



Beautés du Ciel Phénomènes Cosmiques



Albert Bijaoui

Astronome Emérite

Observatoire de la Côte d'Azur



Plan

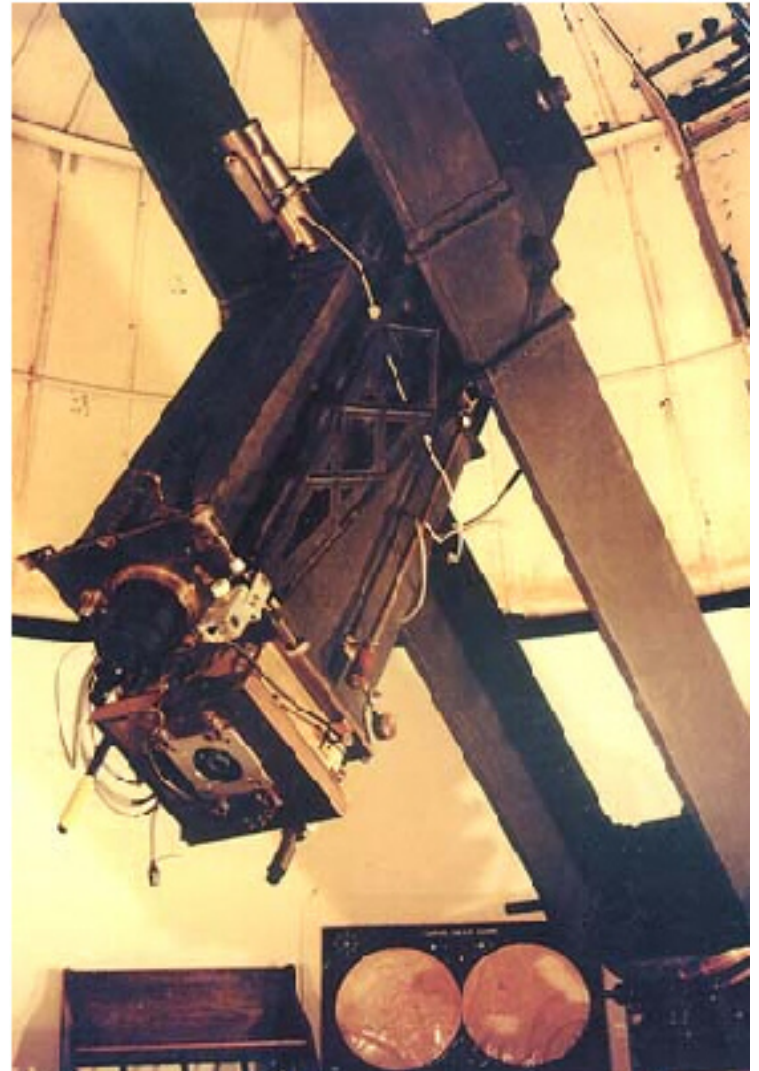
- L'imagerie astronomique
- *Le Hubble Space Telescope*
- Petite promenade dans sa galerie d'images
- Image de l'amas de galaxies Abell 2218
 - Décryptage de cette image
- L'esthétique et la science



L'Imagerie Astronomique

La Révolution Photographique

- Il a fallu attendre 1840 pour avoir la première photographie de la Lune
- Apporte l'objectivité de la perception
- Gain en sensibilité
- **La Carte du ciel**



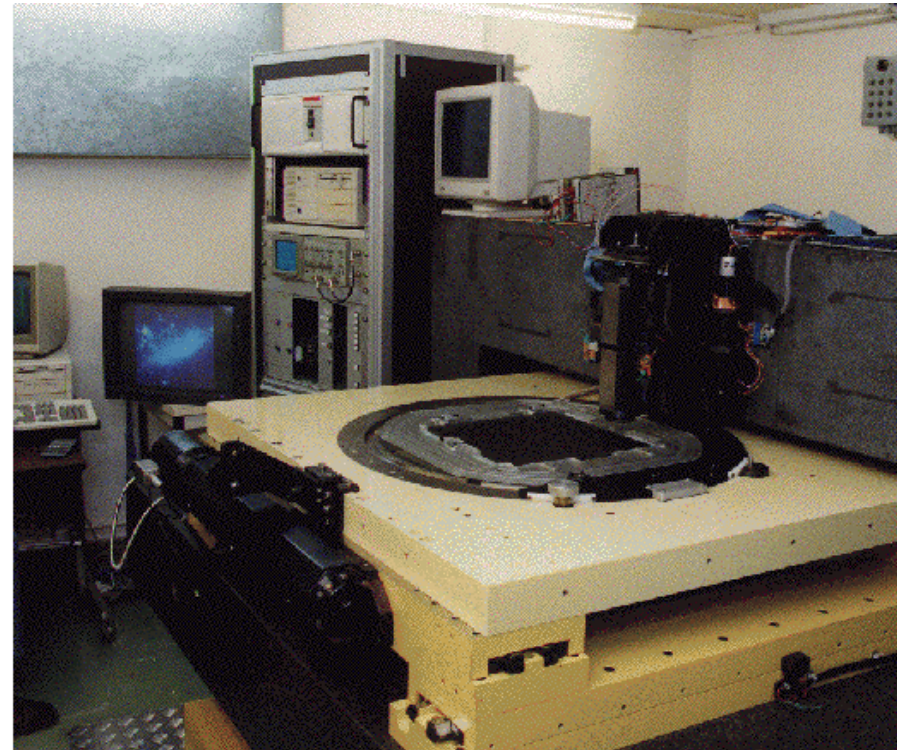
Les télescopes du XXe siècle

- Des grands collecteurs
 - Plus de sensibilité
- Plus de résolution angulaire
 - Optique adaptative
- Les meilleurs sites planétaires
- Les télescopes spatiaux



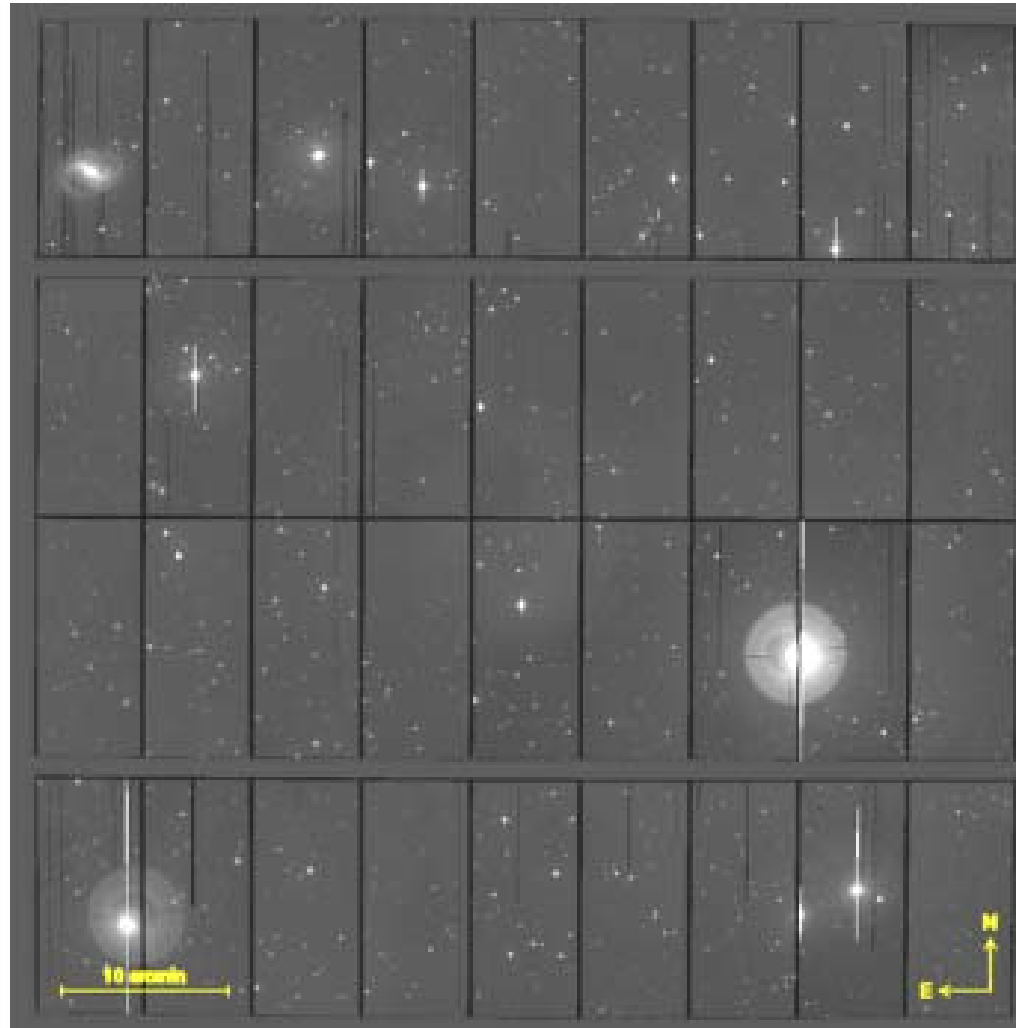
De Nouvelles Techniques

- Nouveaux détecteurs
 - Plus de sensibilité
 - Nouveaux domaines de longueur d'onde
 - Numérisation
 - Microdensitomètres
 - Traitement numérique des images
 - Améliorations
 - Visualisation
- Intelligence artificielle





La Caméra MEGACAM



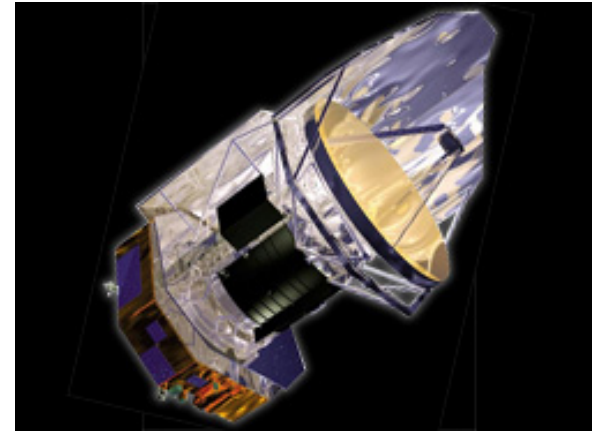
Les Grands Instruments

- Keck, VLA, CFHT, ESO, ALMA, LOFAR,
...



Les Missions Spatiales

- Les Grandes Agences
 - NASA, ESA, JAXA, Russie, ..
- Les Grandes missions
 - HST, Spitzer, XMM, Chandra, Fermi, Integral, Planck, Herschel, etc
 - Missions solaires, planétaires et système solaire





L'exploitation grâce au réseau

- Utilisation de toute la gamme d'images
- Libre accès via les observatoires virtuels



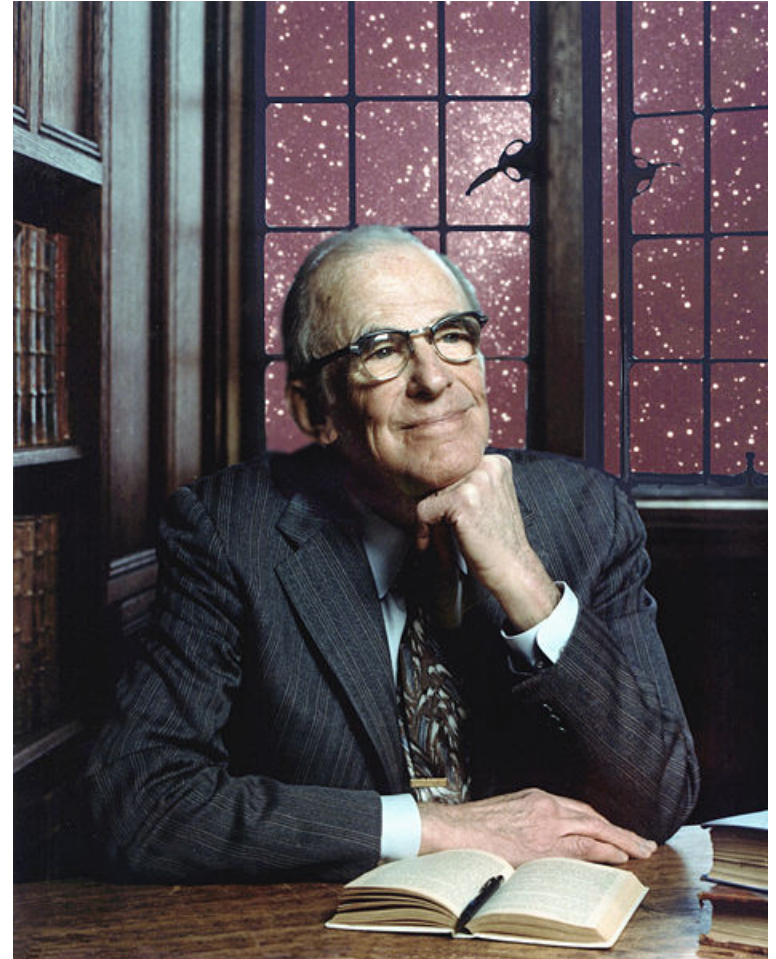


Le Hubble Space Telescope
et
Sa Galerie Exemplaire d'Images
<http://hubblesite.org/gallery/>

Grappling Hubble
Image Credit: NASA, 2009

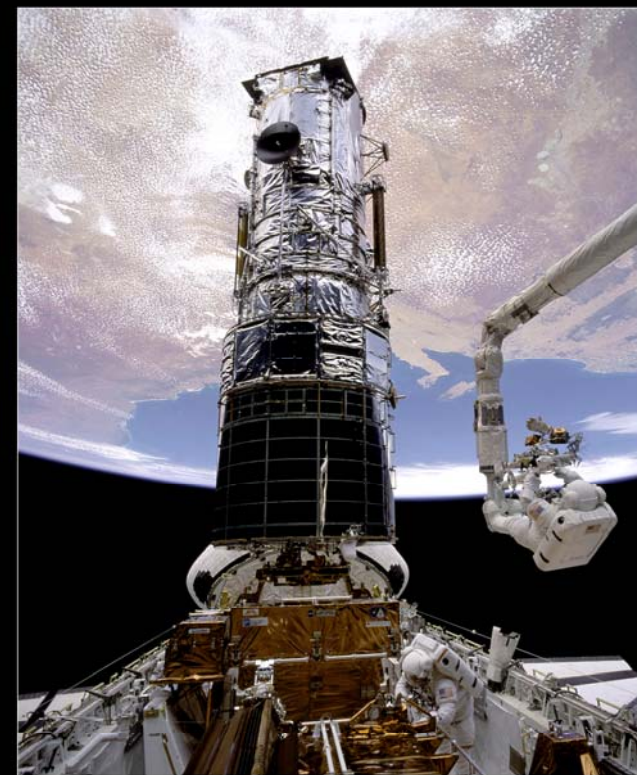
Une longue histoire

- Idée d'H.Oberth (1923)
- Reprise par Lyman Spitzer (1946)
- Approuvée par la NASA en 1969
- Lente évolution
 - La navette spatiale
 - Optique (Ritchey-Chrétien de 2m40)



