

Observer et comprendre l'Univers

cours 3, lundi 7 novembre 2011 :

De la lunette de Galilée aux télescopes spatiaux: l'observation en astronomie

Patrick Boissé, UPMC et IAP

IRAM, 30m



Plan de la présentation

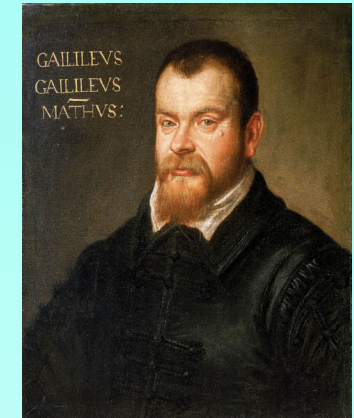
- Quelques repères historiques: Galilée, les grandes étapes
- Les messagers de l'information, l'atmosphère
- Informations portées par la lumière
- Deux exemples: la radioastronomie, l'infrarouge lointain
- Observer au 21ème siècle

L'astrophysique: une science d'observation

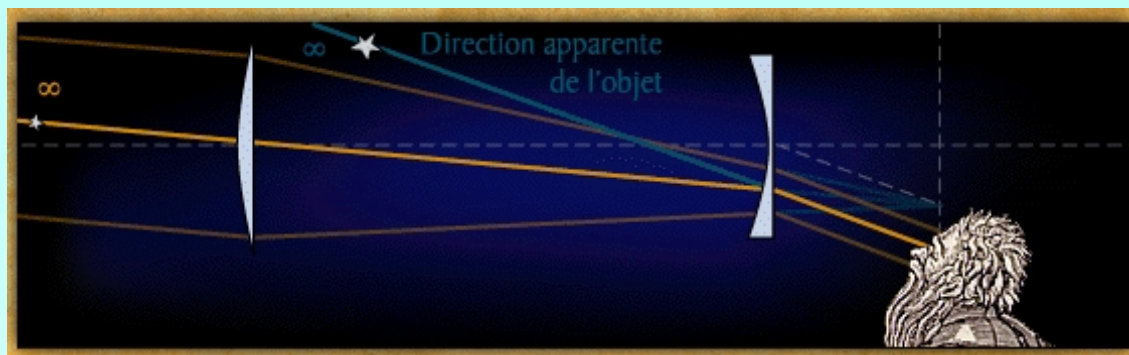
Avant \approx 1600: mesure de la **position** des astres.

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

- 1609 : Galilée construit une lunette et observe le ciel



Galilée par D. Robusti 1605

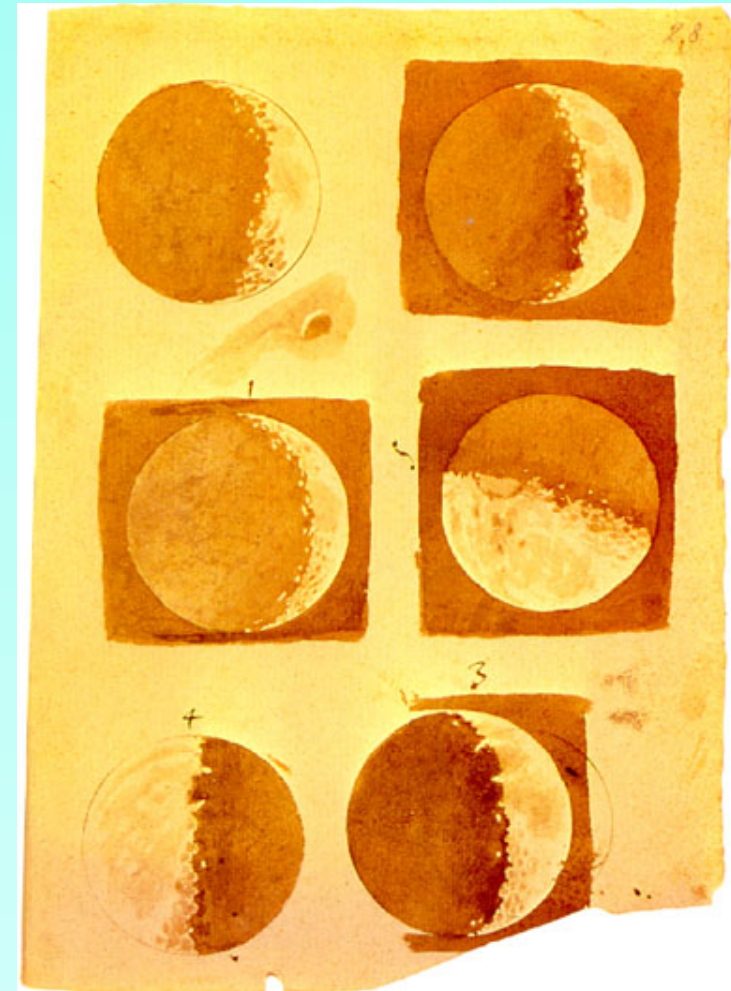
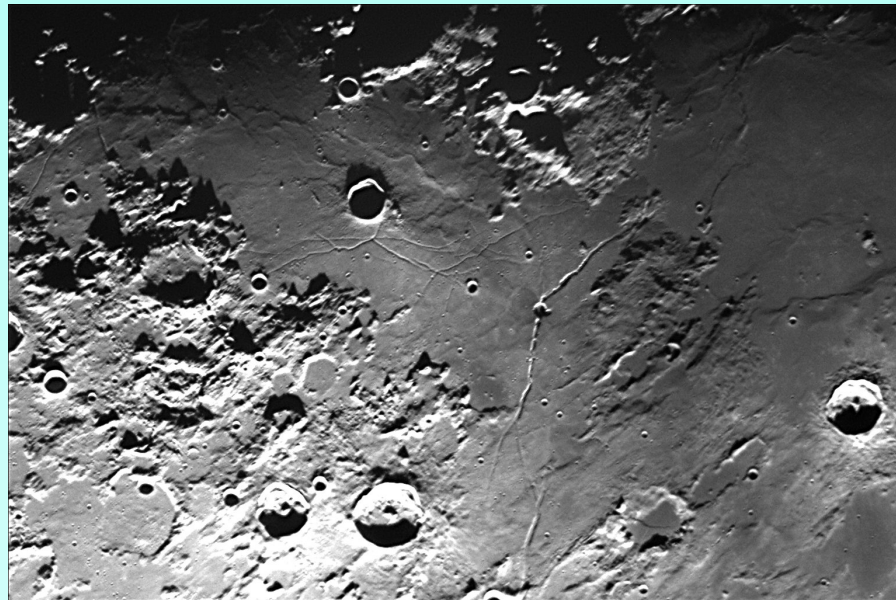


Premières observations de Galilée : la lune/1

Cratères, montagnes, vallées

... comme sur terre !

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



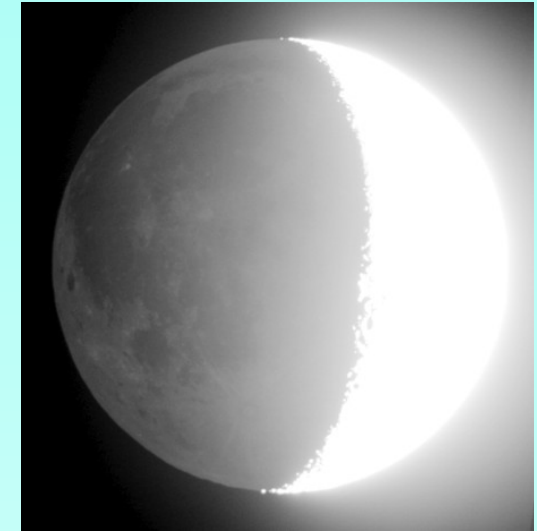
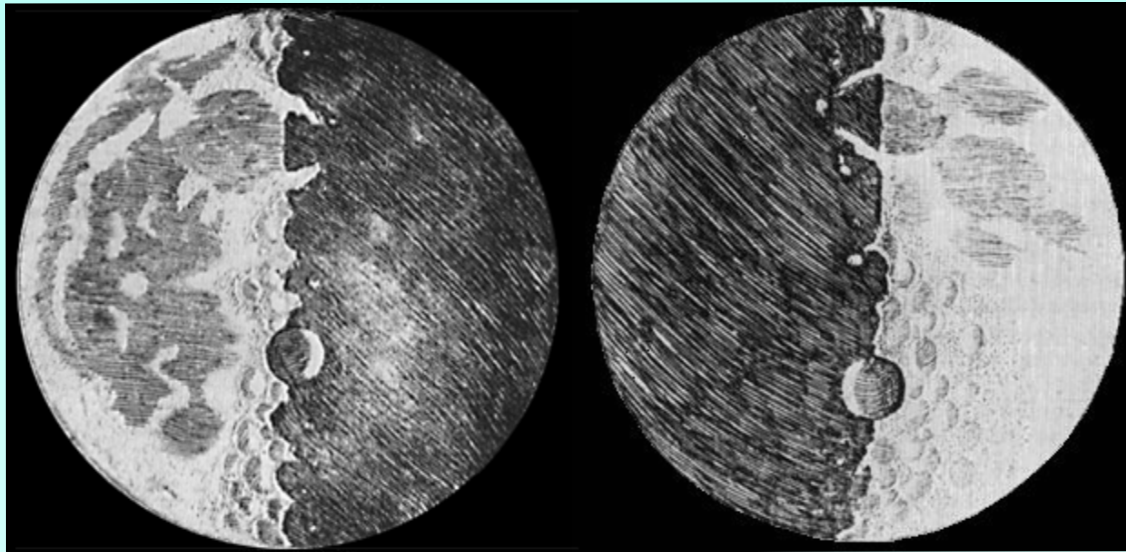
Premières observations de Galilée : la lune/2

