

ACTUALITES EN COSMOLOGIE

20 janvier 2007

Claude PICARD

SOMMAIRE

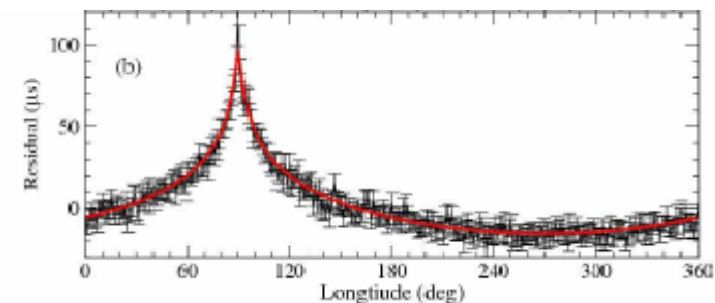
1. La gravitation
2. La matière noire
3. Les galaxies lointaines
4. Les trous noirs
5. Les supernovae
6. L'énergie sombre

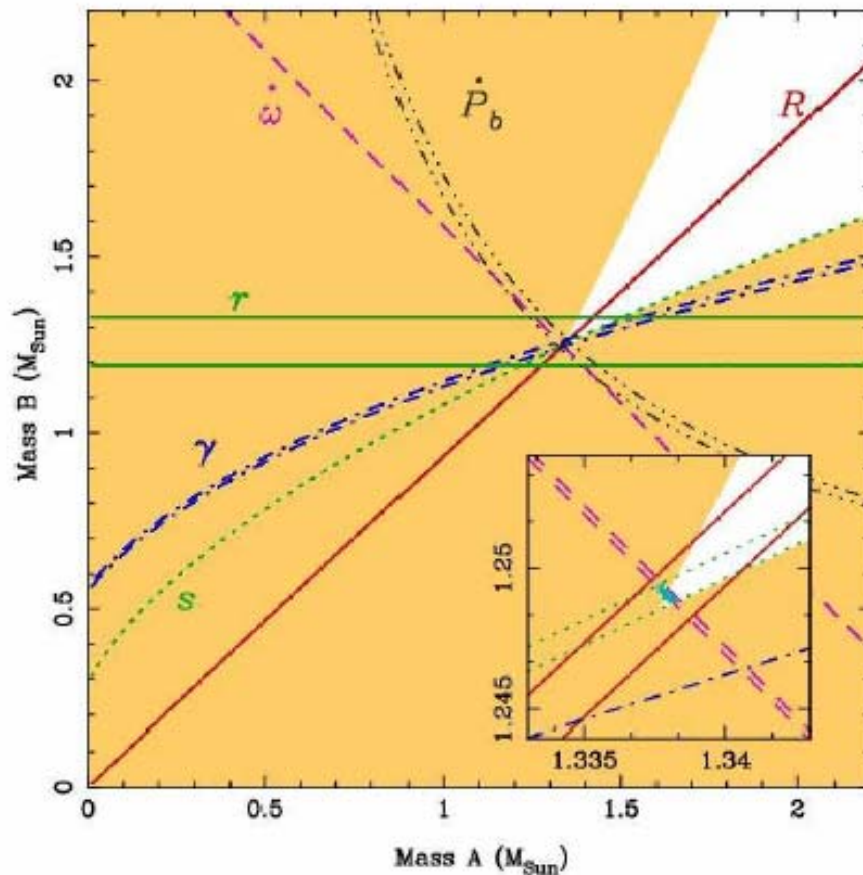
1 - LA GRAVITATION

Un test pour la RG : le pulsar double PSR J0737 – 3039 A/B ⁽¹⁾

- ✓ Relativement proche (2000 al), c'est le seul pulsar double dont les deux émissions radio sont captées. Les 2 pulsars (de période 22 ms et 2.7 s) orbitent en 2,4 heures, à une distance de l'ordre du million de km.
- ✓ Le système a été observé depuis sa détection, il y a 2,5 ans, par les trois radiotélescopes de Parkes (Australie), Jodrell Bank (GB) et Green Bank (USA)
- ✓ On cherche à estimer chacune des deux masses et 4 paramètres "post-newtoniens" d'une théorie qui englobe la RG.
- ✓ On s'intéresse en particulier à la vitesse de précession du plan orbital (17° par an !!) et au ralentissement de la période orbitale, contrepartie de l'émission d'ondes gravitationnelles.

L'effet Shapiro mesure le ralentissement des signaux dans le champ de gravité. © M. Kramer et al.





Si la théorie est exacte, les intersections des divers intervalles possibles pour chaque paramètre donnent les valeurs des deux masses.

© M. Kramer et al.

✓ Résultat : les estimations sont cohérentes avec la RG à 0.05 % près ; c'est le résultat le plus probant obtenu dans un champ gravitationnel fort.

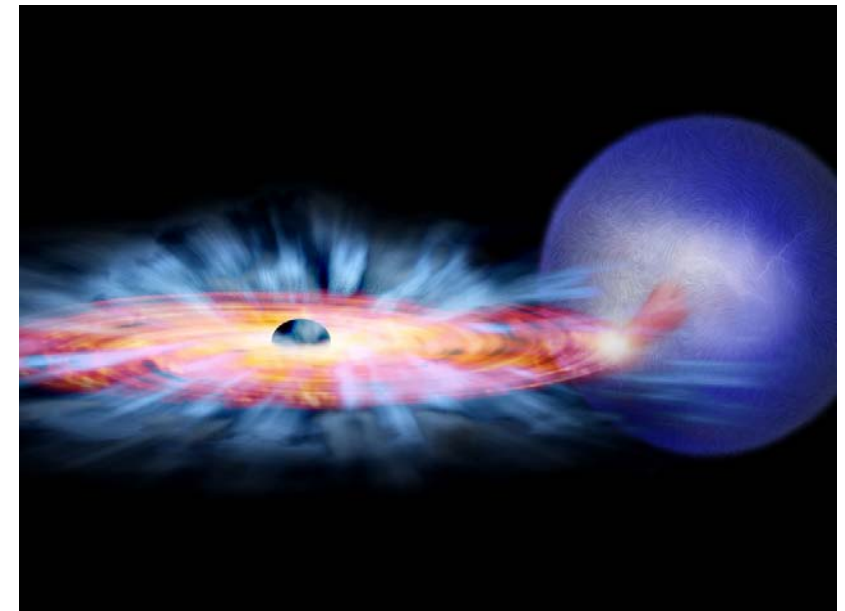
(1) - Science Express 14/09/2006

- Tests of general relativity from timing the double pulsar

M. Kramer et al. astro-ph/0609417

Un autre test : la dernière orbite autour des étoiles à neutrons ⁽²⁾

- ✓ Les systèmes binaires X sont des systèmes doubles serrés, avec capture de matière par un astre compact via un disque d'accrétion.
- ✓ L'émission X est de plus en plus intense lorsqu'on se rapproche de l'étoile compacte et la fréquence orbitale peut atteindre 1000 Hz, à quelques km de la surface.
- ✓ Il existe une fréquence critique maximum : *tout se passe comme si la matière atteignait la dernière orbite stable et chutait radialement sur l'étoile, comme le prévoit la théorie de la RG.*
- ✓ L'estimation de la masse des étoiles est de l'ordre de 2 Ms, supérieure à ce qui est attendu (1.4 Ms) et contraint les équations d'état de la matière interne, à densité supra - nucléaire.



