



UPMC  
SORBONNE UNIVERSITÉS



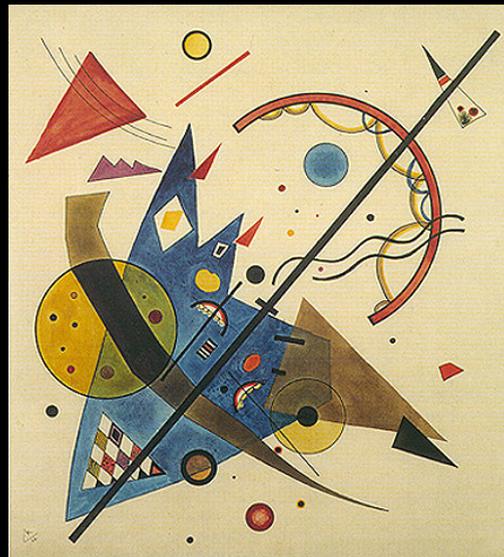
---

# Des explosions d'étoiles aux confins de l'Univers : les sursauts gamma

Frédéric Daigne

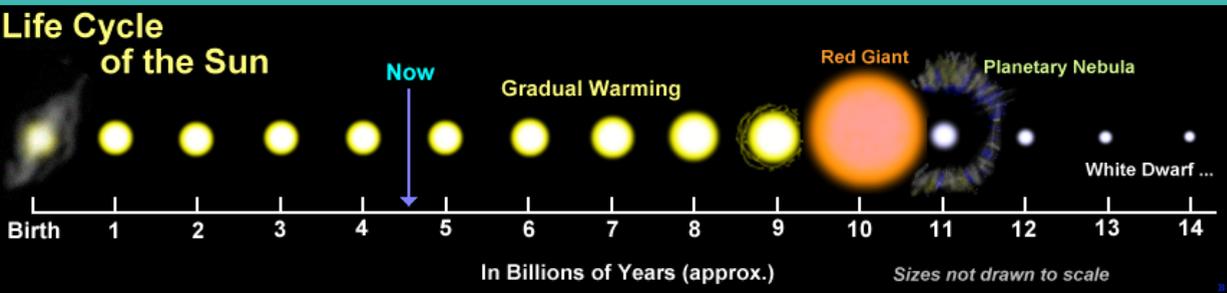
(Institut d'Astrophysique de Paris ; Université Pierre et Marie Curie)

---



Kandinsky – Curves and sharp angles - 1923

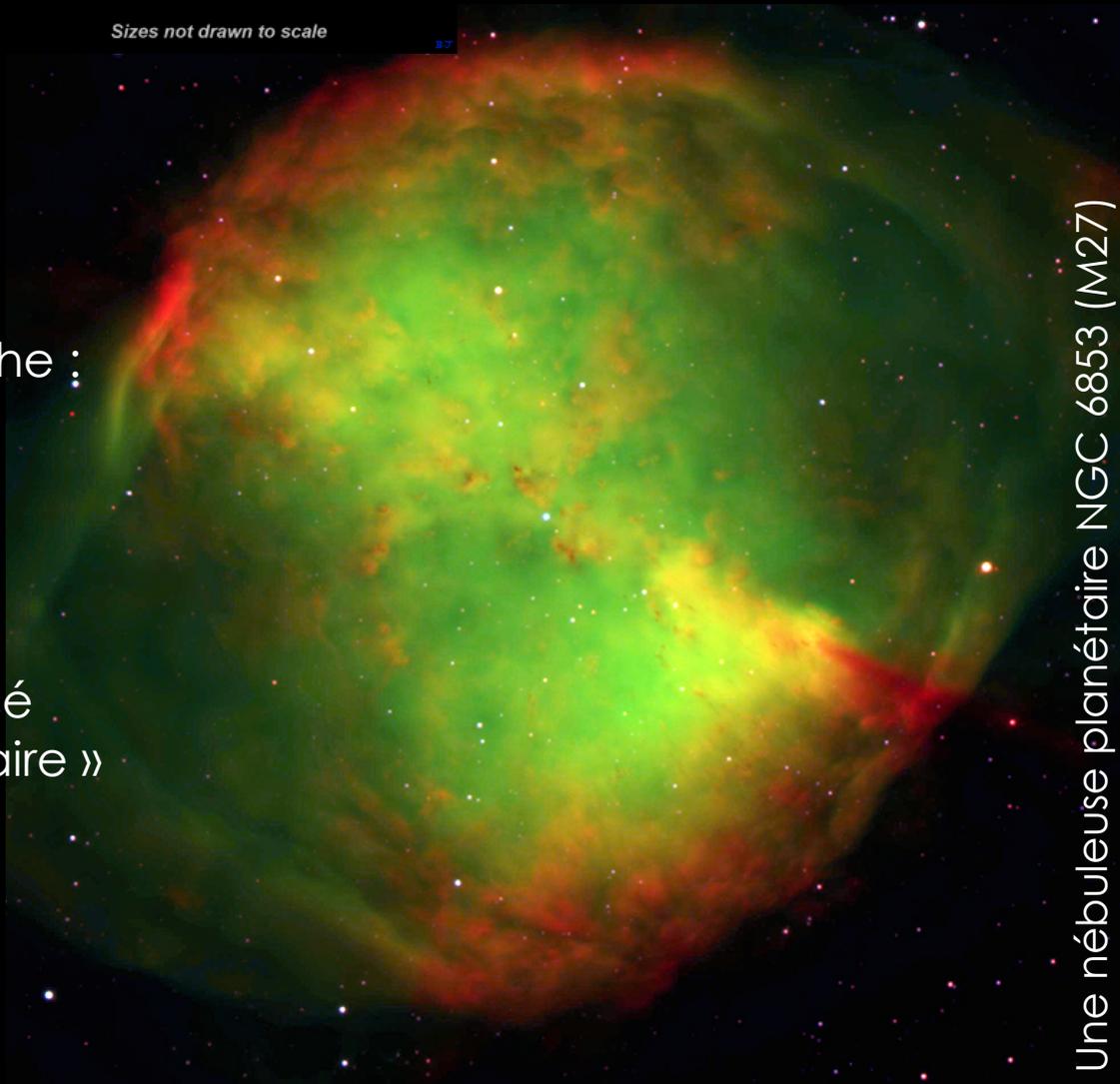
# Fin de vie d'une étoile de type solaire



Après la fusion de H et He,  
le cœur devient une naine blanche :  
une étoile très compacte

= la masse d'une étoile dans  
la taille d'une planète

L'enveloppe de l'étoile est expulsé  
et forme une « nébuleuse planétaire »



Une nébuleuse planétaire NGC 6853 (M27)

# Fin de vie d'une étoile massive

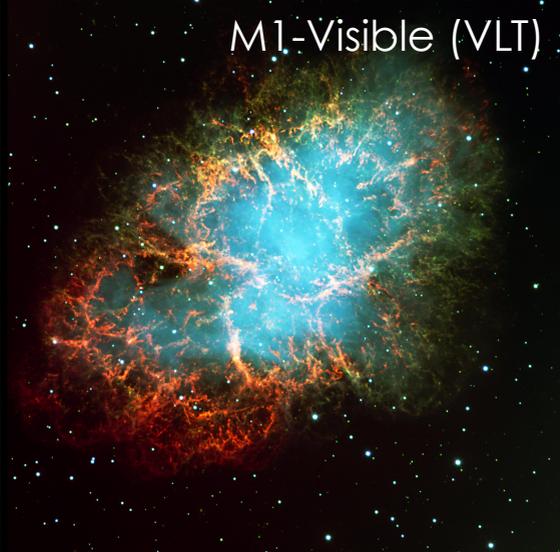
L'étoile passe par tous les stades de fusion jusqu'à produire un cœur de fer.  
Le cœur de fer s'effondre pour donner un astre très compact  
-Étoile à neutrons (masse d'une étoile dans la taille de Paris)  
-Trou noir

