

« Mystères au cœur de l'Univers et de la matière »

24 janvier - **Une anatomie de l'Univers : du clair à l'obscur**

Alain Mazure, LAM/OAMP

14 février - **L'infiniment petit dans l'infiniment grand**

Charling Tao, CPPM

14 mars - **A la découverte des galaxies**

Alessandro Boselli, LAM/OAMP

4 avril - **Arpenter l'Univers**

Jean-Pierre Sivan, LAM/OAMP

16 mai - **Soleils éclatés, le destin ultime des étoiles**

Stéphane Basa, LAM/OAMP

13 juin - **Les monstres de l'Univers**

Damien Dornic, CPPM

19 septembre - **Matière noire et énergie noire : les inconnues d'un Univers invisible**

Dominique Fouchez, CPPM

17 octobre - **La vie intime des objets célestes**

José Busto, CPPM

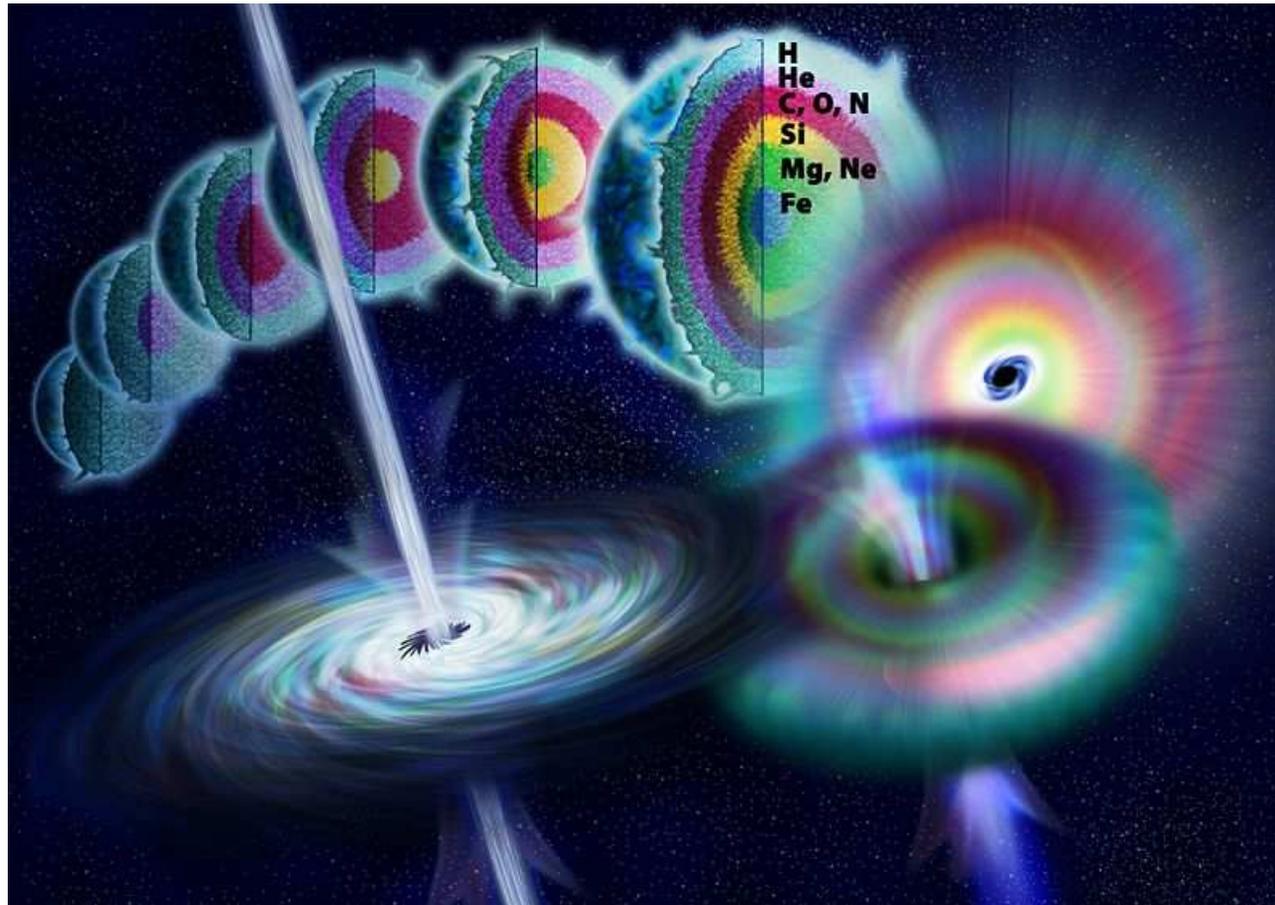
14 novembre - **Les exoplanètes ou la révolution planétaire**

Magali Deleuil, LAM/OAMP

12 décembre - **Des nouvelles du LHC**

Fabrice Hubaut, CPPM

Les Monstres de l'Univers



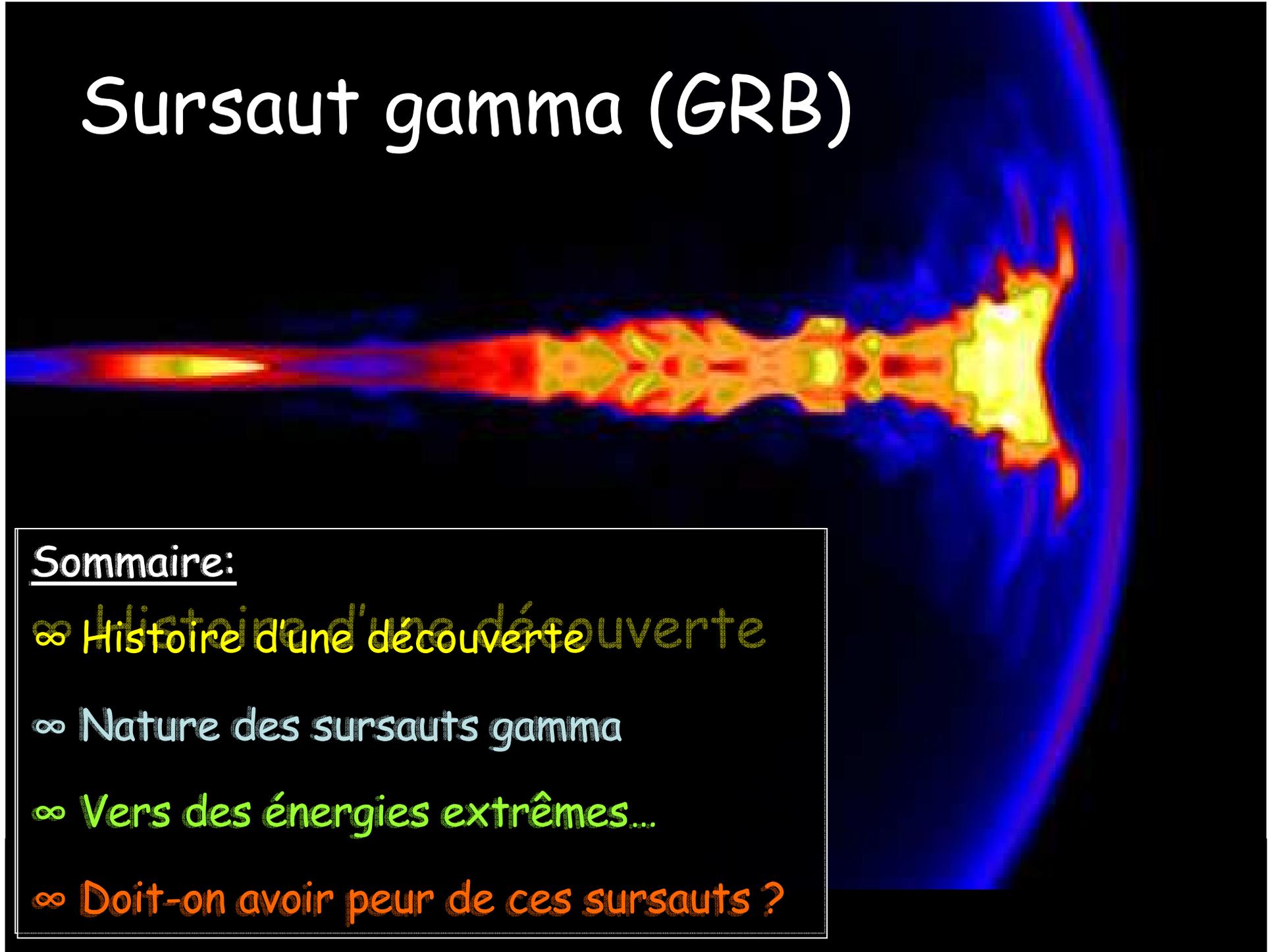
Damien Dornic (CPPM)

13 Juin 2009

Sursaut gamma (GRB)

Sommaire:

- ∞ Histoire d'une découverte
- ∞ Nature des sursauts gamma
- ∞ Vers des énergies extrêmes...
- ∞ Doit-on avoir peur de ces sursauts ?



Tout commence comme dans un film
d'espionnage ...



Moscou: 5 Août 1963

Traité d'arrêt des tests d'armes nucléaires dans l'atmosphère

**Treaty Banning Nuclear Weapon Tests in the Atmosphere, in Outer Space and under Water
Signed by the Original Parties, the Union of Soviet Socialist Republics, the United Kingdom of Great Britain
and Northern Ireland and the United States of America at Moscow: 5 August 1963**

The Governments of the United States of America, the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, and the Union of Soviet Socialist Republics, hereinafter referred to as the "Original Parties,"

Proclaiming as their principal aim the speediest possible achievement of an agreement on general and complete disarmament under strict international control in accordance with the objectives of the United Nations which would put an end to the armaments race and eliminate the incentive to the production and testing of all kinds of weapons, including nuclear weapons,

Seeking to achieve the discontinuance of all test explosions of nuclear weapons for all time, determined to continue negotiations to this end, and desiring to put an end to the contamination of man's environment by radioactive substances,

Have agreed as follows:

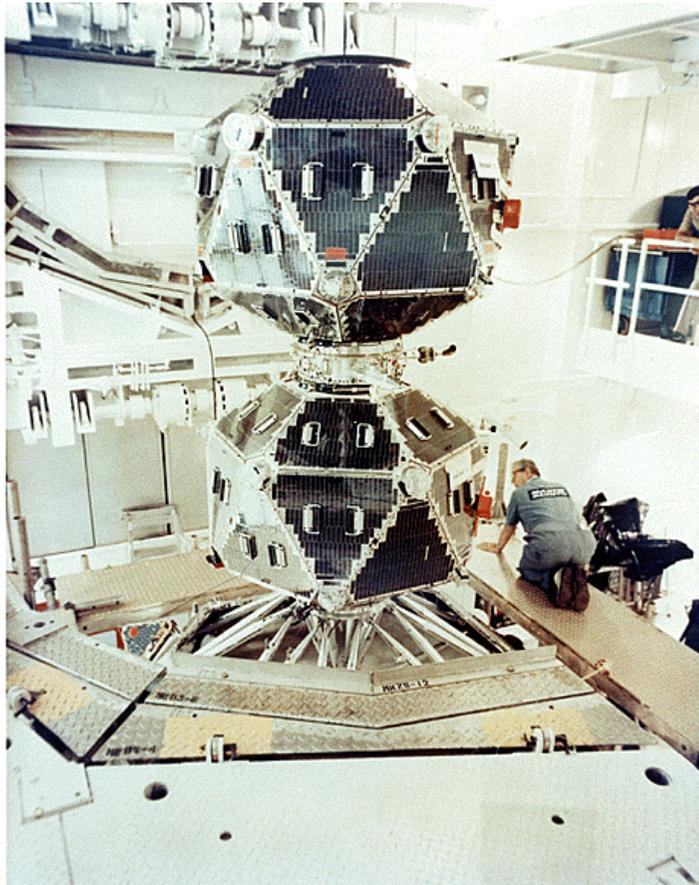
Article I

1. Each of the Parties to this Treaty undertakes to prohibit, to prevent, and not to carry out any nuclear weapon test explosion, or any other nuclear explosion, at any place under its jurisdiction or control:

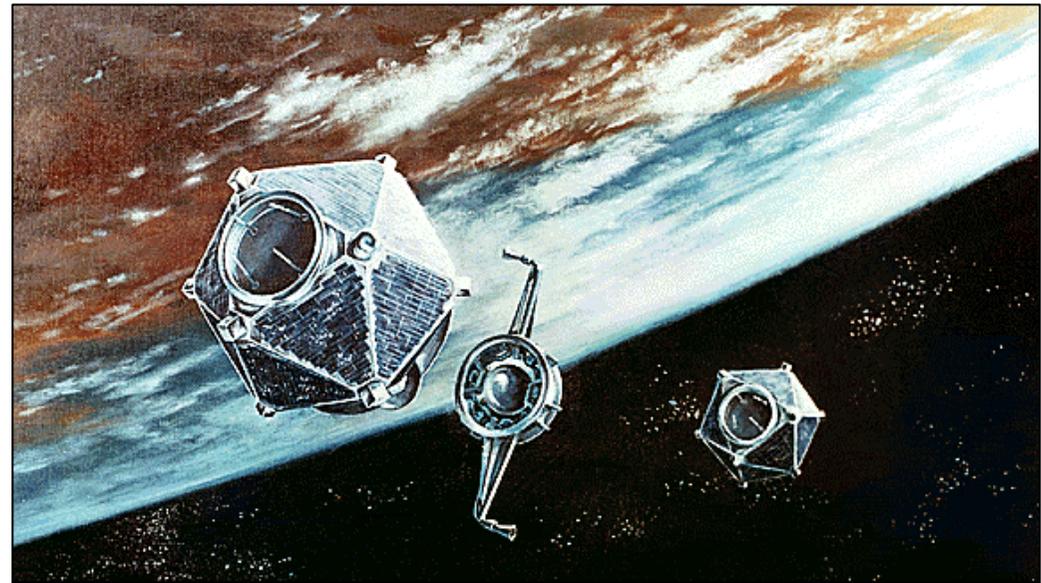
(a) in the atmosphere; beyond its limits, including outer space; or under water, including territorial waters or high seas;

Signer un traité c'est bien
mais vérifier qu'il est appliqué c'est mieux ...