© NASA/CXC/M. Weiss

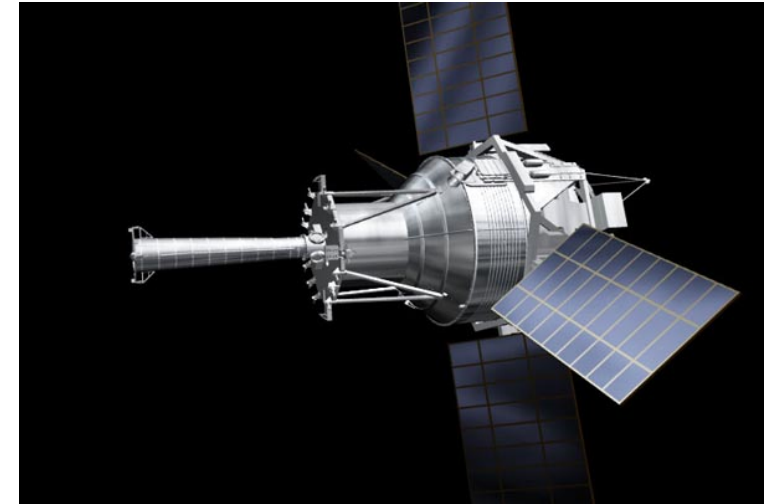
(2) - *INSU Actualités* 22 mai 2006

- *The coherence of kHz quasi-periodic oscillations in the X-rays from accreting neutron stars*
D. Barret et al. astro-ph/0605486

Gravity Probe B

Les premiers résultats sont attendus en avril 2007,
au congrès de l'American Physical Society

CAD image of the GP-B satellite. Created by: LMMS



Remise en cause de la RG ?

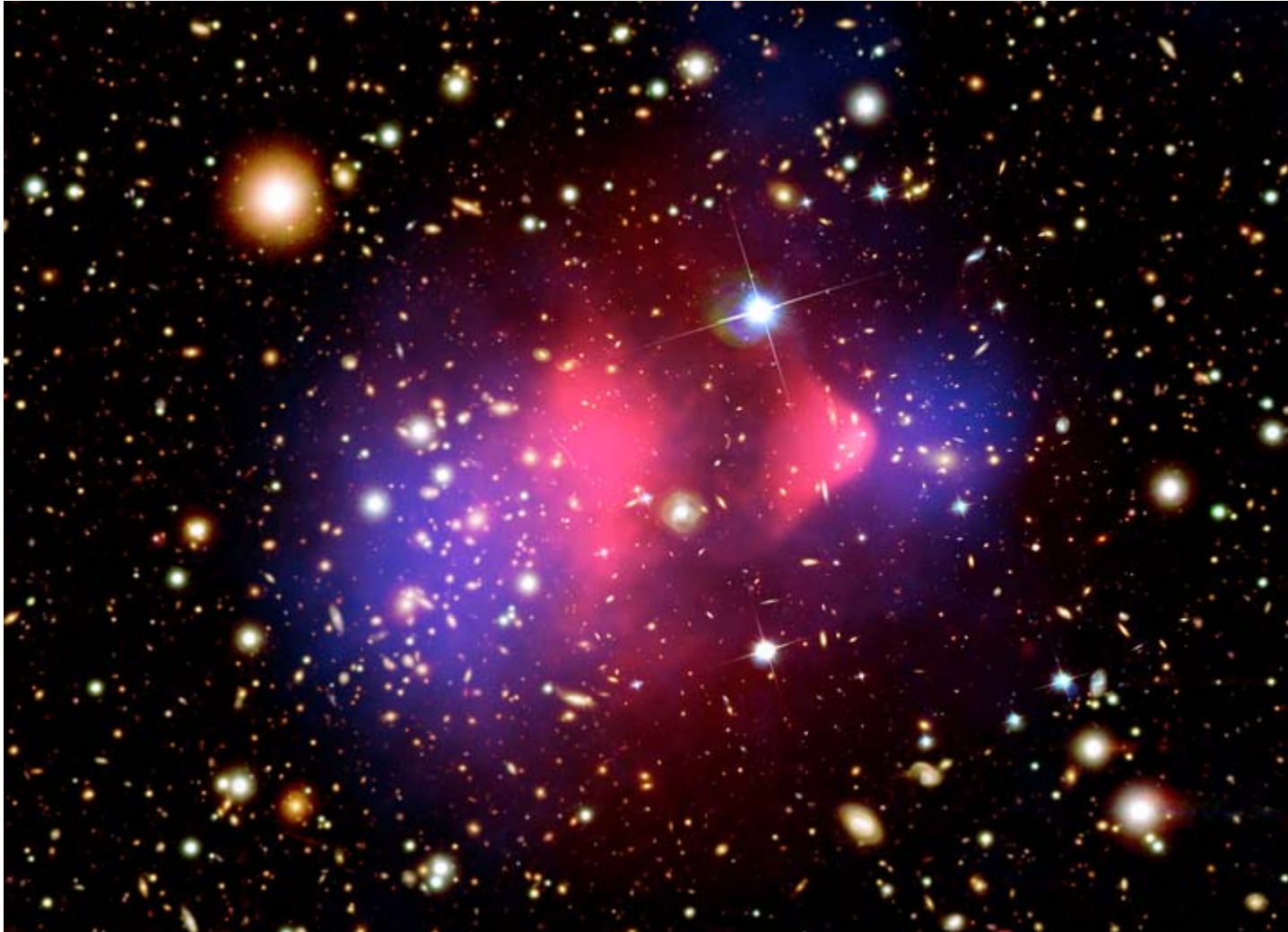
La RG n'a jamais été mise en défaut lorsqu'elle a pu être testée.

Mais....

- elle n'a pas pu être testée sur des distances cosmologiques,
- l'effet Pioneer n'est toujours pas expliqué,
- la tentation devient forte d'essayer de trouver une théorie qui contiendrait la RG, mais qui permettrait de se passer de l'hypothèse de matière noire. On peut noter *qu'une version relativiste de MOND a été développée* (Voir J. Beckenstein *astro-ph/0403694*)

2 – LA MATIÈRE NOIRE

Mise en évidence de la matière noire : l'amas 1E0657-56⁽³⁾



- ✓ L'objet est en réalité formé par la collision de deux amas de galaxies.
- ✓ Les deux nuages de gaz chauds (quelques millions de degrés), qui constituent la majeure partie (90 %) de la masse des amas, observés en X par Chandra, figurent en rouge. Les deux plasmas sont en interaction et sont freinés.
- ✓ La technique du "*weak lensing*" permet de cartographier le champ gravitationnel global. Les masses principales figurent en bleu et s'écartent des nuages de gaz.
- ✓ Les galaxies vues en visibles n'ont pas été ralenties.
- ✓ Il semble donc que dans cet objet *une masse non visible se soit découplée de la matière ordinaire visible*. Ceci ne s'explique pas par une théorie alternative comme Mond. *A-t-on là une mise en évidence directe de la matière noire ?*

