grâce à un viseur polaire intégré (ou pas) à la monture

**Skywatcher EQ6 R Pro GOTO**



**Meade LX600 GOTO sur wedge**



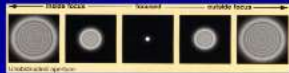
# LES RÉGLAGES À FAIRE

# Réglages

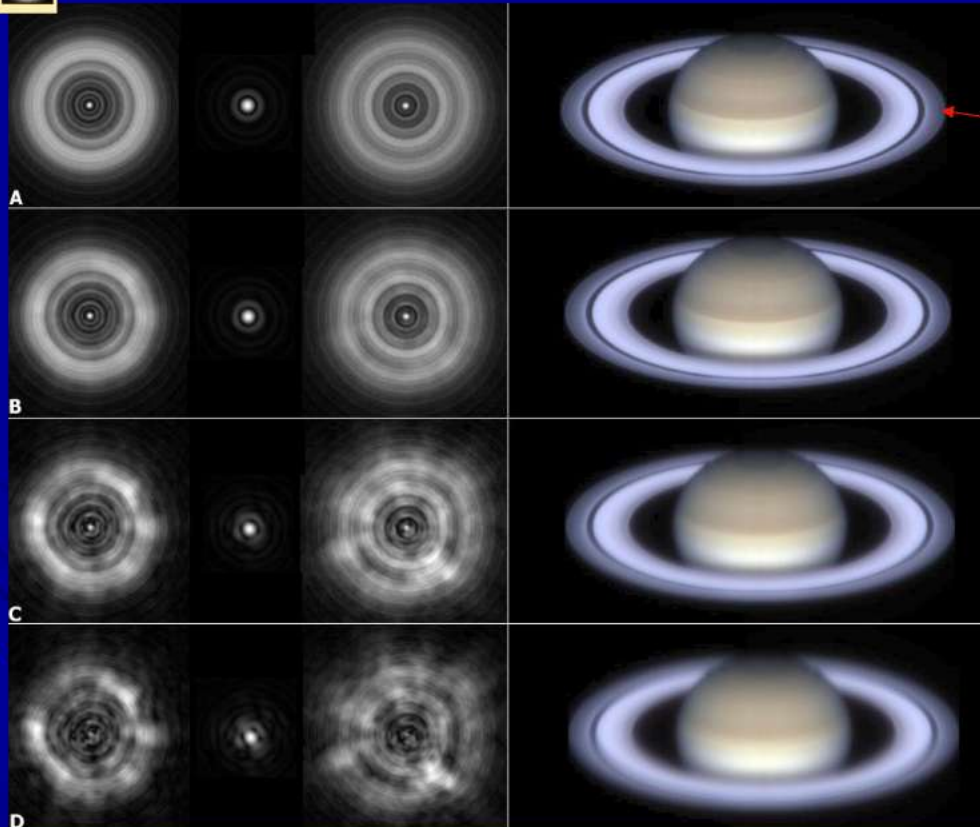
- Réglage du chercheur: mise en parallèle précise avec le tube de l'instrument. De jour, sur une antenne, un arbre à l'infini. A parfaire sur une étoile avec fort grossissement.
- Horizontalization de la monture: niveau à bulle
- Equilibrage du tube (avec tous ses accessoires)...
- Collimation du tube: alignement des différents éléments optiques de l'instrument.
  - Lunette: vis sur le barillet de l'objectif (rarement à faire)
  - Tel. Newton: Centrage du secondaire/tube, perpendicularité du porte-oculaire et du tube, alignement du secondaire et du primaire, puis collimation au laser ou au Cheshire. **Peut se faire de jour.**
  - Tel. Schmidt-Cassegrain: On ne peut régler que le secondaire avec 3 vis. Se fait sur une étoile (réelle) ou artificielle soit à l'oculaire, soit avec une disque de Hartmann.
- Orientation approximative vers le nord de la monture équatoriale: boussole
- Mise en station précise de la monture équatoriale: grâce au viseur polaire (centrage de celui-ci doit être fait) et calibration sur des étoiles repères.

# Effet de la Turbulence

## Exemple d'effet de la turbulence sur l'image astronomique 1



Turbulence croissante

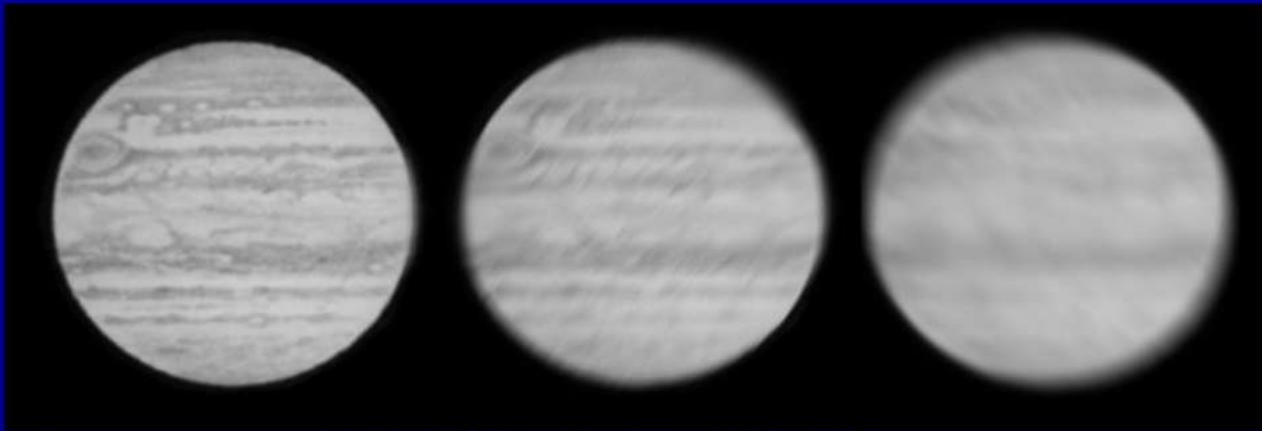


Cf la division de Encke (dans anneau A)  
(Largeur= 325 km)

Rappel:  
Division de Cassini (entre anneau A et anneau B)  
=4000 km  
(0,7" d'arc)

# Effet de la Turbulence

## Exemple d'effet de la turbulence sur l'image astronomique 2



**Turbulence croissante** →







*"That's all Folks!"*

isberg®