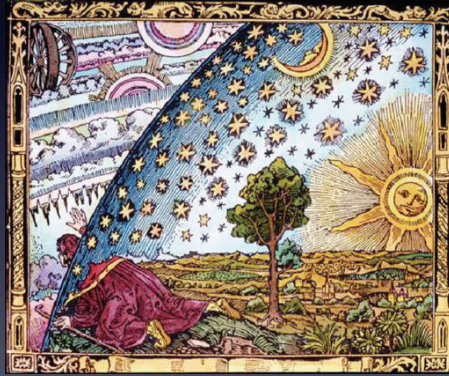


Une brève histoire de l'observation astronomique



Sylvain Chaty
Université Paris Diderot / CEA Saclay
2009

Plan

- L'observation en astrophysique
 - Historique
 - La révolution multi-longueur d'onde
 - L'espace colonisé
 - L'astrophysique spatiale
- 50 ans après: un nouveau regard sur l'Univers
 - Soleil, Planètes, Etoiles, Voie Lactée, Galaxie, sursauts γ
 - Le futur...

L'Astrophysique

- Grandes questions:
 - Etoiles et planètes
 - Milieu interstellaire
 - La Voie Lactée
 - Galaxies
 - Cosmologie
- Moyens de réponse:
 - Théorie
 - Observation
 - Modélisation

L'observation est à l'astrophysique ce que
l'expérimentation est à la Physique

La sphère des fixes...



Le premier instrument d'observation

- L'oeil
- 2 éléments optiques:
 - Cristallin: lentille frontale concentrant la lumière
 - Rétine: matrice sensible aux photons, constituée de cônes (jour) et bâtonnets (nuit)



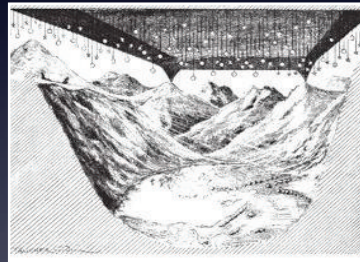
Les premiers observatoires

- Stonehenge
- Carnac...

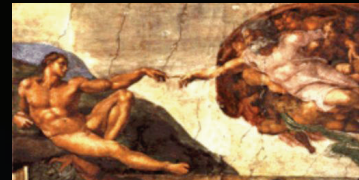


Mayas

- Récurrence des cycles de création/destruction
- 1 année dure 5130 ans
- Cycle actuel: de -3114 à +2012!



La Genèse



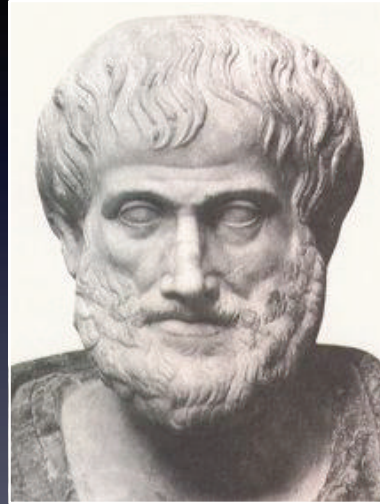
- Une création en 6 jours!
- Gn 1:1- Au commencement, Dieu créa le ciel et la terre.
Gn 1:2- Or la terre était vide et vague, les ténèbres couvraient l'abîme, un vent de Dieu tournoyait sur les eaux.
Gn 1:3- Dieu dit : Que la lumière soit et la lumière fut.
Gn 1:4- Dieu vit que la lumière était bonne, et Dieu sépara la lumière et les ténèbres.
Gn 1:5- Dieu appela la lumière jour et les ténèbres nuit . Il y eut un soir et il y eut un matin : premier jour.
Gn 1:6- Dieu dit : Qu'il y ait un firmament au milieu des eaux et qu'il sépare les eaux d'avec les eaux et il en fut ainsi.
Gn 1:7- Dieu fit le firmament, qui sépara les eaux qui sont sous le firmament d'avec les eaux qui sont au-dessus du firmament,
Gn 1:8- et Dieu appela le firmament ciel . Il y eut un soir et il y eut un matin : deuxième jour.



Aristote



- Philosophe grec (385-322AC)
- 4 éléments: Terre, Eau, Air, Feu
- Univers en “pelure d’oignon”
- Terre plate, immobile, au centre du cosmos (car lourde!)
Autour: sphère du feu
Etoiles: sphère des fixes



“1 corps 2 fois plus lourd lâché dans le vide tombe 2 fois plus vite”

Systeme aristotélicien

- ouvrage: “Physique”
- Planètes fixées sur orbites mvt circulaire uniforme
- Impulsé par “Premier moteur”, sur sphère des fixes, puis transmis aux autres sphères
- Le vide n’existe pas: espace occupé par 56 anastres: sphères composées d’éther



Claude Ptolémée

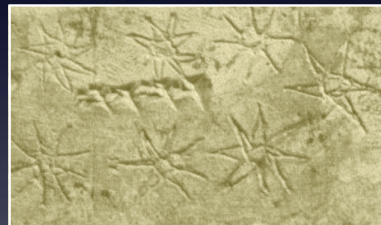
- Premier ouvrage d'Astronomie
- "Almageste": conception de l'Univers
- Nombre d'épicycles multipliés par 40
- Rudolphines



Alfonso X "el Sabio" (1221-1284) Roi de Castille: "Si Dieu m'eût appelé à son conseil quand Il créa le monde, je lui aurais sûrement donné de meilleurs avis pour simplifier le grand ballet céleste".

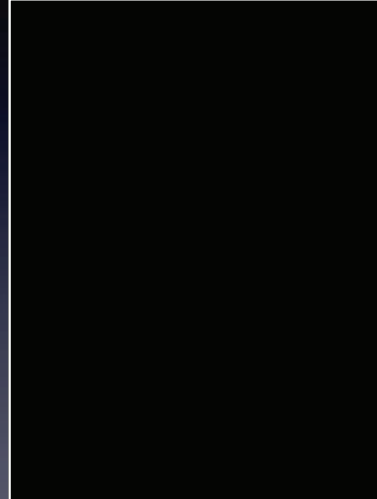
Babyloniens

- Représentation des Pléiades, à l'époque néo-babylonienne (-200)



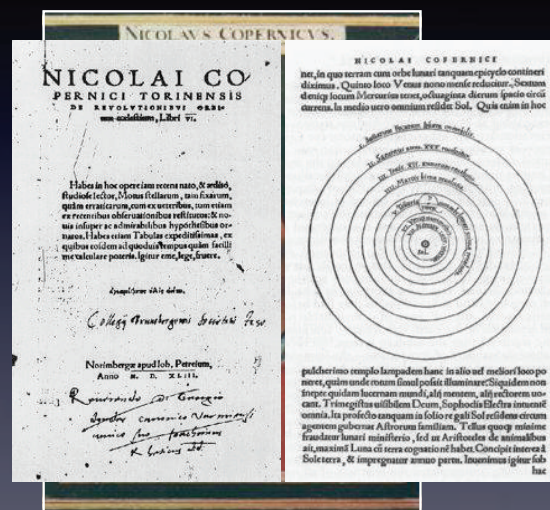
Nicolas de Cues

- Clerc bravant censure et inquisition (1401-1464)
- “De la docte ignorance” (1440)
- Univers insolite, indéfini, toutes les planètes en mvt, la Terre n’est plus au centre



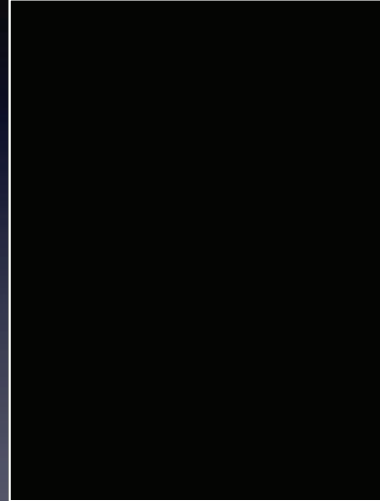
Nicolai Copernicus

- Chanoine polonais (1473-1543)
- “de Revolutionibus” (1543)
- Système héliocentrique Soleil: “lampe du Monde” Planètes gravitent en orbite circulaires (rotation/révolution)
- Du Monde clos à l’Univers infini!



