



Observation en Astrophysique

Julien Morin

Laboratoire Univers et Particules de Montpellier

*Summer Camp OCEVU 2017
Montpellier – 28 juin 2017*

Outline

- 1 L'Observatoire de Haute-Provence
- 2 Formation des images par un télescope
- 3 Utilisation des détecteurs CCD
- 4 Bases d'astronomie
- 5 Observations à l'OHP

Outline

- 1 L'Observatoire de Haute-Provence
 - L'OHP parmi les observatoires astronomiques
 - Présentation du matériel disponible
- 2 Formation des images par un télescope
- 3 Utilisation des détecteurs CCD
- 4 Bases d'astronomie
- 5 Observations à l'OHP

L'OHP parmi les observatoires astronomiques



Observatoire de Haute-Provence. Crédit: OHP

L'OHP parmi les observatoires astronomiques



Localisation des observatoires en France.

L'OHP parmi les observatoires astronomiques



Observatoire du Pic du Midi. Crédit: Pascal Petit (IRAP)

L'OHP parmi les observatoires astronomiques



*Observatoire du Pic du Midi – Télescope Bernard Lyot.
Crédit: Pascal Petit (IRAP)*

L'OHP parmi les observatoires astronomiques



Observatoire du Maun Kea (Hawaii, USA).

Crédit: TCFH

L'OHP parmi les observatoires astronomiques



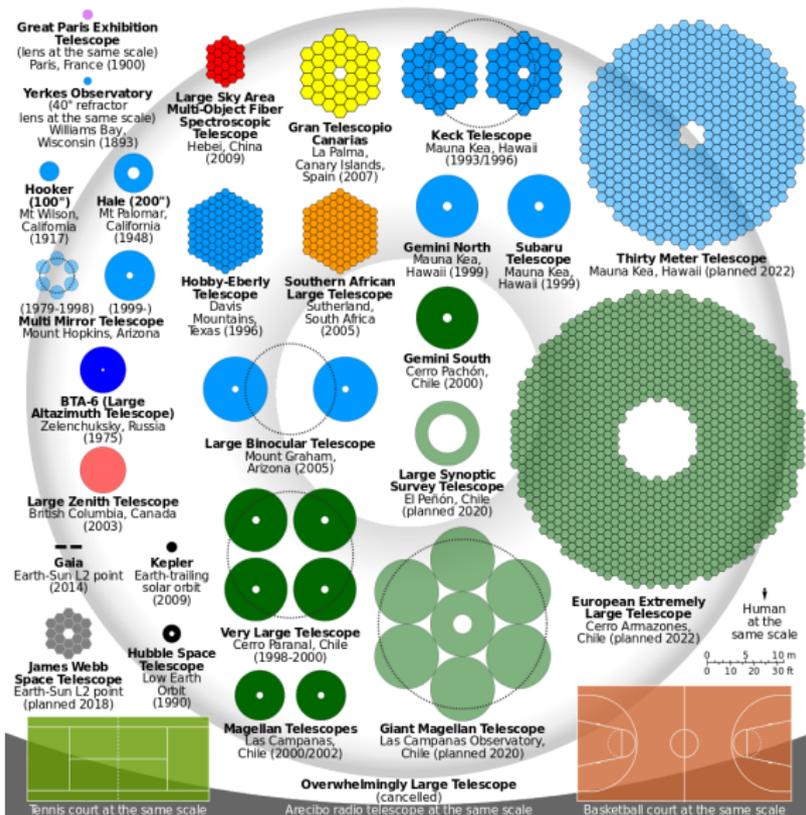
*Observatoire de La Silla – Télescope de 3,6m (Chili).
Crédit: ESO/S. Brunier*

L'OHP parmi les observatoires astronomiques



*Observatoire de Paranal – VLT (Chili).
Crédit: Y. Beletsky (LCO)/ESO*

L'OHP parmi les observatoires astronomiques



Comparaison de miroirs primaires de télescopes. Source: Wikimedia Commons

Présentation du matériel disponible : T80

■ <http://www.obs-hp.fr/guide/t80.shtml>

■ Spécifications

- Télescope Cassegrain
- $D = 80 \text{ cm}$ $f = 12 \text{ m}$ $f/15$

- Monture équatoriale anglaise
 - secteur de 3 h

■ Instrumentation

- Caméra CCD SBIG STXL-6303E
 - Champ de vue : $7,13' \times 4,75'$
 - Échantillonnage : $0,139''/\text{pix}$
- Filtres disponibles
 - SDSS g' , r' , i' , z' + [OIII]



Présentation du matériel disponible : T120

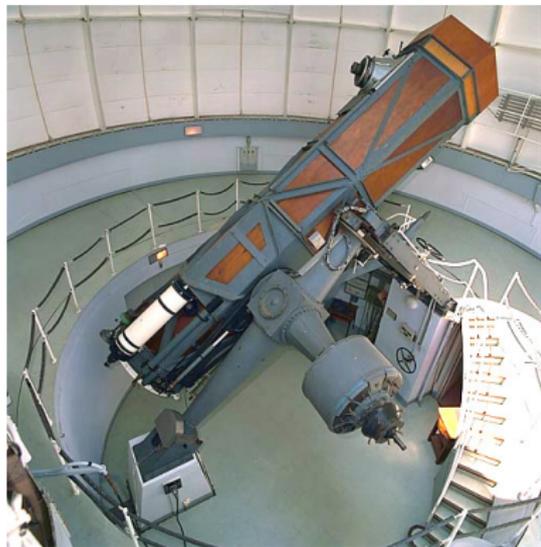
■ <http://www.obs-hp.fr/guide/t120.shtml>

■ Spécifications

- Télescope Newton
- $D = 120 \text{ cm}$ $f = 720 \text{ cm}$ $f/6$
- Monture équatoriale anglaise
 - secteur de 3 h

■ Instrumentation

- Caméra CCD ANDOR 2048x2048
 - Champ de vue : $13,1' \times 13,1'$
 - Échantillonnage : $0,39''/\text{pix}$
- Filtres disponibles : *idem T80*
B, V, R + $H\alpha$, [SII]
- Spectrographe BR LISA
 - $R = 600 - 1000$
 - Domaine spectral : $400 - 700 \text{ nm}$



Présentation du matériel disponible : IRiS

■ <http://iris.lam.fr/>

■ Spécifications

- Télescope Ritchey-Chrétien
- $D = 50 \text{ cm}$ $f = 4 \text{ m}$ $f/8$

- Monture équatoriale allemande
 - basculement rapide au méridien

■ Instrumentation

- Caméra CCD FLI Proline 4240
2048x2048
 - Champ de vue : $24' \times 24'$
 - Échantillonnage : $0,7''/\text{pix}$
- Filtres disponibles
 - SDSS u' , g' , r' , i' , z'
 - $H\alpha$, [OIII], cométaire (NIR)



Outline

- 1 L'Observatoire de Haute-Provence
- 2 Formation des images par un télescope
 - Vecteurs d'information en astrophysique
 - Telescopes
 - Effets de l'atmosphère
 - Types de mesures
- 3 Utilisation des détecteurs CCD
- 4 Bases d'astronomie
- 5 Observations à l'OHP

Vecteurs d'information en astrophysique

- Rayonnement électromagnétique
 - Visible jusqu'au XXe siècle
 - Spectre complet aujourd'hui
 - Vecteur principal d'information
- Rayons cosmiques
 - Découverts au début du XXe siècle
 - Origine: SNs et AGNs?
- Neutrinos
 - Découverts au milieu du XXe siècle
 - Origine: Soleil et SNs (1987A)
- Ondes gravitationnelles
 - Prédites en 1916 par Einstein
 - Observées le 14 septembre 2015
 - Sources: objets compacts binaires, SNs



M104 dans le visible-nIR
Crédit: ESO/P. Barthel

Vecteurs d'information en astrophysique

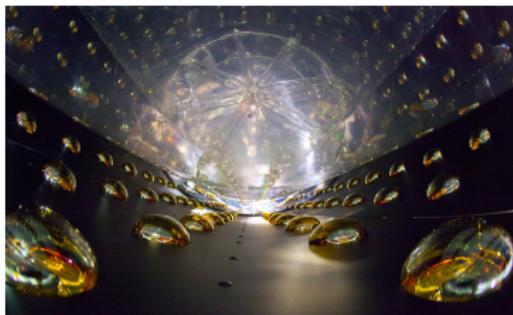
- Rayonnement électromagnétique
 - Visible jusqu'au XXe siècle
 - Spectre complet aujourd'hui
 - Vecteur principal d'information
- Rayons cosmiques
 - Découverts au début du XXe siècle
 - Origine: SNs et AGNs?
- Neutrinos
 - Découverts au milieu du XXe siècle
 - Origine: Soleil et SNs (1987A)
- Ondes gravitationnelles
 - Prédites en 1916 par Einstein
 - Observées le 14 septembre 2015
 - Sources: objets compacts binaires, SNs



*Crédit: H.E.S.S. Collaboration,
Frikkie van Greunen*

Vecteurs d'information en astrophysique

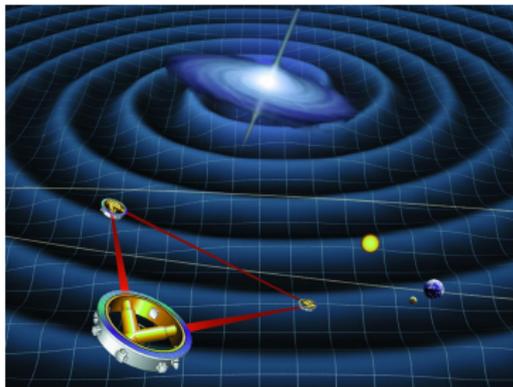
- Rayonnement électromagnétique
 - Visible jusqu'au XXe siècle
 - Spectre complet aujourd'hui
 - Vecteur principal d'information
- Rayons cosmiques
 - Découverts au début du XXe siècle
 - Origine: SNs et AGNs?
- Neutrinos
 - Découverts au milieu du XXe siècle
 - Origine: Soleil et SNs (1987A)
- Ondes gravitationnelles
 - Prédites en 1916 par Einstein
 - Observées le 14 septembre 2015
 - Sources: objets compacts binaires, SNs



*Crédit: Le détecteur d'antineutrinos de
Daya Bay*

Vecteurs d'information en astrophysique

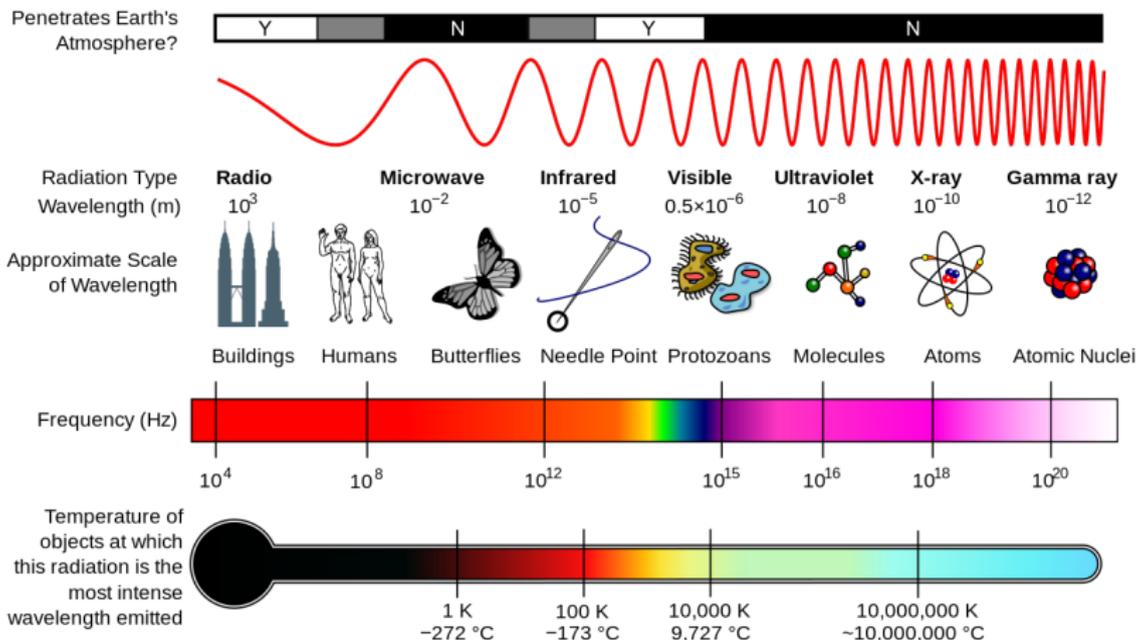
- Rayonnement électromagnétique
 - Visible jusqu'au XXe siècle
 - Spectre complet aujourd'hui
 - Vecteur principal d'information
- Rayons cosmiques
 - Découverts au début du XXe siècle
 - Origine: SNs et AGNs?
- Neutrinos
 - Découverts au milieu du XXe siècle
 - Origine: Soleil et SNs (1987A)
- Ondes gravitationnelles
 - Prédites en 1916 par Einstein
 - Observées le 14 septembre 2015
 - Sources: objets compacts binaires, SNs