Le Mauvais Sort

- Finalisation et lancement
 - Catastrophe de Challenger (26 Janvier 1986)
 - Lancement (24 Avril 1990)
- Erreur sur la surface du miroir
 - Les images sont floues !
 - Nécessité d'un correcteur (2 Décembre 1993)



Hubble Docked with the Shuttle Endeavor

Image Credit: NASA, 1993

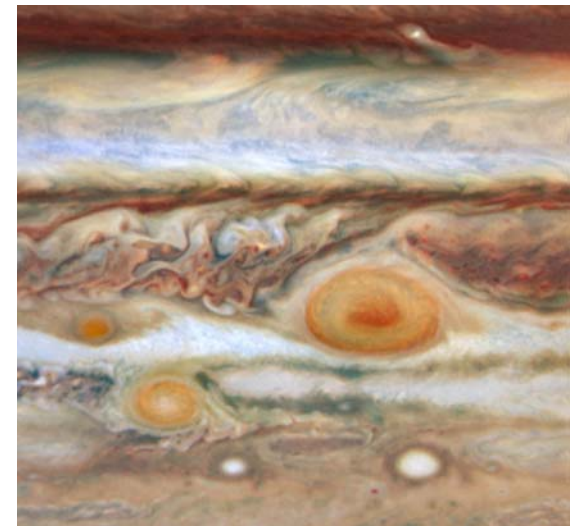
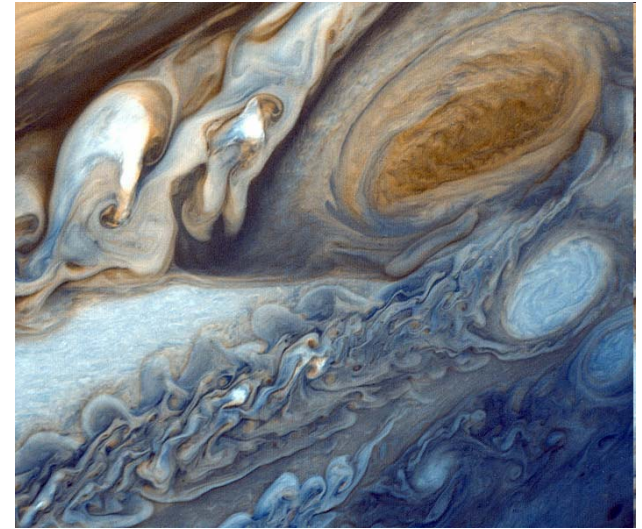
Le HST et l'imagerie

- Ce n'est qu'un des aspects de la mission!
- Attente de la première maintenance
- Images extraordinaires:
 - Résolution angulaire
 - Contraste sur le ciel
- Imagerie en couleur
- Diffusion auprès de tous
 - Large ouverture à la perception des phénomènes cosmiques



Jupiter & sa tache rouge

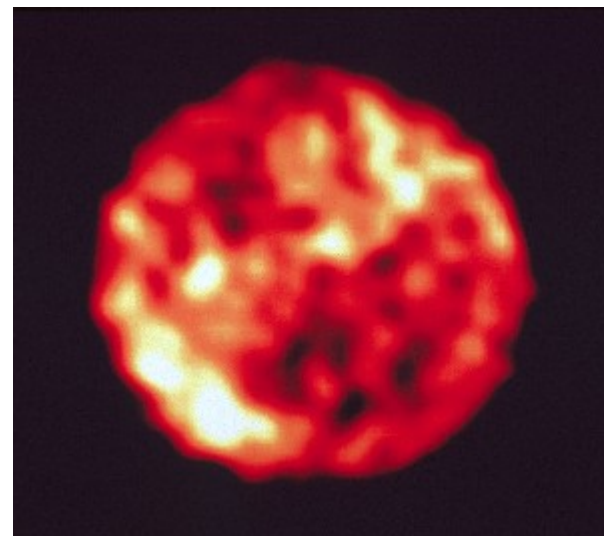
- La tache rouge est un gigantesque cyclone visible depuis plusieurs centaines d'années à la surface de Jupiter
- En haut il s'agit d'une image transmise par la sonde Voyager 2
- Au dessous, c'est une image du HST prise en 2008, mettant en évidence une seconde tache rouge



Les satellites galiléens



- Un montage des images des quatre satellites galiléens classés par ordre de taille : Ganymède, Callisto, Io and Europe.
- Io en UV vue du HST





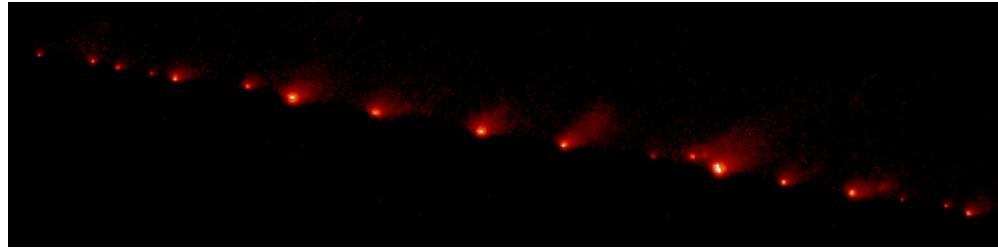
Les Astéroïdes

- En haut : image de l'astéroïde Vesta prise avec le HST.
- En bas : astéroïde Ida avec son satellite Dactyl observée avec la sonde Galileo.





Chute d'une Comète sur Jupiter



Evolution of D/G Comet Impact Sites on Jupiter

July 18, 1994

July 23, 1994

July 30, 1994

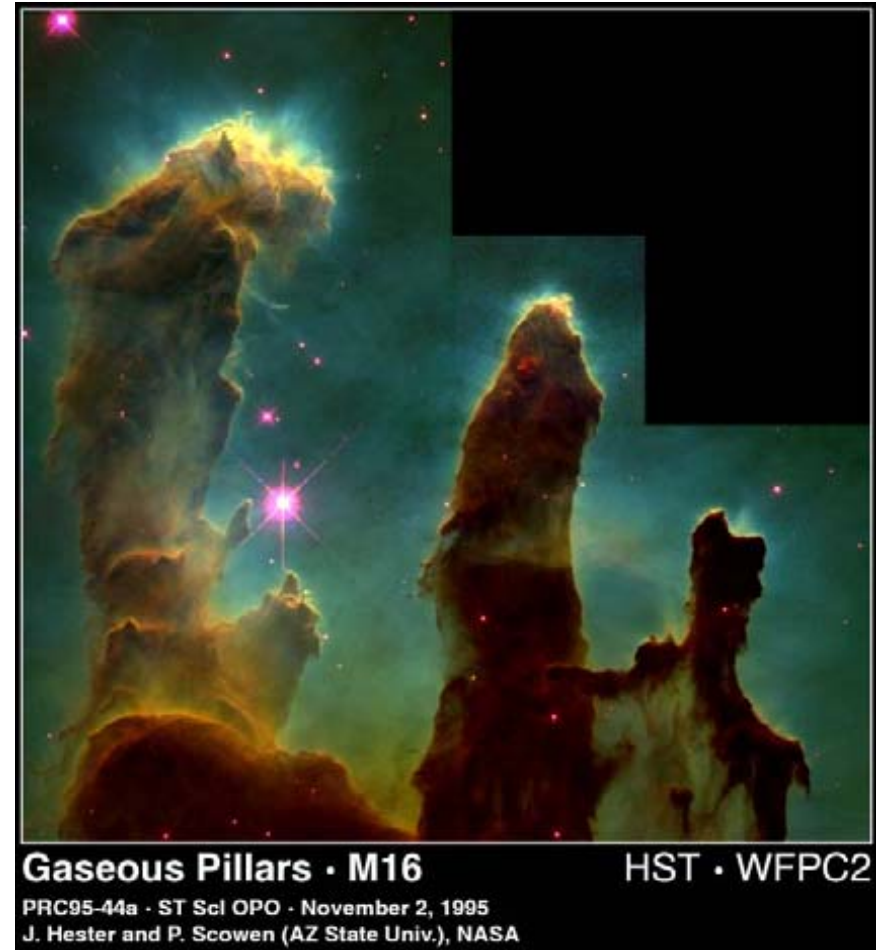
August 24, 1994

Hubble Space Telescope • Wide Field Planetary Camera 2

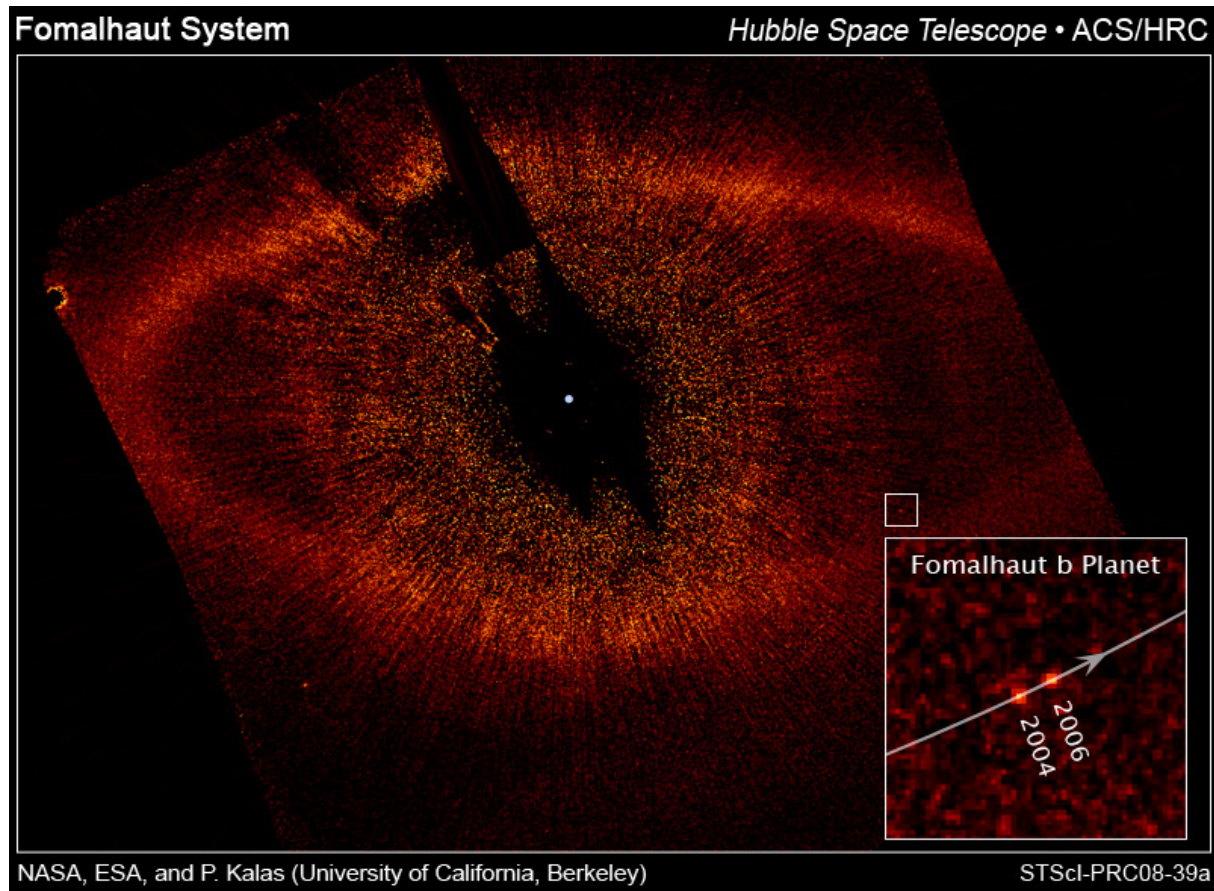
Les Piliers de la Création dans La Nébuleuse de l'Aigle



Nébuleuse de l'Aigle (M16)
Image du jour 21/09/2003

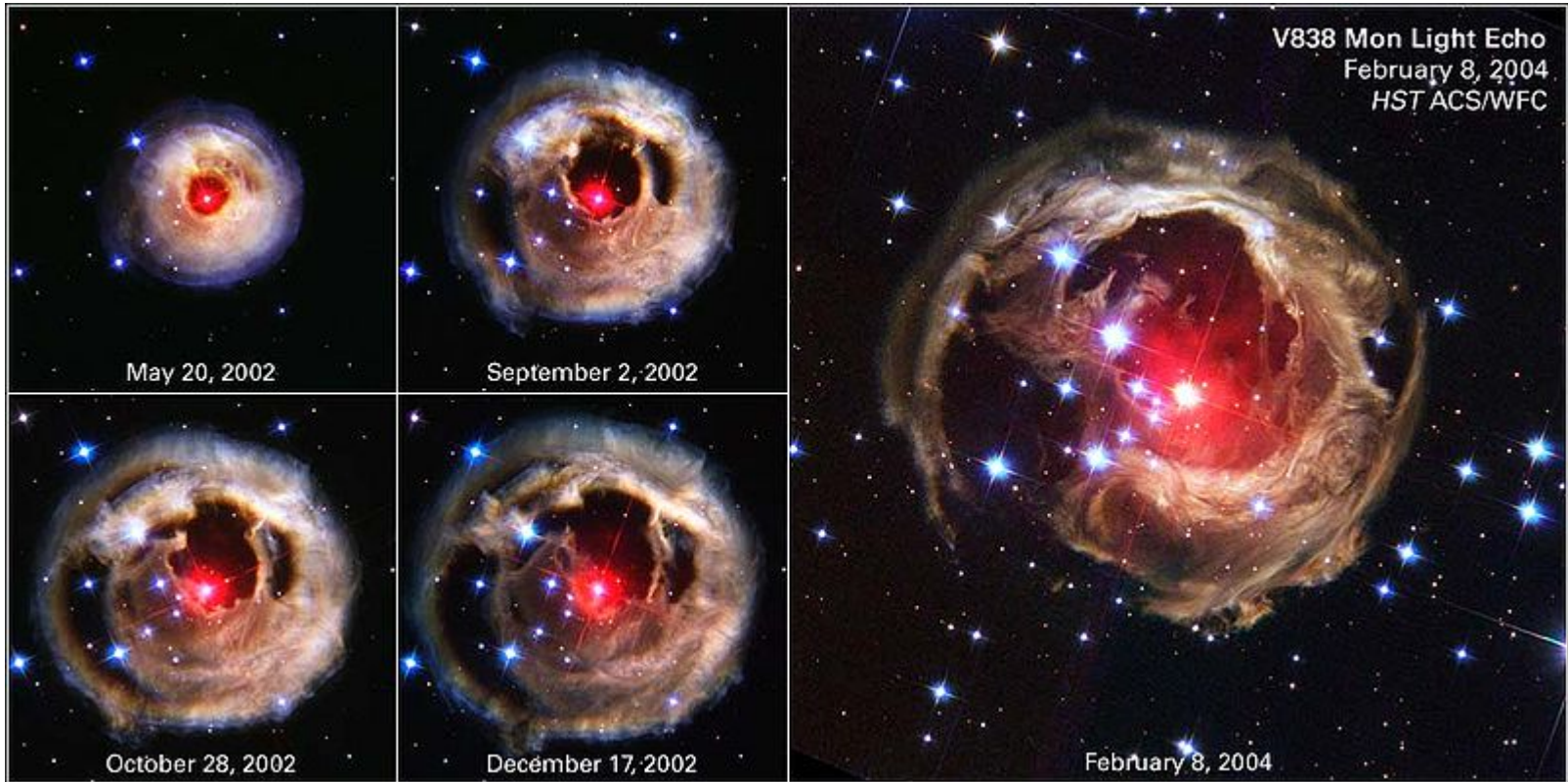


L'étoile Fomalhaut



- Images HST de l'environnement de l'étoile Fomalhaut observé grâce à un dispositif coronographique. Une exoplanète a pu être identifiée sur une série d'images ainsi obtenues.