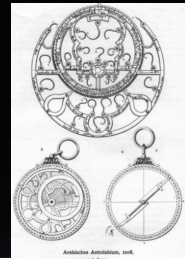
Réaction

- Milieux ecclésiastiques gagnés par le doute, curiosité, tolérance...
- Dieu aurait créé un être si parfait, dans un endroit aussi médiocre, petit, même pas au centre de l'Univers?
- Les Saintes Ecritures peuvent-elles fourmiller à ce point d'erreurs et approximations?



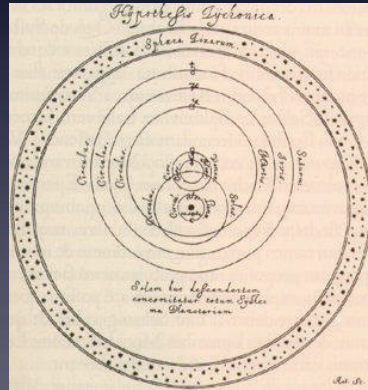
Les premiers instruments

- L'Astrolabe (du latin "astro" étoile, "labe" prendre)
- Inventé par Hipparque, amélioré dans le monde islamique
- Bras tournant repère position étoile sur cercle
- Représentation sphère céleste sur plateau



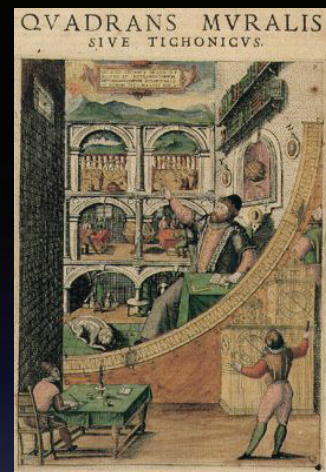
Tycho Brahe

- Le premier observateur (Danois, 1546-1601)
- Hypothesis tychonica



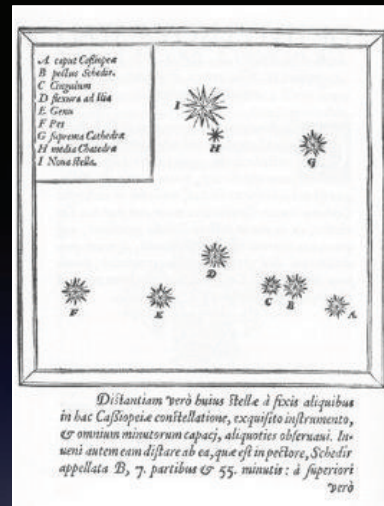
Uraniborg

- Le premier "Observatoire": position de 1000 astres à min arc
- Subventionné par le roi du Danemark
- Aucun instrument optique (instruments de visée: quadrans muralis, quarts de cercle, sextants, astrolabes, sphères armillaires...)



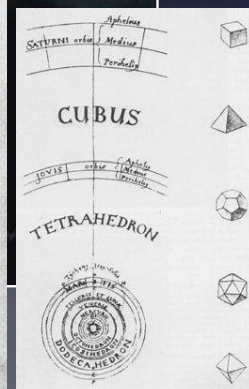
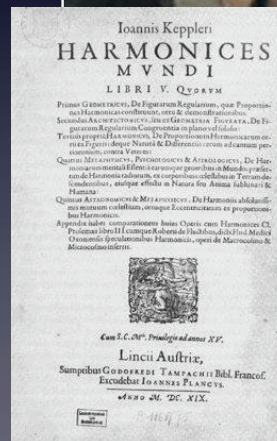
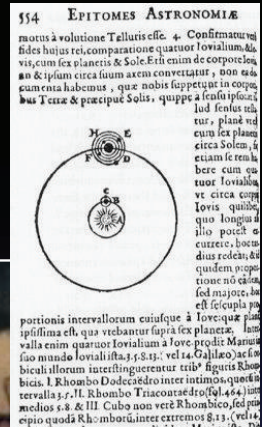
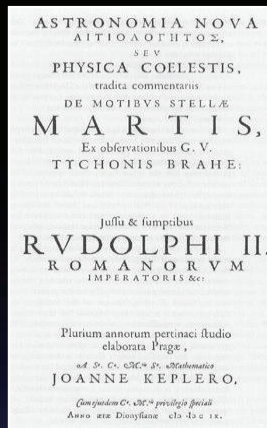
Tycho Brahe

- Dessin de Cassiopée, “Nova Stella”, découverte d’une supernova (11/11/1572-03/1574)
- Comète 1577



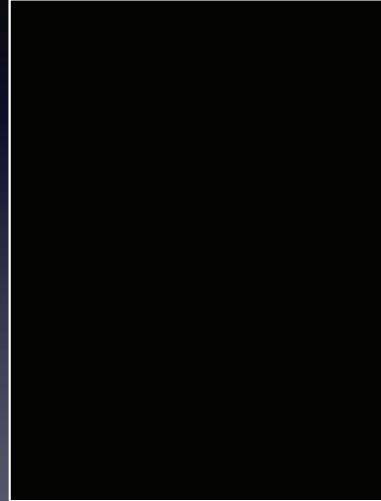
Johannes Kepler

- Protestant allemand (1571-1630)
- Physique, optique, astronomie
- “Astronomia Nova” (1609) Epitomes Astronomiae
- “Harmonices Mundi” Solides



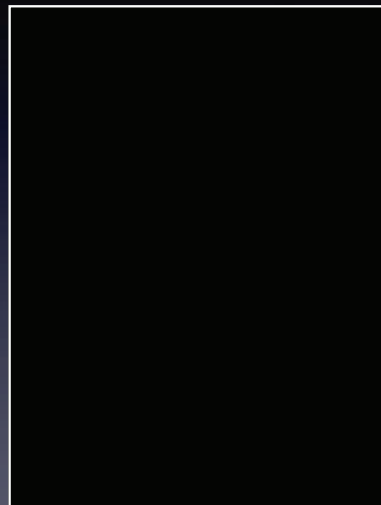
Lois de Kepler

- Système de planètes autour du Soleil:
- 1. L'orbite des planètes est une ellipse, dont l'un des foyers est le Soleil.
- 2. Mvt non régulier, planètes accélèrent près du Soleil
- 3. Relation demi-grand axe² et période³



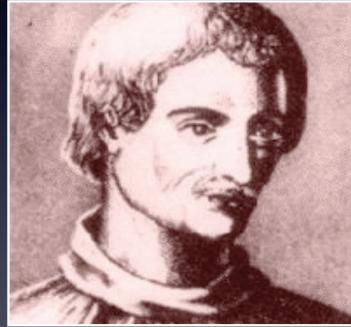
Réaction

- Communauté de savants européens s'émeut rapidement de ces découvertes
- Eglise, emportée par tourbillons de contre-Réforme, réagit aux remises en cause de dogmes sacrés des Saintes Ecritures, vieux de 1500 ans.



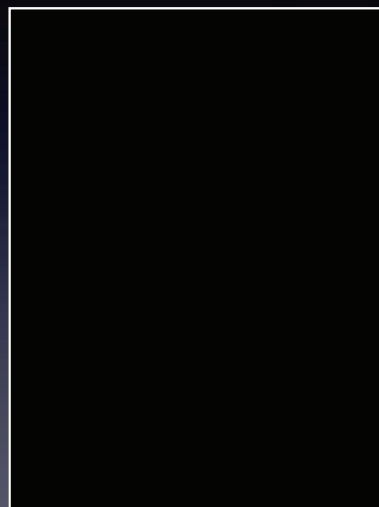
Giordano Bruno

- Docteur en théologie (1548-1600)
- Horizon métaphysique sans limites: conception trop dogmatique!
- Condamné comme "hérétique impénitent, opiniâtre et obstiné". Torturé et brûlé vif par l'Eglise de Rome



Systeme de Bruno

- "Dieu, dont la puissance est infinie, n'a pu créer qu'un Univers sans mesures, à son image"
- L'Univers n'a pas de centre, est infini. Soleil+planètes: un système quelconque.
- Pluralité infinie des mondes, d'une matière homogène composée des 4 éléments



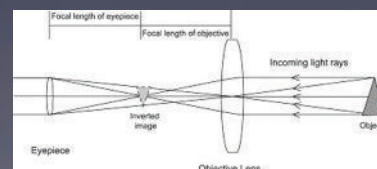
"Le centre est partout et la circonférence nulle part."