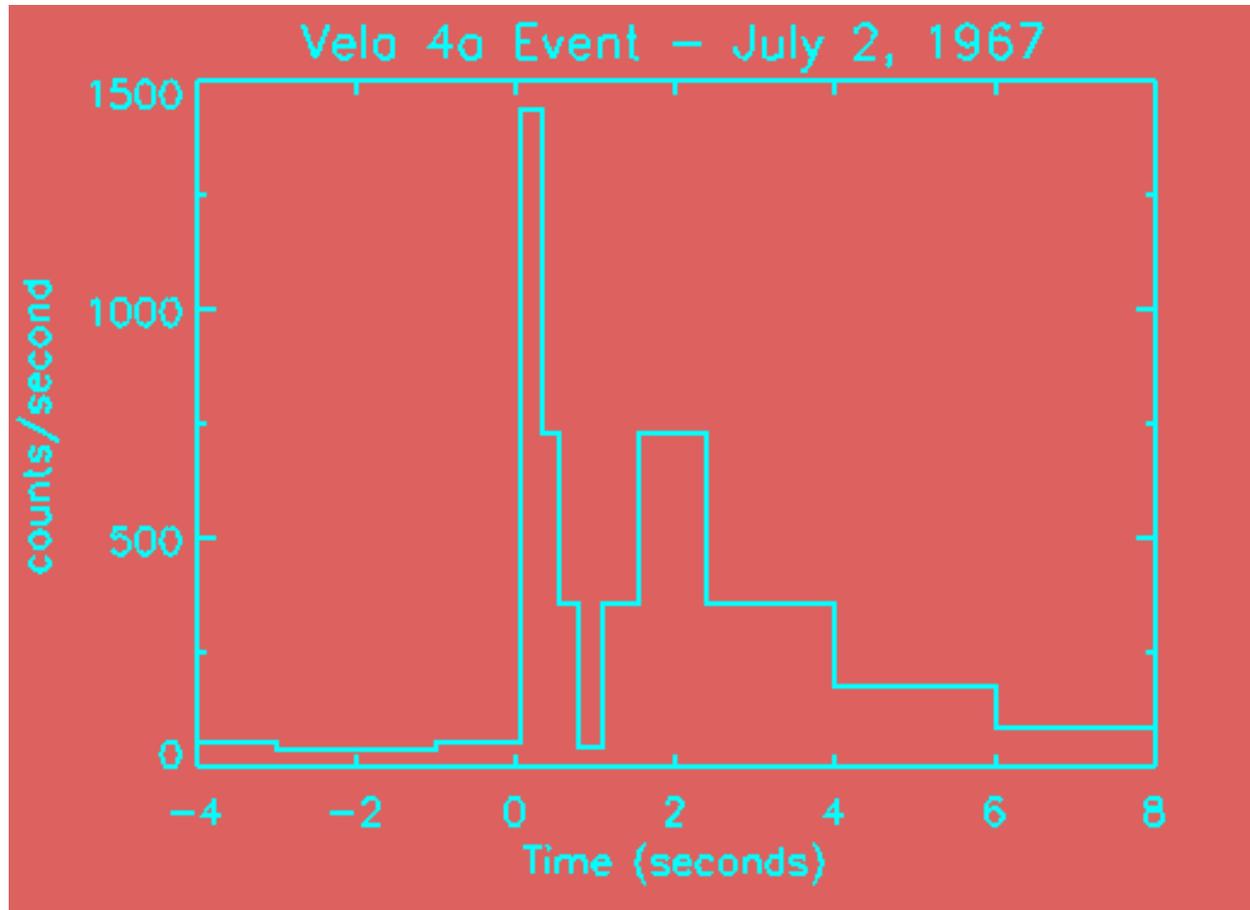
→ Comment détecter une explosion nucléaire ?
ondes sismiques, **rayons gamma**



Le projet « VELA » (chien de garde en espagnol)
(3 paires de satellites lancés en 1963, 1964 et 1965)



Un événement très bizarre !!!



Ressemble à un signal d'explosion nucléaire,
mais semble être d'origine extra-terrestre

1^{er} sursaut gamma

La première publication

Après déclassification des archives militaires en 1973,

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 182:L85-L88, 1973 June 1

© 1973. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in U.S.A.

OBSERVATIONS OF GAMMA-RAY BURSTS OF COSMIC ORIGIN

RAY W. KLEBESADEL, IAN B. STRONG, AND ROY A. OLSON

University of California, Los Alamos Scientific Laboratory, Los Alamos, New Mexico

Received 1973 March 16; revised 1973 April 2

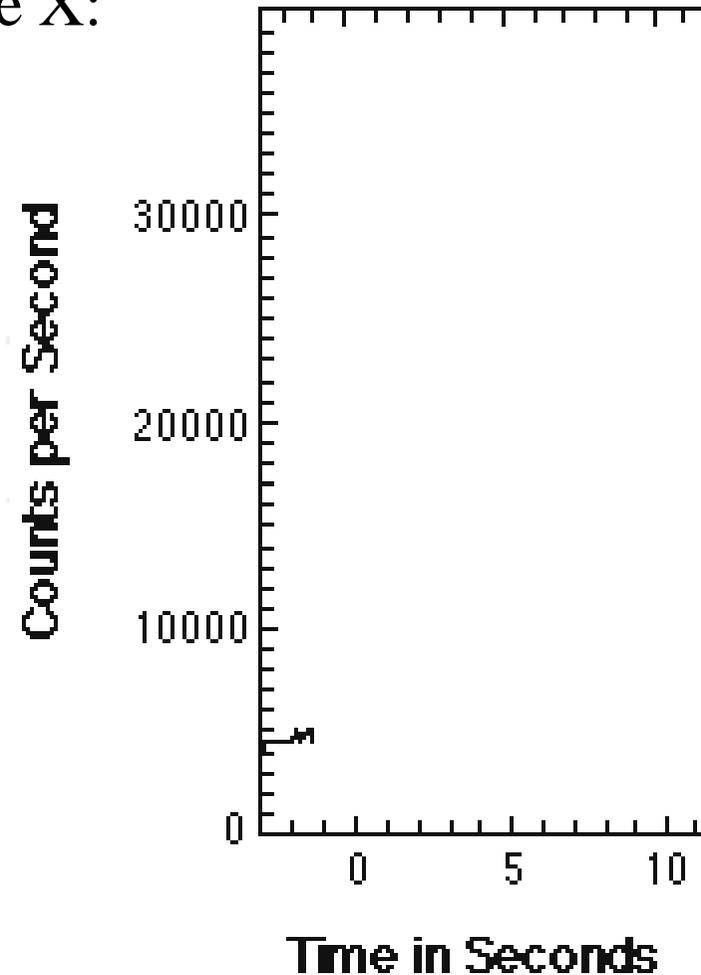
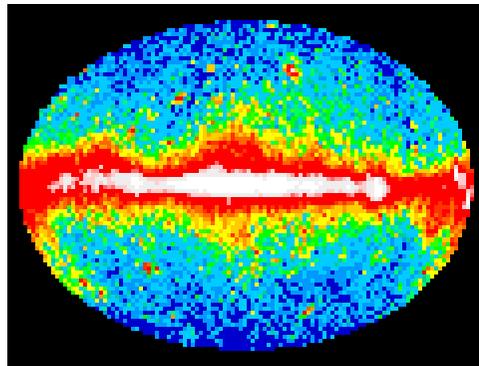
ABSTRACT

Sixteen short bursts of photons in the energy range 0.2–1.5 MeV have been observed between 1969 July and 1972 July using widely separated spacecraft. Burst durations ranged from less than 0.1 s to ~30 s, and time-integrated flux densities from $\sim 10^{-5}$ ergs cm^{-2} to $\sim 2 \times 10^{-4}$ ergs cm^{-2} in the energy range given. Significant time structure within bursts was observed. Directional information eliminates the Earth and Sun as sources.

Subject headings: gamma rays — X-rays — variable stars

Sursaut gamma

Voila ce qu'on observe depuis la Terre lors d'un sursaut gamma avec un satellite X:



GRB: source la plus lumineuse du ciel (en rayon X) pendant quelques secondes)

1973 – 1990 : De nombreux satellites étudient les GRB

Les résultats s'accumulent mais l'échelle de distance reste inconnue

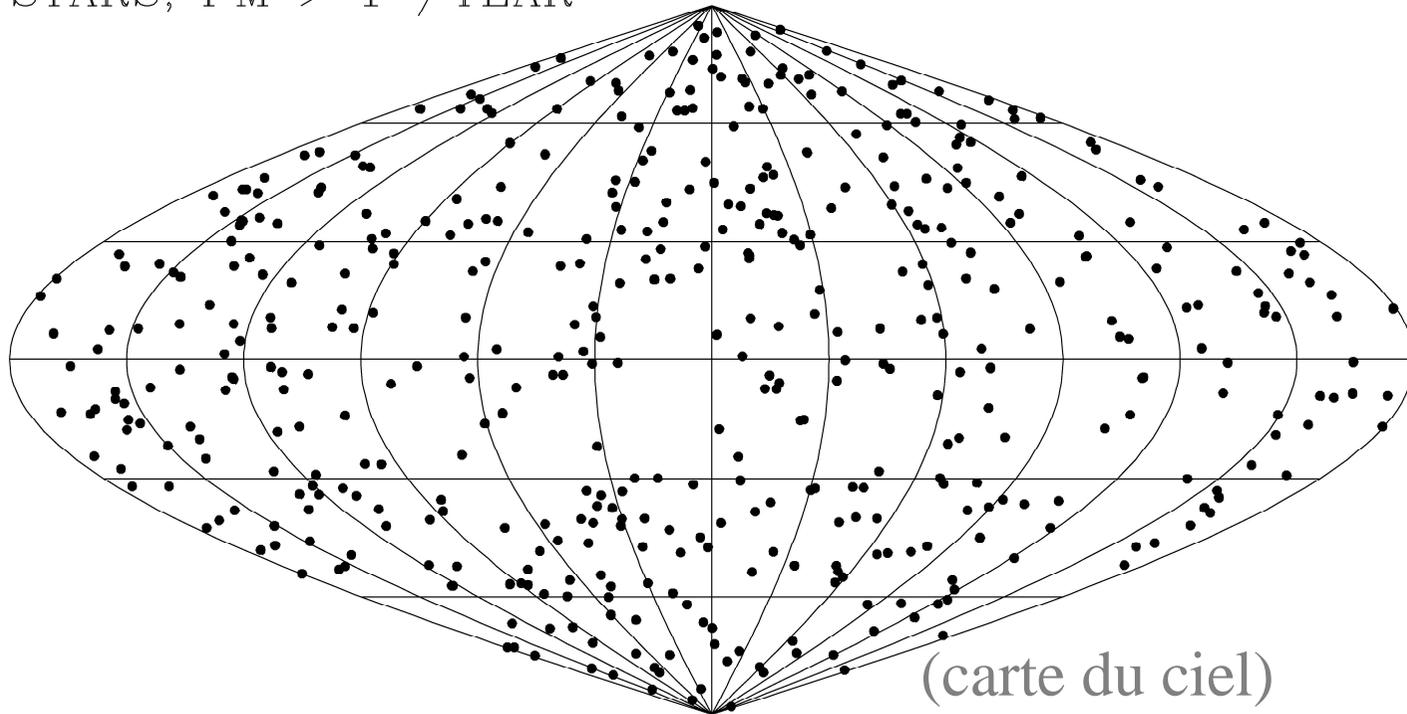
➡ beaucoup d'incertitude sur les modèles

