

L'exploration de l'univers: quels sens ?

Vincent Minier

Astrophysicien au CEA Saclay

Chercheur associé au Centre François Viète, Université de Nantes

Contact et site Internet

<http://www.vincentminier.fr>

vincent.minier@cea.fr



Séance #4: les défis à venir et les futurs moyens d'observation

1. L'énergie noire, la matière sombre/noire et Euclid
2. Le Soleil et Solar Orbiter
3. Les futurs observatoires au sol
 - ALMA
 - ELT
 - SKA

Séance #4: les défis à venir et les futurs moyens d'observation

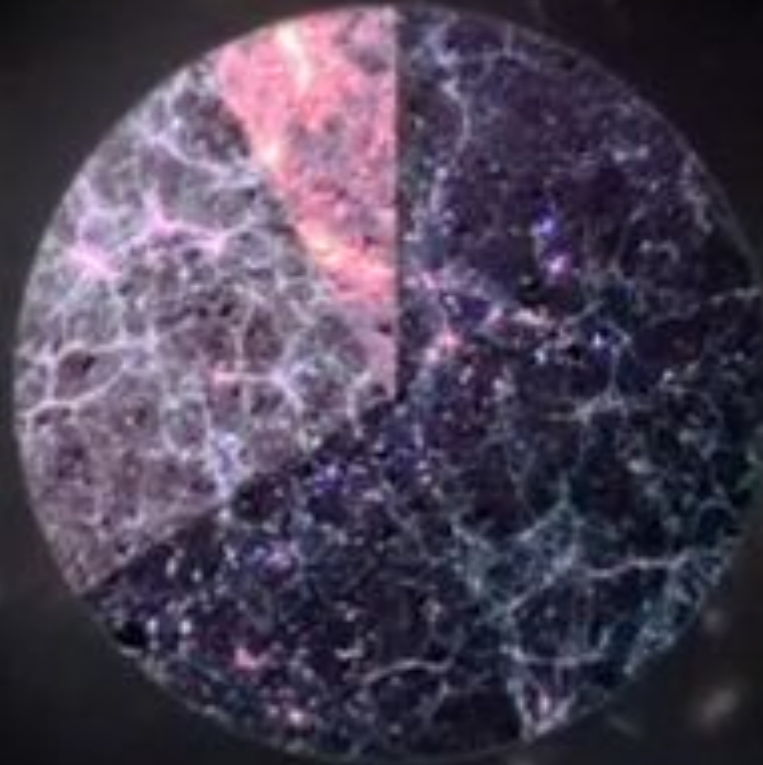
1. L'énergie noire, la matière sombre/noire et Euclid
2. Le Soleil et Solar Orbiter
3. Les futurs observatoires au sol
 - ALMA
 - ELT
 - SKA

4%

**MATIÈRE BARYONIQUE
(ÉTOILES, GALAXIES,
AMAS DE GALAXIES)**

21%

MATIÈRE NOIRE



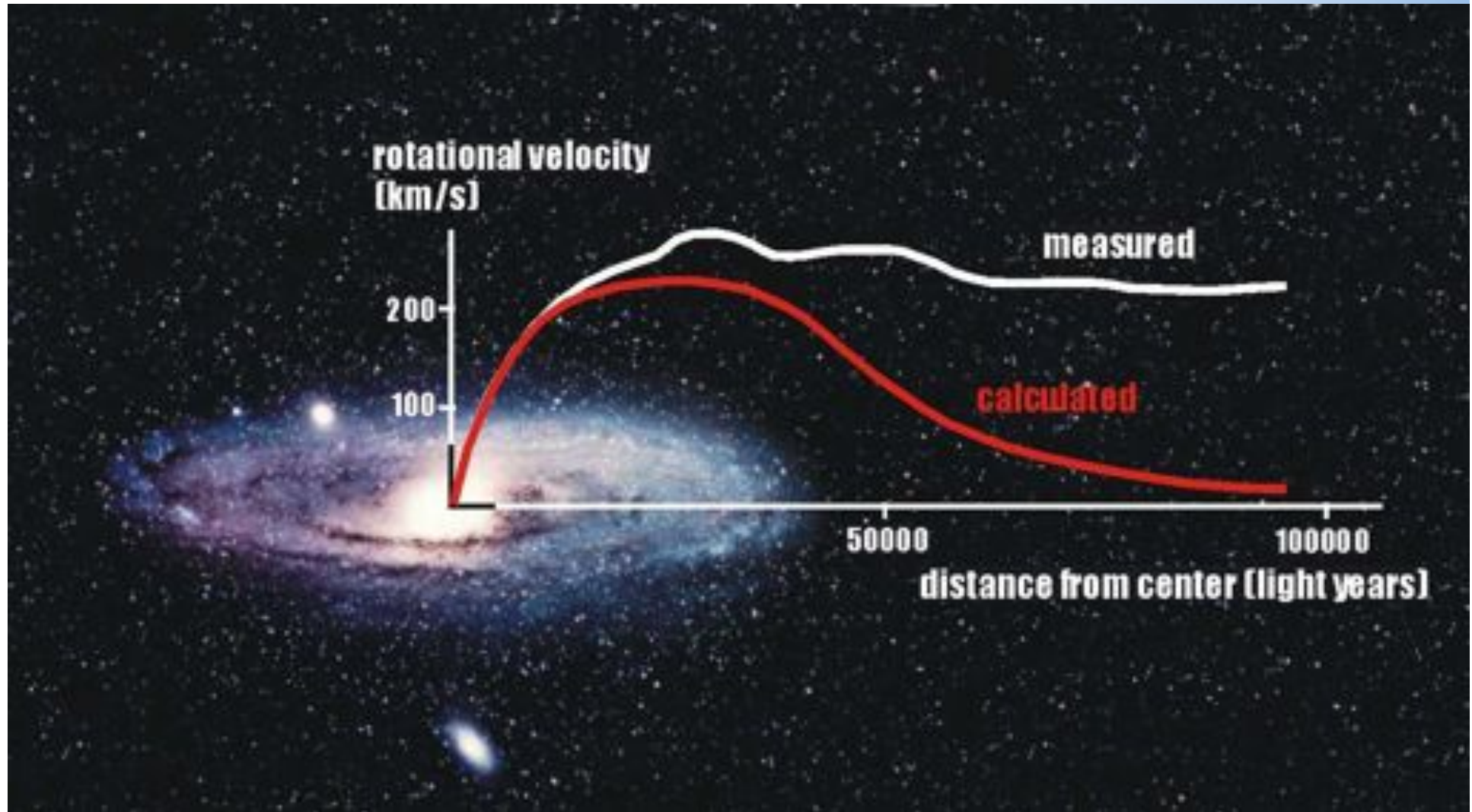
75%

ÉNERGIE SOMBRE

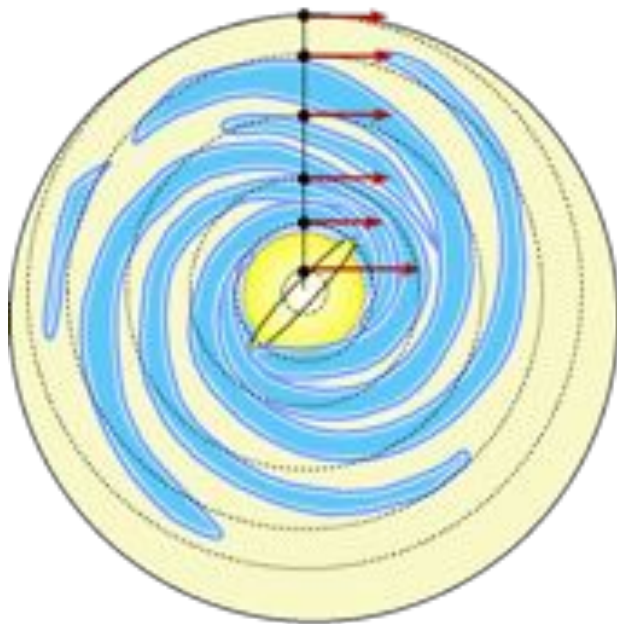
Ce que mesure un télescope...

- Un flux de photons ayant une énergie $E=h\nu$, où ν est la fréquence de l'onde électromagnétique.
- Un flux, c'est une quantité d'énergie détectée par seconde dans un angle solide donné, interceptée par surface (celle du miroir du télescope) à une fréquence.
- Unité: W/Hz/m^2 ou Jansky (Jy) = $10^{-26} \text{ W/Hz/m}^2$
- Le flux diminue avec la distance au carré.
- La sensibilité du télescope augmente avec le diamètre du miroir au carré.
- La résolution du télescope augmente avec son diamètre.
- Une source lumineuse de 100 Jy, placée 10 fois plus loin, aura un flux de 1 Jy.
- Si un télescope a une sensibilité lui permettant de détecter un flux de 100 Jy, un télescope 10 fois plus grand pourra détecter un flux de 1 Jy.
- La sensibilité peut également être améliorée avec des détecteurs plus performants.
- Important pour détecter des galaxies à grandes distances, vieilles de plus de 10 milliards d'années.

Matière noire ou sombre (dark matter): un fait observé – la courbe de rotation galactique



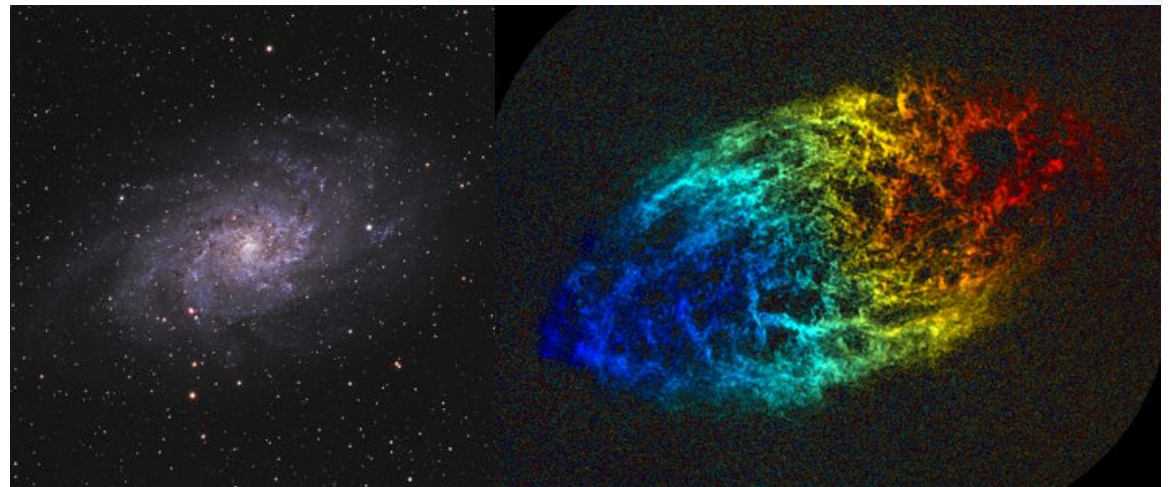
Matière noire ou sombre (dark matter): un fait observé – la courbe de rotation galactique



The mass inside an orbit can be found using the size of the orbit and the orbital speed. The arrows show the speeds for certain points on the **rotation curve** for this galaxy.

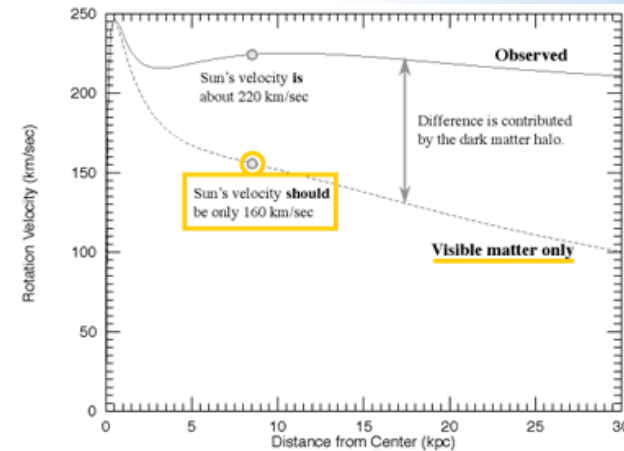
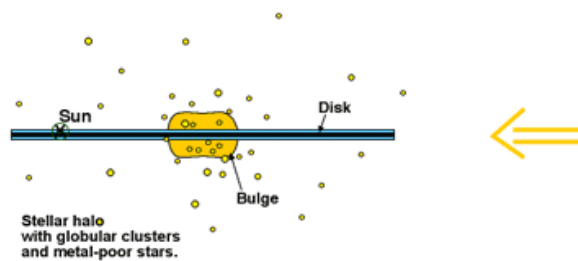
- La gravité accélère les étoiles.
- La gravité est due à la masse incluse à l'intérieur de l'orbite de l'étoile. $M = r \times v^2 / G$ (basé sur Newton).
- La masse est celle de l'ensemble de la matière et des astres = étoiles, gaz atomique et moléculaire.

