

Les sursauts gamma cosmiques

Alors que les rayonnements émis entre l'infrarouge et les rayons X, résultent en général de processus thermiques, les rayons gamma sont produits par d'autres mécanismes, complexes, comme par exemple l'annihilation matière/antimatière, les collisions de particules, etc...

L'astronomie classique utilise des télescopes à miroirs en verre pour l'observation dans le domaine allant des ultraviolets aux infrarouges. Mais, en astronomie gamma, il est impossible d'utiliser techniquement ces miroirs. En effet, par suite de sa longueur d'onde très inférieure aux distances qui séparent les atomes d'un miroir, le rayonnement gamma traverserait le verre des miroirs des télescopes classiques.

Il a donc fallu mettre au point de télescopes très particuliers, spécialement adaptés à l'observation des rayons gamma.

De plus, ce rayonnement interagit avec la haute atmosphère terrestre. Cela signifie qu'il entre en collision avec les molécules atmosphériques et ne parvient pas jusqu'au sol.

Les observatoires gamma doivent donc être spatiaux. Mais ces derniers sont alors exposés à un flux intense de particules cosmiques qui produisent au sein des détecteurs des parasites limitant les observations. L'astronomie gamma exige donc de très longs temps de pose, d'autant plus qu'en d'épité d'une puissance de rayonnement élevé, les sources gamma émettent peu de photon.

Ces sévères contraintes expliquent l'essor tardif de l'astronomie gamma ; les premiers résultats n'ont été obtenus qu'en 1968 et l'exploration gamma approfondie du ciel n'a réellement débuter qu'en 1990 avec les missions franco-russe Granat et le satellite américain Compton.

La découverte et l'origine du rayonnement Gamma cosmologique

Les sursauts gamma cosmiques ont été détectés en 1967 et découvert au début des années 70 par les satellites américains de la série VELA 5, qui cherchait à détecter l'explosion de bombes thermonucléaires sur Terre.

Rapidement, grâce à la méthode de triangulation à plusieurs satellites, qui permet de remonter à la direction incidente par mesure des temps d'arrivées, on s'est aperçu qu'il s'agissait de phénomènes situés au delà du système solaire.

Il s'agit de bouffées de rayons gamma, d'énergie allant de quelques keV à plusieurs dizaines de GeV qui durent de quelques fractions de seconde à plusieurs minutes. Leur répartition est uniforme sur le ciel, mais il y a un déficit de sources faibles. Ces deux faits, pris ensemble, font penser à une distribution de source à des distances de plusieurs millions ou milliards d'années lumières, dites cosmologiques, quoiqu'une répartition dans une couronne étendue de la galaxie ne puisse être exclue.

Les sursauts gamma sont les événements les plus énergétiques de l'univers connu, en dehors du Big Bang lui-même : de brèves impulsions de rayonnement gamma à très haute énergie, d'une durée comprise entre 10 millisecondes et une dizaine de secondes, suivies d'une queue de rayonnement dans toutes les fréquences du spectre (afterglow) qui peut durer plusieurs

semaines. Les spectres mesurés montrent clairement une origine non-thermique du phénomène.

Récemment, SAX a détecté des contreparties en rayons X de ces sources, qui durent plusieurs jours, ce qui a permis de trouver des contreparties optiques. L'une de celle-ci, GRB 970508, a pu être observée par le télescope de Keck, en spectroscopie, et on a trouvé des raies caractéristiques d'un décalage vers le rouge d'au moins 0,8, signature sans ambiguïté d'une origine cosmologique.

On ne comprends pas bien l'origine de ces sources : s'agit il de la fin de la vie d'un système de deux étoiles à neutrons, tournant l'une autour de l'autre et se rapprochant inexorablement? S'agit il de l'explosion fantastique d'une étoile très massive, que l'on a appelée hypernova ?

Il ne s'agit ici que d'hypothèses et il faut reconnaître, que 30 ans après leur découverte, les sursauts gamma restent l'un des mystères les plus intenses de l'astrophysique. Quoi qu'il en soit, ils pourraient bien figurer parmi les sources les plus distantes, donc les plus jeunes, détectées.

Deux types de sursauts gamma :

- des sursauts très brefs - moins de 2 secondes - émettant des rayonnements très durs
- des sursauts plus longs mais émettant des rayonnements de fréquence plus faible

Le contrecoup (afterglow) de ces sursauts gamma est parfois visible depuis les observatoires au sol sous forme d'un éclat très lumineux semblable à celui d'une supernova.

Coalescence d'astres compacts

Une des premières hypothèses émises implique une paire d'étoiles à neutrons ou une étoile à neutrons et un trou noir formant un système binaire. Ces deux astres perdent de leur énergie par émission d'ondes gravitationnelles et finissent par "tomber" l'un sur l'autre.

