



Vue d'artiste du satellite XRISM. JAXA, CC BY-SA

Une mission japonaise pour étudier les événements les plus violents de l'univers

Published: July 10, 2023 5.45pm CEST

Yaël Nazé

Astronome FNRS à l'Institut d'astrophysique et de géophysique, Université de Liège

2023 est décidément une année très spatiale. Il n'y a pas une semaine sans un événement, que ce soit un test de nouvelle fusée, un lancement de mission ambitieuse, ou encore un essai d'exploration privé. À ce petit jeu, tant l'Europe, la Chine ou les Émirats tentent de tenir la dragée haute aux Américains, entre collaboration et compétition.

Dans ce brouhaha généralisé, on oublie souvent un pays, le Japon – et on ne devrait pas... L'agence spatiale japonaise s'appête à lancer XRISM le 26 août, une mission moins médiatisée, certes, mais pas moins innovante ! Il s'agit ici de révéler en haute résolution les secrets des événements les plus violents de l'univers comme les explosions de supernovae ou le cannibalisme stellaire par exemple.

Le Japon, une terre d'espace



Hideo Itokawa, le père de l'aéronautique japonaise.. JAXA, CC BY

Sur notre planète, il existe 11 puissances spatiales, c'est-à-dire 11 pays capables de lancer leurs propres satellites. Historiquement, le Japon se place en quatrième position, après les pionniers soviétiques (en 1957), américains (en 1958) et français (en 1965). Le pays a démarré son programme spatial dès les années 1950, sous la houlette du Pr Itokawa. Les premières fusées d'essai sont petites (la « crayon » n'a que 23 cm de long), mais elles augmentent rapidement en taille et aboutissent au lancement du premier satellite nippon, Oshumi, en février 1970.

Depuis, le Japon a déployé tout un ensemble de missions scientifiques, rivalisant sans complexe avec les autres nations spatiales. Ainsi, avec Sakigake et Suisei, le pays n'a pas manqué le fameux rendez-vous avec la comète de Halley en 1986. De leur côté, Yohkoh puis Hinode nous ont renvoyé des vues éblouissantes du Soleil tandis que Selene/Kaguya nous proposait divers panoramas lunaires – dont un fameux « lever de Terre ».

Des filaments de plasma observés sur le Soleil par Hinode. JAXA

Et puis bien sûr, il y a eu les deux sondes Hayabusa, qui ont récemment ramené sur Terre des échantillons des astéroïdes Itokawa et Ryugu. Leur analyse continue de révéler de nombreuses facettes de notre système solaire primitif. Et si ces échantillons sont d'habitude réservés aux chercheurs, tout visiteur du musée de la JAXA, l'agence spatiale japonaise, à Tokyo-Sagamihara a le privilège d'en admirer une partie...

Mais il ne faut pas croire que seul le système solaire est concerné par les explorations nippones. Le Japon compte aussi un certain nombre de missions astrophysiques – et en particulier dédiées aux hautes énergies.

L'astrophysique des hautes énergies

La lumière a toujours été la première source d'information en astronomie. Toutefois, pendant des millénaires, seule une minuscule partie de celle-ci a été utilisée – la lumière dite « visible » c'est-à-dire détectable avec nos yeux. Mais la lumière s'étend en fait sur bien plus de « couleurs » que nos yeux peuvent percevoir : il y a notamment les rayons X et gamma qui forment le domaine des hautes énergies. Ces rayons apportent des informations inédites sur notre univers, car eux seuls sont capables de dévoiler la matière cosmique portée à des millions de degrés. En d'autres termes, l'astrophysique des hautes énergies déniche les cataclysmes célestes en tout genre, des plus petits (éruptions stellaires) aux plus impressionnants (explosion d'étoiles ou matière déchirée par les trous noirs supermassifs).

Toutefois, capter cette lumière-là n'est vraiment pas une mince affaire ! Il faut tout d'abord placer l'observatoire dans l'espace car l'atmosphère arrête ces rayonnements. Ensuite, il faut se munir de détecteurs et télescopes particuliers. En effet, la lumière de haute énergie traverse facilement la matière, et notamment les miroirs habituels des télescopes. Pour concentrer les rayons X, il faut les faire « ricocher » un peu comme un caillou sur un lac : cette trajectoire rasante fait que le miroir se trouve quasiment dans la direction de propagation de la lumière, ce qui donne aux télescopes X une forme un peu étrange, similaire à un tonneau.