Observe et interprète la « lumière cendrée »

« échange amical et équitable »

entre la terre et la lune

--> relativise la place de la terre

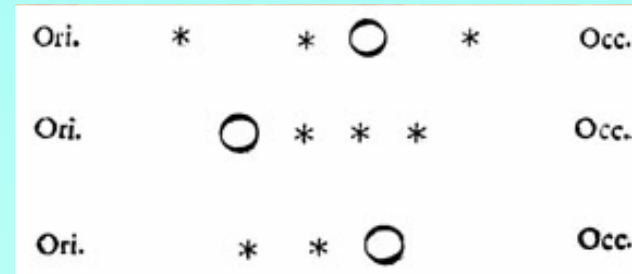


Premières observations de Galilée : Jupiter

Les lunes de Jupiter (étoiles « médicinales »):

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)



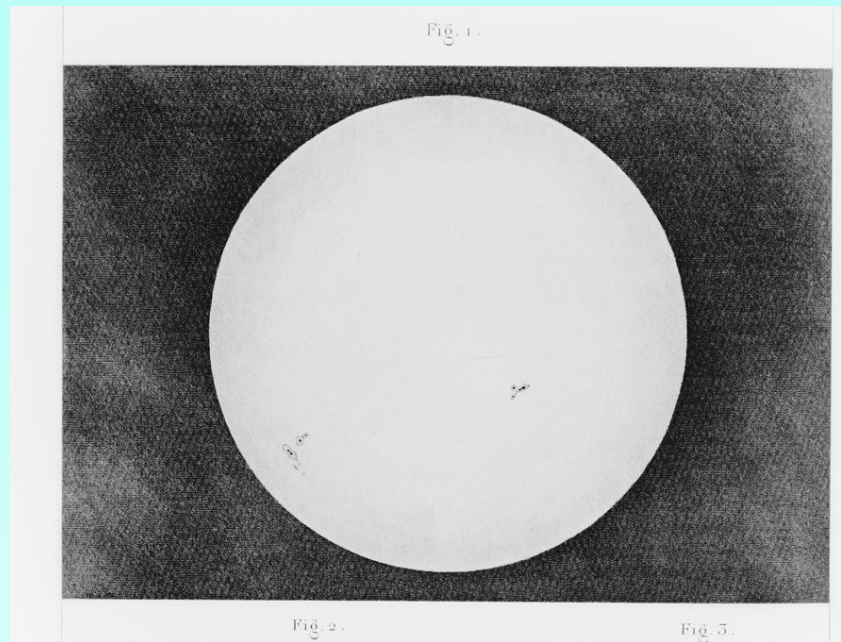
Progrès de l'observation: quelques étapes/1

- Invention du télescope par Newton (1672)



- photographie astronomique

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



Orion, Andrew Common, 1883



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

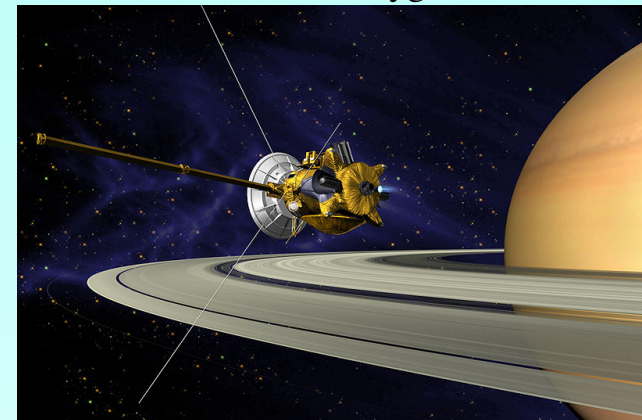
détection indirecte seulement: pulsar binaire
(prix Nobel à J. Taylor et R. Hulse en 1993)

- Observations in situ

Observatoire P Auger



Mission Cassini-Huygens



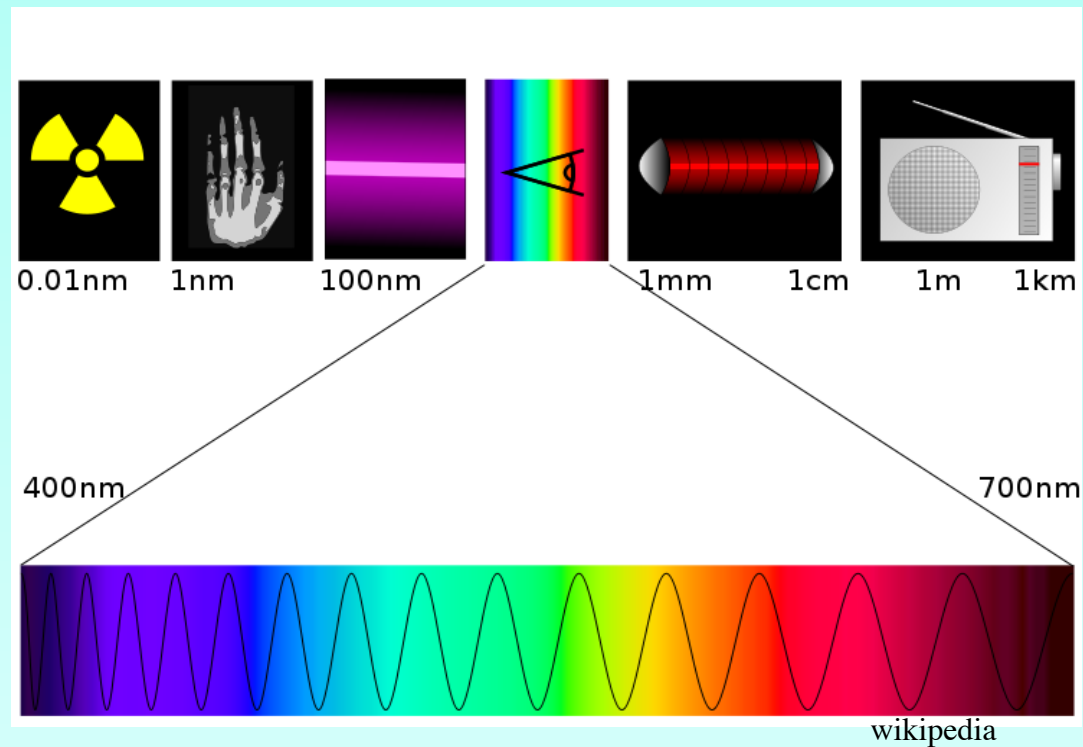
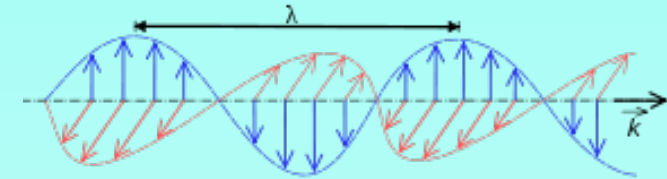
Rayonnement électromagnétique

