

L'observation en astrophysique: de la lunette de Galilée au télescope spatial Hubble

Patrick Boissé
Université Pierre et Marie Curie
Institut d'Astrophysique de Paris



Plan de la présentation:

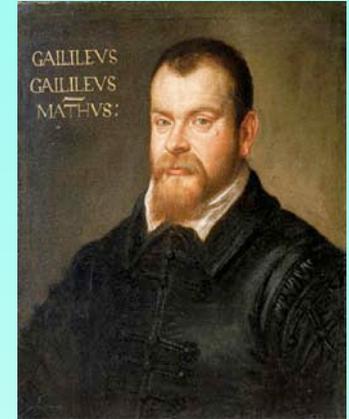
- Quelques repères historiques: Galilée, les grandes étapes
- Les messagers de l'information, l'atmosphère
- Les informations portées par la lumière
- Deux exemples : la radioastronomie, l'infrarouge lointain
- Observer au 21ème siècle

L'astrophysique: une science d'observation

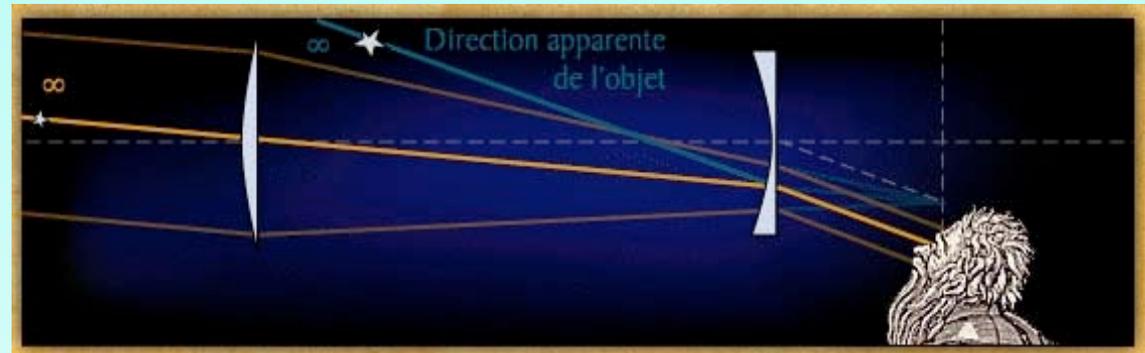
Avant ≈ 1600 : mesure de la **position** des astres.

-1604 : Supernova « de Kepler » --> ciel changeant ?

- 1609 : Galilée construit une lunette et observe le ciel



Galilée par D. Robusti 1605

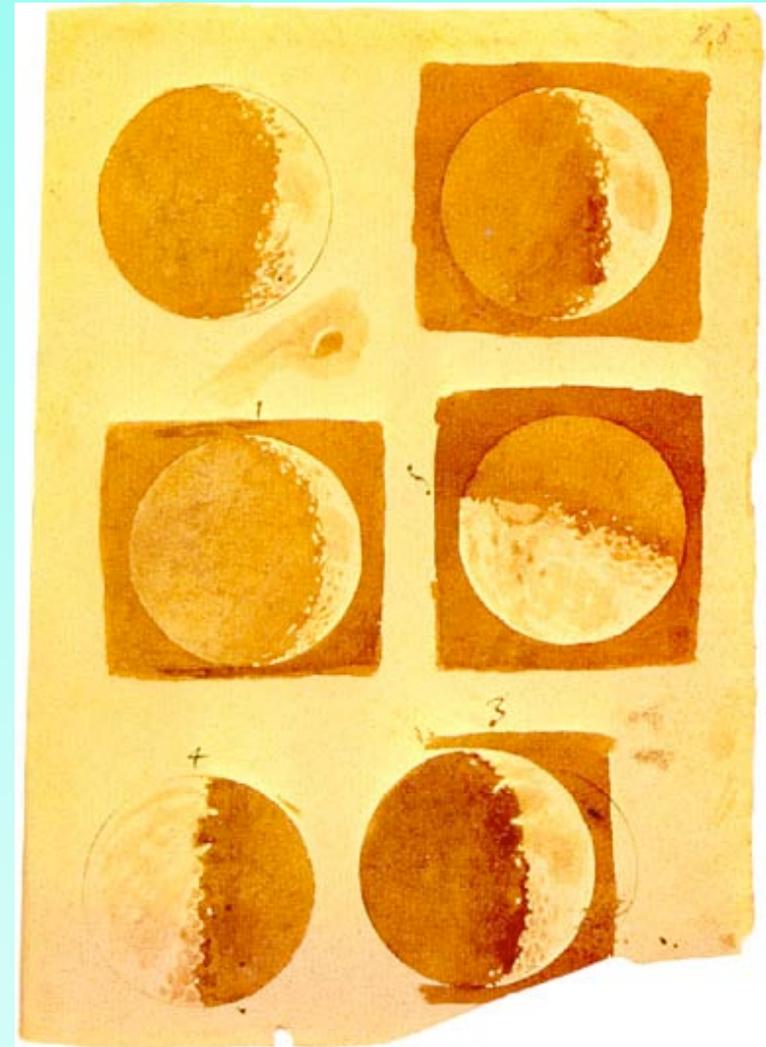
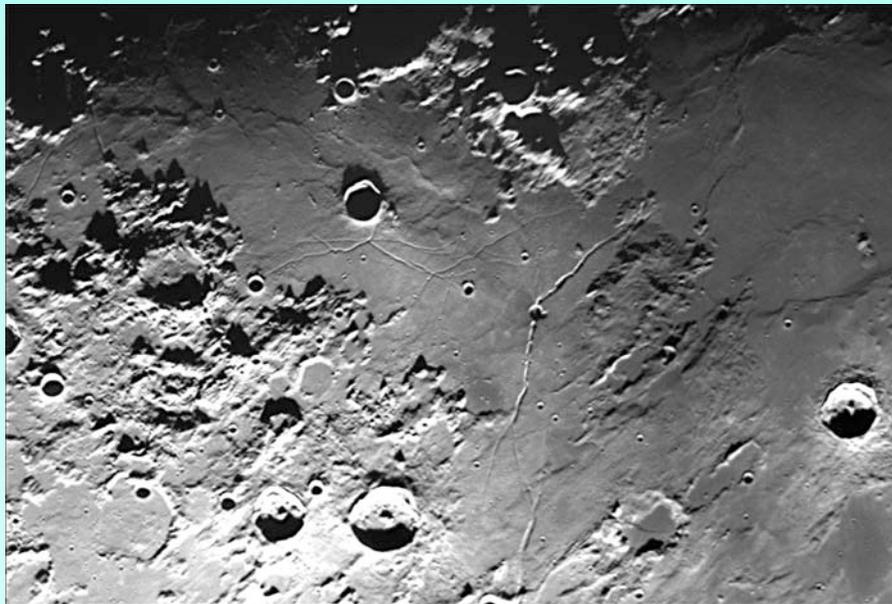


Premières observations de Galilée : la lune/1

Cratères, montagnes, vallées

... comme sur terre !