Vue d'artiste de LISA

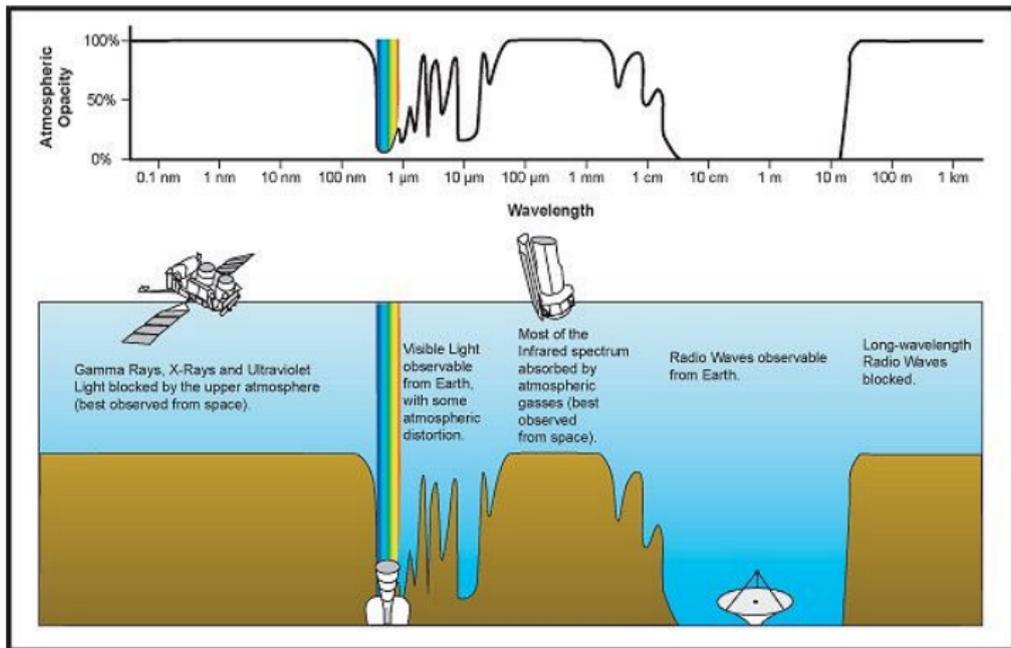
Crédit: ESA/NASA

Le spectre électromagnétique



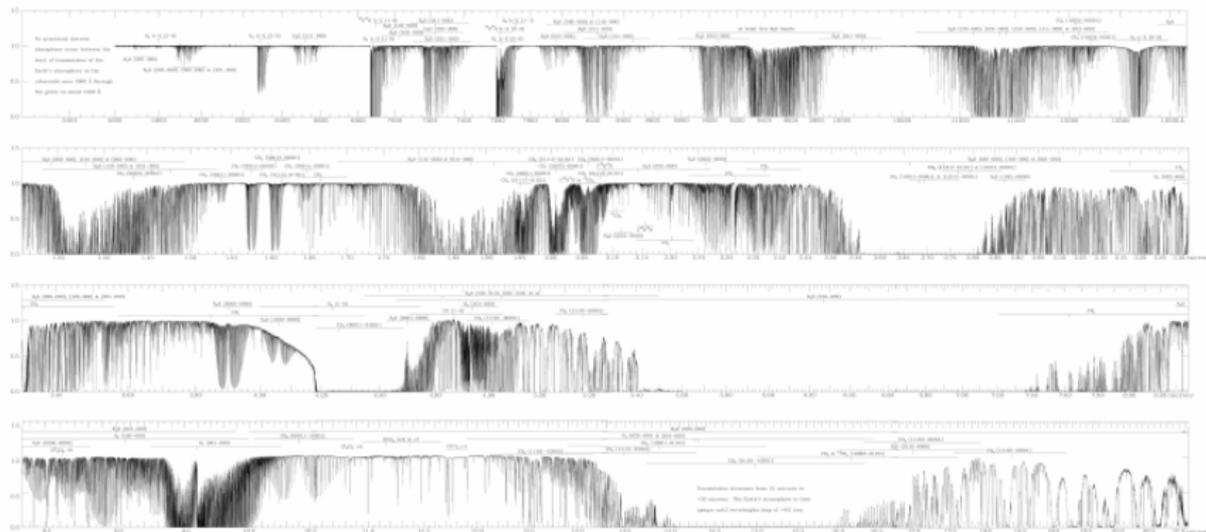
Crédit: NASA

Transmission atmosphérique (1/2)



Credit: Caltech

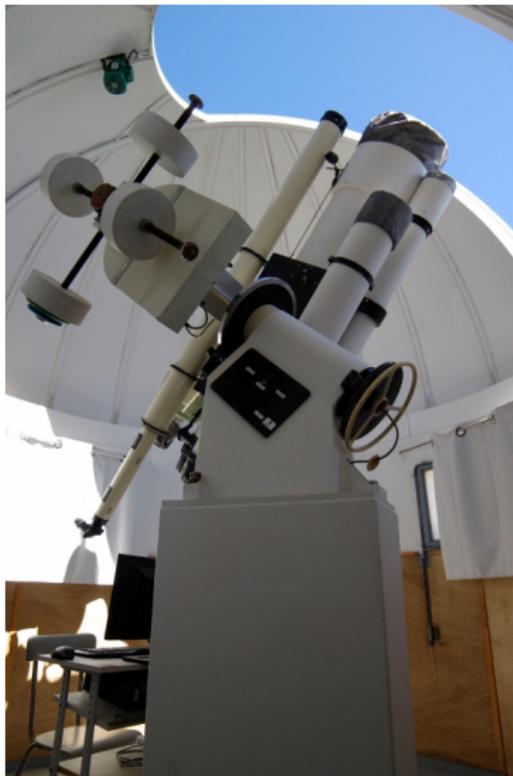
Transmission atmosphérique (2/2)



Pen (2014, LRSP, 11, 2), orig. from Hinkle et al. (2003)

Principes de base du télescope

- Collecteur d'énergie lumineuse / photons
 - Flux $\propto D^2$
- Resolution de détails fins
 - Échelle au foyer ($\mu\text{m}/''$) $s/\theta = f$
 - Limite de diffraction : $\alpha \propto 1/D$



Formules optiques

- Réfracteur (lunette)
 - objectif dioptrique convergent
 - doublet achromatique, triplet
- Réflecteur (téléscope)
 - miroir primaire : paraboloïde
 - ➔ équivalent à l'objectif du réfracteur
 - généralement miroir secondaire
- Aberrations
 - chromatisme, sphéricité, coma, astigmatisme, distortions...



Grande lunette de Nice

Formules optiques

■ Réfracteur (lunette)

- objectif dioptrique convergent
- doublet achromatique, triplet

■ Réflecteur (téléscope)

- miroir primaire : paraboloïde
- ➡ équivalent à l'objectif du réfracteur
- généralement miroir secondaire

■ Aberrations

- chromatisme, sphéricité, coma, astigmatisme, distortions...

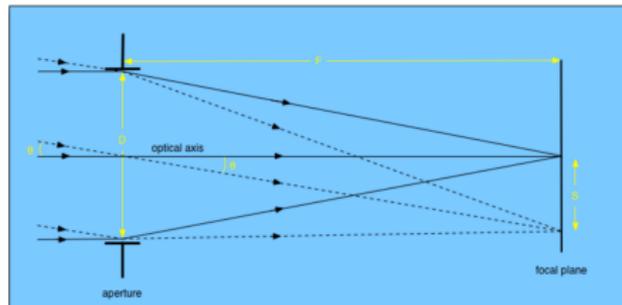


Schéma d'un réfracteur

Crédit: S. Littlefair

Formules optiques

■ Réfracteur (lunette)

- objectif dioptrique convergent
- doublet achromatique, triplet

■ Réflecteur (téléscope)

- miroir primaire : paraboloïde
- ➔ équivalent à l'objectif du réfracteur
- généralement miroir secondaire

■ Aberrations

- chromatisme, sphéricité, coma, astigmatisme, distortions...

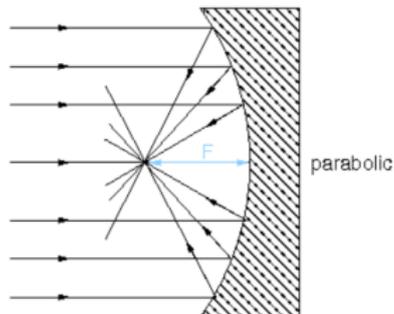


Schéma du miroir primaire d'un réflecteur

Crédit: S. Littlefair

Formules optiques

■ Réfracteur (lunette)

- objectif dioptrique convergent
- doublet achromatique, triplet

■ Réflecteur (téléscope)

- miroir primaire : paraboloïde
- ➔ équivalent à l'objectif du réfracteur
- généralement miroir secondaire

■ Aberrations

- chromatisme, sphéricité, coma, astigmatisme, distortions...

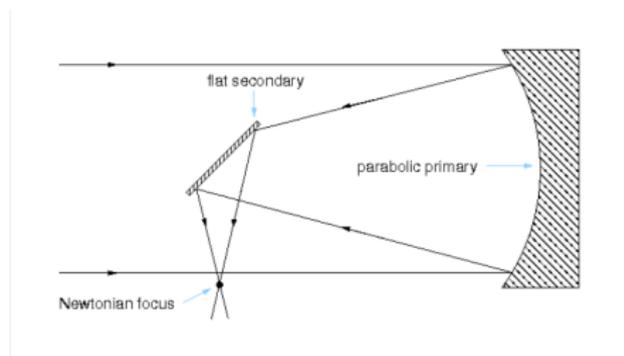


Schéma d'un réflecteur Newton

Crédit: S. Littlefair

Formules optiques

■ Réfracteur (lunette)

- objectif dioptrique convergent
- doublet achromatique, triplet

■ Réflecteur (téléscope)

- miroir primaire : paraboloïde
- ➔ équivalent à l'objectif du réfracteur
- généralement miroir secondaire

■ Aberrations

- chromatisme, sphéricité, coma, astigmatisme, distortions...

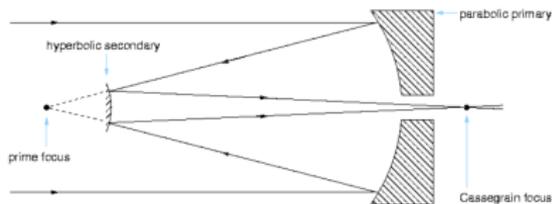


Schéma d'un réflecteur Cassegrain

Crédit: S. Littlefair

Champ de vue et échelle au foyer

■ Schéma du réfracteur

- $s = f \tan \theta \simeq f\theta$
- $1 \text{ rad} = 3438' = 206\,265''$

■ Champ de vue

- angle \leftrightarrow taille du détecteur
- $\theta_x = \ell_x/f$
- $\theta_y = \ell_y/f$

■ Échelle au foyer

- dimension PFI \leftrightarrow angle $1''$
- $s/\theta = f$

■ Échantillonnage

- angle \leftrightarrow 1 pixel
- $\theta = s_{\text{pix}}/f$

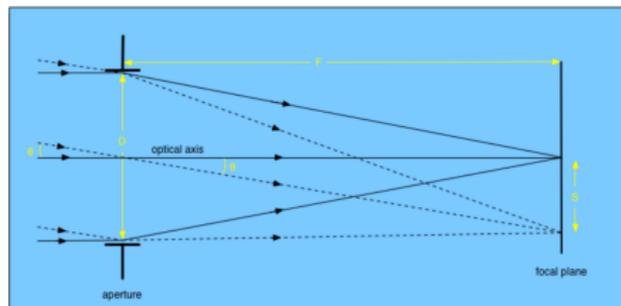


Schéma d'un réfracteur

Credit: S. Littlefair

Limite de diffraction

- Lumière diffractée par l'ouverture du télescope

- Diffraction de Fraunhofer

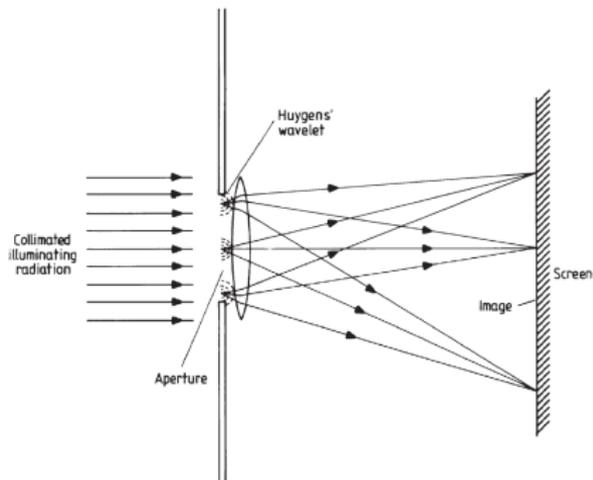
- $$I(\theta) = I_0 \left(\frac{J_1 \left(\frac{\pi D \theta}{\lambda} \right)}{\frac{\pi D \theta}{\lambda}} \right)^2$$

