

# L'Astrophysique spatiale



Sylvain CHATY  
(Université Paris 7 / Service d'Astrophysique)  
2008

## Plan

- L'Observation en Astrophysique
  - Bref historique
  - La révolution: le ciel sous toutes les ondes
  - Pourquoi l'Espace?
  - 50 ans de colonisation de l'Espace
  - Développement de l'Astrophysique spatiale
- 50 ans après: un nouveau regard sur l'Univers
  - Le Soleil
  - Les Planètes
  - Les Etoiles
  - La Voie Lactée
  - Les Galaxies
  - Les sursauts  $\gamma$
- Le futur... au-delà de l'Astrophysique spatiale...

S. Chaty - 2008

2

## Plan

### L'Observation en Astrophysique

- Bref historique
  - La révolution: le ciel sous toutes les ondes
  - Pourquoi l'Espace?
  - 50 ans de colonisation de l'Espace
  - Développement de l'Astrophysique spatiale
- 
- 50 ans après: un nouveau regard sur l'Univers
    - Le Soleil
    - Les Planètes
    - Les Etoiles
    - La Voie Lactée
    - Les Galaxies
    - Les sursauts  $\gamma$
  - Le futur... au-delà de l'Astrophysique spatiale...

S. Chaty - 2008

3

## La sphère des fixes...



S. Chaty - 2008

4

## L'Astrophysique

- Grandes questions:
  - Etoiles et Planètes
  - Milieu interstellaire
  - La Voie Lactée
  - Galaxies
  - Cosmologie
- Moyens de réponse:
  - Théorie
  - Observation
  - Modélisation
- L'Astrophysique est à la Physique ce que l'observation est à l'expérimentation.

S. Chaty - 2008

5

## Plan

- L'Observation en Astrophysique
  - Bref historique
  - La révolution: le ciel sous toutes les ondes
  - Pourquoi l'Espace?
  - 50 ans de colonisation de l'Espace
  - Développement de l'Astrophysique spatiale
- 50 ans après: un nouveau regard sur l'Univers
  - Le Soleil
  - Les Planètes
  - Les Etoiles
  - La Voie Lactée
  - Les Galaxies
  - Les sursauts  $\gamma$
- Le futur... au-delà de l'Astrophysique spatiale...

S. Chaty - 2008

6

## Le premier instrument d'observation

- L'œil:
- 2 éléments optiques:
  - Cristallin: lentille frontale pour concentrer la lumière
  - Rétine: Matrice sensible aux photons, constituée de cônes et bâtonnets (~pixels)



S. Chaty - 2008

7

## Les premiers observatoires?

- Stonehenge



S. Chaty - 2008

## Les premiers instruments

- **L'astrolabe**
  - (du latin *astro* = étoile, *labe* = prendre);
  - inventé par Hipparque, amélioré dans le monde islamique
- un bras tournant repère la position d'une étoile sur le cercle.
- Représentation de la sphère céleste sur le plateau.

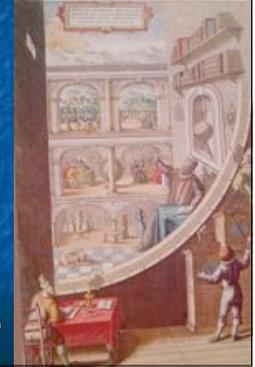


S. Chaty - 2008

## Le premier « Observatoire »: Uraniborg



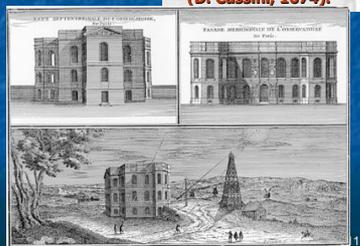
- **Le premier observateur**
  - Tycho Brahe (1546-1601)
- **Le premier observatoire?**
  - subventionné par le roi du Danemark
- Aucun instrument optique (instruments de visée: quart de cercle, sphères armillaires...)



S. Chaty - 2008

## L'observatoire de Paris

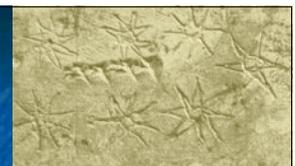
- Emplacement bien choisi:
  - Nord, Est, Ouest: encerclé par des jardins de religieux...
  - Sud: la campagne avec des moulins à vent. Horizon dégagé
  - 1667



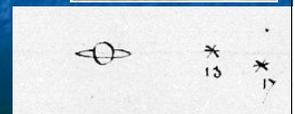
S. Chaty - 2008

## Les premières observations

- **Les étoiles ont une forme... d'étoile!**



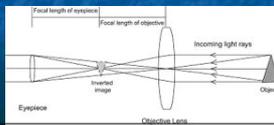
- **Représentation des Pléiades, à l'époque néo-babylonienne (-200):**
- Dessin de Cassiopée, avec « Nova Stella » (I), supernova de Tycho Brahe (11/11/1572)
- **Saturne observée par J.D. Cassini (1673)**



S. Chaty - 2008

## Les premières lunettes...

- Lunette de Galilée = lunette hollandaise classique
  - Longueur: 1 à 6 m
  - Grossissement: 14 à 50 x
  - En carton, bois, papier florentin, cuir, soie, velours
  - Champ assez sombre,  $\sim 15'$  d'arc (1/2 pleine Lune)
  - Fortes aberrations optiques
- Utilisées comme longues-vues terrestres par l'armée de terre et la marine

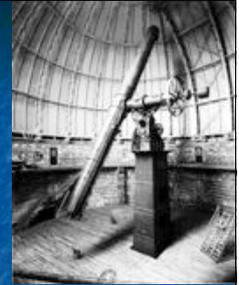


S. Chaty - 2008

13

## Les dernières lunettes...

- Observatoire de Yerkes (Chicago)
- La plus grande lunette du monde:
  - Diamètre 1.02 m
  - Focale 18m
  - Poids lunette + monture: 80 tonnes



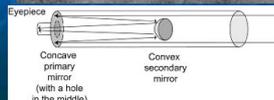
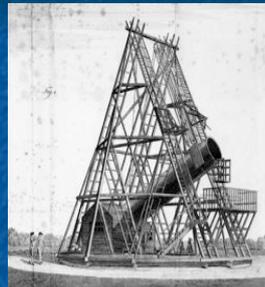
S. Chaty - 2008

14

## Les premiers télescopes...

- **Télescope de Herschel, de diamètre 40 pouces (1m) (1798)**

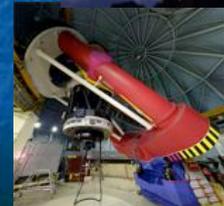
- Mis au point par Newton (1672)



S. Chaty - 2008

## Le Pic du Midi

- 1<sup>er</sup> observatoire français en altitude 2876m
- Fondé en 1878
- Télescopes de 1 et 2 mètres.