Le début de l' "astronomie"



Les premières lunettes

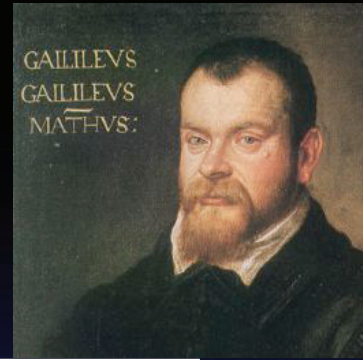
- Lunette hollandaise
- $L=1-6$ m, $G=14-50\times$
- Carton, bois, papier florentin, cuir, soie, velours
- Champ sombre, $\sim 1/2$ pleine Lune
- Fortes aberrations



Utilisées comme longues-vues terrestres par l'armée de terre et la marine

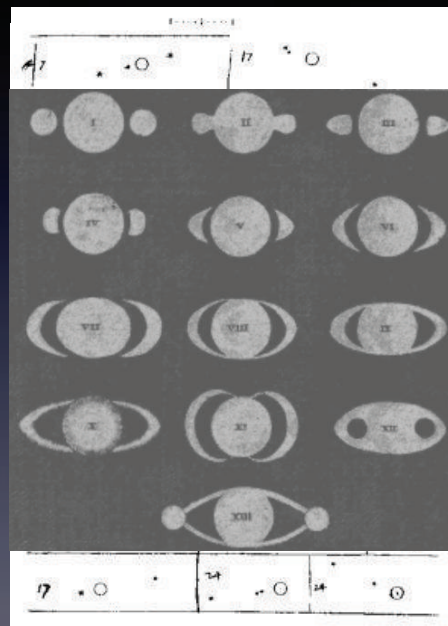
Galileo Galilei

- Mathématicien italien (1564-1642)
- Lunette hollandaise améliorée (grossissement, mise au point)
- Sidereus Nuncius (1610)



Premières observations

- Lune: cratères
- Vénus: phases
- Soleil: tâches
- Voie lactée: étoiles (Orion)
- Jupiter: 4 Lunes!
- Saturne



Galilée

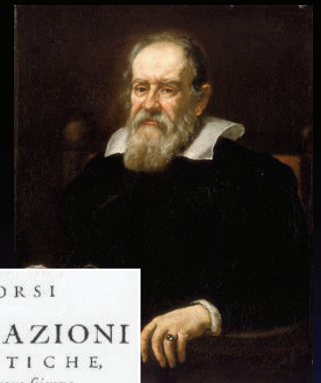
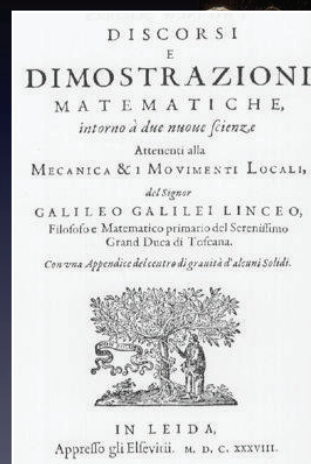
- “Dialogues sur les 2 grands systèmes du Monde” (1632)
Salviati (Copernic),
Simplicio (Urbain VIII?)
- Sainte Inquisition (1633)
Abjure (“Eppur, si muove”)
assigné à résidence
- Eglise coupée du monde scientifique



1992: révision du procès par l'Eglise de Jean-Paul II:
"tragique et réciproque incompréhension entre 2 hommes"

Galilée

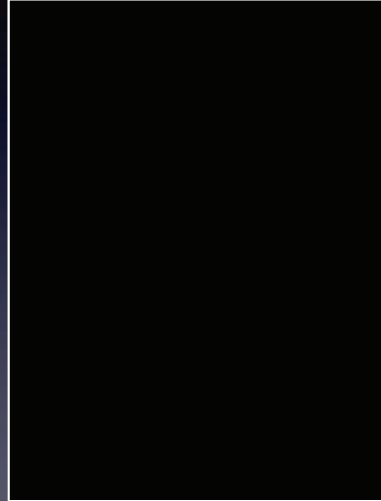
- Astronome, Physicien,
Mathématicien
- Expérience Tour de Pise:
“2 corps de masses
différentes lâchés
ensemble dans le vide
tombent à vitesse
égale” (≠Aristote!)
- Lois de pesanteur,
principe d'inertie



“Un passage des Saintes Ecritures peut être interprété symboliquement,
une observation démontrée scientifiquement doit être admise.”

Mystère!

- Comment un système de planètes tient-il?
- Kepler: grâce aux forces émanant du Soleil, gigantesque aimant
- Galilée: mvt perpétuel, inertie
- Hypothèses non démontrables



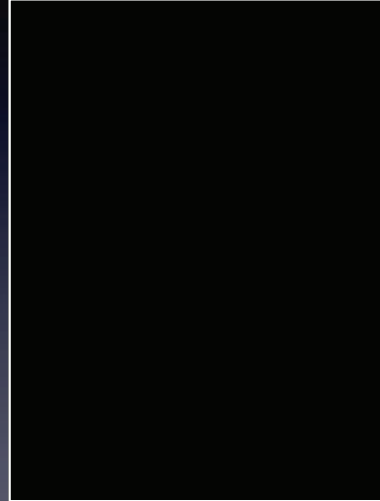
Newton

- Physicien anglais (1642-1727)
- “Philosophiae naturalis principia mathematica” (1687)
- Loi d’attraction universelle (à 20 ans! publiée grâce à Halley)
- Invention du télescope (1672)



Lois de Newton

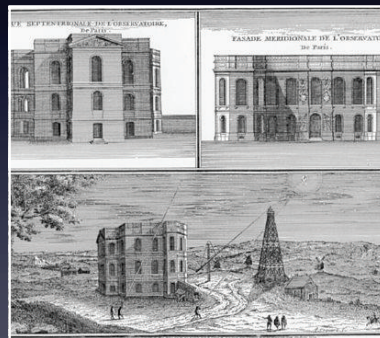
- 1. Principe d'inertie: mvt rectiligne uniforme
- 2. Force proportionnelle à l'accélération
- 3. A toute action correspond une réaction, égale et opposée.



"Si j'ai vu plus loin, c'est que j'étais juché sur des épaules de géants"

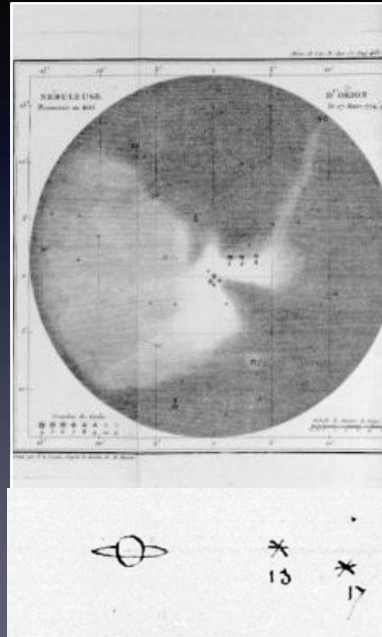
L'observatoire de Paris

- Inauguré en 1667
- Emplacement: encerclé par des jardins de religieux (N, E, O), campagne et moulins à vent (Sud, horizon dégagé)



Observations

- Dessins de D. Cassini, (1673-4)
- Nébuleuse d'Orion
- Saturne



Observations(!)

- Canaux de Mars



Les dernières lunettes...

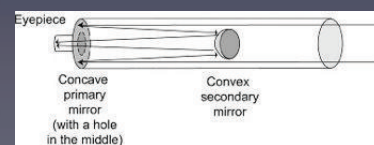
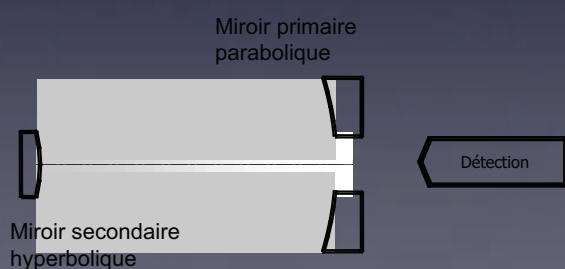
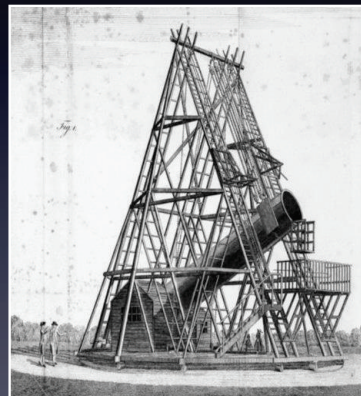