#	Author	Year Pub	Reference	Main Body	2nd Body	Place	Description
1.	Colgate	1968	CJPhys, 46, S476	ST		COS	SN shocks stellar surface in distant galaxy
2.	Colgate	1974	ApJ, 187, 333	ST		COS	Type II SN shock brem, inv Comp scat at stellar surface
3.	Stecker et al.	1973	Nature, 245, PS70	ST		DISK	Stellar superflare from nearby star
4.	Stecker et al.	1973	Nature, 245, PS70	WD		DISK	Superflare from nearby WD
5.	Harwit et al.	1973	ApJ, 186, L37	NS	COM	DISK	Relic comet perturbed to collide with old galactic NS
6.	Lamb et al.	1973	Nature, 246, PS52	WD	ST	DISK	Accretion onto WD from flare in companion
7.	Lamb et al.	1973	Nature, 246, PS52	NS	ST	DISK	Accretion onto NS from flare in companion
8.	Lamb et al.	1973	Nature, 246, PS52	BH	ST	DISK	Accretion onto BH from flare in companion
9.	Zwicky	1974	Ap & SS, 28, 111	NS		HALO	NS chunk contained by external pressure escapes, explodes
10.	Grindlay et al.	1974	ApJ, 187, L93	DG		SOL	Relativistic iron dust grain up-scatters solar radiation
11.	Brecher et al.	1974	ApJ, 187, L97	ST		DISK	Directed stellar flare on nearby star
12.	Schlovskii	1974	SovAstron, 18, 390	WD	COM	DISK	Comet from system's cloud strikes WD
13.	Schlovskii	1974	SovAstron, 18, 390	NS	COM	DISK	Comet from system's cloud strikes NS
14.	Bisnovatyi- et al.	1975	Ap & SS, 35, 23	ST		COS	Absorption of neutrino emission from SN in stellar envelope
15.	Bisnovatyi- et al.	1975	Ap & SS, 35, 23	ST	SN	COS	Thermal emission when small star heated by SN shock wave
16.	Bisnovatyi- et al.	1975	Ap & SS, 35, 23	NS		COS	Ejected matter from NS explodes
17.	Pacini et al.	1974	Nature, 251, 399	NS		DISK	NS crustal starquake glitch; should time coincide with GRB
18.	Narlikar et al.	1974	Nature, 251, 590	WH		COS	White hole emits spectrum that softens with time
19.	Tsygan	1975	A&A, 44, 21	NS		HALO	NS corequake excites vibrations, changing E & B fields
20.	Chanmugam	1974	ApJ, 193, L75	WD		DISK	Convection inside WD with high B field produces flare
21.	Prilutski et al.	1975	Ap & SS, 34, 395	AGN	ST	COS	Collapse of supermassive body in nucleus of active galaxy
22.	Narlikar et al.	1975	Ap & SS, 35, 321	WH		COS	WH excites synchrotron emission, inverse Compton scattering
23.	Piran et al.	1975	Nature, 256, 112	BH		DISK	Inv Comp scat deep in ergosphere of fast rotating, accreting BH
24.	Fabian et al.	1976	Ap & SS, 42, 77	NS		DISK	NS crustquake shocks NS surface
25.	Chanmugam	1976	Ap & SS, 42, 83	WD		DISK	Magnetic WD suffers MHD instabilities, flares
26.	Mullan	1976	ApJ, 208, 199	WD		DISK	Thermal radiation from flare near magnetic WD
27.	Woodsley et al.	1976	Nature, 263, 101	NS		DISK	Carbon detonation from accreted matter onto NS
28.	Lamb et al.	1977	ApJ, 217, 197	NS		DISK	Mag grating of accret disk around NS causes sudden accretion
29.	Piran et al.	1977	ApJ, 214, 268	BH		DISK	Instability in accretion onto rapidly rotating BH
30.	Dasgupta	1979	Ap & SS, 63, 517	DG		SOL	Charged intergal rel dust grain enters sol sys, breaks up

Fin des années 80 : un scénario favori

Voilà ce que l'on avait mesuré:

STARS, $PM > 1''/\text{YEAR}$



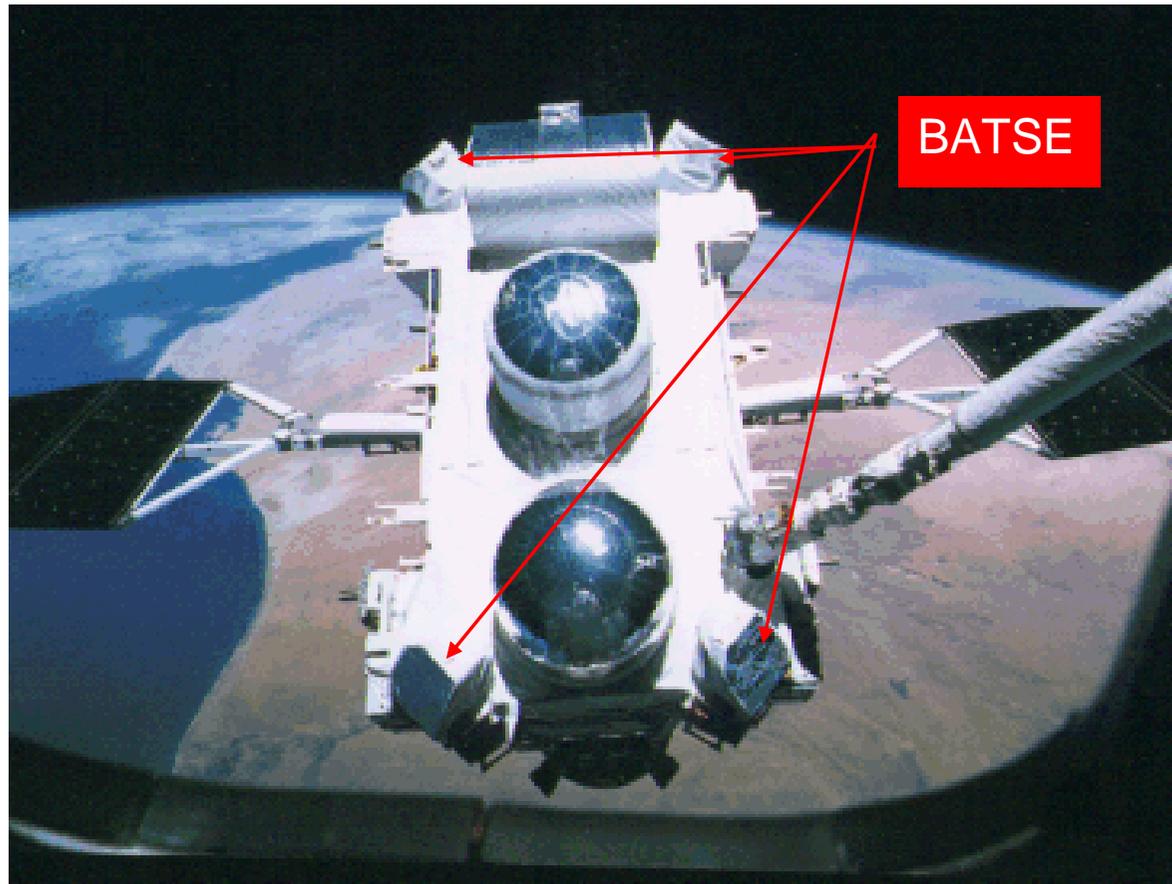
Événement catastrophique à la surface d'une étoile à neutrons dans notre galaxie

La distribution des sursauts sur le ciel est isotrope car on observe que des sursauts proches

Une date clef: 1991

Lancement du satellite CGRO (Compton Gamma-Ray Observatory)
avec à bord plusieurs instruments:

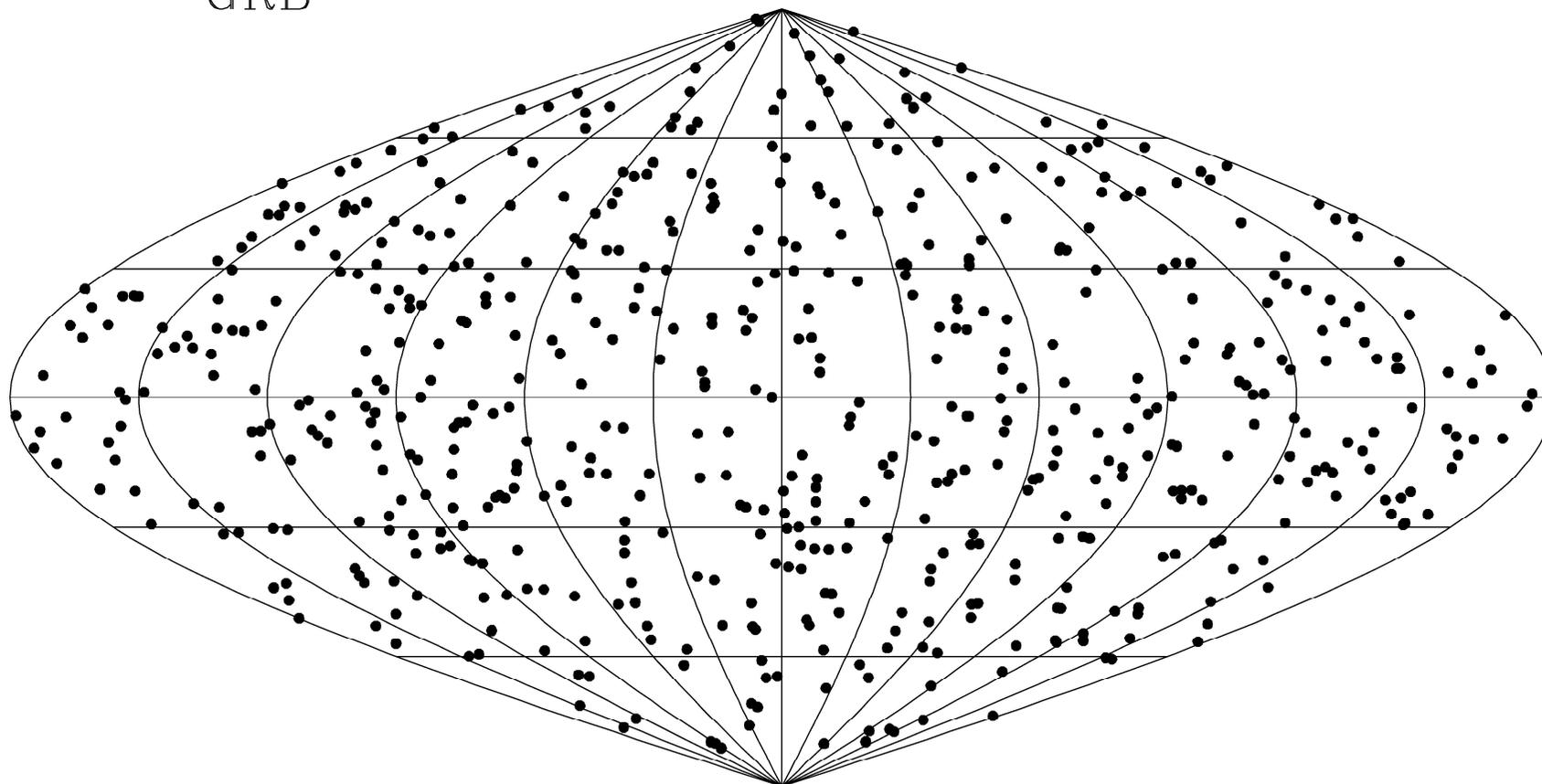
COMPTEL, OSSE, EGRET, BATSE



On attend ça :