Des ondes radio aux rayons γ

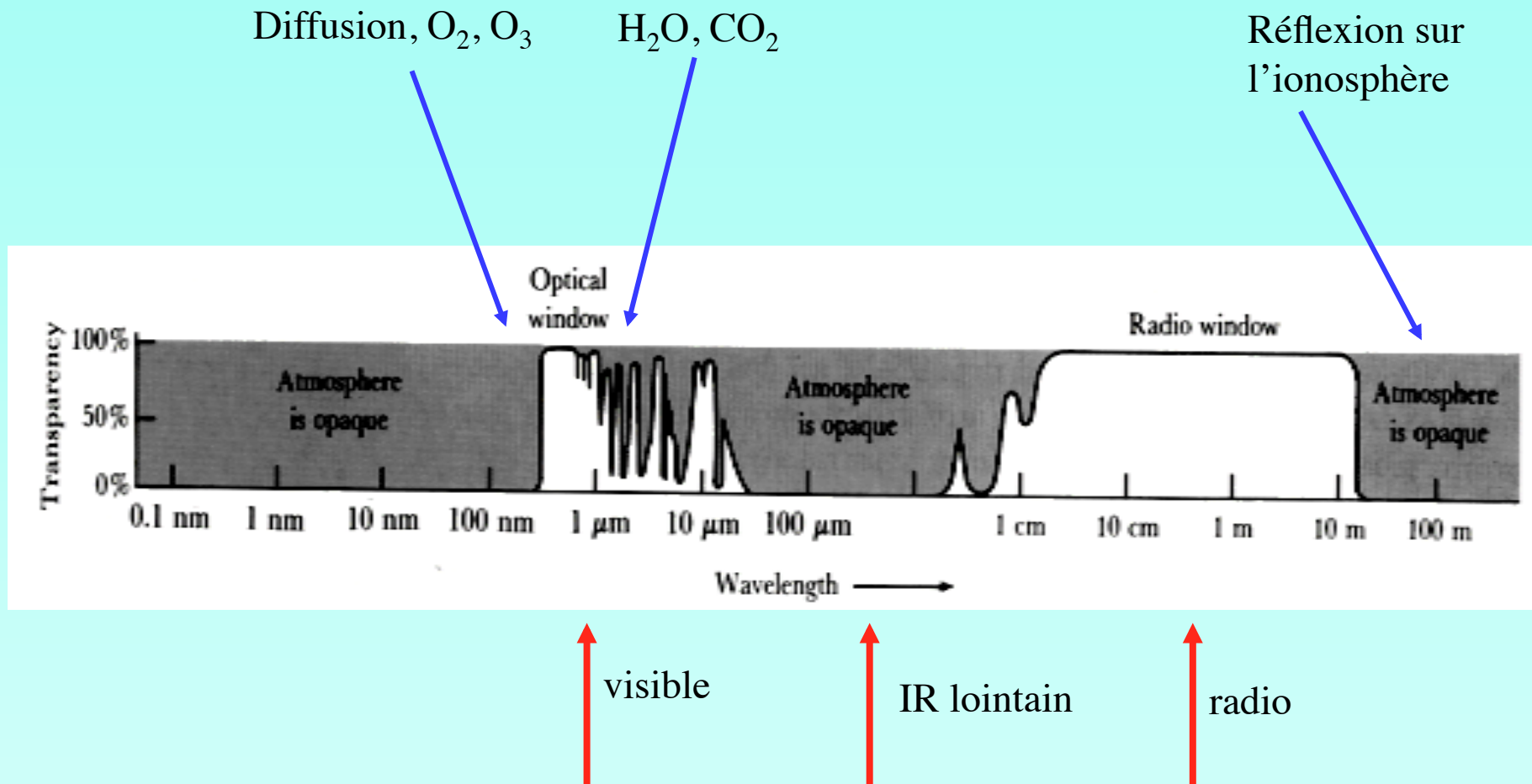
Dualité onde-particule :

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



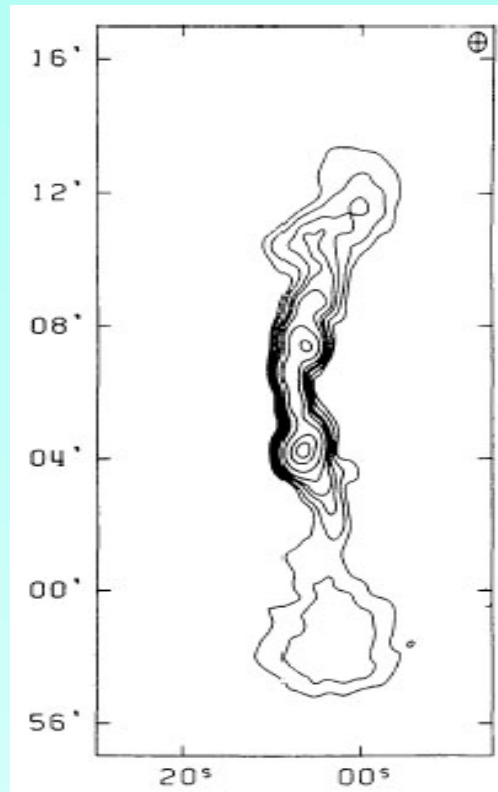
Informations portées par la lumière - images

Distribution spatiale

Représentation :

- échelle de couleur
- isocontours

Radiogalaxie 3C449



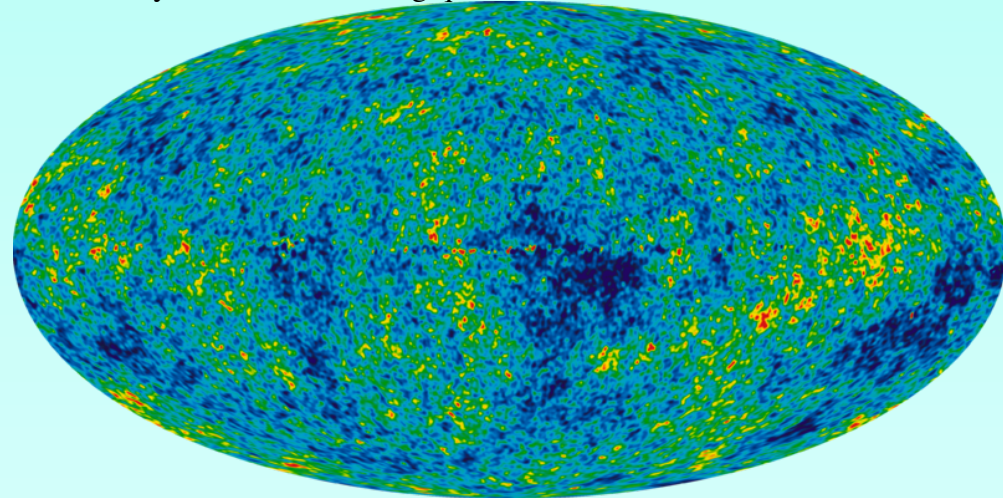
7 novembre 2011

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

Nuage B68



Fond de rayonnement cosmologique, WMAP



UIA 2011-2012 - L'Observation
en astronomie

11

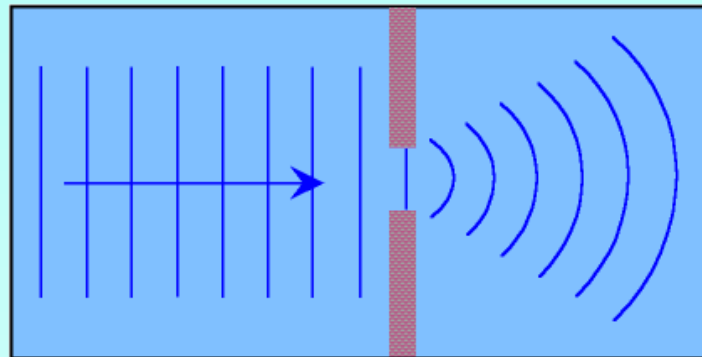
Informations portées par la lumière - images

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

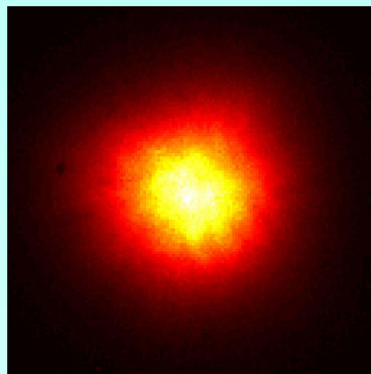
Informations portées par la lumière - images

Résolution spatiale des images

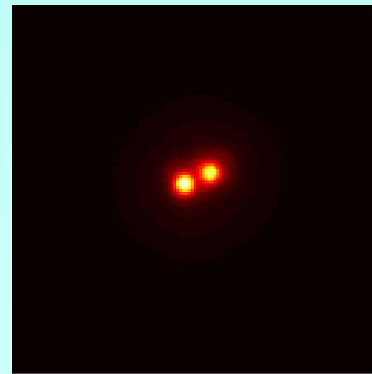
2. Turbulence atmosphérique

$\Delta T \rightarrow \Delta n \rightarrow$ rayons déviés
image visible dégradée (≈ 1 sec. d'arc)
 \rightarrow choix des sites d'observation