—> La lune n'est pas « parfaite »
analogue à la terre vue de loin



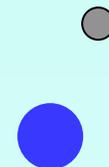
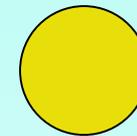
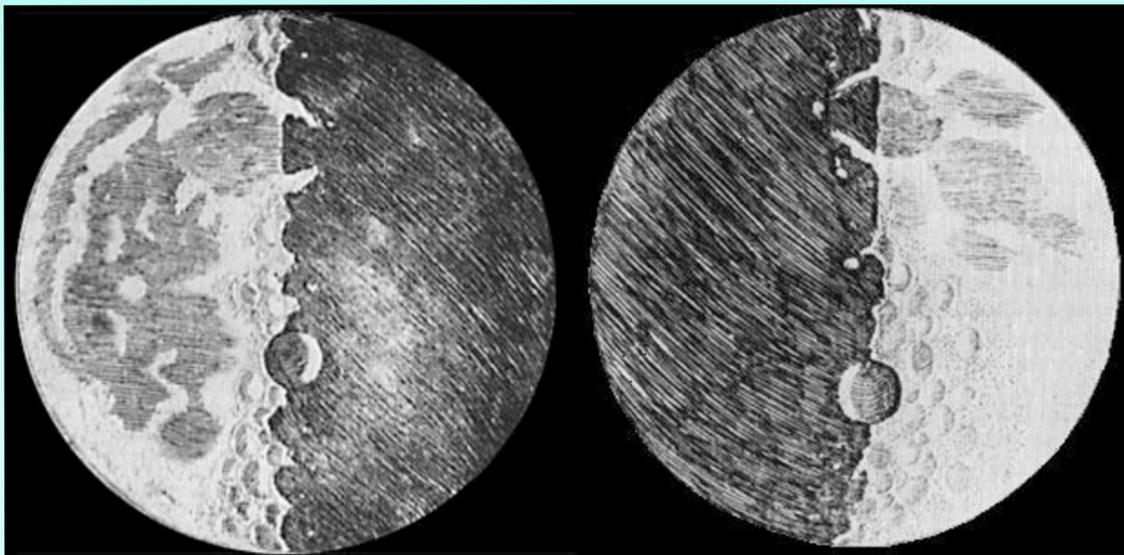
Premières observations de Galilée : la lune/2

Observe et interprète la « lumière cendrée »

« échange amical et équitable »

entre la terre et la lune

--> relativise la place de la terre



22 mars 2012

MDE Montgeron - L'Observation
en astronomie

3

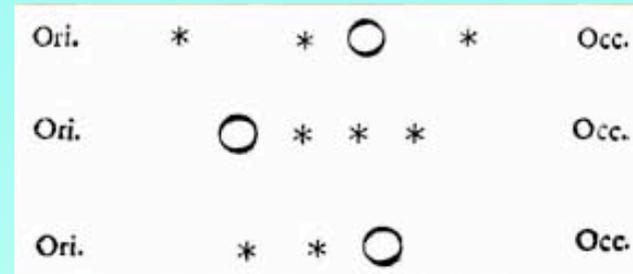
Premières observations de Galilée : Jupiter

Les lunes de Jupiter (étoiles « médicéennes »):

système solaire en miniature !

Publie en mars 1610 :

« Le messager des Etoiles »



7, 8 et 10 janvier 1610

Argument décisif en faveur du système de Copernic !

Callisto (16,7 j)

Ganymède (7,1 j)

Europe (3,5 j)

Io (1,8 j)



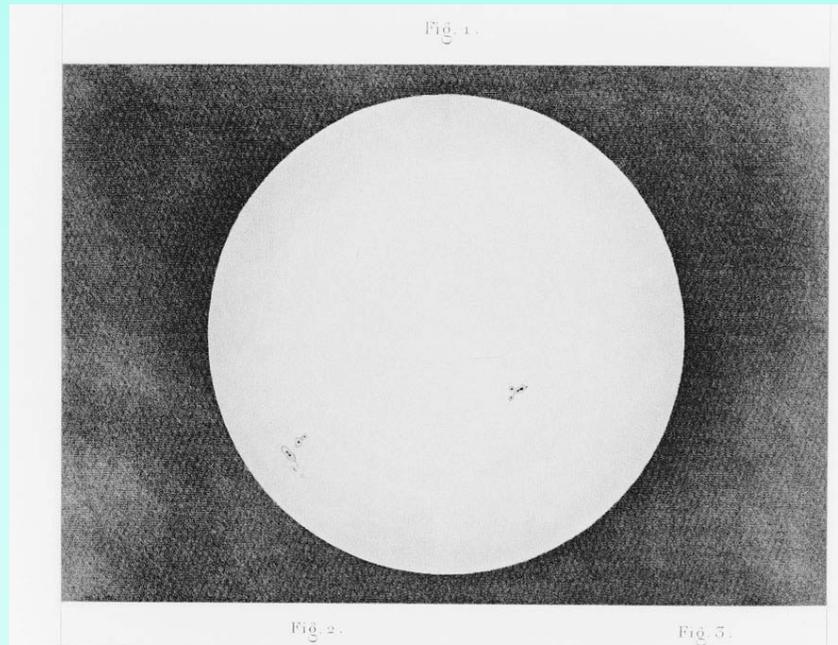
Progrès de l'observation: quelques étapes/1

- Invention du télescope par Newton (1672)



- photographie astronomique

1er daguerréotype du soleil (1845, Foucault et Fizeau)



22 mars 2012

Orion, Andrew Common, 1883



MDE Montgeron - L'Observation
en astronomie

5

Progrès de l'observation: quelques étapes/2

- Analyse du spectre du soleil en 1859 par Bunsen et Kirchhoff

" Nous ne saurons jamais étudier par aucun moyen la composition chimique des étoiles" (A. Comte 1835)

- Débuts de la radioastronomie

K. Jansky découvre en 1933 l'émission du centre galactique

- Observations spatiales

in situ: face cachée de la lune (Luna 3, 1959)

observatoires X (fusées, Uhuru, 1970)

et UV (Copernicus, 1972)

- Images numériques (caméras CCD)



Les messagers de l'information

- La lumière et autres ondes électromagnétiques

- La matière

- rayons cosmiques: particules chargées
- neutrinos: particules de très faible masse
- météorites, grains interplanétaires

- Les ondes gravitationnelles

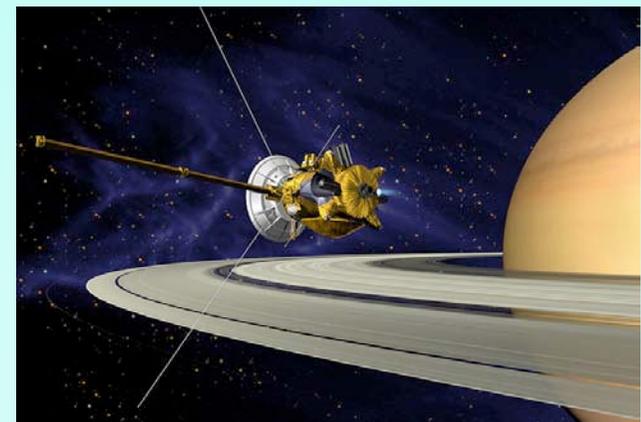
détection indirecte seulement: pulsar binaire
(prix Nobel à J. Taylor et R. Hulse en 1993)

- Observations in situ

Observatoire P Auger



Mission Cassini-Huygens



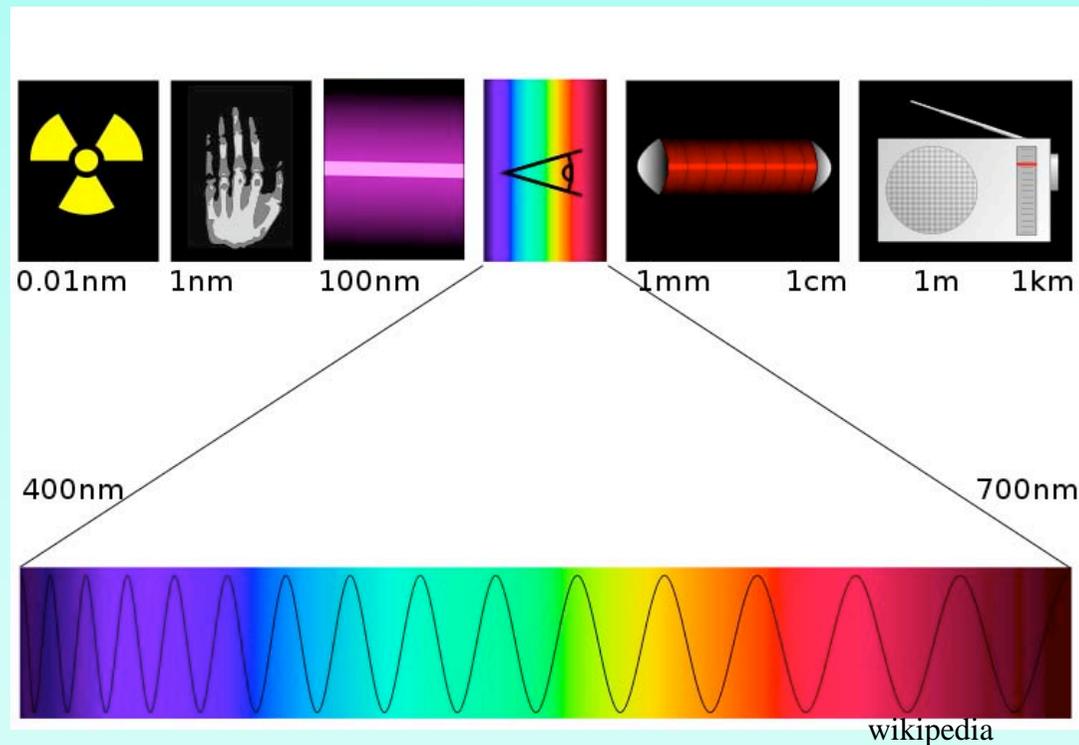
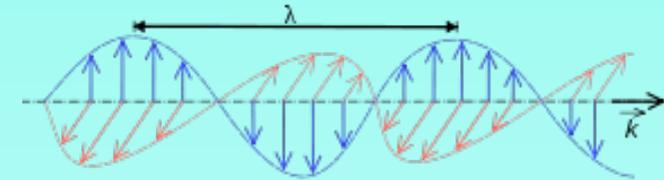
Rayonnement électromagnétique