## Observatoire CFHT

- Premier télescope français en dehors du territoire (1974)
- Canada-France-Hawaii Telescope (CFHT)
  - Diamètre: 3.6 m sur le Mauna Kea, volcan éteint à 4200m sur l'île d'Hawaïi.



S. Chaty - 2008

17

## ESO (Observatoire Européen Austral)

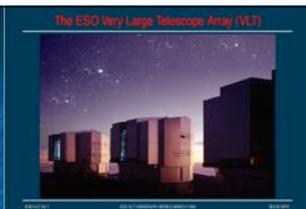
- La Silla, Chili: 2 télescopes de 4 m
  - années 1970



S. Chaty - 2008

## ESO/VLT

- Paranal, Chili: (VLT) 4 télescopes de 8 m
  - Optique active, adaptative
  - Interférométrie infrarouge/optique
  - Miroir de 8.2 m poli par SAGEM/REOSC



## Plan

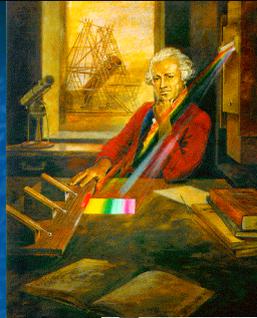
- L'Observation en Astrophysique
  - Bref historique
  - La révolution; le ciel sous toutes les ondes
  - Pourquoi l'Espace?
  - 50 ans de colonisation de l'Espace
  - Développement de l'Astrophysique spatiale
- 50 ans après: un nouveau regard sur l'Univers
  - Le Soleil
  - Les Planètes
  - Les Etoiles
  - La Voie Lactée
  - Les Galaxies
  - Les sursauts  $\gamma$
- Le futur... au-delà de l'Astrophysique spatiale...

S. Chaty - 2008

20

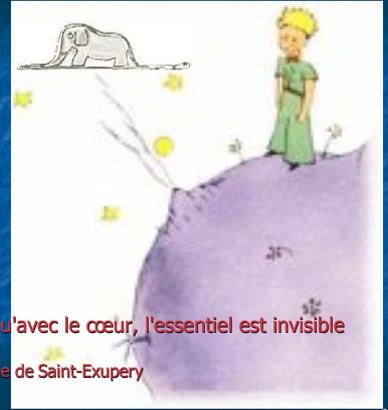
### Découverte du rayonnement infrarouge

- 1800: Sir William Herschel découvre le rayonnement infrarouge:
  - Mesure des températures dans les couleurs du spectre solaire.
  - Les plus hautes températures juste après le rouge.
- Découverte de l'existence de lumière invisible à nos yeux!



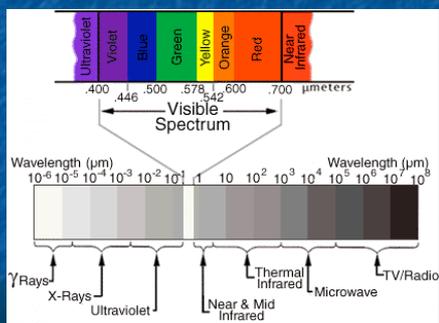
### Digression: Les observations multi-longueurs d'onde

- « On ne voit bien qu'avec le cœur, l'essentiel est invisible pour les yeux ».  
Le petit Prince, Antoine de Saint-Exupéry

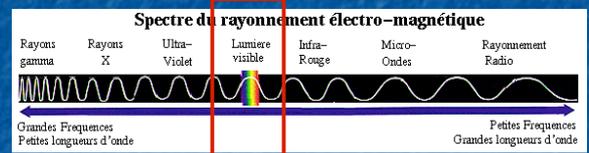


### Digression: Les observations multi-longueurs d'onde

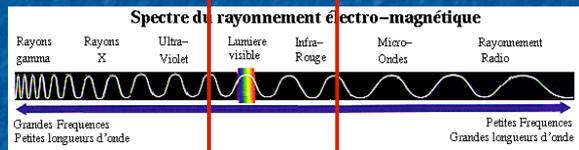
- Ce que voit le Petit Prince...



### Lumière visible



Lumière visible + infrarouge



S. Chaty - 2008

25

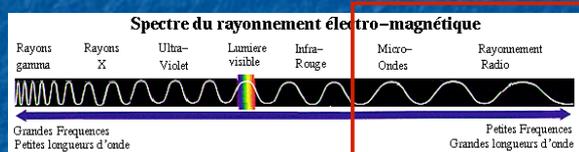
## Découverte des ondes radio

- Invention collective:
  - 1865: Maxwell prouve l'existence des ondes électromagnétiques
  - 1888: Hertz confirme expérimentalement leur existence
- Développement 2<sup>nd</sup>e guerre mondiale



S. Chaty - 2008

## Ondes radio

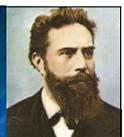


S. Chaty - 2008

27

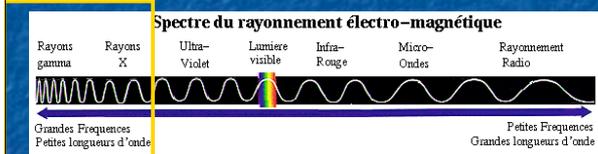
## Découverte des rayons X

- Röntgen (1845-1923), physicien allemand, découvre les rayons X.
- 1<sup>er</sup> Prix Nobel de Physique (1901)



S. Chaty - 2008

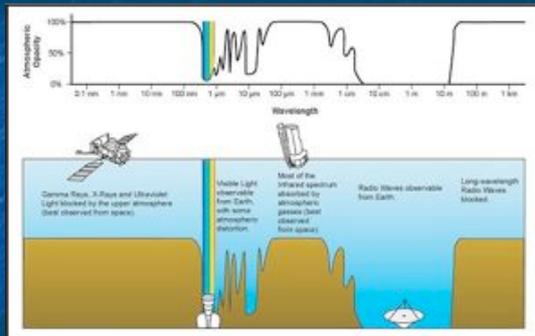
## Les rayons X/γ



## Plan

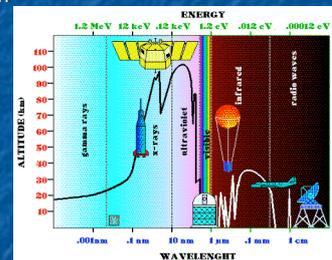
- L'Observation en Astrophysique
  - Bref historique
  - La révolution: le ciel sous toutes les ondes
  - Pourquoi l'Espace?
  - 50 ans de colonisation de l'Espace
  - Développement de l'Astrophysique spatiale
- 50 ans après: un nouveau regard sur l'Univers
  - Le Soleil
  - Les Planètes
  - Les Etoiles
  - La Voie Lactée
  - Les Galaxies
  - Les sursauts  $\gamma$
- Le futur... au-delà de l'Astrophysique spatiale...

## La révolution: Le ciel sous toutes les ondes



## La révolution: Le ciel sous toutes les ondes

- Aujourd'hui on a une vision multi-longueur d'onde de l'Univers...
- Pour s'affranchir de l'atmosphère:
  - ballons, fusées, avions, satellites...
- MAIS l'espace reste cher:
  - Pas de réparation possible.