Une étoile variable dans la Constellation de la Licorne



V838 Mon est une étoile variable rouge située à près de 20000 al.
Elle a été observée la première fois en 2002 et elle a été suivie avec le HST
Il est possible qu'il s'agisse de la coalescence de deux étoiles

La Nébuleuse de la Carène

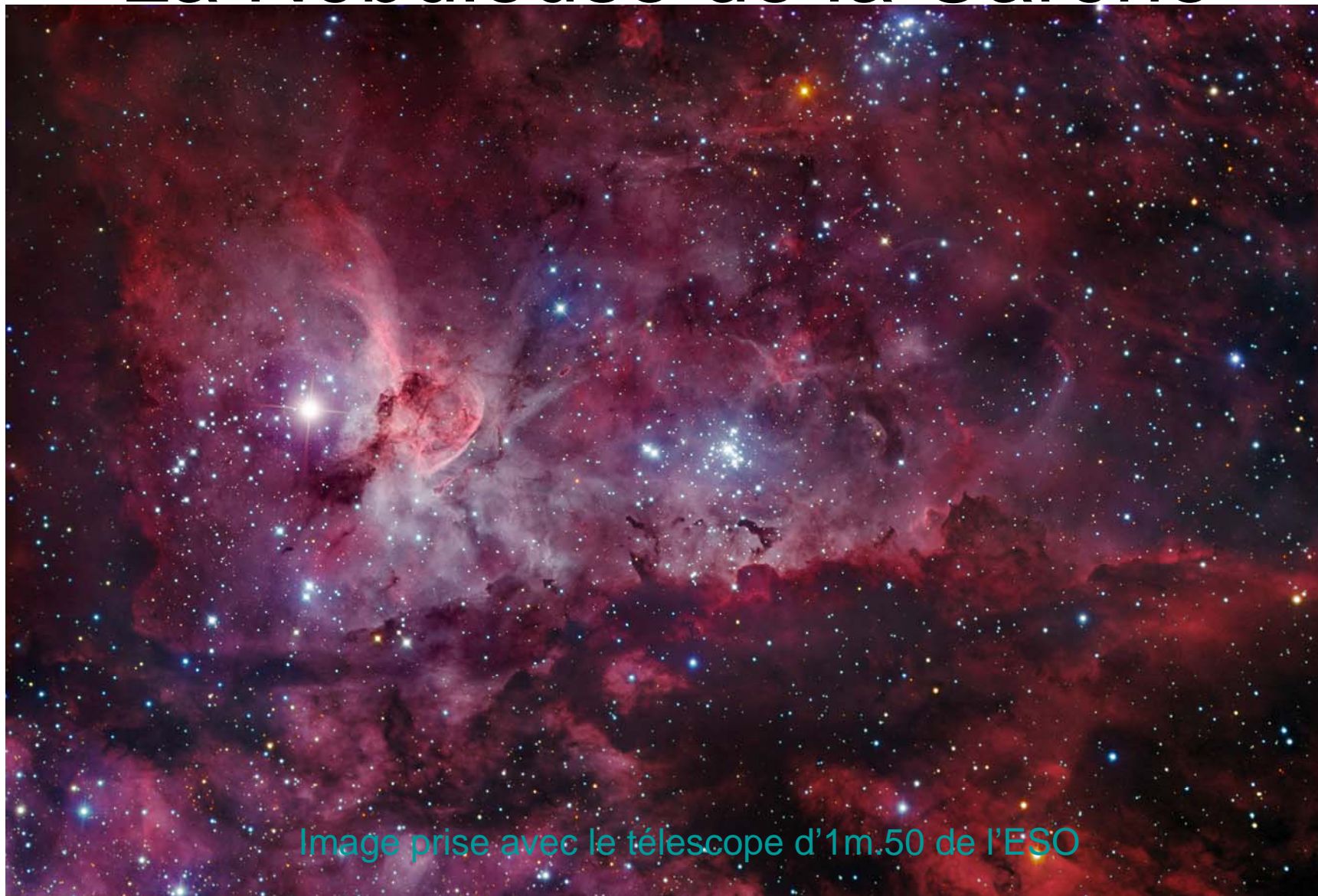


Image prise avec le télescope d'1m.50 de l'ESO



Êta Carinae

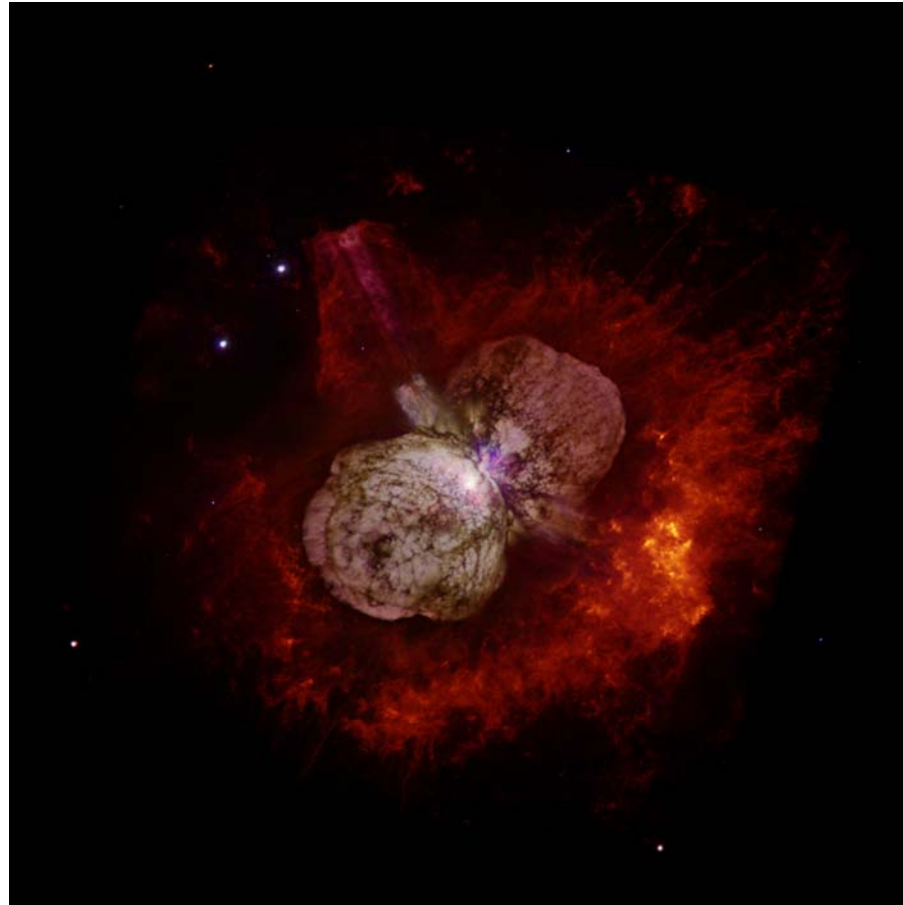


Image de la nébulosité de gaz et de poussières autour de l'étoile êta
Cette étoile a eu il y a 150 ans un énorme sursaut de lumière.
Ce serait une étoile d'une masse d'une centaine de fois celle du Soleil

Will Eta Carinae end in a supernova explosion ?

-Yes, probably in a hypernova=super supernova
(like SN 2006gy, at 238 million Ly from Earth)

Will Eta Carinae Produce a GRB ?

-Yes, but probably beamed away from us, and I better be right!

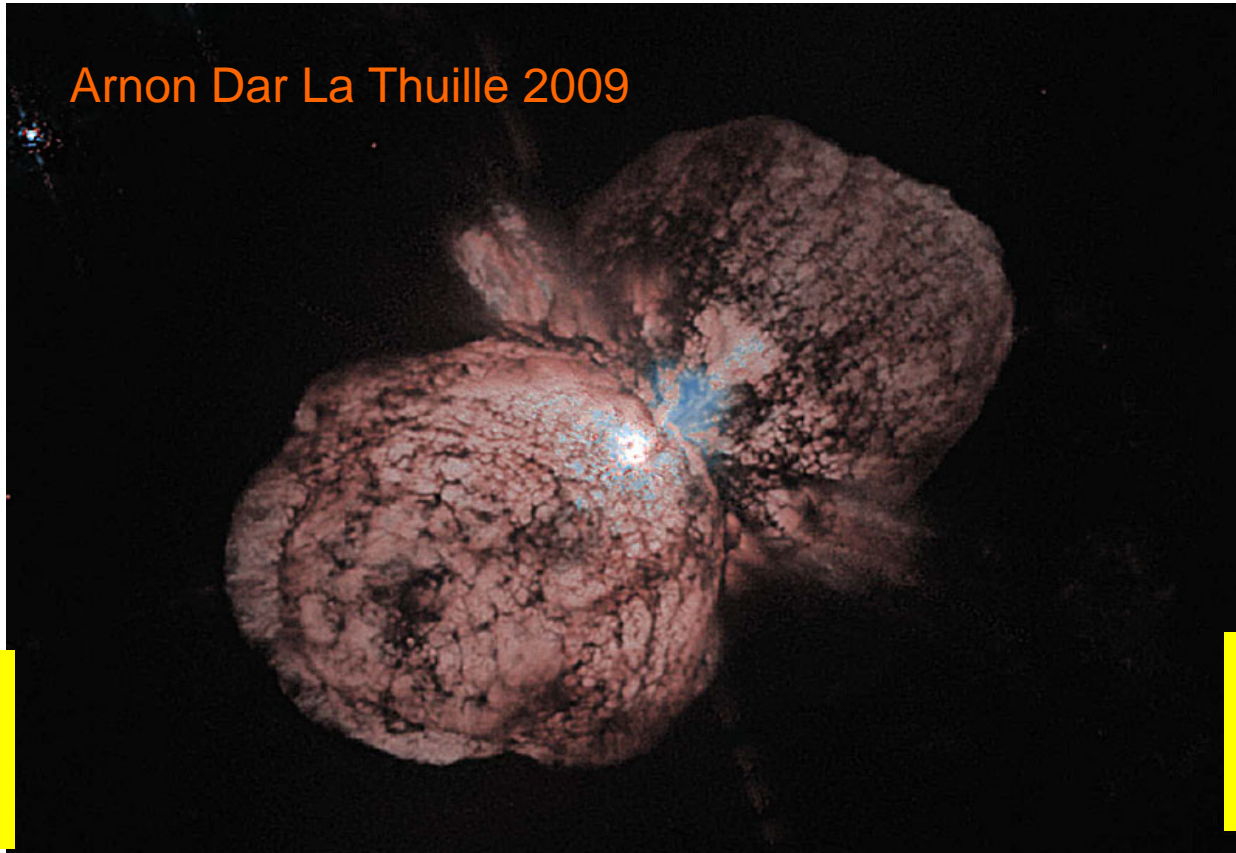
Pointing direction: $\vartheta = 57^\circ \mp 10^\circ$ away from Earth