Des ondes radio aux rayons γ

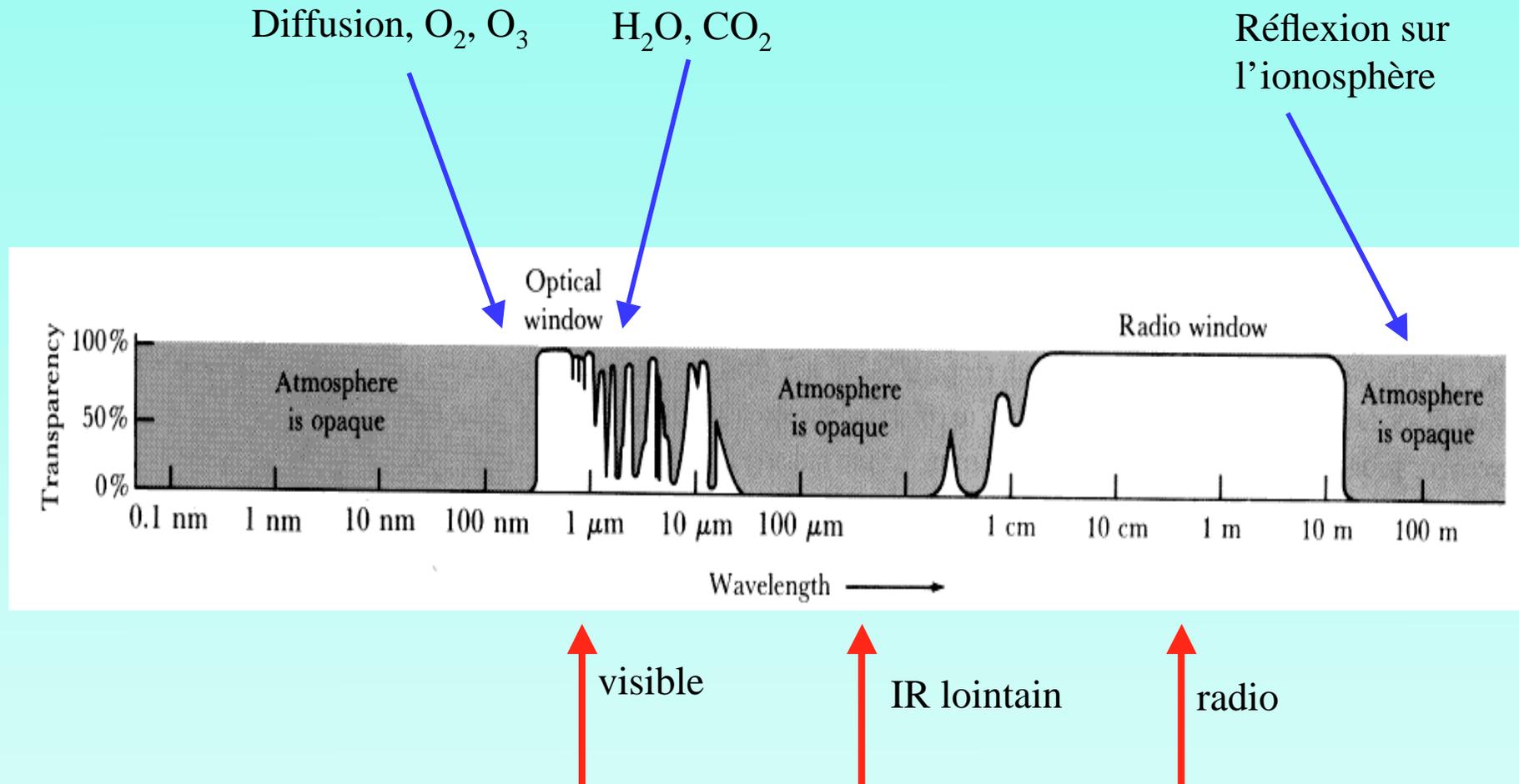
Dualité onde-particule :

Le rayonnement est à la fois :

- une onde T , ν , λ , et c avec $\lambda = c T = c/\nu$
- une particule, le photon $E = h \nu$



La transparence atmosphérique



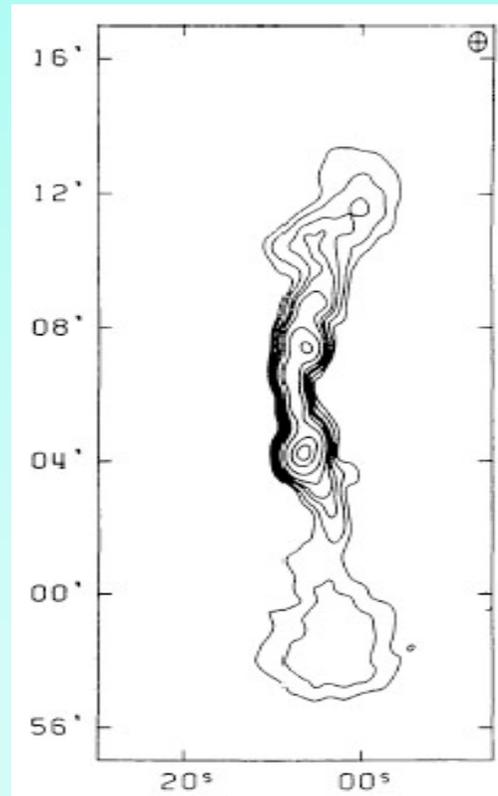
Informations portées par la lumière - images

Distribution spatiale

Représentation :

- échelle de couleur
- isocontours

Radiogalaxie 3C449



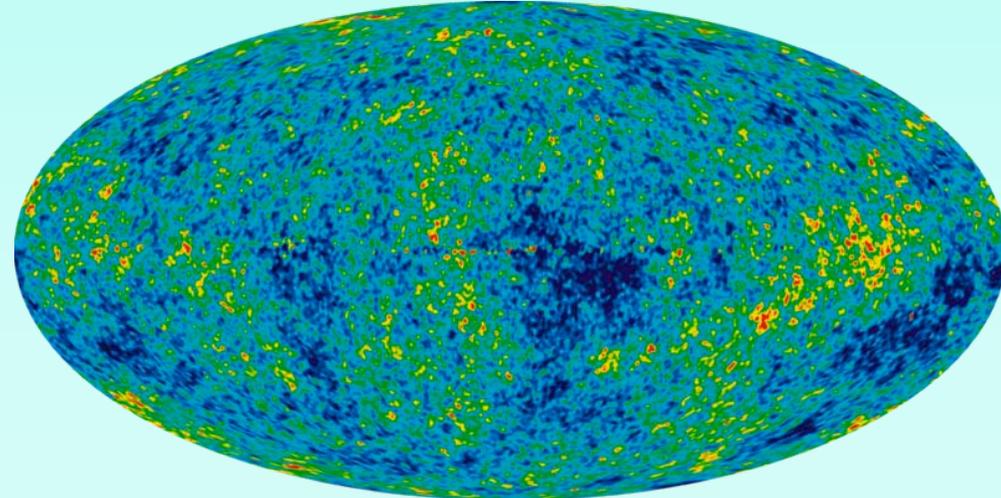
22 mars 2012

**Caractéristique principale:
 finesse ou « résolution »**

Nuage B68



Fond de rayonnement cosmologique, WMAP



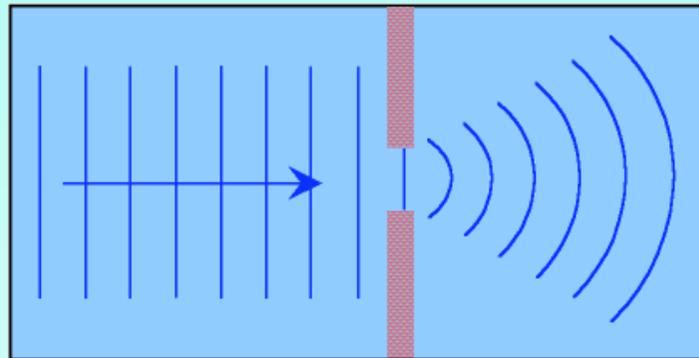
Informations portées par la lumière - images