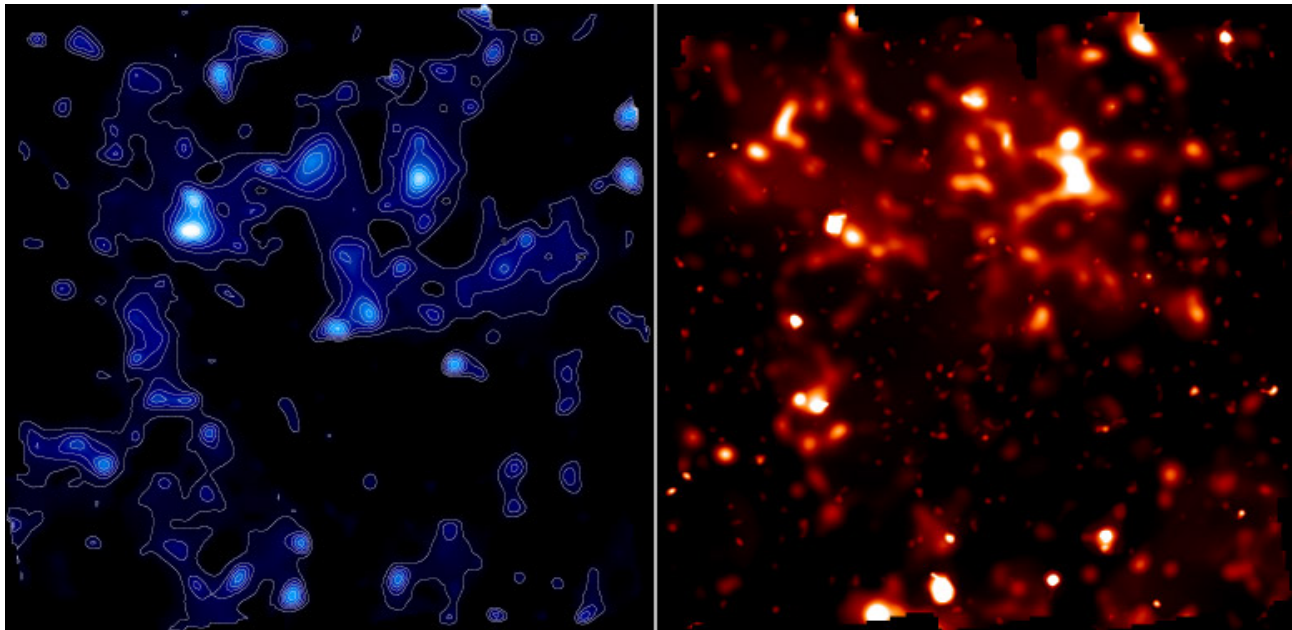
(3) - Chandra press release 21 août 2006

- A direct empirical proof of the existence of dark matter

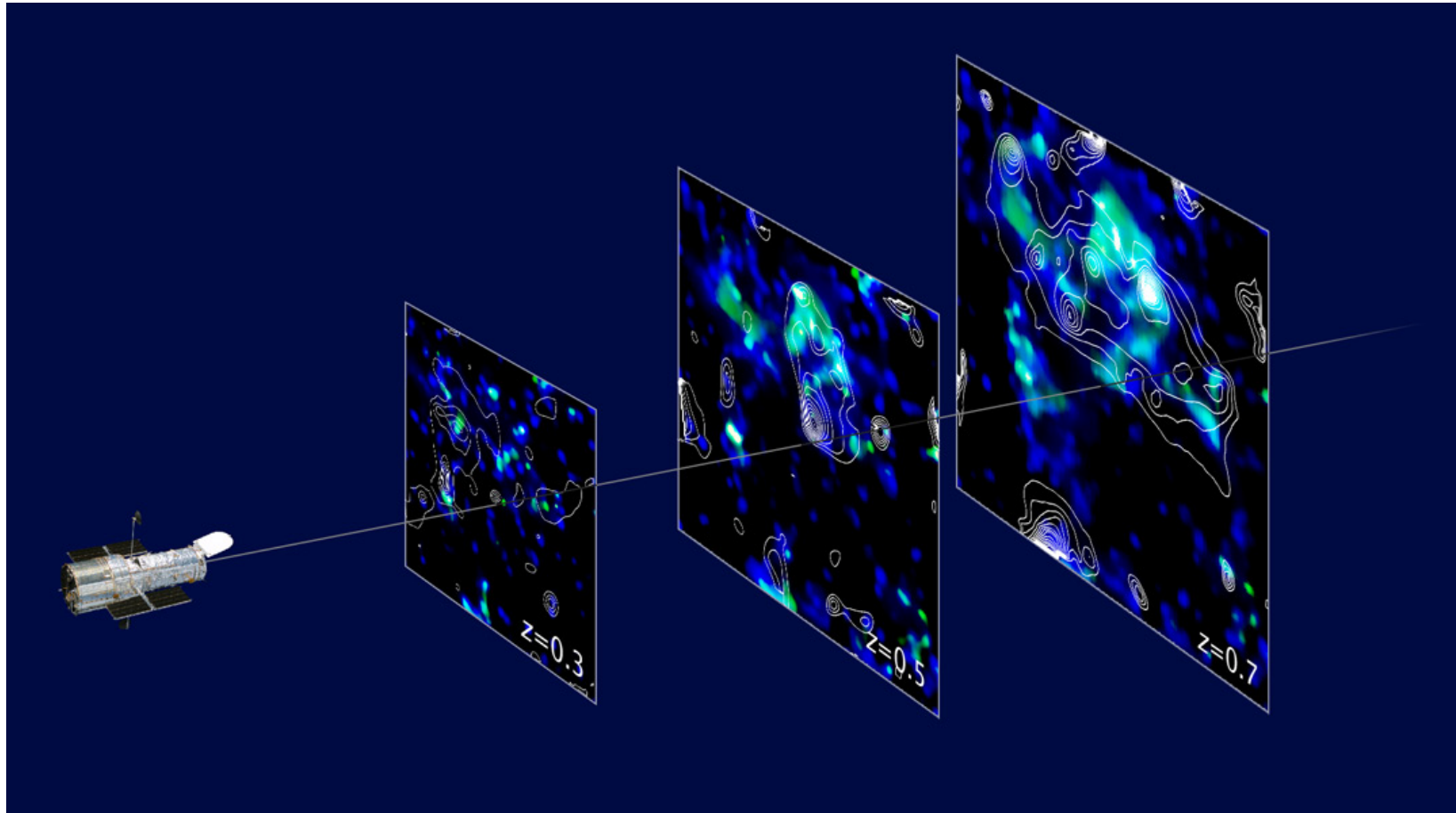
D. Clowe et al. *ApJ Letters* 30 août 2006 astro-ph/0608407