- 1st zero: $\theta = 1.22\lambda/D$

- Fonction d'étalement du point

- *Point spread function* (PSF)

- image «idéale» convoluée par la PSF



Diffraction par une ouverture
Crédit: *Astrophysical Techniques,*
R. Kitchin

Limite de diffraction

- Lumière diffractée par l'ouverture du télescope

- Diffraction de Fraunhofer

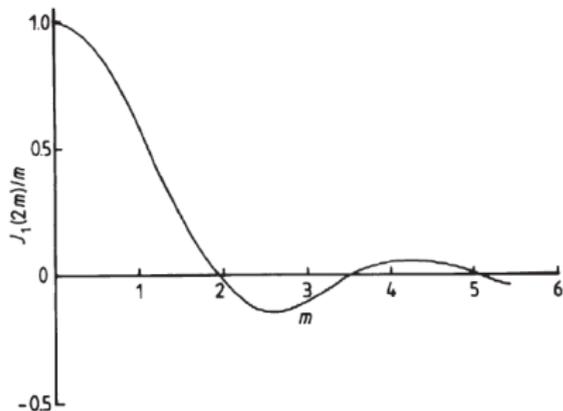
- $$I(\theta) = I_0 \left(\frac{J_1 \left(\frac{\pi D \theta}{\lambda} \right)}{\frac{\pi D \theta}{\lambda}} \right)^2$$

- 1st zero: $\theta = 1.22\lambda/D$

- Fonction d'étalement du point

- *Point spread function* (PSF)

- image «idéale» convoluée par la PSF



Function de Bessel

*Credit: Astrophysical Techniques,
R. Kitchin*

Limite de diffraction

- Lumière diffractée par l'ouverture du télescope

- Diffraction de Fraunhofer

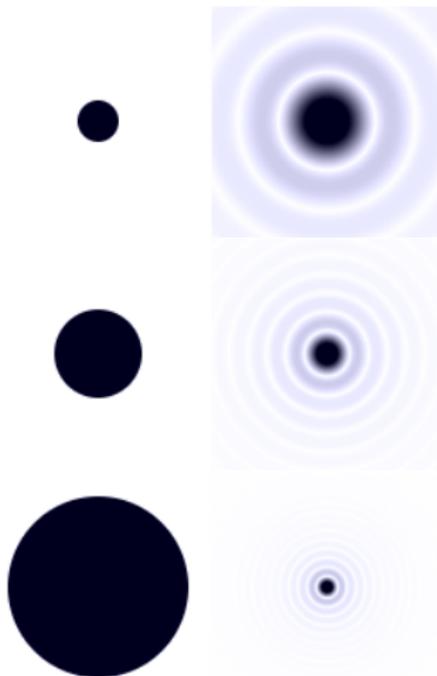
- $$I(\theta) = I_0 \left(\frac{J_1 \left(\frac{\pi D \theta}{\lambda} \right)}{\frac{\pi D \theta}{\lambda}} \right)^2$$

- 1st zero: $\theta = 1.22\lambda/D$

- Fonction d'étalement du point

- *Point spread function* (PSF)

- image «idéale» convoluée par la PSF



PSF pour différents diamètres

Credit: Fenêtres sur l'univers

Limite de diffraction

- Lumière diffractée par l'ouverture du télescope

- Diffraction de Fraunhofer

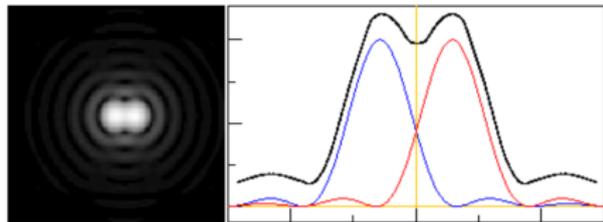
- $$I(\theta) = I_0 \left(\frac{J_1 \left(\frac{\pi D \theta}{\lambda} \right)}{\frac{\pi D \theta}{\lambda}} \right)^2$$

- 1st zero: $\theta = 1.22\lambda/D$

- Fonction d'étalement du point

- *Point spread function* (PSF)

- image «idéale» convoluée par la PSF



Sources juste résolues

Credit: S. Littlefair

Limite de diffraction

- Lumière diffractée par l'ouverture du télescope

- Diffraction de Fraunhofer

- $$I(\theta) = I_0 \left(\frac{J_1 \left(\frac{\pi D \theta}{\lambda} \right)}{\frac{\pi D \theta}{\lambda}} \right)^2$$

- 1st zero: $\theta = 1.22\lambda/D$

- Fonction d'étalement du point

- *Point spread function* (PSF)

- image «idéale» convoluée par la PSF



Images simulées de M31 pour D croissant.

Crédit: Fenêtres sur l'univers

Limite de diffraction

- Lumière diffractée par l'ouverture du télescope

- Diffraction de Fraunhofer

- $$I(\theta) = I_0 \left(\frac{J_1 \left(\frac{\pi D \theta}{\lambda} \right)}{\frac{\pi D \theta}{\lambda}} \right)^2$$

- 1st zero: $\theta = 1.22\lambda/D$

- Fonction d'étalement du point

- *Point spread function* (PSF)

- image «idéale» convoluée par la PSF



Images simulées de M31 pour D croissant.

Crédit: Fenêtres sur l'univers

Limite de diffraction

- Lumière diffractée par l'ouverture du télescope

- Diffraction de Fraunhofer

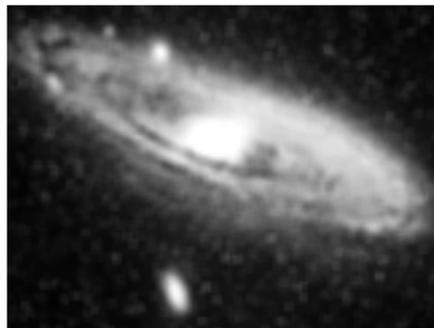
- $$I(\theta) = I_0 \left(\frac{J_1 \left(\frac{\pi D \theta}{\lambda} \right)}{\frac{\pi D \theta}{\lambda}} \right)^2$$

- 1st zero: $\theta = 1.22\lambda/D$

- Fonction d'étalement du point

- *Point spread function* (PSF)

- image «idéale» convoluée par la PSF



Images simulées de M31 pour D croissant.

Crédit: Fenêtres sur l'univers

Limite de diffraction

- Lumière diffractée par l'ouverture du télescope

- Diffraction de Fraunhofer

- $$I(\theta) = I_0 \left(\frac{J_1 \left(\frac{\pi D \theta}{\lambda} \right)}{\frac{\pi D \theta}{\lambda}} \right)^2$$

- 1st zero: $\theta = 1.22\lambda/D$

- Fonction d'étalement du point

- *Point spread function* (PSF)

- image «idéale» convoluée par la PSF



Images simulées de M31 pour D croissant.

Crédit: Fenêtres sur l'univers

Limite de diffraction

- Lumière diffractée par l'ouverture du télescope

- Diffraction de Fraunhofer

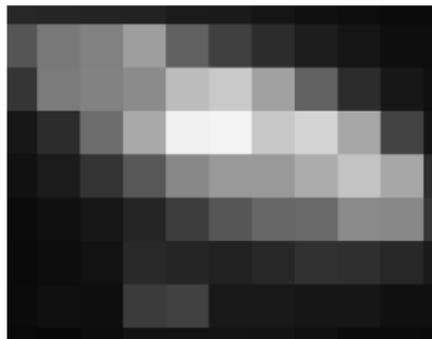
- $$I(\theta) = I_0 \left(\frac{J_1 \left(\frac{\pi D \theta}{\lambda} \right)}{\frac{\pi D \theta}{\lambda}} \right)^2$$

- 1st zero: $\theta = 1.22\lambda/D$

- Fonction d'étalement du point

- Point spread function (PSF)

- image «idéale» convoluée par la PSF



*Images simulées de M31
pour s_{pix} décroissant.*

Crédit: Fenêtres sur l'univers

Limite de diffraction

- Lumière diffractée par l'ouverture du télescope

- Diffraction de Fraunhofer

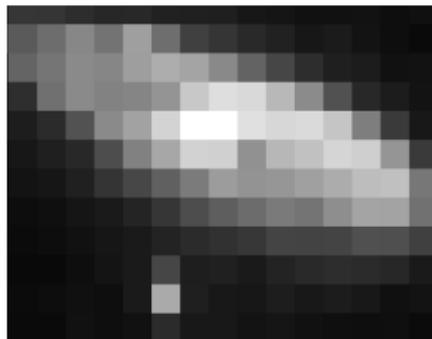
- $$I(\theta) = I_0 \left(\frac{J_1 \left(\frac{\pi D \theta}{\lambda} \right)}{\frac{\pi D \theta}{\lambda}} \right)^2$$

- 1st zero: $\theta = 1.22\lambda/D$

- Fonction d'étalement du point

- *Point spread function* (PSF)

- image «idéale» convoluée par la PSF



*Images simulées de M31
pour s_{pix} décroissant.*

Crédit: Fenêtres sur l'univers

Limite de diffraction

- Lumière diffractée par l'ouverture du télescope

- Diffraction de Fraunhofer

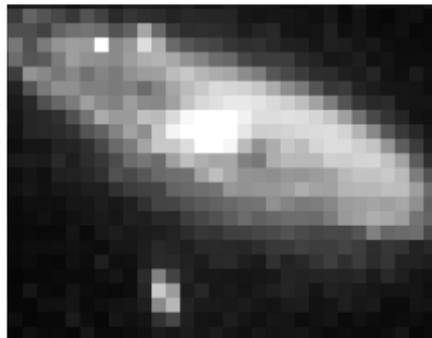
- $$I(\theta) = I_0 \left(\frac{J_1 \left(\frac{\pi D \theta}{\lambda} \right)}{\frac{\pi D \theta}{\lambda}} \right)^2$$

- 1st zero: $\theta = 1.22\lambda/D$

- Fonction d'étalement du point

- Point spread function (PSF)

- image «idéale» convoluée par la PSF



*Images simulées de M31
pour s_{pix} décroissant.*

Crédit: Fenêtres sur l'univers

Limite de diffraction

- Lumière diffractée par l'ouverture du télescope

- Diffraction de Fraunhofer

- $$I(\theta) = I_0 \left(\frac{J_1 \left(\frac{\pi D \theta}{\lambda} \right)}{\frac{\pi D \theta}{\lambda}} \right)^2$$

- 1st zero: $\theta = 1.22\lambda/D$

- Fonction d'étalement du point

- Point spread function (PSF)

- image «idéale» convoluée par la PSF



*Images simulées de M31
pour s_{pix} décroissant.*

Crédit: Fenêtres sur l'univers

Effets de l'atmosphère

■ Extinction

- particulièrement rayons X, UV, IR
- effet des nuages, particules
- masse d'air : $am = \sec(z)$

■ Diffusion (Rayleigh, Mie)

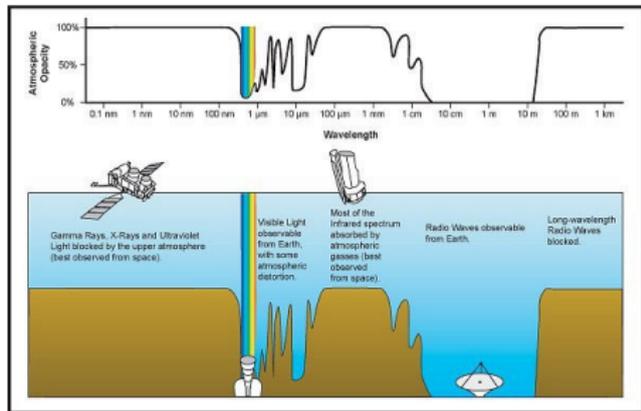
- rougissement
- masse d'air : $am = \sec(z)$

■ Emission

- émission thermique IR
- luminescence atmosphérique (*airglow*)

■ Turbulence

- scintillation
- dégradation d'image (*seeing*)
- ➔ optique adaptative (AO)
- ➔ *lucky imaging*