<http://www.astronomynotes.com/ismnotes/s7.htm>

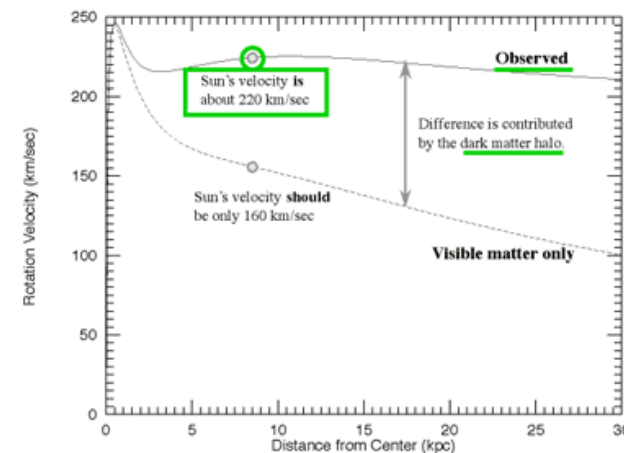
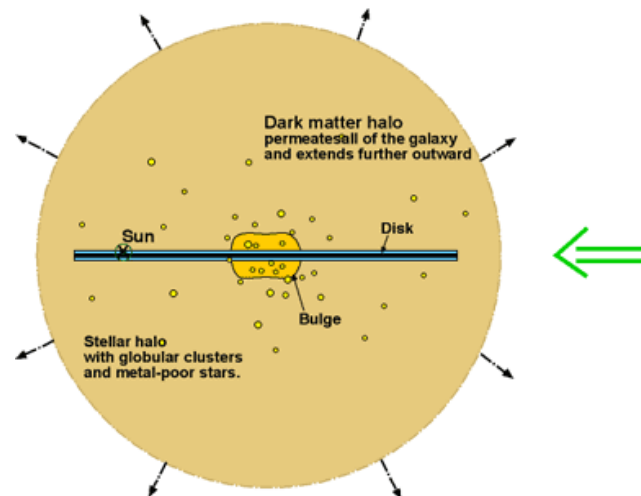


M33 dans le visible et vu à travers l'hydrogène (H).
Les couleurs sont proportionnelles à la vitesse.

Matière noire ou sombre (dark matter): un fait observé – la courbe de rotation galactique

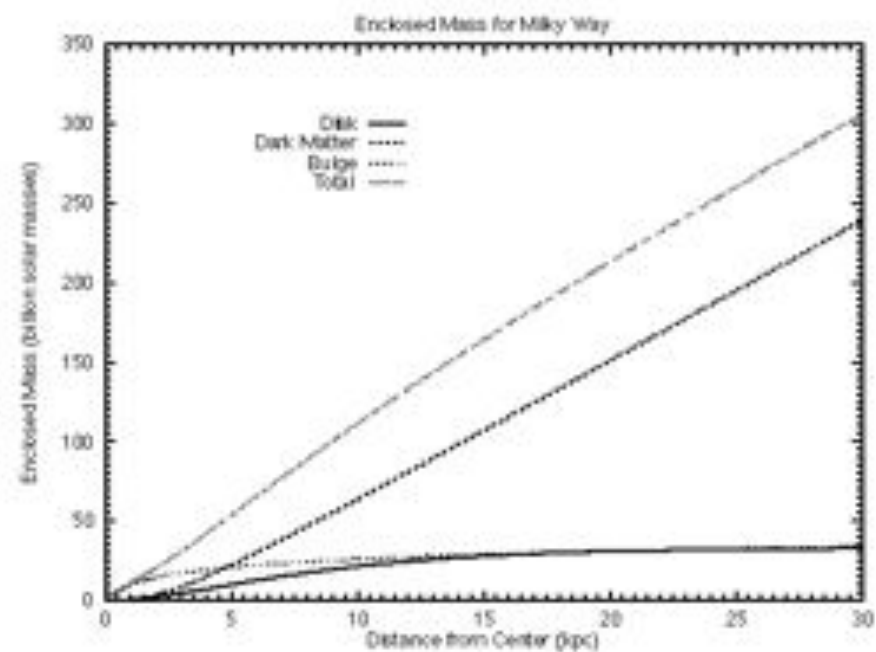
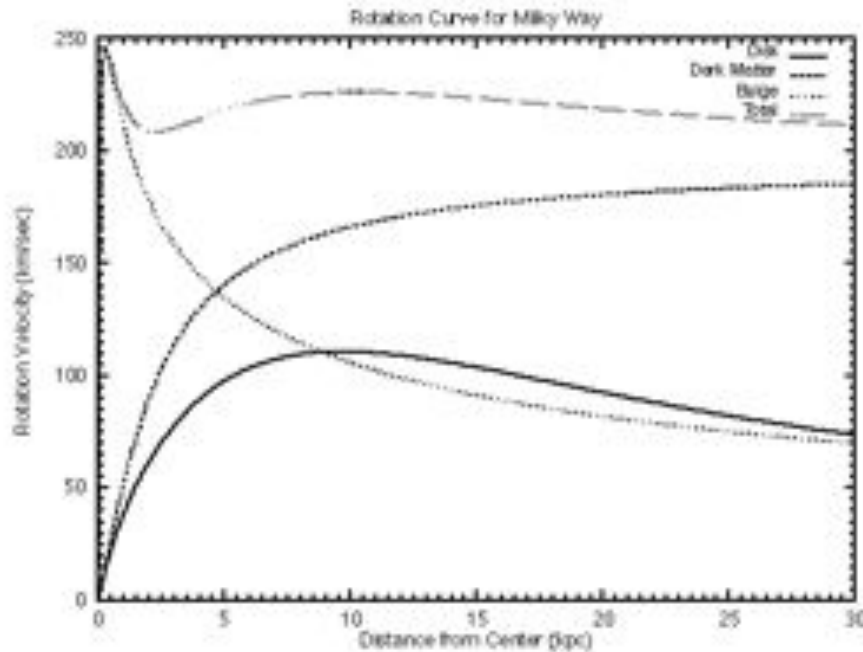


Rotation curve shows that there is "extra" gravity.



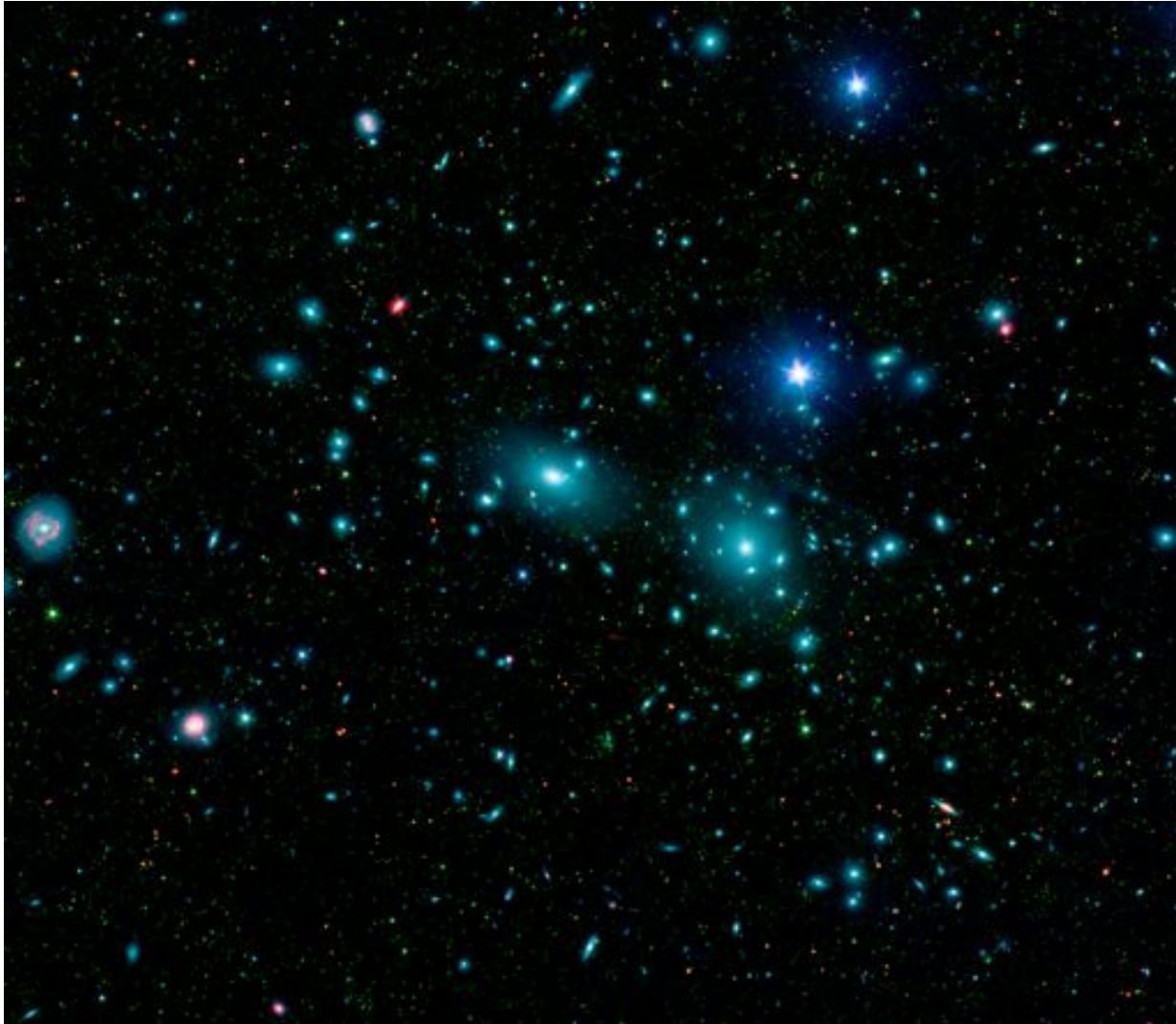
The gravity of the visible matter in the Galaxy is not enough to explain the high orbital speeds of stars in the Galaxy. For example, the Sun is moving about 60 km/sec too fast. The part of the rotation curve contributed by the visible matter only is the bottom curve. The discrepancy between the two curves is evidence for a **dark matter halo**.

Matière noire ou sombre (dark matter): un fait observé – la courbe de rotation galactique



Extra masse à partir de ~ 5 kpc du centre de la Galaxie. Mais cette masse supplémentaire n'est pas associée à de la matière détectable à travers son rayonnement (gaz, étoiles ...).

Matière noire ou sombre (dark matter): fait observé – vitesse des galaxies en amas

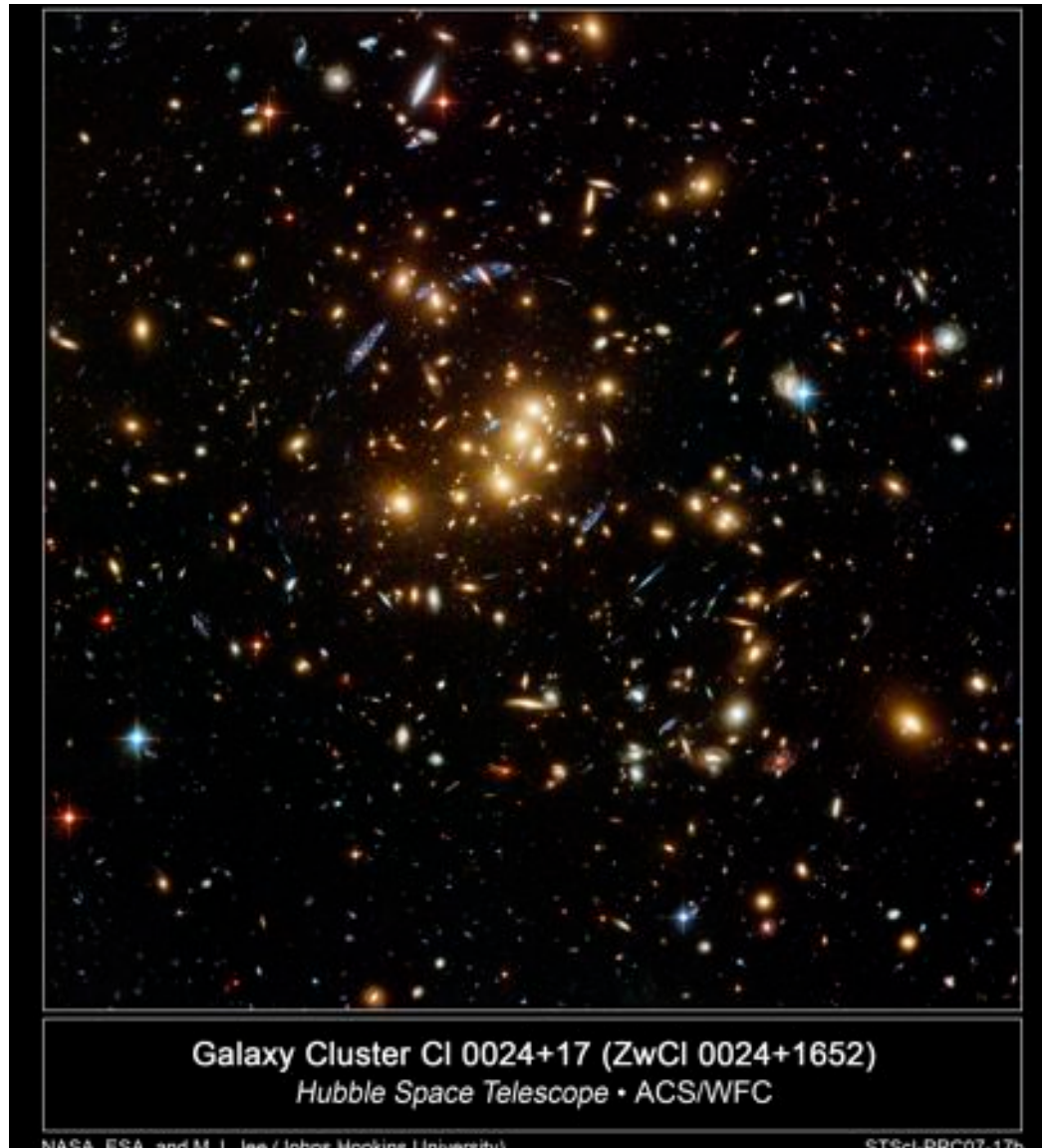


Amas de galaxie Coma

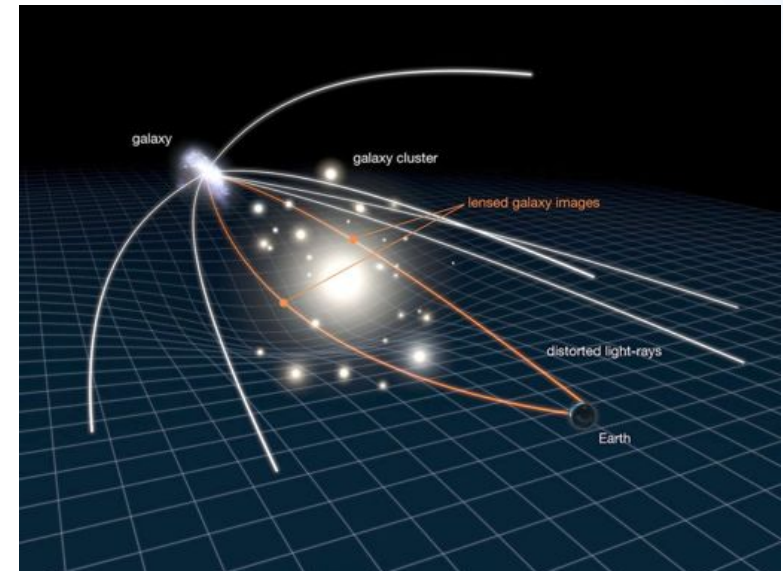
- 99 Mpc
- plus de 1000 galaxies
- 1933, Fritz Zwicky observe que les vitesses des galaxies ne s'expliquent pas uniquement par leur masse (via la gravité).
- Présence d'un halo de matière noire: 90% de la masse.