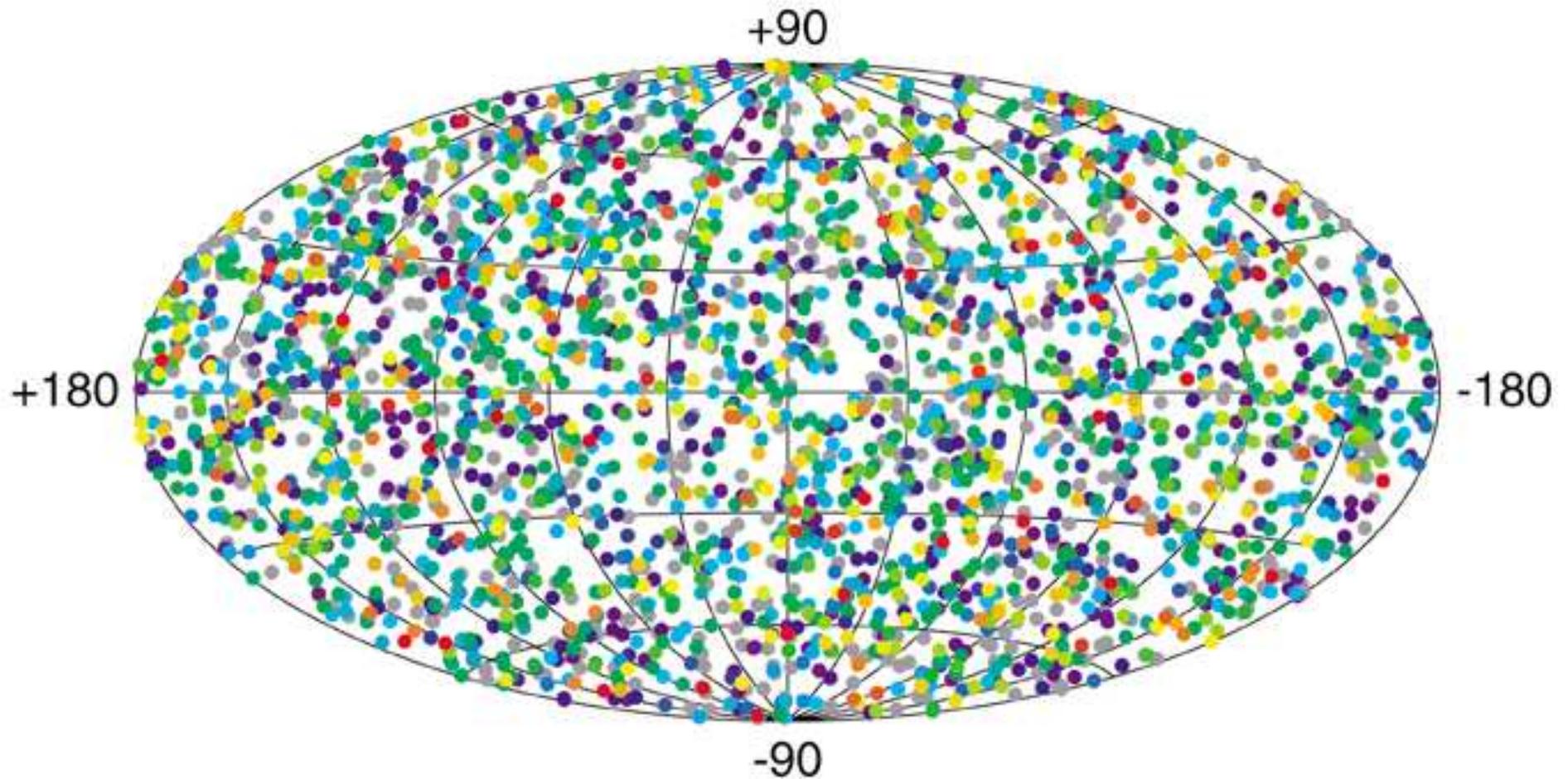
Mais on observe ça :

GRB



De 1991 à 2000, BATSE observe:

2704 sursauts



Restent essentiellement 2 possibilités :

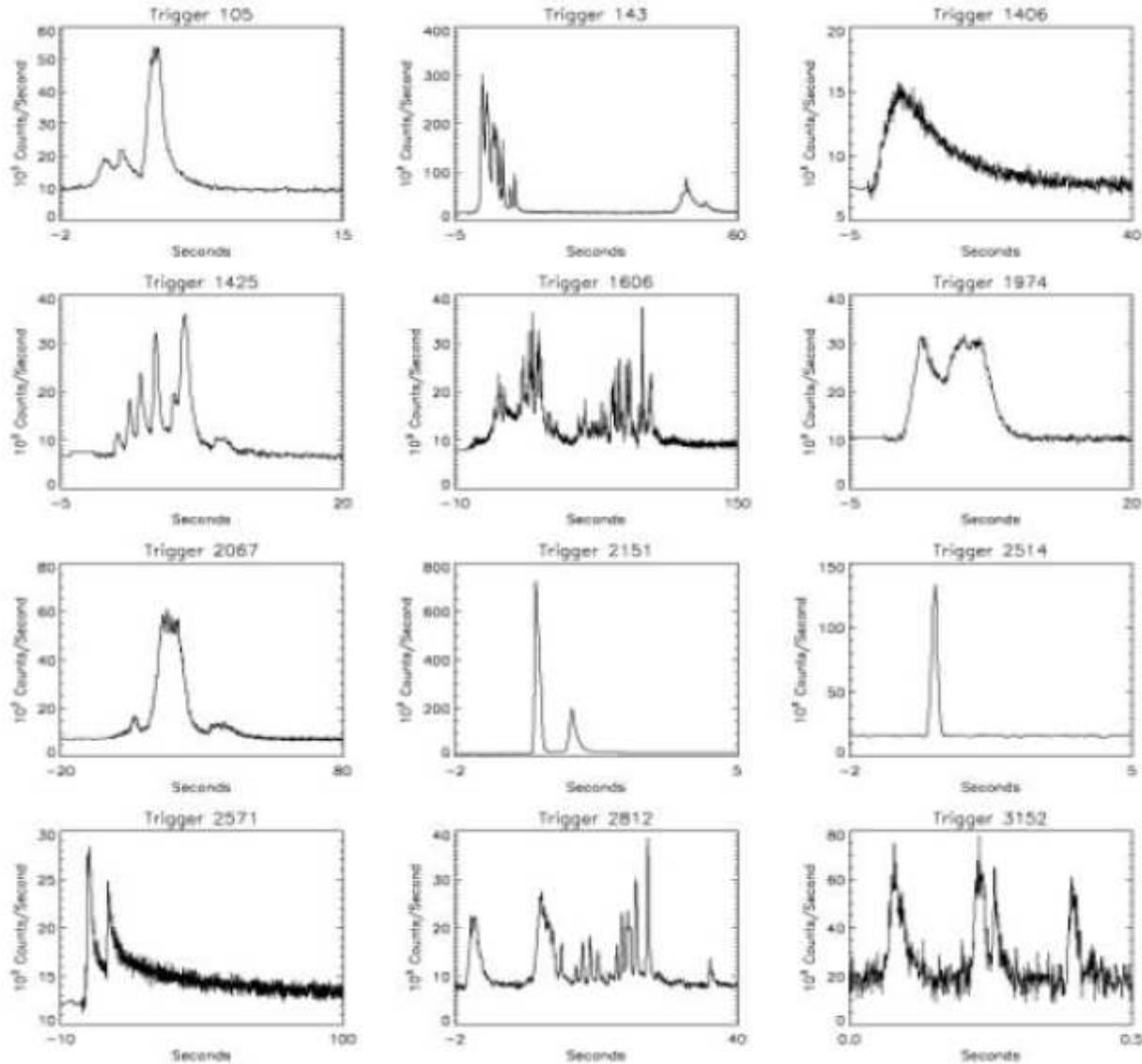
- 1) Placer les sursauts dans un « super halo » centré sur notre Galaxie
- 2) Les rejeter à distance cosmologique

1995 : le « grand débat »

L'échelle de distance des sursauts gamma
B. Paczynski (1) et D. Lamb (2) arbitré par M. Rees