Transmission atmosphérique. Crédit: Caltech

Effets de l'atmosphère

■ Extinction

- particulièrement rayons X, UV, IR
- effet des nuages, particules
- masse d'air : $am = \sec(z)$

■ Diffusion (Rayleigh, Mie)

- rougissement
- masse d'air : $am = \sec(z)$

■ Emission

- émission thermique IR
- luminescence atmosphérique (*airglow*)

■ Turbulence

- scintillation
- dégradation d'image (*seeing*)
- ➔ optique adaptative (AO)
- ➔ *lucky imaging*



Conjonction Vénus-Jupiter
Crédit : Observatoire FdS Montpellier

Effets de l'atmosphère

■ Extinction

- particulièrement rayons X, UV, IR
- effet des nuages, particules
- masse d'air : $am = \sec(z)$

■ Diffusion (Rayleigh, Mie)

- rougissement
- masse d'air : $am = \sec(z)$

■ Emission

- émission thermique IR
- luminescence atmosphérique (*airglow*)

■ Turbulence

- scintillation
- dégradation d'image (*seeing*)
- ➔ optique adaptative (AO)
- ➔ *lucky imaging*



Airglow au VLT

Crédit: Y. Beletsky (LCO)/ESO

Effets de l'atmosphère

■ Extinction

- particulièrement rayons X, UV, IR
- effet des nuages, particules
- masse d'air : $am = \sec(z)$

■ Diffusion (Rayleigh, Mie)

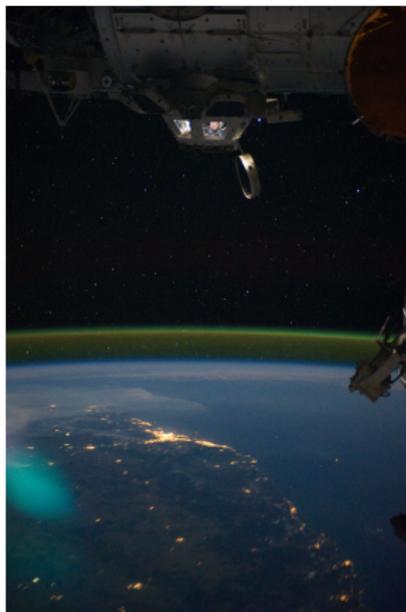
- rougissement
- masse d'air : $am = \sec(z)$

■ Emission

- émission thermique IR
- luminescence atmosphérique (*airglow*)

■ Turbulence

- scintillation
- dégradation d'image (*seeing*)
- ➔ optique adaptative (AO)
- ➔ *lucky imaging*



Airglow observé depuis l'ISS

Crédit: NASA

Effets de l'atmosphère

■ Extinction

- particulièrement rayons X, UV, IR
- effet des nuages, particules
- masse d'air : $am = \sec(z)$

■ Diffusion (Rayleigh, Mie)

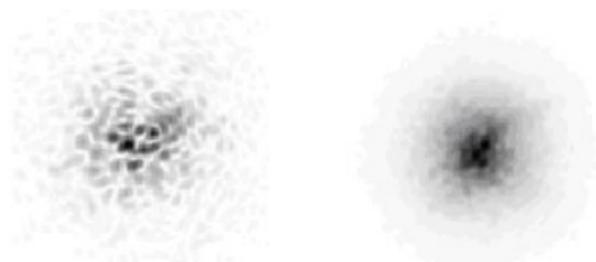
- rougissement
- masse d'air : $am = \sec(z)$

■ Emission

- émission thermique IR
- luminescence atmosphérique (*airglow*)

■ Turbulence

- scintillation
- dégradation d'image (*seeing*)
- ➔ optique adaptative (AO)
- ➔ *lucky imaging*



Speckles (pose courte) et image correspondante après intégration longue

Crédit: ESO

Effets de l'atmosphère

■ Extinction

- particulièrement rayons X, UV, IR
- effet des nuages, particules
- masse d'air : $am = \sec(z)$

■ Diffusion (Rayleigh, Mie)

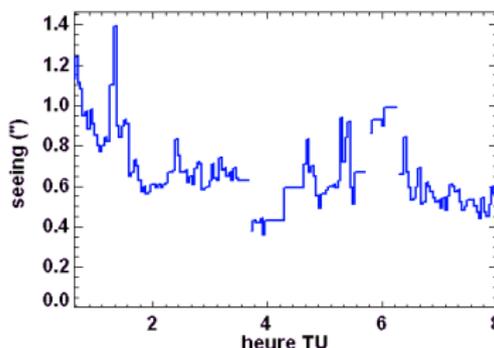
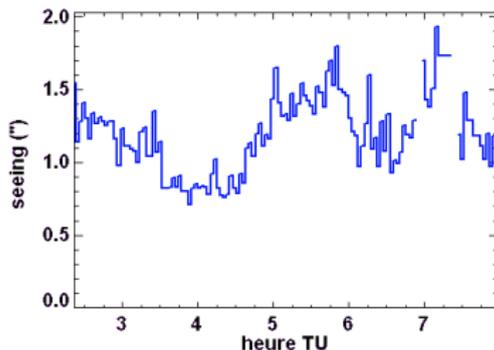
- rougissement
- masse d'air : $am = \sec(z)$

■ Emission

- émission thermique IR
- luminescence atmosphérique (*airglow*)

■ Turbulence

- scintillation
- dégradation d'image (*seeing*)
- ➔ optique adaptative (AO)
- ➔ *lucky imaging*



Évolution du seeing sur deux nuits

Crédit: ESO

Effets de l'atmosphère

■ Extinction

- particulièrement rayons X, UV, IR
- effet des nuages, particules
- masse d'air : $am = \sec(z)$

■ Diffusion (Rayleigh, Mie)

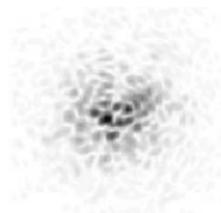
- rougissement
- masse d'air : $am = \sec(z)$

■ Emission

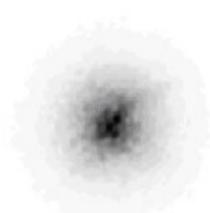
- émission thermique IR
- luminescence atmosphérique (*airglow*)

■ Turbulence

- scintillation
- dégradation d'image (*seeing*)
- ➔ optique adaptative (AO)
- ➔ *lucky imaging*



Corrected psf (sqrt)



Integrated corrected psf (sqrt)

PSF corrigée par optique adaptative

Crédit: ESO

Effets de l'atmosphère

■ Extinction

- particulièrement rayons X, UV, IR
- effet des nuages, particules
- masse d'air : $am = \sec(z)$

■ Diffusion (Rayleigh, Mie)

- rougissement
- masse d'air : $am = \sec(z)$

■ Emission

- émission thermique IR
- luminescence atmosphérique (*airglow*)

■ Turbulence

- scintillation
- dégradation d'image (*seeing*)
- ➔ optique adaptative (AO)
- ➔ *lucky imaging*

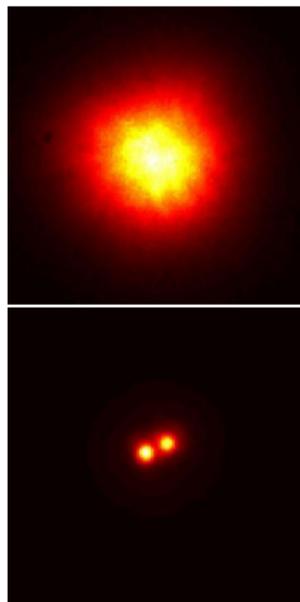


Image d'une binaire corrigée par AO (bas)

Crédit: ESO

Types de mesures (1/2)

■ Propriétés mesurables des photons

1. Direction d'incidence
2. Flux / temps d'arrivée
3. Énergie
4. Polarisation
5. Propriétés de groupement



Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy (VISTA)

Crédit: G. Hüdepohl/ESO

Types de mesures (2/2)

■ Types de mesures

- Astrométrie : positions et déplacements
- Photométrie : flux dans un système de filtres
- Imagerie : cartographie, morphologie
- Spectroscopie : distribution spectrale d'énergie
- Polarimétrie: degré de polarisation, orientation, gauche/droite

- Combinaison
 - spectrophotométrie, spectropolarimétrie
- Techniques spécifiques
 - coronagraphie, interférométrie



Caméra de VISTA

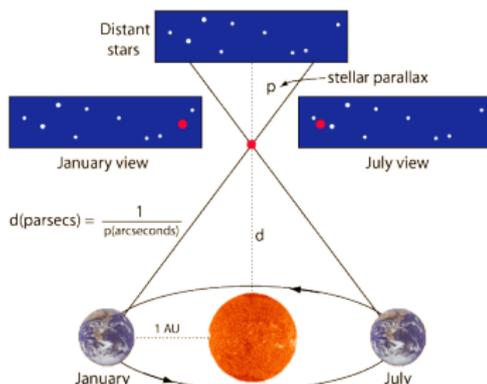
Crédit: ESO

Types de mesures (2/2)

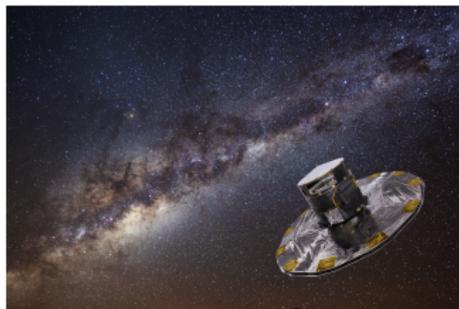
■ Types de mesures

- Astrométrie : positions et déplacements
- Photométrie : flux dans un système de filtres
- Imagerie : cartographie, morphologie
- Spectroscopie : distribution spectrale d'énergie
- Polarimétrie: degré de polarisation, orientation, gauche/droite

- Combinaison
 - spectrophotométrie, spectropolarimétrie
- Techniques spécifiques
 - coronagraphie, interférométrie



Parallax annuelle – Crédit: Hyperphysics



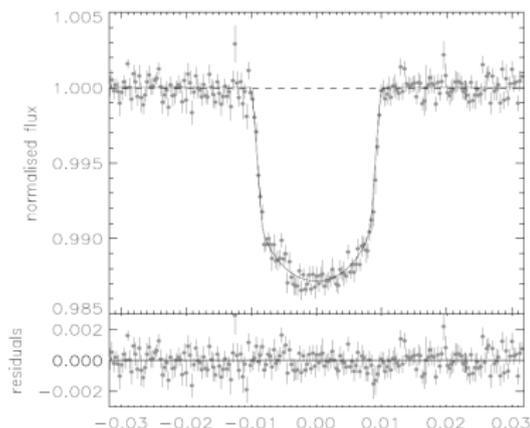
Gaia – Crédit: ESA

Types de mesures (2/2)

■ Types de mesures

- Astrométrie : positions et déplacements
- Photométrie : flux dans un système de filtres
- Imagerie : cartographie, morphologie
- Spectroscopie : distribution spectrale d'énergie
- Polarimétrie: degré de polarisation, orientation, gauche/droite

- Combinaison
 - spectrophotométrie, spectropolarimétrie
- Techniques spécifiques
 - coronagraphie, interférométrie

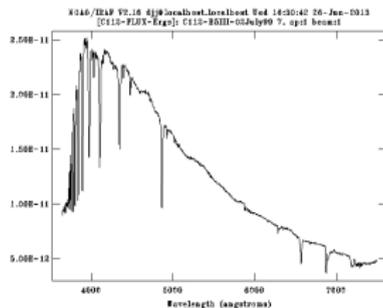


Transit de Corot-4b
Aigrain et al. (2008)

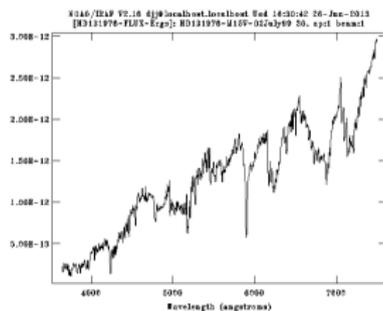
Types de mesures (2/2)

■ Types de mesures

- Astrométrie : positions et déplacements
- Photométrie : flux dans un système de filtres
- Imagerie : cartographie, morphologie
- Spectroscopie : distribution spectrale d'énergie
- Polarimétrie: degré de polarisation, orientation, gauche/droite
- Combinaison
 - spectrophotométrie, spectropolarimétrie
- Techniques spécifiques
 - coronagraphie, interférométrie