Résolution spatiale des images

Deux paramètres essentiels

1. Taille du télescope

Diffraction : $\theta \approx \lambda/D$ (angle \approx longueur d'onde/diamètre)



Domaine radio: $\lambda \approx 20$ cm, $D = 100$ m, $\theta \approx 6$ min. arc

Informations portées par la lumière - images

Résolution spatiale des images

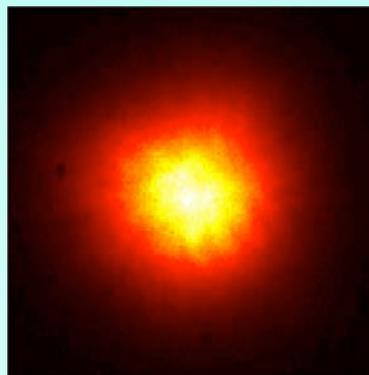
2. Turbulence atmosphérique

$\Delta T \rightarrow \Delta n \rightarrow$ rayons déviés

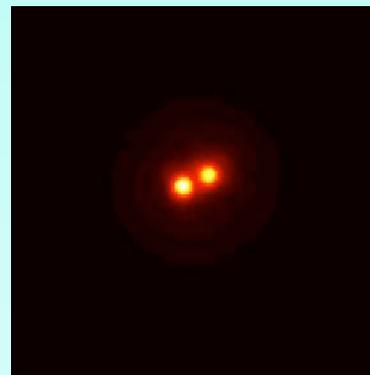
image visible dégradée (≈ 1 sec. d'arc)

\rightarrow choix des sites d'observation

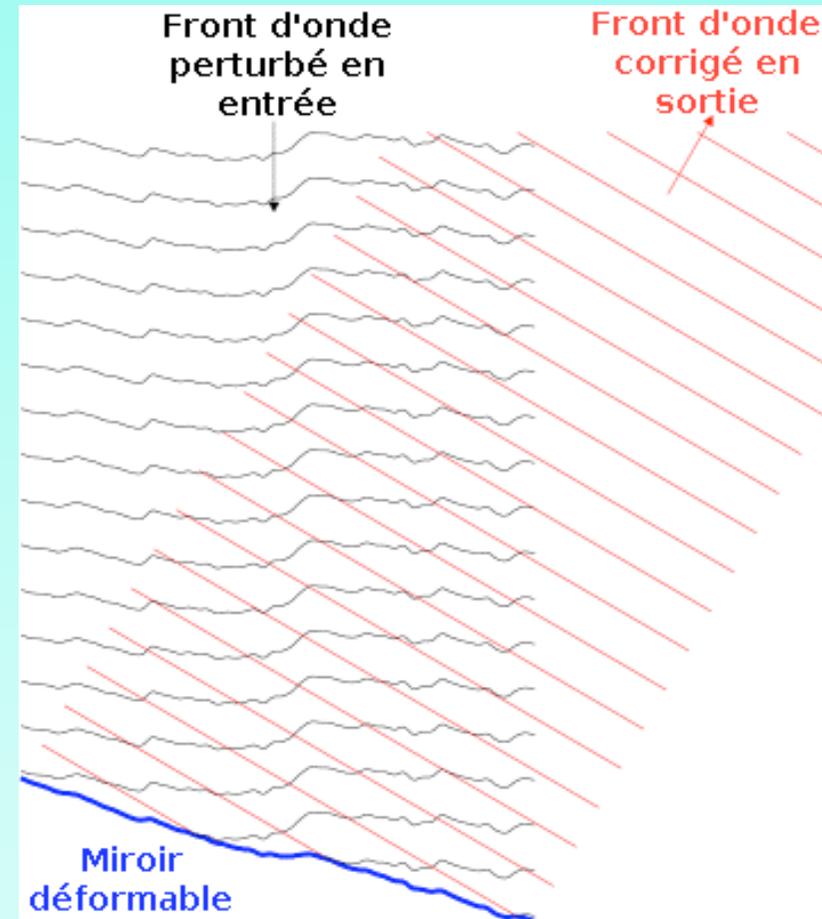
\rightarrow optique adaptative, interférométrie
ou observatoire spatial



The Star HIC 59206 (uncorrected image)
(VLT KUEYEN + MACAO-VLT)
ESO PR Photo 12v(1) (13 Mar 2001) © European Southern Observatory

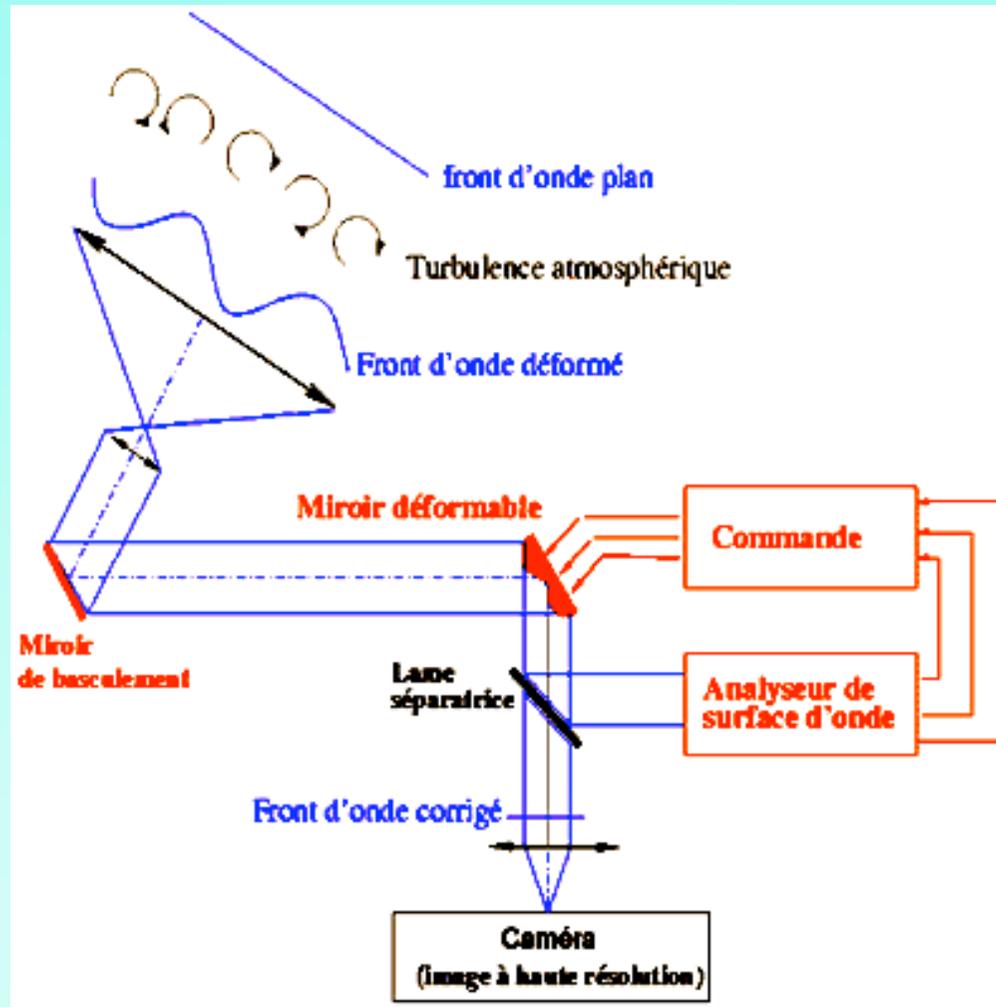


The Star HIC 59206 (AO corrected image)
(VLT KUEYEN + MACAO-VLT)
ESO PR Photo 12v(1) (13 Mar 2001) © European Southern Observatory