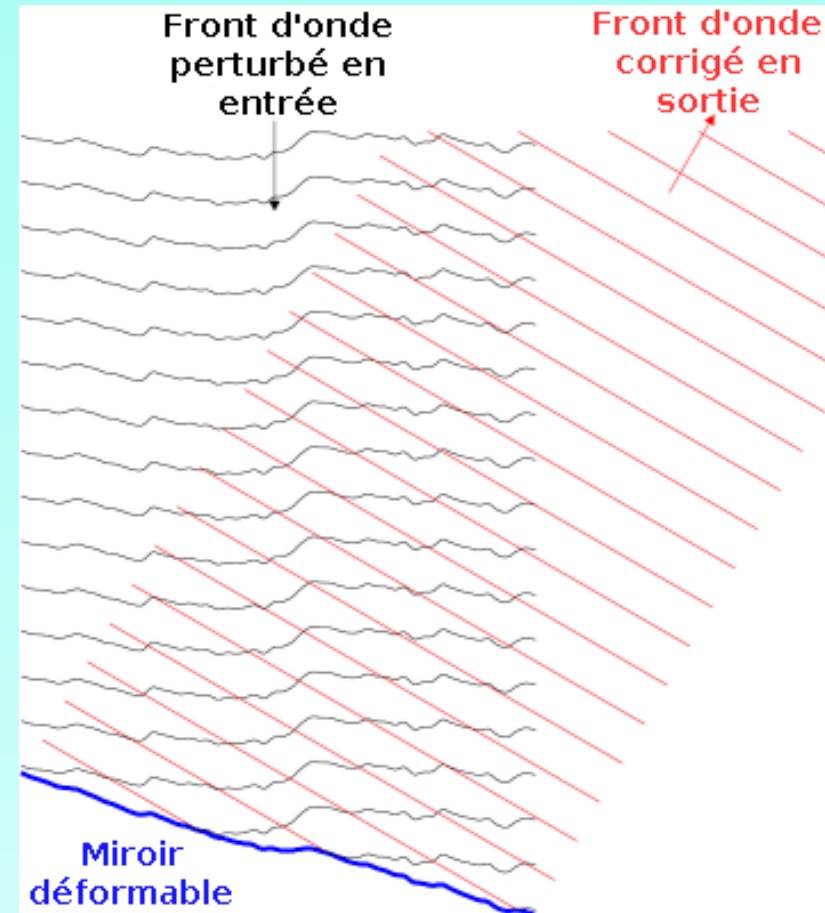
\rightarrow optique adaptative, interférométrie
ou observatoire spatial



The Star HIC 59206 (uncorrected image)
(VLT KUEYEN + MACAO-VLTI)
ESO PR Photo 12b-03 (13 Mar 2008) © European Southern Observatory

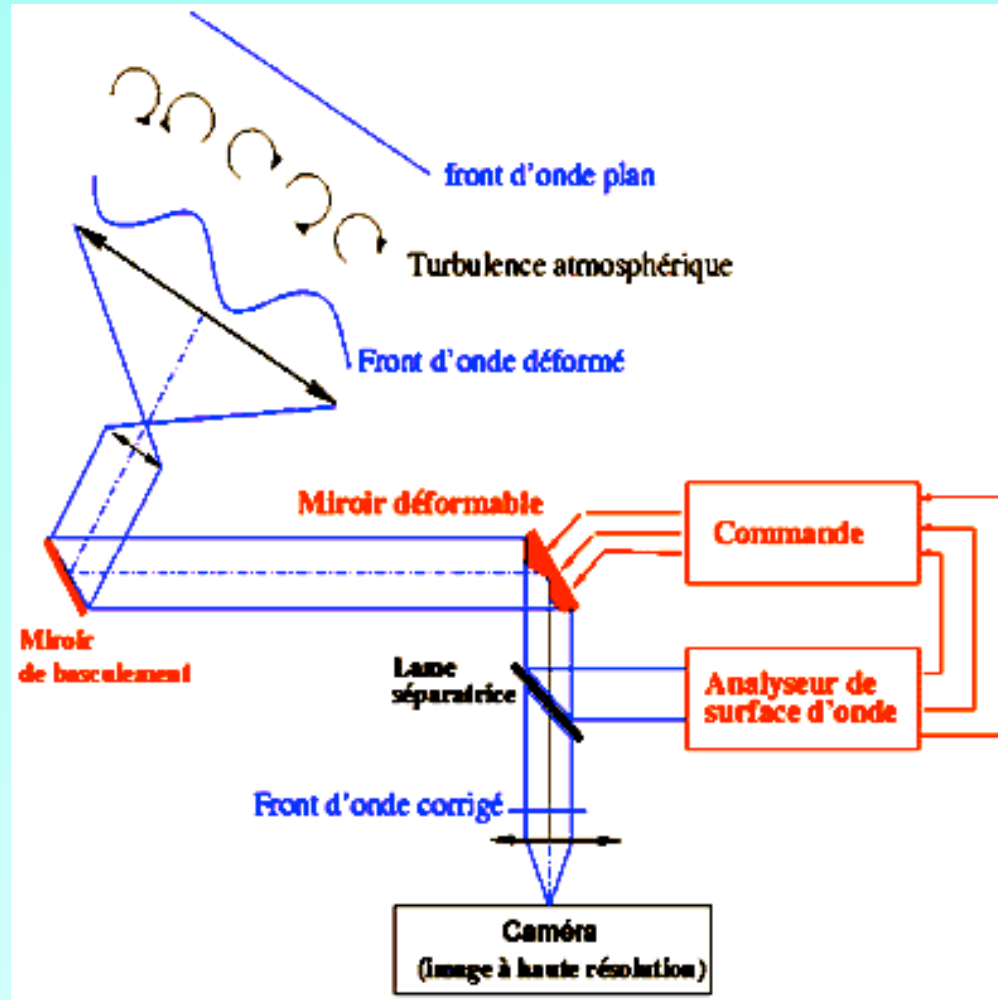


The Star HIC 59206 (AO corrected image)
(VLT KUEYEN + MACAO-VLTI)
ESO PR Photo 12c-03 (13 Mar 2008) © European Southern Observatory



Informations portées par la lumière - images

Principe de l'optique adaptative

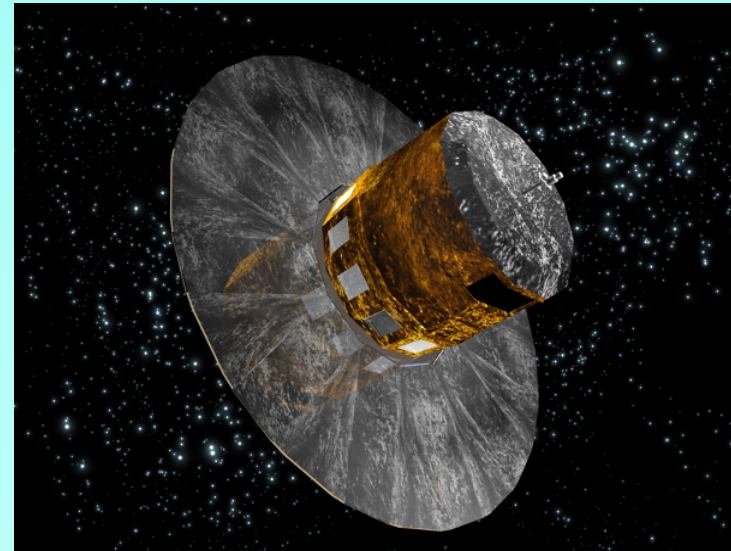


Informations portées par la lumière - images

Astrométrie

Mesure de grande précision

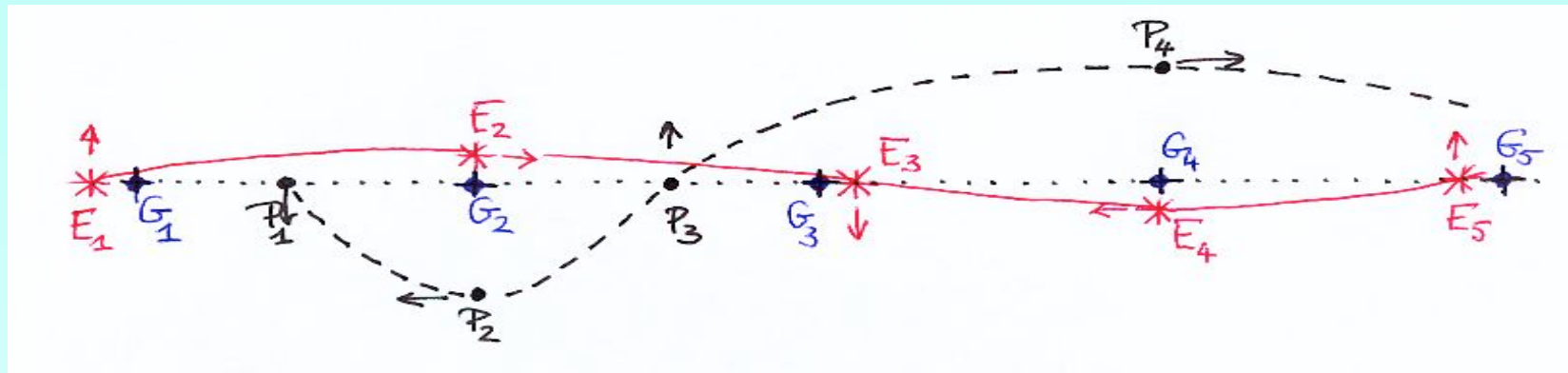
- de la position ($\approx 20 \mu\text{as}$)
- de la magnitude
- > parallaxe : distance
- > mouvements propres



