

→ 7. Quel est le "plus" de ce satellite capable d'écouter le chant des étoiles ?

Ce satellite de quatre tonnes est le plus performant des observatoires de rayons gamma jamais construits. Placé sur une orbite elliptique entre 9 000 et 153 000 kilomètres au-dessus de la Terre, il est composé d'une plateforme et de quatre charges utiles complémentaires qui "écoutent" de façon synchrone la même partie du ciel : l'imageur et le spectromètre, complétés par deux instruments de surveillance, le X-Ray Monitor et l'Optical Monitoring Camera. L'imageur, grâce à sa grande résolution angulaire, permet de situer avec précision les sources de rayonnement gamma. Le spectromètre SPI, constitué de détecteurs en germanium* refroidis grâce à des machines cryogéniques, balaie, quant à lui, la voûte céleste en offrant une grande résolution spectroscopique qui permet d'identifier et de quantifier les constituants des sources observées. **Grâce à cet outil performant les astrophysiciens sont en mesure de franchir une nouvelle étape dans l'étude de phénomènes violents encore insoupçonnés il y a peu.** De mieux prêter l'oreille à la musique stridente de l'Univers.

* Le germanium est un matériau semiconducteur qui a la propriété, s'il est refroidi et soumis à une haute tension, de générer un courant proportionnel à l'énergie déposée par le photon gamma auquel il est exposé.



© CNES - Emmanuel Grimaud, 2000

© CNES - Illustration D. Ducros, 2002

INTEGRAL

en sept questions

Vie et mort des étoiles

Les étoiles naissent, vivent et meurent. Constituées en grande partie d'hydrogène et d'hélium, elles sont le siège de réactions thermonucléaires qui dépendent de leur masse et de leur température. Plus une étoile est massive, plus elle brûle de carburant et plus rapide sera son déclin.

A

Scénario 1 : Étoiles dont la masse est inférieure à 1,5 fois celle du Soleil

Lorsque l'hydrogène est épuisé au centre de l'étoile, son cœur, à court de carburant, se contracte et son enveloppe supérieure se dilate. Son rayon peut atteindre 200 millions de kilomètres, soit près de 300 fois celui du Soleil. L'étoile devient alors une **géante rouge**^A qui achève peu à peu la combustion de l'hydrogène et de l'hélium formant son enveloppe externe. A la fin de ce processus, l'étoile se débarrasse de cette enveloppe externe, qui forme une **nébuleuse planétaire**^B, et laisse un cœur inerte de carbone et d'oxygène, la **naine blanche**. Celle-ci est très chaude (10 000 °C) et dense (un centimètre cube de cette matière pèserait une tonne). L'astre se refroidit alors inexorablement. Jusqu'à devenir, après plusieurs milliards d'années, un gros cristal plus dur que le diamant : la **naine noire**. Le Soleil est promis à une telle destinée d'ici

B

Scénario 2 : Étoiles dont la masse est supérieure à 1,5 fois celle du Soleil

Reprenons notre voyage lorsque tout l'hélium du cœur de l'étoile a été transformé en carbone et en oxygène. Les réactions nucléaires peuvent se poursuivre et former d'autres éléments jusqu'au fer, très stable qui ne peut se transformer en aucun autre élément. A ce stade, l'étoile entre dans une phase explosive de quelques secondes : la **supernova**^C. Les couches supérieures sont éjectées, le cœur s'effondre et il ne reste au centre qu'un astre très dense (un centimètre cube de cette matière pèserait 100 millions de tonnes), tournant très rapidement sur lui-même (plusieurs tours par seconde), ce qui lui vaut son nom d' "**étoile à neutrons**"^D ou "pulsar". Le diamètre de cette bille dure et lisse ne dépasse pas 20 kilomètres pour une masse équivalente à celle du Soleil.

C

D

Lorsque l'étoile est quatre fois plus lourde que le Soleil, rien ne peut arrêter l'effondrement de son cœur après la supernova. La matière se contracte à l'extrême si bien que rien, pas même la lumière, ne peut s'en échapper. Tout comme une pierre lancée en l'air retombe sur le sol, un rayon lumineux émis par un tel "monstre" retombe à sa surface. Cette étoile devient alors invisible : c'est ce qu'on appelle un **trou noir**.



© Ciel et Espace

© Ciel et Espace

© Ciel et Espace

© NASA

TERRES EN SAS (31)

Déchiffrer
l'Univers extrême

© J.C. Cuillandre
CFHT - Ciel et Espace



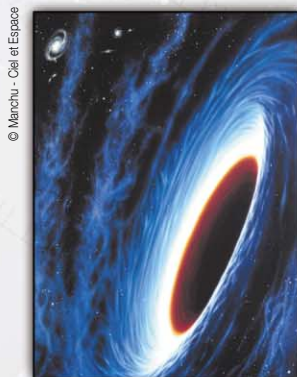
18, av. Edouard-Belin - 31401 Toulouse cedex 9 - www.cnes.fr
Édité par la direction de la Communication externe, de l'Éducation et des Affaires publiques - 2006 -



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

INTEGRAL en sept questions

→ 1. Qu'est-ce que "l'Univers extrême" ?