- Observatoire de Yerkes (Chicago)
- La plus grande lunette du monde:
 - Diamètre: 1.02m
 - Focale: 18m
 - Masse (lunette +monture): 80 tonnes



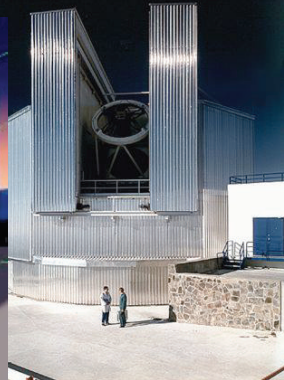
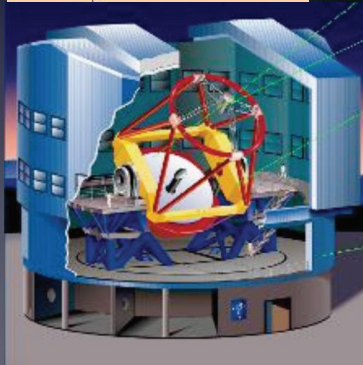
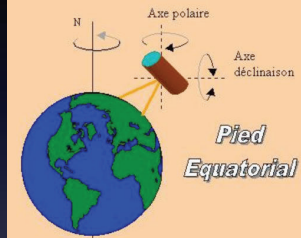
Les premiers télescopes

- Télescope de Sir William Herschel, Diamètre 40 pouces (1m), 1798



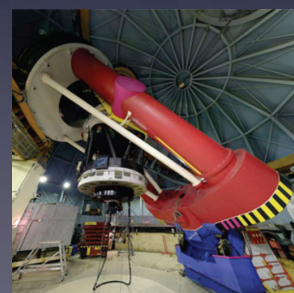
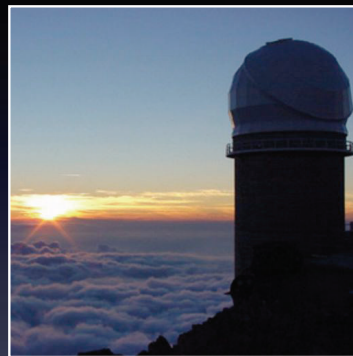
Les montures

- Monture équatoriale (Lunette observatoire Meudon)
- Altazimuthale (NTT)



Le Pic du Midi

- 1^{er} observatoire français en altitude (2876m)
- Fondé en 1878
- Télescopes de 1 et 2 m



Observatoire, île d'Hawaii

- Premier télescope français en dehors du territoire (1974)
- Canada-France-Hawaii (CFHT) Diamètre 3.6m, Mauna Kea, volcan éteint à 4200m
- Equatoriale berceau



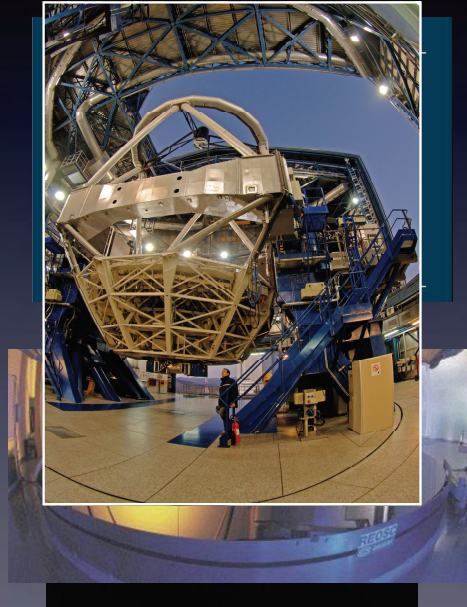
Observatoire La Silla, Chili

- European Southern Observatory (ESO)
- 2 télescopes $D=4m$
- Inauguration 1970
- Montures équatoriale / altazimuthale