Autre particularité des hautes énergies : alors qu'en lumière visible, chaque observation combine des milliers de photons en une fois, ici on enregistre un photon à la fois ! L'enregistrement simultané de la position, de l'énergie, et du temps d'arrivée d'un seul grain de lumière permet en fait d'obtenir plusieurs informations en même temps. Selon son intérêt, le chercheur peut ainsi construire des images montrant où se trouvent les sources chaudes, voir si le flux lumineux d'un objet varie au cours du temps, ou examiner comment la lumière d'un émetteur se distribue au fil des énergies (un « arc-en-ciel » appelé spectre).

Les informations les plus intéressantes se retrouvent généralement dans ce spectre. Et plus il est détaillé, plus la quantité d'informations est importante. Ce souci du détail peut être quantifié par un paramètre appelé résolution spectrale. En utilisant de simples détecteurs CCD (comme ceux présents dans les smartphones) pour prendre des photos, la résolution est de quelques dizaines. Avec des systèmes optiques appelés réseaux, on atteint une résolution de quelques centaines. Tout cela n'est pas énorme et les spectres en rayons X restent donc très peu détaillés. En comparaison, les spectromètres optiques haute résolution peuvent atteindre une résolution de 100 000, et il n'est pas rare de voir des astronomes amateurs fournissant des spectres avec des résolutions de 10 000... Mais une révolution s'amorce depuis le Japon, grâce à des calorimètres...

L'idée de départ est très simple : dans ces instruments, le détecteur absorbe un rayon X et l'énergie de ce dernier provoque un léger échauffement qui est mesuré par un thermomètre. Évidemment, en pratique, les choses s'avèrent moins faciles. Ainsi, l'échauffement est minuscule : un millième de degré pour un photon X associé à la principale raie du fer. Pour pouvoir mesurer une telle valeur, le détecteur est refroidi jusqu'à 0,05 degrés au-dessus du zéro absolu, ce qui est un sacré défi. Par contre, ces calorimètres présentent un avantage : une résolution dépassant le millier, en particulier à des énergies assez élevées, soit là où l'on trouve la signature des processus les plus énergétiques...

Radiographie céleste à la japonaise

Le Japon possède une expertise reconnue en matière d'astrophysique de hautes énergies. Jugez-en plutôt : Hakucho (1979), Tenma (1983), Ginga (1987), Asca (1993) et Suzaku (2005) – une liste à laquelle il faut ajouter les observatoires X du Soleil, Taiyo (1975), Hinotori (1981) et Yohkoh (1991) ! Aucun pays ne compte autant de missions en rayons X... « Cette tradition particulière provient très probablement de la présence de nombreux chercheurs en physique des particules dans le pays – après tout, les détecteurs sont similaires dans les deux domaines... Intrigués par l'expérience de Giacconi, certains physiciens se sont alors lancés en astrophysique. Un système de mentorat très développé a permis un effet d'entraînement, qui a créé tout un écosystème de chercheurs en pointe dans le domaine X. » m'expliquait le Dr Tsujimoto, un chercheur de la JAXA associé à XRISM.

Pour continuer sur leur lancée, les chercheurs japonais se sont évidemment intéressés aux calorimètres. Ils ont ainsi monté une mission spécifique, avec des contributions américaine et européenne. Hélas, cette mission, baptisée Astro-E, a été perdue lors de son lancement en 2000. Qu'à cela ne tienne, une copie a été envoyée cinq ans plus tard, Astro-E2, plus connue sous le nom de Suzaku. Son calorimètre s'est bien refroidi, mais le réservoir d'hélium liquide s'est complètement vidé en un mois seulement : la mission a continué avec les autres instruments, mais le calorimètre n'a pas pu être testé. Décidément têtus – mais surtout bien conscients de la promesse de ces détecteurs de nouvelle génération, les Japonais ont ensuite construit Astro-H, rebaptisé Hitomi, en 2016. Là encore, la malchance était au rendez-vous : un mois après le lancement, un incident technique a accéléré la rotation du satellite au point qu'il s'est disloqué.