Au moment de la rencontre - appelée **coalescence** - une onde de choc se propage à une vitesse proche de celle de la lumière dans le milieu environnant. Suite à cette coalescence, un trou noir se forme, animé d'une vitesse de rotation très élevée. Si un champ magnétique intense se développe dans le disque d'accrétion environnant, les particules présentes vont émettre un rayonnement synchrotron qui va apparaître, comme le sursaut gamma.

Dans un tel cas, le rayonnement est plus ou moins isotrope : il part dans toutes les directions de l'espace, et les calculs montrent que l'énergie mise en jeu doit être de l'ordre de 10^{53} ergs. Ceci correspond à l'énergie rayonnée par 1000 étoiles de type Soleil durant leur vie entière. Des simulations numériques montrent qu'un tel mécanisme peut rendre compte du premier type de sursaut gamma, les plus courts.

Le modèle des collapsars

Dans un certain nombre de cas, les sursauts gamma ont pu être mis en corrélation avec l'explosion visible de supernovae particulièrement violentes, appelées hypernovae.

Ces hypernovae seraient le résultat de l'effondrement cataclysmique d'étoiles de type Wolf-Rayet, très chaudes et très massives - au minimum de 25 masses solaires.

Le Dr Stan Woosley de l'Université de Californie a ainsi proposé le modèle du "collapsar" : à la fin de sa vie, le coeur de l'étoile va s'effondrer comme une supernova, mais les couches périphériques de l'étoile ne vont pas être affectées, vu la grande taille de cette étoile.

Le coeur effondré se transforme immédiatement en trou noir et s'entoure d'un disque d'accrétion à l'intérieur même de l'étoile.

En simplifiant, on peut dire que le disque d'accrétion en rotation va produire un intense champ magnétique et provoquer ainsi un double jet de matière à une vitesse proche de celle de la lumière. Ce jet, et l'onde de choc qui l'accompagne, vont provoquer une émission de rayons gamma dans leur axe.

Lorsque cette onde de choc émerge de la surface de l'étoile, sa collision avec les gaz environnant l'étoile va produire l' "afterglow" typique des rayonnement gamma dans les domaines des rayons X, puis de la lumière visible et enfin des ondes radio, au fur et à mesure de son affaiblissement.

Dans ce scénario, la provenance des rayons gamma n'est pas établie avec certitude : en particulier sont ils formés à l'intérieur de l'enveloppe de l'étoile ou à l'extérieur ?

Ce jet de matière et cette onde de choc se propagent dans l'axe des pôles du trou noir, qui correspond à l'axe de rotation de l'étoile. Le rayonnement gamma devient alors visible si l'observateur se situe dans cet axe.

Ce fait a deux conséquences importantes :

- on observe moins de sursauts gamma que ce que l'on pourrait penser, puisqu'il faut se trouver dans le bon alignement,
- l'énergie totale dégagée est moins importante que dans le cas où le rayonnement part dans toutes les directions. Une hypernova dégage tout de même une énergie de l'ordre de 10⁵¹ ergs, du même ordre de grandeur qu'une supernova.

Distance des sursauts gamma

La corrélation des observations depuis des détecteurs gamma embarqués sur des satellites et les observations au sol a montré que ces sursauts gamma apparaissent dans des galaxies très lointaines, donc lorsque celles-ci étaient jeunes.

Dans le scénario de la coalescence d'astres compacts, les calculs montrent que ces phénomènes sont beaucoup plus fréquents dans des galaxies jeunes.

De la même manière, les hypernovae apparaissent toujours dans des galaxies lointaines. C'est parce qu'il faut des étoiles très massives pour les produire. On pense que la première génération d'étoiles, au début de l'univers, a pu produire des étoiles supergéantes allant jusqu'à 200 masses solaires ou plus, beaucoup plus susceptibles de terminer en collapsar que les étoiles de la génération actuelle qui dépassent rarement 25 masses solaires.

De toute manière, il est souhaitable que ce genre de phénomène se produise loin de nous. Si une hypernova venait à exploser dans notre galaxie, et que la Terre se trouve dans l'axe du faisceau de radiations, le flux de rayons X et gamma détruirait la couche d'ozone de haute altitude, supprimant ainsi le bouclier qui nous protège des flux de particules en provenance du Soleil. La vie sur Terre serait alors bien compromise.

Heureusement, on ne connaît que 3 étoiles dans la galaxie susceptibles de finir en hypernova d'ici moins d'un million d'années, dont la plus proche est Eta Carina, à 8000 années lumière. Mais on sait qu'en cas d'explosion de cette étoile, la Terre ne serait pas dans le faisceau de rayons gamma.