Informations portées par la lumière - images

Principe de l'optique adaptative



Informations portées par la lumière - images

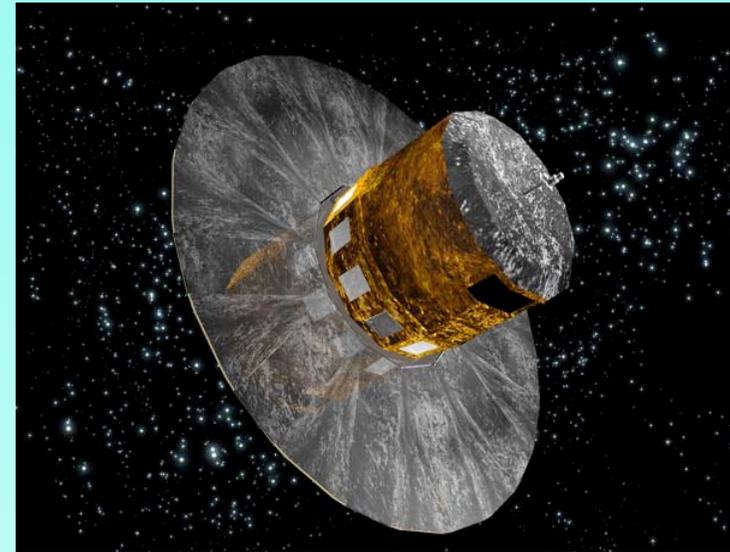
Astrométrie

Mesure de grande précision

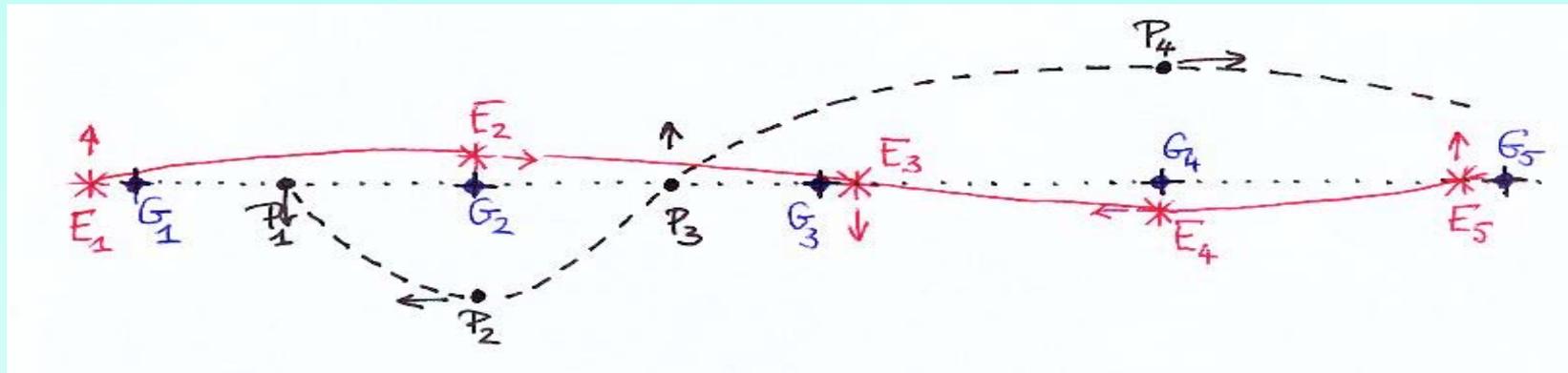
- de la position ($\approx 20 \mu\text{as}$)
- de la magnitude
- > parallaxe : distance
- > mouvements propres

L'un des objectifs:

Détection d'exoplanètes (perturbation du mouvement de l'étoile)



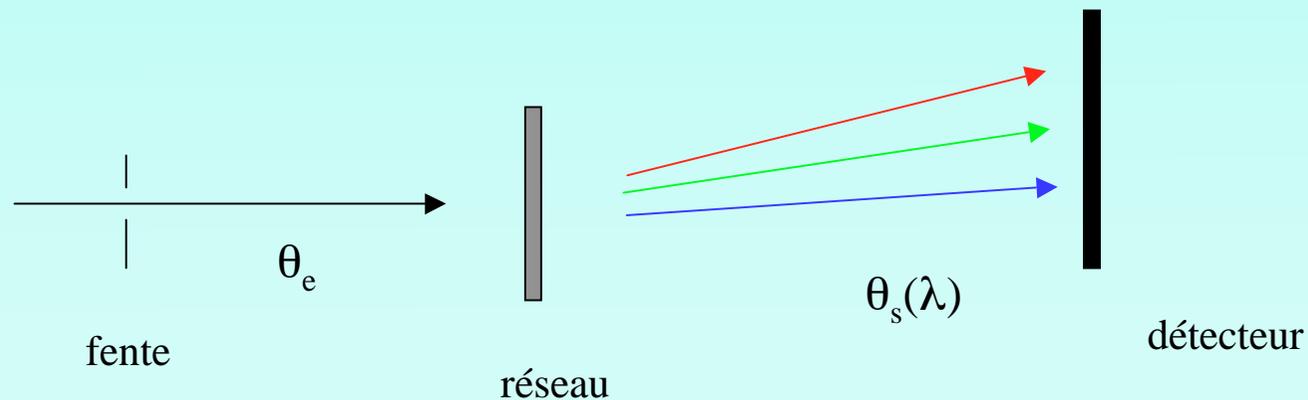
Satellite GAIA, lancement 2013



Informations portées par la lumière - spectres

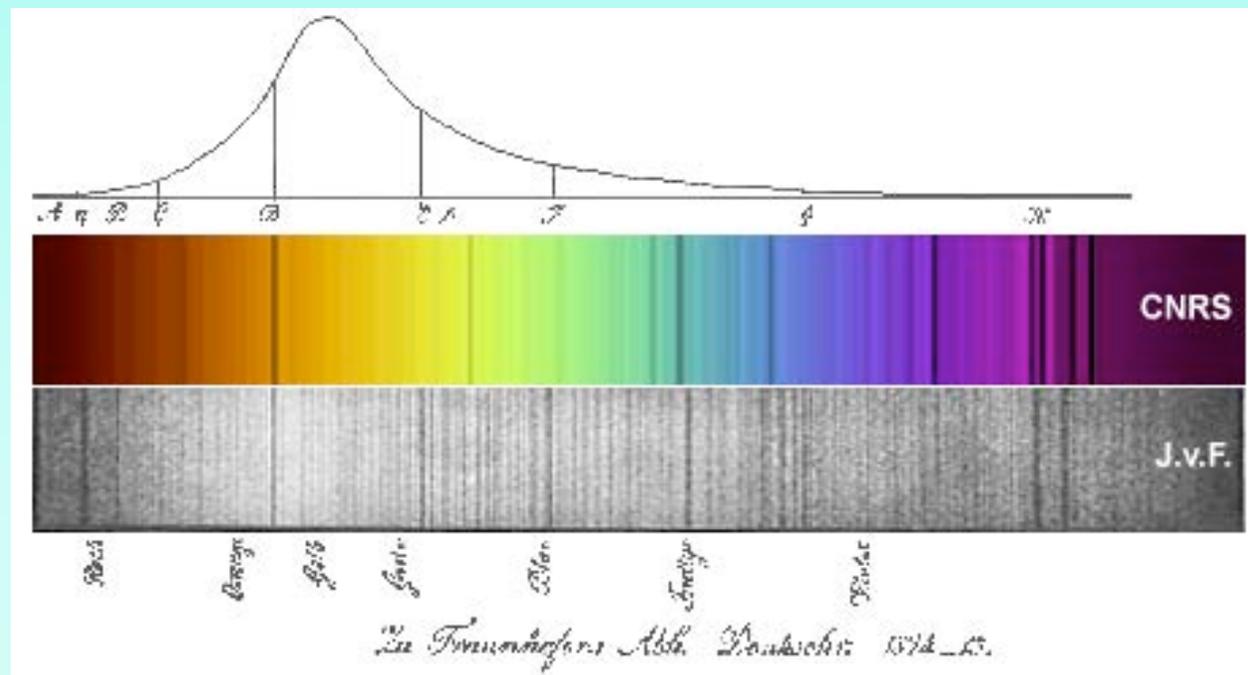
Principe d'un spectrographe

- **Système dispersant** (prisme, réseau)
direction de sortie = (direction entrée, λ)
- **Fente d'entrée**
sélectionne ≈ 1 direction d'entrée
- **Détecteur** (plaque photo, caméra CCD)
direction de sortie = $f(\lambda)$