Le reste de l'étoile explose  
(supernova)

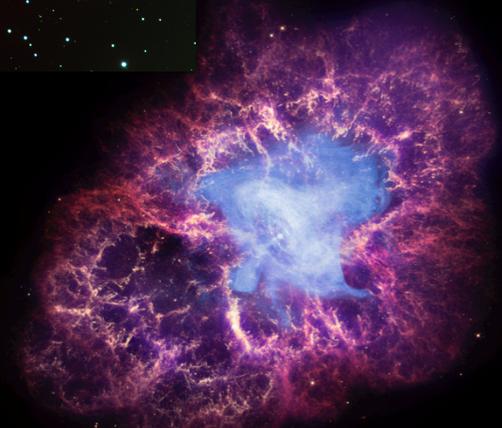
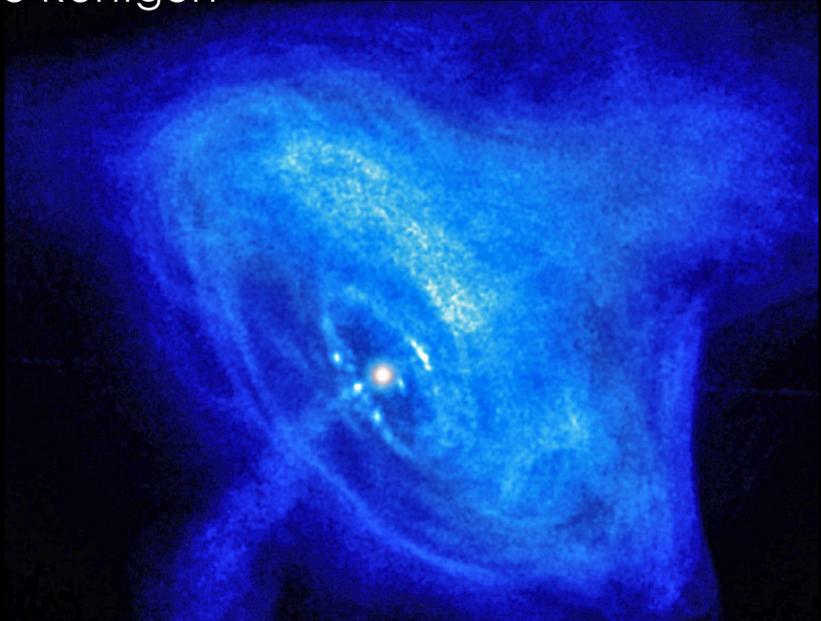