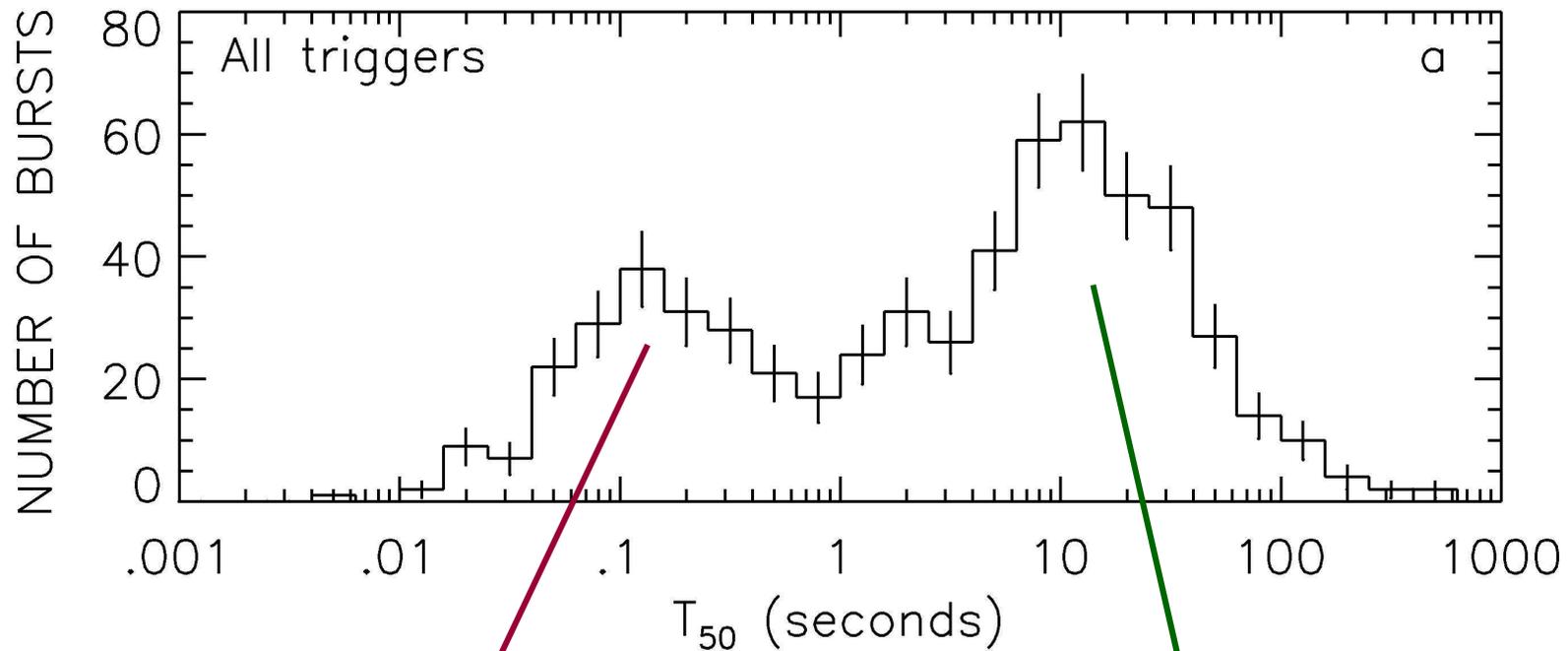


Courbes de lumière



Le bilan des 1^{ères} observations

La durée des sursauts



Sursauts courts

$T_{90} \sim 0.1s$

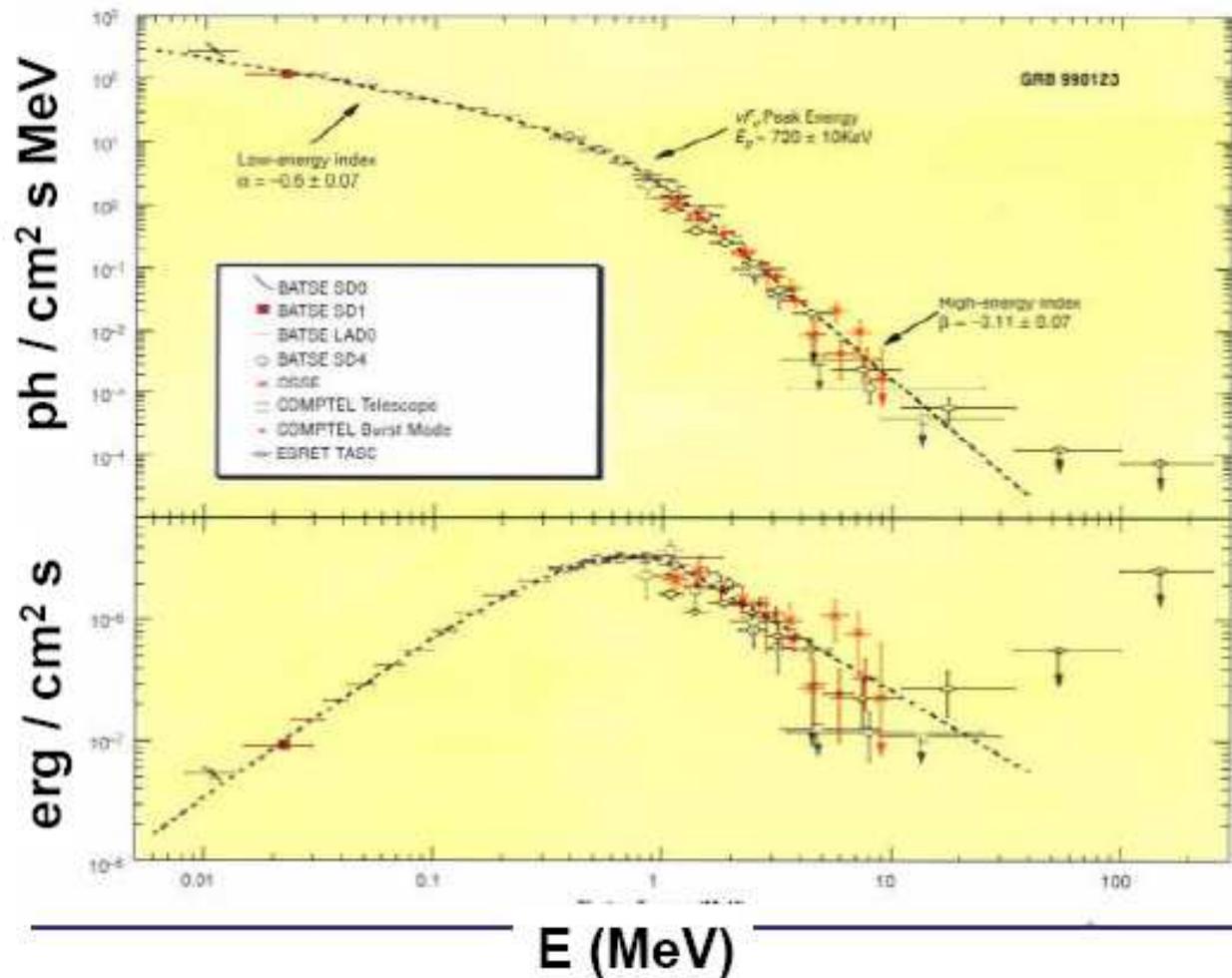
Sursauts longs

$T_{90} \sim 10s$

⇒ 2 origines différentes

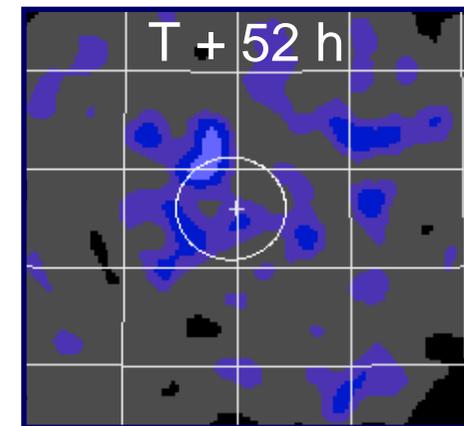
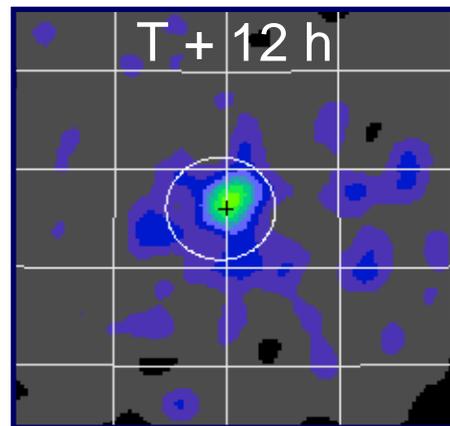
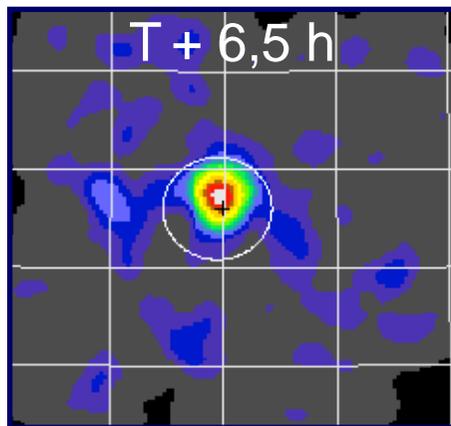
Distribution énergie des photons

Malgré les profils temporels très différents, les sursauts présentent des spectres en énergie très semblables !!!

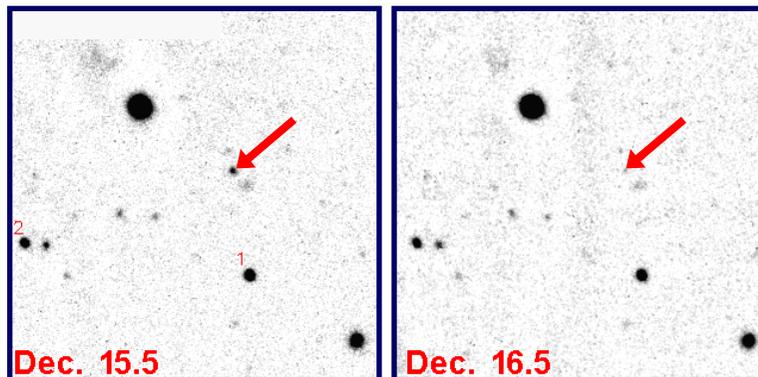


1997- BeppoSAX et les rémanences

GRB 971214: mesure de la 1^{ère} rémanence par BeppoSAX dans la bande d'énergie des rayons



Aussi détectée dans le visible

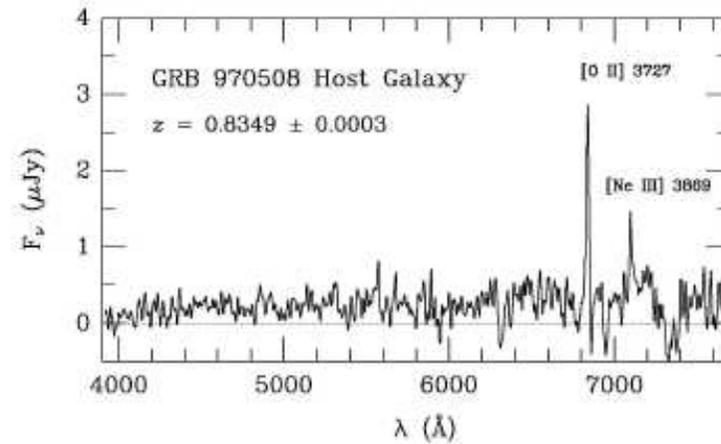
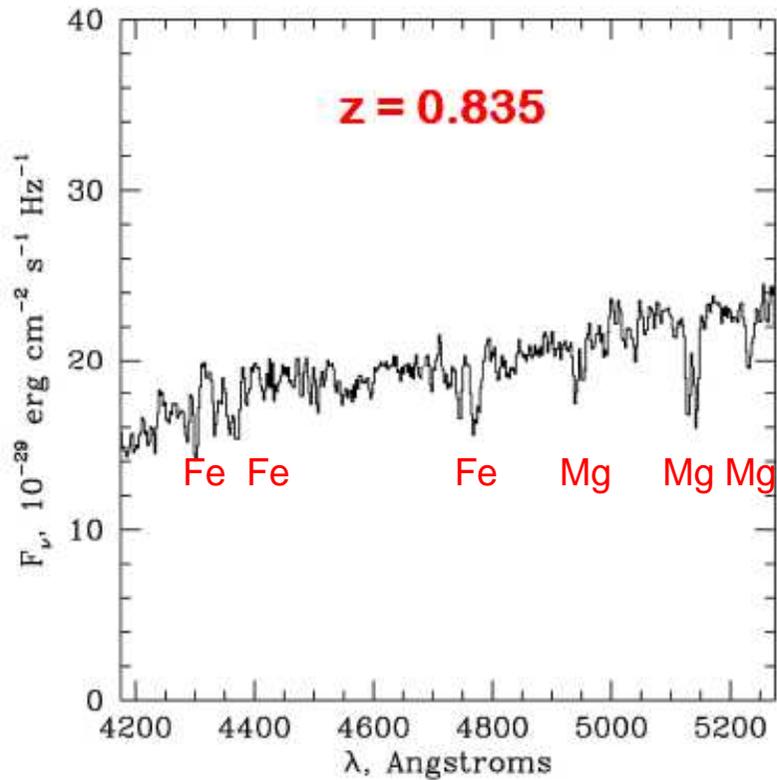


- Détection des galaxies hôtes
- Mesure de distance par spectroscopie (redshift)

Mesure de distance dans l'Univers

Mesure par spectroscopie (E. Hubble – 1910-1920)

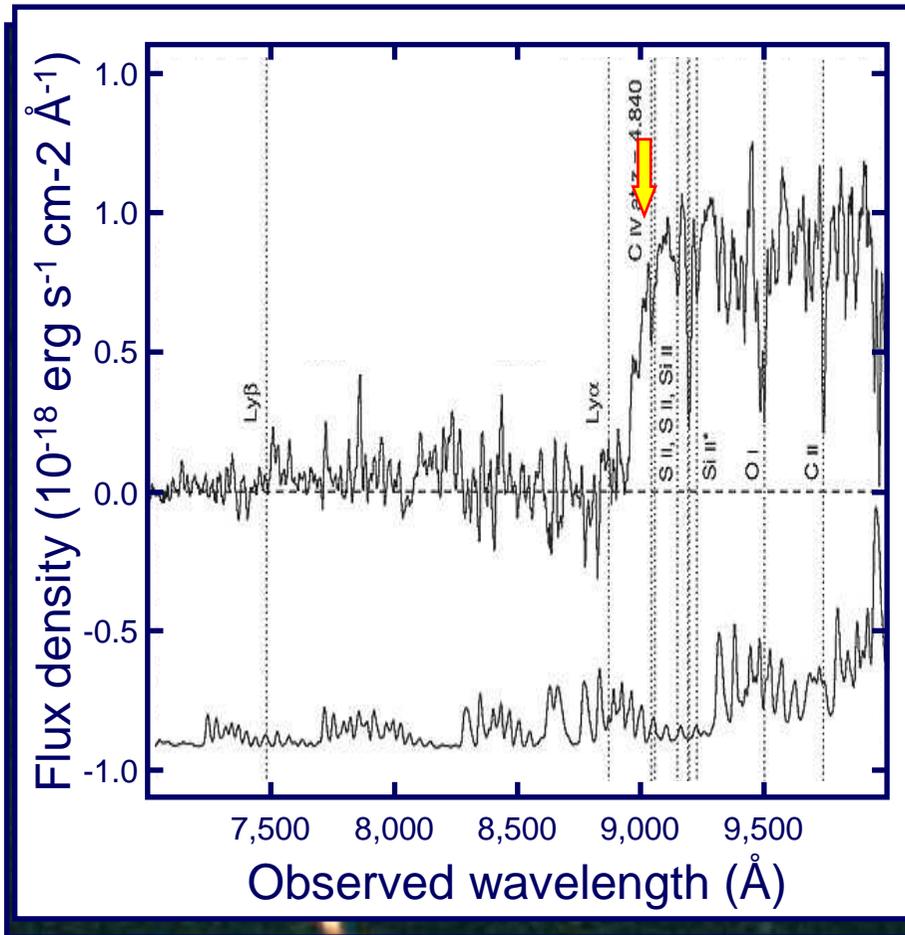
GRB970508: 1^{ère} mesure d'un redshift



Host galaxy : $z = 0.835$

($d \sim 2.4 \text{ Gpc}$, $t \sim 8 \text{ Gyr}$)