Informations portées par la lumière - Spectres

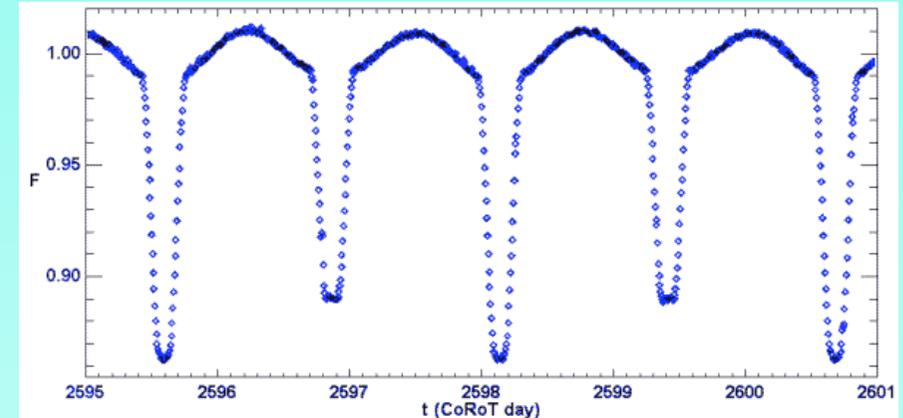
- **Forme générale du spectre** --> mécanisme d'émission
- **Position et profondeur des raies**
 - composition de la matière (nature, quantité)
 - vitesse de l'astre par effet Doppler : $\lambda_{\text{obs}} = \lambda_{\text{labo}} (1 + V_e/c)$



Informations portées par la lumière - variabilité

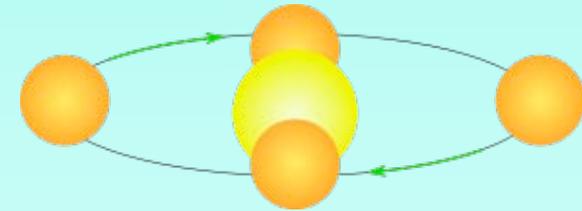
- Variations observables

- de flux: Δt , $\Delta F/F$ (étoiles variables)
- de vitesse radiale
- de position
- > observations répétées et coordonnées



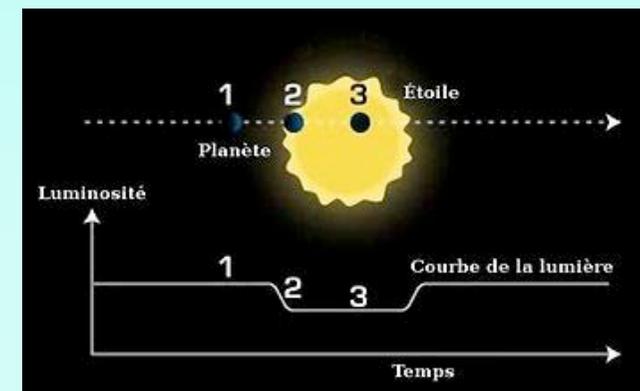
- Quelques exemples

- étoiles binaires à éclipses
- étoiles avec exoplanètes (transits)
observations au sol, Corot, Kepler
- hélio et astéro-sismologie



- Remarque: contribution des amateurs

comètes, nova, supernova ...



La radioastronomie

Grande longueur d'onde (exemple : raie de H à 21 cm)

