

14^{ème} Festival d'Astronomie de Fleurance
8-14 août 2004

Mercredi 11 août : observer l'Univers

Le mystère des sursauts gamma par Frédéric Daigne

Plan et résumé :

I. Histoire de la découverte des sursauts gamma

1. La découverte

Nous verrons comment tout a commencé par un traité international pour l'interdiction des essais atomiques dans l'atmosphère. Pour surveiller le respect de ce traité, les américains ont lancé la série de satellites militaires *VELA*. A leur bord, des détecteurs gamma...

Ces satellites détectent des explosions. Cependant elles ne viennent pas du sol mais du ciel ! Interrogations au Pentagone...

Finalement, après une longue réflexion vient l'annonce officielle (un article dans l'*Astrophysical Journal* en 1973) : un nouveau phénomène naturel vient d'être découvert : les sursauts gamma.

Qu'est ce qu'un sursaut gamma ? définition, exemple, principales propriétés observées.

2. Premières explorations

Dans les années qui suivent, les missions spatiales se succèdent et les observations s'accumulent. Pourtant, les sursauts gamma résistent extrêmement bien à toute tentative d'interprétation : on n'arrive même pas à répondre à cette question : à quelle distance se produisent les sursauts gamma ?

3. Premier mystère résolu : BATSE et Beppo-SAX

C'est finalement à la fin des années 90 que sera résolu ce premier mystère, dans un premier temps grâce à l'expérience *BATSE* à bord de l'observatoire spatial Compton-GRO. Cette expérience en neuf ans a observé presque 3000 sursauts. Elle a permis de très bien connaître leur distribution dans le ciel. Plus tard le satellite *Beppo-SAX* a permis la découverte des rémanences des sursauts en 1997, c'est-à-dire une lumière résiduelle observée après le sursaut dans d'autres domaines spectraux plus classiques (rayons X, lumière visible, ondes radio). L'analyse fine du spectre de ces rémanences conduit à une certitude : les sursauts gamma se produisent à des distances gigantesques, de l'ordre du milliard d'années lumière !

Dans la partie suivante, nous allons voir comment les astrophysiciens sont parvenus à cette conclusion.

II. Premier mystère : la distance des sursauts gamma (30 ans de quête)

1. La distance est une donnée de base pour espérer comprendre le phénomène.

En particulier, la distance est directement reliée à la question de l'énergétique : plus le sursaut a lieu loin, plus il doit être intrinsèquement brillant pour expliquer le flux observé. Au début de l'étude des sursauts, constatant qu'ils étaient très brillants, les astrophysiciens ont préféré faire l'hypothèse raisonnable qu'ils étaient proches pour ne pas en faire des phénomènes exceptionnels... Mais progressivement, des faits se sont accumulés qui ont conduit à les repousser de plus en plus loin.

2. De la difficulté de mesurer une direction d'arrivée avec les détecteurs gamma.

Nous verrons dans cette partie pourquoi il a fallu trente ans pour répondre à cette question : mesurer une distance en astronomie n'est jamais simple ! Les méthodes de détection de la lumière aux différentes longueurs d'onde auront été présentées dans le cours précédant cette conférence. Nous rappellerons ici ce qui concerne le domaine des rayons gamma. Nous montrerons les trois principales méthodes utilisées dans ce domaine pour mesurer une direction d'arrivée et essayerons d'évaluer leur précision :

- Méthode 1 : comparaison de l'intensité entre plusieurs détecteurs (méthode utilisée par *BATSE*).
- Méthode 2 : comparaison du temps d'arrivée des photons entre plusieurs détecteurs (méthode dite de triangulation, utilisée par exemple par le réseau de satellite *IPN*)
- Méthode 3 : emploi d'un masque codé (méthode utilisée par les satellites *HETE-2* et *INTEGRAL*)

En résumé, avant l'arrivée des masques codés, on pouvait :

- obtenir une précision de quelques degrés dans un délai très court. Mais dans une région aussi grande du ciel, il y a un nombre très important de candidats pour être la source des sursauts : pas d'identification possible.
- obtenir une précision meilleure que la minute d'arc mais après plusieurs jours ou semaines. Aussi longtemps après la fin du sursaut, les astronomes ne trouvaient rien à son emplacement précis.