## Plan

- L'Observation en Astrophysique
  - Bref historique
  - La révolution: le ciel sous toutes les ondes
  - Pourquoi l'Espace?
  - 50 ans de colonisation de l'Espace
  - Développement de l'Astrophysique spatiale
- 50 ans après: un nouveau regard sur l'Univers
  - Le Soleil
  - Les Planètes
  - Les Etoiles
  - La Voie Lactée
  - Les Galaxies
  - Les sursauts  $\gamma$
- Le futur... au-delà de l'Astrophysique spatiale...

S. Chaty - 2008

33

## 50 ans de colonisation de l'Espace - I

- 3/10/1942: l'Allemand von Braun réussit le premier vol de la fusée V2, 1<sup>er</sup> missile balistique utilisé au cours de la 2<sup>nd</sup>e Guerre mondiale.
  - La fabrication des V2 fit plus de morts que leur utilisation comme armes.
- Le père de la fusée Saturn V, qui a permis de développer le programme spatial américain.



S. Chaty - 2008

## 50 ans de colonisation de l'Espace - II

- Sputnik 1
  - 4/10/1957: Les Soviétiques lancent le 1<sup>er</sup> satellite artificiel de la Terre
  - sphère D=58 cm, poids 83 kg
  - Altitude 230-950 km, orbite 97 mn
  - bip-bip
- Traumatisme aux Etats-Unis
  - Pearl Harbor technologique
  - Début de la course à l'espace



## 50 ans de colonisation de l'Espace - III

- 3/11/1957: la chienne Laïka:
  - 1<sup>er</sup> être vivant envoyé dans l'Espace
  - À bord de Sputnik 2



## 50 ans de colonisation de l'Espace - IV

- 12/04/1961: Youri Gagarine:
  - 1<sup>er</sup> homme dans l'Espace
- 16/06/1963: Valentina Terechkova:
  - 1<sup>ère</sup> femme dans l'Espace



## 50 ans de colonisation de l'Espace

- "Le développement des recherches spatiales, l'envoi de satellites artificiels ou de sondes spatiales munis d'instruments, sinon même d'observateurs humains, offrent à l'astronomie des possibilités nouvelles d'études en nombre quasiment illimité... La Lune, les proches planètes ne seront plus, ou presque plus, étudiées par les moyens astronomiques."

Jean Kovalevsky, 8 décembre 1962.

S. Chaty - 2008

38

## 50 ans de colonisation de l'Espace - V

- Neil Armstrong, 21/07/1969:  
L'Homme marche sur la Lune
  - Apollo 11
  - "That's one small step for a man, one giant leap for mankind."
- cf Expo CNES Luxembourg:
  - 50 ans de conquête de l'Espace



## Exploration in situ I

- Rovers martiens Spirit/Opportunity:
  - coût 820 millions \$
  - mission: 18 mois



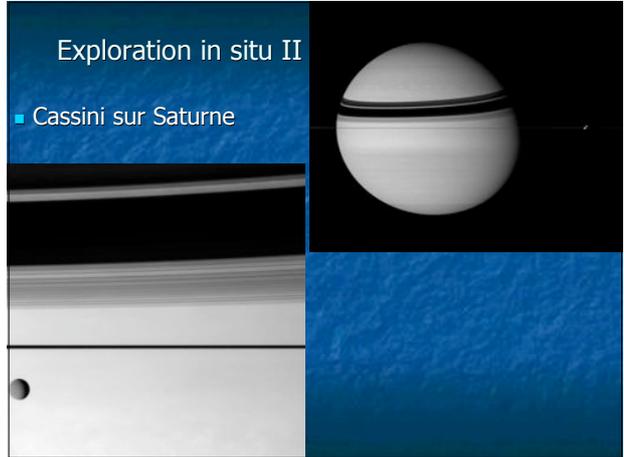
## Exploration in situ II

- Cassini-Huygens sur Saturne (NASA/ESA):
  - 1997: Lancement
  - 01/07/2004: Insertion en orbite après 7 ans et 3,5 milliards de km
  - En orbite pendant 4 ans
  - 14/01/2005: plongée de Huygens dans l'atmosphère de Titan



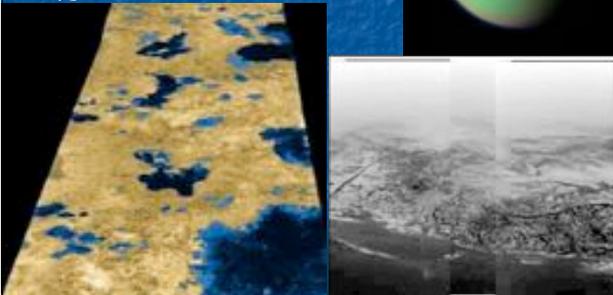
## Exploration in situ II

- Cassini sur Saturne



## Exploration in situ II

- Huygens sur Titan



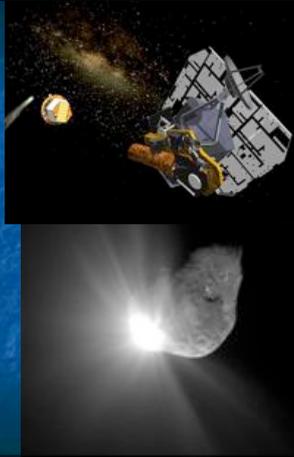
## Exploration in situ

- "On a proposé de faire passer une sonde spatiale à travers une comète. Mais un tel rendez-vous n'est pas aisé à réussir. Une expérience plus intéressante serait de faire créer artificiellement une comète dans l'espace proche, avec une tonne de matériaux qui, on le croit, composent une comète. Cette comète aurait une durée de vie de quelques jours qui suffirait pour vérifier nos hypothèses sur la composition de ces astres.
- Je signale cette proposition, car il s'agit ici d'Astronomie expérimentale, conception toute nouvelle qui peut avoir beaucoup d'avenir."

Jean Kovalevsky, 8 décembre 1962.

### Exploration in situ III

- Sonde Deep Impact (NASA):
  - Etude de la composition de la comète Tempel 1
  - 4 juillet 2005: impacteur percute la comète: formation d'un cratère ~30 m de diamètre, éjection de plusieurs tonnes de matériaux du sous-sol



S. Chaty - 2008

### Exploration in situ IV

- Sonde Rosetta:
  - Lancement le 2 mars 2004
  - Parcours de 5 milliards km
  - Arrivée en mai 2014, entrée en orbite en août 2014
  - Cartographie de la Comète Churyumov-Gerasimenko pendant 6 mois
  - Largage de Philaé puis atterrissage



S. Chaty - 2008

### Plan

- L'Observation en Astrophysique
  - Bref historique
  - La révolution: le ciel sous toutes les ondes
  - Pourquoi l'Espace?
  - 50 ans de colonisation de l'Espace
  - Développement de l'Astrophysique spatiale
- 50 ans après: un nouveau regard sur l'Univers
  - Le Soleil
  - Les Planètes
  - Les Etoiles
  - La Voie Lactée
  - Les Galaxies
  - Les sursauts  $\gamma$
- Le futur... au-delà de l'Astrophysique spatiale...