Satellite GAIA, lancement 2013

L'un des objectifs:

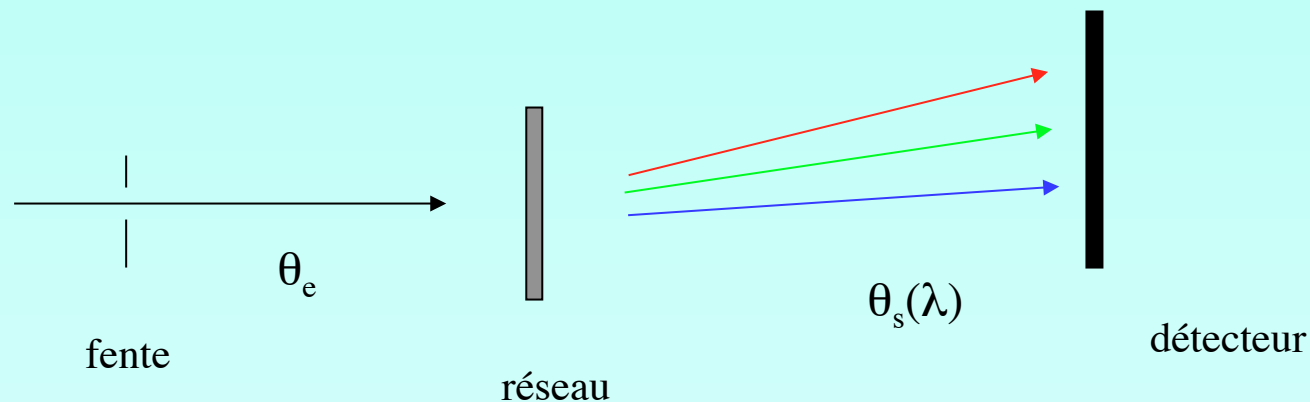
Détection d'exoplanètes (perturbation du mouvement de l'étoile)



Informations portées par la lumière - spectres

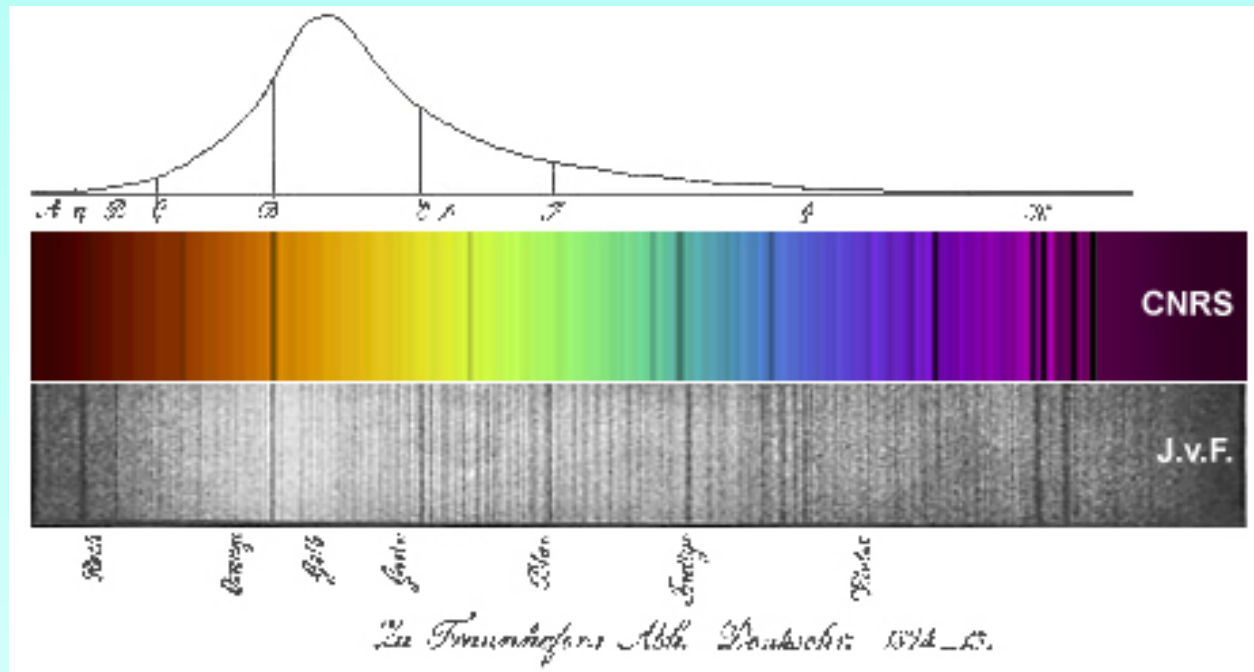
Principe d'un spectrographe

- **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 : $\lambda_{\text{obs}} = \lambda_{\text{labo}} (1 + V_e/c)$