La nébuleuse du Crabe (M1), reste de la supernova SN1054

# Intérêt des rayons X et $\gamma$ : ils sont plus énergétiques



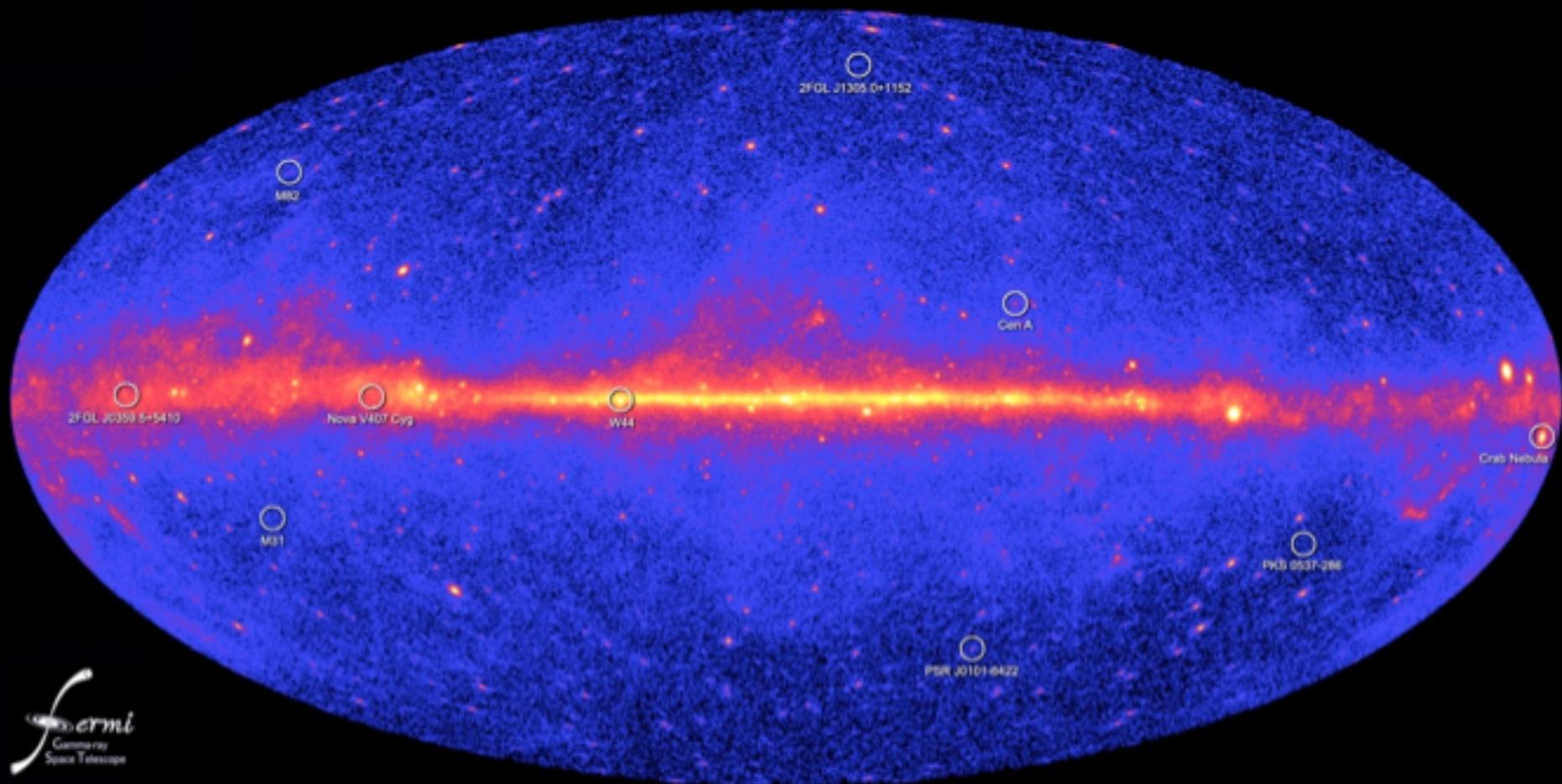
La main de Mme Röntgen



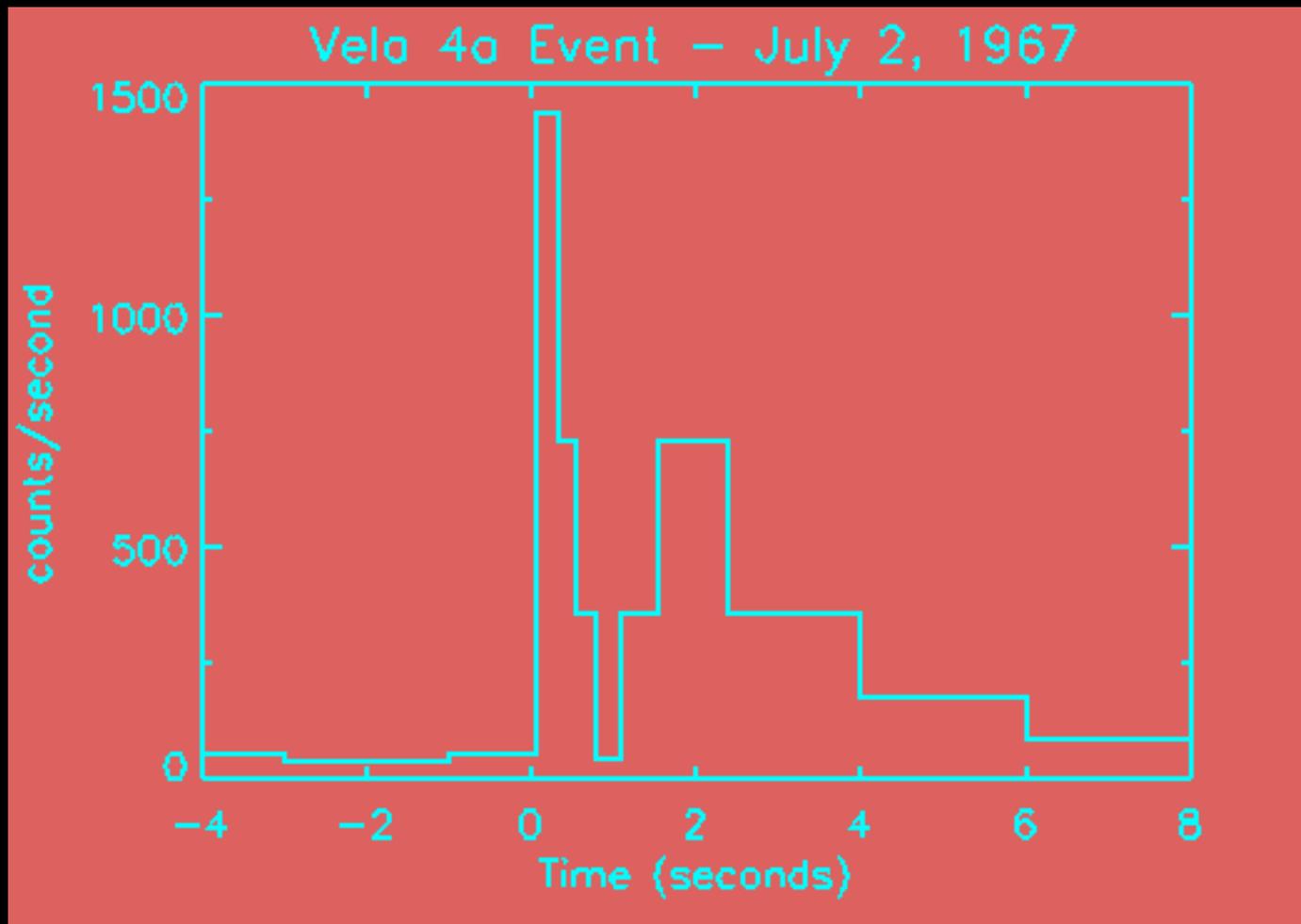
Rouge: M1-Visible/IR (HST-Spitzer)  
Bleu: M1-Rayons X (Chandra)

M1-Rayons X (Chandra)

# Ciel gamma

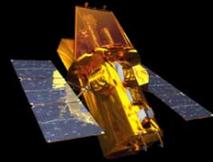


# La découverte: le premier sursaut gamma



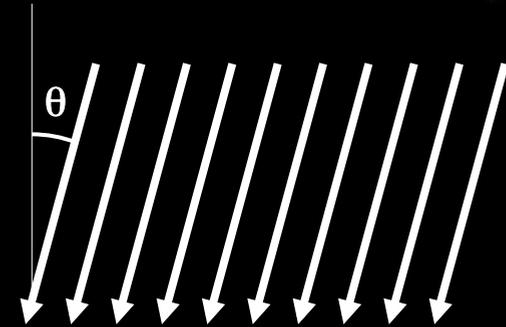
# La distance des sursauts gamma : 30 ans de quête

- Localiser une source gamma est difficile (pas de système de focalisation comme des lentilles ou des miroirs)
- Technique 3 (Swift et les autres télescopes gamma modernes) :