Étoile B5III



Étoile M1.5V

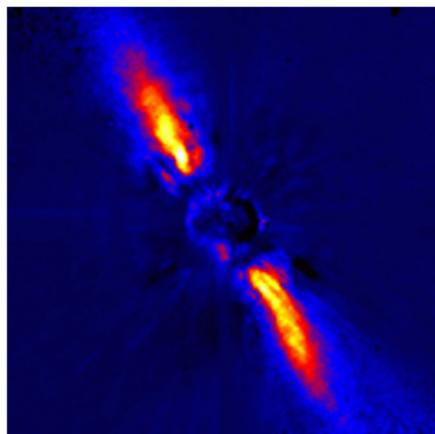
James et al. (2013)

Types de mesures (2/2)

■ Types de mesures

- Astrométrie : positions et déplacements
- Photométrie : flux dans un système de filtres
- Imagerie : cartographie, morphologie
- Spectroscopie : distribution spectrale d'énergie
- Polarimétrie: degré de polarisation, orientation, gauche/droite

- Combinaison
 - spectrophotométrie, spectropolarimétrie
- Techniques spécifiques
 - coronagraphie, interférométrie



Disque circumstellaire de β Pictoris

Crédit: ESO

Outline

- 1 L'Observatoire de Haute-Provence
- 2 Formation des images par un télescope
- 3 Utilisation des détecteurs CCD**
 - La révolution des CCD en astronomie
 - Principe de fonctionnement
 - Défauts des CCD et traitement des images
- 4 Bases d'astronomie
- 5 Observations à l'OHP

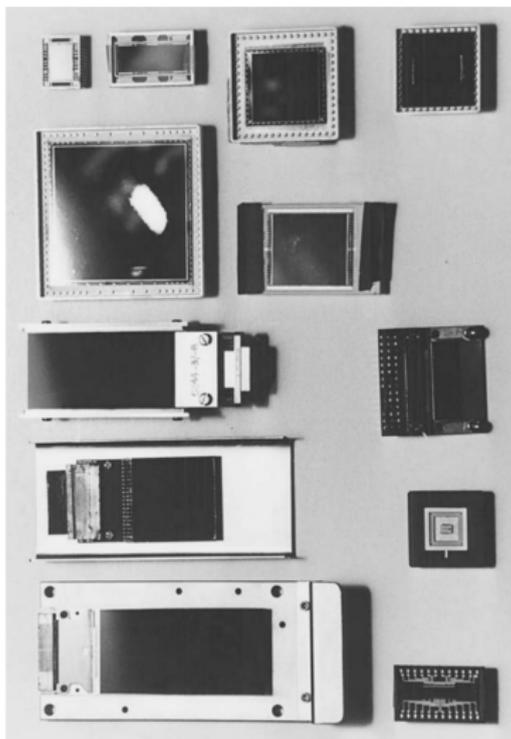
La révolution des CCD en astronomie (1/2)

■ Détecteurs précédents

- Œil
- Plaque photographique
- Photomultiplicateur (PMT)

■ Charge-couple device (CCD)

- Boyle & Smith (1969)
- Semi-conducteurs capacitifs en Si



*Selection de capteurs CCD
Handbook of CCD astronomy*

La révolution des CCD en astronomie (2/2)

- Avantages sur les autres technologies
- Rendement quantique
 - $QE = \frac{n_{\gamma, \text{det}}}{n_{\gamma}}$
 - pic > 90%
- Band passante
 - 300 – 1 100 nm
- Linearité
- Plage dynamique
 - > 10^4
- Faible bruit
- Lecture rapide, matrice 2-D...

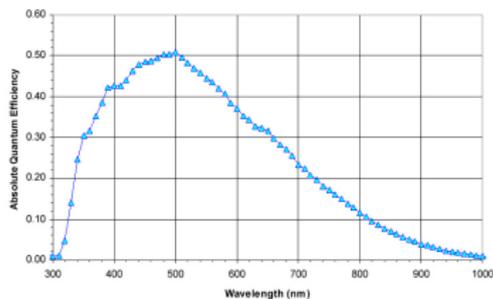
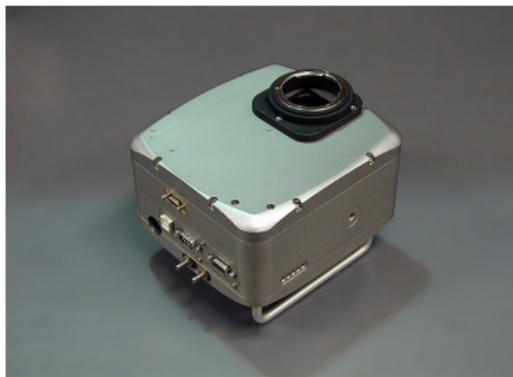
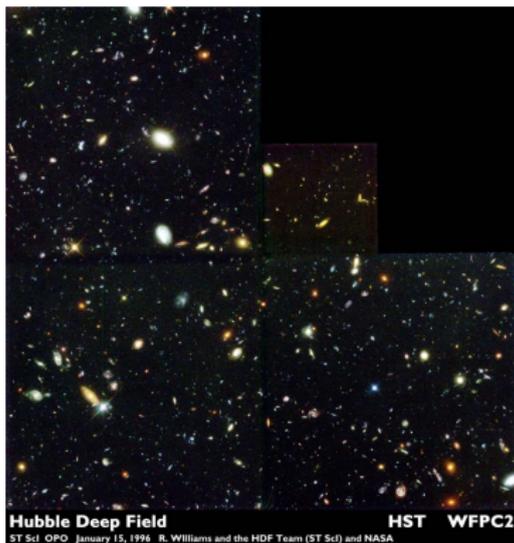


Figure 11 - Monochrome with Microlens Quantum Efficiency

SBIG STL-11000M et courbe de QE
Crédit: Santa Barbara Instrument Group

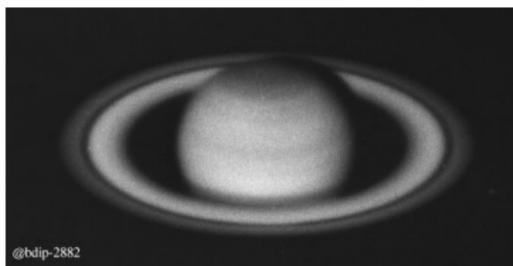
La révolution des CCD en astronomie (2/2)

- Avantages sur les autres technologies
 - Rendement quantique
 - $QE = \frac{n_{\gamma, \text{det}}}{n_{\gamma}}$
 - pic $> 90\%$
 - Band passante
 - 300 – 1 100 nm
 - Linearité
 - Plage dynamique
 - $> 10^4$
 - Faible bruit
 - Lecture rapide, matrice 2-D...



La révolution des CCD en astronomie (2/2)

- Avantages sur les autres technologies
 - Rendement quantique
 - $QE = \frac{n_{\gamma, \text{det}}}{n_{\gamma}}$
 - pic > 90%
 - Band passante
 - 300 – 1 100 nm
 - Linearité
 - Plage dynamique
 - > 10^4
 - Faible bruit
 - Lecture rapide, matrice 2-D...



28/02/1945



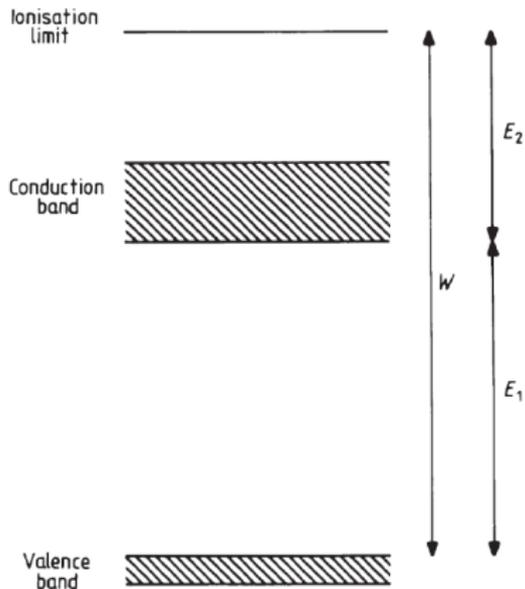
28/02/2009

Saturne au Pic du Midi T1M

1. Détection des photons

■ Effet photoélectrique

- Visible λ : $1\gamma \rightarrow 1\text{paire } e^-/\text{trou}$
si $h\nu > E_1$
Si : $E_1 = 1.14 \text{ eV}$
- Si : absorbe for $h\nu \sim 1.1 - 10\text{s eV}$
nIR \rightarrow rayons X mous



*Niveaux d'énergie dans un semiconducteur
Astrophysical techniques*

2. Stockage des photoélectrons

- durée de vie paire e^- /trou

$$\tau \sim 100 \mu s$$

- piégeage dans puit de potentiel
- effet capacitif

- Structure MOS

- Arrangés en matrice 2-D

→ Taille du pixel

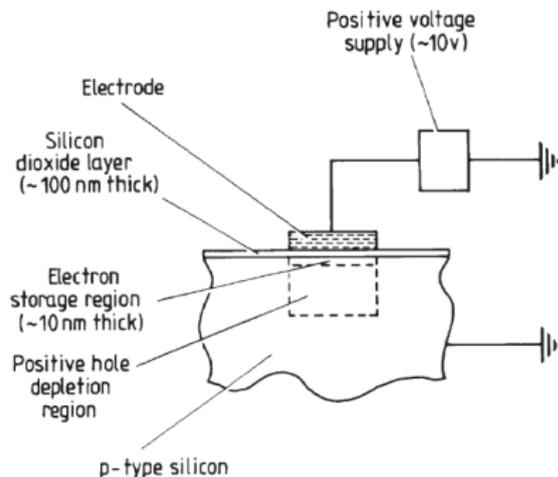
- 3 – 30 μm

→ Format de la matrice

- 500 – 8 000 pixels

→ Capacité du puit

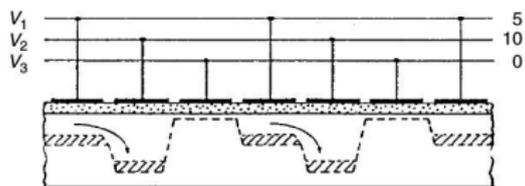
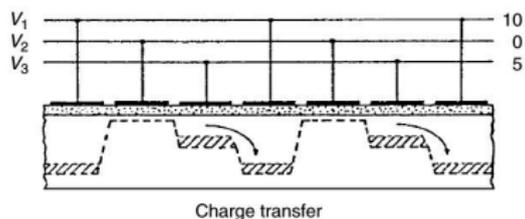
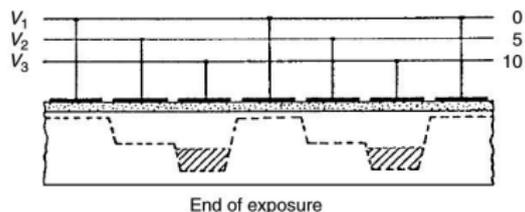
- 50 000 – 100 000 e^-



*Structure de la jonction
Astrophysical techniques*

3. Lecture : transfert de charges et numérisation

- Transfert des charges le long des lignes
 - Modulation du potentiel des jonctions
 - Convertisseur analogique/numérique
 - tension \rightarrow entiers
 - «unité»: DN or ADU
 - Généralement : 16-bit
 - 0 – 65 535
- \rightarrow Gain
- 1 – 10 e^- /ADU



Voltage operation in a 3-phase CCD
Handbook of CCD Astronomy,
from Walker (1987)

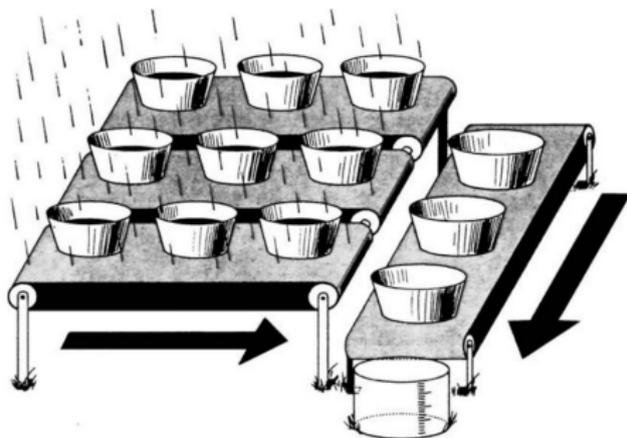
3. Lecture : transfert de charges et numérisation

- Transfert des charges le long des lignes
 - Modulation du potentiel des jonctions
- Convertisseur analogique/numérique

- tension \rightarrow entiers
- «unité»: DN or ADU
- Généralement : 16-bit
 - 0 – 65 535