S. Chaty - 2008

47

### Les débuts de l'Astrophysique spatiale - I

- Ballons strato-sphériques:
  - Télescopes jusqu'à 40km
- Fusées:
  - Observations ~mn.
  - Projet Hi Star (1967-1975): 1<sup>ère</sup> carte du ciel infrarouge



S. Chaty - 2008

48

## Les débuts de l'Astrophysique spatiale - II

### Avions:

- **KAO (1974-1994)**
  - Télescope IR aéroporté jusqu'à 13km, au-dessus de 99% de vapeur d'eau
  - Découverte des anneaux d'Uranus (1977), eau dans l'atmosphère de Jupiter et Saturne
- **SOFIA (2006):**
  - Télescope 2.5 m dans un Boeing 747: le plus grand télescope dans un avion



S. Chaty - 2008

49

## Difficultés de l'observation par satellite - I

- Energie (Gaz, combustible, panneaux solaires)
- Stabilisation (Gyroscope):
  - "Pour faire une observation astronomique, il faut faire des visées précises d'un point dans l'Espace, reconnaître l'objet et le viser suffisamment longtemps afin de faire les poses nécessaires pour impressionner les récepteurs" J. Kovalevsky
- Envoi des données sur la Terre:
  - Photos/CCD; stations de réception télémétriques
  - « Les informations recueillies pourront être stockées dans 20 000 caractères de mémoire. » J. Kovalevsky

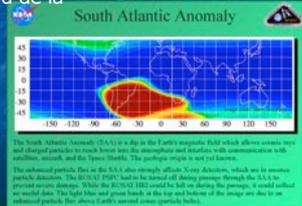
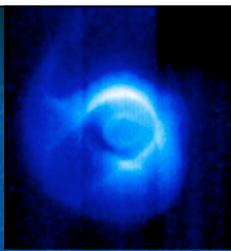


S. Chaty - 2008

50

## Difficultés de l'observation par satellite - II

- Ceintures de rayonnement autour de la Terre:
  - faussent les mesures, saturent les détecteurs
  - Image en EUV du pôle Nord de la Terre



S. Chaty - 2008

## L'observatoire INTEGRAL

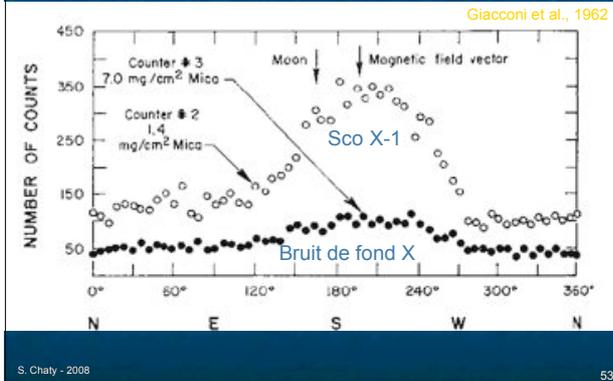


Satellite INTEGRAL: 2 keV – qq MeV  
Lancé le 17 octobre 2002 par fusée PROTON sur orbite excentrique

S. Chaty - 2008

52

## Le début de l'astronomie X



## Le début de l'astronomie X

PHYSICAL REVIEW LETTERS

DECEMBER 1, 1962

Volume 9, Number 11

EVIDENCE FOR X RAYS FROM SOURCES OUTSIDE THE SOLAR SYSTEM\*

Riccardo Giacconi, Herbert Gursky, and Frank R. Paulini

American Institute of Physics, Inc., Washington, Massachusetts

and

Ernest D. Sisson

Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts

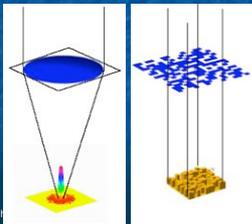
Illustrated December 10, 1962

- 1962: Découverte de la première source X en dehors du système solaire: Sco X-1 (publiée 7 jours avant la conférence de J. Kovalevsky!)
- R. Giacconi, prix Nobel de physique en 2002

S. Chaty - 2008 54

## Difficultés de l'observation en rayons X/γ

- SWIFT: observatoire de rayons γ
- Les photons γ interagissent avec la matière du télescope/détecteur



S. Chaty

## Les observatoires

- L'espace reste cher:
  - coût de développement / construction d'Integral = 330 millions €
  - μ-sat ~ 50k€
  - Lancement = 20k€/kg ~ 1kg Or /kg
  - Budget ESO: 140 millions €/an (3 sites: 8 télescopes)
- Complémentarité des télescopes au sol et dans l'espace...
- Observations multi-longueur d'onde (radio, infrarouge et rayons X/γ)



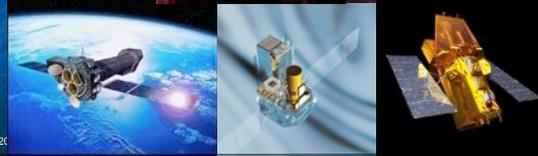
S. Chaty - 2008

- "Plusieurs sortes d'observatoires spatiaux ont été imaginés, suivant les objets étudiés et la précision des pointages.
  - 1. *Les observatoires solaires...*"
  - 2. *Les observatoires stellaires* seront beaucoup plus compliqués... très grande précision de visée ... et une bonne stabilité de pointage... Il n'y a pas encore de satellite de ce type...

Jean Kovalevsky, 8 décembre 1962.

## Satellites optique/X

- Optique: Hubble
- IR: Spitzer
- X: Chandra, XMM
- X/γ: INTEGRAL, Swift



## Plan

- L'Observation en Astrophysique
  - Bref historique
  - La révolution: le ciel sous toutes les ondes
  - Pourquoi l'Espace?
  - 50 ans de colonisation de l'Espace
  - Développement de l'Astrophysique spatiale

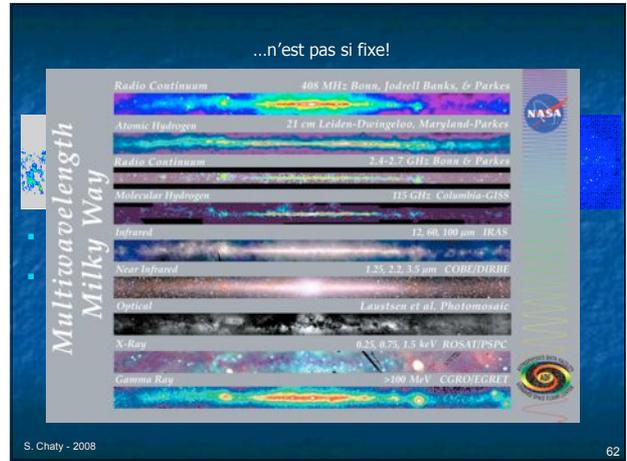
### 50 ans après: un nouveau regard sur l'Univers