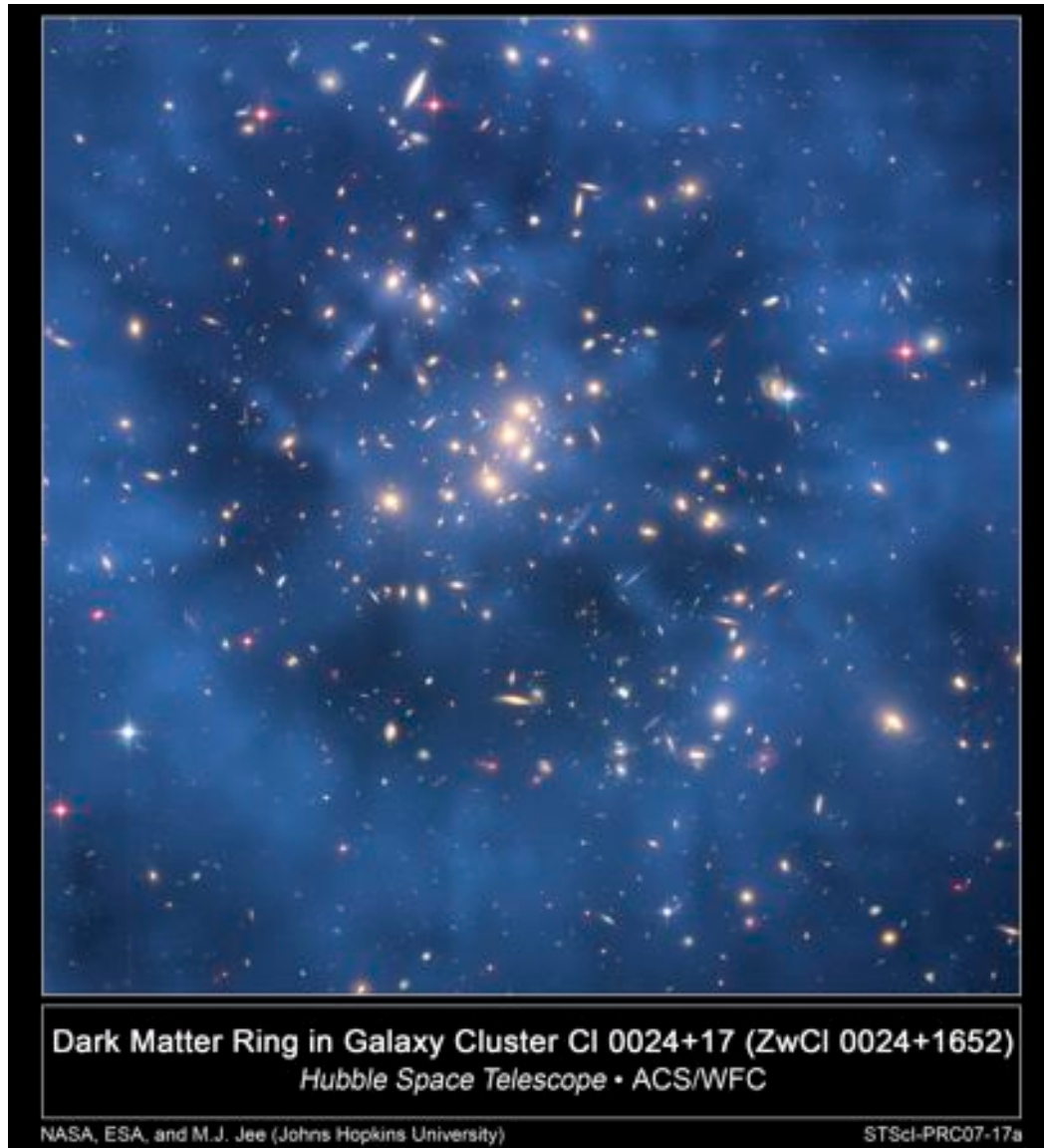
Matière noire ou sombre (dark matter): fait observé – lentille gravitationnelle



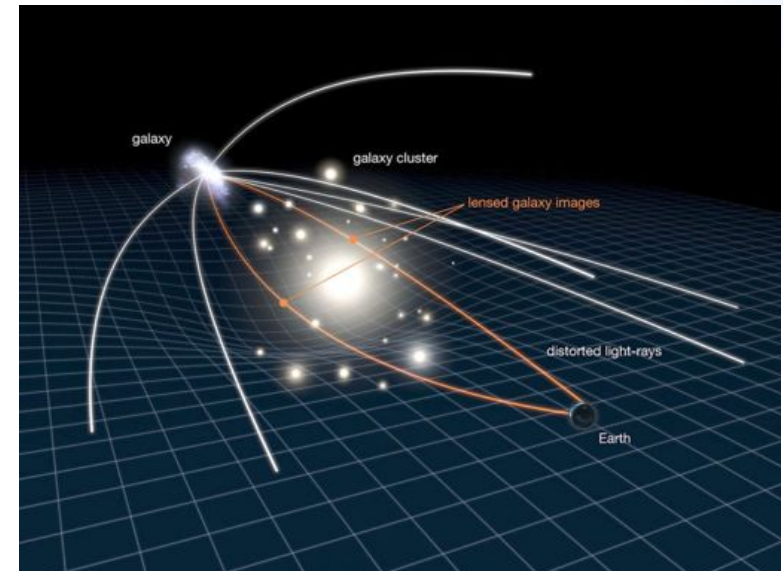
Objet: MACS J1206.2-0847 Object
R.A. 12h 06m 11s.98
Dec. -08° 48' 0".04
Constellation: La Vierge
Distance: 4,5 milliards d'années-lumière (1,2 milliards parsecs)



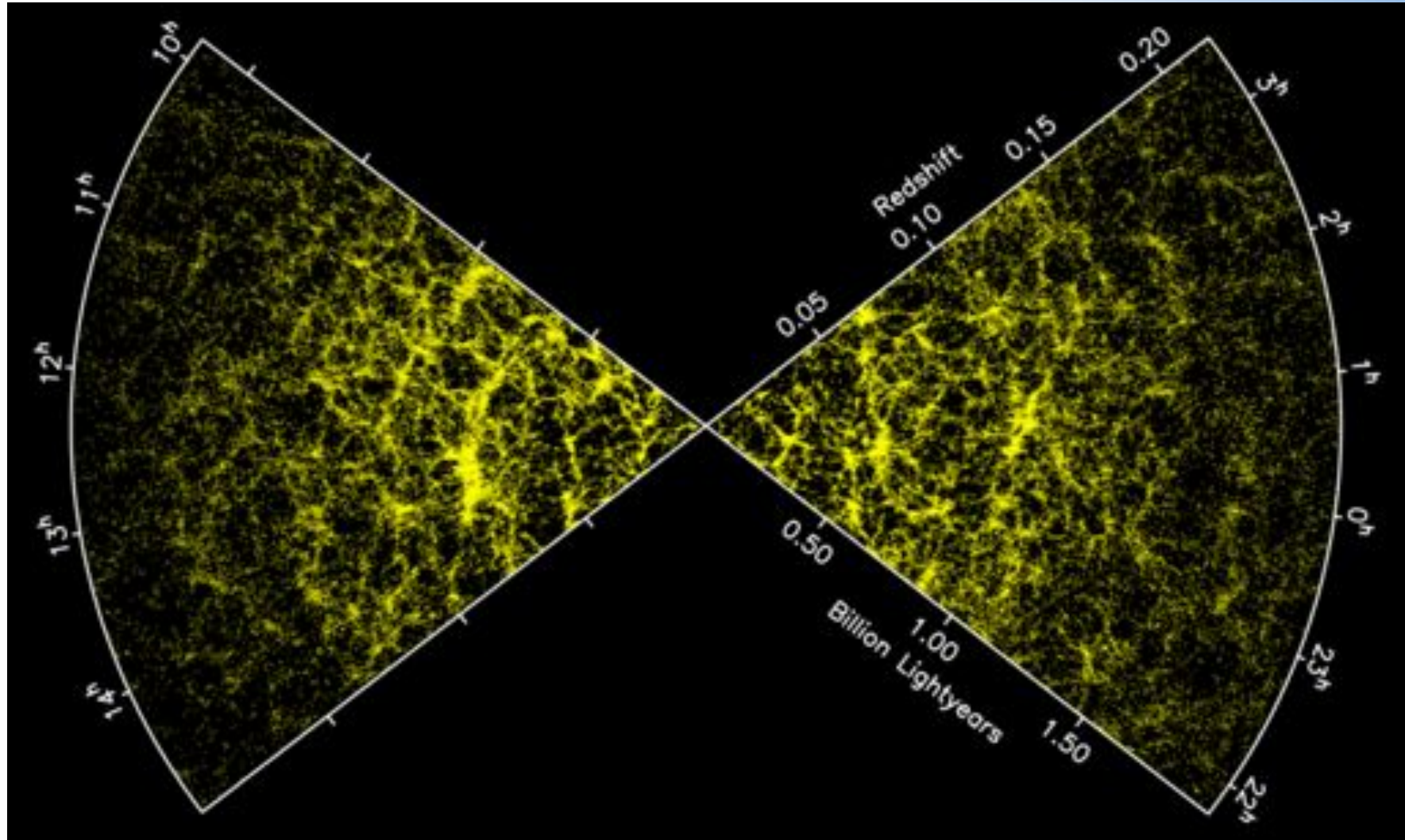
Matière noire ou sombre (dark matter): fait observé – lentille gravitationnelle



Objet: MACS J1206.2-0847 Object
R.A. 12h 06m 11s.98
Dec. -08° 48' 0".04
Constellation: La Vierge
Distance: 4,5 milliards d'années-lumière (1,2 milliards parsecs)

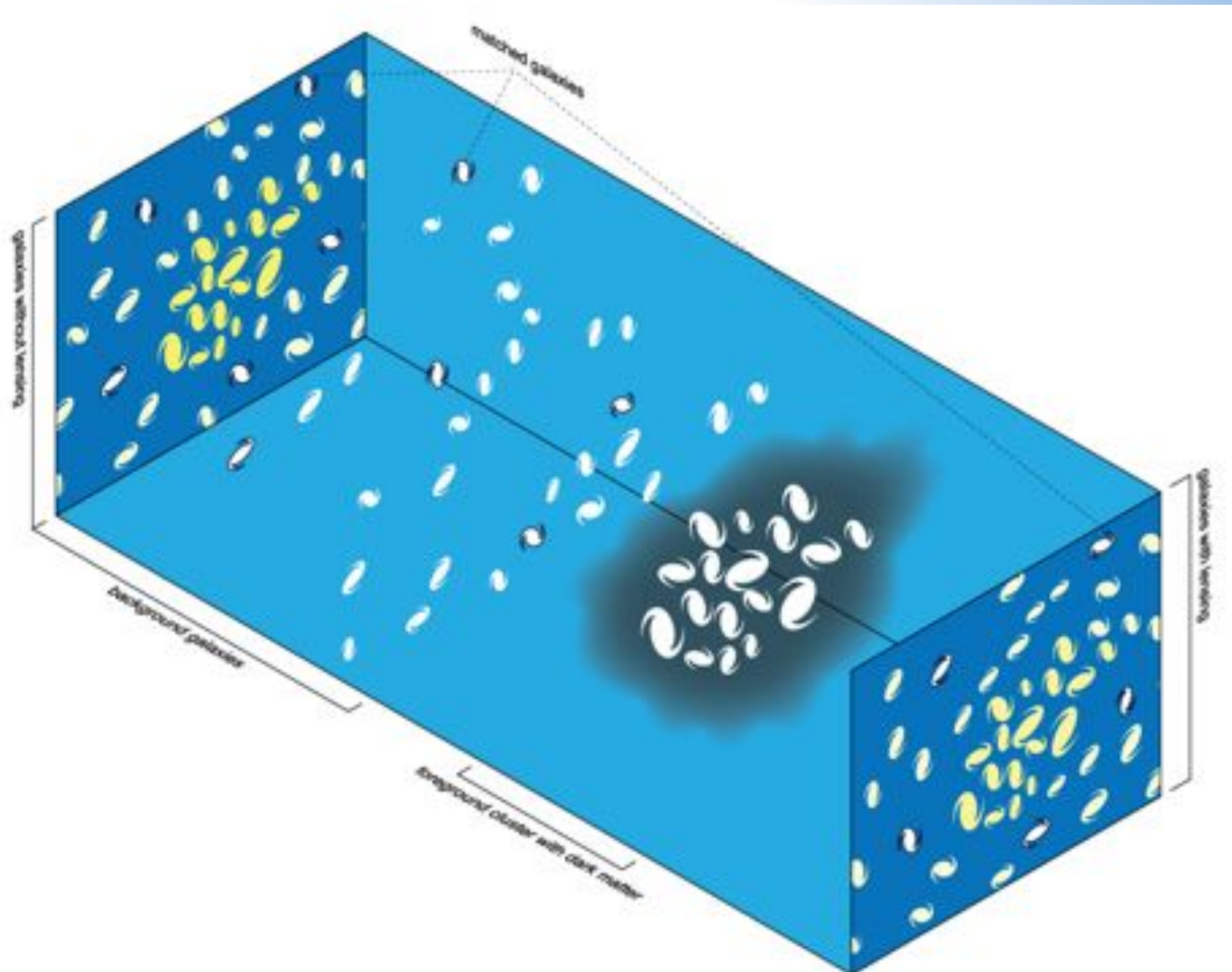


Cartographier la matière noire: utiliser des millions de galaxies et leur image déformée