\rightarrow Gain

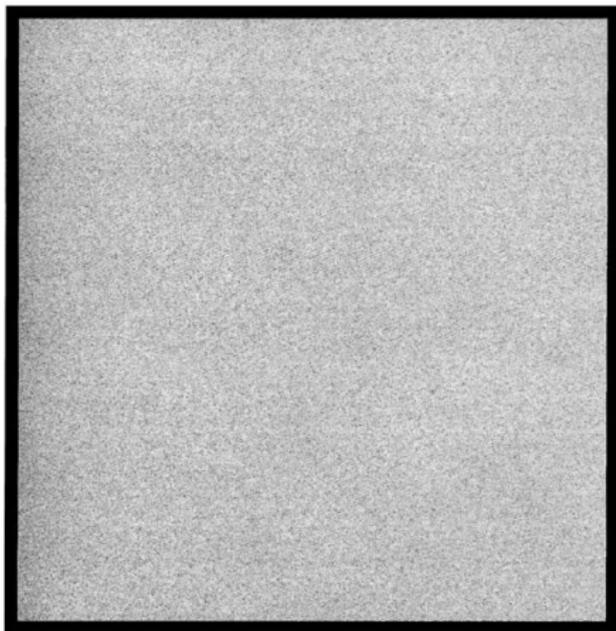
- 1 – 10 e^- /ADU



*Analogie hydraulique
Handbook of CCD Astronomy, from
Janesick & Blouke (1987)*

Défauts des détecteurs CCD

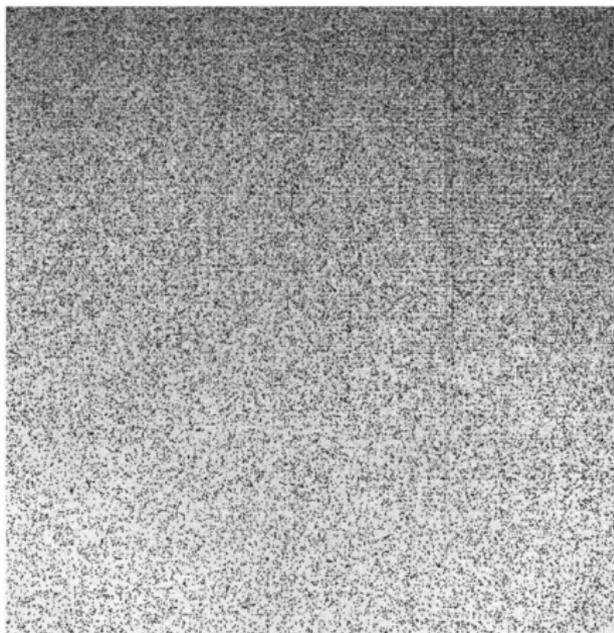
- Lecture (*readout*)
 - Image Bias/Offset
 - Bruit de lecture
 - Systématique
- Signal thermique
 - Image Dark
 - Courant d'obscurité
 - Inutile au T120
- Non-uniformité du champ
(optique + CCD)
 - Image Flat field
 - Systématique, 1/filtre



*Bias frame, credit: Handbook of CCD
Astronomy*

Défauts des détecteurs CCD

- Lecture (*readout*)
 - Image Bias/Offset
 - Bruit de lecture
 - Systématique
- Signal thermique
 - Image Dark
 - Courant d'obscurité
 - Inutile au T120
- Non-uniformité du champ
(optique + CCD)
 - Image Flat field
 - Systématique, 1/filtre



*Dark frame, credit: Handbook of CCD
Astronomy*

Défauts des détecteurs CCD

■ Lecture (*readout*)

- Image Bias/Offset
- Bruit de lecture
- Systématique

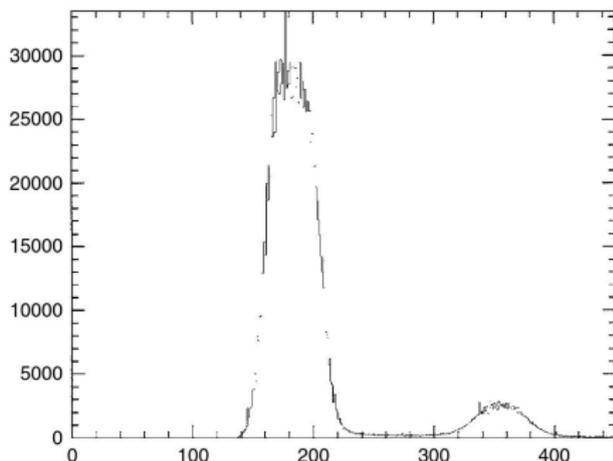
■ Signal thermique

- Image Dark
- Courant d'obscurité
- Inutile au T120

■ Non-uniformité du champ

(optique + CCD)

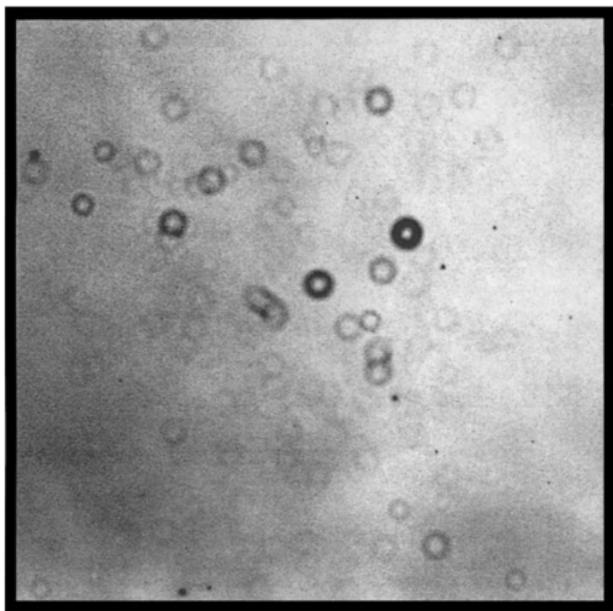
- Image Flat field
- Systématique, 1/filtre



*Dark frame histogram, credit: Handbook of
CCD Astronomy*

Défauts des détecteurs CCD

- Lecture (*readout*)
 - Image Bias/Offset
 - Bruit de lecture
 - Systématique
- Signal thermique
 - Image Dark
 - Courant d'obscurité
 - Inutile au T120
- Non-uniformité du champ
(optique + CCD)
 - Image Flat field
 - Systématique, 1/filtre



*Flat field frame, credit: Handbook of CCD
Astronomy*

Défauts des détecteurs CCD

■ Lecture (*readout*)

- Image Bias/Offset
- Bruit de lecture
- Systématique

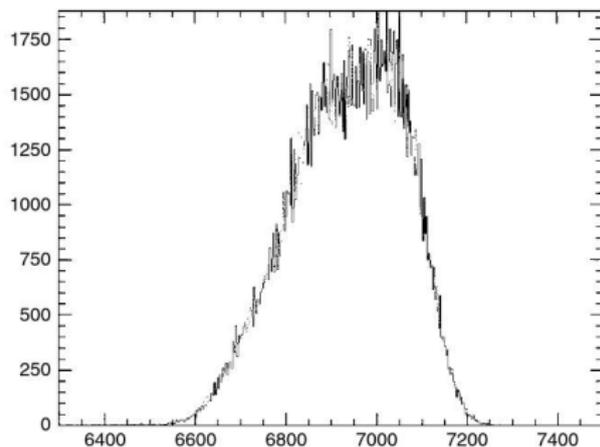
■ Signal thermique

- Image Dark
- Courant d'obscurité
- Inutile au T120

■ Non-uniformité du champ

(optique + CCD)

- Image Flat field
- Systématique, 1/filtre



*Flat field histogram, credit: Handbook of
CCD Astronomy*

Traitement d'image

- Observation O_{ij}
- Dark normalisé $\bar{D}_{ij}(t_{\text{exp}}, T)$
- Flat normalisé \bar{F}_{ij}
- Image pré-traitée :

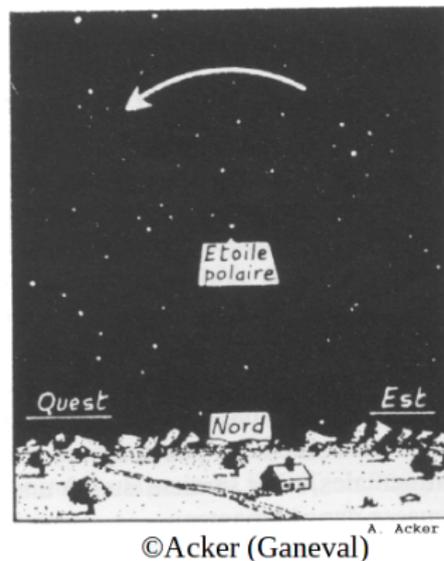
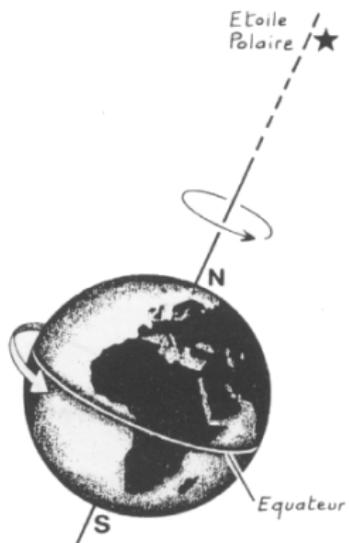
$$S_{ij} = \frac{O_{ij} - \bar{D}_{ij}(t_{\text{exp}}, T)}{\bar{F}_{ij}}$$

→ Voir tutoriel AstrolmageJ sur moodle

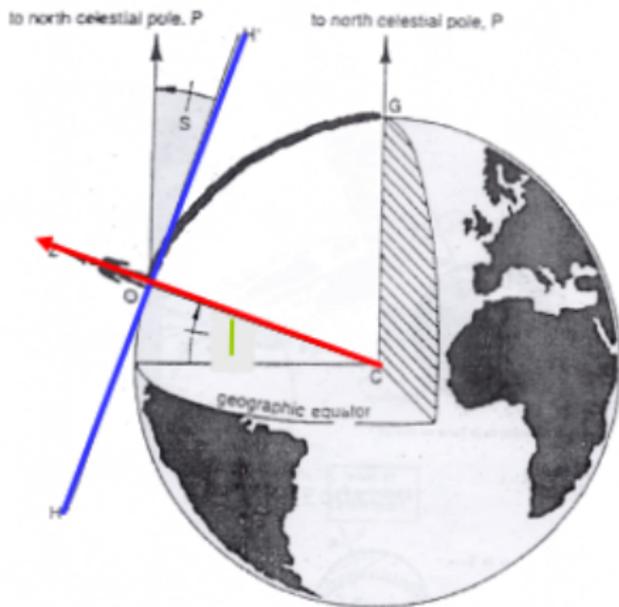
Outline

- 1 L'Observatoire de Haute-Provence
- 2 Formation des images par un télescope
- 3 Utilisation des détecteurs CCD
- 4 Bases d'astronomie**
 - Astronomie de positions
 - Photométrie, magnitudes et filtres
- 5 Observations à l'OHP