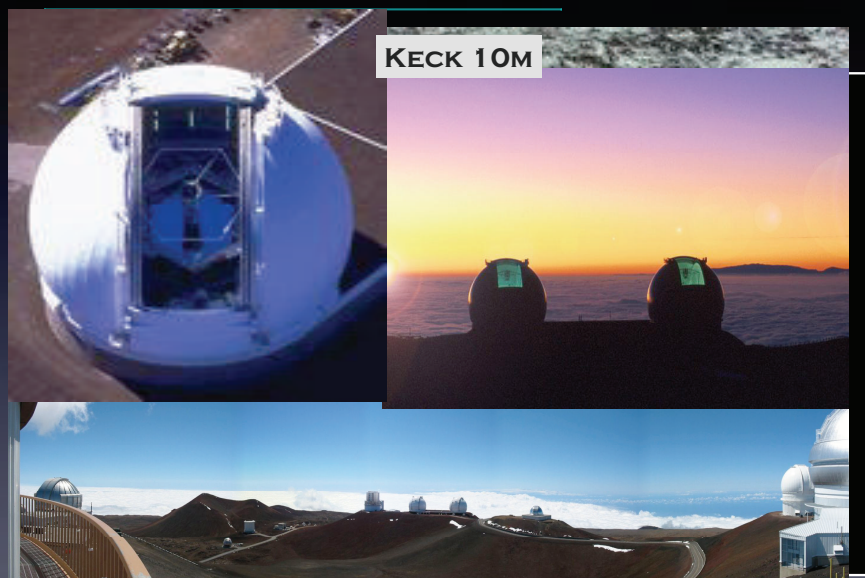


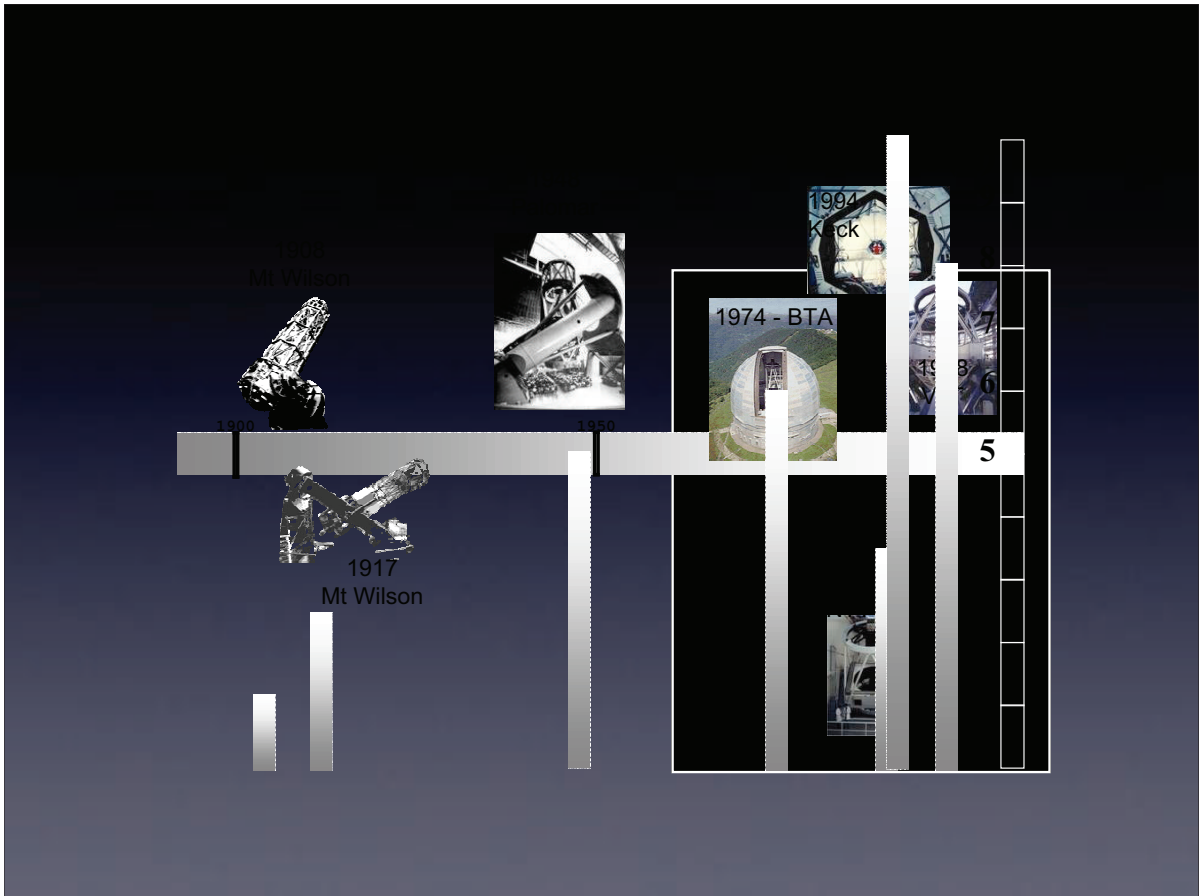
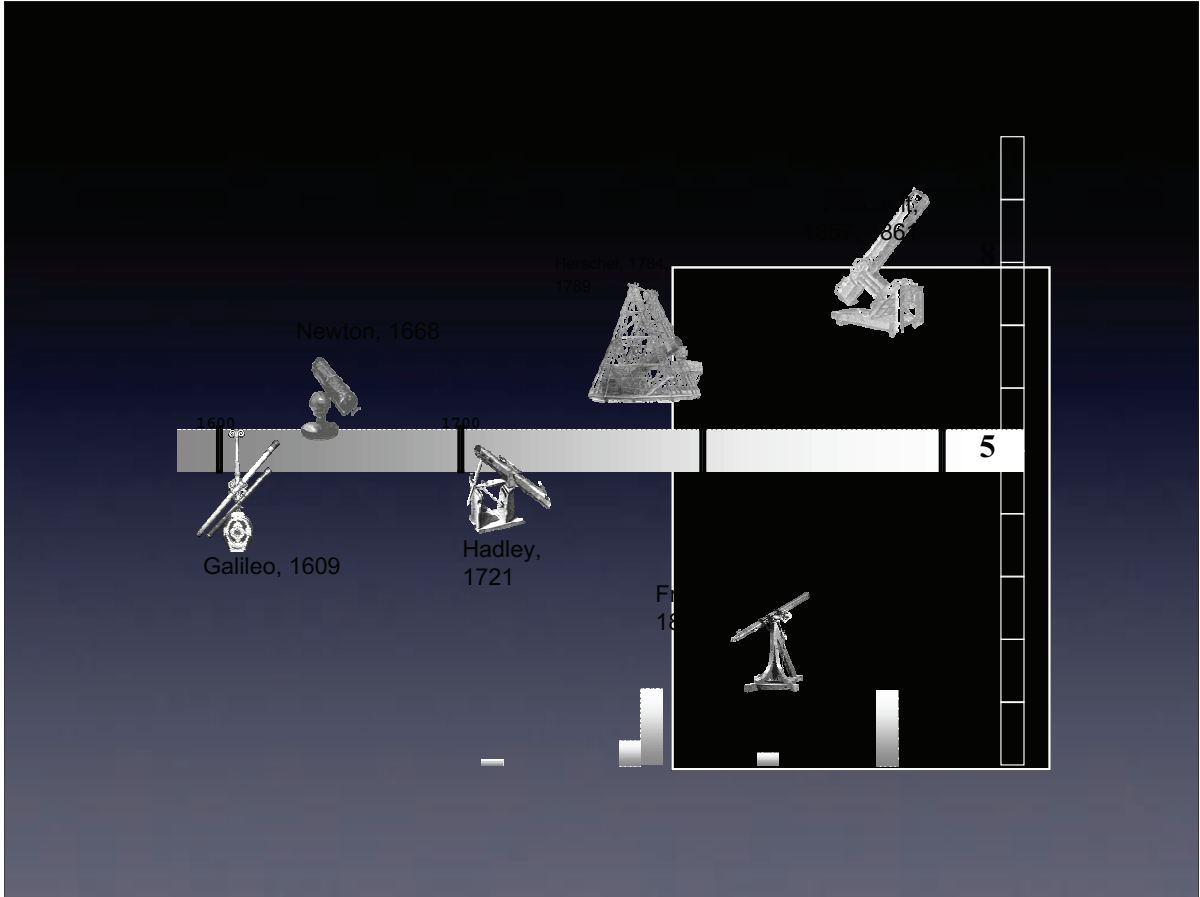
Observatoire Paranal, Chili

- ESO/VLT: 4 télescopes
D=8.2m, miroir poli par
SAGEM/REOSC
- Optique active,
adaptative
- VLTI: Interférométrie
optique/IR
- Budget ESO: 140 10⁶ €/
an (3 sites, 8 télescopes)



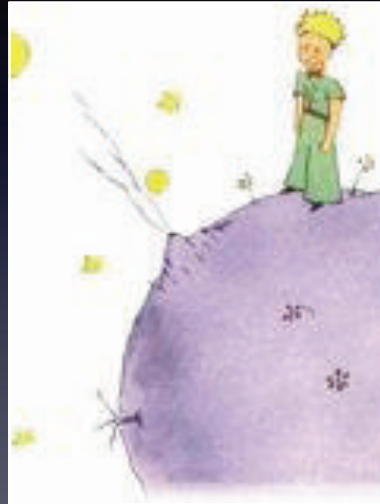
Grands télescopes





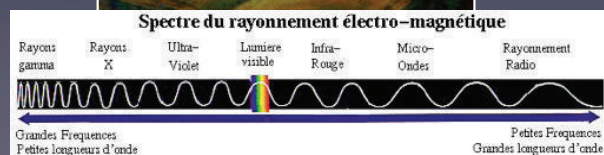
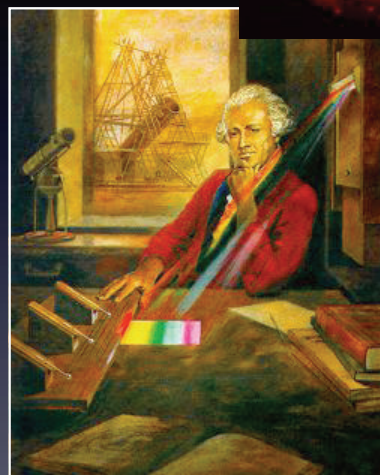
Le petit prince

- On ne voit bien qu'avec le coeur, l'essentiel est invisible pour les yeux

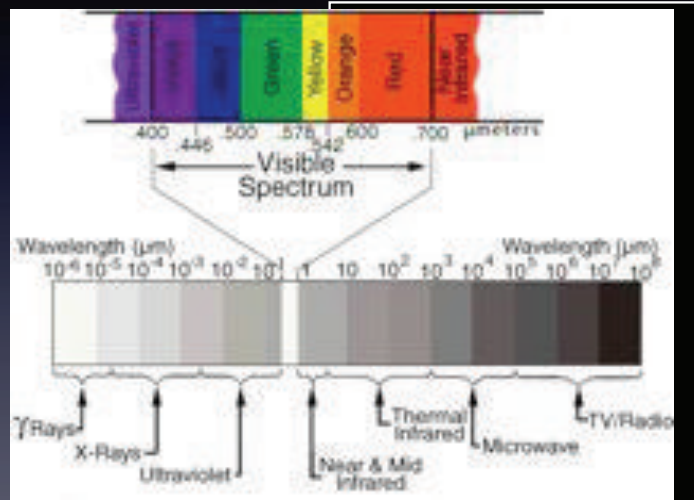


Découverte de l'infrarouge

- Herschel découvre fortuitement le rayonnement IR en 1800
- Mesure de température des couleurs du spectre solaire, les plus hautes T juste après le rouge
- Preuve de l'existence de lumière invisible à nos yeux!

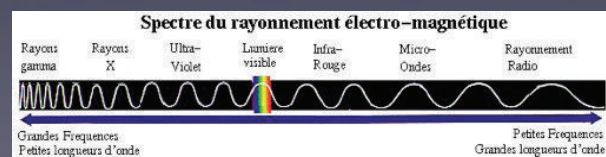
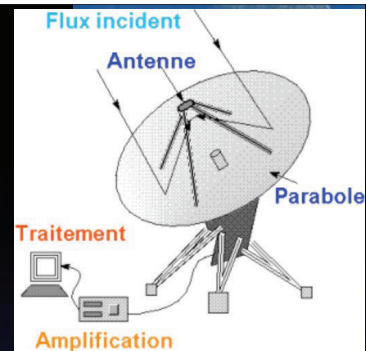


Le spectre électro-magnétique



Découverte de la radio

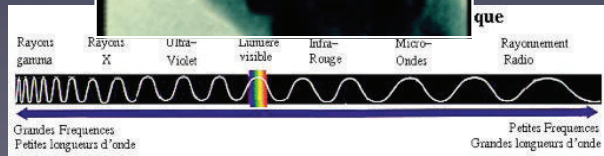
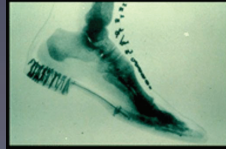
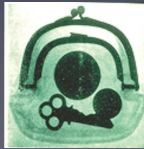
- Invention collective
- 1865: Maxwell prouve l'existence des ondes électro-magnétiques
- 1888: Hertz confirme expérimentalement leur existence
- Développement 2^{de} guerre mondiale