**Cannonball
model :**

Beam's
opening
angle:

$$\Delta\vartheta < 0.1^\circ$$

**EARTH
SAFE!**



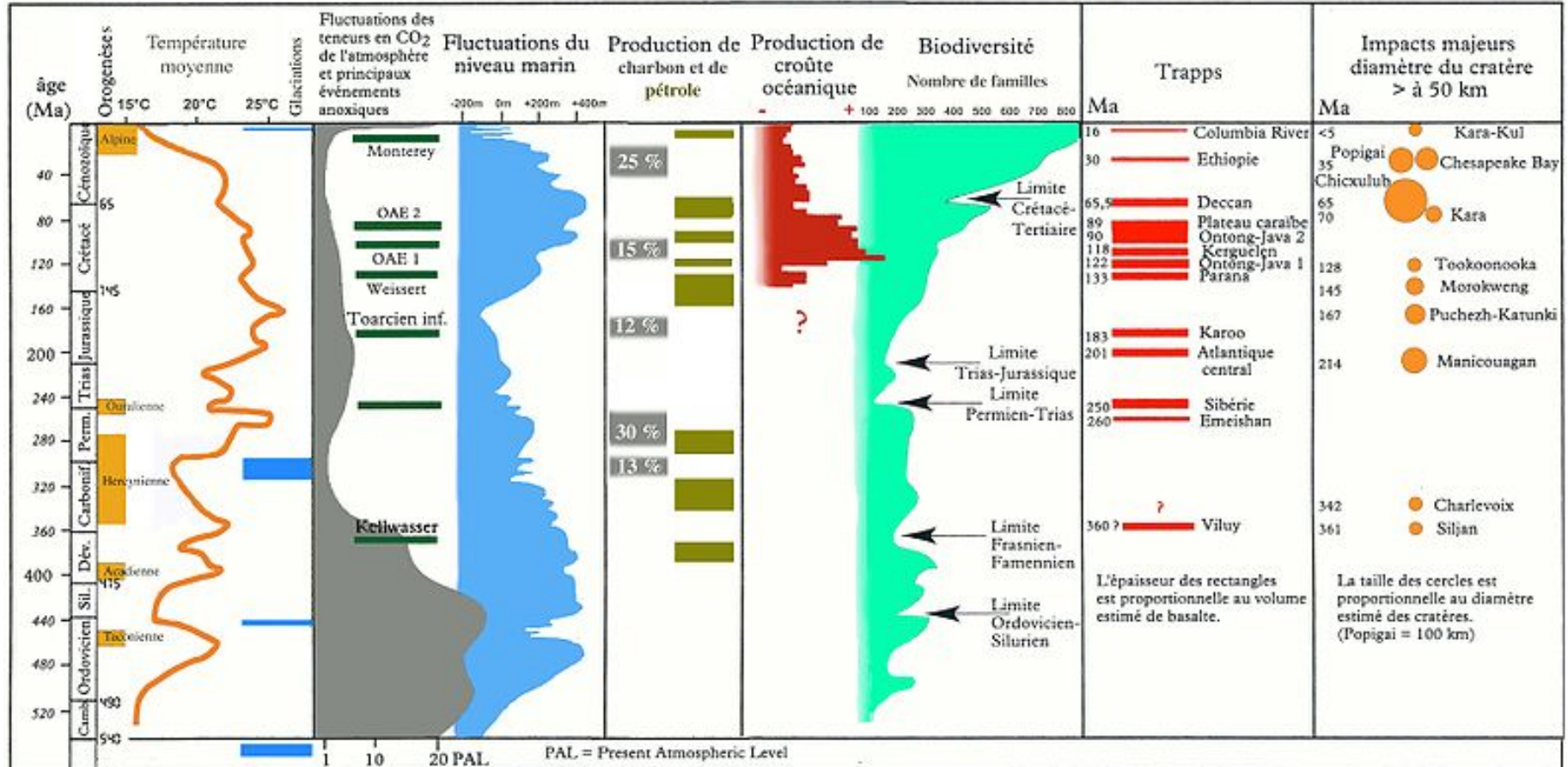
**Fireball
model**

Beam's
opening
angle:

$$\Delta\vartheta > 8^\circ$$

**EARTH
UNSAFE!**

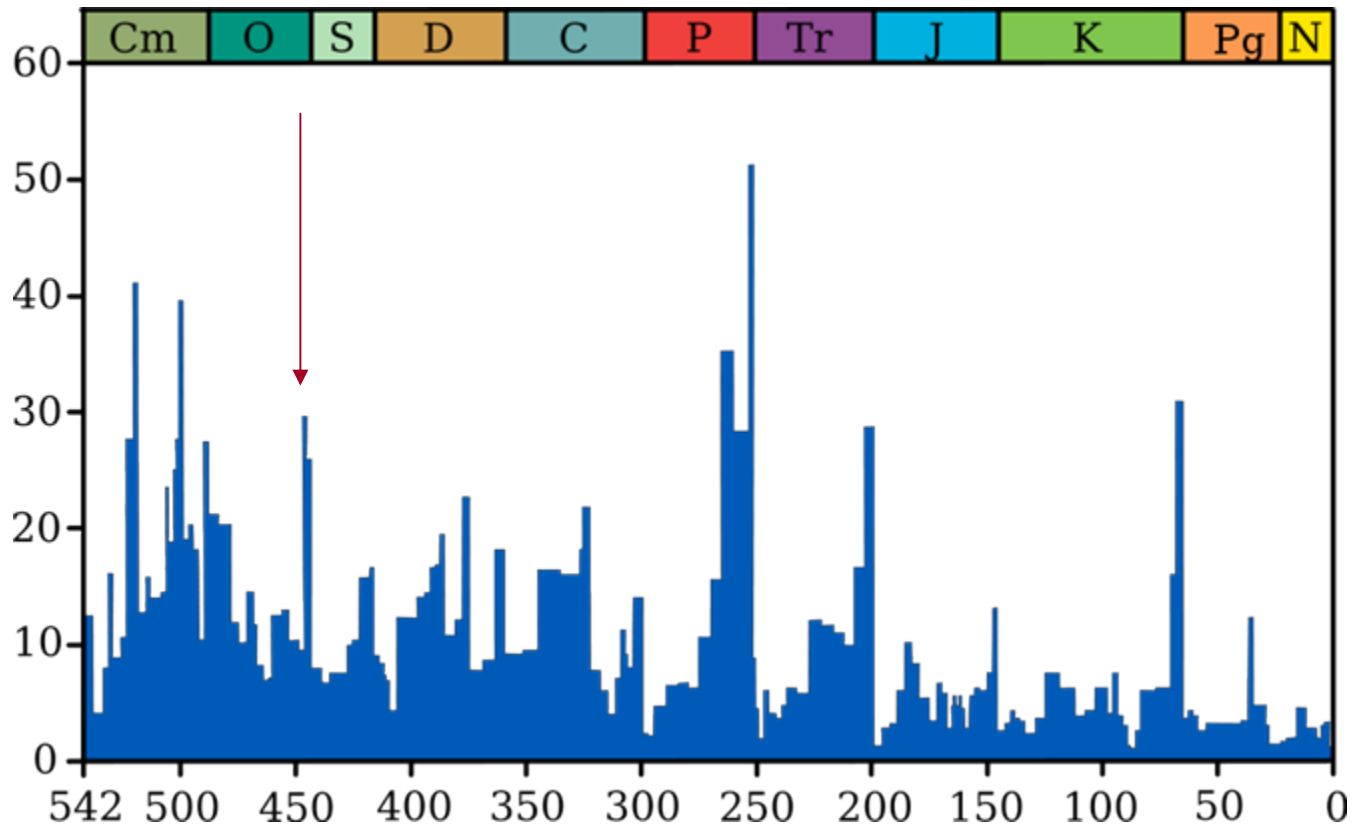
Les extinctions massives



Arnon Dar la Thuille 2009:

L'explosion d'été Carina pourrait conduire à une extinction massive
Sur une échelle de temps courte !

Un sursaut gamma peut-il créer une extinction massive ?



Did a gamma-ray burst initiate the late Ordovician mass extinction?

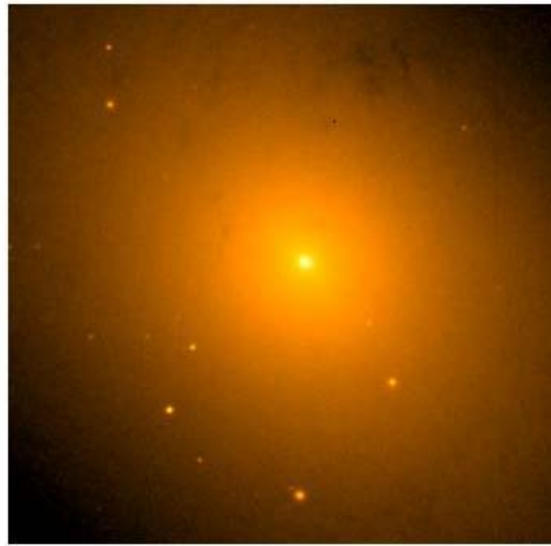
A.L. Melott, et al. *Astroph/0309415*

La Nébuleuse d'Andromède



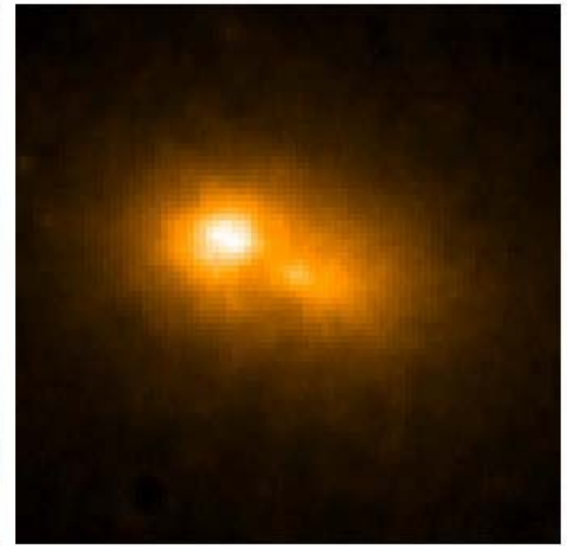
40,000 LY

Ground View of Galaxy



2,000 LY

Ground View of Galaxy Core



40 LIGHT-YEARS

HST View of Galaxy Nucleus

La galaxie M31 dans la constellation d'Andromède. A gauche vue générale, observée avec un télescope de Schmidt. Au centre, région centrale observée avec un grand instrument. A droite image prise avec le HST révélant l'existence probable d'un anneau d'étoiles et d'un disque de poussière.

NGC 4038-4039

Les Antennes

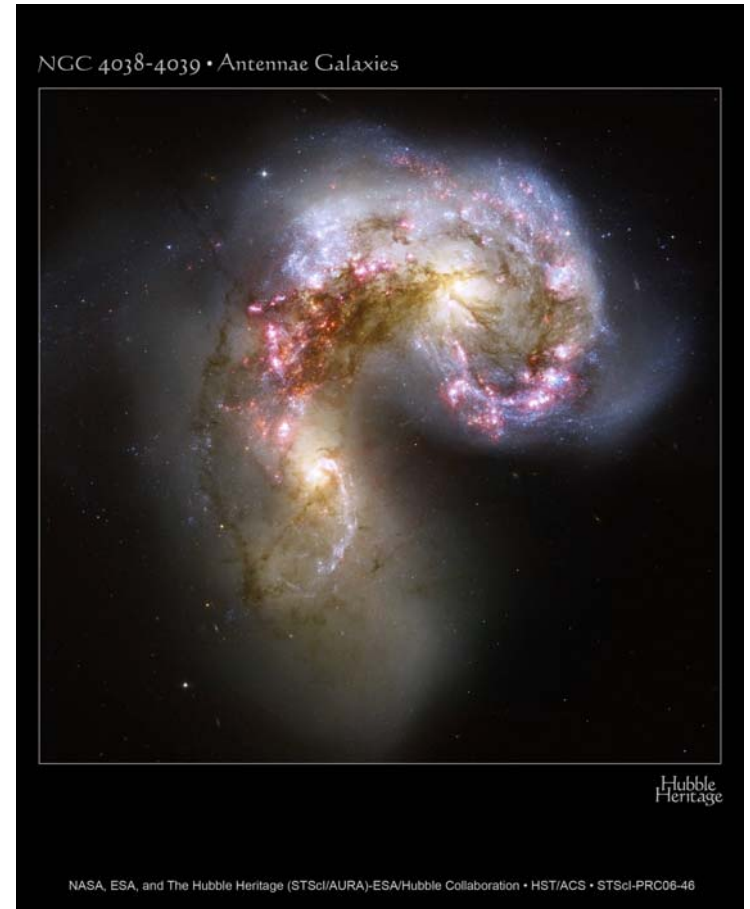
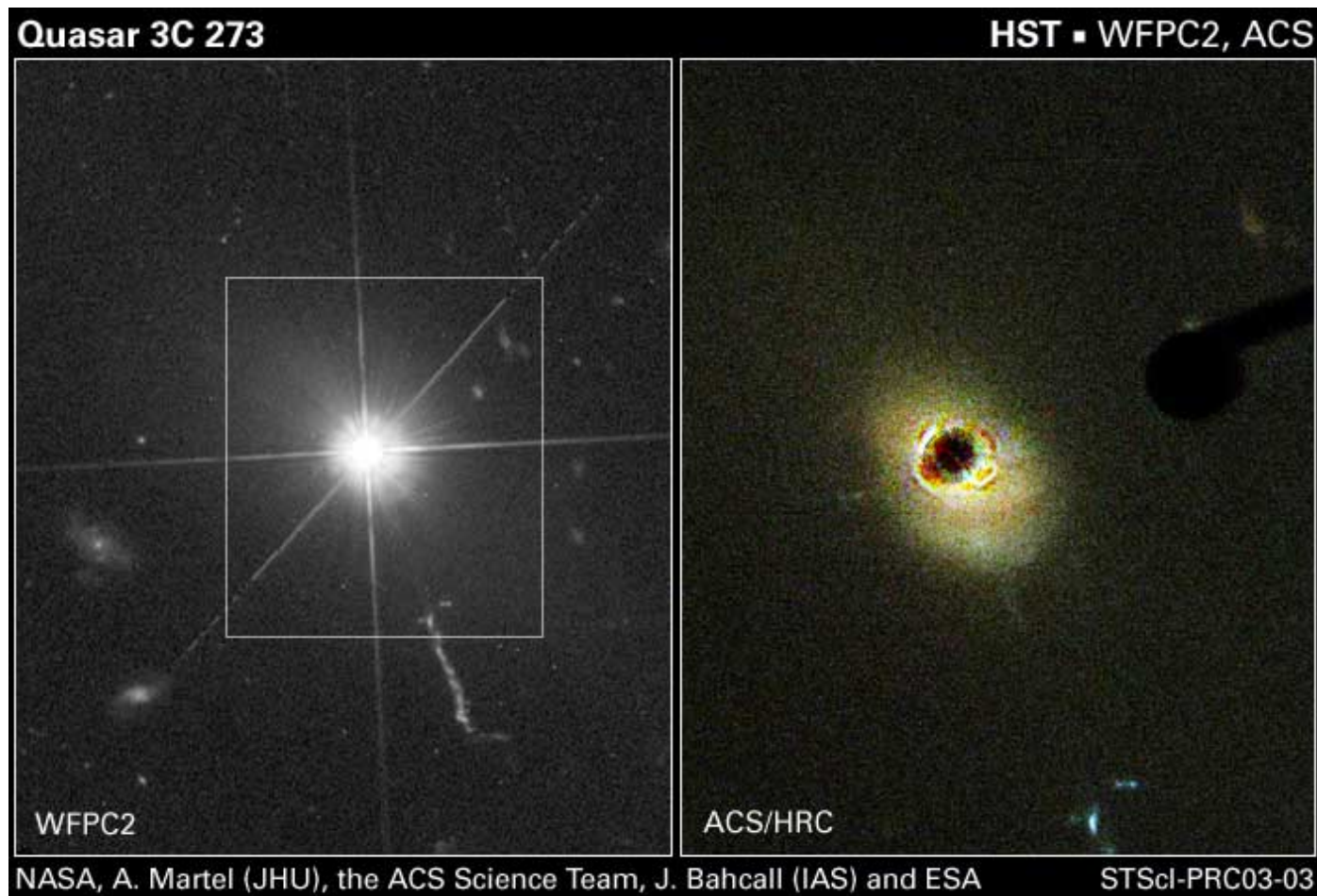