© Manchu - Ciel et Espace

A force de contempler les étoiles accrochées au ciel, myriade de diamants sur fond de velours sombre, on finirait presque par penser que tout n'est que calme et volupté au sein de l'Univers. Pourtant certains objets célestes viennent semer la discorde au milieu de cette harmonie. **Explosions d'étoiles (supernovae), trous noirs, quasars : ces phénomènes extrêmes par leur violence et l'énergie qu'ils dégagent révèlent une face encore mystérieuse de l'Univers.** Là, pas de soleils brûlant tranquillement leur hydrogène, mais des astres mourants, happant la matière qui les entoure, des éléments radioactifs tout juste nés des explosions de supernovae, des trous noirs géants au centre de galaxies lointaines, des cataclysmes capables d'échauffer la matière jusqu'à une température de 10 milliards de degrés.

→ 2. Les étoiles sont-elles éternelles ?

Comme nous les étoiles naissent, vivent et meurent. Certaines, comme le Soleil, ont une longue vie "paisible" de l'ordre de 10 milliards d'années à la fin de laquelle elles connaissent un "sursaut d'orgueil".

Elles brûlent alors leur hydrogène jusqu'à devenir des géantes rouges, avant de mourir sous la forme de naines blanches. D'autres, beaucoup plus massives que le Soleil, ont une existence plus courte, qui se termine par une explosion violente : ce sont les supernovae. Elles engendrent ensuite des objets étranges aux noms évocateurs : étoiles à neutrons ou trous noirs. **Bref, le train de vie d'une étoile dépend de sa masse : plus elle est grosse, plus elle est gourmande d'énergie... et plus courte sera sa vie.**



© J.C. Cuillandre - CFHT - Ciel et Espace

→ 3. Les étoiles n'émettent-elles que de la lumière visible ?

Le chant des étoiles est composé d'ondes électromagnétiques de fréquences variables : des photons produits par de la matière excitée. Ce rayonnement peut être de type radio, infrarouge, visible, ultraviolet, X ou gamma. En fonction de leur taille et de leur âge les étoiles n'utilisent pas la même gamme, c'est-à-dire la même fréquence. De ce fait la lumière visible d'une étoile que l'on voit briller depuis la Terre ne couvre qu'une petite partie du spectre électromagnétique. **Le rayonnement ultraviolet est en moyenne 10 à 100 fois plus énergétique que la lumière visible. Le rayonnement gamma, qui est la signature de phénomènes très violents comme les supernovae, est quant à lui 100 000 fois plus énergétique que la lumière visible.** Mais l'atmosphère est opaque à ce type de rayonnement, qui ne peut être observé que depuis l'espace.

LE RAYONNEMENT GAMMA DE NOTRE GALAXIE

© CERN

© CNES - Ill. David Ducros, 2002



→ 4. Pourquoi les astrophysiciens écoutent-ils ces gammes extrêmes ?

En observant dans les domaines du visible, de l'infrarouge ou de l'ultraviolet, les astrophysiciens ne disposent que d'un morceau de la partition du chant des étoiles. **Avec le satellite, ils peuvent élargir leur vision de l'Univers aux frontières de l'accessible et écouter ces gammes extrêmes que sont les rayonnements gamma.** Ceux-ci révèlent un Univers très différent de celui que les nuits étoilées livrent à nos yeux. Cet Univers est beaucoup plus agité et la matière, qui se trouve dans des états non reproductibles sur Terre, est le siège de phénomènes tout aussi mal compris.

Quasars, pulsars, trous noirs sont autant de "laboratoires de l'impossible" auxquels les scientifiques peuvent confronter les théories physiques, afin de tenter de répondre aux grandes questions sur l'origine de l'Univers, sa structure, son histoire, son destin et les lois qui le gouvernent. Or ces lois sont aussi celles qui régissent la matière et la vie. En déchiffrant l'infiniment grand, ils nous livrent des clés pour mieux comprendre l'infiniment petit !

→ 5. Le satellite est-il le meilleur moyen pour entendre cette musique stellaire ?

Jusqu'au milieu du XX^e siècle les astronomes qui cherchaient à comprendre l'Univers ne "disposaient" que de la lumière visible provenant de tel astre ou de telle galaxie. **En analysant cette lumière ils ont extrait de précieuses informations sur les propriétés d'objets pourtant très éloignés de nous comme le Soleil, la Lune ou les galaxies.** Mais certaines ondes, presque totalement arrêtées par l'atmosphère, n'atteignent pas le sol et échappent ainsi à toute analyse. C'est le cas d'une partie des infrarouges et des rayonnements X et gamma. **Seul le satellite, véritable observatoire placé en orbite autour de la Terre, permet "d'écouter" ces phénomènes.** Lancé en 1989, le télescope Sigma, précurseur d'Intégral, a ainsi permis d'observer le centre de notre galaxie mais aussi de cartographier le ciel dans la gamme spectrale du rayonnement gamma.

© CNES



→ 6. Qui sont les acteurs de la mission Intégral ?

Lancé en octobre 2002 par un lanceur russe Proton, Intégral (INTErnational Gamma Ray Astrophysics Laboratory), laboratoire d'observation de rayonnements gamma, est attendu avec impatience par la communauté scientifique internationale. La plateforme du satellite est fournie par l'Agence spatiale européenne (Esa) et les instruments sont à la charge des communautés scientifiques sous l'égide des agences nationales. **Intégral est le fruit d'un consortium international qui réunit plusieurs pays européens (Allemagne, Belgique, Espagne, France, Italie, Pologne, Royaume-Uni) et les Etats-Unis.** La maîtrise d'œuvre du spectromètre SPI, l'un des deux principaux instruments, est assurée par le CNES, avec la collaboration de nombreux laboratoires français et étrangers.



© CNES - Emmanuel Groult, 1999