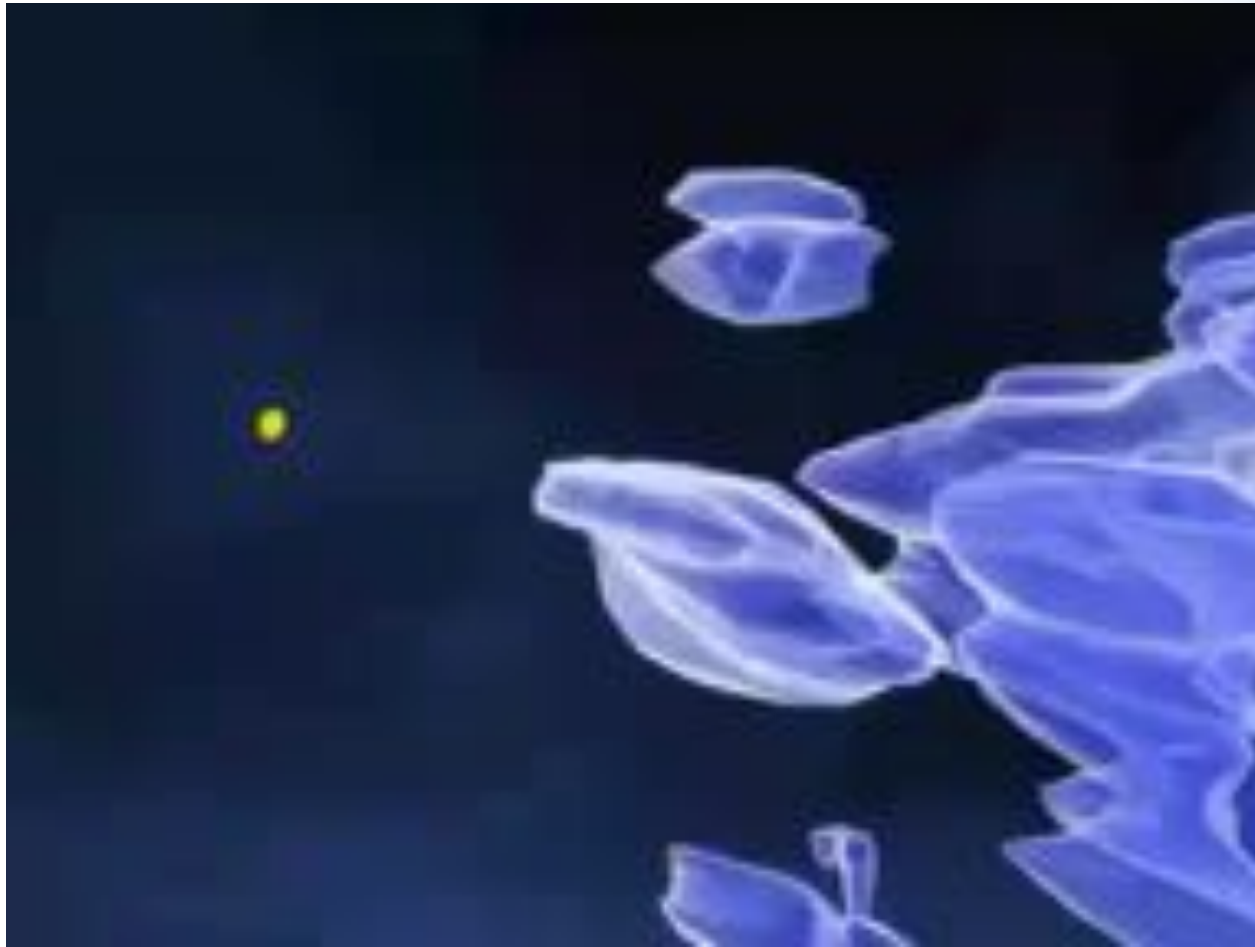
2dF survey: 220 000 galaxies jusqu'à redshift=3. <http://msowww.anu.edu.au/2dFGRS/>

Cartographier la matière noire par cisaillement gravitationnel



http://irfu.cea.fr/Sap/Phoce/Vie_des_labos/Ast/ast.php?t=actu&id_ast=1123

Cartographier la matière noire par cisaillement gravitationnel



Recomposition de la distribution de la matière noire entre il y a 3,5 et 6,5 milliards d'années.

Les observations furent réalisées par le programme COSMOS avec le télescope spatial Hubble.

Plusieurs types de matière noire

Matière baryonique (particules composées de quarks comme le proton ou le neutron) ou non baryonique ?

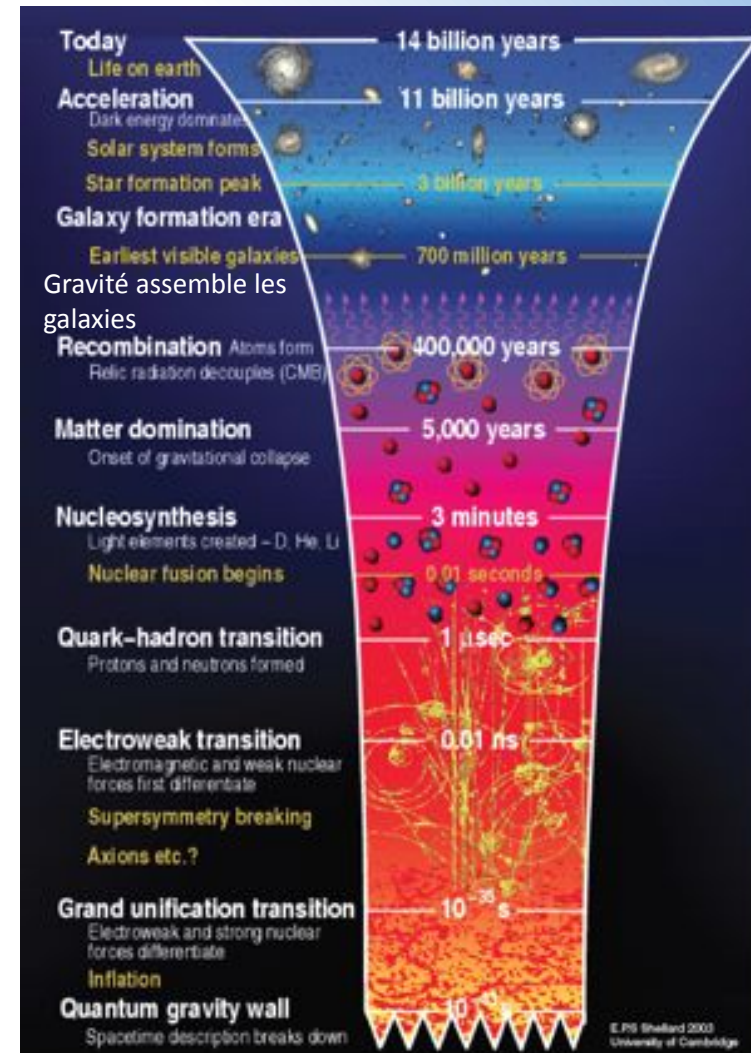
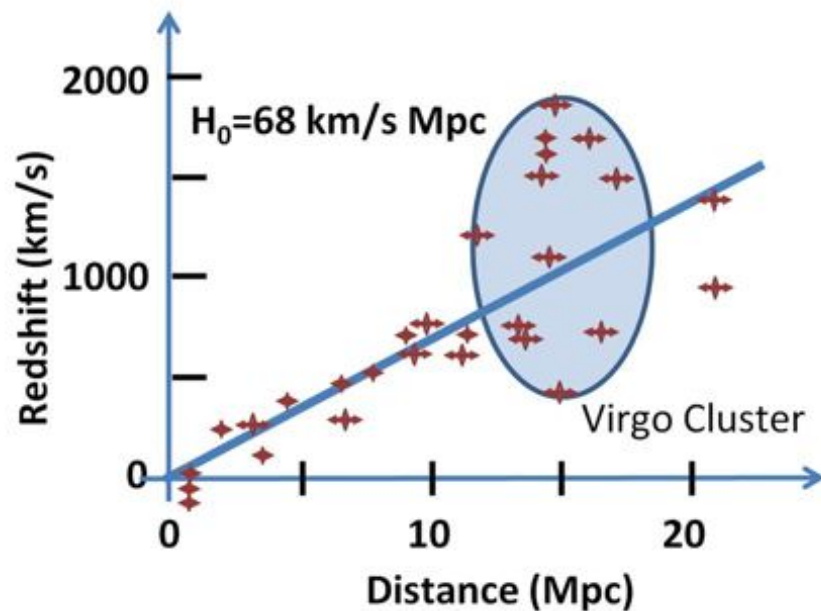
- Astres de faible intensité comme les naines brunes ?
- Antimatière ? Mais pas de rayonnement gamma intense où matière baryonique et matière noire pourrait interagir (annihilation matière – antimatière non observée).
- Trous noirs de la taille d'une galaxie ? Dans ce cas, forts effets de lentille gravitationnelle attendus et fréquents, mais non observés à ce jour.
- Population importante d'étoiles à neutron, isolées et peu visibles ?
- Solution actuelle vers une matière non baryonique comme les WIMPS (weakly interactive massive particles) ? Neutrino, axion, neutralino ?

Ou

Faut-il tout simplement modifier la théorie de la Gravité (Relativité Générale) ? Ex: MOND theory ?

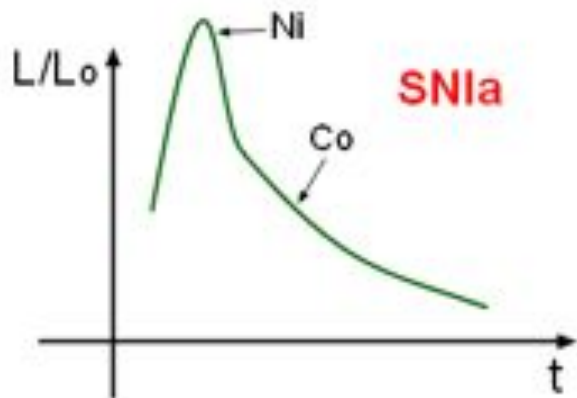
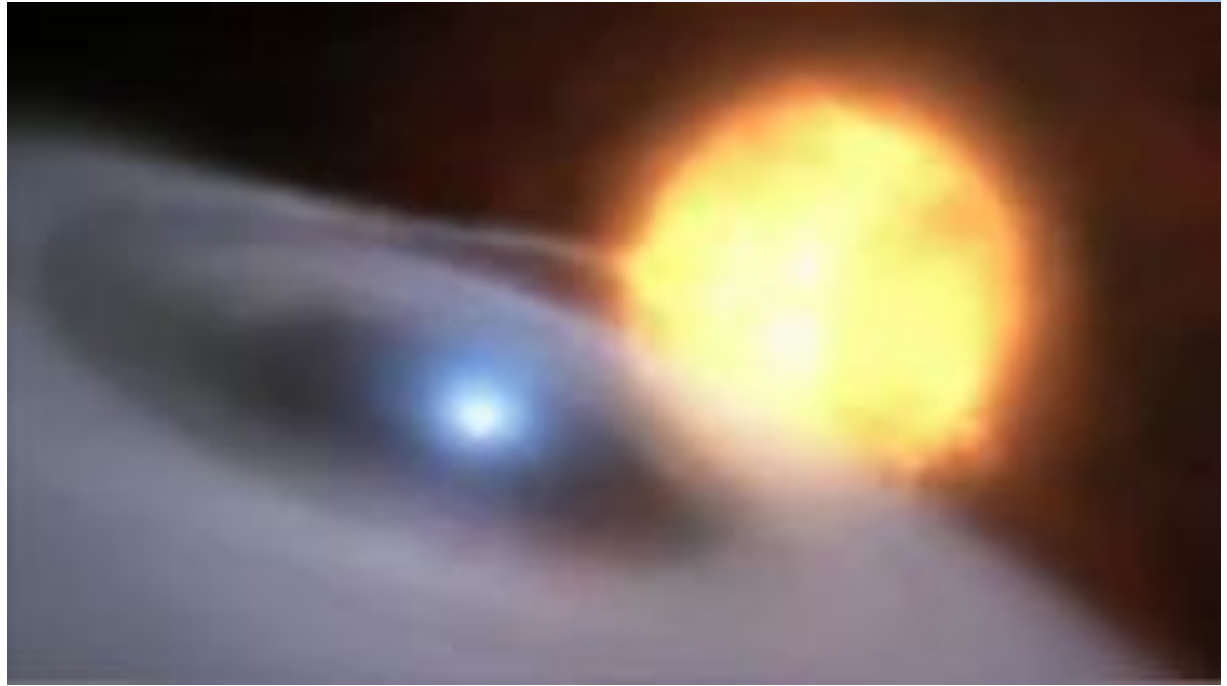
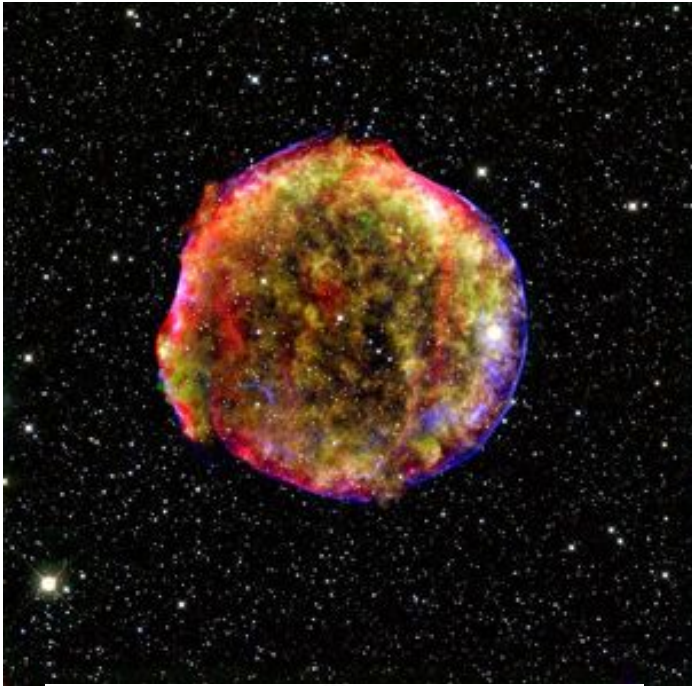
Energie noire – expansion de l'univers