SWIFT: GRB existent à grand z



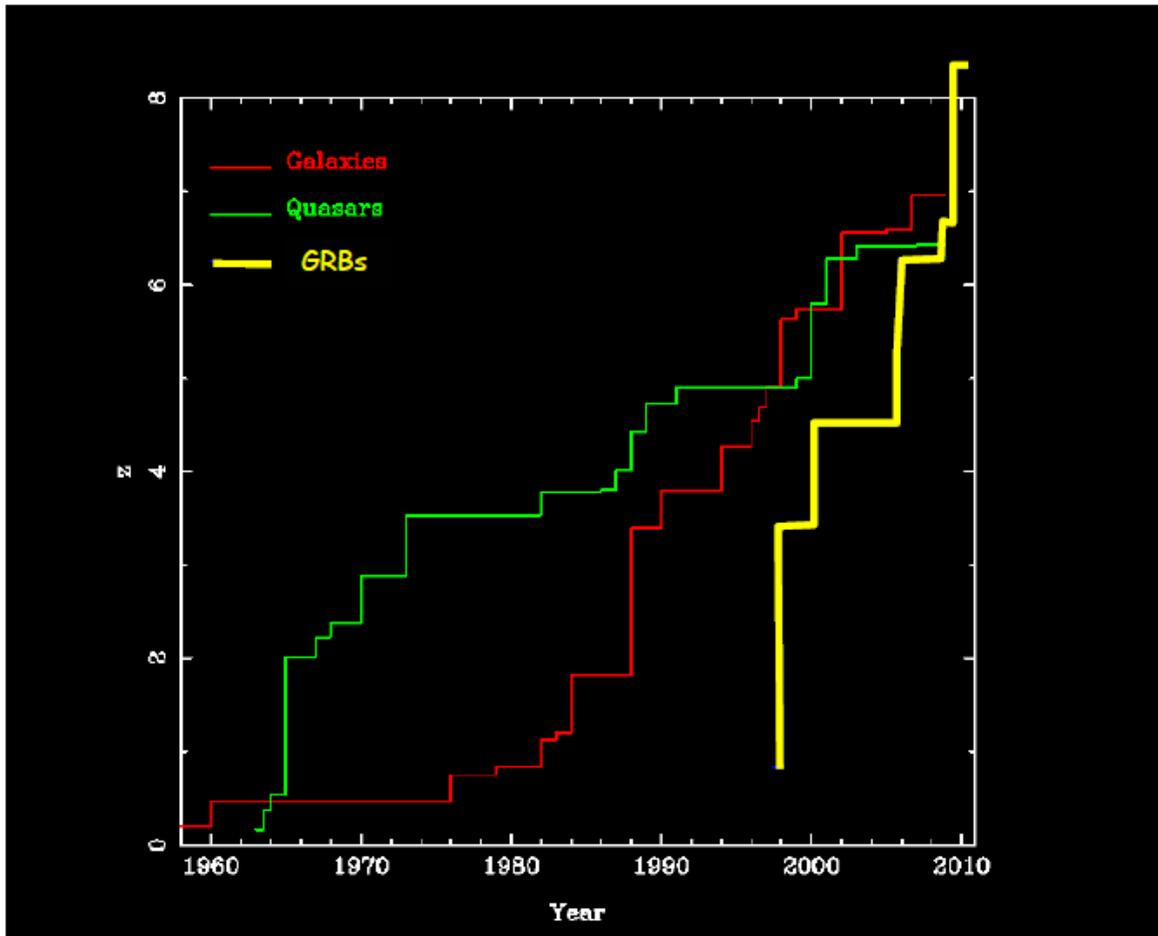
Kulkarni et al., *Nature*, 438, 302, 2005

- 05/09/04 à 01:51:44
Swift/BAT détecte un GRB
(GRB 050904)
- T + 8 m: TAROT à CALERN
observe le champ du GRB
- T + 27h: VLT mesure le
redshift photométrique
 $z = 6.1 (+0.37 -0.12)$
- T + 3.4 d: Subaru enregistre
un spectre détaillé NIR
 $z = 6.295$

SWIFT: GRB existent à grand z

De record en record...

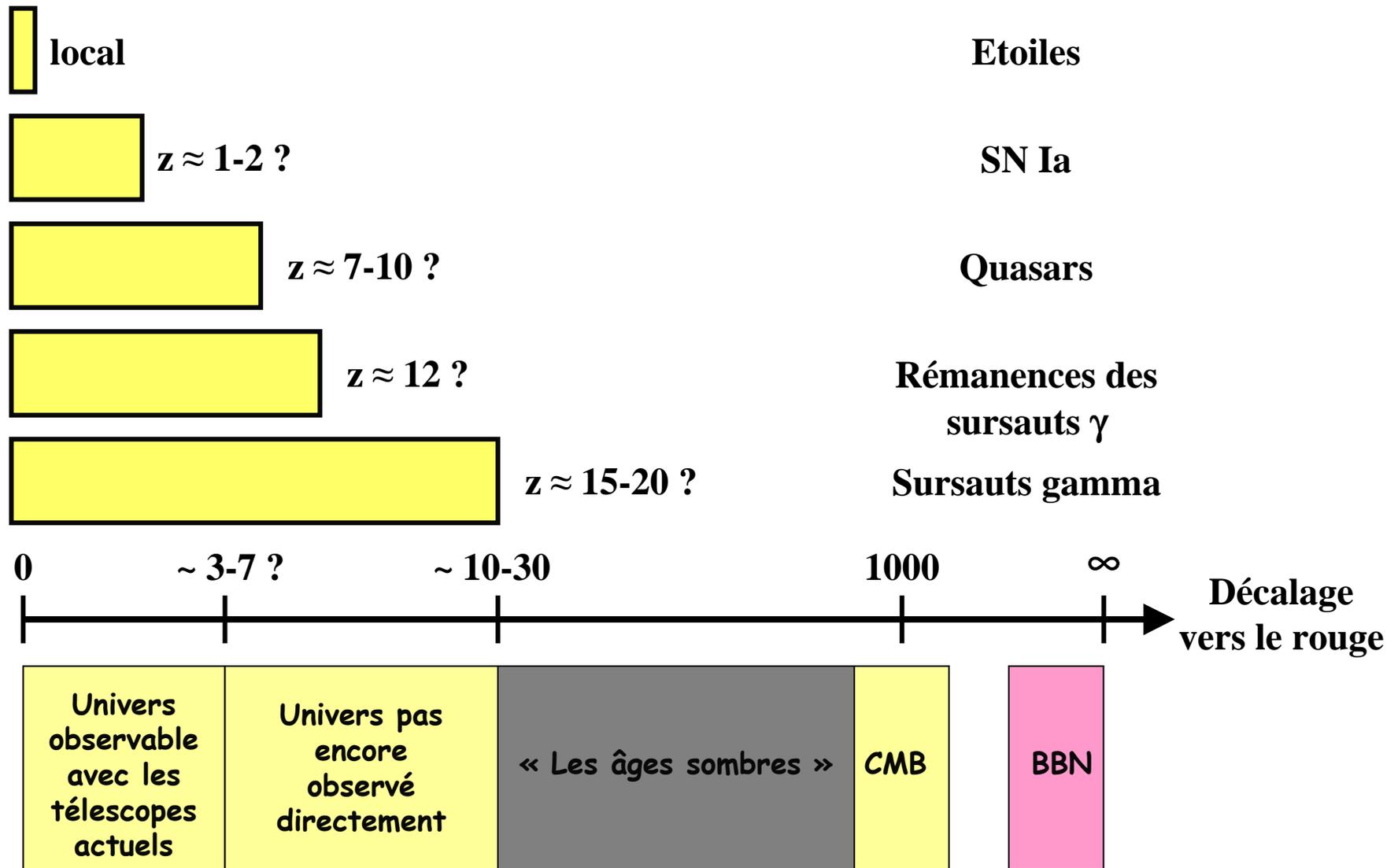
{ GRB080913 $\rightarrow z = 6.7$
GRB090423 $\rightarrow z = 8.3$



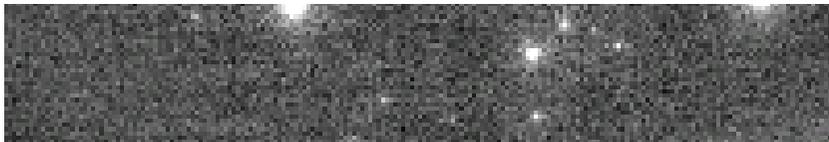
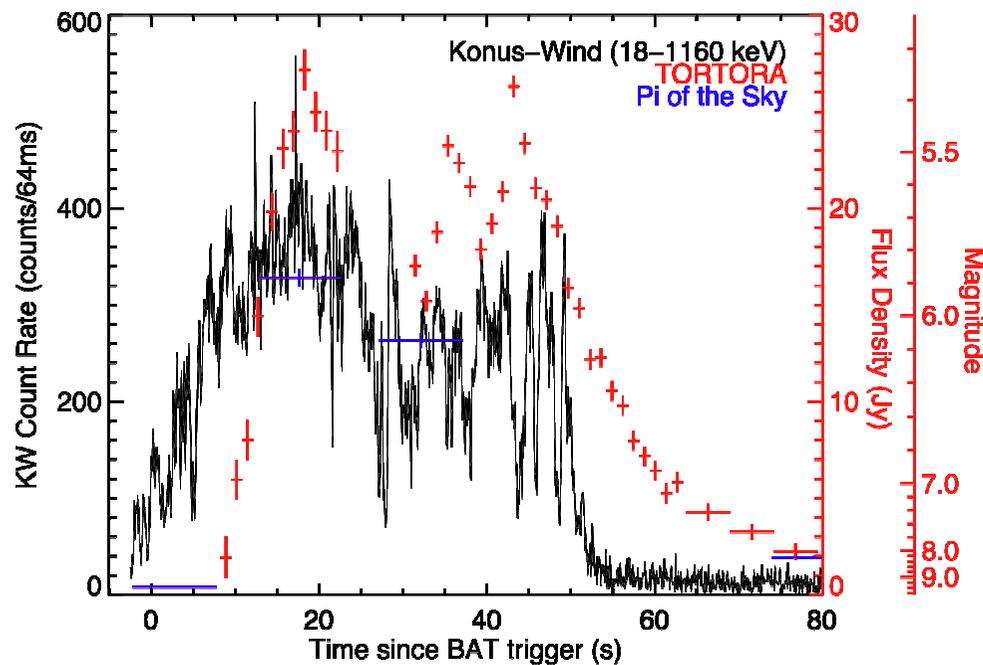
$z=8.3$ correspondant à
2% de l'âge de l'univers
(~13 à 14 Gyr)

Ce sont les sources
astrophysiques les
plus lointaines
qu'on ait observé

Les sursauts : un outil pour la cosmologie ?



SWIFT: GRB sont TRES TRES brilliants!



II of the Sky

● 03/19/08 à 06:12:49
Swift/BAT détecte un GRB
(GRB 080319b)

● Observations simultanées
par plusieurs télescopes:

$$\text{Mag}_{\text{Peak}} = 5.8$$

● T + 1h: VLT mesure le
redshift

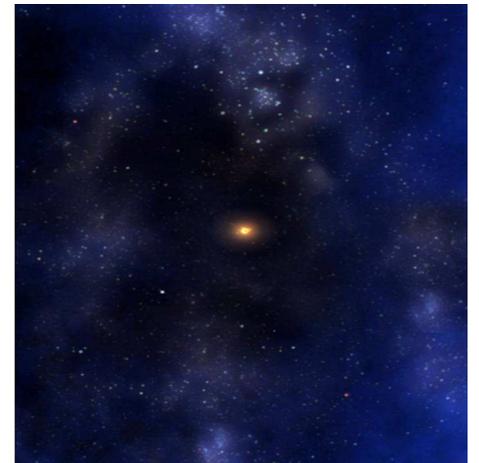
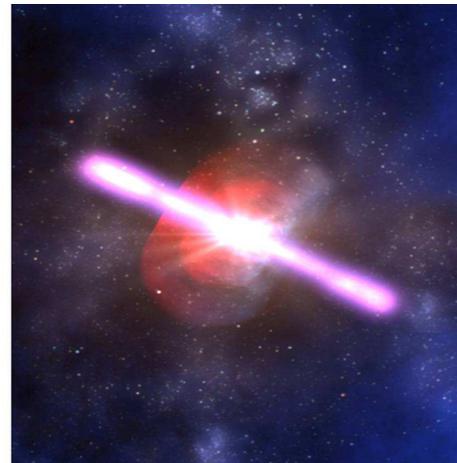
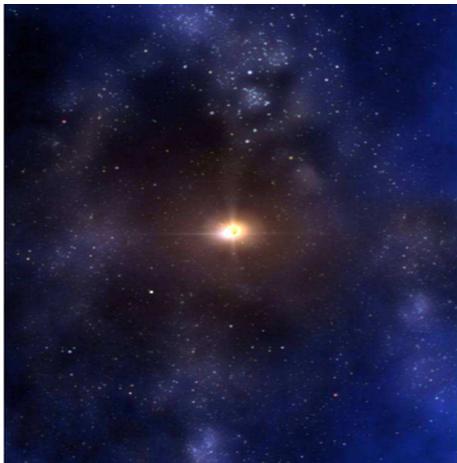
$$z = 0.937$$