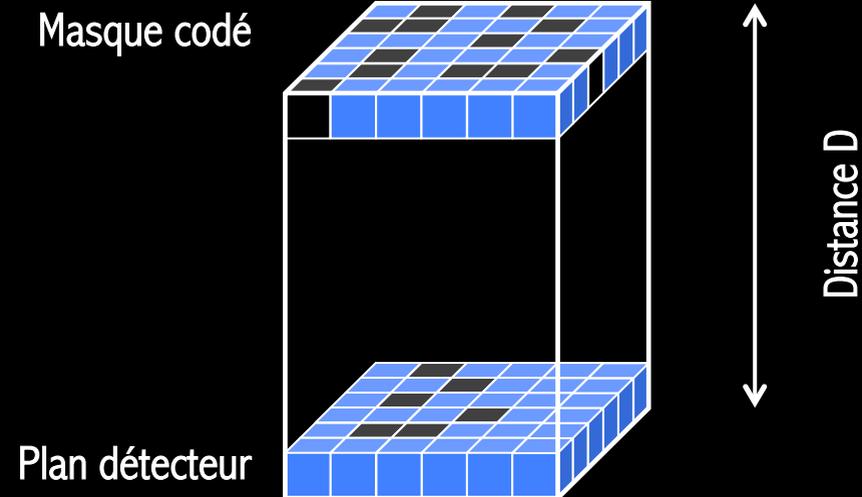


La technique du masque codé

L'ombre du masque sur le plan détecteur est décalé de  $\sim D \tan(\theta)$



Masque codé de Swift

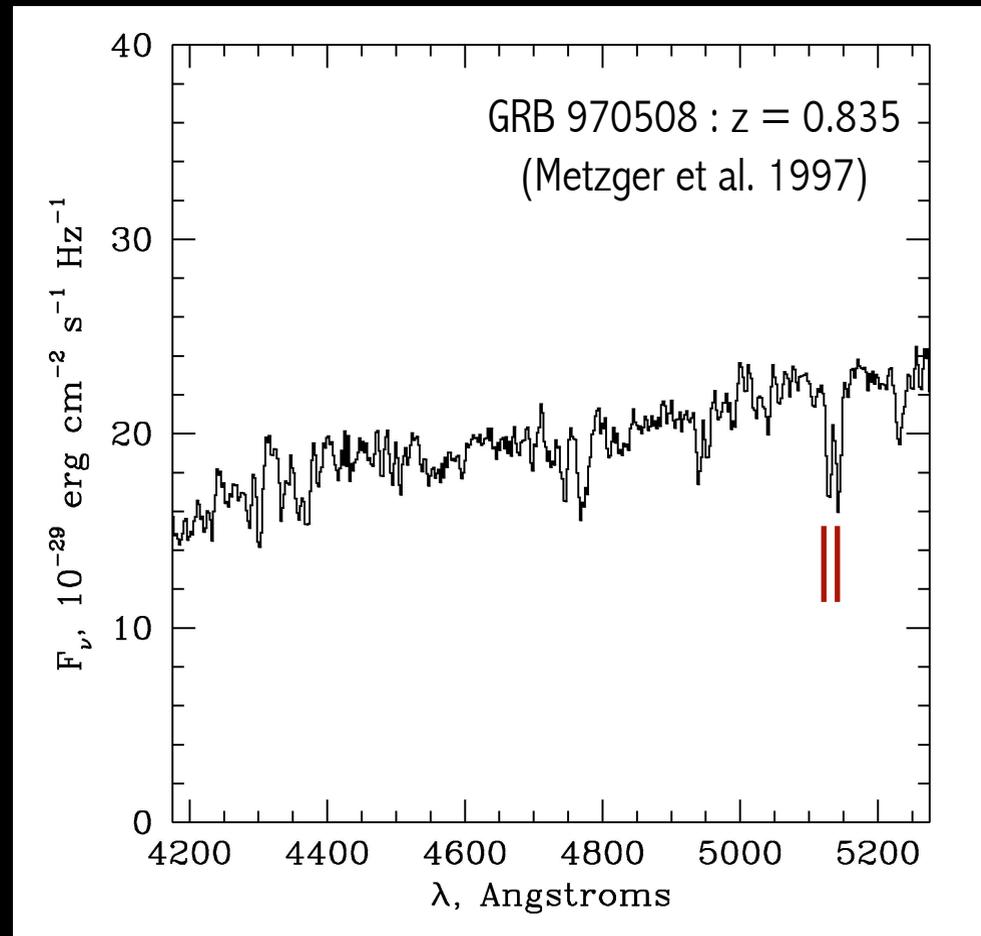


# 1997 : la réponse

- Seconde rémanence optique en 1997 : le spectre dans le visible est mesuré
- Raies d'absorption (doublet du magnésium  $Mg^+$ , 279.6 nm et 280.3 nm) très décalées vers le rouge ( $z = 0.835$ ) !

Ce sursaut est à distance cosmologique !

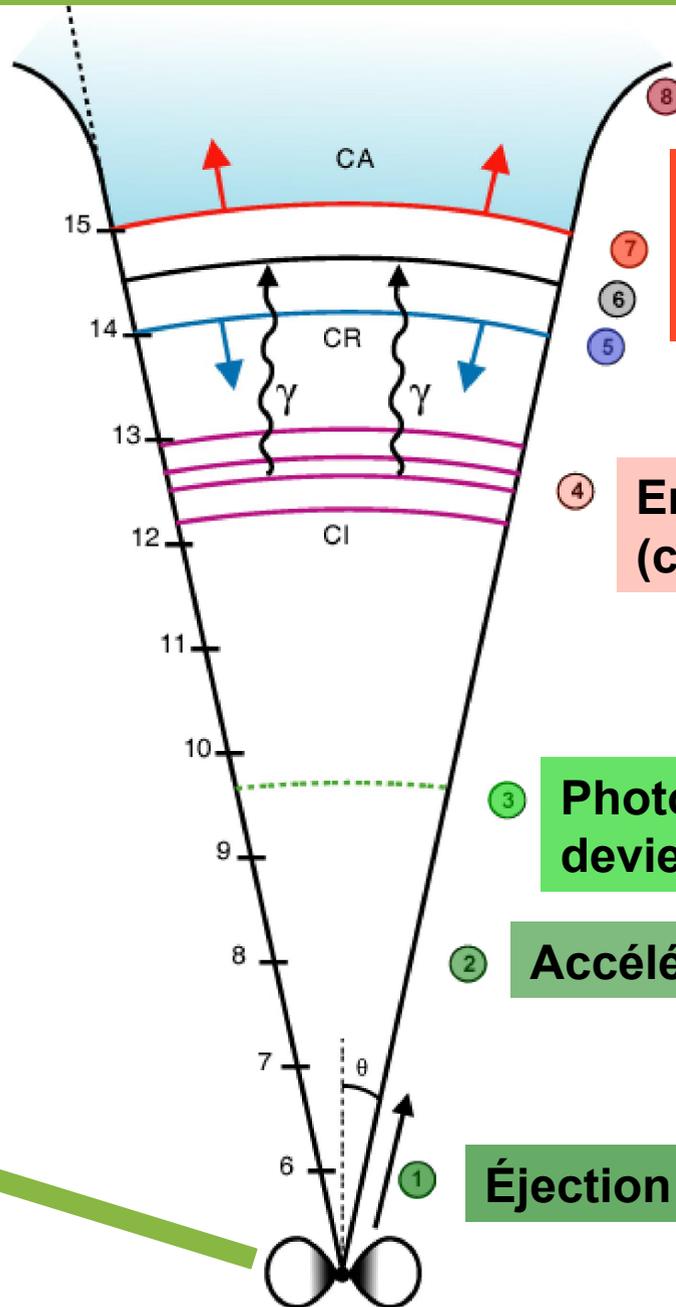
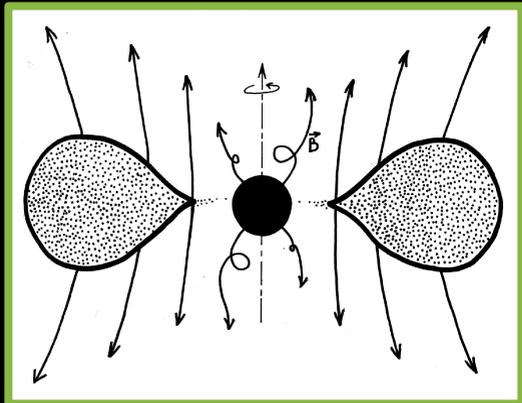
Quand sa lumière a été émise, l'univers n'était âgé que de 6.5 Gyr (âge actuel : 14 Gyr)



# Scénario théorique

Événement initial ?