La théorie Big bang: une rétro-chronologie sur 13,7 milliards d'années. Un des piliers du Big Bang: l'expansion de l'univers (E. Hubble, 1929). Besoin de « chandelles » standards (Cepheides, Supernovae la).



Aujourd'hui $H_0 = 72 \text{ (km/s)/Mpc} = 2,4 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1}$; $v = H_0 \times D$; $1/H_0 = 13,7$ milliards d'années; masse volumique de la matière dans l'univers: $9 \times 10^{-27} \text{ kg/m}^3$ soit 5 atomes par m^3 .

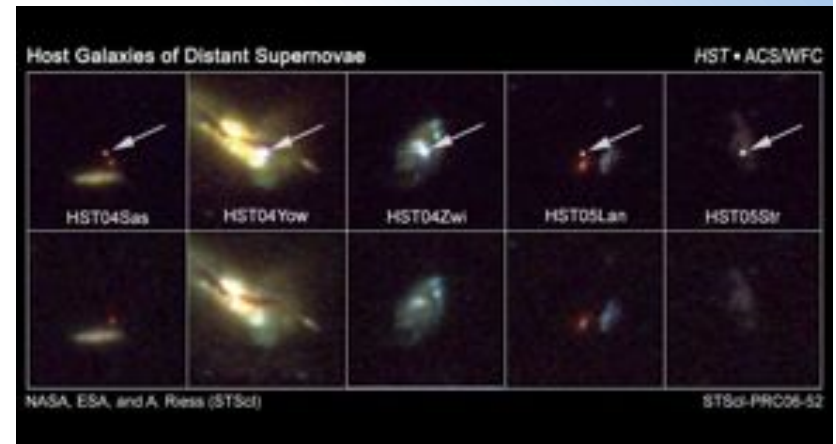
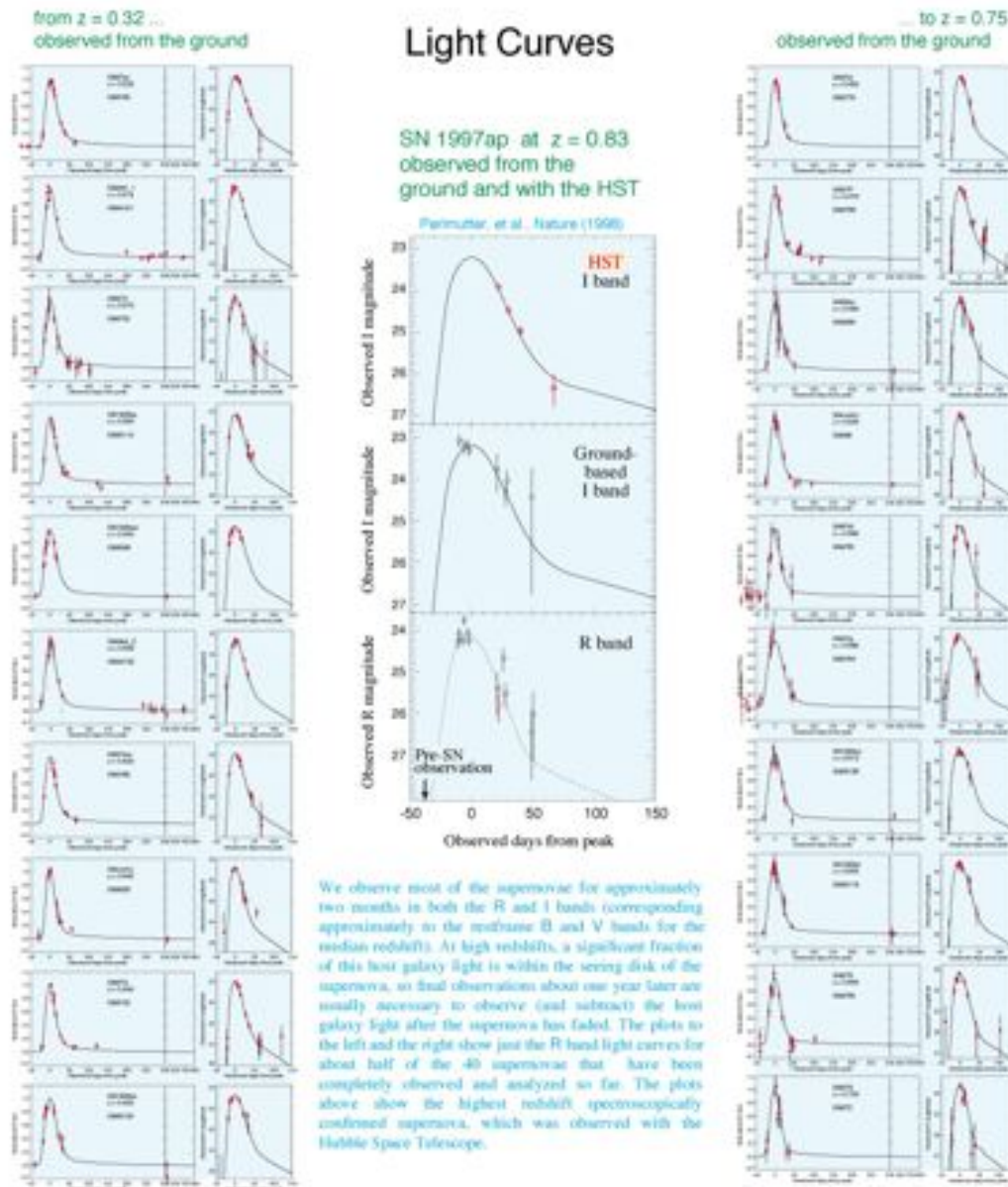
Energie noire – supernovae de type Ia



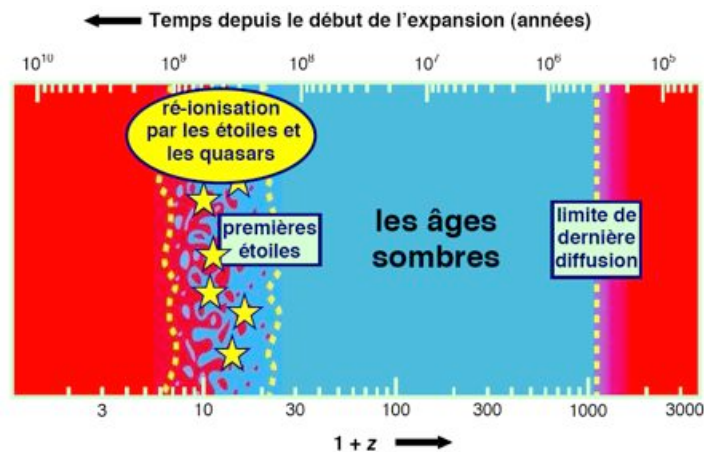
Supernovae Ia = chandelle cosmologique. Explosion d'une étoile « naine blanche » après avoir accréter la masse d'une étoile compagnon plus lors de sa transformation en géante rouge. Explosion identique quelque soit la galaxie. Le spectre de lumière a toujours la même forme avec le temps. La distance décale ce spectre en longueur d'onde. La luminosité émise peut être égale à 4 milliards de fois celle du Soleil.

Type Ia Supernovae

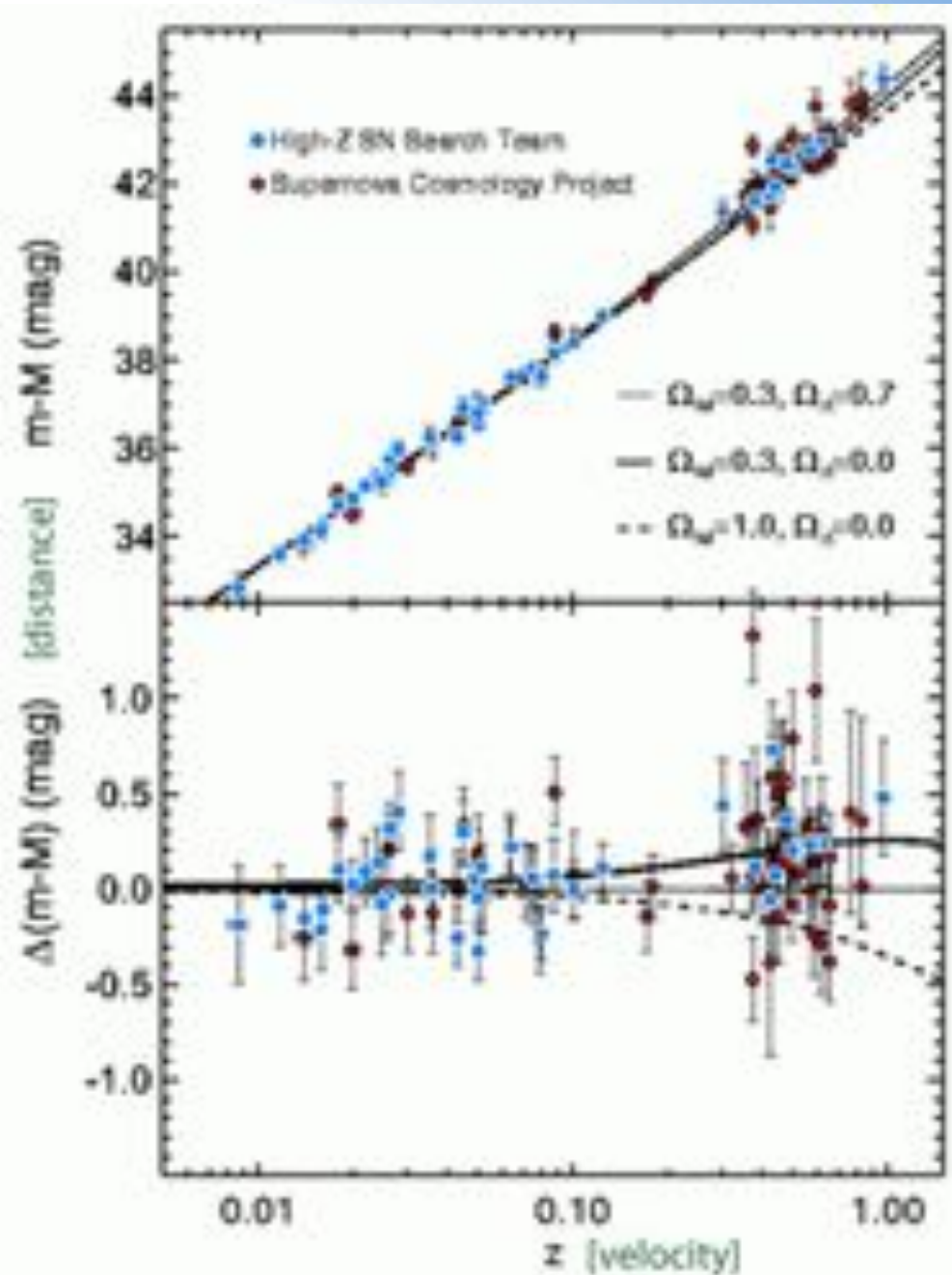
Différente courbe de lumière de supernovae à différentes distances.



Découvertes de SuperNovae la moins brillantes que prévues



z = redshift = décalage spectral vers le rouge.



