

## Spectroscopie gamma

# L'Astronomie $\gamma$ commence à voir Claire

par Peter von Ballmoos  
Principal investigateur de Claire,  
Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements (CESR), Toulouse

→ Le 15 juin 2000, la première lentille pour l'astronomie gamma a été emportée dans l'espace par un ballon stratosphérique du CNES. Le projet s'appelle Claire et s'inscrit dans le cadre général de la recherche de nouveaux instruments d'observation en astrophysique gamma. Après le succès indéniable de Sigma et la réalisation d'Intégral, le projet de lentille gamma peut représenter une troisième étape, avec un gain en sensibilité, une résolution énergétique et angulaire sans précédent.

C'est la découverte des raies de Fraunhofer dans le spectre du Soleil, au 19<sup>e</sup> siècle, qui a marqué le passage entre l'astronomie et l'astrophysique. Depuis, l'exploration des raies atomiques est devenue l'outil le plus puissant pour l'étude des paramètres physiques des sources célestes. Aujourd'hui, c'est à l'astronomie gamma de faire un pas similaire vers l'astrophysique nucléaire. Alors que les raies optiques sont le reflet des changements de structure dans l'enveloppe électronique des atomes, causés par des collisions à des énergies de l'ordre de  $10^{-3}$  eV, la transition entre les niveaux d'énergie nucléaire implique des énergies de l'ordre du mégaélectronvolt (MeV), égale à l'énergie de liaison des nucléons. Des énergies de collision de cet ordre sont caractéristiques des températures à l'intérieur des étoiles, des conditions dans les disques d'accrétion qui ceinturent parfois les étoiles de neutrons ou les trous noirs, ou encore dans des particules accélérées par des champs magnétiques lors de sursauts solaires.

### Pourquoi s'intéresser aux raies gamma-nucléaires ?

Témoins des processus de haute énergie dans l'Univers, les raies gamma sont les empreintes des transitions nucléaires. La spectroscopie gamma permet d'identifier

la présence de noyaux excités, pour déterminer quantitativement leur abondance et nous éclairer sur les conditions physiques des régions source. Les possibilités scientifiques offertes par la spectroscopie gamma sont multiples : une meilleure compréhension de l'évolution chimique de notre Galaxie (à savoir l'origine des éléments qui nous constituent), l'observation de supernovae lointaines dans les galaxies de l'amas de Virgo afin de vérifier nos modèles sur la nucléosynthèse des étoiles massives. Une fois comprises et étalonnées, les supernovae portent en elles la clef pour connaître la taille, la forme, et l'âge de l'Univers. Enfin, les caractéristiques spectrales des sursauts solaires, les raies cyclotrons dans les étoiles de neutrons, l'annihilation entre électrons et positrons (matière/antimatière) sont autant de nouveaux défis pour la spectroscopie gamma.

### Des instruments pour l'astronomie gamma

Avec le télescope SPI sur Intégral, réalisé par le CNES en collaboration avec le Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) et le Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements (CESR), l'astronomie gamma disposera pour la première fois d'un spectro-imageur (cf CNES Magazine n°10). Au-delà des progrès scientifiques qu'apportera SPI, certains astronomes ont commencé à se demander quel type d'instrument succèdera à Intégral car ils sont confrontés à une problématique embarrassante : des instruments plus grands ne seront pas nécessairement meilleurs. L'impasse dans laquelle se trouve l'astronomie gamma actuelle, provient principalement du fait que la surface du détecteur et la surface collectrice des photons ne font qu'une. Dès lors, augmenter la surface collectrice (au prix d'un accrois-



sement du poids, de l'encombrement et du prix du système) engendre une augmentation du bruit de fond nuisible, ce qui, en retour, limite fortement le gain en sensibilité. Une façon d'échapper à ce dilemme serait de focaliser la lumière. Or, jusqu'à présent, il était généralement admis qu'il était impossible de réfléchir ou réfracter les rayons gamma du

Dans une logique de continuité des efforts français en astronomie des hautes énergies (Sigma SPI/Intégral), le CNES soutient le projet comme une action R&D depuis plus de cinq ans. Un prototype d'une lentille de diffraction a été testé en 1994, suivant des mesures de l'efficacité de diffraction dans un faisceau synchrotron, et en 1998 la mise en œuvre

utile donné. Claire sera donc mis à jour (un blindage actif sera ajouté autour du détecteur) et ses performances seront consolidées en juin 2001 par un vol ballon à caractère essentiellement technologique. Enfin, pour de futurs vols ballons Claire, il sera intéressant d'inverser les rôles : non plus utiliser un astre connu pour caractériser l'instrument, mais utiliser l'instrument pour observer de façon originale des régions énigmatiques de l'Univers, comme par exemple le Grand Annihilateur situé au centre de notre Galaxie.