- Le Soleil
- Les Planètes
- Les Etoiles
- La Voie Lactée
- Les Galaxies
- Les sursauts  $\gamma$

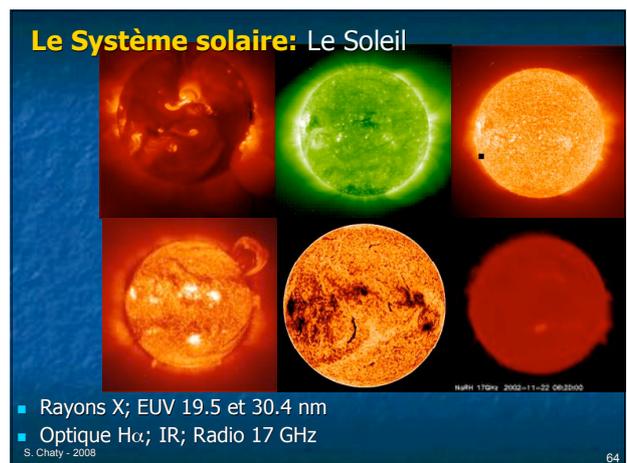
- Le futur... au-delà de l'Astrophysique spatiale...

## La sphère des fixes...





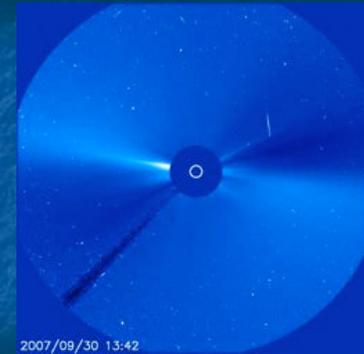
- ### Plan
- L'Observation en Astrophysique
    - Bref historique
    - La révolution: le ciel sous toutes les ondes
    - Pourquoi l'Espace?
    - 50 ans de colonisation de l'Espace
    - Développement de l'Astrophysique spatiale
  - 50 ans après: un nouveau regard sur l'Univers
    - Le Soleil
    - Les Planètes
    - Les Etoiles
    - La Voie Lactée
    - Les Galaxies
    - Les sursauts  $\gamma$
  - Le futur... au-delà de l'Astrophysique spatiale...
- S. Chaty - 2008 63



## Le Soleil vu par SOHO

Una mirada de SoHO al corazón del Sol  
SoHO regarde au coeur du Soleil  
SoHO looks into heart of Sun

## Le Soleil vu par SOHO



2007/09/30 13:42

Surveillance d'orages magnétiques

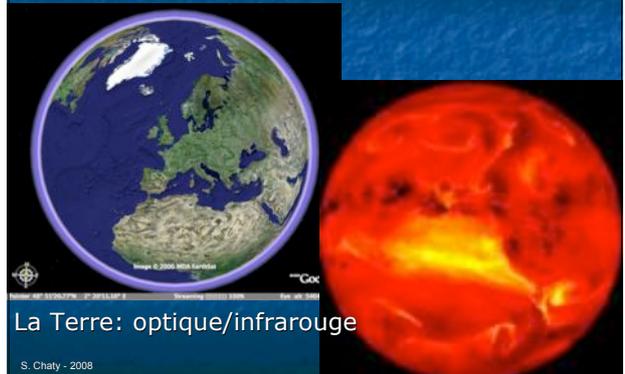
## Plan

- L'Observation en Astrophysique
  - Bref historique
  - La révolution: le ciel sous toutes les ondes
  - Pourquoi l'Espace?
  - 50 ans de colonisation de l'Espace
  - Développement de l'Astrophysique spatiale
- 50 ans après: un nouveau regard sur l'Univers
  - Le Soleil
  - Les Planètes
  - Les étoiles
  - La Voie Lactée
  - Les Galaxies
  - Les sursauts  $\gamma$
- Le futur... au-delà de l'Astrophysique spatiale...

S. Chaty - 2008

67

## Le Système solaire: La Terre



La Terre: optique/infrarouge

S. Chaty - 2008

### Le Système solaire: La Terre

- Observations d'Aurores polaires depuis l'Espace



S. Chaty - 2008

### Le Système solaire: La Lune

- Lune éclipse en infrarouge
- Lune en optique/rayons X:
  - Fluorescence d'atomes (O, Mg, Al, Si) par bombardement de rayons X solaires



S. Chaty - 2008

### Le Système solaire: Saturne

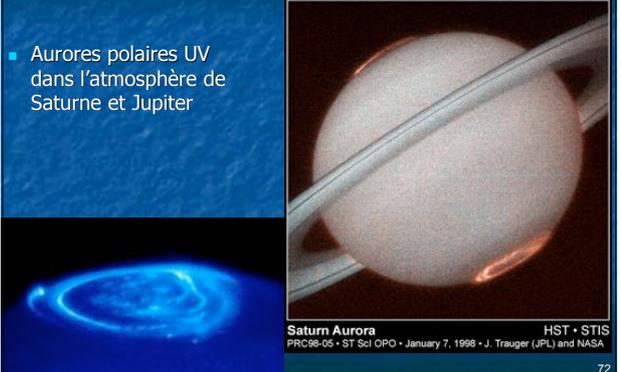
- Réflexion des rayons X du Soleil par l'atmosphère de Saturne



S. Chaty - 2008

### Le Système solaire: Saturne/Jupiter

- Aurores polaires UV dans l'atmosphère de Saturne et Jupiter



Saturn Aurora HST • STIS  
PRC98-05 • ST ScI OPO • January 7, 1998 • J. Trauger (JPL) and NASA

## Plan

- L'Observation en Astrophysique
  - Bref historique
  - La révolution: le ciel sous toutes les ondes
  - Pourquoi l'Espace?
  - 50 ans de colonisation de l'Espace
  - Développement de l'Astrophysique spatiale
- 50 ans après: un nouveau regard sur l'Univers
  - Le Soleil
  - Les Planètes
  - Les Etoiles
  - La Voie Lactee
  - Les Galaxies
  - Les sursauts  $\gamma$
- Le futur... au-delà de l'Astrophysique spatiale...

S. Chaty - 2008

73

## Nébuleuses

- Nébuleuse de la Tête de Cheval (Orion):
  - visible, infrarouge proche (2MASS), et IR moyen (ISO)



S. Chaty - 2008

74

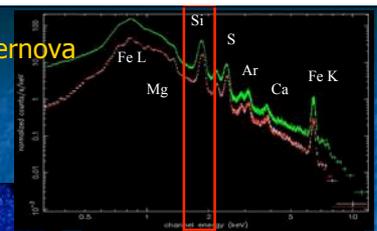
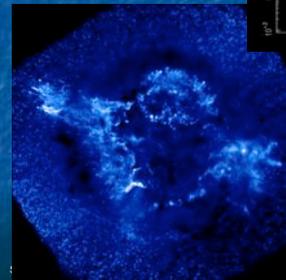
## Amas d'étoiles jeunes Westerlund 2

- Pouponnière d'étoiles RCW 49
- N&B: IR (Spitzer Space Telescope)
- Couleur: X (Chandra), carré de 50 a.l.
- Âge: < 2 million yr
- Région de formation stellaire, disques proto-planétaires.
- Distance: 20 000 a.l.