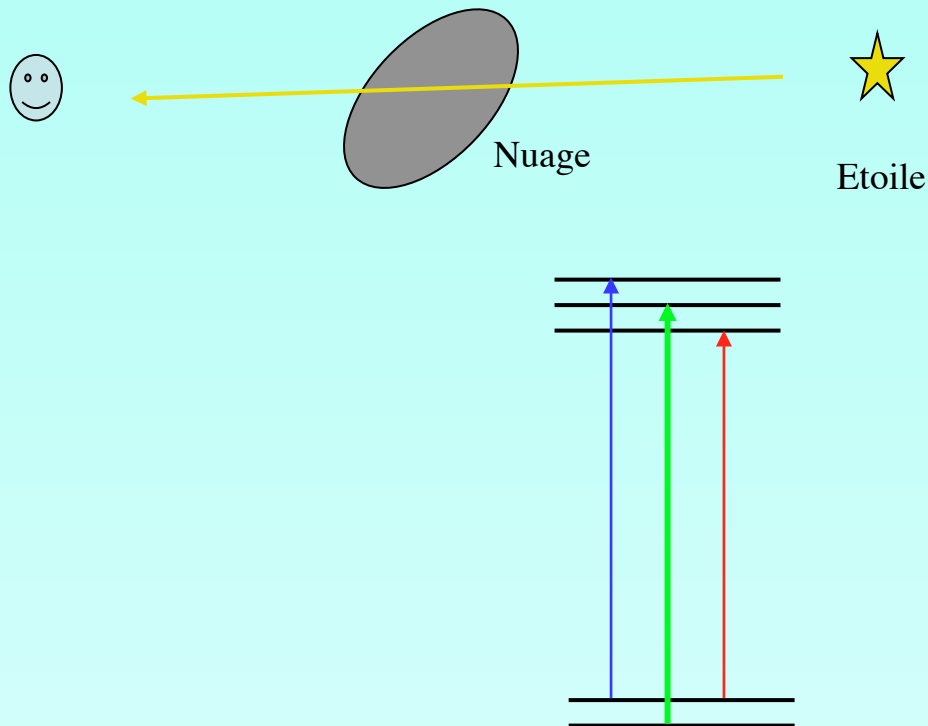


Informations portées par la lumière - spectres

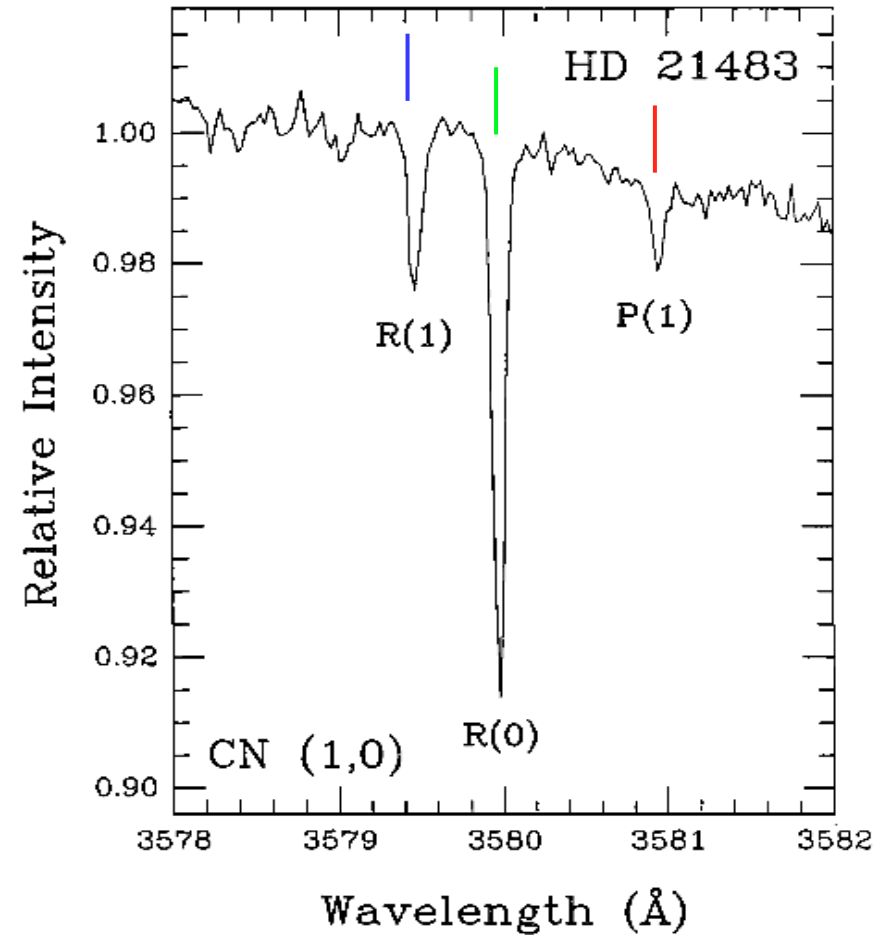
Principe d'une mesure de température

Thermomètre

= molécules : CN, H₂, C₂ ...



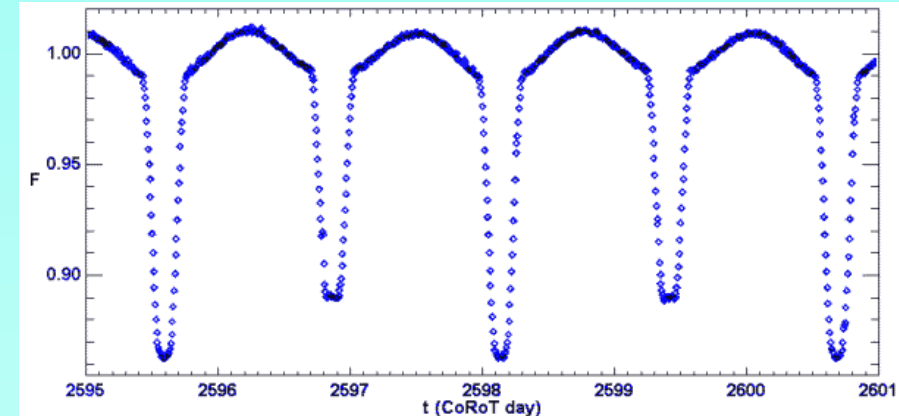
Meyer et al 1989



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

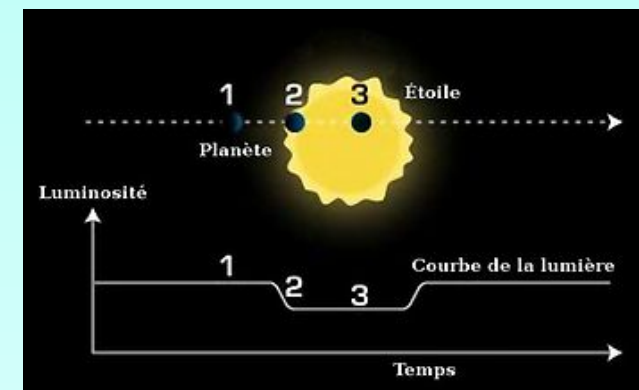
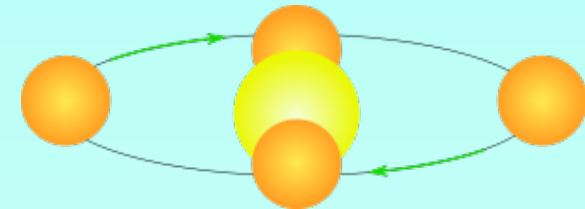


- Quelques exemples

- 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)

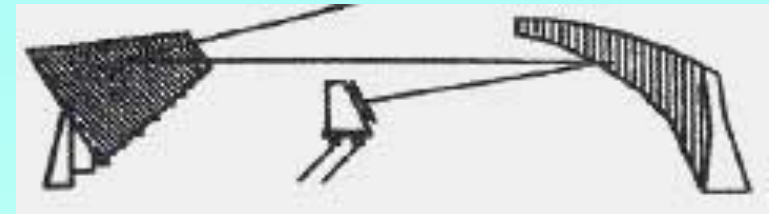
--> faible résolution spatiale

--> **interféromètres**

radiohéliographe Nançay

--> **grands instruments**

grand radiotélescope Nançay



Radiohéliographe

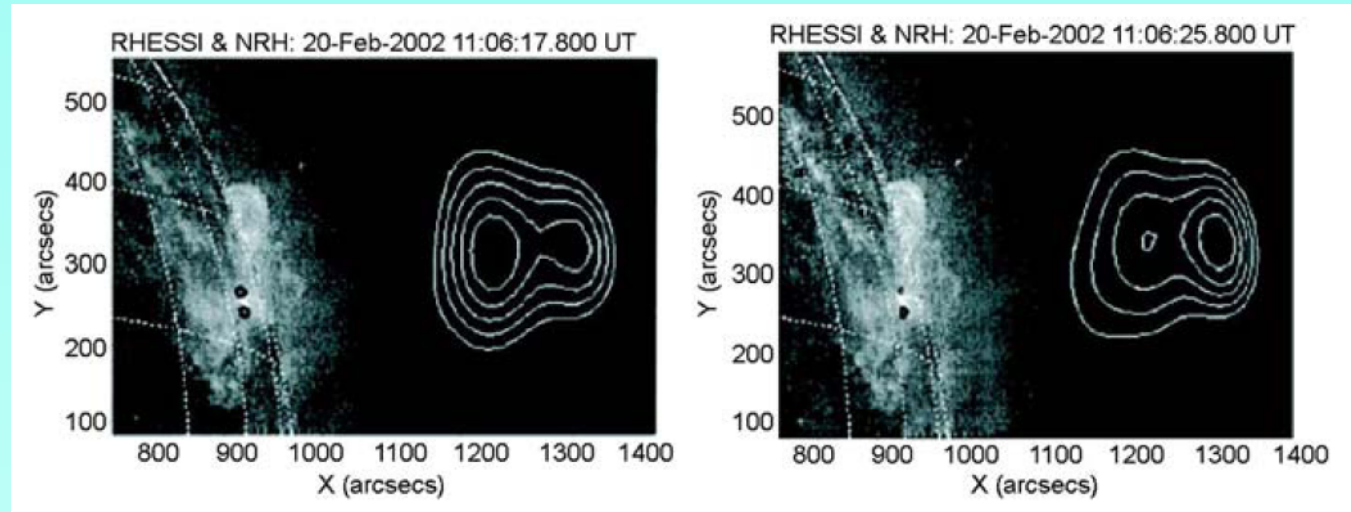


Radiotélescope



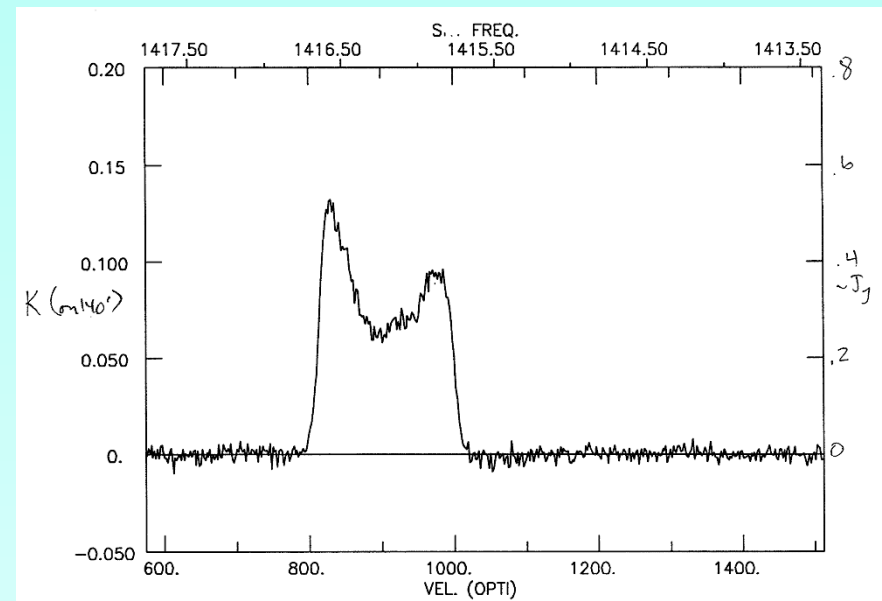
La radioastronomie

**Radiohéliographe
+ RHESSI**



Grand radiotélescope

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



La radioastronomie « millimétrique »