Cartographie de la matière noire ⁽⁴⁾

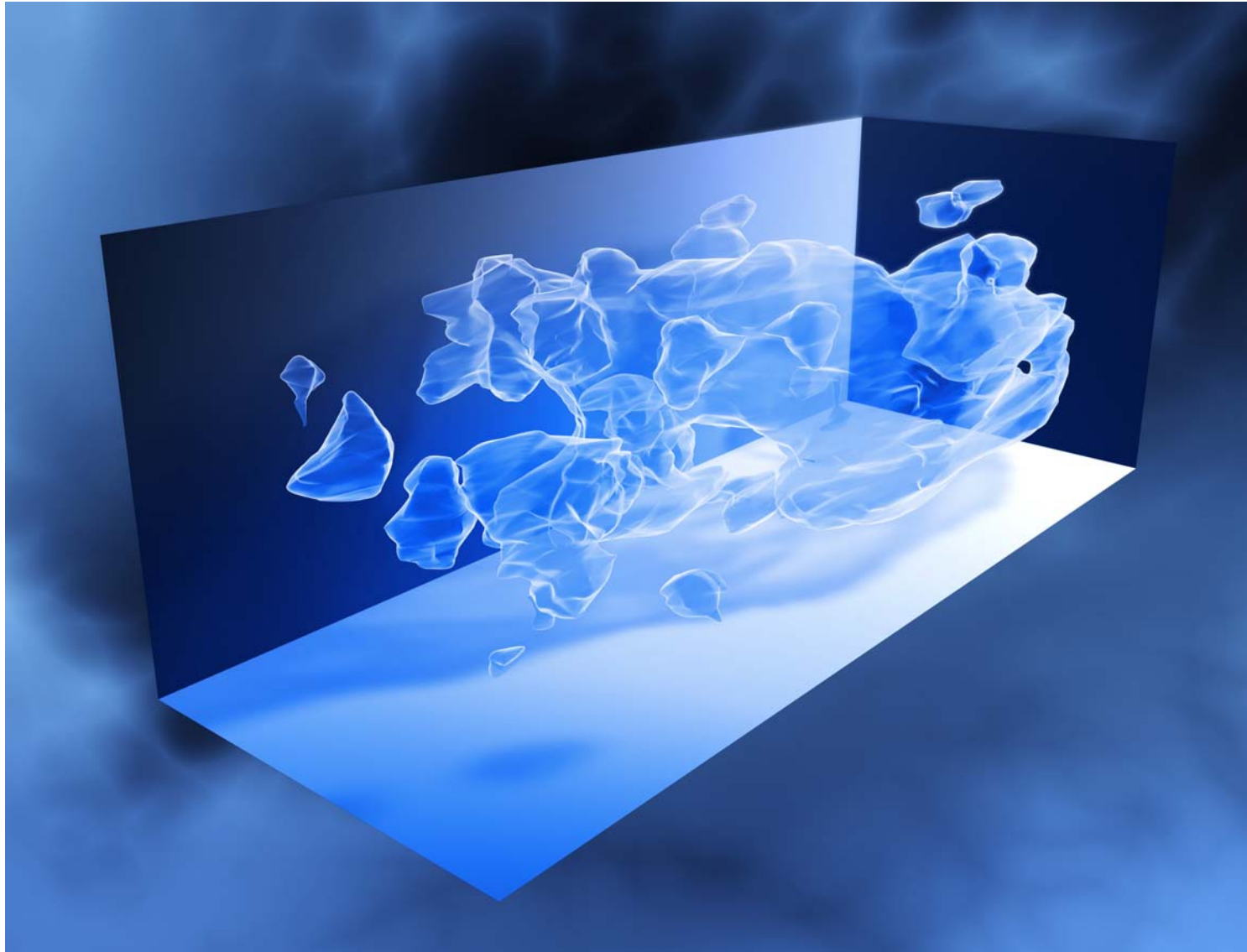
- ✓ Le sondage COSMOS réalisé par Hubble comprend 575 images à haute résolution d'un coin du ciel, ce qui correspond à un millier d'heures d'observation. Ces images ont été complétées par des observations au sol (VLT, Subaru, CFHT...) avec le recueil de milliers de spectres, ce qui permet d'évaluer les distances et donc de *travailler en 3D*.
- ✓ L'analyse des déformations des images des milliers de galaxies obtenues permet de retracer le champ gravitationnel qui a provoqué ce "weak lensing".



*Les cartes de la matière noire (en bleu à gauche) et de la matière visible (en rouge à droite) se superposent assez bien. La matière visible se concentre dans les régions où la matière noire domine.
©R.Massey(Caltech)/NASA*



*Cartographie de la matière noire selon la distance dans trois tranches d'Univers correspondant à un âge de 7 ($z=0.7$), 9 ($z=0.5$) et 10 ($z=0.3$) Ga et montrant la **concentration progressive de la matière noire** au cours de l'évolution cosmique © R.Massey(Caltech)/NASA*



*Carte en 3D de la
matière noire
© ESA/NASA et R.
Massey (Caltech)*

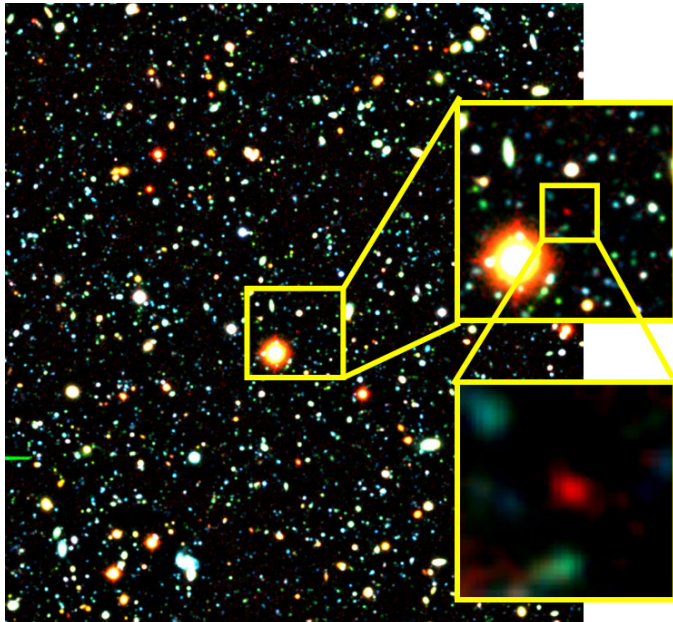
(4)- Nature on line 7 janvier 2007

- Actualités du CEA (Sap) 7 janvier 2007, ESA News 7 janvier 2007

- Dark matter maps reveal cosmic scaffolding R. Massey et al

3 – LES GALAXIES LOINTAINES

Formation des premières galaxies ⁽⁵⁾



Zooms successifs sur la galaxie IOK-1, en rouge au centre de la dernière image. © Subaru Telescope NAOJ

- ✓ Une équipe japonaise a observé des galaxies très lointaines avec le télescope Subaru (8,20 m) à travers différents filtres qui permettent de discriminer les émissions Lyman α de l'hydrogène en fonction du redshift.
- ✓ Pour des $z < 6.60$ (plus de 840 Ma après le Big Bang), on détecte plus de 40 000 galaxies, les plus lumineuses sans doute.
- ✓ Pour $z = 6.96$ (780 Ma après le Big Bang), on ne détecte plus que quelques objets.
- ✓ C'est donc vers **800 Ma après le Big Bang que les galaxies sont devenues suffisamment lumineuses** pour être observables en grand nombre, 13 Ga plus tard.

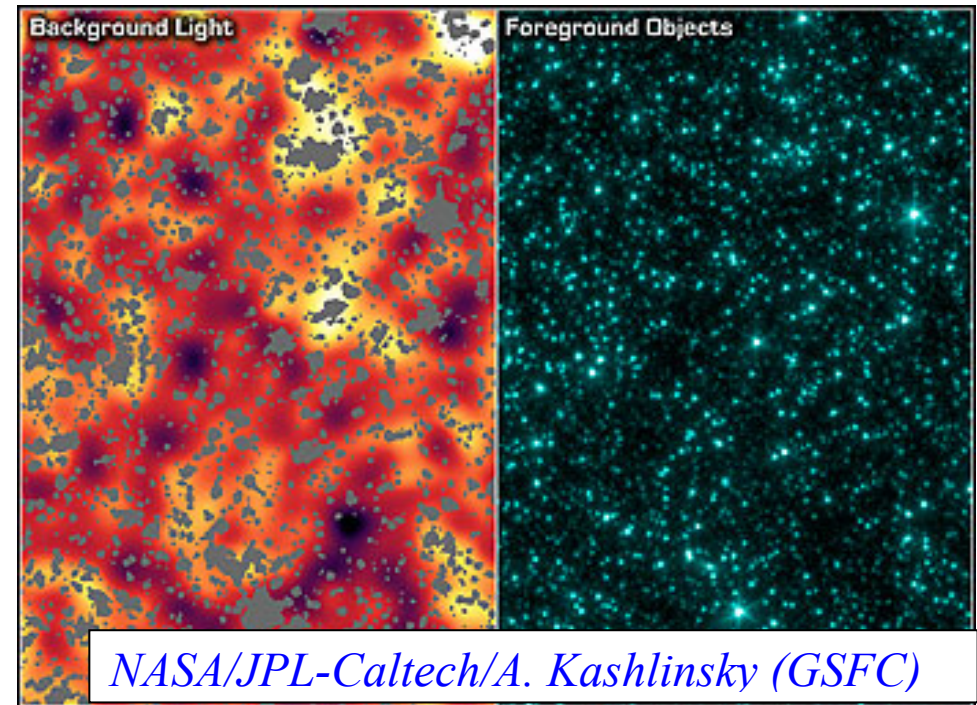
(5) - Subaru: Scientific Results 13 septembre 2006

-A galaxy at a redshift $z = 6.96$.