3. Distribution sur le ciel des sursauts.

Un premier progrès est venu lorsqu'on a commencé à bien connaître la carte des sursauts dans le ciel (avec *BATSE*). En comparant cette carte avec la distribution d'autres objets connus (des plus proches aux plus lointains : étoiles proches, nébuleuses planétaires, étoiles à neutrons, amas globulaires, galaxies proches, radio-galaxies), nous verrons que cette distribution donne presque la solution définitive au mystère de l'échelle de distance.

Nous verrons qu'un complément d'information est donné lorsque l'on compare le nombre de sursauts brillants au nombre de sursauts faibles.

Intermède anecdotique avant la solution définitive du mystère : le grand débat sur l'échelle de distance entre D. Lamb et B. Paczynski arbitré par M. Rees...

4. La solution du mystère en 1997 : les sursauts sont cosmologiques !

Nous rappellerons brièvement ce qu'est le décalage cosmologique vers le rouge de la lumière. Nous montrerons comment la mesure de ce décalage dans la lumière visible des rémanences des sursauts a permis de mesurer précisément la distance des sursauts.

III. Le mystère demeure : l'origine des sursauts gamma ?

Nous chercherons à illustrer dans cette partie comment les astrophysiciens essaient de comprendre les mécanismes physiques à l'origine des sursauts.

1. La taille de la source – le réservoir d'énergie :

Les courbes de lumière des sursauts sont très variables. L'échelle de temps de cette variabilité nous renseigne sur la taille de la source. L'argument classique consiste à dire que la source a une taille au plus égale à l'échelle de temps observée multipliée par la vitesse de la lumière. Nous montrerons que ceci se complique un peu lorsque la source est elle-même en mouvement à une vitesse proche de celle de la lumière...

Nous verrons finalement que la source doit être très compacte et pouvoir libérer beaucoup d'énergie : très peu de possibilités existent. Nous décrirons les deux grandes familles de modèles : (1) coalescence d'un système binaire de deux objets compacts de masse stellaire (deux étoiles à neutrons ou une étoile à neutrons et un trou noir) ; (2) l'effondrement en trou noir d'une étoile très massive.

2. Le cas des sursauts longs :

Nous décrirons des observations récentes qui dans le cas des sursauts longs montrent que l'effondrement d'une étoile très massive est le scénario le plus probable.

3. Scénario théorique actuel :

Nous finirons cette partie en décrivant brièvement le scénario théorique actuel utilisé pour interpréter les sursauts gamma. Ce scénario est en trois étapes : (1) formation d'un trou noir entouré d'un disque (par exemple à la suite de l'effondrement d'une étoile massive) ; (2) éjection de matière relativiste et production du sursaut gamma proprement dit ; (3) freinage de l'éjecta relativiste par le milieu ambiant et production de la lumière rémanente.

IV. Conclusion : ce que les sursauts gamma peuvent nous apprendre sur l'Univers

Nous savons désormais que les sursauts gamma sont des phénomènes exceptionnellement lumineux que l'on peut détecter même à très grande distance. Nous verrons alors comment on peut les utiliser pour sonder l'Univers jusqu'à l'époque de la formation des toutes premières étoiles...

Pour se documenter avant d'assister à cette conférence, on pourra :

- Aller voir le site de la NASA sur l'histoire des missions spatiales dans le domaine des hautes énergies : <http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/heasarc/missions/> (en anglais !) Aller voir en particulier les pages consacrées aux satellites *VELA* et au satellite Compton-GRO, expérience *BATSE*.
- Aller voir le site de l'ESA sur *INTEGRAL*, l'observatoire spatial gamma européen qui est actuellement en orbite : <http://isdc.unige.ch/index.cgi?Outreach+français> (en français !). On peut en particulier cliquer sur **Science**, puis sur **Glossaire**. De nombreux termes importants sont définis.