Ni Nature, ni Science

THE HIGH-Z SUPERNOVA SEARCH: MEASURING COSMIC DECELERATION AND GLOBAL CURVATURE OF THE UNIVERSE USING TYPE Ia SUPERNOVAE¹

BRIAN P. SCHMIDT,² NICHOLAS B. SUNTZEFF,³ M. M. PHILLIPS,³ ROBERT A. SCHOMMER,³ ALEJANDRO CLOCCHIATTI,^{3,4}
ROBERT P. KIRSHNER,⁵ PETER GARNAVICH,⁵ PETER CHALLIS,⁵ B. LEIBUNDGUT,⁶ J. SPYROMILIO,⁶ ADAM G. RIESS,^{5,7}
ALEXEI V. FILIPPENKO,⁷ MARIO HAMUY,⁸ R. CHRIS SMITH,^{4,9} CRAIG HOGAN,¹⁰ CHRISTOPHER STUBBS,¹⁰
ALAN DIERCKX,¹⁰ DAVID REISS,¹⁰ RON GILLILAND,¹¹ JOHN TONRY,¹² JOSÉ MAZA,¹³
A. DRESSLER,¹⁴ J. WALSH,⁶ AND R. CIARDULLO¹⁵

Received 1997 December 30; accepted 1998 June 10

ABSTRACT

The High-Z Supernova Search is an international collaboration to discover and monitor Type Ia supernovae (SNe Ia) at $z > 0.2$ with the aim of measuring cosmic deceleration and global curvature. Our collaboration has pursued a basic understanding of supernovae in the nearby universe, discovering and observing a large sample of objects and developing methods to measure accurate distances with SNe Ia. This paper describes the extension of this program to $z \geq 0.2$, outlining our search techniques and follow-up program. We have devised high-throughput filters that provide accurate two-color rest frame B and V light curves of SNe Ia, enabling us to produce precise, extinction-corrected luminosity distances in the range $0.25 < z < 0.55$. Sources of systematic error from K -corrections, extinction, selection effects, and evolution are investigated, and their effects estimated. We present photometric and spectral observations of SN 1995K, our program's first supernova (SN), and use the data to obtain a precise measurement of the luminosity distance to the $z = 0.479$ host galaxy. This object, when combined with a nearby sample of SNe, yields an estimate for the matter density of the universe of $\Omega_M = -0.2^{+1.0}_{-0.8}$ if $\Omega_\Lambda = 0$. For a spatially flat universe composed of normal matter and a cosmological constant, we find $\Omega_M = 0.4^{+0.5}_{-0.4}$, $\Omega_\Lambda = 0.6^{+0.4}_{-0.5}$. We demonstrate that with a sample of ~ 30 objects, we should be able to determine relative luminosity distances over the range $0 < z < 0.5$ with sufficient precision to measure Ω_M with an uncertainty of ± 0.2 .

Subject headings: cosmology: observations — galaxies: distances and redshifts — supernovae: general — supernovae: individual (SN 1995K)

OBSERVATIONAL EVIDENCE FROM SUPERNOVAE FOR AN ACCELERATING UNIVERSE AND A COSMOLOGICAL CONSTANT

ADAM G. RIESS,¹ ALEXEI V. FILIPPENKO,¹ PETER CHALLIS,² ALEJANDRO CLOCCHIATTI,³ ALAN DIERCKX,⁴
PETER M. GARNAVICH,² RON L. GILLILAND,⁵ CRAIG J. HOGAN,⁴ SAURABH JHA,² ROBERT P. KIRSHNER,²
B. LEIBUNDGUT,⁶ M. M. PHILLIPS,⁷ DAVID REISS,⁴ BRIAN P. SCHMIDT,^{8,9} ROBERT A. SCHOMMER,⁷
R. CHRIS SMITH,^{7,10} J. SPYROMILIO,⁶ CHRISTOPHER STUBBS,⁴
NICHOLAS B. SUNTZEFF,⁷ AND JOHN TONRY¹¹

Received 1998 March 13; revised 1998 May 6

ABSTRACT

We present spectral and photometric observations of 10 Type Ia supernovae (SNe Ia) in the redshift range $0.16 \leq z \leq 0.62$. The luminosity distances of these objects are determined by methods that employ relations between SN Ia luminosity and light curve shape. Combined with previous data from our High- z Supernova Search Team and recent results by Riess et al., this expanded set of 16 high-redshift supernovae and a set of 34 nearby supernovae are used to place constraints on the following cosmological parameters: the Hubble constant (H_0), the mass density (Ω_M), the cosmological constant (i.e., the vacuum energy density, Ω_Λ), the deceleration parameter (q_0), and the dynamical age of the universe (t_0). The distances of the high-redshift SNe Ia are, on average, 10%–15% farther than expected in a low mass density ($\Omega_M = 0.2$) universe without a cosmological constant. Different light curve fitting methods, SN Ia subsamples, and prior constraints unanimously favor eternally expanding models with positive cosmological constant (i.e., $\Omega_\Lambda > 0$) and a current acceleration of the expansion (i.e., $q_0 < 0$). With no prior constraint on mass density other than $\Omega_M \geq 0$, the spectroscopically confirmed SNe Ia are statistically consistent with $q_0 < 0$ at the 2.8 σ and 3.9 σ confidence levels, and with $\Omega_\Lambda > 0$ at the 3.0 σ and 4.0 σ confidence levels, for two different fitting methods, respectively. Fixing a “minimal” mass density, $\Omega_M = 0.2$, results in the weakest detection, $\Omega_\Lambda > 0$ at the 3.0 σ confidence level from one of the two methods. For a flat universe prior ($\Omega_M + \Omega_\Lambda = 1$), the spectroscopically confirmed SNe Ia require $\Omega_\Lambda > 0$ at 7 σ and 9 σ formal statistical significance for the two different fitting methods. A universe closed by ordinary matter (i.e., $\Omega_M = 1$) is formally ruled out at the 7 σ to 8 σ confidence level for the two different fitting methods. We estimate the dynamical age of the universe to be 14.2 ± 1.7 Gyr including systematic uncertainties in the current Cepheid distance scale. We estimate the likely effect of several sources of systematic error, including progenitor and metallicity evolution, extinction, sample selection bias, local perturbations in the expansion rate, gravitational lensing, and sample contamination. Presently, none of these effects appear to reconcile the data with $\Omega_\Lambda = 0$ and $q_0 \geq 0$.

Key words: cosmology: observations — supernovae: general

Energie noire – accélération de l'expansion

(Prix Nobel 2011, S. Perlmutter, B. Schmidt, A. Riess)

Forme de
l'univers

Contenu de l'univers

$$G_{\mu\nu} = 8 \pi T_{\mu\nu} - \Lambda g_{\mu\nu}$$

Energie noire

Qu'est-ce que l'énergie noire:

- un phénomène, une force (?), qui s'oppose à la gravité dont les effets ont commencé à être perceptibles il y a environ 5 milliards d'années.
- Constante cosmologique (énergie du vide) ?
- Quintessence, variable dans le temps ?

Découverte de l'énergie noire

La recherche des supernovae de type I les plus distantes a permis de mesurer précisément l'expansion de l'univers et d'en déduire une accélération survenue il y a 7 milliards d'années.

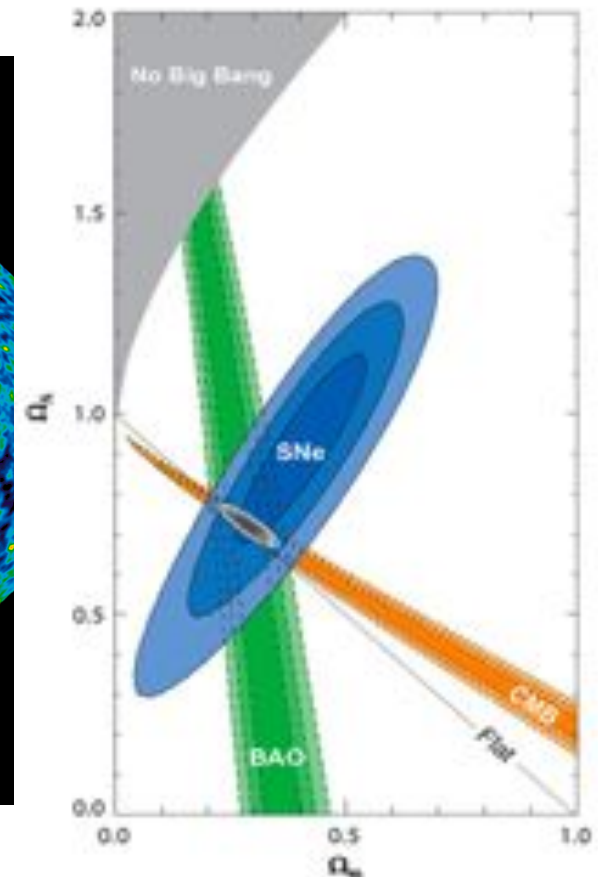
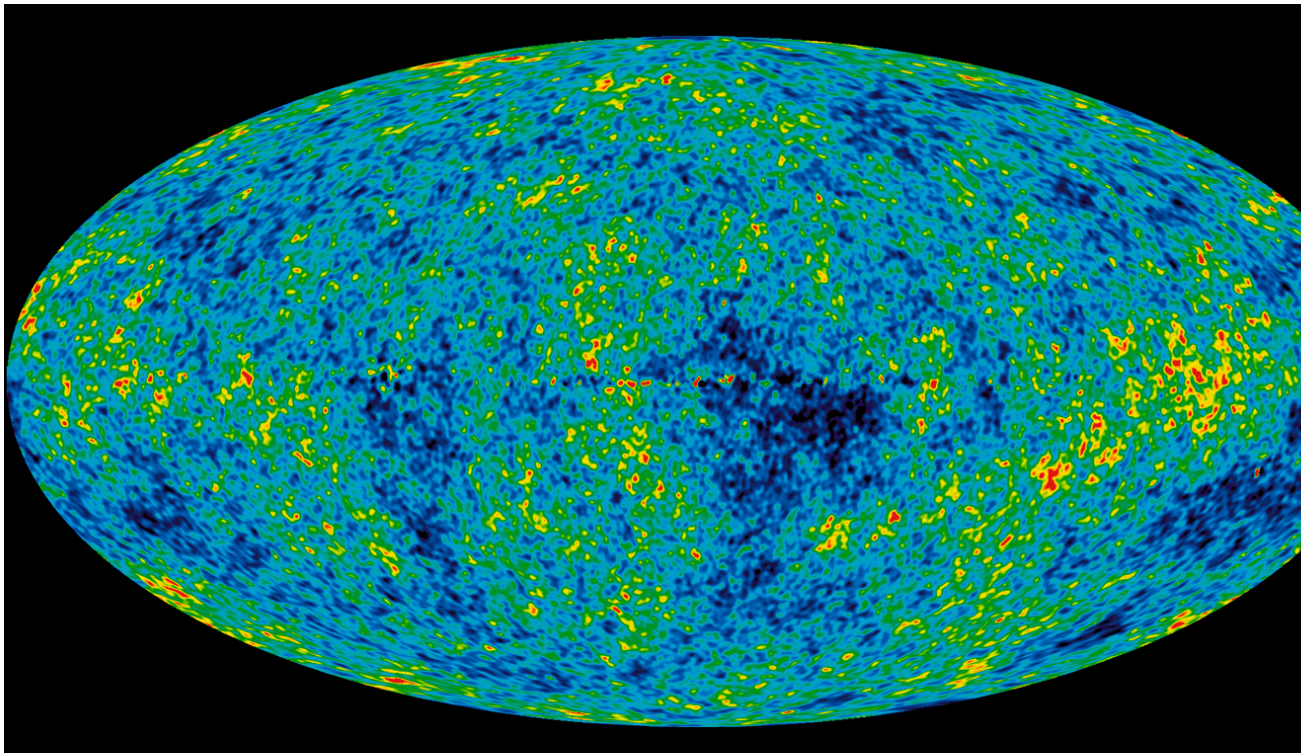
Théoriquement la gravité pourrait freiner l'expansion de l'univers.

Problème, en 1998, des supernovae furent observées à des distances supérieures aux prédictions, ce qui impliquait une accélération de l'univers.

http://hubblesite.org/hubble_discoveries/dark_energy/ (en anglais)

<http://learner.org/courses/physics/unit/text.html?unit=11&secNum=0> (en anglais)

Fond diffus cosmologique: information sur la géométrie et la matière de l'univers.