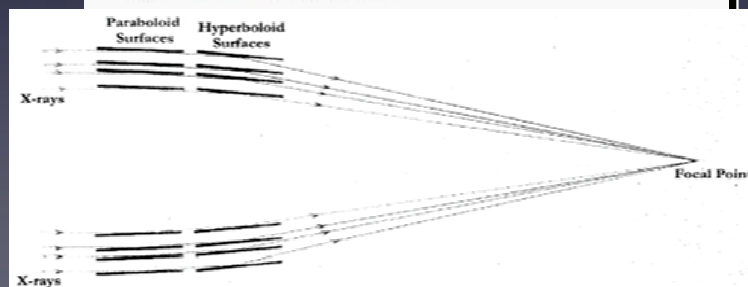
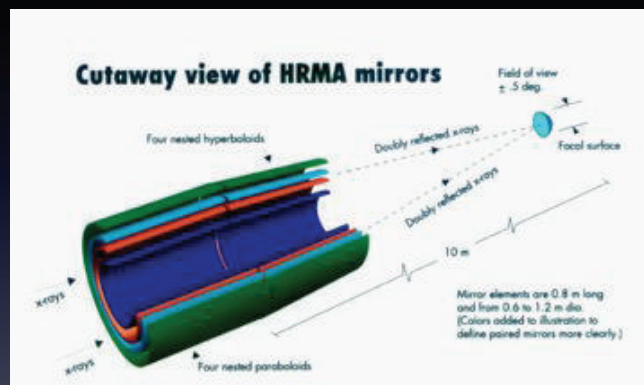
Découverte des X



- Röntgen (1845-1923), physicien allemand, découvre les rayons X
- 1^{er} prix Nobel de Physique (1901)

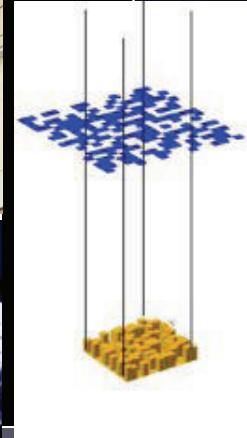


Observation des X



Observation des X

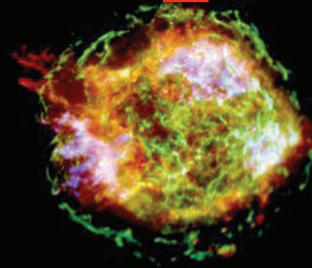
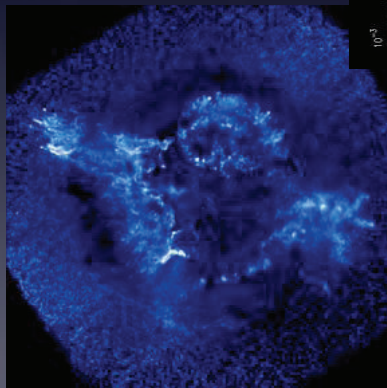
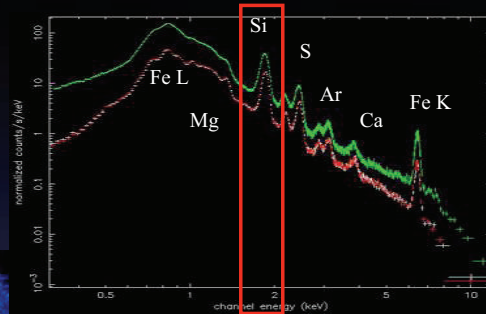
- Observation avec masque codé dans durs
- INTEGRAL, Swift



Observation des X

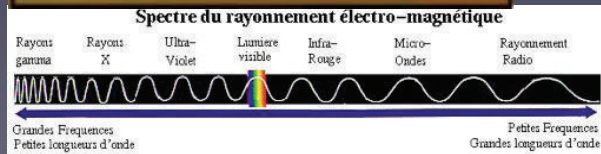
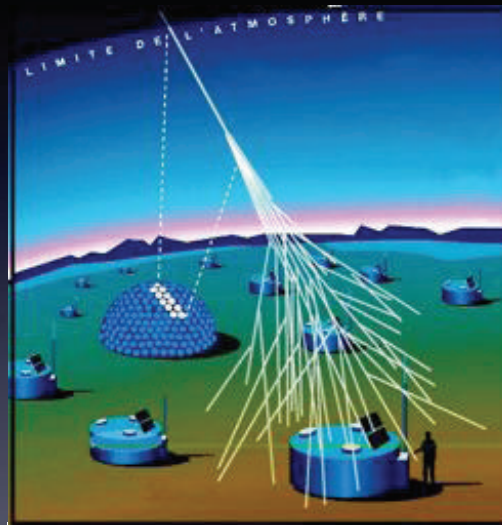
Supernovae

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



Les rayons γ

- Observation de la lumière Cerenkov: photons de THE
- Cascade de particules chargées relativistes $v > v_{\text{phase atm}}$
- Crêpe $D=200\text{m}$, $\sim 1\text{m}$ épaisseur

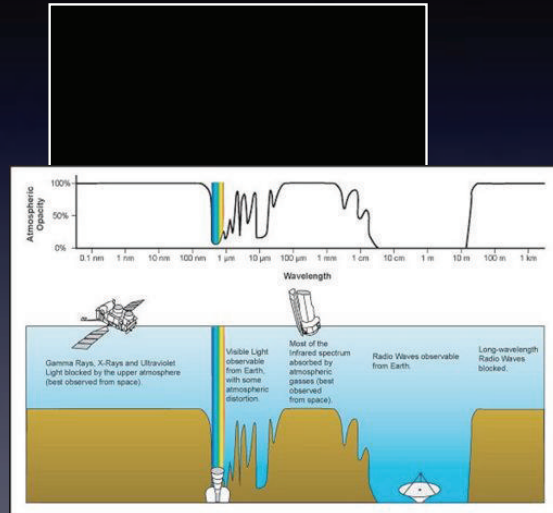


HESS



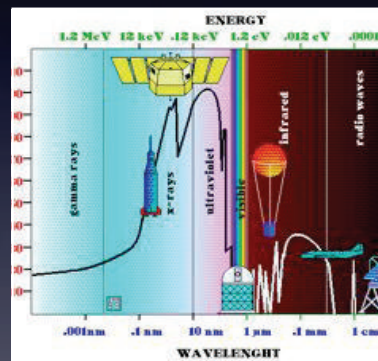
Les ondes vues de la Terre

- Pourquoi n'a-t-on pas toujours observé dans toutes les longueurs d'onde?
- 1. L'œil est adapté à l'émission maximale du Soleil
- 2. L'atmosphère ne laisse pas passer tous les rayonnements



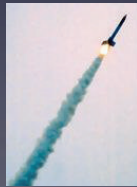
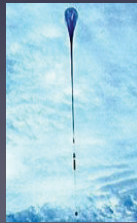
L'astrophysique spatiale

- Pour s'affranchir de l'atmosphère: fusées, ballons, avions, satellites
- Mais l'espace reste cher!
- Gros satellite: 330 10⁶ €
Lancement: 1kg Or/kg
- Complémentarité sol/ espace



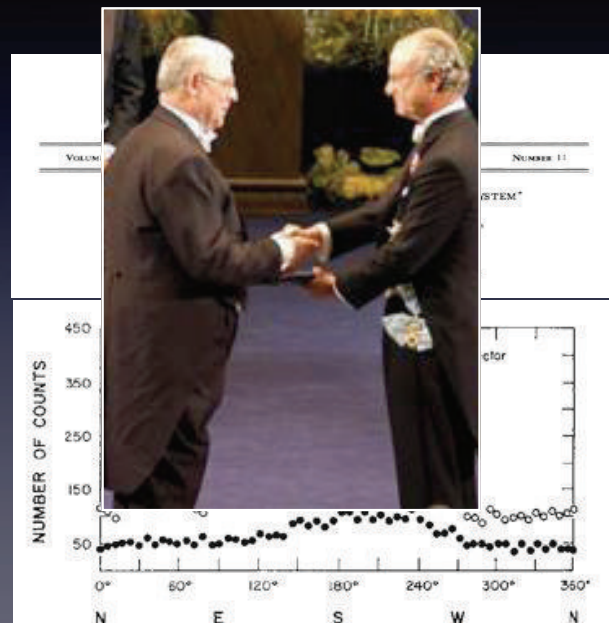
L'astrophysique spatiale

- Ballons stato-sphériques jusqu'à 40 km
- Fusées (~mn)