(7.5 Milliards d'années)

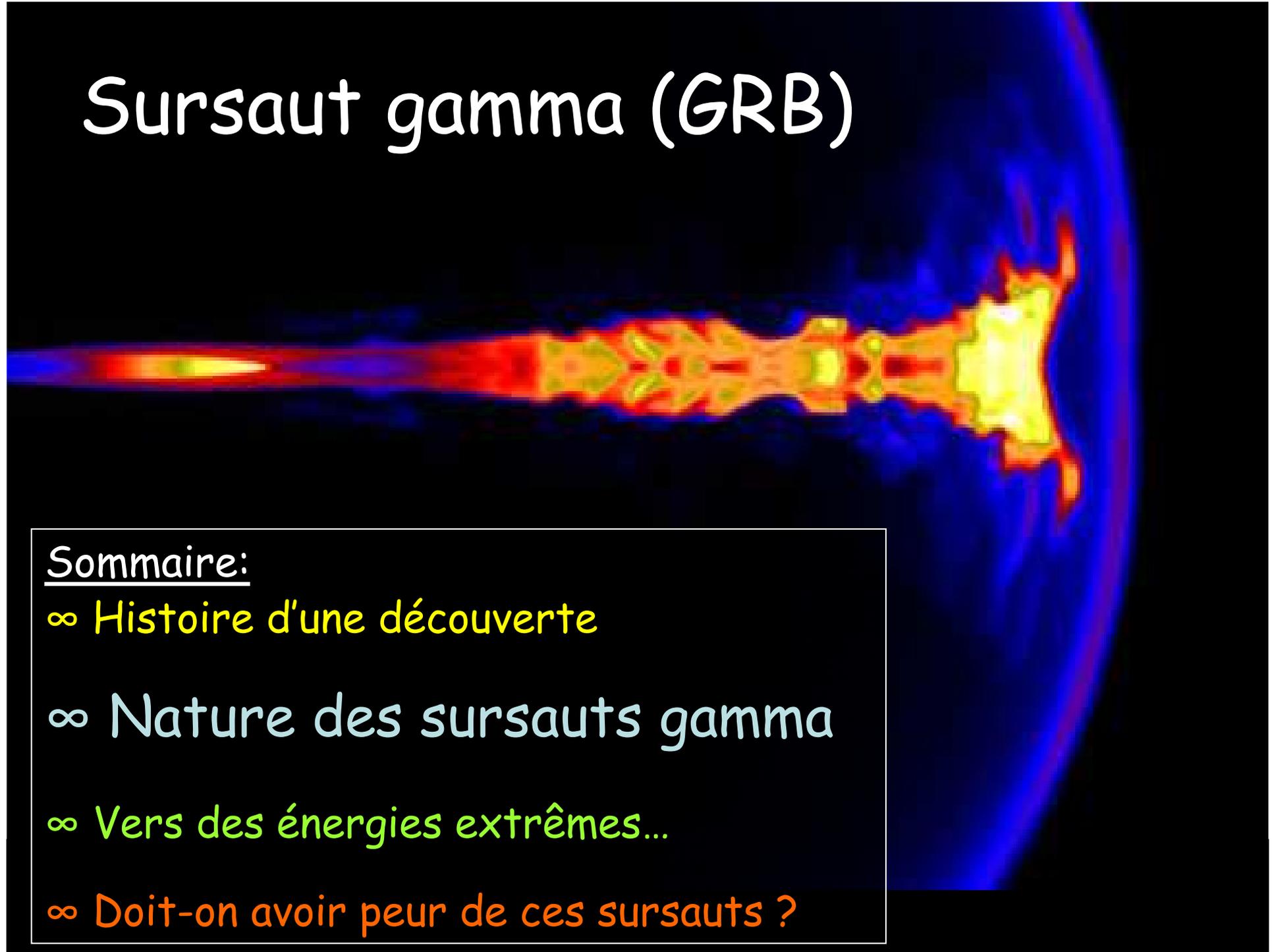
L'énergie émise par ces sursauts est considérable, environ
1000 l'énergie produite par le soleil pendant toute sa vie.

Bilan des observations

- GRB sont les phénomènes les plus puissants de l'Univers! soit au moins 100 fois plus que les super novae
- GRB sont fréquents: 1-2 événements/jour dans le ciel (~1 par galaxie tous les millions d'années).
- GRB sont un phénomène “one-shot”.
- GRB émettent sur plusieurs décades en énergie: des rayons gamma au visible et en radio.



Sursaut gamma (GRB)



Sommaire:

- ∞ Histoire d'une découverte
- ∞ Nature des sursauts gamma
- ∞ Vers des énergies extrêmes...
- ∞ Doit-on avoir peur de ces sursauts ?

Un soupçon de théorie...

Les sursauts gamma sont les événements les plus violents de l'Univers depuis le Big Bang, ce sont des "flash" de rayonnements gamma qui durent un très court instant et sont produits dans des galaxies distantes.

Construire un modèle

Entrées:

- Redshift: **0.008 → 6.3**
- Bilan énergétique: **$10^{44} - 10^{47}$ Joules** (isotropique)
- Echelle de temps: **ms → qq 100 s**
- Spectre: **émission multi-longueur d'onde: keV – GeV**
- GRB longs: **association avec des étoiles massives (SN Ic)**

Echelle de temps très courte → objet compacte (NS, stellar mass BH)

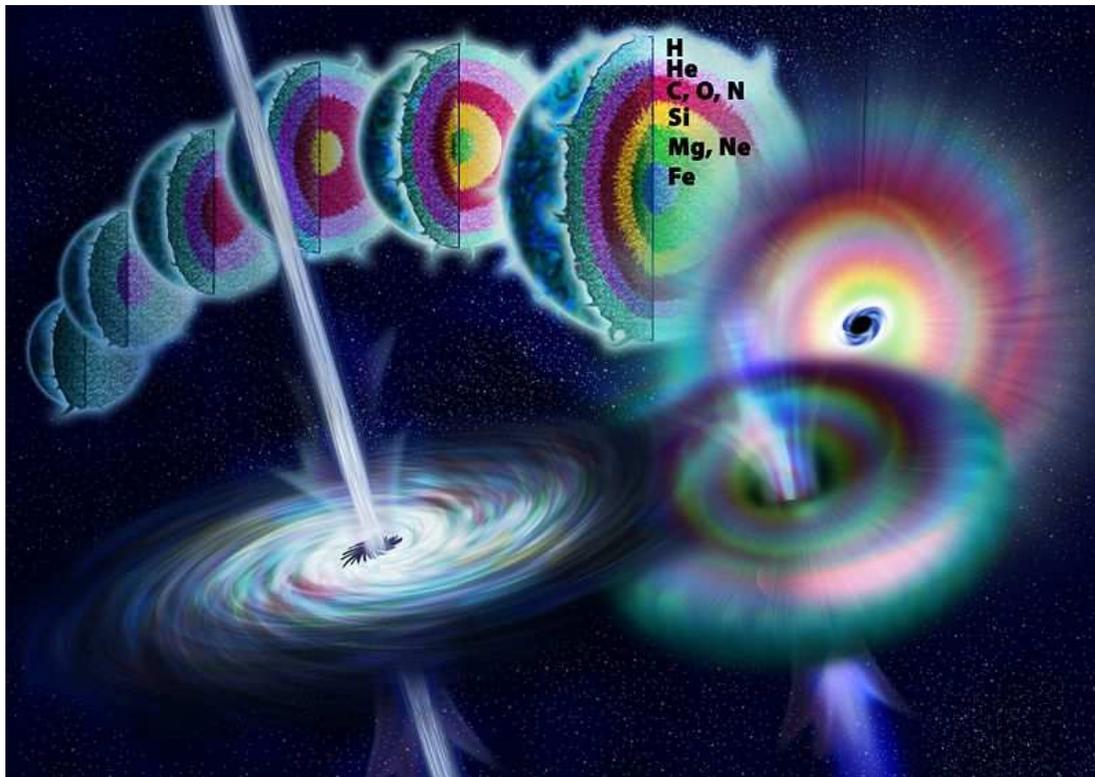
Bilan énergétique énorme → événement violent avec une grande quantité d'énergie dissipée (coalescence, collapse)

Un soupçon de théorie...

Les origines

Encore pas très claires: 2 candidats:

- Collapsé d'une étoile très massive
- Merger de 2 étoiles à neutron et/ou de trous noir



Origines possibles:

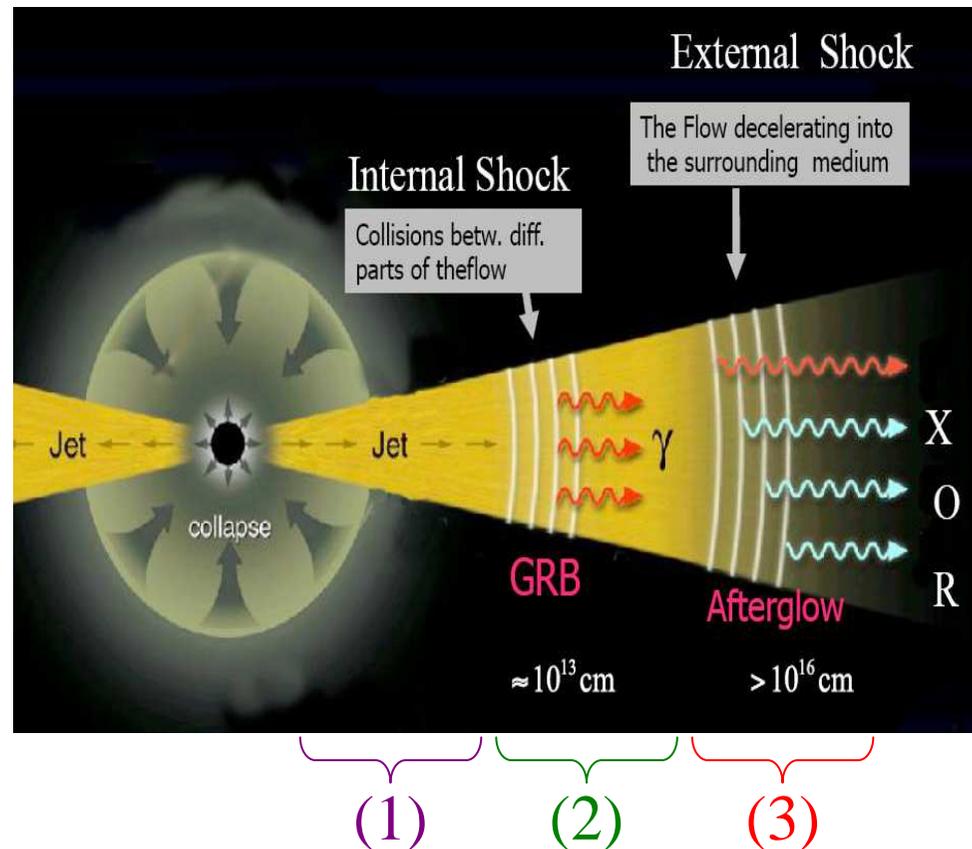


Un soupçon de théorie...

Les mécanismes de l'émission prompt et de la rémanence
(modèle de « la boule de feu » - 1997)

Voici les grandes lignes:

- 1) Accélération des particules chargées (électron, proton...) dans les jets
- 2) Interaction de ces particules
⇒ Sursaut gamma
- 3) Interaction de ces particules avec le milieu environnant (effet du chasse-neige)
⇒ Rémanence



Sursaut gamma (GRB)

Sommaire:

- ∞ Histoire d'une découverte
- ∞ Nature des sursauts gamma
- ∞ Vers des énergies extrêmes...
- ∞ Doit-on avoir peur de ces sursauts ?