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

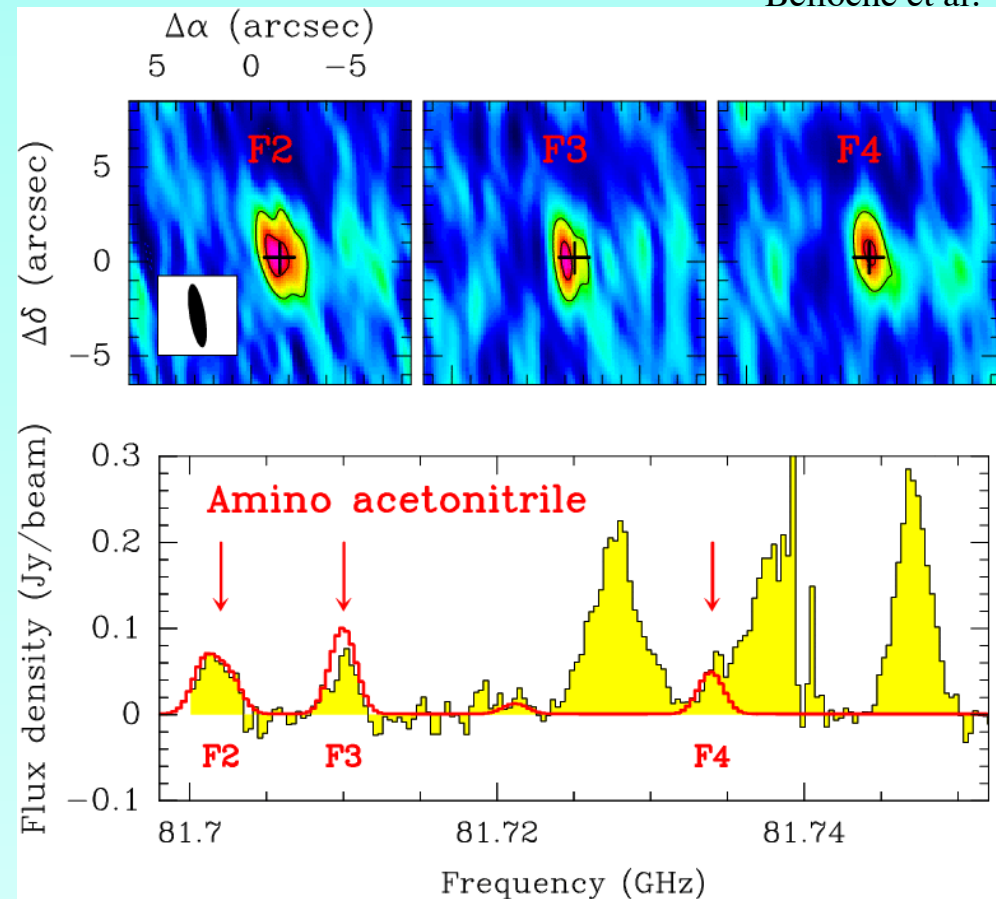
Détection de NH₂CH₂CN

Raies non identifiées : 40 % !

IRAM, 30m



Belloche et al.



La radioastronomie « millimétrique »

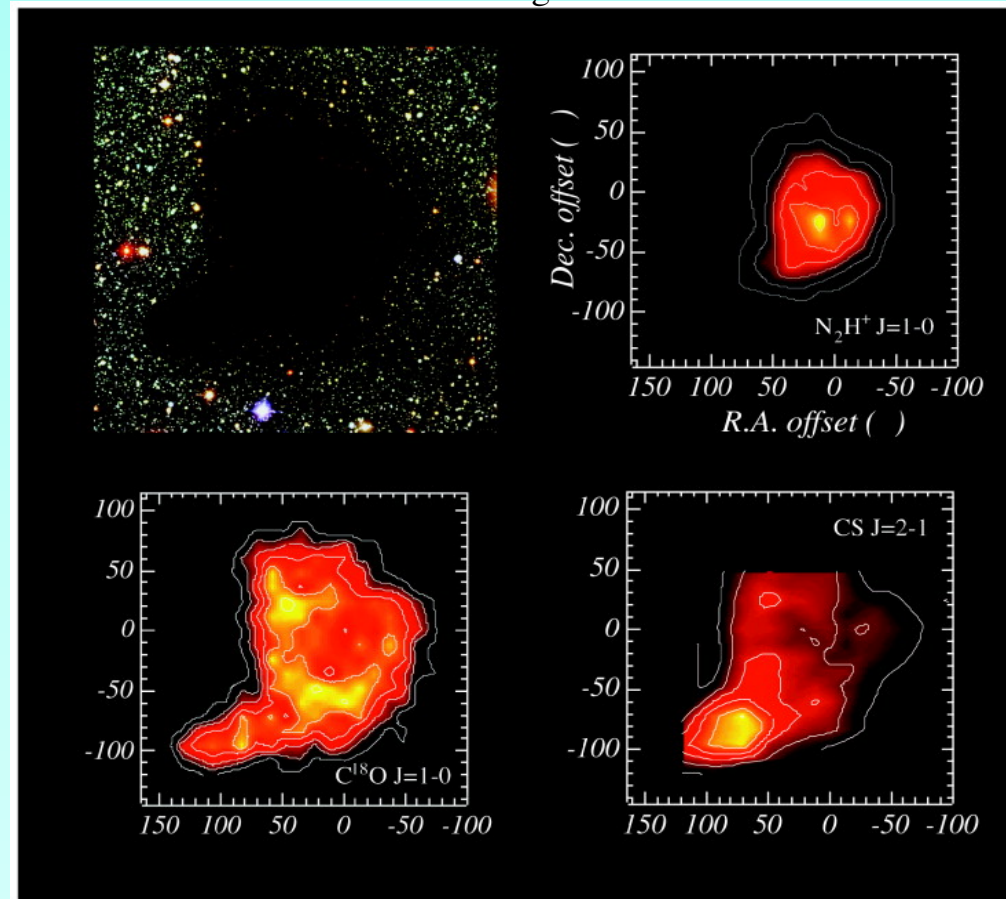
Observation spectroscopique du nuage « Barnard 68 »

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

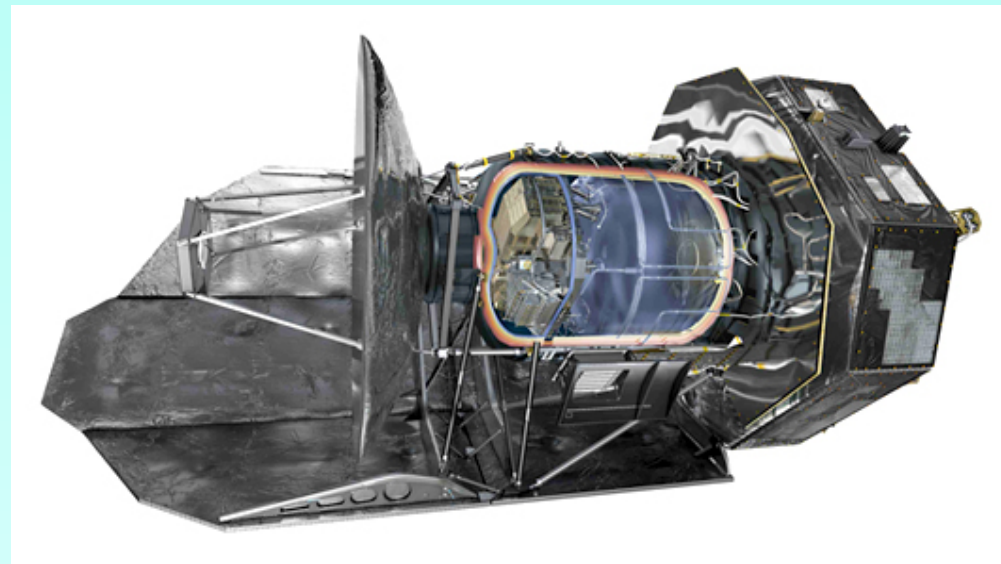
$$\lambda_{\text{max}} T \approx 3000 \mu\text{m.K} \quad T \approx 30\text{K} \rightarrow \lambda \approx 100 \mu\text{m}$$