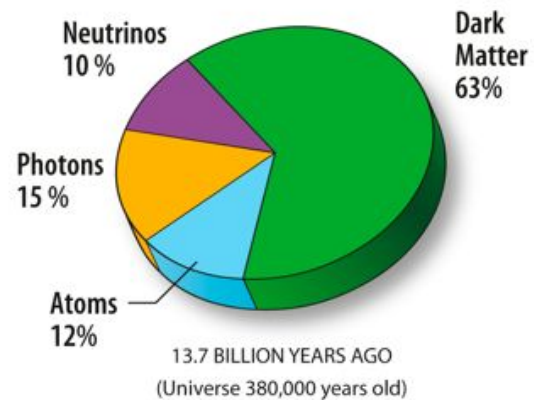
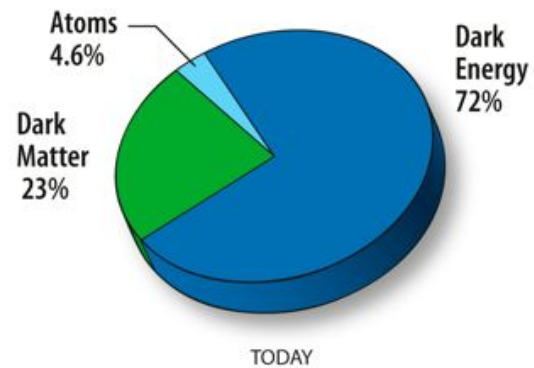


Taille angulaire des fluctuations de température ~ 1 deg \rightarrow univers plat, $\Omega = \Omega_m + \Omega_\Lambda = 1$

<http://map.gsfc.nasa.gov/media/101080/index.html>

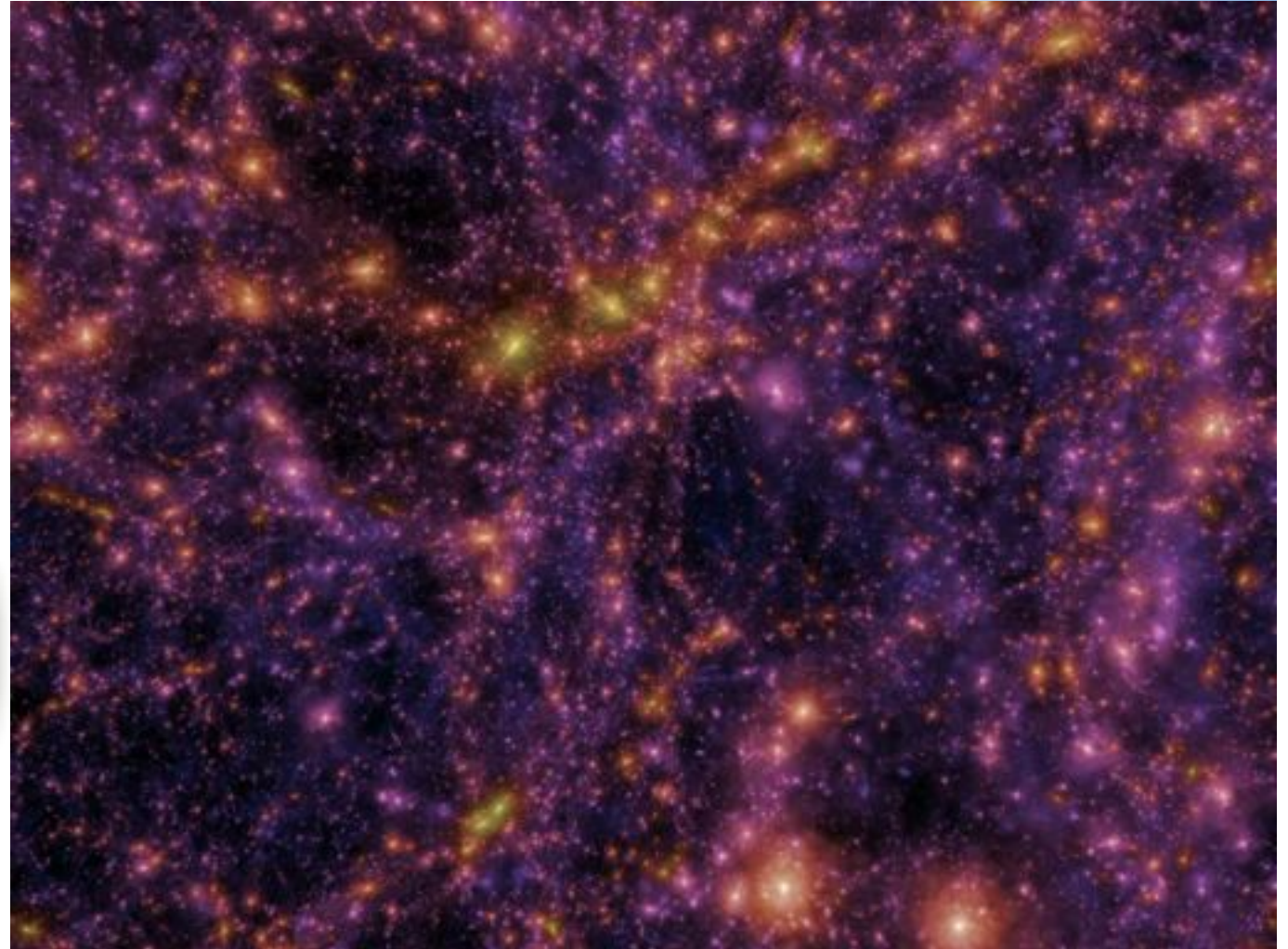
Forme et contenu de l'univers

$$G_{\mu\nu} = 8 \pi T_{\mu\nu} - \Lambda g_{\mu\nu}$$



Euclid: mission « M » de l'Agence spatiale européenne.

Lancement prévu: 2019. Relevé de 15 000 deg² sur le ciel. Visible et infrarouge.

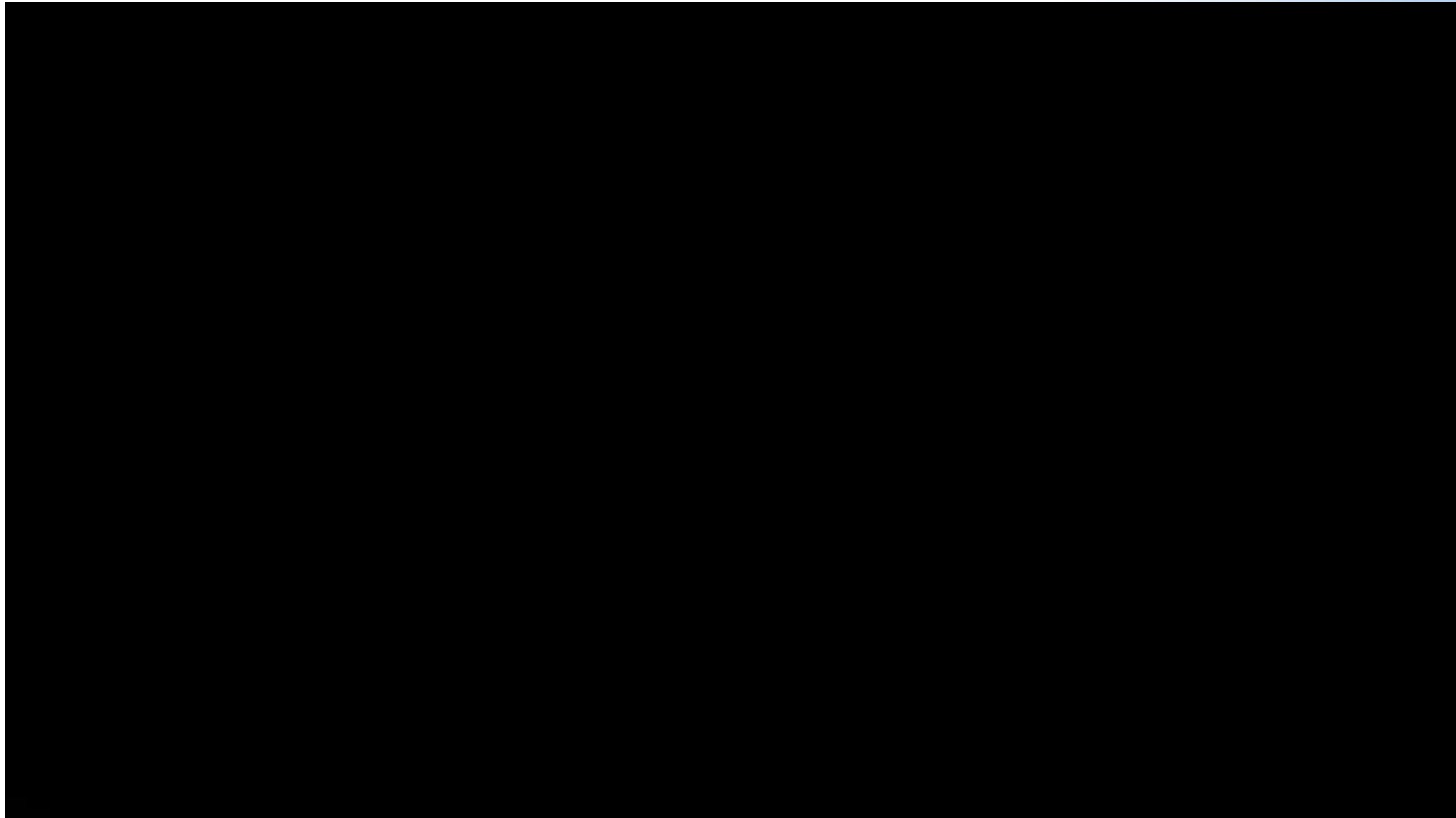


<http://sci.esa.int/euclid>

Séance #4: les défis à venir et les futurs moyens d'observation

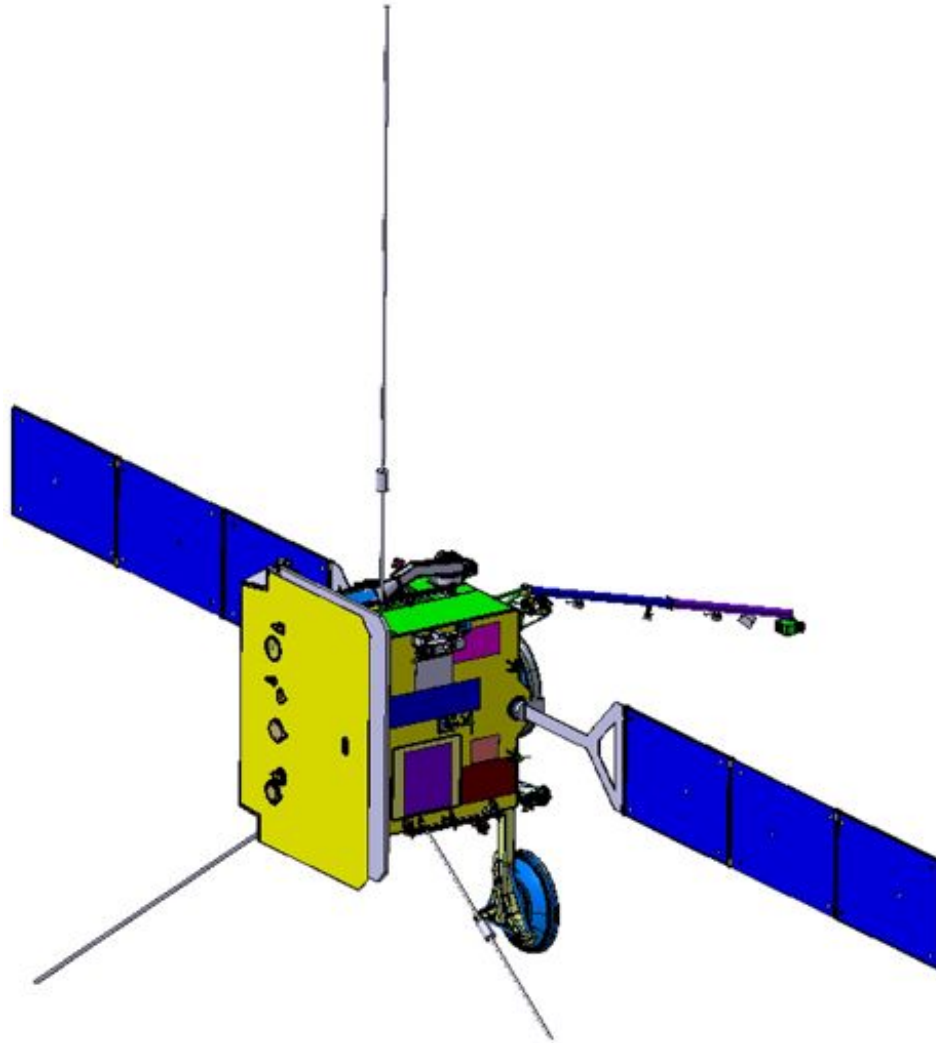
1. L'énergie noire, la matière sombre/noire et Euclid
2. **Le Soleil et Solar Orbiter**
3. Les futurs observatoires au sol
 - ALMA
 - ELT
 - SKA

Le Soleil et Solar Orbiter



Solar Orbiter: mission « M » de l'Agence spatiale européenne.

Lancement prévu: 2020 (?). 10 instruments: X, UV, visible, particules. 0.28 ua du Soleil.



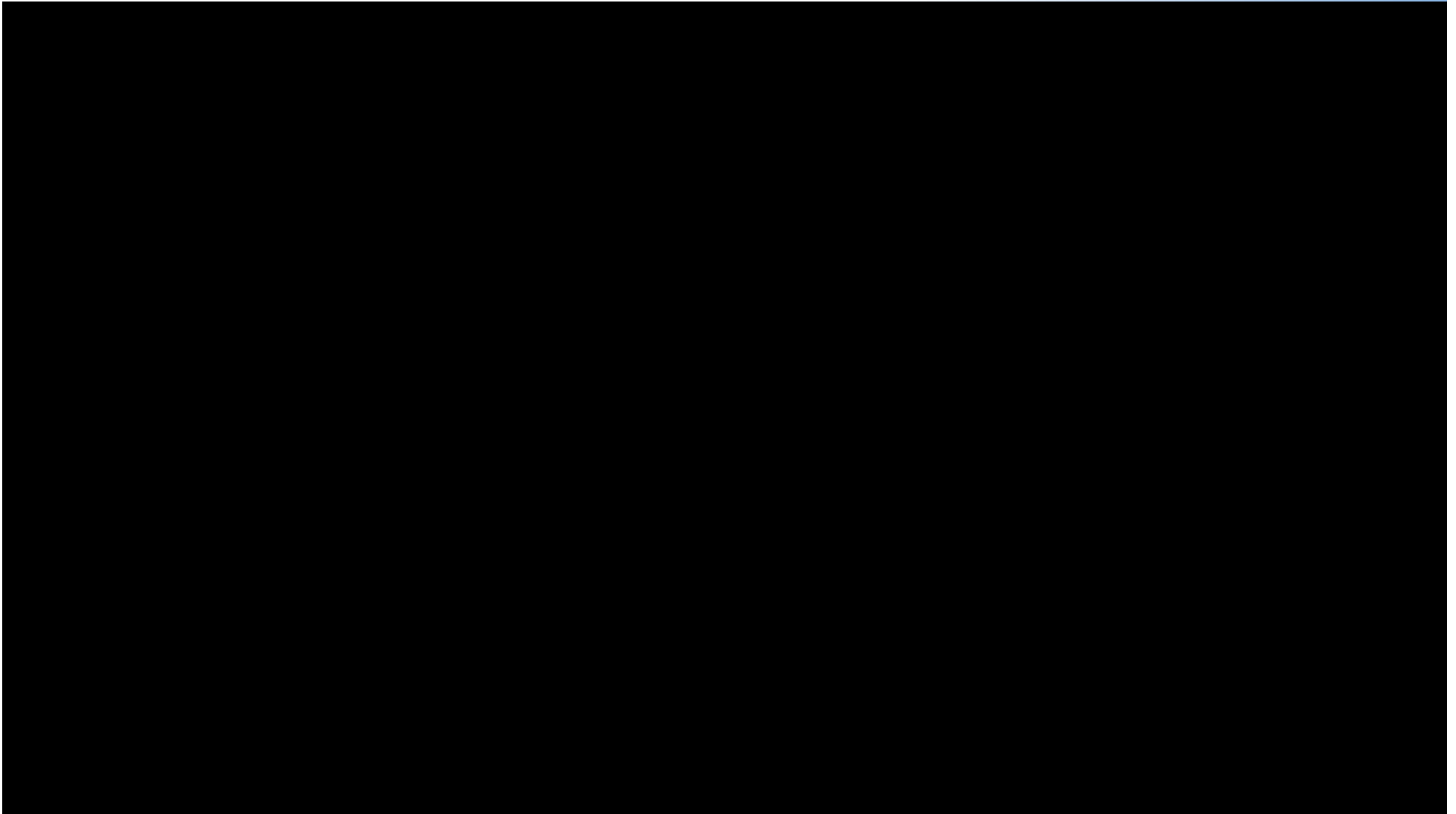
Objectifs scientifiques:

- déterminer les propriétés et la dynamique du plasma, du champ magnétique et des particules au niveau de l'héliosphère.
- cartographier les détails de l'atmosphère magnétique du Soleil.
- relier activité solaire en surface et l'évolution de la couronne et de l'héliosphère interne.
- prévision à long terme de l'activité solaire est-elle possible ?