Mais ce mois n'a pas été perdu. Alors que la porte de l'instrument restait fermée, car le satellite dégazait encore, les concepteurs avaient quand même allumé les détecteurs : ils ont commencé à observer. Évidemment, seuls les rayons X de plus haute énergie ont réussi à traverser la porte. Pourtant, même fortement atténuée et limitée à une petite zone, la lumière X enregistrée par Hitomi a ébloui les astronomes. Ainsi, deux jours et demi d'observation de l'amas de galaxies de Persée ont dévoilé un premier spectre X à haute résolution particulièrement étonnant. Dans cet amas, un trou noir supermassif crée des « bulles » : toute son activité remue fortement le gaz dans cette zone. On s'attendait alors à observer une turbulence assez importante, donc des raies X plutôt larges, mais Hitomi a montré le contraire. En soi, c'est une bonne nouvelle, car cela implique que les estimations de masse basées sur les données à haute énergie, et les paramètres cosmologiques qu'on en déduit, ne nécessitent pas de correction. Mais il reste à comprendre la raison de cette turbulence réduite – une difficulté d'apparition ou une naissance suivie d'amortissement rapide ?

L'amas de galaxies de Persée (inset), situé à 240 millions d'années-lumière, contient des milliers de galaxies ainsi que du gaz chaud présentant notamment des structures soufflées par les jets du trou noir supermassif situé au cœur de la galaxie centrale, NGC1275. Le télescope Hitomi a mesuré précisément la distribution de l'énergie lumineuse (un spectre) dans le domaine des rayons X, montrant des détails trente fois plus fins que les observations précédentes. Cela a permis de dévoiler les signatures de divers métaux (fer, nickel, chrome, manganèse) en détail. La finesse de ces signatures a surpris les astronomes, qui s'attendaient plutôt à trouver des signatures larges dues à une grande turbulence dans l'amas. JAXA

Hitomi a aussi observé la nébuleuse du Crabe, N132D et G21.5-0.9, trois nébuleuses extra-chaudes résultant d'une explosion de supernova. Les données de haute qualité ont permis de mieux comprendre le déroulé des événements, et la dynamique actuelle. Par exemple, le spectre observé par Hitomi indique que l'explosion de 1054 ayant donné naissance à la nébuleuse du crabe était une supernova très particulière, dite « à capture d'électrons », un chaînon manquant entre les deux types de supernovae jusqu'ici connus.

XRISM, étape cruciale

Malgré sa vie trop brève, Hitomi a montré que les calorimètres tiennent leurs promesses – et même dépassent les espérances de leurs concepteurs : pas question d'abandonner, donc. « L'équipe autour de ce projet est toujours restée unie, quels que soient les revers. La communauté des astronomes X nous soutient aussi car tout le monde sait que les calorimètres sont l'instrument du futur dans ce domaine. Et puis, la mentalité japonaise a peut-être aussi joué : devant les désastres naturels, si réguliers, nous acceptons le coup du sort et puis nous nous remettons au travail. Relancer un calorimètre était donc une évidence. » m'a expliqué le Dr Tsujimoto.

C'est ainsi qu'entre en piste XRISM – X-ray Imaging and Spectroscopy Mission. Lancé cette année, ce nouvel observatoire en rayons X comporte deux instruments, dont évidemment un nouveau calorimètre, baptisé Resolve.

Cette fois, les astronomes veulent aller au-delà du petit aperçu offert par Hitomi – un apéritif qui n'a fait qu'aiguiser leurs appétits. Les programmes d'observation sont déjà sur les starting-blocks. Certains veulent suivre en détail les propriétés de la matière qui va plonger vers un trou noir, qu'il soit petit ou grand, ainsi que celle violemment éjectée aux abords de ces ogres cosmiques. D'autres veulent préciser ce qui se passe pendant et après les explosions de supernova, en analysant les abondances de divers éléments ou en suivant les chocs capables d'accélérer les rayons cosmiques. D'autres cherchent plutôt à comprendre les mécanismes liés aux éruptions stellaires, ou comment de la matière hyper chaude naît à proximité d'étoiles « normales »... Soixante ans après les débuts de l'astronomie en rayons X, une nouvelle révolution s'amorce donc, et les surprises seront certainement nombreuses.