Image HST du Quasar 273

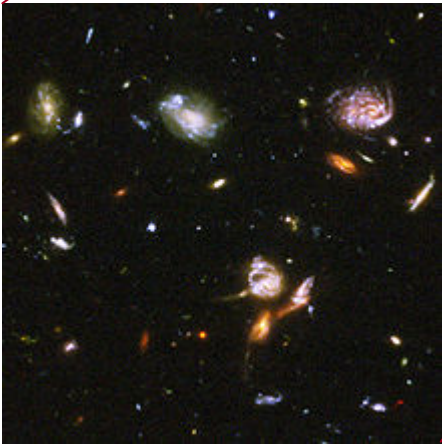
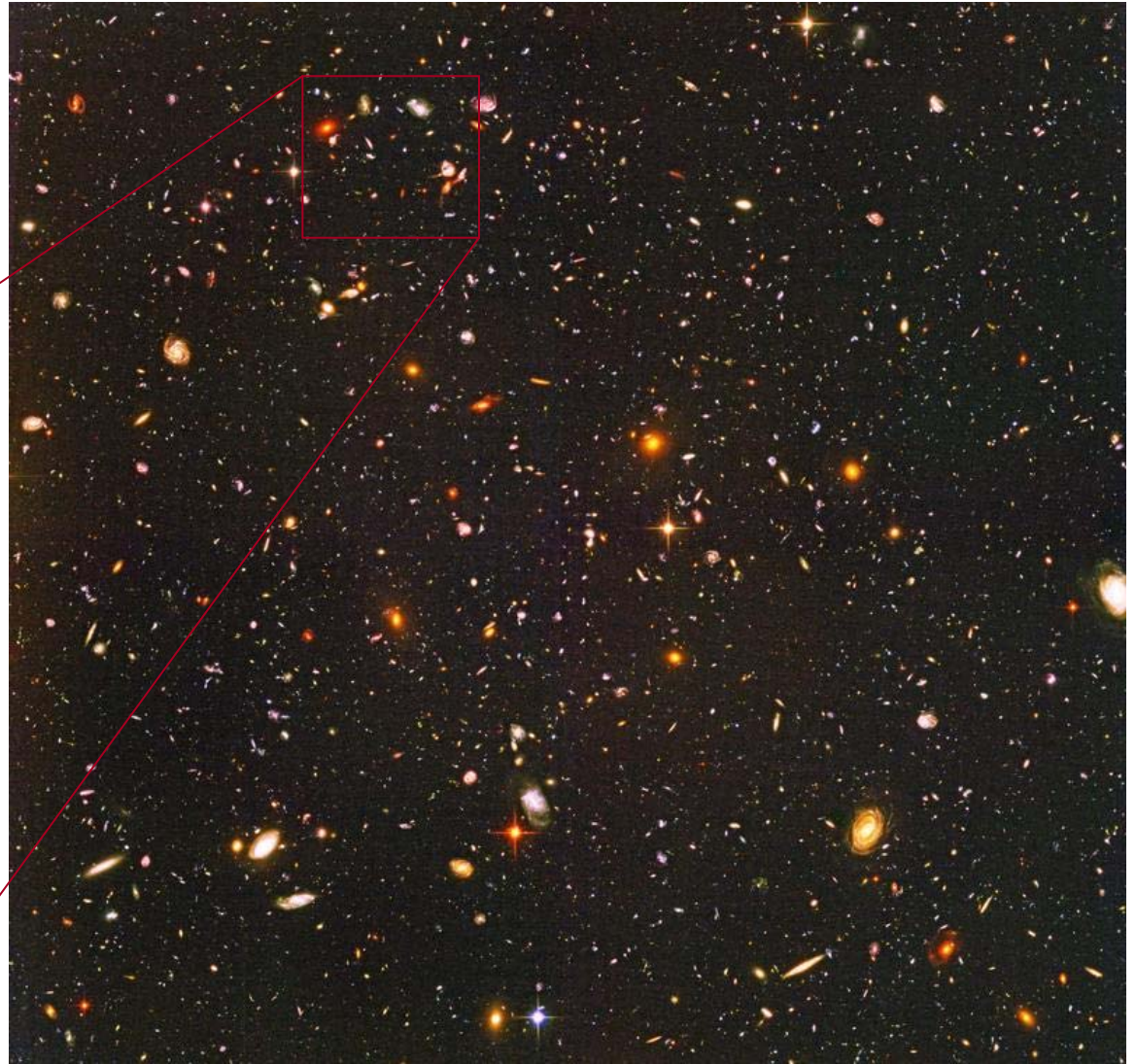


Son jet très caractéristique est dû à une émission de lumière par effet synchrotron. Cette émission est la conséquence du mouvement d'électrons de très hautes énergies dans un champ magnétique.

Le Hubble Ultra Deep Field

C'est actuellement
l'image la plus
profonde du ciel.

Elle montre les
structures les plus
lointaines de
l'Univers connues dans
le domaine optique.



25 Juillet 2012

L'été Astro à Saint-Michel l'Observatoire

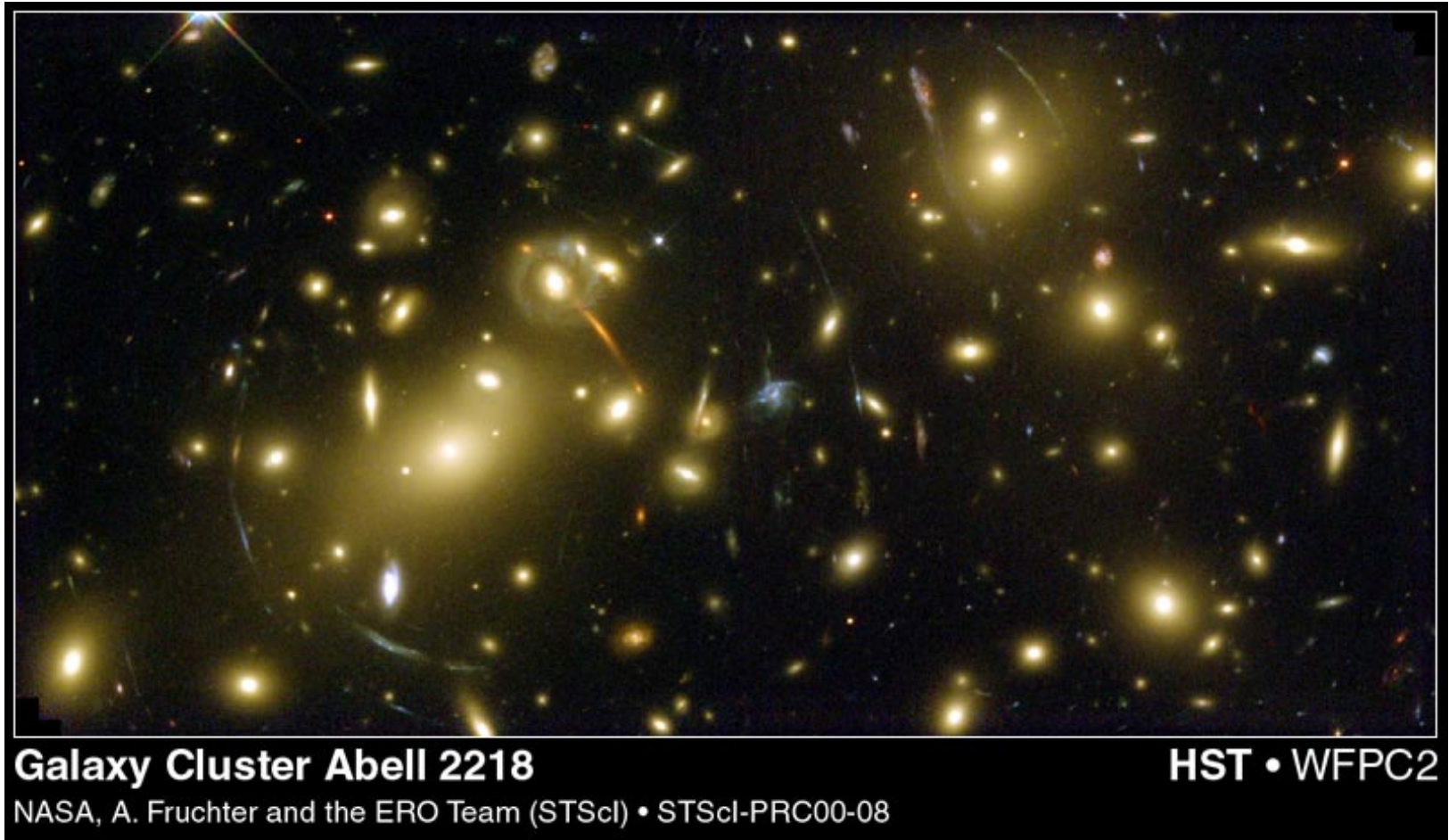
30



L'Amas Abell 2218



Image HST de l'Amas de Galaxies Abell 2218

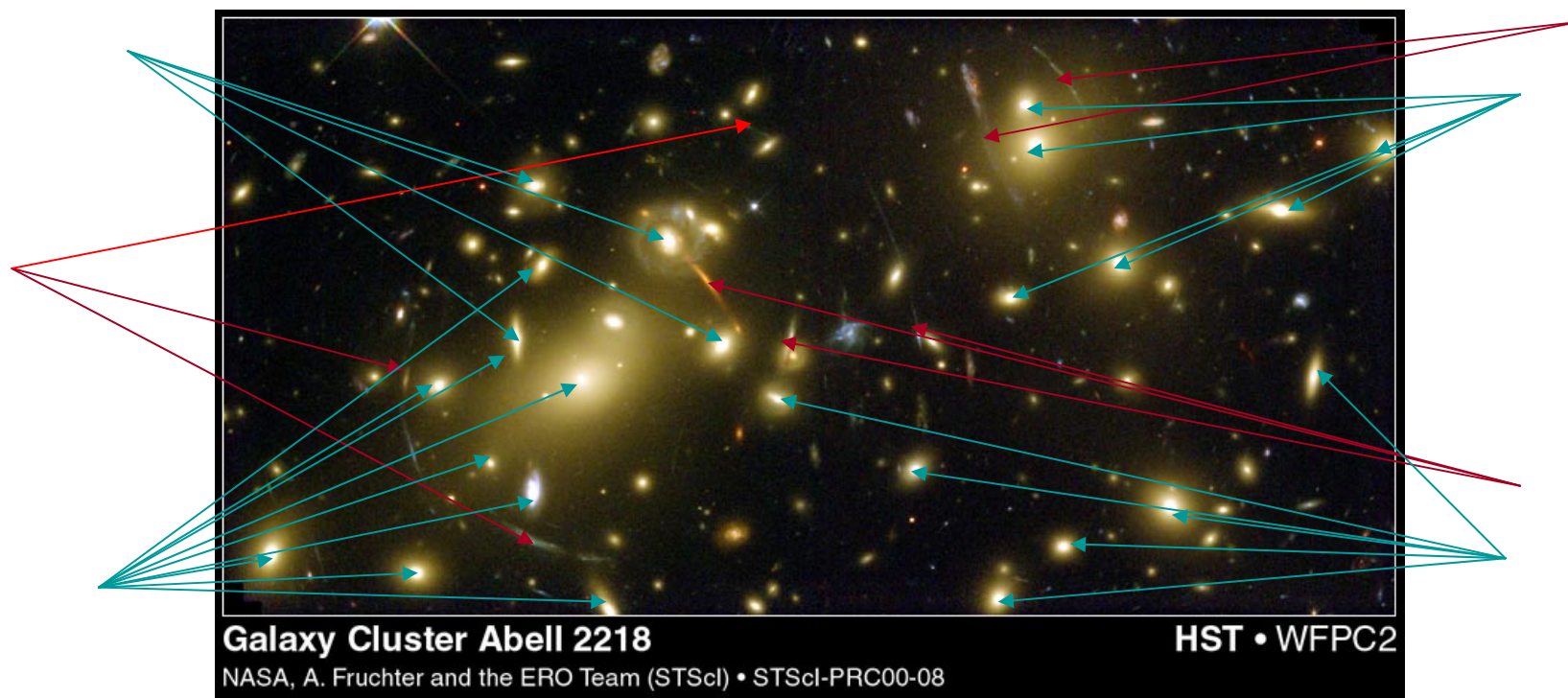


Cette image a été prise avec le HST le 7 Octobre 2001.

Combinaison de plusieurs images de l'amas de galaxies Abell 2218
distant d'environ trois milliards d'années-lumière

C'est l'un des meilleurs exemples de lentille gravitationnelle.