Source centrale



**Rémanence : l'éjecta est freiné par le milieu extérieur**

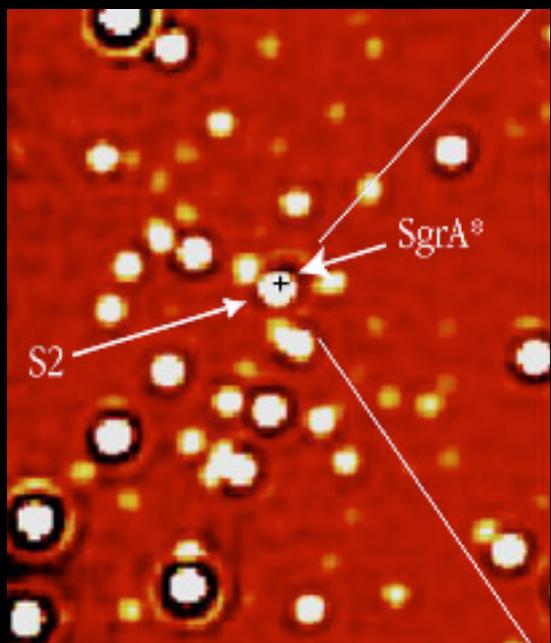
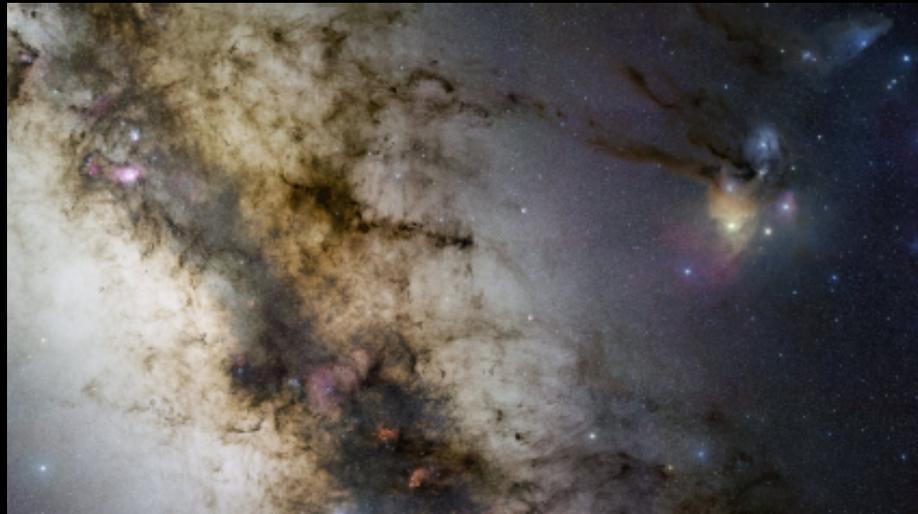
**Emission du sursaut (chocs internes)**