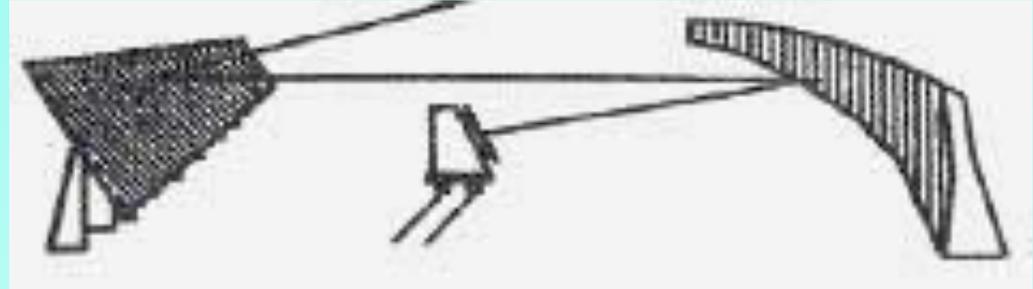
--> faible résolution spatiale

--> **interféromètres**

radiohéliographe Nançay

--> **grands instruments**

grand radiotélescope Nançay



Radiohéliographe

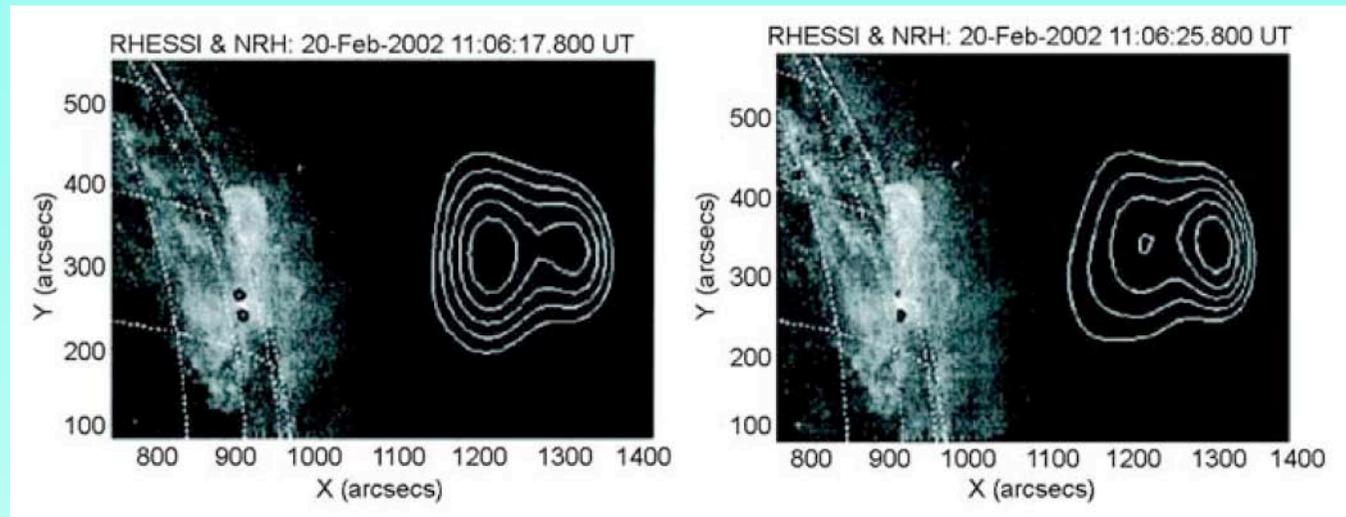


Radiotélescope



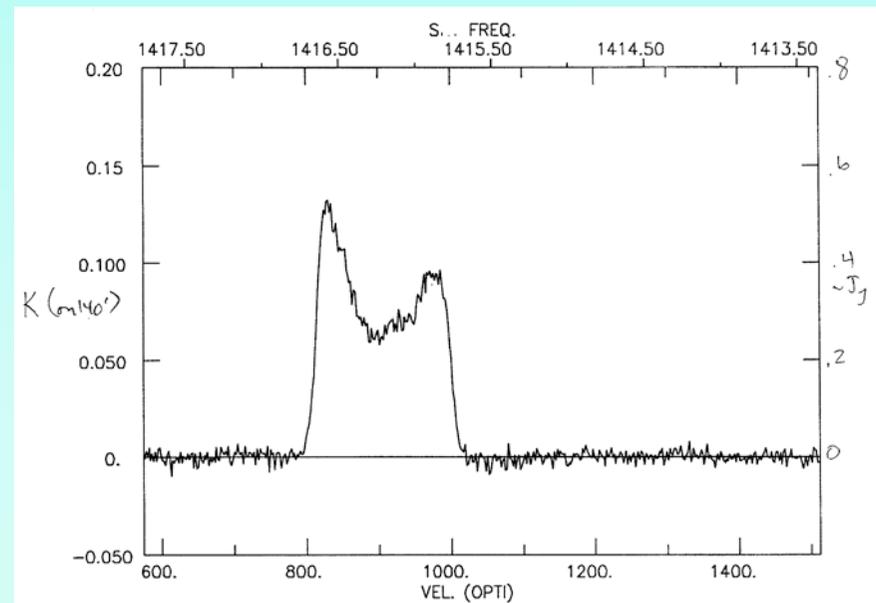
La radioastronomie

Radiohéliographe
+ RHESSI



Grand radiotélescope

(galaxie UGC1170, $V \approx 900$ km/s)



22 mars 2012

MDE Montgeron - L'Observation
en astronomie

19

La radioastronomie « millimétrique »

« Relevé » spectroscopique hétérodyne vers le centre galactique à $\lambda \approx 3$ mm
raies « de rotation » de molécules: CO, HCN, HCO⁺ etc

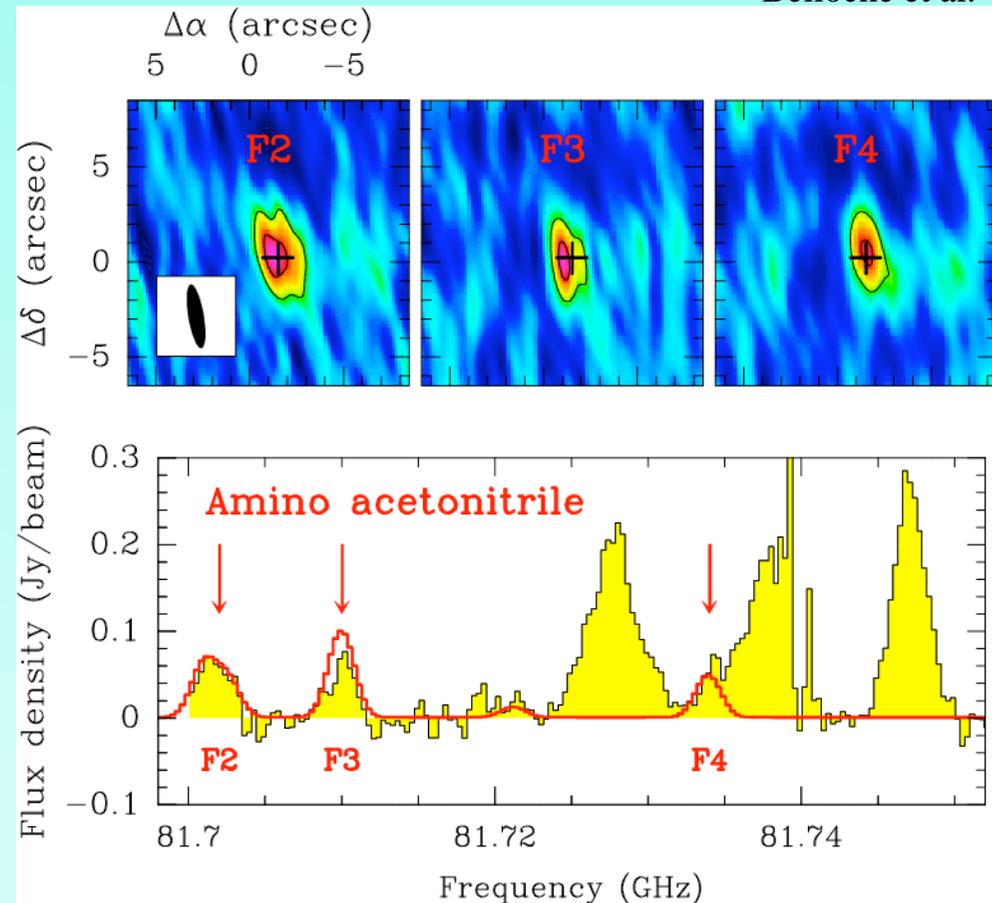
Détection de NH₂CH₂CN

Raies non identifiées : 40 % !

IRAM, 30m



Belloche et al.



La radioastronomie « millimétrique »

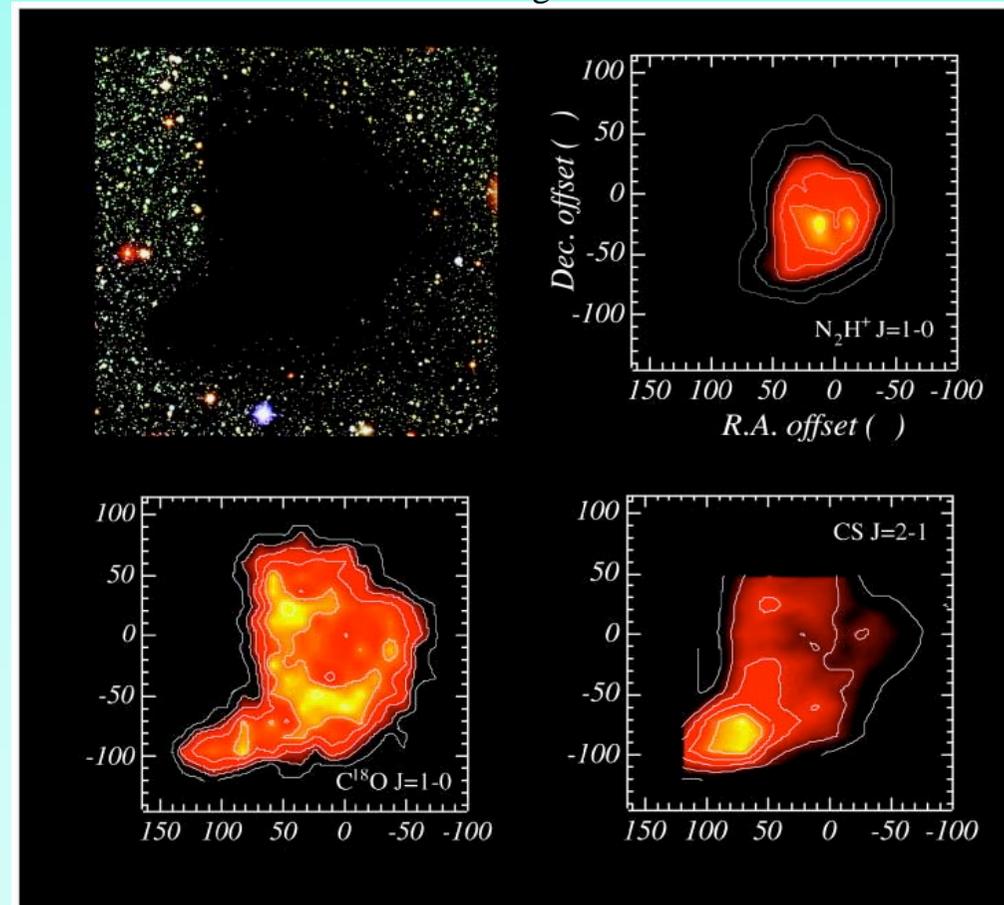
Observation spectroscopique du nuage « Barnard 68 »

raies des molécules: N_2H^+ , C^{18}O , CS



Lada & Bergin 2003

Répartition spatiale du gaz
dans le nuage



Mouvements du gaz dans le
nuage

Le domaine infrarouge lointain

Pourquoi observer à $\lambda \approx 100 \mu\text{m}$?