L'atmosphère est opaque :

Fusées, ballons stratosphériques, observatoire spatial (Herschel)



7 novembre 2011

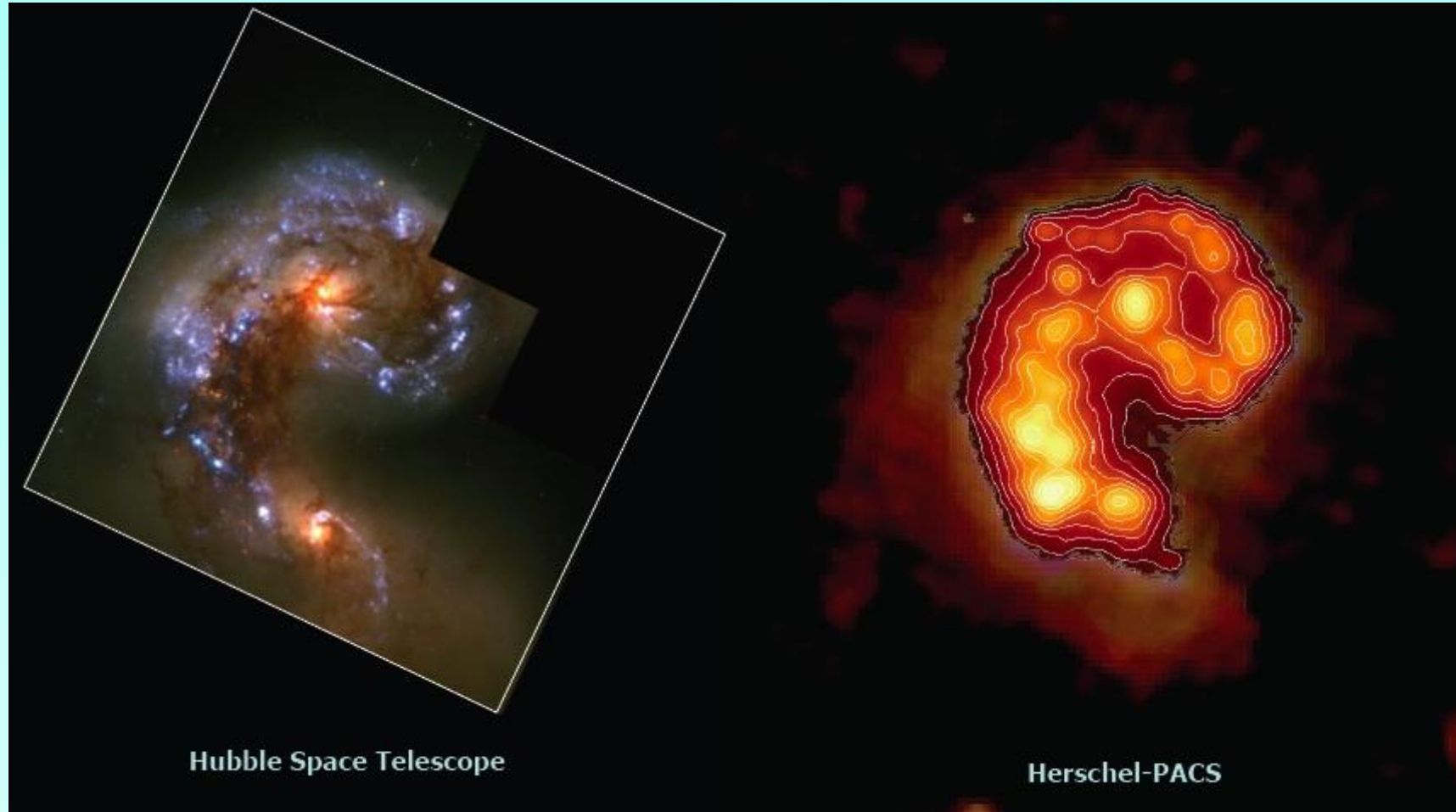


UIA 2011-2012 - L'Observation
en astronomie

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

7 novembre 2011

UIA 2011-2012 - L'Observation
en astronomie

25

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



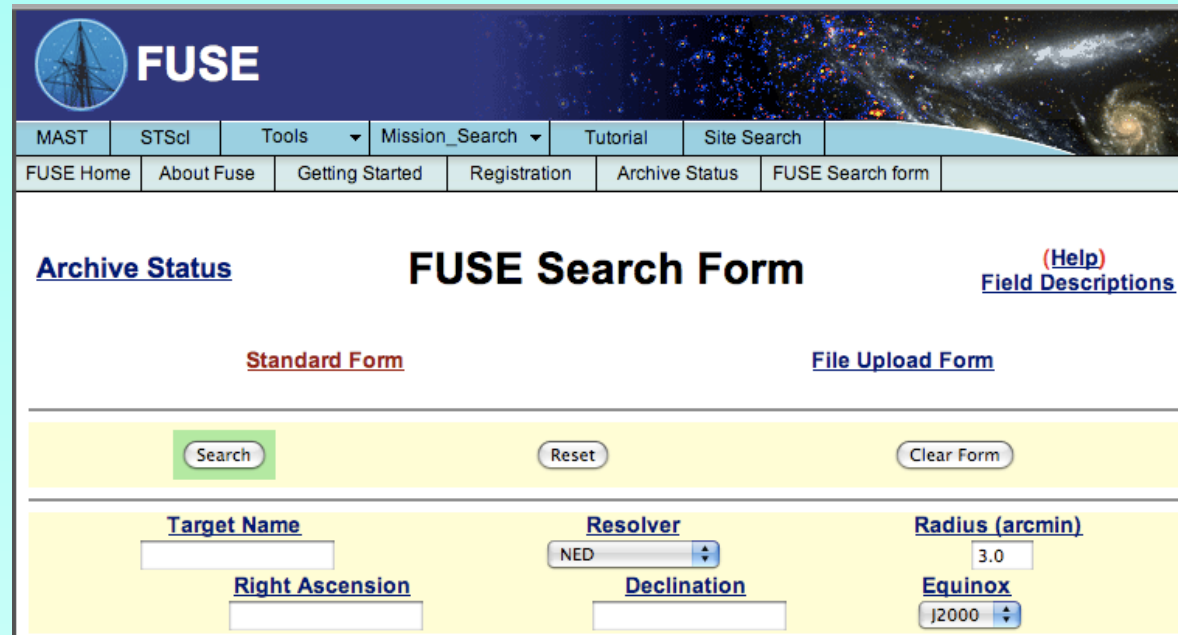
Modes d'observation

- 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 "Standard Form" and a "File Upload Form" option. A search bar is present with "Search", "Reset", and "Clear Form" buttons. The search parameters include "Target Name", "Right Ascension", "Declination", "Resolver" (set to NED), "Radius (arcmin)" (set to 3.0), and "Equinox" (set to J2000). A "(Help) Field Descriptions" link is also visible.

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

En guise de 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 »

Résumé du cours

-Repères historiques

Galilée, télescope, photo, radio, observations spatiales, images numériques

-Les messagers de l'information et l'atmosphère

Lumière et ondes EM, matière, ondes gravitationnelles, obs. in-situ

- Informations portées par la lumière

Images, spectres, variabilité (et polarisation)

- Deux exemples: la radioastronomie, l'infrarouge lointain

- Observer au 21ème siècle, observatoires virtuels

- Conclusions

Liens multiples avec la physique, nombreux défis, évolution des projets

Bibliographie

Une courte bibliographie a été ajoutée sur le site web.

- « L'Univers dévoilé » - James Lequeux
Collection « Sciences & Histoire », Editions EDP Sciences.
- « Panorama de la physique » - Gilbert Pietryk
Collection « Pour la Science », Editions Belin.
- « Astronomie, astrophysique: une introduction » - Agnès Acker
Collection « Sciences Sup », Editions Dunod.

Page web du cours

Les transparents + quelques liens

http://www.iap.fr/users/daigne/FD_IAP/UIA2011.html

Courriels :

Patrick Boissé :	boisse@iap.fr
Frédéric Daigne :	daigne@iap.fr