Le début de l'astronomie X

- Découverte de la 1ère source X extra-solaire: Sco X-1 (Giacconi et al 1962; prix Nobel de Physique 2002)



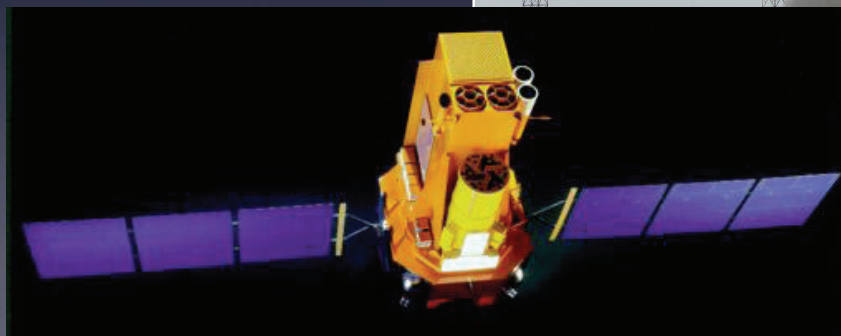
L'astrophysique spatiale

- Avions
- KAO (1974-1994)
- SOFIA (2006): télescope
D=2.5m, Boeing 747



L'astrophysique spatiale

- Les satellites



Satellites

- Optique (Hubble)
- IR (Spitzer, Herschel)
- X (Chandra, XMM, INTEGRAL, Swift)
- γ (Fermi)



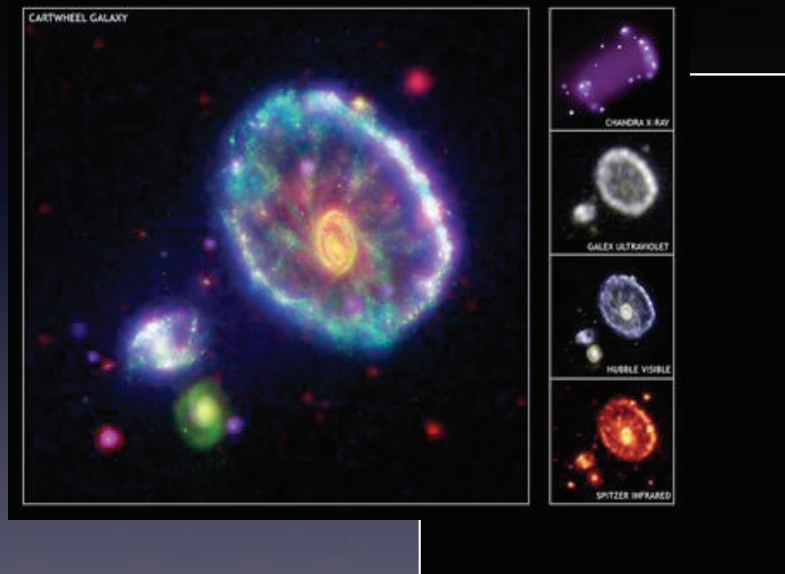
Complémentarité sol/espace



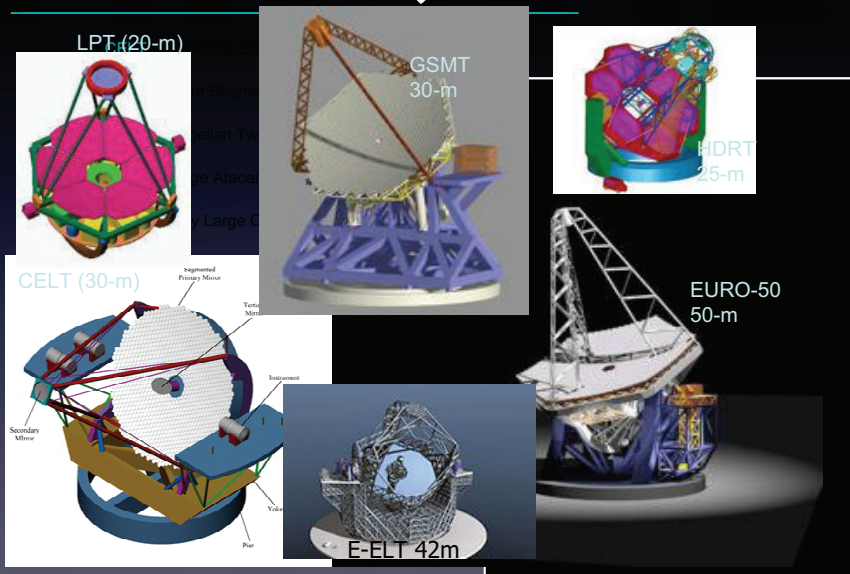
- Télescopes au sol et dans l'espace



Multi-longueur d'onde

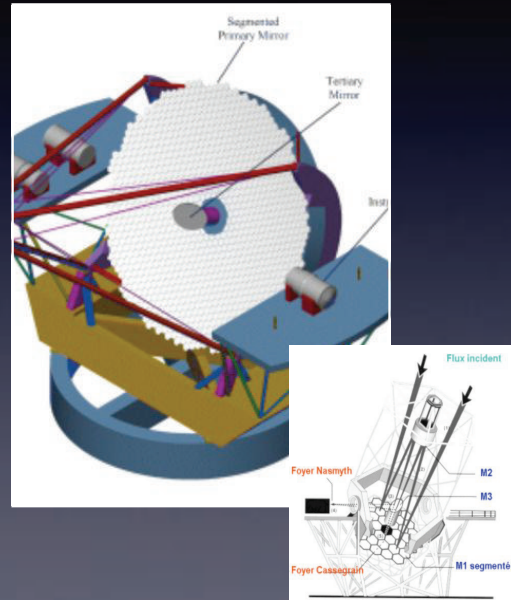


Projets



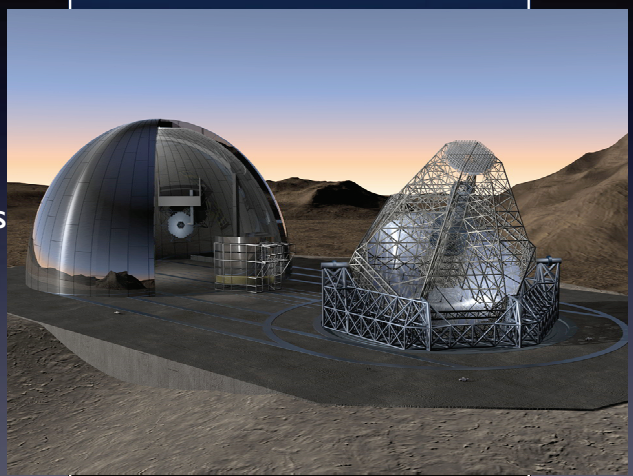
Télescopes du futur

- Miroirs de 8-10m: trop fins, déformation passive
- Multi-Miroirs: Keck 10m, GTC 10m



E-ELT

- European-Extremely Large Telescope
- Combinaison miroir primaire asphérique D=42m + autres miroirs
- Difficultés: résistance au vent, tremblements de Terre
- Coût: 850×10^6 €, sur 10 ans



Le futur

- James Webb Space Telescope (JWST)
- Optique/IR, D=6.5m, 18 segments (Be), masse: 6 tonnes, bouclier solaire $22 \times 10 \text{ m}^2$
- Orbite: $1.5 \times 10^6 \text{ km}$ L2
- Univers jeune, formation des galaxies, exoplanètes