Premier Coup d'œil



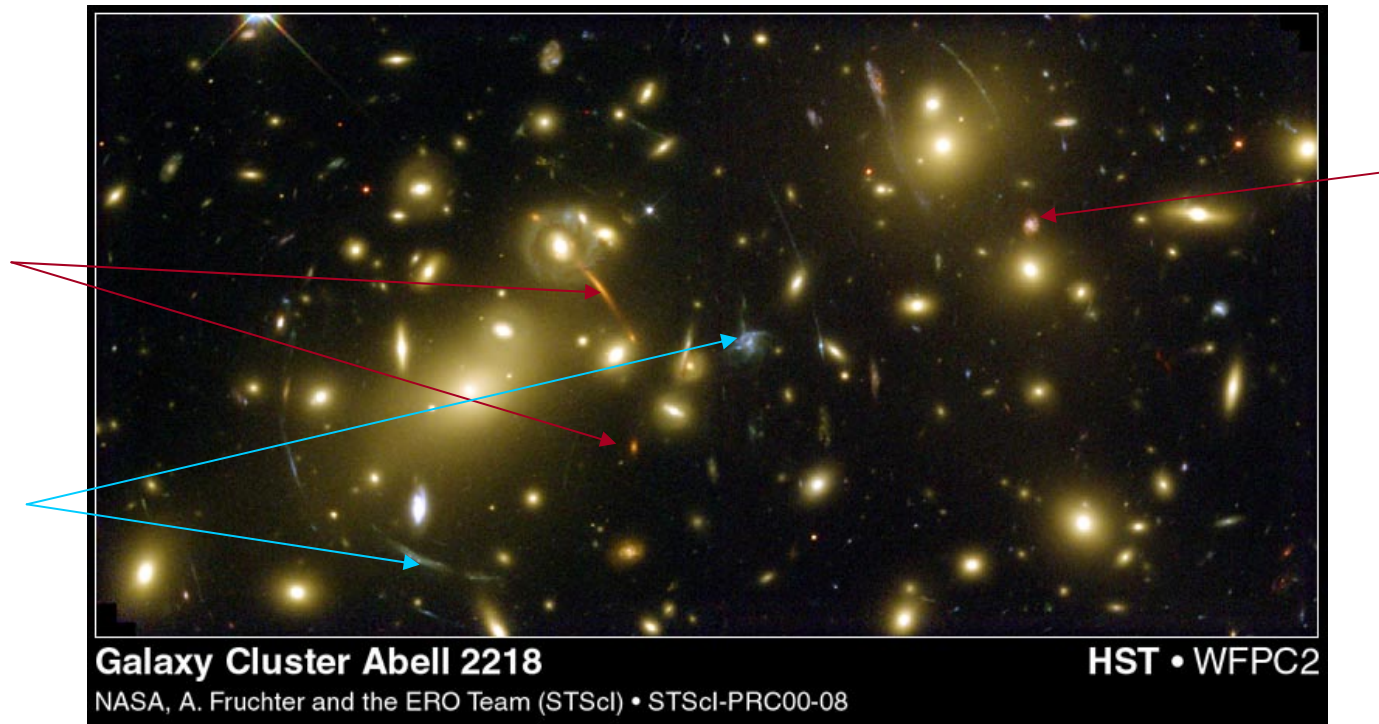
Le premier coup d'œil permet de percevoir :

- des taches plutôt rondes et pratiquement uniformes en couleur correspondant aux **galaxies** de l'amas (**flèches vertes**)
- de très fins filaments en forme d'**arc** (**flèches rouges**).

Un peu de coloration peut être aperçu sur quelques galaxies.

Les couleurs proviennent de la combinaison des images initiales.

Galaxies Rouges et Galaxies Bleues



Les objets rouges sont des galaxies contenant plus d'étoiles géantes rouges.

C'est une population vieille, formée peu de temps après la naissance de la galaxie.

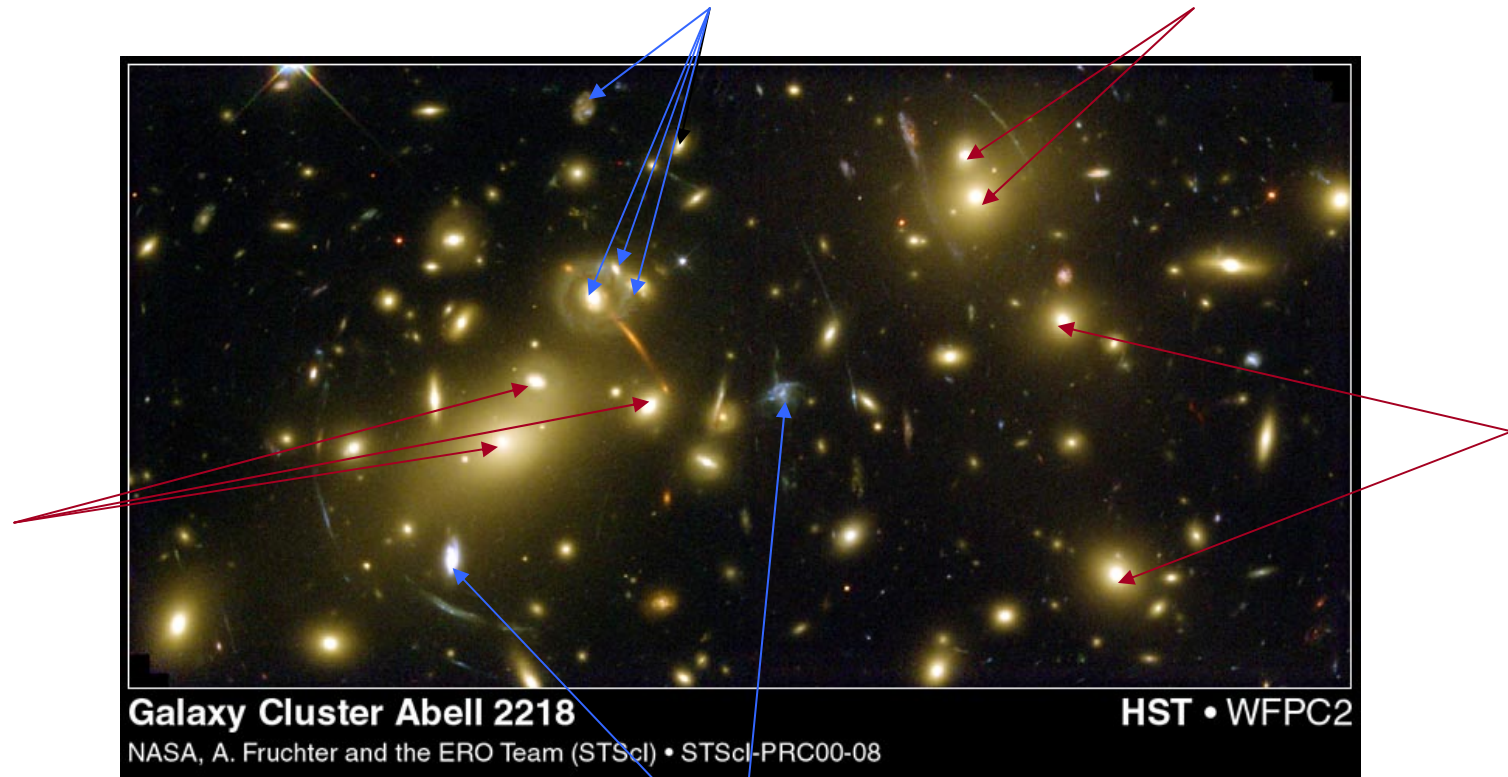
Pour les galaxies bleues, c'est l'émission des supergéantes bleues, objets jeunes, qui domine.

La simple couleur de la galaxie permet ainsi d'avoir une idée sur son évolution passée.

Si elle est rouge, la formation des étoiles a été très active puis elle a rapidement décliné.

A contrario, dans une galaxie bleue le processus de formation stellaire est toujours très actif.

Morphologie & Environnement



Les galaxies centrales sont plutôt rouges, les galaxies bleues sont à la périphérie. La raison principale semble résider dans l'appauvrissement du gaz des galaxies dans les régions centrales. Sans gaz, la formation d'étoiles ne peut plus avoir lieu. Les galaxies rouges, dites elliptiques ou lenticulaires, semblent des taches diffuses quasi isotropes. Les galaxies bleues, spirales ou irrégulières, ont une structure plus complexe.

Les Arcs Gravitationnels : A370



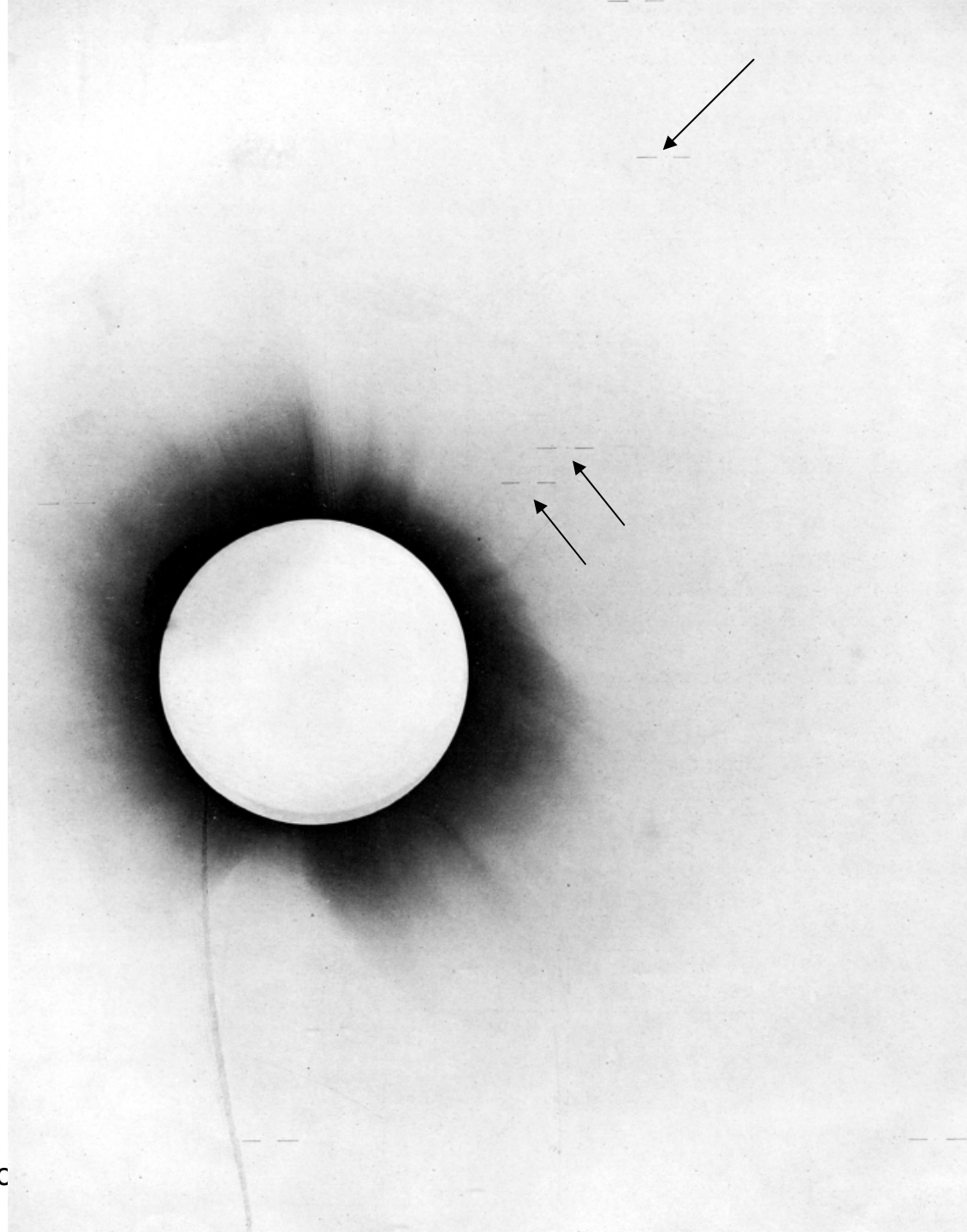
L'existence des arcs fins autour des centres d'amas de galaxies a constitué une découverte astrophysique fondamentale.

La découverte de ce phénomène, sur l'amas de galaxies Abell 370, est due à une équipe française (B.Fort, Y.Mellier et G.Soucail) en 1985 sur le télescope Canada-France-Hawaii grâce à l'une des premières caméras à transfert de charge installées sur un grand télescope.

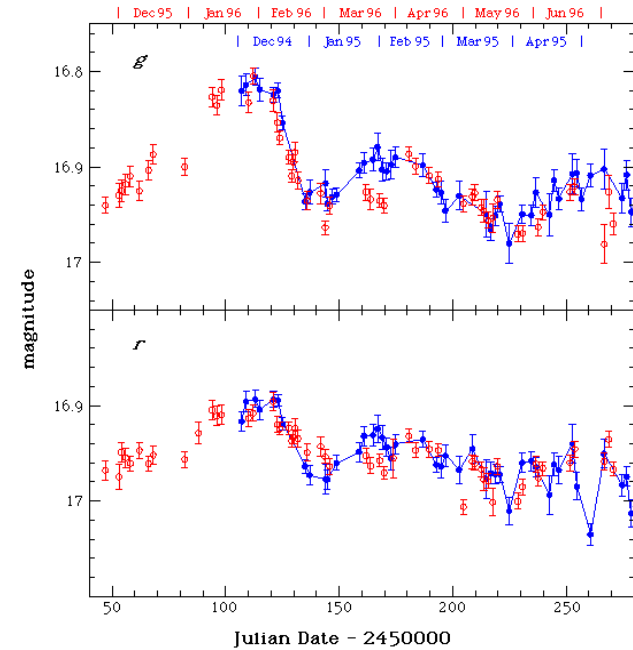
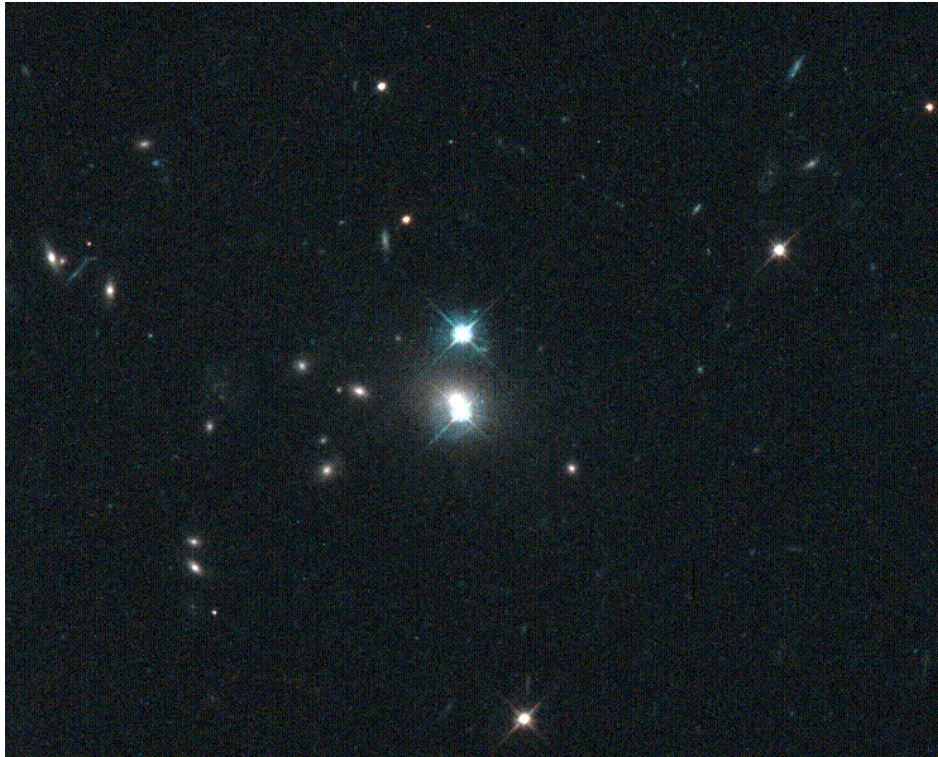
Déflexion de la lumière par le Soleil

Lors d'une éclipse du Soleil en 1919 Eddington a pu mettre en évidence cette déviation sur des étoiles dont la ligne de visée était proche de la surface solaire, en conformité avec la théorie d'Einstein.