### Le rôle des programmes ballons

Depuis les débuts de l'astronomie gamma, les ballons stratosphériques ont eu un rôle primordial dans le développement de nouveaux instruments. Aujourd'hui, l'essai d'un prototype en situation réelle d'observation astrophysique est toujours une étape indispensable dans la conception d'un futur télescope orbital. Ceci est particulièrement vrai pour un projet de la complexité d'une lentille gamma avec ses centaines de cristaux alignés à quelques secondes d'arc, neuf détecteurs germanium avec leur cryogénie, et un système de pointage d'une précision de l'ordre de cinq secondes d'arc.

Seulement un programme ballon permet le développement d'une technologie dans des délais courts (de l'ordre de deux ans) et avec un budget modeste. Au-delà de ces atouts matériels, l'échelle humaine est idéalement adaptée à la formation des futurs acteurs du spatial. Etudiants, chercheurs du troisième cycle, post-docs peuvent apprendre les méthodes, comprendre l'ensemble d'un système embarqué, et suivre toutes les étapes d'un projet spatial, sans les délais de réalisation et l'organisation lourde des grands projets satellites. Une fois la technologie arrivée à maturité, une mission satellite devient concevable. Pour le projet "lentille gamma", l'objectif ultime



© ESO

LA NÉBULEUSE CRABE, AUX MYSTÉRIEUX FILAMENTS, EST ISSUE DE L'EXPLOSION D'UNE SUPERNOVA EN 1054. CETTE SPECTACULAIRE EXPLOSION AVAIT ÉTÉ ENREGISTRÉE PAR LES ASTRONOMES CHINOIS ET PROBABLEMENT LES ASTRONOMES INDIENS. SI CES FILAMENTS SONT SI MYSTÉRIEUX, C'EST TOUT SIMPLEMENT QUE LEUR MASSE EST SENSIBLEMENT INFÉRIEURE À CELLE EXPULSÉE LORS DE L'EXPLOSION DE LA SUPERNOVA, ET D'UNE VITESSE LARGEMENT SUPÉRIEURE À CELLE PROVENANT D'UNE EXPLOSION.

fait de leur longueur d'onde extrêmement courte (plus de deux ordres de grandeur inférieure à la distance entre les atomes qui constituent notre matière).

### Claire - une R&D ballon

Pour la première fois en astronomie gamma, le détecteur était séparé du collecteur : 400 cristaux de germanium sur les six anneaux d'un cadre de titane, alignés chacun à quelques secondes d'arc près, afin de diffracter une même longueur d'onde sur un petit détecteur à 270 cm de la lentille. Le lancement, le vol et l'atterrissage de l'instrument se sont déroulés dans des conditions optimales.

Certes, Claire n'est pas le premier pas dans le développement de la "lentille gamma".

de la première lentille adaptative (dont la gamme d'énergie de fonctionnement est réglable). La prochaine étape vers un futur télescope spatial à lentille gamma était un test du principe en ballon stratosphérique.

L'objectif du vol Claire de juin 2000 était double : d'une part, il s'agissait de valider le fonctionnement du télescope et de son système de stabilisation, d'autre part, nous comptons mesurer les performances réelles de la lentille à l'aide d'une source astrophysique bien connue, la nébuleuse du Crabe. Tandis que l'analyse des données est encore en cours, nous savons aujourd'hui que tous les systèmes à bord ont fonctionné. Si la viabilité du concept de Claire a été démontrée, la configuration actuelle n'aura toutefois pas suffi pour détecter le Crabe dans le temps



© PHOTO E. MARTIN 1998

serait l'envoi d'un système adaptatif dans l'espace où des expositions plus longues et des pointages stables permettront d'atteindre des performances extraordinaires. L'étude des supernovae, novae, pulsars et trous noirs se fera avec une sensibilité et une définition cent fois meilleures que la génération actuelle de télescopes gamma. MAX, un projet de lentille gamma, a été proposé à l'ESA en janvier 2000 dans le cadre de l'appel d'offre pour les missions F2/ F3. Le concept avait reçu un accueil très favorable : "MAX clearly is the way to go in the future" conclut le rapport du jury de l'ESA, avant de préciser la raison pour la non-sélection du projet. L'ESA est favorable au projet sous condition qu'une mission précurseur se fasse. C'est Claire ! ■