## Explosion de Supernova

- Image (1 Ms) *Chandra* du reste de supernova Cas A
- Spectre XMM



6

## Pulsars

- Etoiles à neutron...
- Matière condensée, résidu de la mort d'une étoile massive (supernova)
- Objets gravitants, compacts et relativistes



S. Chaty - 2008

77

## Les étoiles

- Eta Carinae: l'étoile la plus lumineuse de notre Galaxie, 5 millions de Soleils (LBV), à 7000 al.:
  - la prochaine Supernova?



Rayons X

Optique

Infrarouge

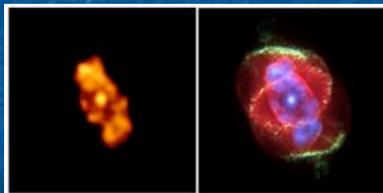
Radio

S. Chaty - 2008

78

## Les étoiles

- Etoile centrale, très brillante, deviendra une naine blanche dans quelques millions d'années
- Nébuleuse de l'œil de chat, à plusieurs millions de degrés



Rayons X

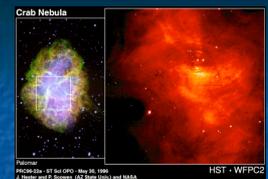
Optique

S. Chaty - 2008

79

## Pulsar du Crabe

- Pulsar:
  - Rotation: 30t/s
  - Nébuleuse  $\sim 10^6$ K (pléïon)
- Film:
  - plusieurs mois
  - vent de (anti)-matière
  - Vitesse volute: 150 000 km/s
  - Expansion: 1000 km/s



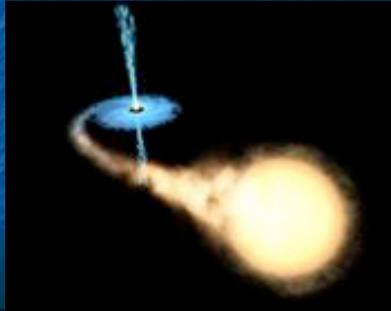
Rayons X

Optique

S. Chaty - 2008

### Les microquasars

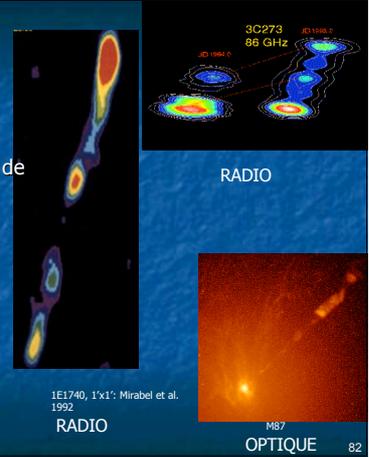
- Système stellaire binaire de la Galaxie = **trou noir/étoile à neutron, étoile compagne**, disque d'accrétion, jets
- ~ 20 microquasars
- L'un des thèmes d'étude principaux des observatoires spatiaux X et gamma...



S. Chaty - 2008

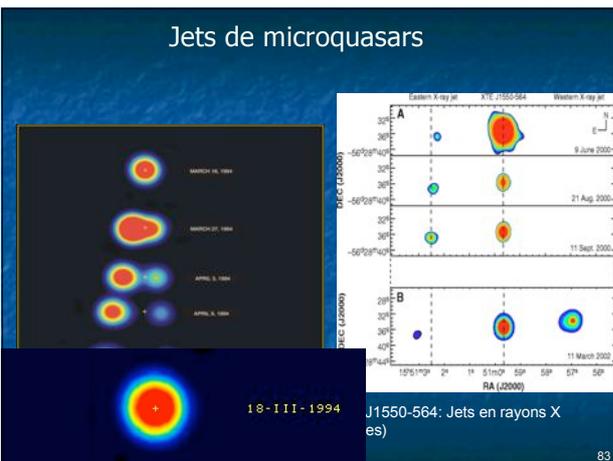
### Les microquasars

- Microquasar 1E 1740.7-2942:
  - le grand annihilateur de la Galaxie
- Jets radio bipolaires très collimatés, s'étendant sur qq années-lumière
- Analogie avec les quasars: **microquasar**



S. Chaty - 2008

### Jets de microquasars

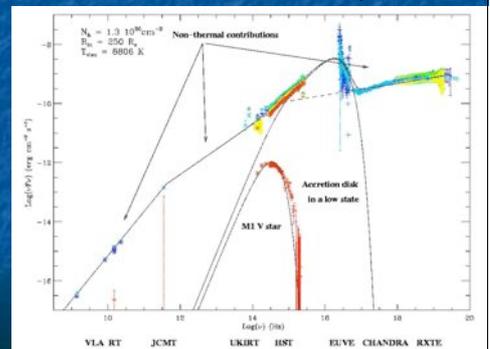


J1550-564: Jets en rayons X es)

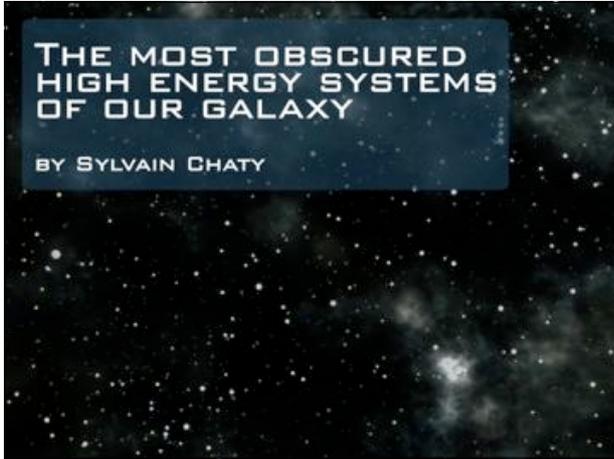
83

### Les microquasars

- Modèle de XTE J1118+480:
  - disque d'accrétion + émission de l'étoile + émission des jets



S. Chaty - 2008



## Plan

- L'Observation en Astrophysique
  - Bref historique
  - La révolution: le ciel sous toutes les ondes
  - Pourquoi l'Espace?
  - 50 ans de colonisation de l'Espace
  - Développement de l'Astrophysique spatiale
- 50 ans après: un nouveau regard sur l'Univers
  - Le Soleil
  - Les Planètes
  - Les Étoiles
  - La Voie Lactée
  - Les Galaxies
  - Les sursauts  $\gamma$
- Le futur... au-delà de l'Astrophysique spatiale...