**Photosphère : l'éjecta devient transparent**

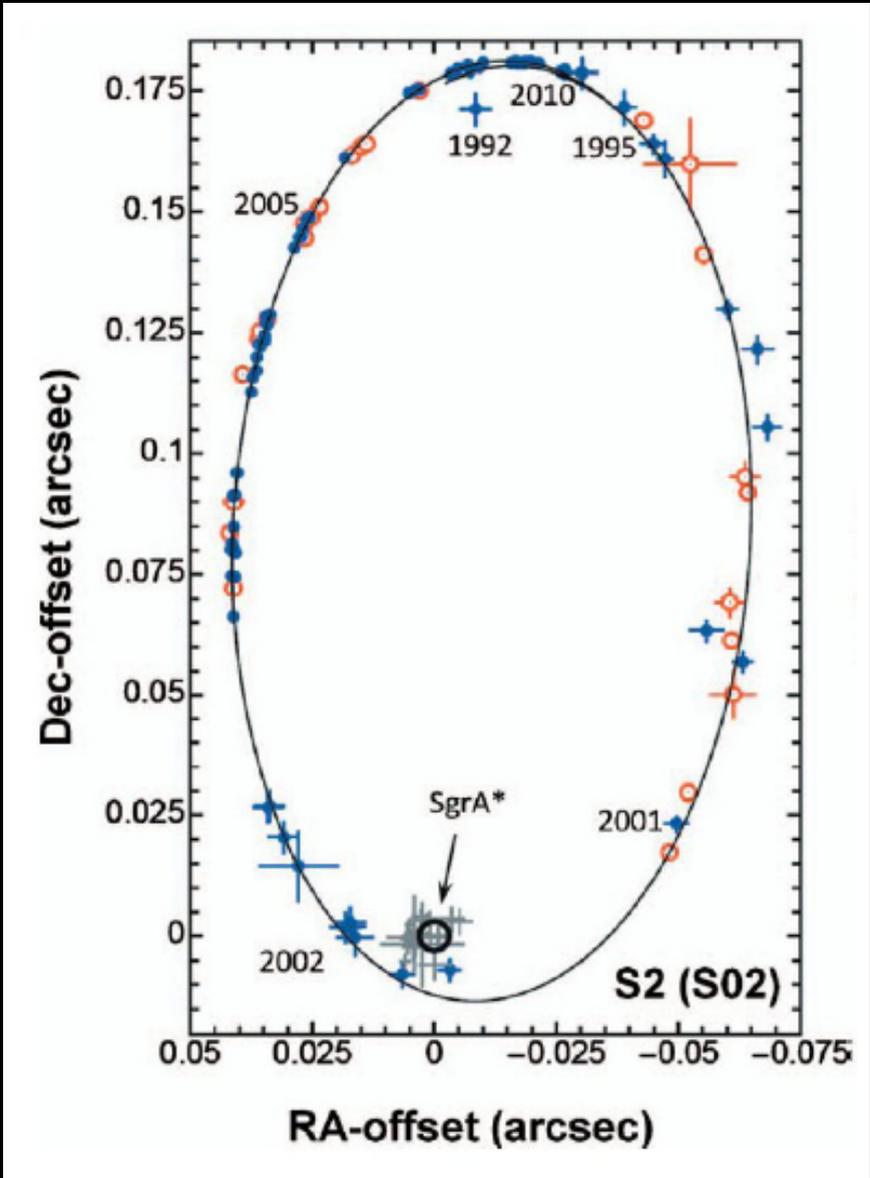
**Accélération**

**Éjection relativiste**

# Un trou noir, vraiment ?



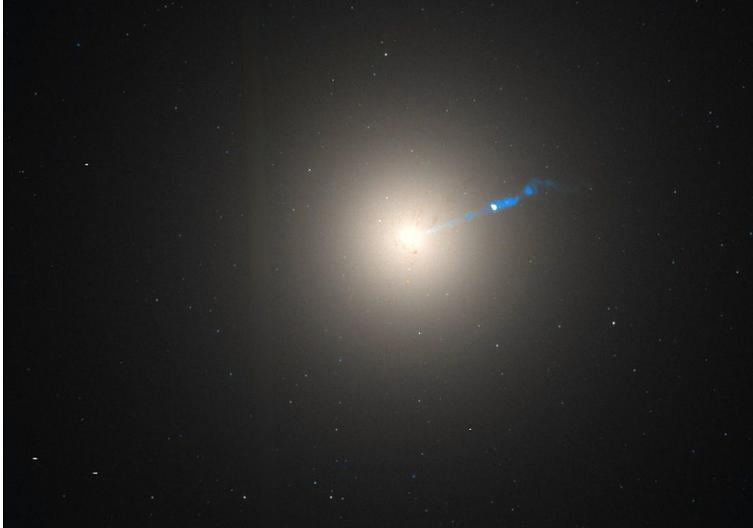
Genzel et al. 2010



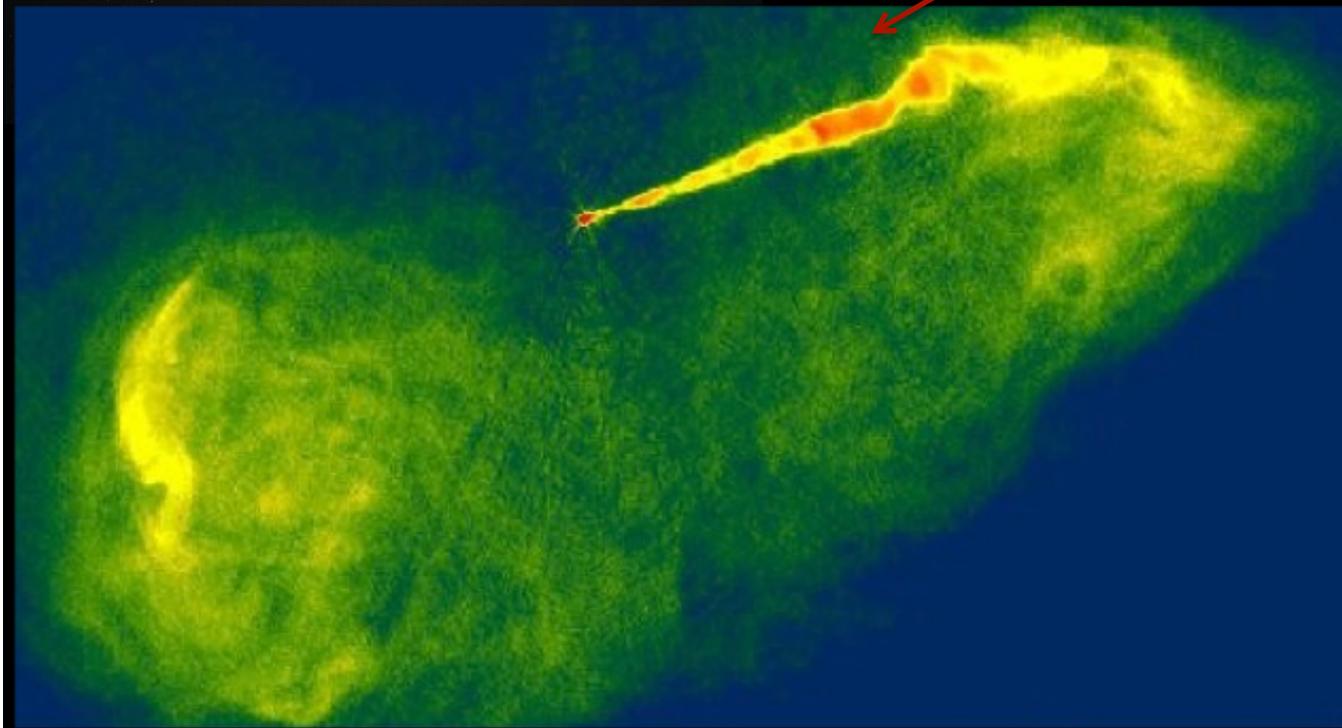
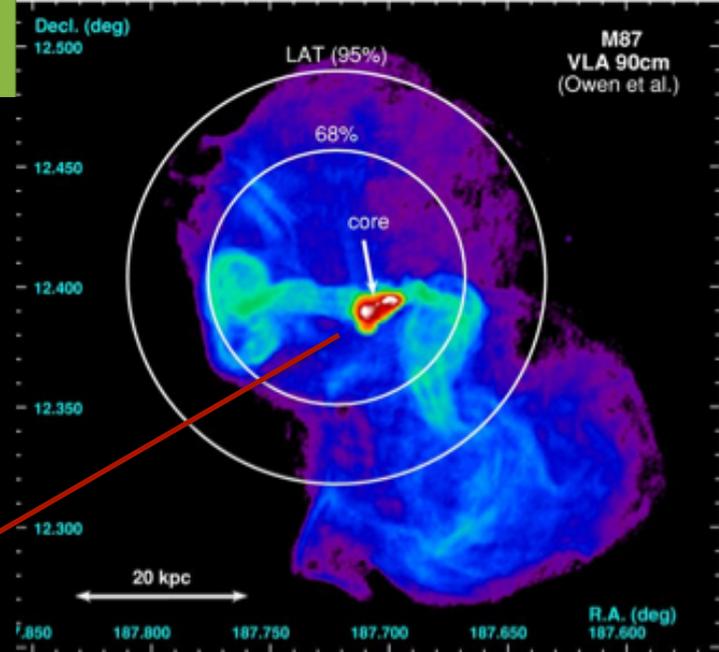
$$M_{\text{BH}} = 4.3 \cdot 10^6 M_{\text{Soleil}}$$

# Un jet relativiste, vraiment ?

L'exemple de la galaxie M87



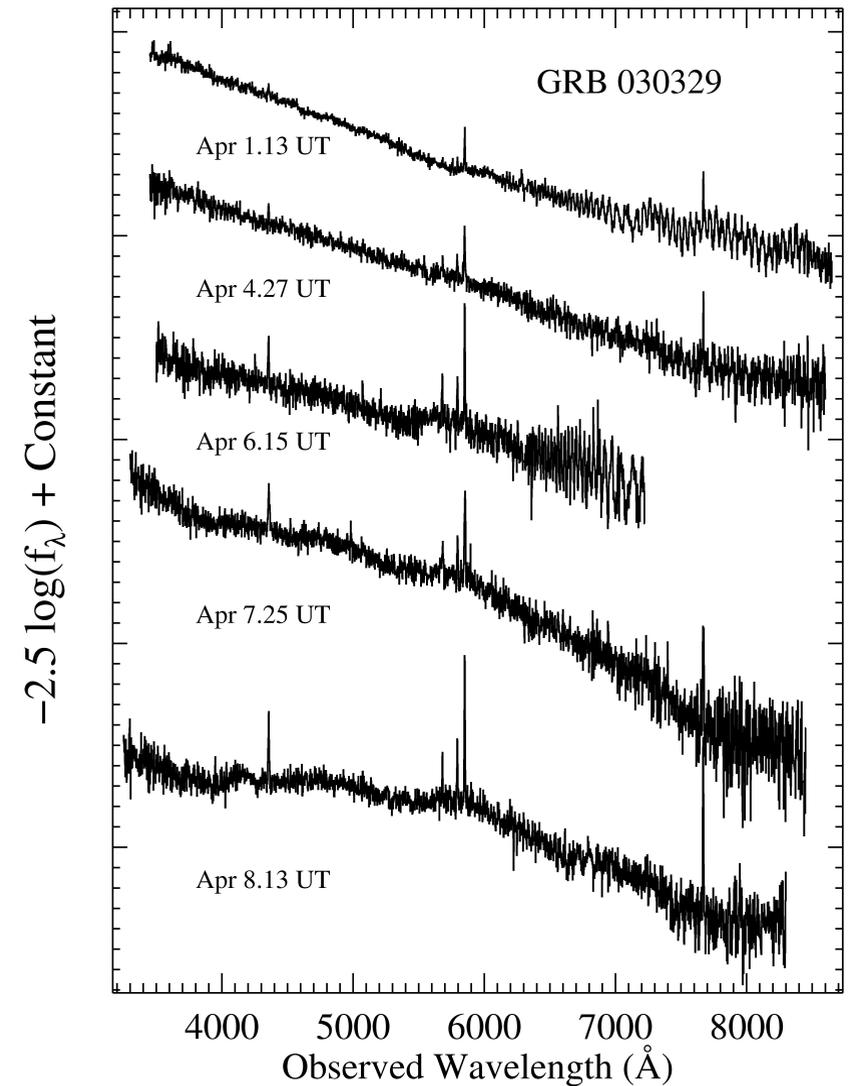
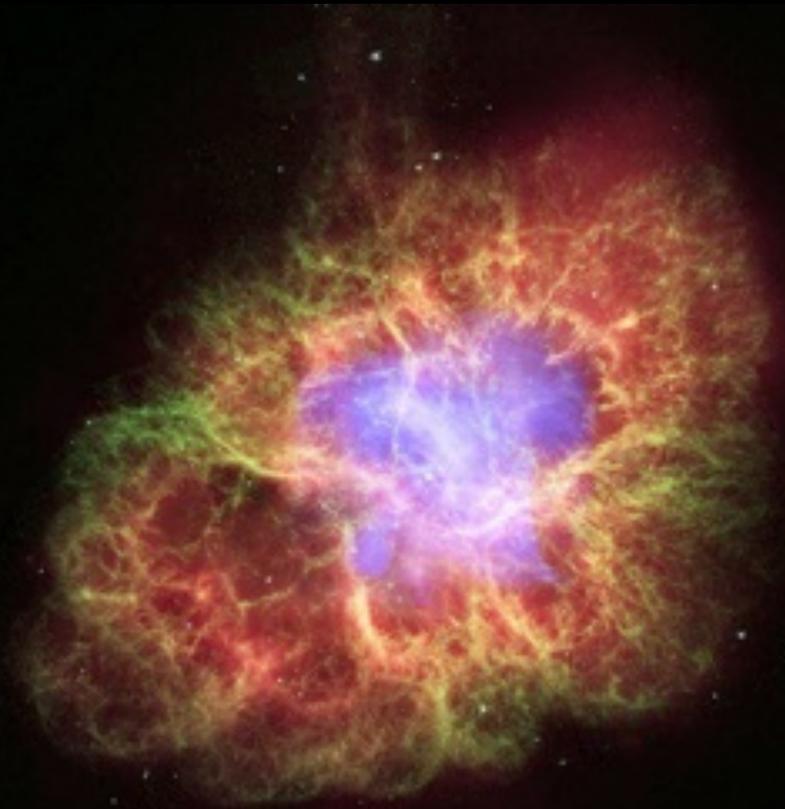
Visible (HST)