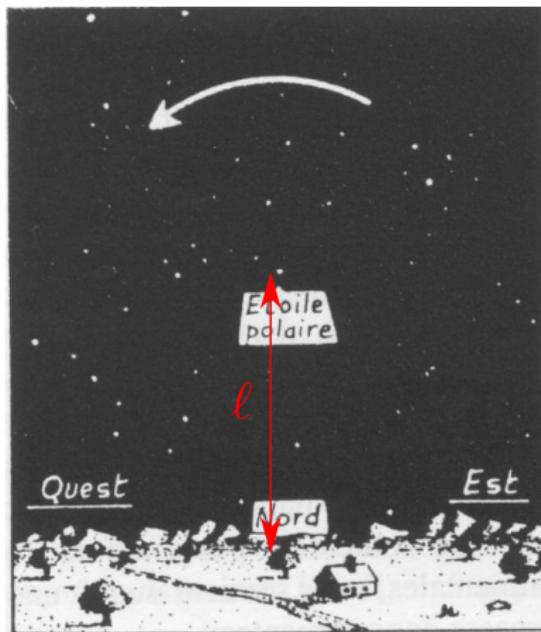
Retour aux fondamentaux



Retour aux fondamentaux



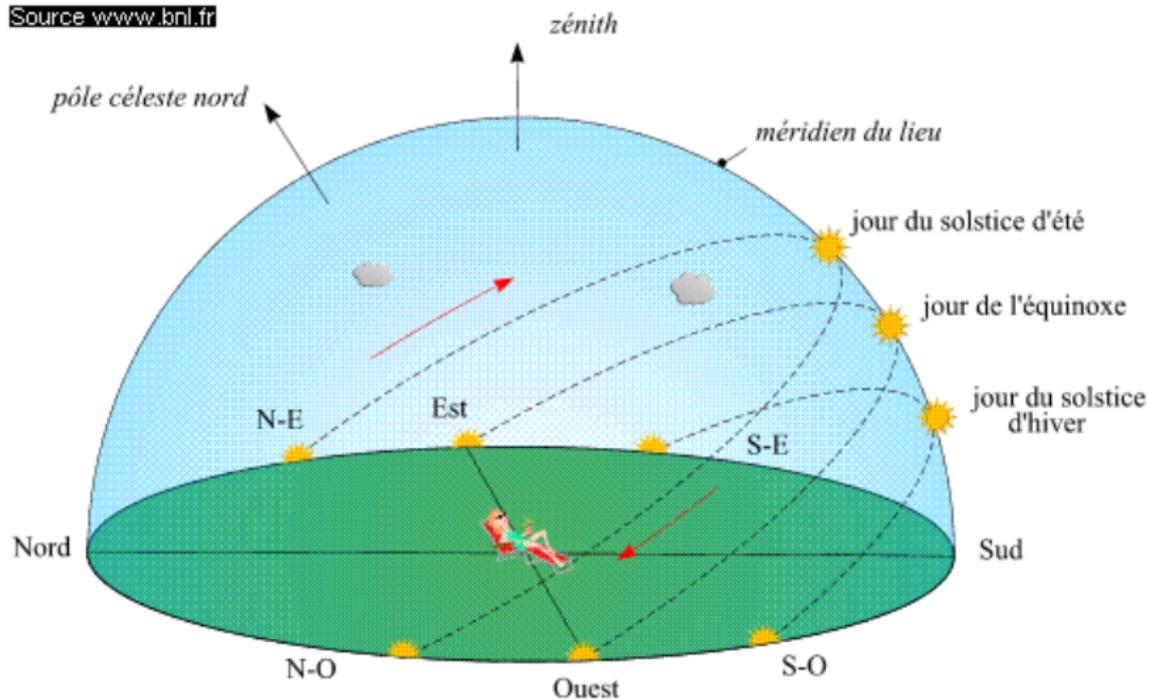
Retour aux fondamentaux



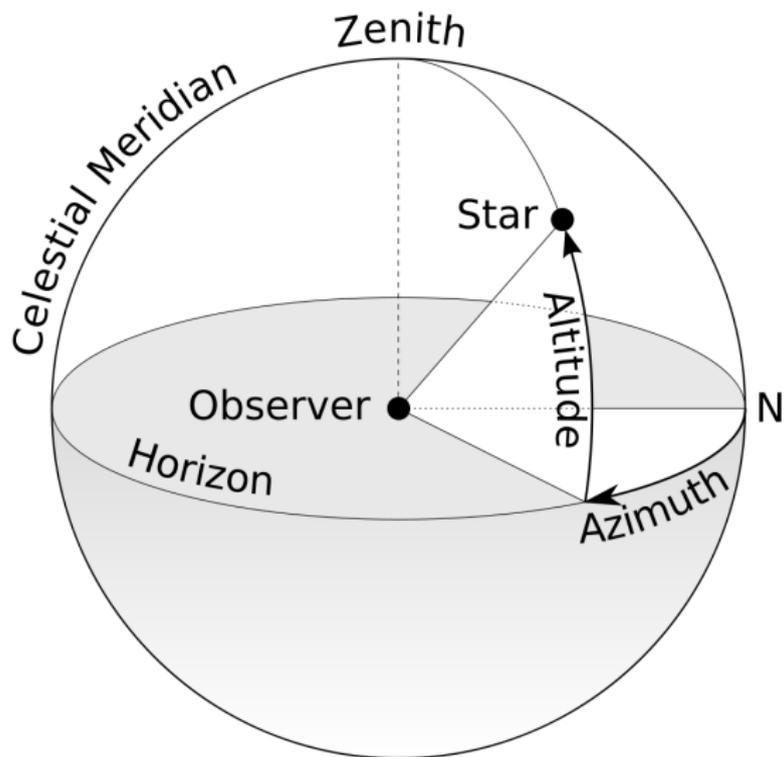
©Acker (Ganeval)

Retour aux fondamentaux

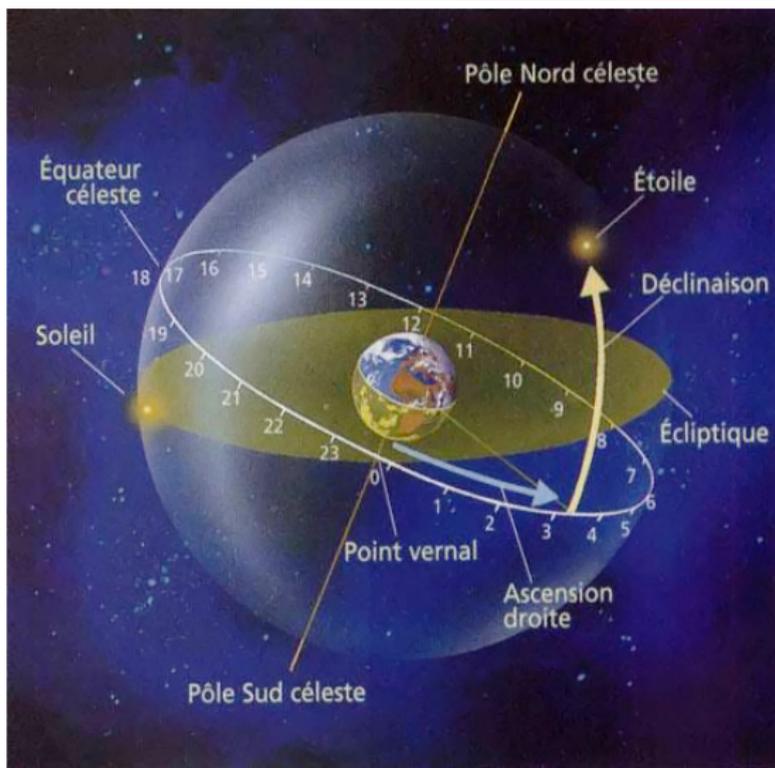
Source www.bnl.fr



Coordonnées azimutales



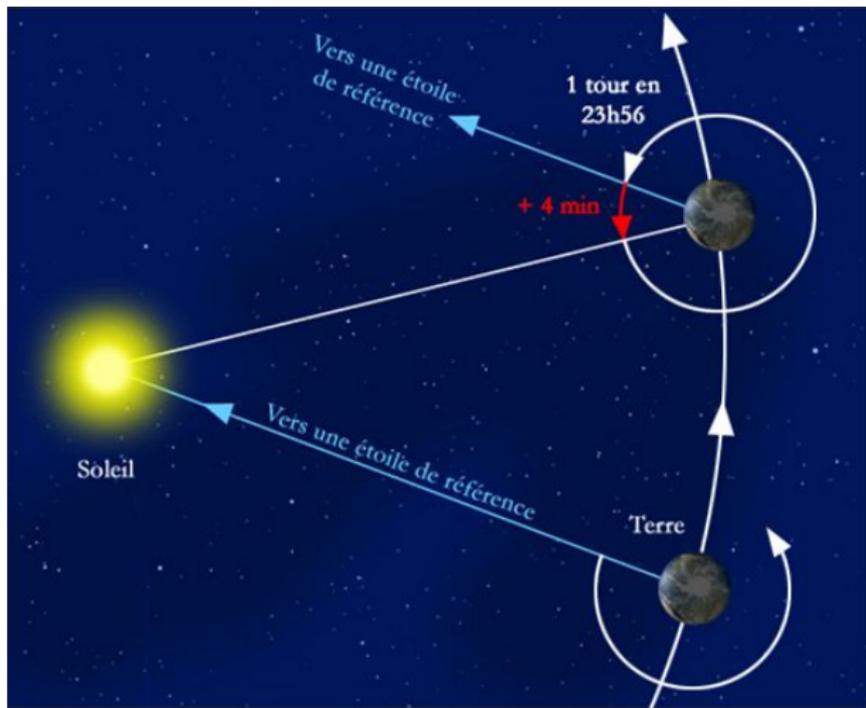
Coordonnées équatoriales



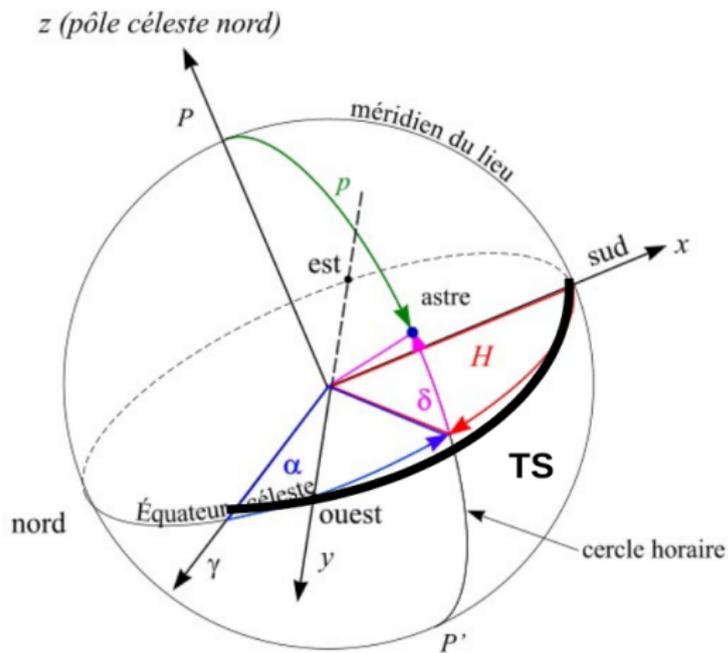
Coordonnées équatoriales

- Déclinaison : DEC / δ : angle entre l'équateur céleste et l'objet
 - Analogue à la latitude pour les coordonnées géographiques
- Ascension Droite : RA / α : angle entre le point vernal γ et l'objet
 - Analogue à la longitude pour les coordonnées géographiques
 - La ligne $\alpha = 0\text{h}$ «tourne» pour un observateur sur Terre
- Exemple/notation :
 - Betelgeuse (α Ori) : $\alpha = 05\text{h}55\text{m}10\text{s}$; $\delta = +07^\circ 24' 25''$

Temps sidéral et angle horaire



Temps sidéral et angle horaire



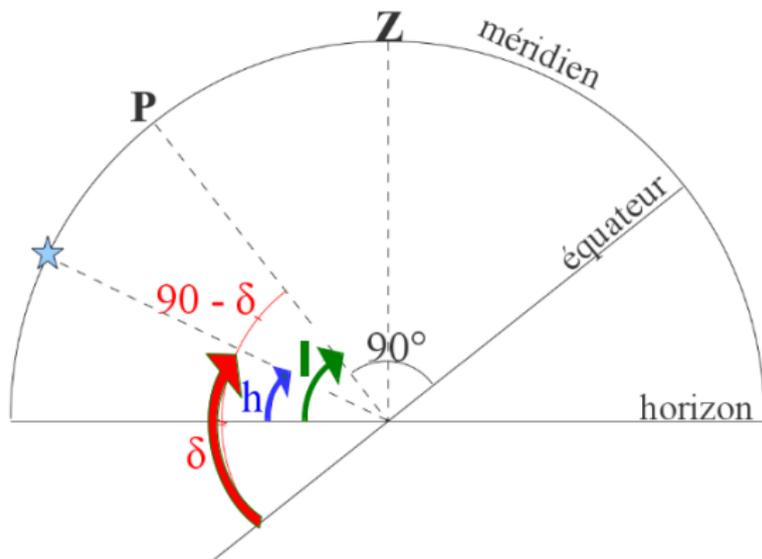
Temps sidéral et angle horaire

- LST (Local Sidereal Time) : angle entre le Sud et γ
 - LST = α des objets passant au méridien
- HA (Hour Angle) : entre le Sud et la projection de l'objet sur l'équateur céleste
 - HA = -1h ➔ : l'étoile passera au méridien dans 1 h
 - LST = HA de γ

$$HA + \alpha = LST$$

- LST dépend de la longitude de l'observateur
 - LST = GST - longitude
 - GST : Greenwich Sidereal Time
- LST(minuit) = $\alpha_{\odot} + 12\text{h}$
 - Equinox de printemps : $\alpha_{\odot} = 0\text{h} \Rightarrow \text{LST}(\text{minuit}) = 12\text{h}$
 - Solstice d'été : $\alpha_{\odot} = 6\text{h} \Rightarrow \text{LST}(\text{minuit}) = 18\text{h}$
 - LST se décale de 4min par jour, 2h par mois

Observabilité d'un objet



■ Hémisphère nord

- Hauteur au passage au méridien :
 - Sud: $h_{\max} = 90 + \delta - \ell$; Nord: $h_{\min} = \delta + \ell - 90$
- Visible : $\delta > \ell - 90$; Circumpolaire : $\delta > 90 - \ell$
- HA au coucher : $HA_s = \arccos(-\tan \ell \cdot \tan \delta)$