Avec l'interprétation donnée par Einstein de l'avance au périhélie de Mercure (découverte par Le Verrier) cette mesure constitua pendant de nombreuses décennies l'une des *preuves* expérimentales de la Relativité Générale.



Le Quasar Double 0957+561



En 1979 un nouveau phénomène cosmique associé à la déflexion de la lumière par les masses a été identifié. L'image de ce quasar apparaît double : sa lumière emprunte deux chemins en raison de sa déflexion par une galaxie d'avant plan. Les trajets ne sont pas de longueurs égales conduisant à un décalage de 417 ± 3 jours dans les variations de lumière (figure de droite, *Kundic et al. 1997*)
La mesure du décalage permet d'obtenir une mesure directe de la constante de Hubble, liée à l'expansion de l'Univers.

L'Optique Gravitationnelle

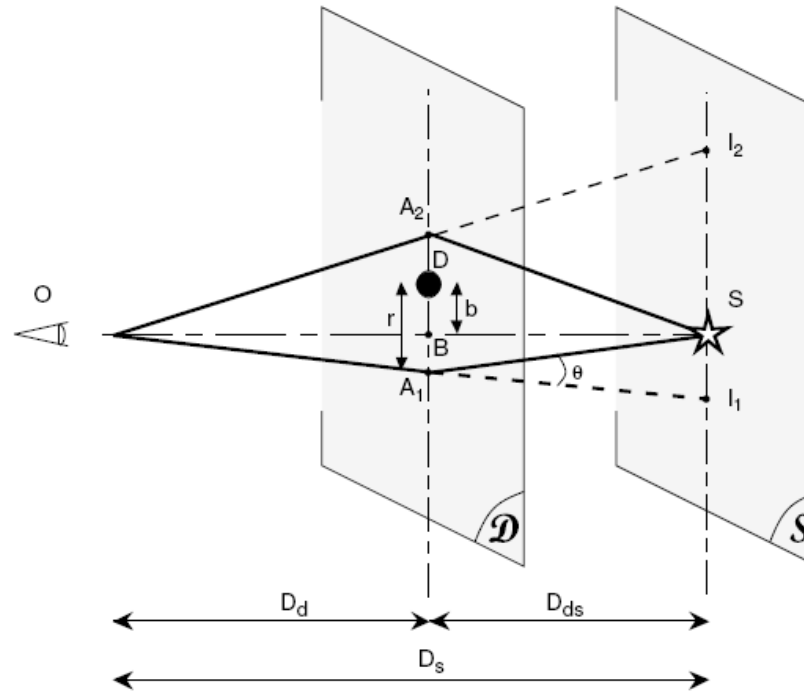


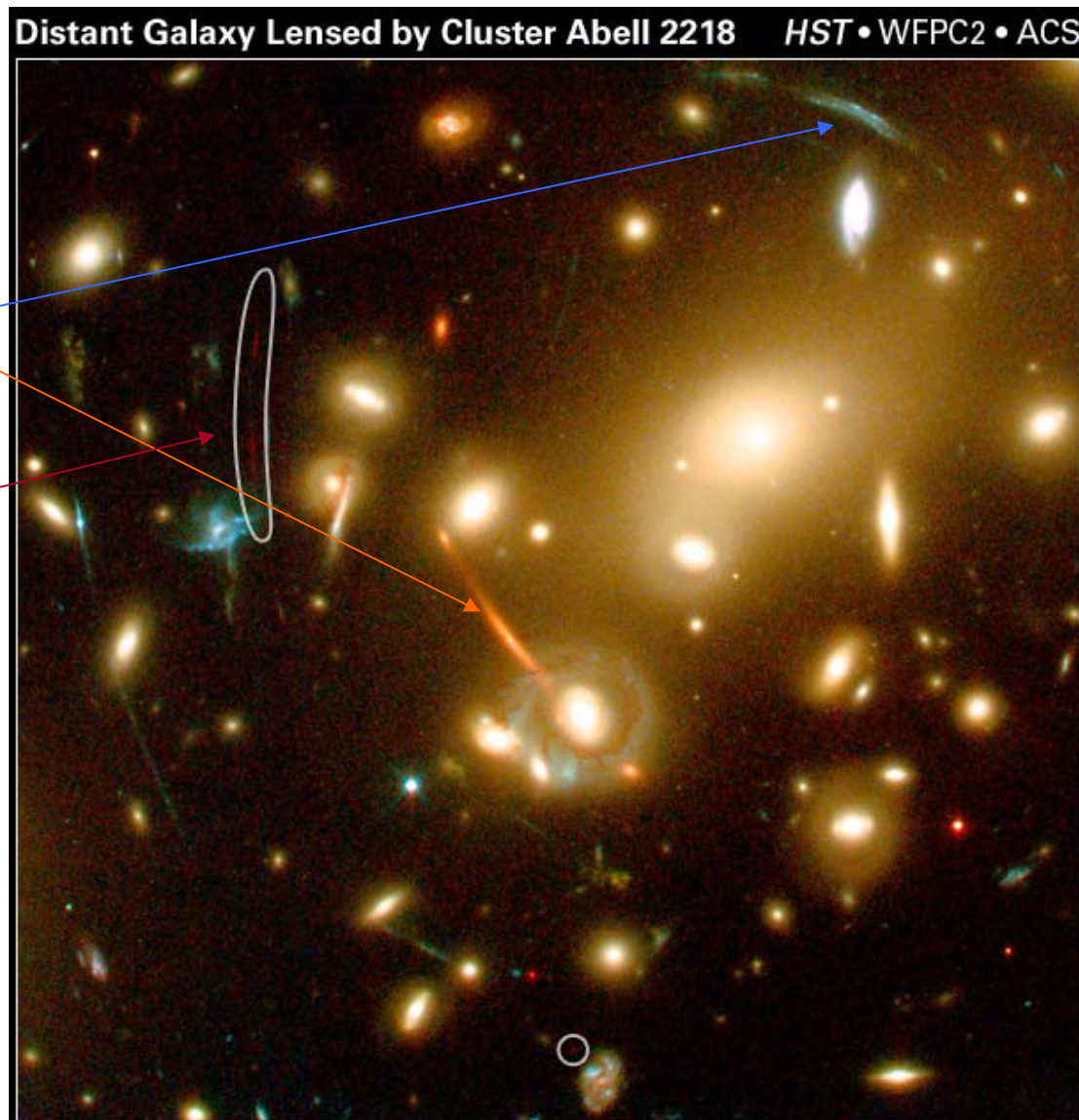
Schéma de la **déflexion** de la lumière par une source

Quand une étoile passe devant un déflecteur, sa luminosité subit une **amplification** d'autant plus grande que la distance au centre sera faible (courbe de Paczynski) .

Détecter des Galaxies Lointaines

L'arc orange est une galaxie elliptique avec un spectre ($z=0.7$). L'arc bleu est une galaxie en formation au stade intermédiaire avec un spectre ($z=1-2.5$). La paire très rouge (encerclée) est une étoile en formation récemment découverte avec un spectre à $z=7$.

Source: wikipedia A2218
Français





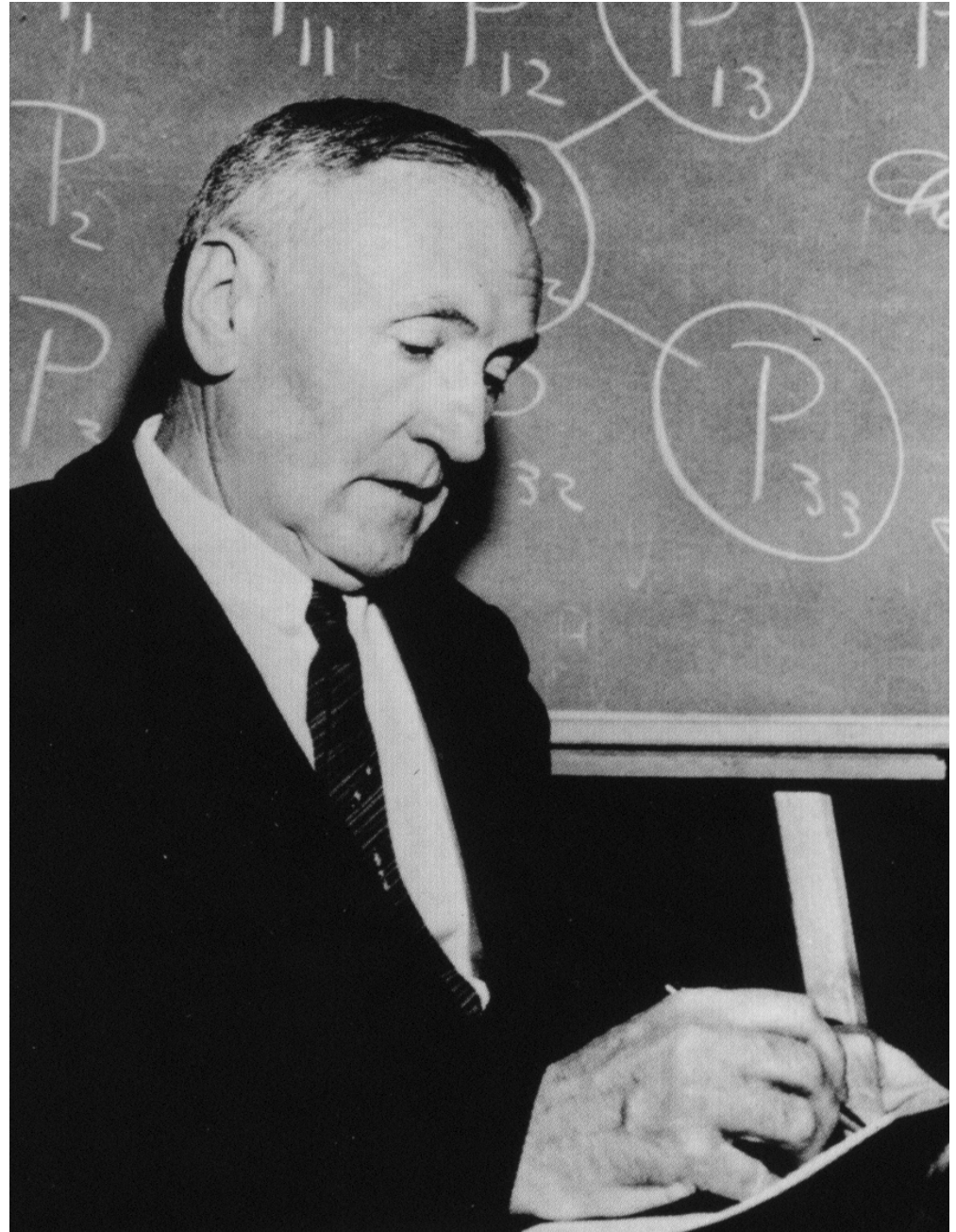
Une Masse trop Importante

- La théorie de la relativité générale prévoyait l'existence de ces arcs, véritables mirages gravitationnels.
- Pour cela il fallait une très forte concentration de matière pour courber la lumière.
- La masse observée dépasse d'une centaine de fois la masse des galaxies !

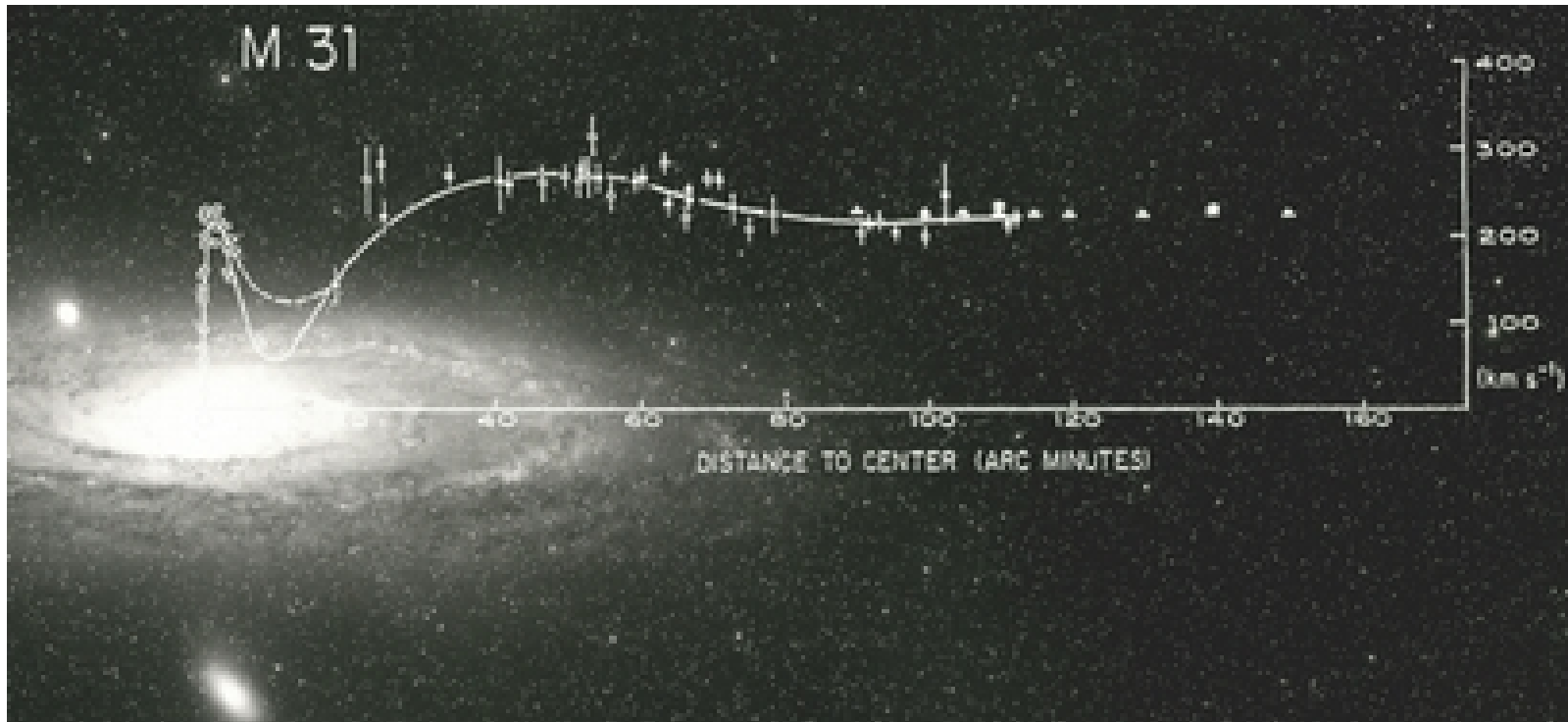
Quelle est la masse qui défléchit la lumière ?