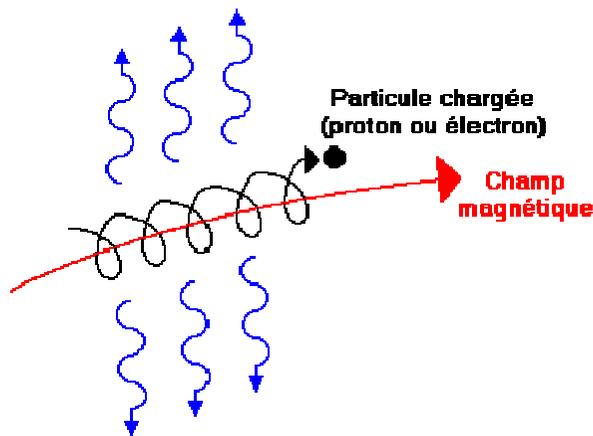
Accélérateur cosmique

Un réservoir d'énergie extraordinaire: 10^{44} - 10^{47} Joules

Accélération des particules chargées (électron, proton, noyaux) par interaction avec les champs électromagnétiques

$$\mathcal{E}_B \approx \mathcal{E}_{RC} \approx \mathcal{E}_{opt} \approx 1eV / cm^3$$

Rayonnement synchrotron

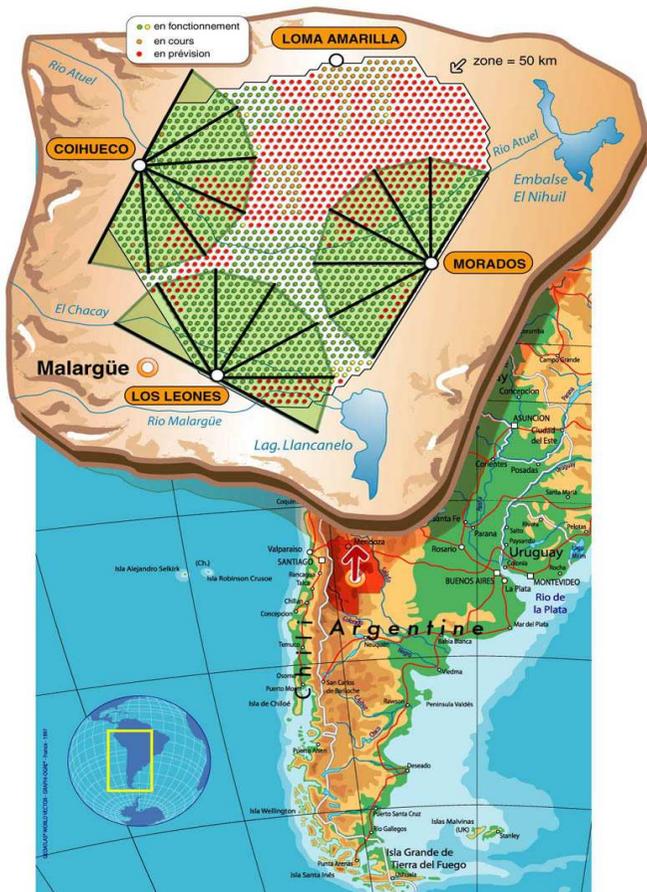


Mais perte d'énergie par interaction avec le milieu ambiant:

⇒ Production des photons gamma du sursauts

Enigme des rayons cosmiques d'ultra haute énergie ?

Depuis une trentaine d'années, des particules d'une énergie extrême sont régulièrement détectées par des observatoires géants



Auger et Hires ont mesuré des RC avec une énergie de $3 \cdot 10^{20}$ eV

300 000 000 000 000 000 000 eV

C'est une énergie folle !!!!

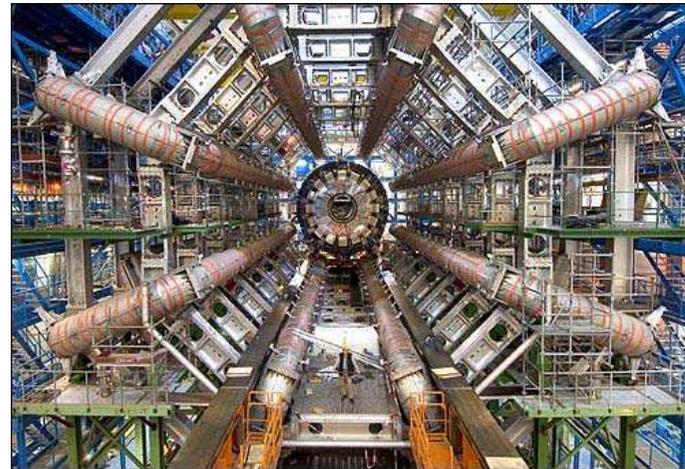
10^{20} eV, c'est: 100 000 000 000 000 000 000 eV

... plusieurs joules – énergie macroscopique

... l'énergie d'une balle de tennis à 100 km/h

... l'énergie pour élever d'un 1° la température de 1 g d'eau

Sur Terre, le LHC



Collision p-p avec une énergie de 14 TeV dans le centre de masse (~ 1 PeV par collision)

Sursaut gamma (GRB)

Sommaire:

- ∞ Histoire d'une découverte
- ∞ Nature des sursauts gamma
- ∞ Vers des énergies extrêmes...
- ∞ Doit-on avoir peur de ces sursauts ?



Un sursaut dans notre galaxie...

La violence du processus soulève la question: que se passe-t-il si un sursaut gamma explose dans notre galaxie?



Astrophysicien:

Seul les sursauts dont un des jets est pointé vers la Terre est potentiellement dangereux.

Astro-biologiste:

Ce qui est potentiellement dangereux dans un GRB est le flash UV + les rayons gamma

Peu ou pas d'effet à court terme

⇒ Mais effet à long terme

Effet d'un GRB galactique sur la Terre

1) Ionisation et dissociation de N_2 et O_2

2) Création d'un gaz de NO_2 (gaz brunâtre)

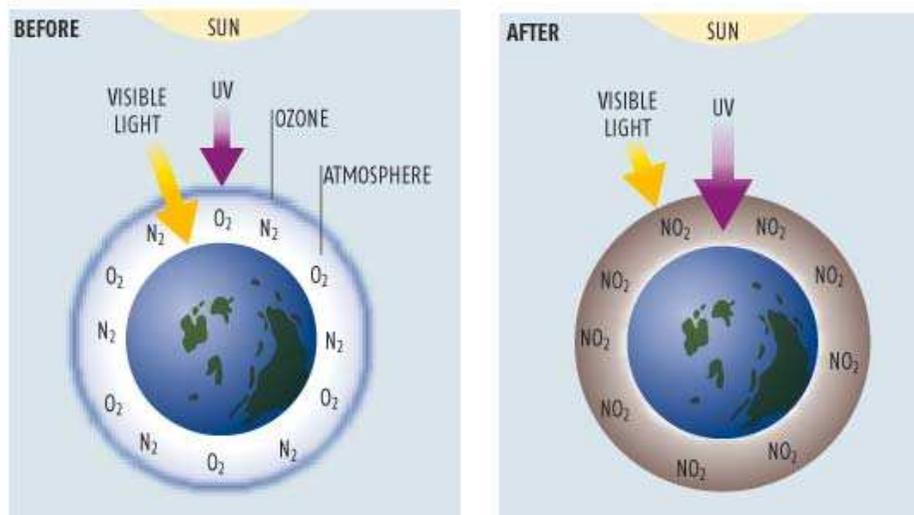
➔ Attaque la couche ozone (O_3)

➔ Augmentation du rayonnement UVB sur Terre

➔ Détérioration de l'ADN de micro-organisme simple (phytoplancton)

➔ Augmentation de l'opacité de l'atmosphère

➔ Changement climatique ?



3) Pluie d'acide nitrique

➔ Retour à la normale de l'atmosphère au bout de quelques années

Un sursaut dans notre galaxie...

Mais çà n'arrive pas très souvent...

... en moyenne une à quelque fois tous les milliard d'années

Regardons dans le passé...

Au moins une grande extinction de masse présente des caractéristiques compatible avec les effets d'un GRB proche.

➔ Extinction de l'Ordovicien - Silurien, (450 millions d'années)

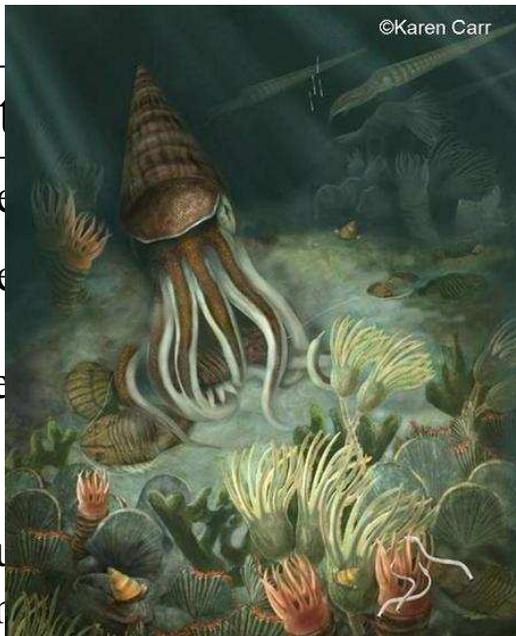
Effet

Extinction de

Extinction de

Pluie d'acide

Réduction du
(refroidissement)



profonde

extinction

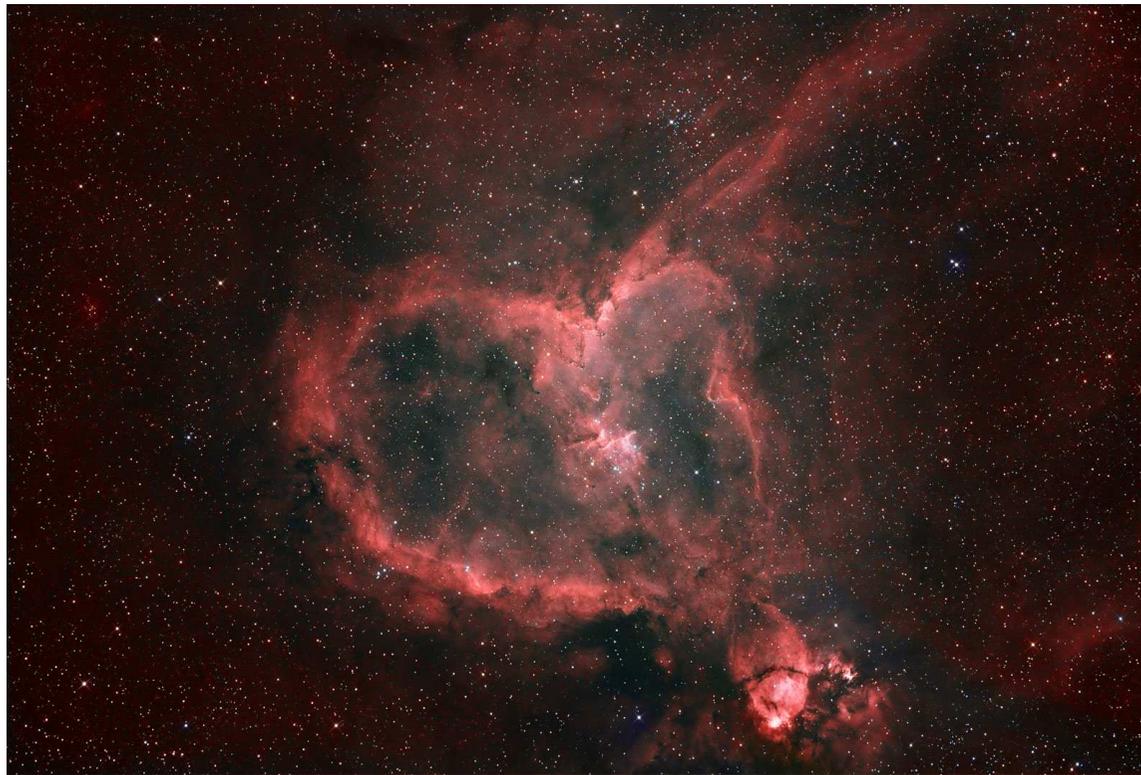


ère,
es

Perspectives

L'étude des sursauts gamma est au cœur de la physique moderne (astronomie, physique des particules, biologie...)

Depuis 2000, de nombreuses découvertes ont été faites...
... Mais de très grandes surprises nous attendent





« Mystères au cœur de l'Univers et de la matière »

24 janvier - **Une anatomie de l'Univers : du clair à l'obscur**

Alain Mazure, LAM/OAMP

14 février - **L'infiniment petit dans l'infiniment grand**

Charling Tao, CPPM

14 mars - **A la découverte des galaxies**

Alessandro Boselli, LAM/OAMP

4 avril - **Arpenter l'Univers**

Jean-Pierre Sivan, LAM/OAMP

16 mai - **Soleils éclatés, le destin ultime des étoiles**

Stéphane Basa, LAM/OAMP

13 juin - **Les monstres de l'Univers**

Damien Dornic, CPPM

19 septembre - **Matière noire et énergie noire : les inconnues d'un Univers invisible**

Dominique Fouchez, CPPM

17 octobre - **La vie intime des objets célestes**

José Busto, CPPM

14 novembre - **Les exoplanètes ou la révolution planétaire**

Magali Deleuil, LAM/OAMP

12 décembre - **Des nouvelles du LHC**

Fabrice Hubaut, CPPM