Emission « thermique » d'objets froids

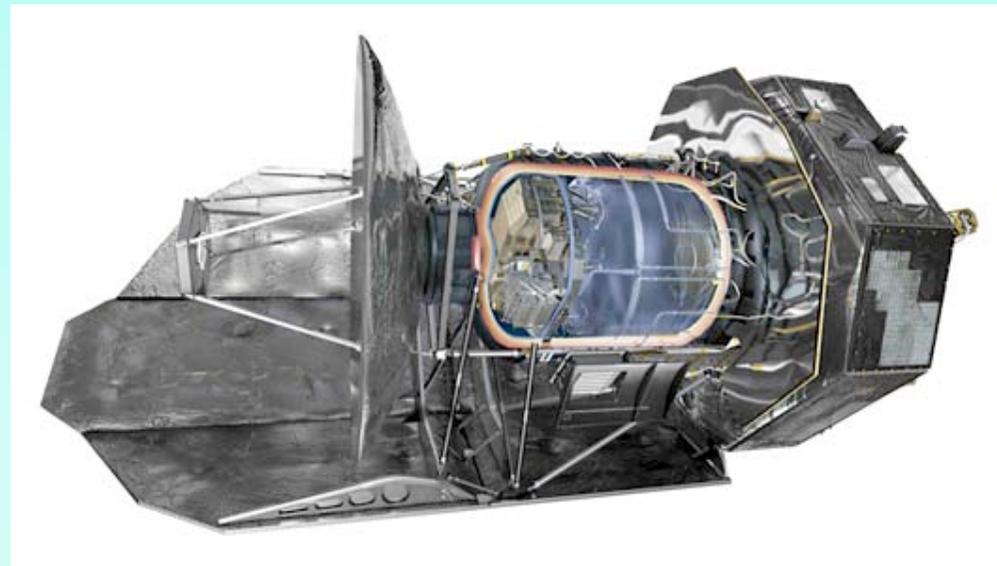
$$\lambda_{\text{max}} T \approx 3000 \mu\text{m.K} \quad T \approx 30\text{K} \rightarrow \lambda \approx 100 \mu\text{m}$$

L'atmosphère est opaque :

Fusées, ballons stratosphériques, observatoire spatial (Herschel)



22 mars 2012

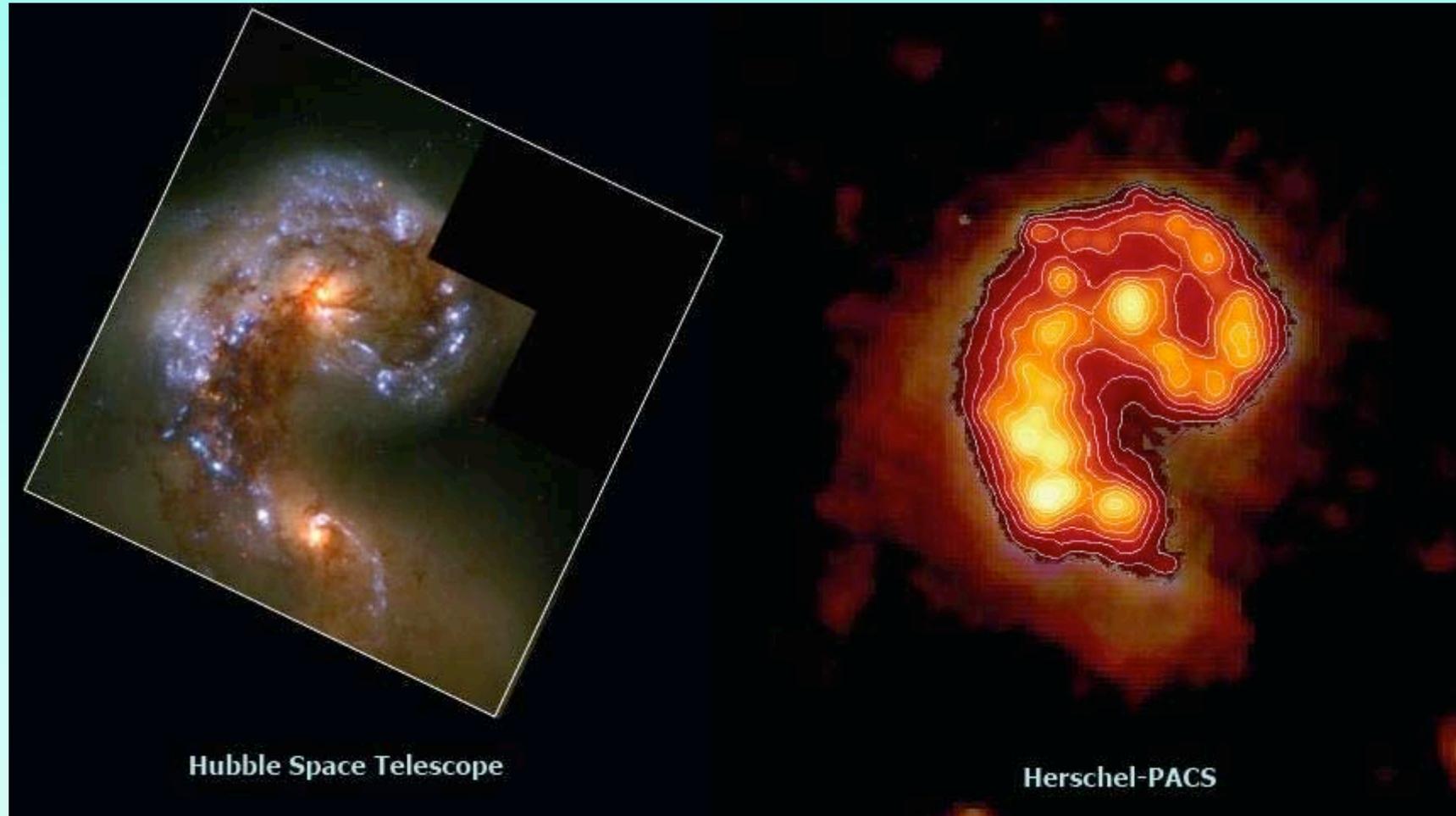


MDE Montgeron - L'Observation
en astronomie

Le domaine infrarouge lointain

Observation HST et Herschel des « Antennes »

Galaxies NGC 4038/4039, $V \approx 1640$ km/s (découverte : Herschel, 1785)



Hubble Space Telescope

Herschel-PACS

Observer au 21ème siècle

Temps « garanti »

Projets spatiaux ou nouveaux instruments
Relevés systématiques
Données publiques après 1-2 ans

Temps ouvert

Appel à projets
VLT de l'ESO, CFH : chaque semestre
Grands programmes possibles

Critères d'attribution

- intérêt scientifique, originalité
- faisabilité
- compétences de l'équipe
- exploitation des obs. antérieures

Modes d'observation

- observation « de service »
- mode visiteur



Développement des observatoires « virtuels »

- Bases de données accessibles à tous

avec outils de sélection et de visualisation associés



The screenshot shows the FUSE Search Form interface. At the top, there is a navigation bar with links for MAST, STScI, Tools, Mission_Search, Tutorial, and Site Search. Below this is a secondary navigation bar with links for FUSE Home, About Fuse, Getting Started, Registration, Archive Status, and FUSE Search form. The main content area is titled "FUSE Search Form" and includes a "Help" link and "Field Descriptions" link. There are two options for the search form: "Standard Form" and "File Upload Form". Below these options are three buttons: "Search", "Reset", and "Clear Form". The search form fields include "Target Name", "Right Ascension", "Declination", "Resolver" (set to NED), "Radius (arcmin)" (set to 3.0), and "Equinox" (set to J2000).

- Encourage une meilleure exploitation des données
- Facilite les études de variabilité, ou multi-longueurs d'ondes

Conclusion

- Liens très étroits avec la physique fondamentale

Développement des détecteurs, calibration en λ ,

Connaissance détaillée des atomes et molécules

Techniques HRA (étoiles laser, projet œil ...)

Liens étroits avec la physique des particules (matière noire)

- Observation astronomique et enseignement

Accès de classes à des télescopes robotisés (F-HOU): motivation pour la physique

- Evolution future des projets

Défis observationnels: ondes gravitationnelles, exo-terres, ELT (8 -> 40m)

Coût et complexité des grands projets actuels :

--> retour à des projets plus modestes et plus « ciblés »