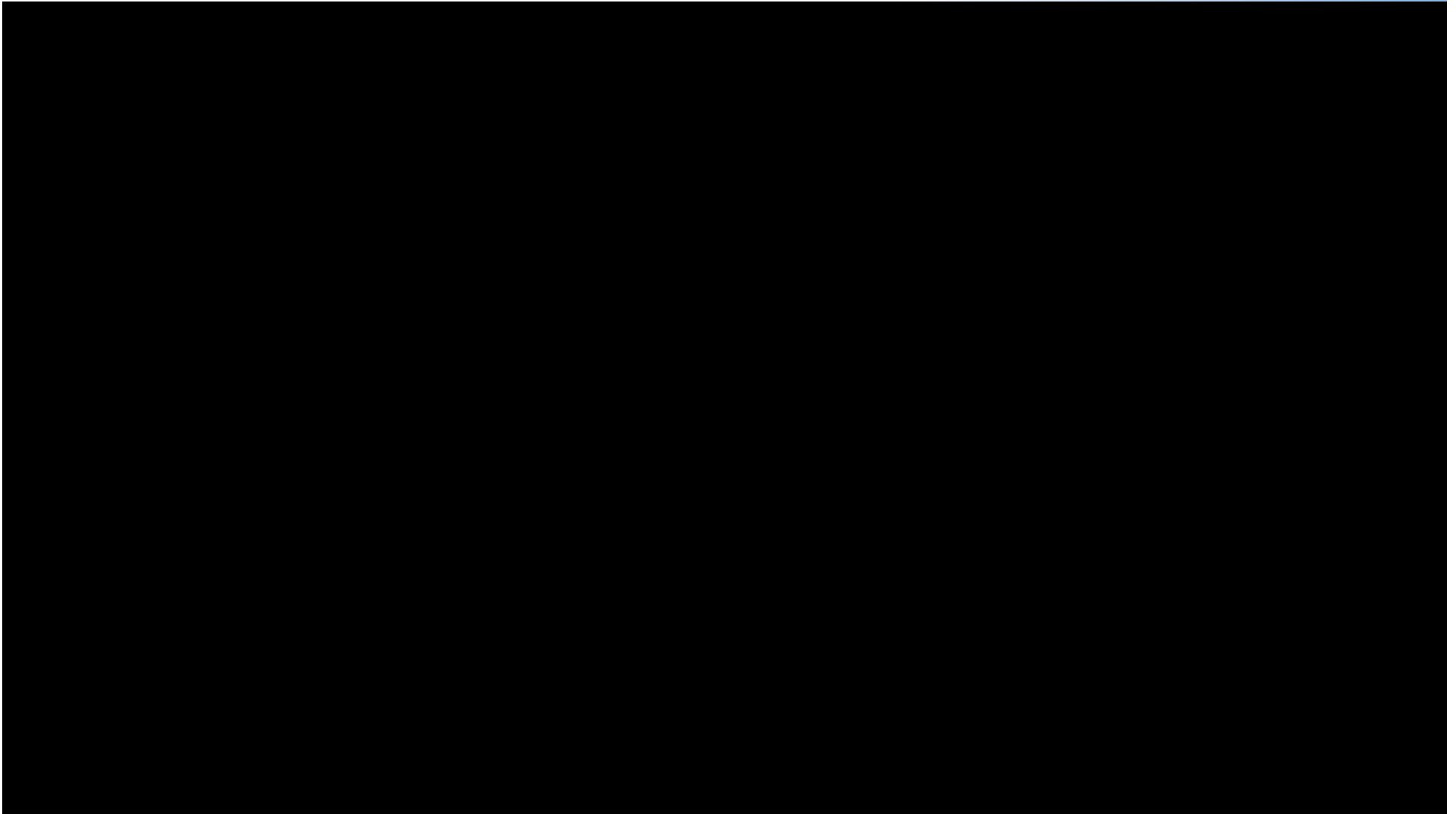
Séance #4: les défis à venir et les futurs moyens d'observation

1. L'énergie noire, la matière sombre/noire et Euclid
2. Le Soleil et Solar Orbiter
3. Les futurs observatoires au sol
 - ALMA
 - ELT
 - SKA

ALMA <http://www.eso.org/public/france/teles-instr/alma.html>



ELT <http://www.eso.org/public/france/teles-instr/e-elt.html>



SKA – radio astronomie (70 MHz à 10 GHz)



The Square Kilometre Array

<http://www.skatelescope.org/>

L'espace, c'est aussi


Dépasser les frontières

[Le CNRS](#) | [Annuaire](#) | [Mots-Clefs CNRS](#) | [Autres sites](#)

Les mystères de l'Univers

Centre national de la recherche scientifique

Les mystères de l'Univers

De la Terre...

Notre système solaire

... aux confins de l'Univers

Pour aller plus loin

Presse

Partenaires

Infos pratiques

Rechercher

Sur ce site

Sur le Web du CNRS

Accueil du site > Les mystères de l'Univers > Les conférences

Astronomie et défense : des intérêts convergents

Conférence du Dimanche 25 octobre 2009 17:00-18:00

Intervenant(s) : Bruno Destrieux, [DGA](#)



Les astronomes développent depuis de nombreuses années des systèmes d'imagerie aux performances exceptionnelles pour l'observation de l'espace. Ces technologies présentent un intérêt élevé pour diverses applications de défense, et l'exposé présentera comment certains concepts récents développés en astronomie peuvent être exploités pour les systèmes militaires de prochaine génération.

L'espace, c'est aussi



L'espace, c'est aussi

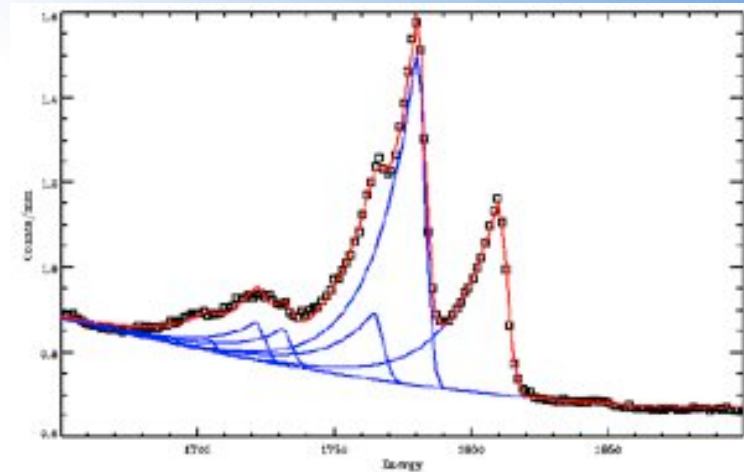
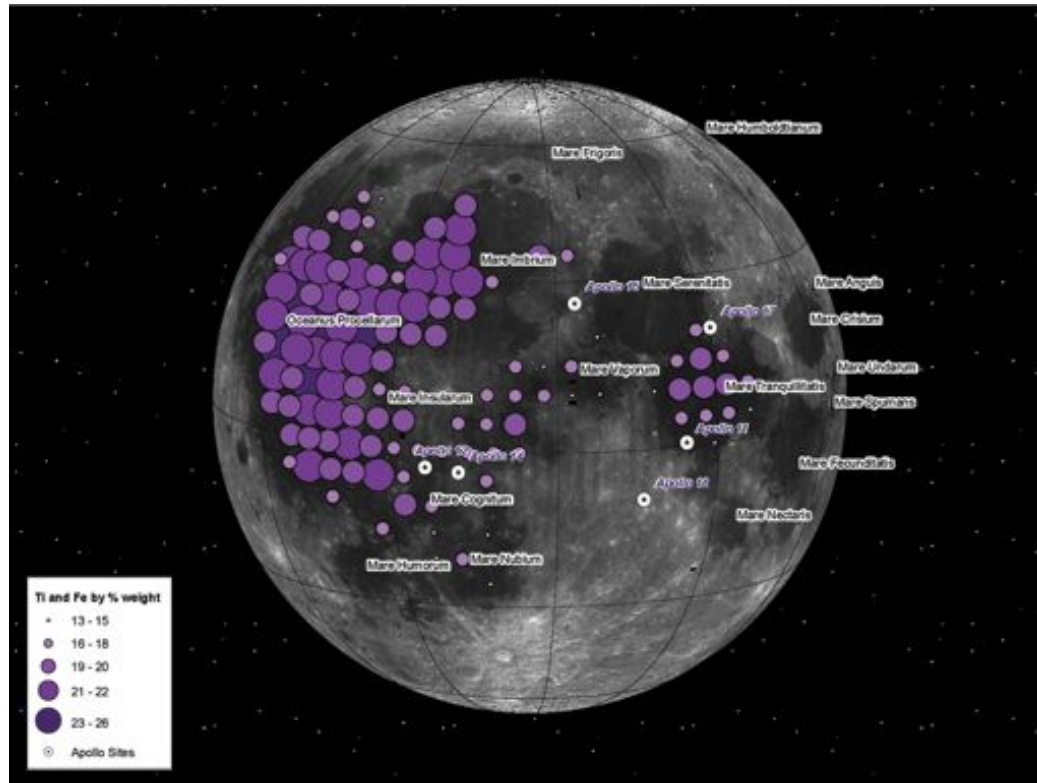
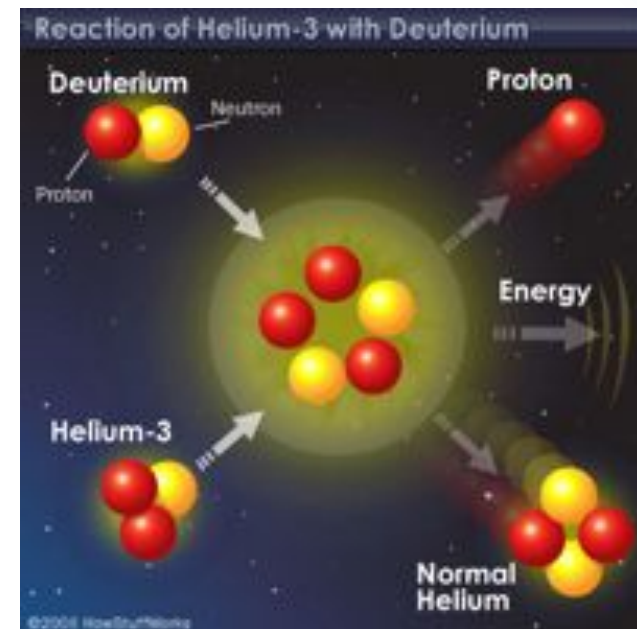


Fig. 2 Example of a peak fitting result of the ^{238}U peak in an energy spectrum observed by the SELENE GRS. Black dots represent the actual observed count rate in each energy bin, the blue lines represent individual peak components, and the red line represents the total fitting result.



Conclusions: l'exploration de l'univers, quels sens ?

Entre quête scientifique et contraintes socio-techniques

- L'astrophysique est une discipline scientifique particulière, car elle est à l'interface de pratiques scientifiques, de défis technologiques et de questionnements universels sur l'humanité.
- Phase normale (cf. Kuhn) de vérification scientifique ? Nécessaire industrialisation des pratiques et des moyens d'observations ?
- Concentration des moyens sur des projets internationaux de grande ampleur et durée de plus en plus longue entre l'idée originale et la première observation (10-30 ans). Quel impact sur la pratique scientifique ?
- Exploitation sensationnaliste du rêve spatial: catastrophisme (Soleil, astéroïde, fin du monde...), inexactitudes grossières (exoplanètes, Big Bang, ...).
- Faut-il aller sur la Lune, sur Mars, ou plus loin ? A quel prix pour la science ?
- L'espace est-elle une frontière pour l'éthique ? (surveillance, débris, exploitation minière, tourisme galactique, ...)