Masanori et al. Nature 14 septembre 2006 astro-ph/0609393

Spitzer a-t-il vu les premières galaxies ? ⁽⁶⁾

- ✓ Si on étudie le fond IR avec Spitzer, on obtient l'image de droite.
 - ✓ Si on enlève les étoiles et les galaxies d'avant plan, et si l'on traite un peu l'image, on obtient le cliché de gauche.
 - ✓ Des fluctuations apparaissent dans le fond IR. Une équipe (Kashlinsky et al) les attribue aux *premières structures de l'Univers*, des premières étoiles géantes et/ou des premières mini-galaxies de quelques millions de Ms.
 - ✓ Une autre équipe, dont N. Wright de l'UCLA, conteste cette affirmation et attribue les fluctuations à des galaxies plus proches, avec $1 < z < 4$.
- Prudence donc et à suivre.....



(6) - *Spitzer press release 18 décembre 2006*

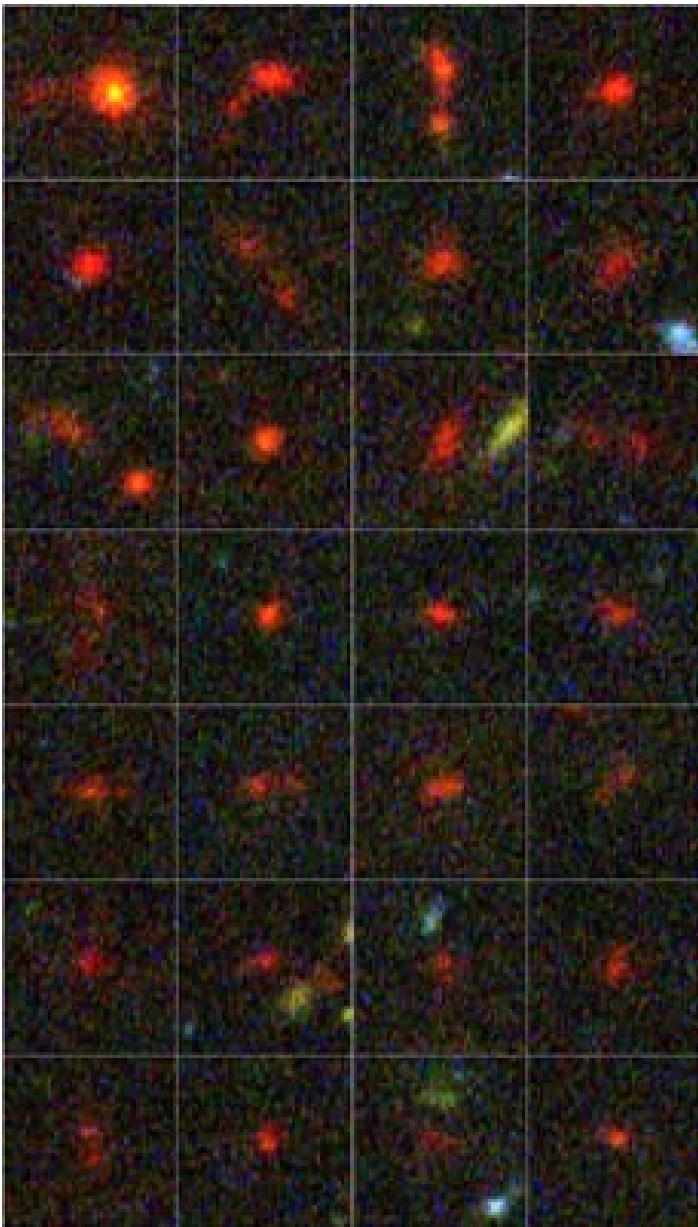
- *On the nature of the sources of the cosmic infrared background.*

A. Kashlinsky et al. astro-ph/0612447

- *IR background anisotropies in Spitzer GOODS images and constraints on first galaxies*

A. Cooray et al astro-ph/0612609

Moisson de galaxies lointaines ⁽⁷⁾

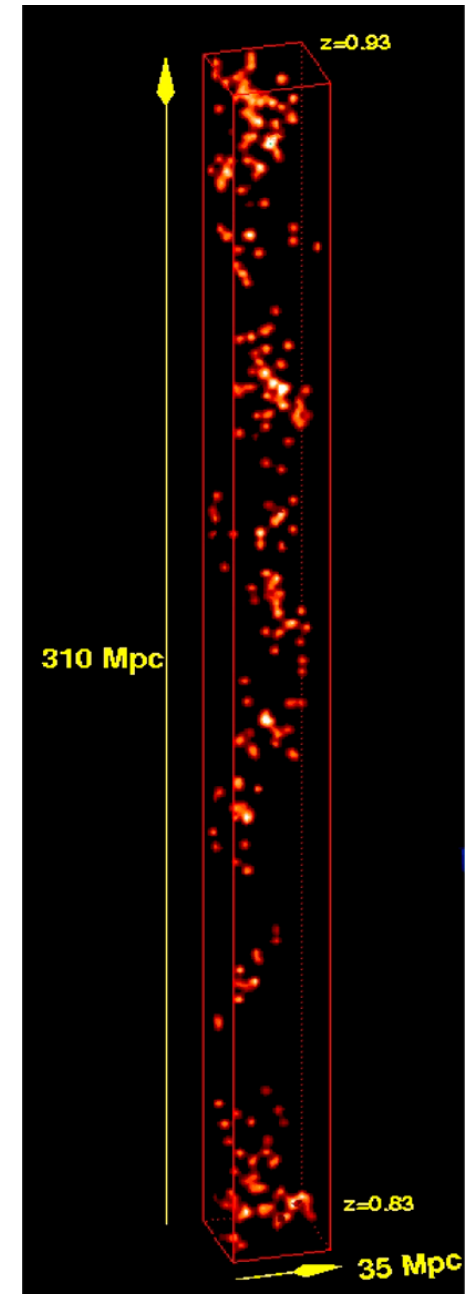


▶ *Plus de 500 galaxies lointaines* ont été observées dans le "Hubble Ultra Deep Field", dans un Univers âgé de moins de 1 Ga.