Photométrie astronomique : origines

- Hipparque : classification des étoiles par éclat
 - 1 (plus brillantes) to 6 (plus faibles)
- 1856: Pogson
 - $m=6$ 100 fois plus faible que $m=1$
 - définit échelle logarithmique basée sur $\sqrt[5]{100} = 2.512$

Soleil	-26.7
Pleine Lune	-12.7
Venus	-4.8
Sirius	-1.4
Vega	0.0
Polaris	2.0
Limite visuelle	6
Limite HST deep field	30

- $m = -2.5 \log_{10} \left(\frac{F}{F_0} \right) \quad ; \quad \frac{F_2}{F_1} = 10^{0.4(m_1 - m_2)}$

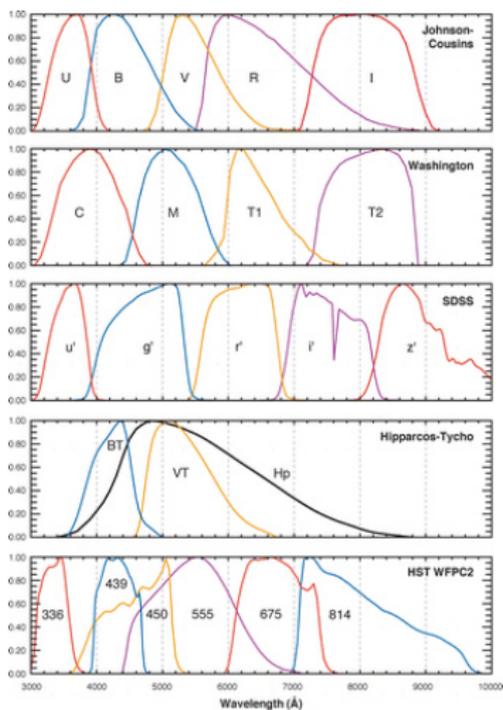
■ Mesures réalisées à travers filtres standardisés

- Visible : Johnson-Cousins : U, B, V, R_c, I_c
- Visible : Gunn : u, g, r, i, z
- nIR : 2MASS : JHK_s

■ Référence d'éclat :

- Vega : $m_F(\text{Vega})=0.03$ pour tout filtre F (Johnson-Cousins)
- AB : $m_{AB} = -2.5 \log_{10} \left(\frac{F_\nu}{F_{\nu,0}} \right)$ with $F_{\nu,0} = 3.631 \times 10^{-23} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Hz}^{-1}$

Photométrie astronomique : filtres



Bessell, MS, 2005
Annu. Rev. Astron. Astrophys. 43: 293-336

Photométrie astronomique : filtres

Photométrie standard				
domaine spectral	indice de couleur X	λ (μm)	$\Delta\lambda$ (μm)	Référence ($\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$)
UV	U	0.36	0.068	$4.35 \cdot 10^{-8}$
bleu	B	0.44	0.098	$7.20 \cdot 10^{-8}$
visible	V	0.55	0.089	$3.92 \cdot 10^{-8}$
rouge	R	0.70	0.22	$1.76 \cdot 10^{-8}$
proche IR	I	0.90	0.24	$8.3 \cdot 10^{-9}$
proche IR	J	1.25	0.30	$3.4 \cdot 10^{-9}$
IR	H	1.65	0.35	$7.0 \cdot 10^{-10}$
IR	K	2.20	0.40	$3.9 \cdot 10^{-10}$
IR	L	3.40	0.55	$8.1 \cdot 10^{-11}$
IR	M	5.0	0.3	$2.2 \cdot 10^{-11}$

Outline

- 1 L'Observatoire de Haute-Provence
- 2 Formation des images par un télescope
- 3 Utilisation des détecteurs CCD
- 4 Bases d'astronomie
- 5 Observations à l'OHP**

Utilisation des télescopes

- 6 trinômes
- Roulement sur les 3 télescopes
- Préparer liste de cibles
 - observabilité → stellarium/staralt
 - champ de vue → stellarium
 - filtres → monochrome, trichromie
- ➔ néb. diffuses : $H\alpha$ /[OIII]/[SII]
- ➔ néb. planétaires : [OIII]/ $H\alpha$
- ➔ galaxies : $H\alpha$
 - visuel au T80 → eg Jupiter
- Réglages à faire sur place
 - binning : adapter l'échantillonnage au seeing : 0,4 – 1"/pix
 - temps de pose à ajuster :
~ 10 – 300 s / pose unitaire

```
Basic data :
M 51 - Seyfert 2 Galaxy
Other object types:
# 1: 000 11.8 (1st-J00...), 000 01.000...1, 000 (1000000...), 1 000.0000...1, 00
(0001.00000...), 00 (001.00), * (00.01.0), 000 (1001.1001), 000 (10000001)
FKS coord. (epj=J2000):
FKS coord. (epj=J2000) eq=J2000: 15 39 52.000 +47 51 40.83 (reference 1) 0 (00000...), 10, 10000
FKS coord. (epj=J2000) l=J2000: 15 37 48.32 +47 57 18.8 1 1
Gal coord. (epj=J2000):
100.0000 -40.5000 0 0
Radial velocity / Redshift / cz:
11500.0 000.0012 0.021 0.0000 10.00000 / cz 463.0 (40.8)
0.000000 -100 -4000
Parallax (mas):
1.8 (10.0) 0.0000017 -0.0000000
Morphological type:
SABC C 0000000. 010... 010
Angular size (arcsec):
0.207 0.000 00.000 0.00000...000.00000
Fluxes (J):
0 (00) 0.00 10.000 0.0000000 000...0000
0 (00) 0.00 10.000 0.0000000 000...0000
0 (00) 0.00 10.000 0.0000000 000...0000
0 (00) 0.00 10.000 0.0000000 000...0000
```

CDS/Simbad



Utilisation des télescopes

- 6 trinômes
- Roulement sur les 3 télescopes
- Préparer liste de cibles
 - observabilité → stellarium/staralt
 - champ de vue → stellarium
 - filtres → monochrome, trichromie
 - ➔ néb. diffuses : $H\alpha/[OIII]/[SII]$
 - ➔ néb. planétaires : $[OIII]/H\alpha$
 - ➔ galaxies : $H\alpha$
 - visuel au T80 → eg Jupiter

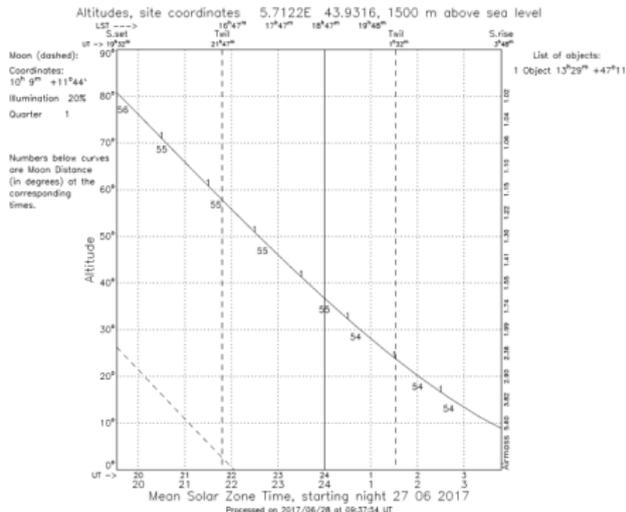


Stellarium

- Réglages à faire sur place
 - binning : adapter l'échantillonnage au seeing : $0,4 - 1''/\text{pix}$
 - temps de pose à ajuster :
 $\sim 10 - 300 \text{ s} / \text{pose unitaire}$

Utilisation des télescopes

- 6 trinômes
- Roulement sur les 3 télescopes
- Préparer liste de cibles
 - observabilité → stellarium/staralt
 - champ de vue → stellarium
 - filtres → monochrome, trichromie
 - ➔ néb. diffuses : $H\alpha$ /[OIII]/[SII]
 - ➔ néb. planétaires : [OIII]/ $H\alpha$
 - ➔ galaxies : $H\alpha$
 - visuel au T80 → eg Jupiter
- Réglages à faire sur place
 - binning : adapter l'échantillonnage au seeing : 0,4 – 1"/pix
 - temps de pose à ajuster :
~ 10 – 300 s / pose unitaire



Staralt

Utilisation des télescopes

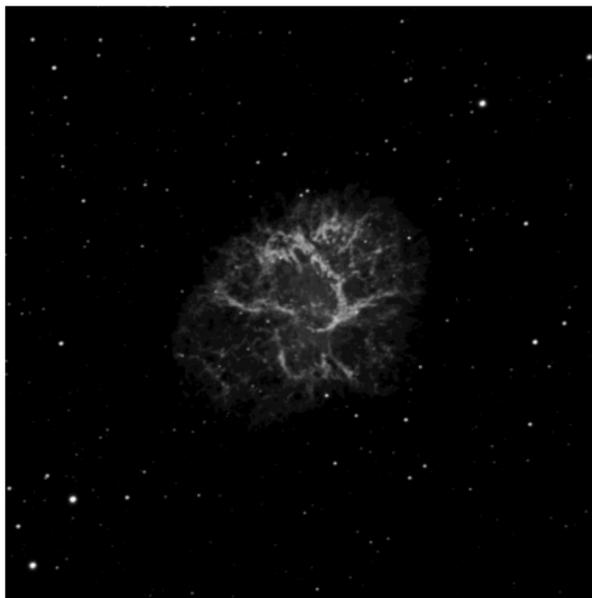
- 6 trinômes
- Roulement sur les 3 télescopes
- Préparer liste de cibles
 - observabilité → stellarium/staralt
 - champ de vue → stellarium
 - filtres → monochrome, trichromie
 - ➔ néb. diffuses : $H\alpha$ /[OIII]/[SII]
 - ➔ néb. planétaires : [OIII]/ $H\alpha$
 - ➔ galaxies : $H\alpha$
 - visuel au T80 → eg Jupiter
- Réglages à faire sur place
 - binning : adapter l'échantillonnage au seeing : $0,4 - 1''/\text{pix}$
 - temps de pose à ajuster :
~ 10 – 300 s / pose unitaire



Stellarium

Utilisation des télescopes

- 6 trinômes
- Roulement sur les 3 télescopes
- Préparer liste de cibles
 - observabilité → stellarium/staralt
 - champ de vue → stellarium
 - filtres → monochrome, trichromie
 - ➔ néb. diffuses : $H\alpha$ /[OIII]/[SII]
 - ➔ néb. planétaires : [OIII]/ $H\alpha$
 - ➔ galaxies : $H\alpha$
 - visuel au T80 → eg Jupiter
- Réglages à faire sur place
 - binning : adapter l'échantillonnage au seeing : $0,4 - 1''/\text{pix}$
 - temps de pose à ajuster :
 $\sim 10 - 300 \text{ s} / \text{pose unitaire}$



*Nébuleuse du Crabe M1 ($H\alpha$)
Observatoire de Haute-Provence
Crédit : D. Minenna, V. Niederkorn,
R. Ruffault Master CCP*

Utilisation des télescopes

- 6 trinômes
- Roulement sur les 3 télescopes
- Préparer liste de cibles
 - observabilité → stellarium/staralt
 - champ de vue → stellarium
 - filtres → monochrome, trichromie
 - ➔ néb. diffuses : $H\alpha/[OIII]/[SII]$
 - ➔ néb. planétaires : $[OIII]/H\alpha$
 - ➔ galaxies : $H\alpha$
 - visuel au T80 → eg Jupiter
- Réglages à faire sur place
 - binning : adapter l'échantillonnage au seeing : $0,4 - 1''/\text{pix}$
 - temps de pose à ajuster :
 $\sim 10 - 300 \text{ s} / \text{pose unitaire}$



*Amas globulaire M15 (RVB)
Observatoire de Haute-Provence
Crédit : D. Minenna, V. Niederkorn,
R. Ruffault Master CCP*

Utilisation des télescopes

- 6 trinômes
- Roulement sur les 3 télescopes
- Préparer liste de cibles
 - observabilité → stellarium/staralt
 - champ de vue → stellarium
 - filtres → monochrome, trichromie
 - ➔ néb. diffuses : $H\alpha$ /[OIII]/[SII]
 - ➔ néb. planétaires : [OIII]/ $H\alpha$
 - ➔ galaxies : $H\alpha$
 - visuel au T80 → eg Jupiter
- Réglages à faire sur place
 - binning : adapter l'échantillonnage au seeing : 0,4 – 1"/pix
 - temps de pose à ajuster :
~ 10 – 300 s / pose unitaire



Nébuleuse M16
Palette $H\alpha$ -[SII]-[OIII]