S. Chaty - 2008 86

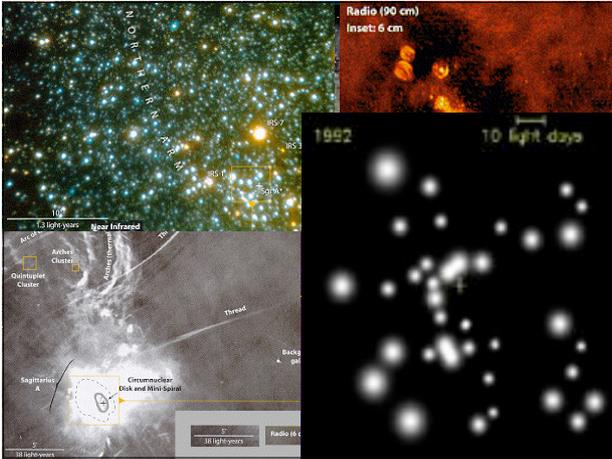
## Plongée au cœur de notre Galaxie

Le centre de la Voie lactée vu par Chandra: des centaines de naines blanches, étoiles à neutron, trous noirs, baignant dans un plasma de 10<sup>7</sup>K...  
 Trou noir supermassif dans la tache blanche centrale.  
 Du rouge au bleu: rayons X + énergétiques

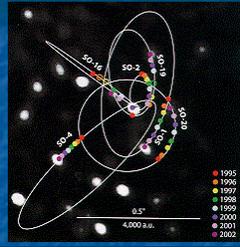
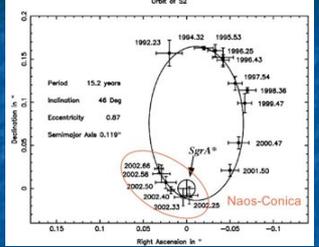
## Centre galactique

- Images dans le visible et IR proche du centre galactique
  - 2 Micron All Sky Survey (2MASS)

S. Chaty - 200



## Le trou noir de notre Galaxie

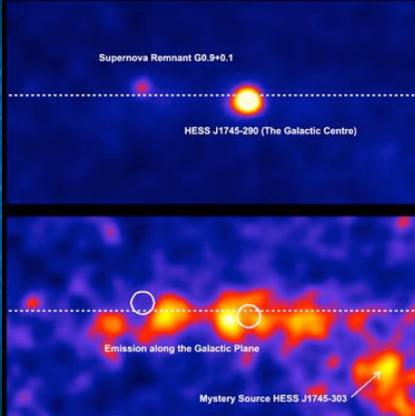



- SO-2 orbite à 60 u.a. du trou noir... à plus de 9000 km/s!
- Lois de Kepler -> la masse de Sgr A\* = 2.6 millions  $M_{\text{sol}}$
- Variations en rayons X de  $\sim 10$  mn => la source X  $\sim 10$  mn-l ( $\sim 1$  u.a.): C'est un trou noir!!!

S. Chaty - 2008 90

## Le centre de notre Galaxie vu par H.E.S.S.

- 2 sources  $\gamma$  brillantes: HESS J1745-290 et SNR G 0.9+0.1
- Même carte, après soustraction des sources. Emission  $\gamma$  visible sur plan galactique, plus autre source mystérieuse : HESS J1745-303



## Plan

- L'Observation en Astrophysique
  - Bref historique
  - La révolution; le ciel sous toutes les ondes
  - Pourquoi l'Espace?
  - 50 ans de colonisation de l'Espace
  - Développement de l'Astrophysique spatiale
- 50 ans après: un nouveau regard sur l'Univers
  - Le Soleil
  - Les Planètes
  - Les Etoiles
  - La Voie Lactée
  - Les Galaxies
  - Les sursauts  $\gamma$
- Le futur... au-delà de l'Astrophysique spatiale...

S. Chaty - 2008 92

## Science: mêmes astres, différentes facettes

M31 par David Malin, la galaxie et son noyau...  
IRAS: IR view!  
Noyau brillant!

M31 © IAC/IRGO/Malin  
Photo from Isaac Newton Telescope plates by David Malin

S. Chaty - 2008 93

## Les Quasars

### Core of Galaxy NGC 4261

Hubble Space Telescope  
Wide Field / Research Camera

Ground-based: Optical-Radio Image HST Image of a Ring and East Jet

380 Ang. Bandwidth 80000 LIGHTYEARS 17 Ang. Bandwidth 100 LIGHTYEARS

- Trou noir supermassif au centre d'une galaxie
  - la luminosité de 100 Voies lactées dans le système solaire!

S. Chaty - 2008 94

## Les galaxies actives

- Centaurus A (NGC 5128): Radio Galaxie active la plus proche (elliptique barrée d'une ceinture de poussière)
- Distance: 3 Mpc = 11 millions a.l.
- Optique, IR, radio, X (jet: synchrotron)

© Anglo-Australian Obs

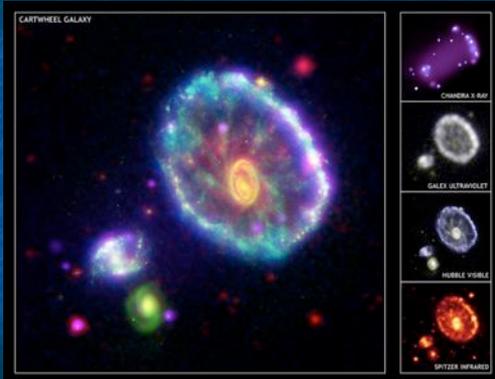
95

## Les Quasars

- Le Jet de M87:
  - 50 millions a.l.
  - Jets de 50 000 a.l.

S. Chaty - 2008 96

## Galaxies en interaction



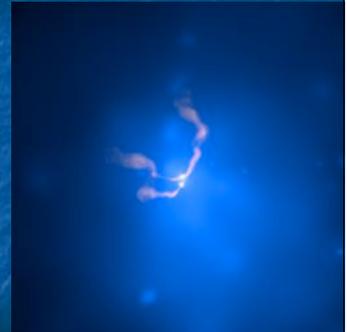
S. Chaty - 2008

97

## Galaxies en interaction

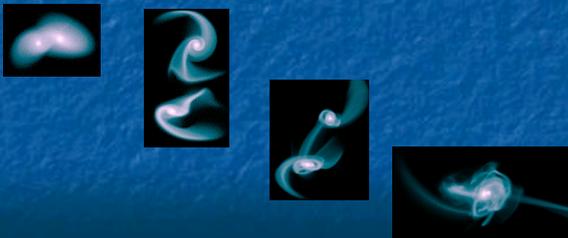
- 2 trous noirs supermassifs en collision dans l'amas de galaxies Abell 400

- jets radio (rose)
- gaz X (bleu)  $\sim 10^6\text{K}$



## Galaxies en interaction

- Dans environ 3 milliards d'années, la Voie lactée et M31 vont entrer en collision pendant  $\sim 1$  milliard d'années... pour finalement former une galaxie elliptique!
- Une deuxième voie lactée sera visible dans le ciel pendant 100 millions d'années... et sûrement plus de recrutement d'astrophysiciens!!