Radio (VLA)

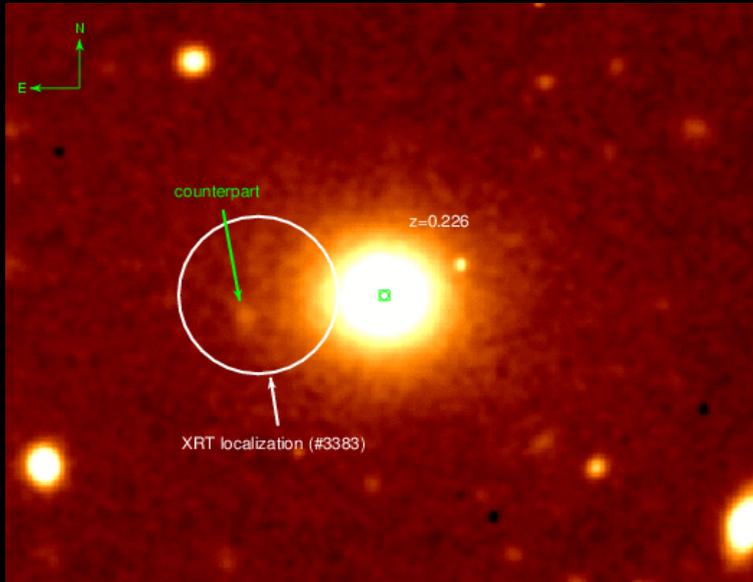
# Sursauts gamma et évolution stellaire

- Les sursauts gamma « longs » sont associés aux explosions de certaines étoiles massives (nombreuses preuves observationnelles)
- Question : quelles conditions pour produire un sursaut gamma ?

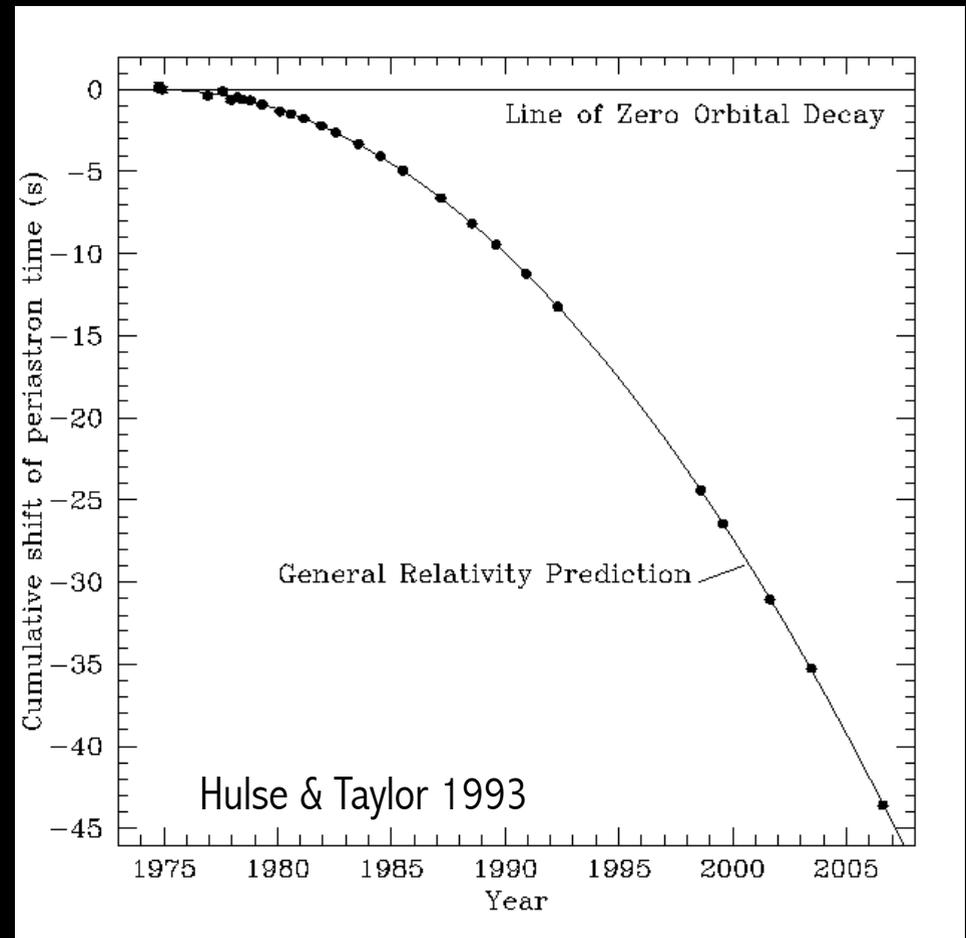
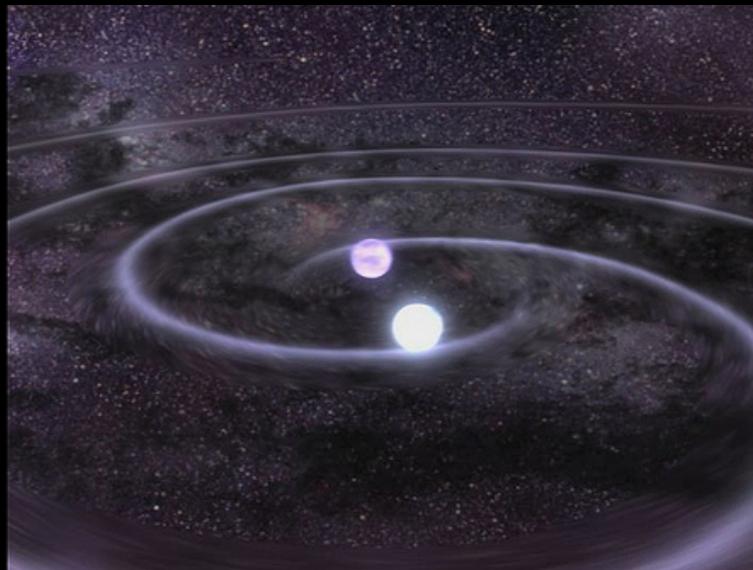