Elles seraient plutôt petites, très bleues (avant redshift) avec un très fort taux de formation d'étoiles. © NASA, ESA, R. Bouwens and G. Illingworth (UCLA)

▶ Cartographie en 3D obtenue au VLT, d'un Univers âgé de 6 à 7 Ga environ. On constate d'une part la stabilité de la proportion des galaxies spirales et elliptiques et, d'autre part, une curieuse structure hélicoïdale. © ESO

(7) -ESO Space Science 22 septembre 2006
- ESO press release 6 décembre 2006

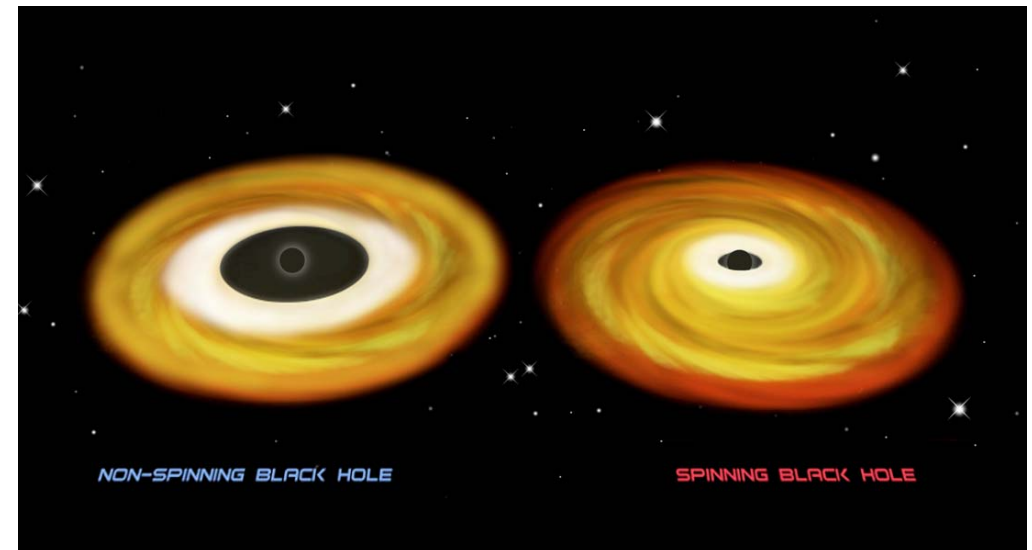


4 – LES TROUS NOIRS

Mesure de la rotation d'un trou noir ⁽⁸⁾

- ✓ Le trou noir GRS 1915+105 est un objet intéressant : il appartient à un système binaire X et sa masse a été estimée à **14 Ms**. C'est la source d'un jet hautement relativiste et il émet en X par ailleurs, via un disque d'accrétion. On pense qu'il est en rotation (trou noir de Kerr).
- ✓ Comment donc estimer la vitesse de rotation de l'objet ? C'est très simple :
 - 1 – l'observation de l'émission X permet d'estimer à l'aide d'un modèle le rayon minimum du disque,
 - 2 – Ce rayon ne dépend théoriquement que de la masse et du moment angulaire. Comme la masse est connue, on peut estimer le paramètre de rotation.
- ✓ Le résultat : une vitesse de rotation de l'ordre de **950 tours/s**, assez proche de la vitesse limite ($> 80\%$), née sans doute lors de la formation de l'objet.

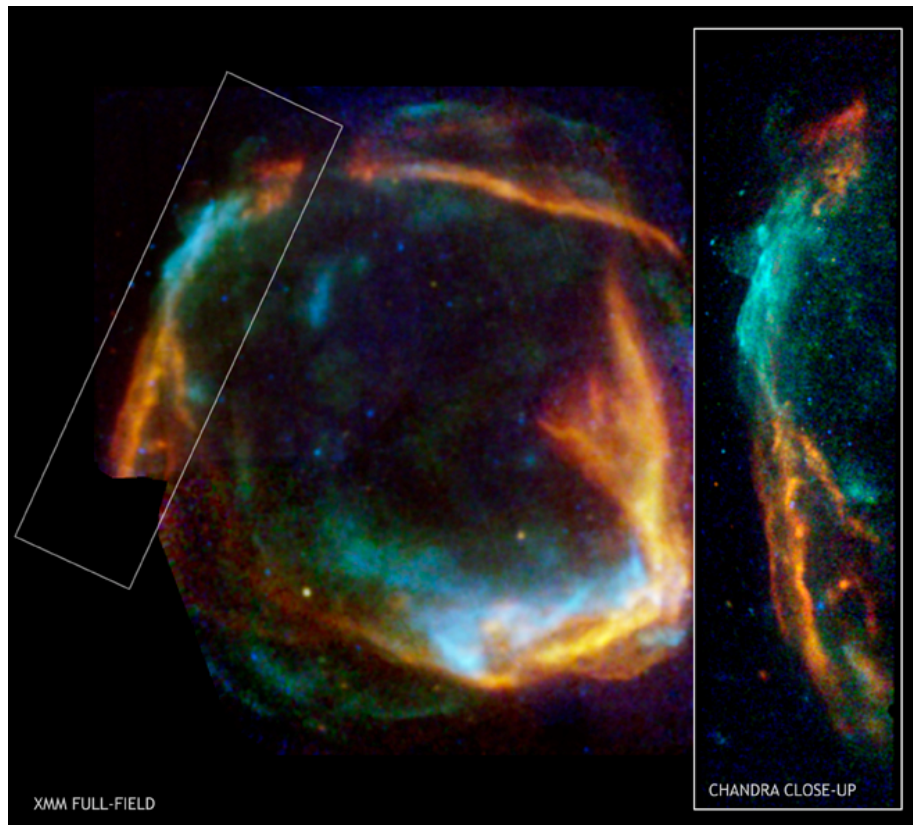
(8) - Harvard press release 20 novembre 2006
©NASA/CXC/M.Weiss



5 – LES SUPERNOVAE

RCW 86 : une supernova historique ⁽⁹⁾

- ✓ Une équipe vient de réévaluer l'âge de la supernova RCW 86. On a réestimé la vitesse d'expansion du rémanent, à l'aide des deux grands télescopes spatiaux X (Chandra et XMM-Newton).



- ✓ On pense maintenant que l'évènement a eu lieu il y a quelques 2000 ans, c'est-à-dire bien plus tard que ce que l'on supposait auparavant (10 000 ans), et donc à une époque historique.
- ✓ Cette estimation devient compatible avec une supernova signalée par les *astronomes chinois en 185 après JC*, sachant que la position qui était alors signalée pour la "nouvelle étoile" est cohérente.

©Chandra:

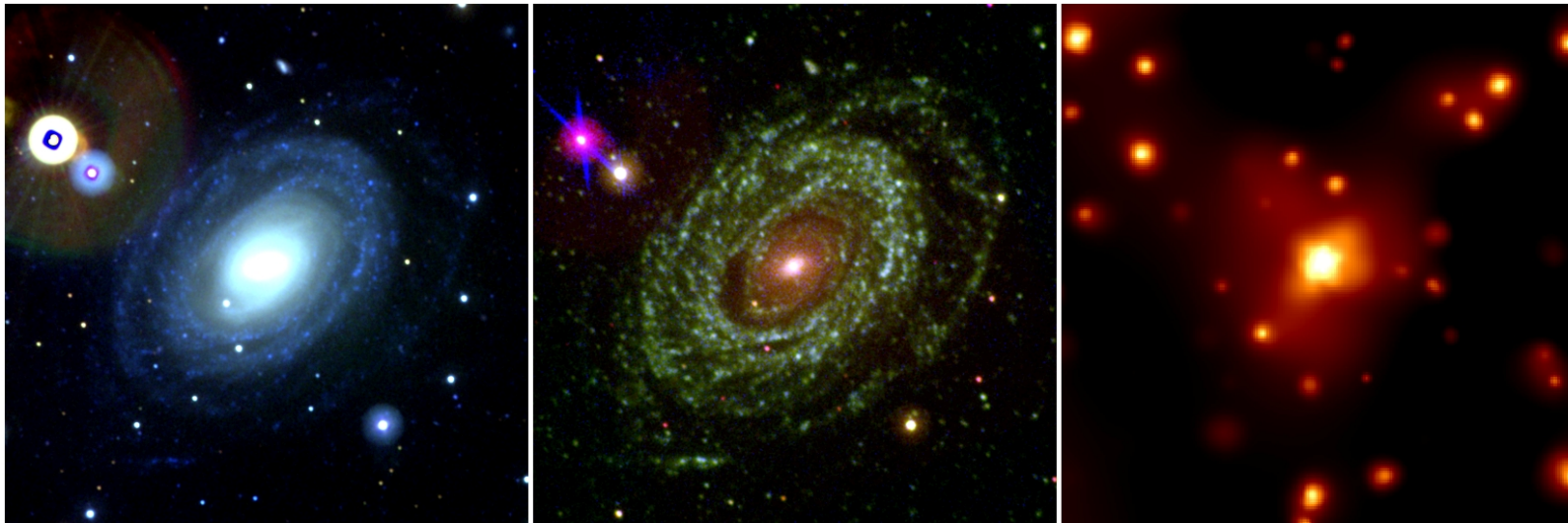
NASA/CXC/Univ. of Utrecht/J.Vink et al.