S. Chaty - 2008

99

## Plan

- L'Observation en Astrophysique
  - Bref historique
  - La révolution; le ciel sous toutes les ondes
  - Pourquoi l'Espace?
  - 50 ans de colonisation de l'Espace
  - Développement de l'Astrophysique spatiale
- 50 ans après: un nouveau regard sur l'Univers
  - Le Soleil
  - Les Planètes
  - Les Etoiles
  - La Voie Lactée
  - Les Galaxies
  - Les sursauts  $\gamma$
- Le futur... au-delà de l'Astrophysique spatiale...

S. Chaty - 2008

100

## Sursauts de rayons $\gamma$

- D etect es en 1967 par satellites Vela
- Annonc es en 1973
- Répartis partout de façon isotrope

2109 Events

Vela 94 Event - July 9, 1967

Counts/second

Time (s)

S. Chaty - 2008

## Sursauts de rayons $\gamma$

MODEL FOR GRB 030203

Collimated Emission Cone

Chandra X-ray

The HST GRB Collaborative

GRB990123

-   des distances cosmologiques
- Hypernova ou coalescence de trous noirs?

S. Chaty - 2008

## Plan

- L'Observation en Astrophysique
  - Bref historique
  - La révolution: le ciel sous toutes les ondes
  - Pourquoi l'Espace?
  - 50 ans de colonisation de l'Espace
  - D evveloppement de l'Astrophysique spatiale
- 50 ans après: un nouveau regard sur l'Univers
  - Le Soleil
  - Les Planètes
  - Les Etoiles
  - La Voie Lactée
  - Les Galaxies
  - Les sursauts  $\gamma$
- Le futur... au-delà de l'Astrophysique spatiale...

S. Chaty - 2008

## SIMBOL-X

- Vol de satellite en formation:
  - Lancement 2011, Masse: 1 tonne
  - Longueur focale 30 m.
  - Miroir = une centaine de coquilles réflectrices (masse 200-300 kg)
- Etude des trous noirs, des galaxies...

S. Chaty - 2008

## Projets lointains

- James Webb Space Telescope (2013-2018):
  - (NGST: Next Generation Space Telescope): Optique/infrarouge
  - Masse totale: 6 tonnes!
  - Miroir: Diamètre 6.5m, 25 m<sup>2</sup>, beryllium, 18 segments
  - Taille du bouclier solaire: ~22 m x 10 m
  - Orbite: 1.5 million km de Terre au point L2
  - Buts: Univers jeune, formation des galaxies, exoplanètes



First Light

S. Chaty - 2008

105

## Projets d'interféromètres spatiaux

- TPF (NASA, 2014-2020)
- Darwin (ESA, 2015):
  - 6 télescopes (D=3m) combinés en interféromètre (100m), orbitant au point L2 (1.5 million km), au-delà de la poussière zodiacale
- Buts: détection d'exoplanètes terrestres, étude de leur composition chimique



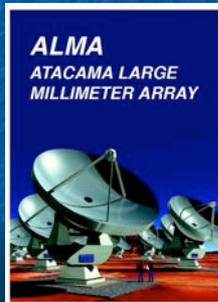
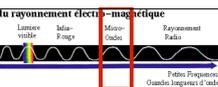
S. Chaty - 2008

## ALMA

- Le plus grand projet sol de la prochaine décennie:
  - après les VLT/VLTI, avec le JWST
  - Chajnantor, Chili
  - 64 antennes de 12 m en sub-mm
  - Lignes de base jusqu'à 10 km



ALMA au Chajnantor (Cerro Alto N.M.O.)

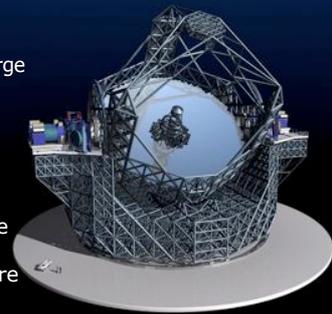


ESA/ESA Photo: ESA/ESA, 2008

© European Southern Observatory

## E-ELT

- European-Extremely Large Telescope
- Miroir primaire asphérique de 42m
- Combinaison de plusieurs miroirs
- Difficultés: résistance au vent et tremblements de terre
- Coût: 850 M€
- Construction sur 10 ans

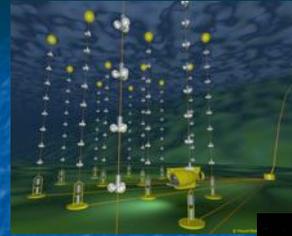


S. Chaty - 2008

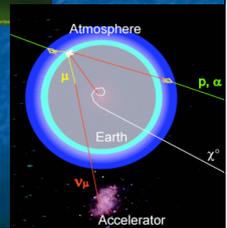
108

Mais il n'y a pas que les photons dans la vie!

## ANTARES

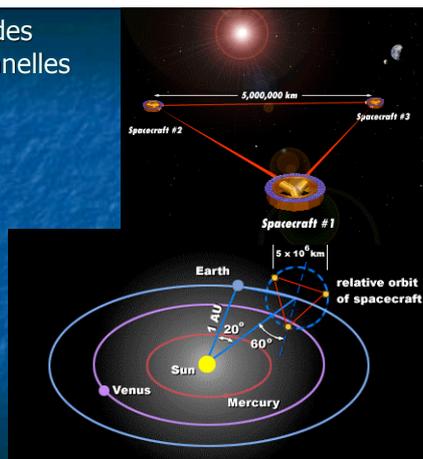


- ANTARES: télescope neutrino dans la Méditerranée, détection de muons ascendants, résultant d'interaction muon-neutrino dans la matière sous le détecteur.



## Les ondes gravitationnelles

- LISA: le futur observatoire spatial d'ondes gravitationnelles ESA/NASA



- « Il faut arrêter là, la liste des expériences d'Astronomie faites et à faire. J'espère avoir donné une idée de leur nombre et de leur diversité et avoir montré que l'Astronomie à partir d'instruments placés dans l'Espace offre un champ d'étude quasiment illimité et promet, dans un proche avenir, de nombreuses et importantes découvertes. »

Jean Kovalevsky, 8 décembre 1962.

...sans oublier l'approche artistique...



Etoile variable V838 Monocerotis

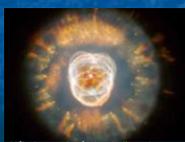


Rémanent de supernova N49



M64 La belle galaxie dormante

Ce que Hubble a vu...  
par Judy Ross.



Nébuleuse planétaire de l'esquimau



Nébuleuse proto-planétaire du rectangle rouge

113

Fin



Naturaleza Azul, [Francisco Brugnoli](#)

- El universo es tremendamente creativo, lo que nos obliga a abrimos a lo desconocido... (Alberto Ludwig Urquieta, 1926)

S. Chaty - 2008

114