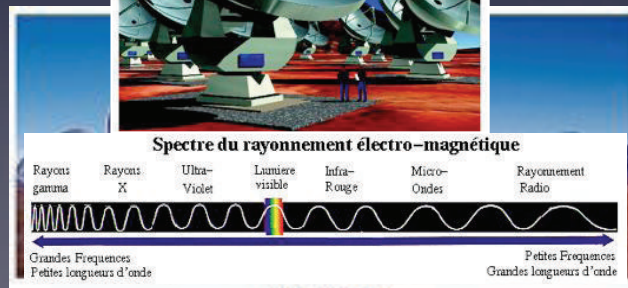
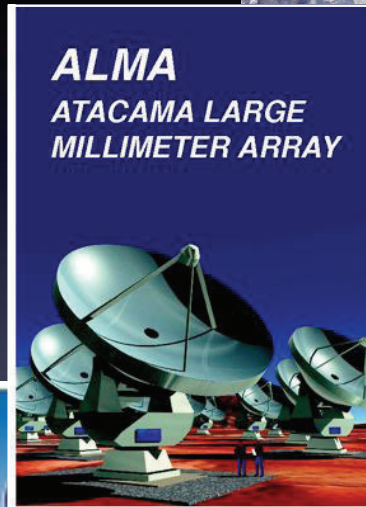
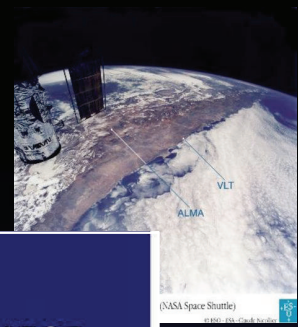
Interféromètres spatiaux

- Terrestrial Planet Finder (TPF, NASA, 2014-2020)
- Darwin (ESA, 2015): 6 télescopes D=3m combinés sur 100m, orbite L2
- Etude de composition chimique des exoplanètes terrestres



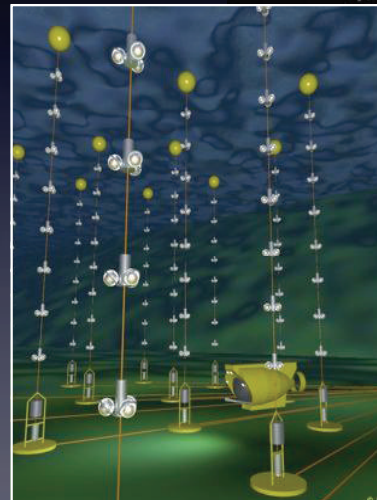
ALMA

- Le plus grand projet sol de la prochaine décennie
- Chajnantor (5100m, Chili)
- 64 antennes de 12m, sub-mm
- Lignes de base: -> 10km



Les neutrinos

- ANTARES: télescope neutrino, Méditerranée
- Détection de muons ascendants, résultant d'interactions muon-neutrino sous le détecteur



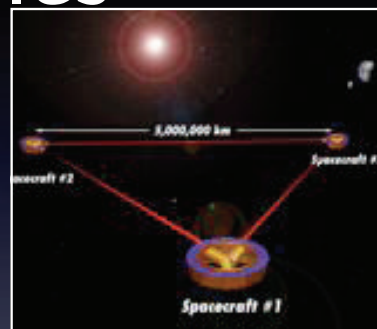
sous la glace: AMANDA

1993 Premières lignes AMANDA A
1998 AMANDA B10 ~ 300 Optical Modules
2000 AMANDA II ~ 700 Optical Modules
2010 ICECUBE 4800 Optical Modules

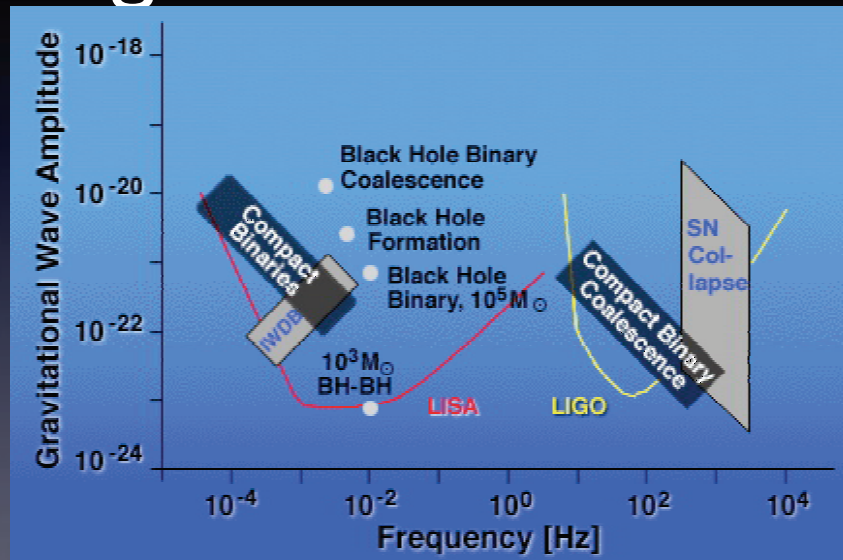


Les ondes gravitationnelles

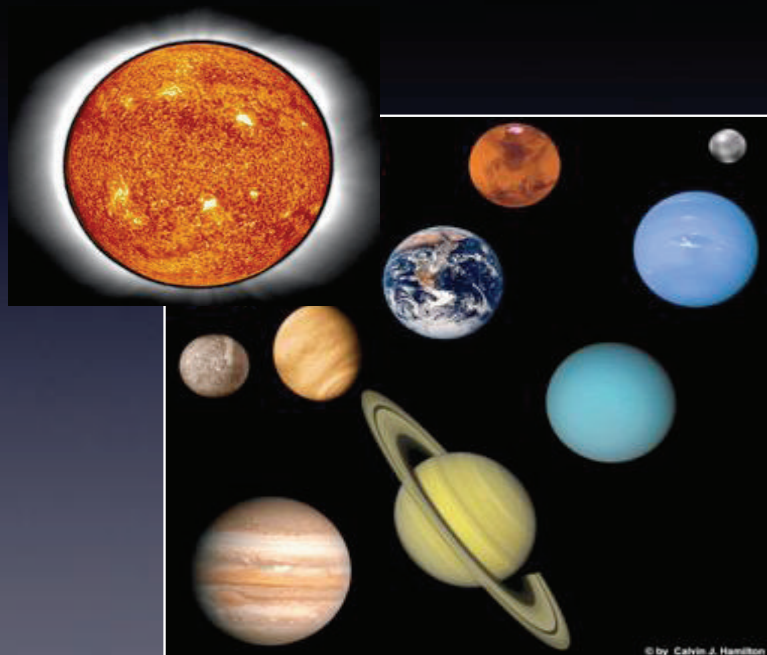
- LISA: futur observatoire spatial d'ondes gravitationnelles (ESA/ NASA)



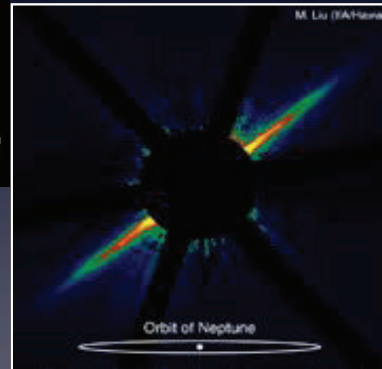
Les ondes gravitationnelles



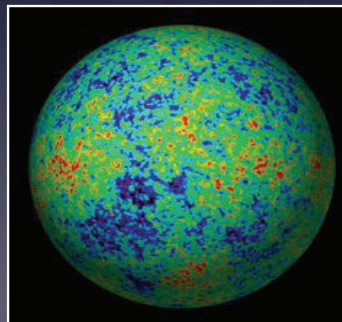
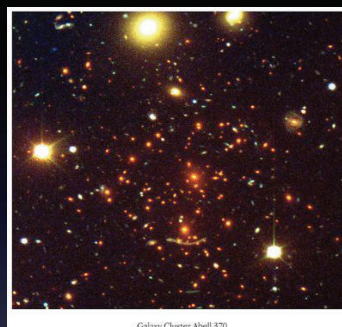
Des planètes...



...aux exoplanètes

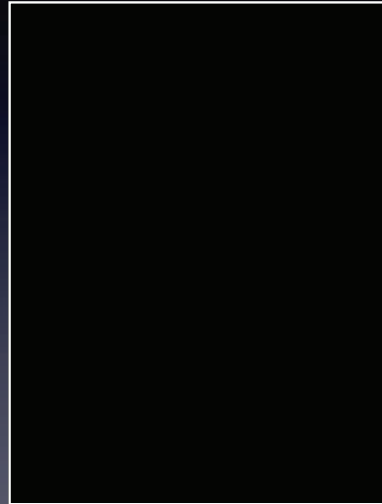


- Un univers aux grands espaces, 13.7 milliards d'années



Principe anthropique

- Faible / Fort
- Principe métaphysique formulé par Schopenhauer
- “Si nous observons l’Univers tel que nous le connaissons, c’est avant toute autre chose parce que nous nous y trouvons!”



That's all, Folks!