XMM-Newton: ESA/Univ. of Utrecht/J.Vink et al.

(9) – Chandra press release 18 septembre 2006

Confirmation de l'origine des SNIa ⁽¹⁰⁾

- ✓ Le satellite Swift de la NASA a permis d'observer une supernova de type Ia (SN 2005ke) en UV et en X (c'est une première), pendant quatre mois.
- ✓ l'intensité de l'émission X ne peut pas s'expliquer par la seule radioactivité des éjectas.
- ✓ L'explication est sans doute dans l'interaction de l'onde de choc avec le milieu, *densifié par l'existence d'un fort vent stellaire en provenance de l'étoile compagnon*. Elle est renforcée par l'apparition d'un excès d'UV, 1 mois après l'explosion.
- ✓ Tout ceci conforte donc le modèle habituel.



© NASA/
Swift/S. Immler

(10) -GSFC feature du 4 octobre 2006

- X-Ray observations of type Ia supernovae with Swift : evidence for circumstellar interaction for SN 2005ke S. Immler et al. astro-ph/0607620

Une supernova atypique (11)

✓ La supernova SNLS-03D3bb surprend les spécialistes :

1 – sa courbe de lumière et son spectre montrent qu'il s'agit bien d'une SNIa.

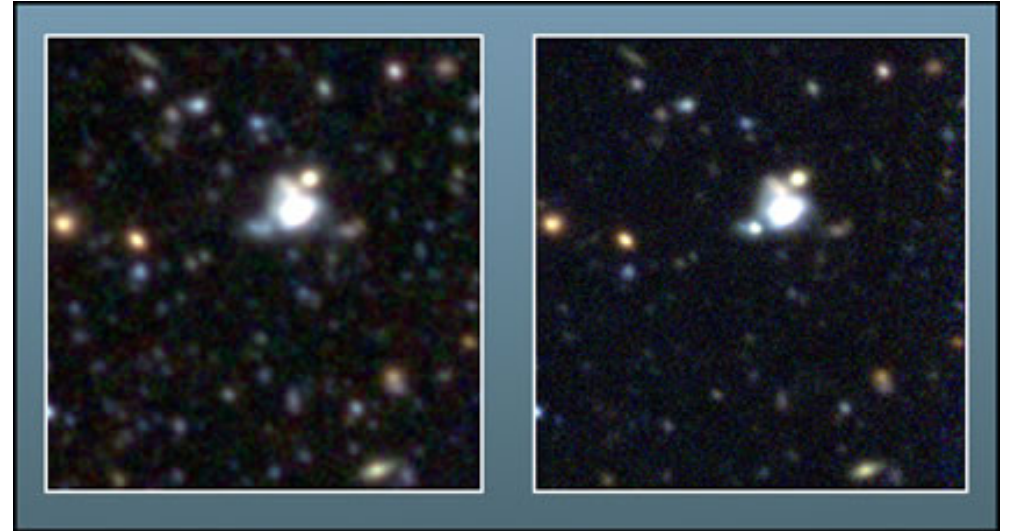
2 – Sa luminosité est exceptionnelle, deux fois plus forte que la moyenne, et cet écart est très supérieur à la variabilité habituelle du phénomène.

3 – La vitesse de la matière éjectée est inférieure à la normale.

✓ Théoriquement, il faut **une masse de l'ordre de 2 Ms** pour atteindre la luminosité

observée, ce qui est d'une part très supérieur à la masse limite de Chandrasekhar (1,4 Ms), mais ce qui, d'autre part, génèrerait une vitesse d'éjection supérieure à la normale.

✓ Ceci est à confirmer, mais on ne sait pas résoudre ces contradictions. C'est ennuyeux pour des "**chandelles standard**" dont l'estimation des distances amène à envisager l'accélération de l'expansion de l'Univers.



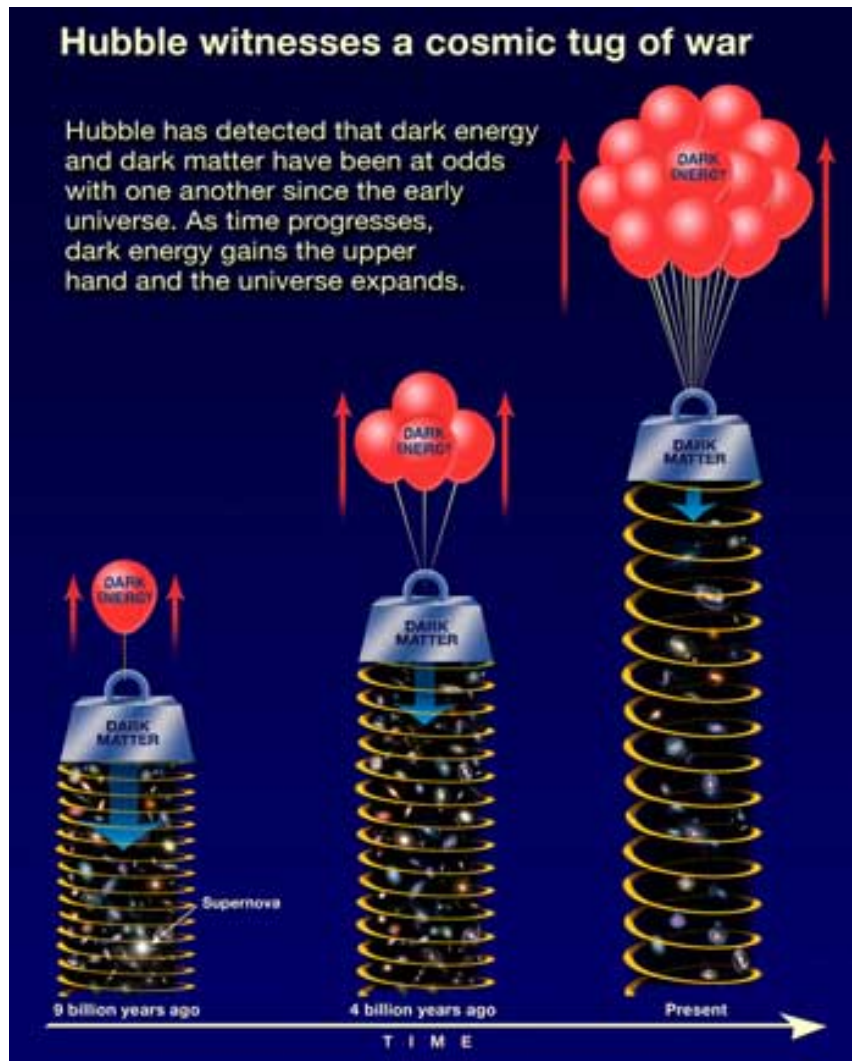
© Laurence Berkeley National Laboratory.