Le paradoxe de Zwicky 1933

L'analyse de la distribution
des vitesses des galaxies
dans un amas conduit à
une masse bien plus
grande que celle obtenue
à partir de toutes les
galaxies.



Les Halos Massifs



L'astronome américaine Vera Rubin montre au début des années 1970 que la rotation rapide des régions lointaines des galaxies spirales ne pouvaient s'interpréter sans introduire la présence d'un halo massif.

Le Gaz Chaud Intra-Amas

Suzaku observations of A2218

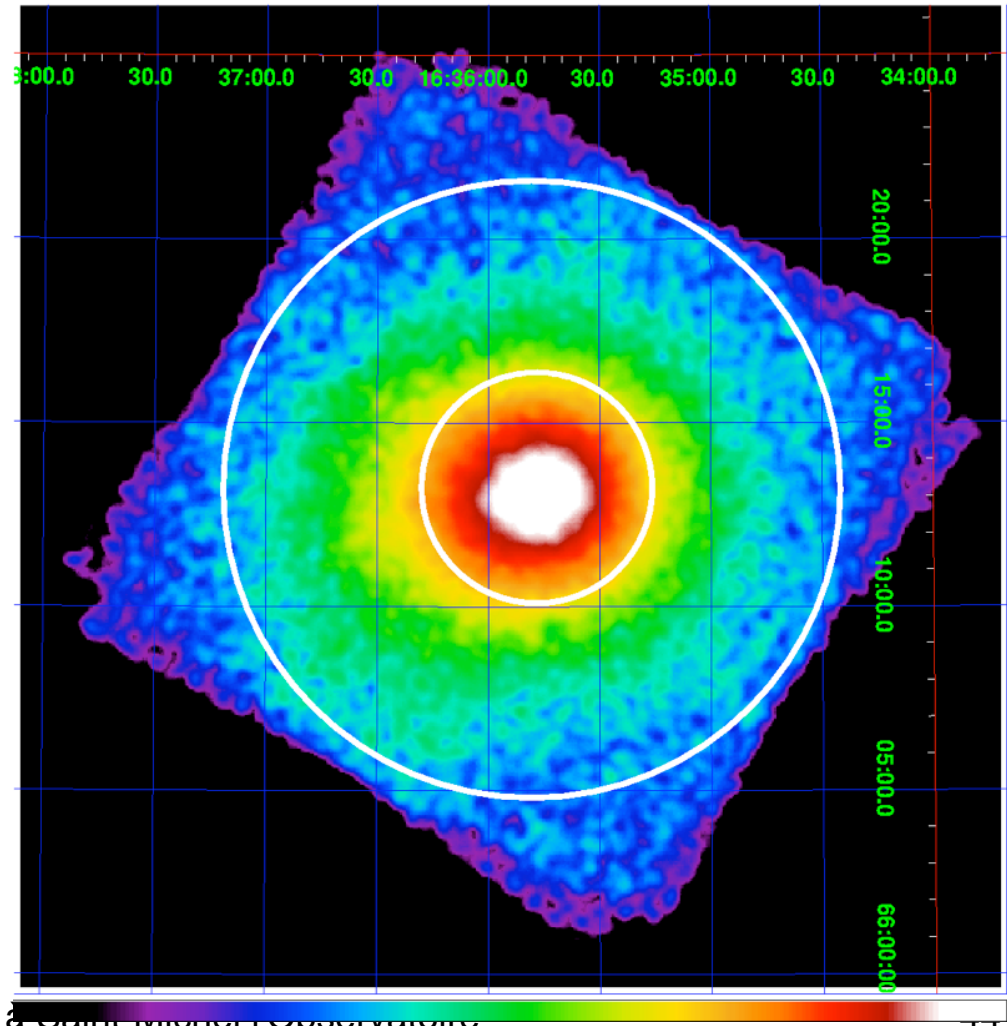
Yoh Takei

<http://plato.tp.ph.ic.ac.uk/conferences/cosmology/Talks/Takei.pdf>

Au début des années 1970, les satellites d'observation X ont mis en évidence l'existence d'un gaz à une température de plusieurs dizaines de millions de degrés au centre des amas des galaxies.

La masse correspondante est de l'ordre d'une dizaine de fois celle des galaxies.

C'est sous cette forme que la matière baryonique est majoritairement présente dans un amas de galaxies.



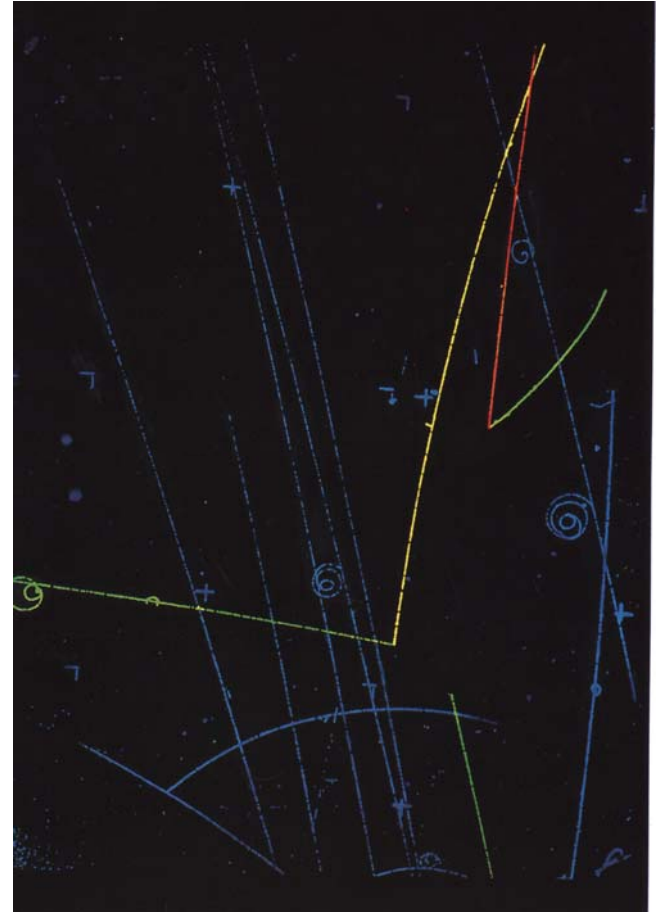
La Matière Noire

Le gaz intra-amas ne suffit pas à expliquer la masse obtenue par les arcs gravitationnels.

Ceci a conforté un peu plus l'hypothèse d'une matière ayant une masse non détectable par le rayonnement électromagnétique, d'où son appellation de **matière noire**.

Cette hypothèse a largement été développée à partir des années 1970.

Depuis les physiciens ont examinés de nombreuses pistes pour l'identifier.



Décomposition d'un pion négatif (en vert) dans une chambre à bulles



Matière Chaude ou Matière Froide ?

Deux schémas de formation
des Structures de l'Univers

Top-down (Zeldovitch):

Grandes Structures → Amas de Galaxies → Galaxies

Il faut de la matière noire **chaude**

Bottom-up (Peebles)

Amas globulaire → Galaxies → Amas de Galaxies

Il faut de la matière **froide**

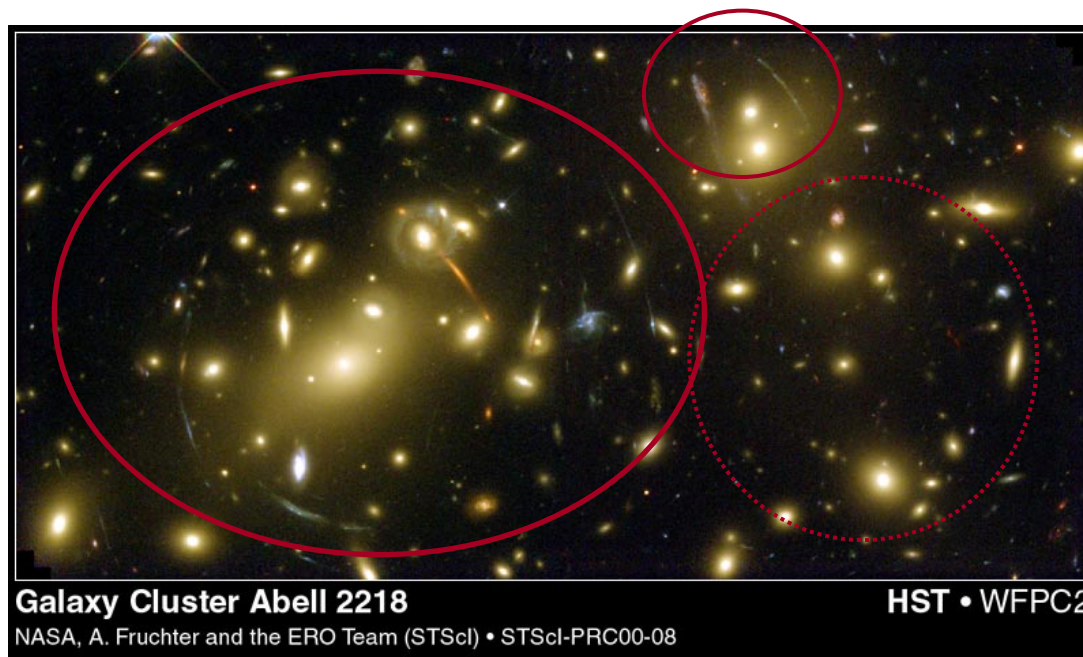
Aujourd'hui on privilégie le modèle de matière froide
avec aussi une **énergie noire** de nature énigmatique

Malgré tous les efforts de nombreux
Physiciens répartis sur la Planète
Aucune particule associée à la
matière noire n'a été détectée

La Matière Noire et l'Energie Noire
sont deux des grandes énigmes
scientifiques actuelles

A-t-on fait Fausse Piste ?

Les Sous-Structures



Il existe au moins 2 systèmes d'arcs.

Les amas sont des objets complexes, en formation, avec des sous groupes entrant en collision

L'observation en rayons X a confirmé cette analyse

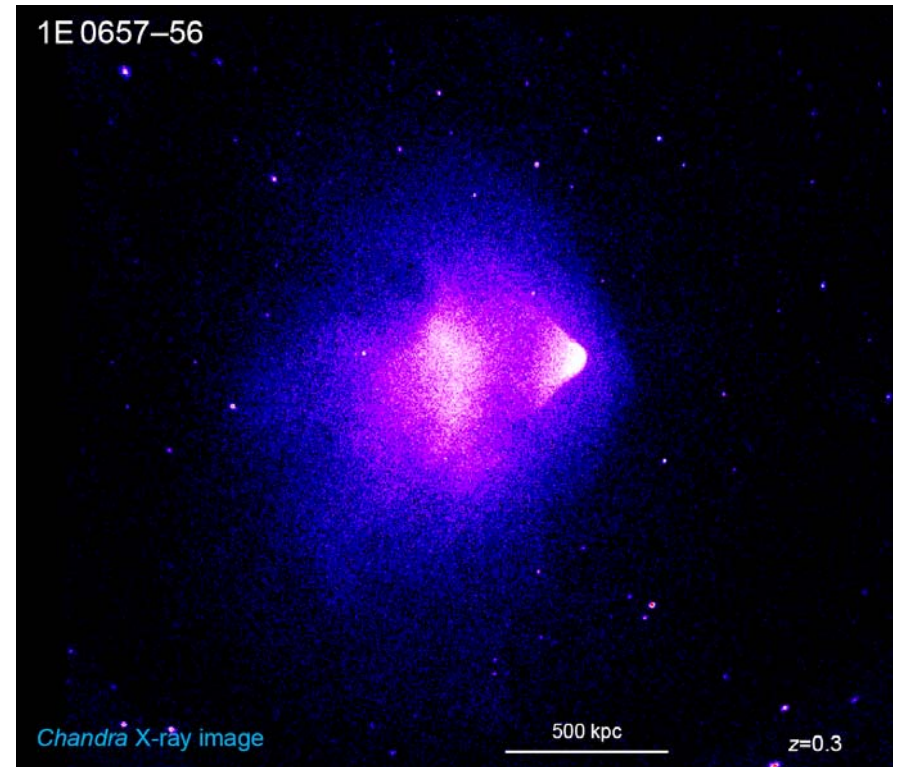
Coalescence des Amas

Grâce à l'observation en rayons X, on a pu mieux comprendre le lien entre la structure des amas et leur formation.

Le rôle des collisions et des coalescences des amas de galaxies est essentiel.

Les collisions produisent des chocs dans le milieu intra-amas qui augmentent fortement la température.

L'analyse des cartes de température, l'étude de la distribution des galaxies et l'analyse des vitesses des galaxies permet de remonter au scénario des collisions.



Amas « le boulet » en rayons X
(M.Markevitch)



N'est-ce pas une
très belle image !

Galaxy Cluster Abell 2218

HST • WFPC2

NASA, A. Fruchter and the ERO Team (STScI) • STScI-PRC00-08



Esthétique & Science

L'activité scientifique contemporaine produit des images d'une grande originalité, très accessibles au public, et qui peuvent être contemplées comme des œuvres artistiques

Leur appréciation sur le plan esthétique est profondément liée à la compréhension des phénomènes physiques sous-jacents

Image du 13 Juillet 2012

Image astrophysique du
jour

[http://apod.nasa.gov/apod/
astropix.html](http://apod.nasa.gov/apod/astropix.html)

Image composite de la
galaxie spirale M101

- Violet X (Chandra)
- Bleu UV (Galaxy evolution explorer)
- Jaune Visible (HST)
- Rouge Infrarouge (Spitzer)

Merci pour votre attention