# Sursauts gamma et évolution stellaire

- Les sursauts gamma « courts » sont sans doute associés à la coalescence de deux étoiles à neutrons (indices indirects par les observations)

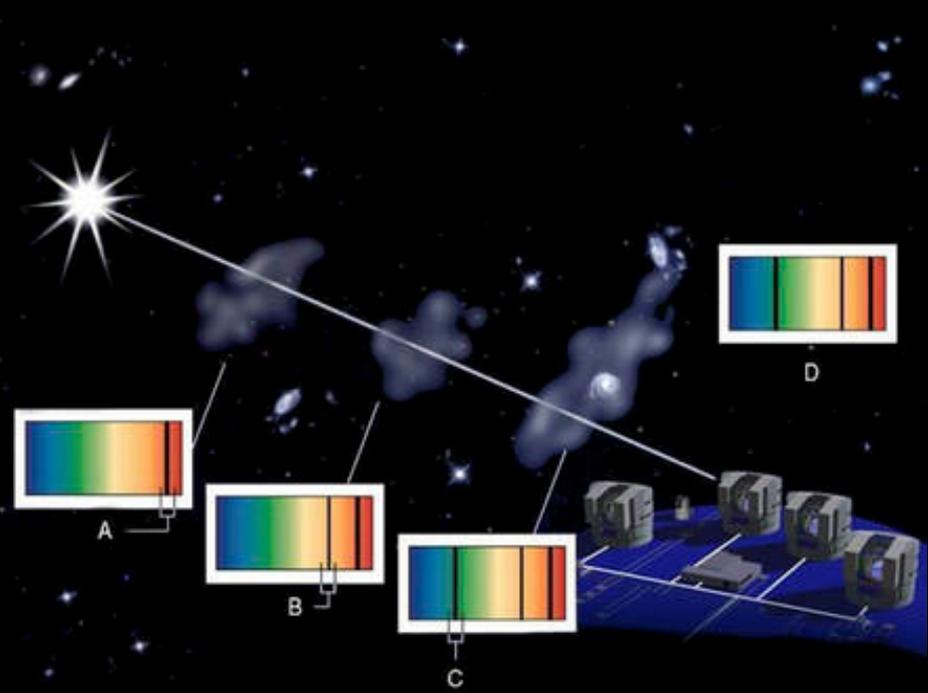


Preuve dans le futur :  
ondes gravitationnelles ?

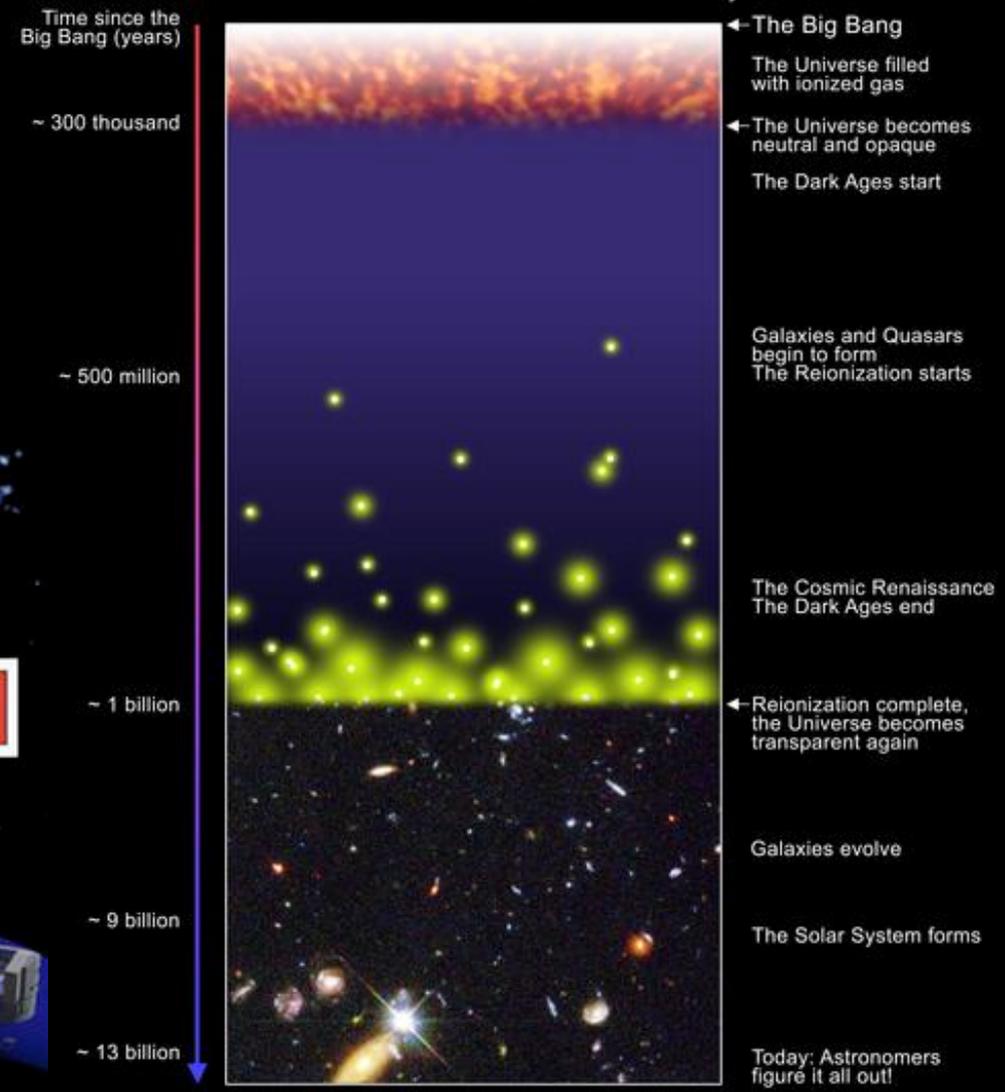


# Sursauts gamma et cosmologie

- Les sursauts sont détectables à très grande distance : ils permettent de sonder l'Univers lointain
- Galaxies lointaines
- Milieu intergalactique
- Evolution chimique de l'Univers
- Epoque de réionisation ?
- Apparition des premières étoiles ?
- etc.



A Schematic Outline of the Cosmic History



S.G. Djorgovski et al. & Digital Media Center, Caltech

# Résumé

- Les sursauts gamma sont des explosions d'étoiles très puissantes, détectables aux confins de l'Univers
- Ils sont associés à des conditions physiques extrêmes (trou noir, jet relativiste, ...)
- Ils sont des sources attendues de rayonnement non photonique
- Ils peuvent être utilisés pour des tests de physique fondamentale
- Ils peuvent être utilisés pour sonder l'Univers lointain (cosmologie)



# Résumé

L'étude des sursauts gamma croise

- une chaîne instrumentale sophistiquée
- une modélisation physique complexe