(11) -LBL News 20 septembre 2006

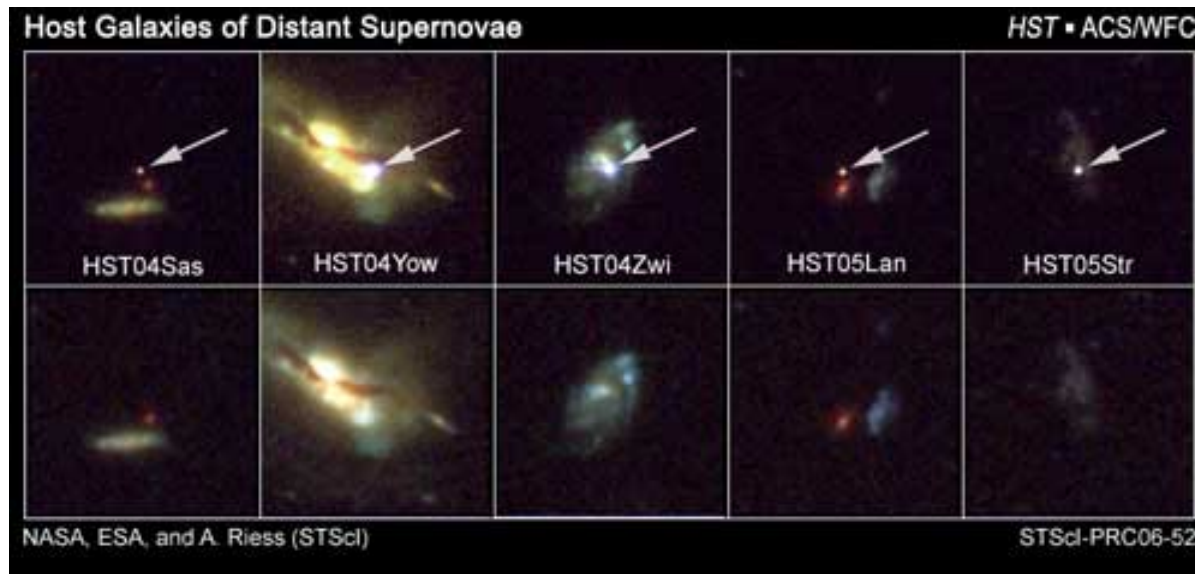
- A type-Ia supernova from a super-Chandrasekhar mass white dwarf star

D. A. Howell et al. Nature 21 septembre 2006 astro-ph/0609616

5 – L'ÉNERGIE NOIRE (12)



- ✓ L'accélération de l'expansion de l'Univers a été mise en évidence par deux équipes américaines indépendantes (le HZ Supernova Team et le Supernova Cosmology Project) en 1998.
- ✓ Une nouvelle publication intervenue en 2004 est venue apporter quelques précisions avec de nouvelles mesures à haut redshift.
- ✓ *L'Univers serait donc en phase d'expansion accélérée depuis quelques milliards d'années, sous l'influence d'une mystérieuse "énergie sombre", qui pourrait être représentée dans les modèles par la constante cosmologique d'A. Einstein.*



© NASA, ESA, and A. Riess (Space Telescope Science Institute)

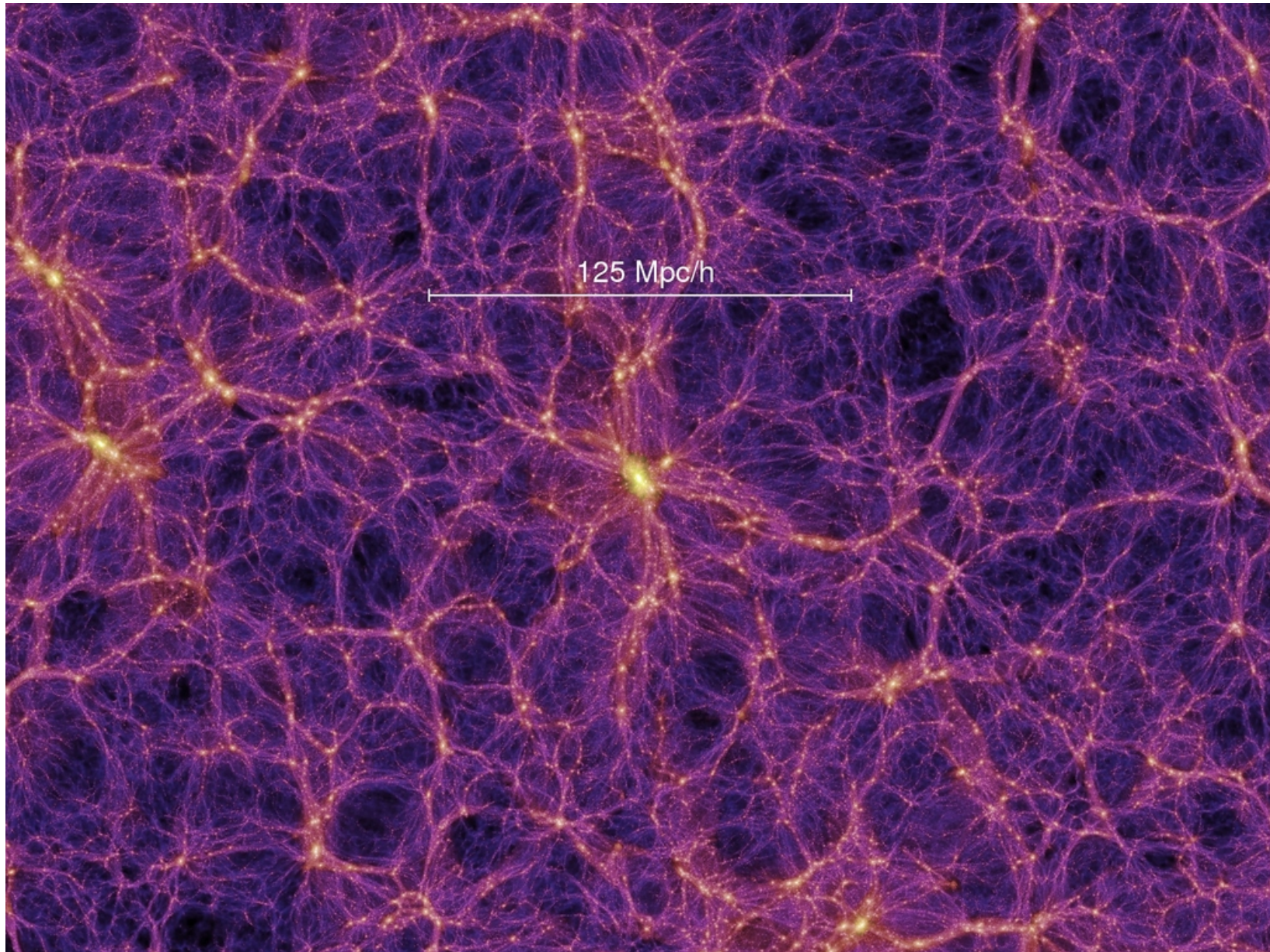
- ✓ De nouvelles observations ont pu être effectuées récemment sur un échantillon de 23 SNIa lointaines ($z > 1$, à des distances comprises entre 7 et 10 Gal).
- ✓ Il apparaît que tout ce passait en ces temps reculés comme dans un Univers plus récent. Le phénomène reste compatible avec l'effet d'une constante cosmologique, sans variation forte du paramètre de l'équation d'état ($w \sim -1$).
- ✓ ***Rien de changé donc depuis 10 Ga. Mais cela ne nous dit pas de quoi il s'agit!!***

(12)- NASA News 16 novembre 2006

-New Hubble space telescope discoveries of Type Ia supernovae at $z \geq 1$: narrowing constraints on the early behavior of dark energy

Adam G. Riess et al. à paraître dans *Astrophysical Journal* astro-ph/0611572

Distribution de la matière noire



©Millenium Run/ Springel et al. (2005)