

Tous les détecteurs en alerte

Les ondes gravitationnelles décelables sur Terre résultent de phénomènes cosmiques dégageant une énergie colossale, et qui peuvent parfois s'accompagner de brefs éclairs lumineux. Les astrophysiciens espèrent les détecter à l'aide de télescopes opérant dans l'espace ou depuis le sol. Encore faut-il les braquer dans la bonne direction et au bon moment !

Pour être décelées sur Terre, les ondes gravitationnelles doivent être produites par des événements cosmiques spectaculaires, tels que la fusion de deux objets compacts et massifs, trous noirs, étoiles à neutrons, explosion d'étoiles massives... Et certains de ces cataclysmes émettent aussi des quantités phénoménales de lumière, parfois comme de brefs éclairs. Cette opportunité, les astrophysiciens ne veulent pas la laisser passer. Aussi la traque des ondes gravitationnelles s'accompagne-t-elle de la recherche d'ondes électromagnétiques comme les rayons gamma, les rayons X, voire la lumière visible. Dans le jargon, on parle de « contrepartie lumineuse » et, en la matière, les chercheurs et ingénieurs du CEA font montre d'une véritable expertise.

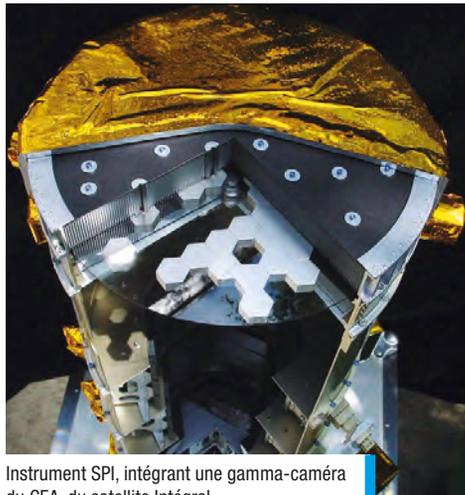
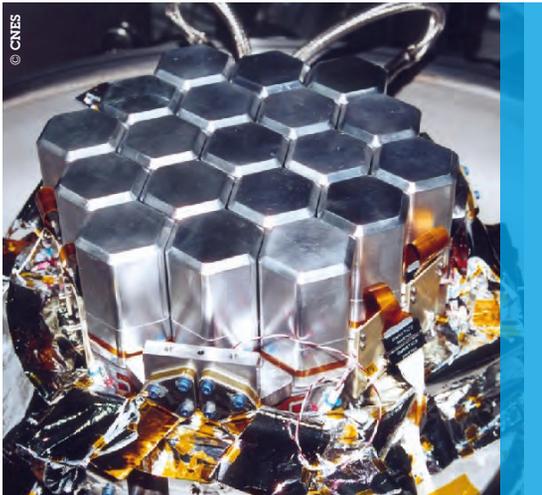
des sources cosmiques des éléments chimiques. Lancé en 2002 par l'Agence spatiale européenne, il s'agit de l'observatoire de rayons gamma le plus puissant jamais conçu. Les deux gamma-caméras, dont l'une réalisée par le CEA, de l'un des deux télescopes d'Intégral sont encore à ce jour les plus grandes et les plus sensibles qui existent : un atout formidable pour l'observation d'une éventuelle contrepartie lumineuse aux ondes gravitationnelles. Philippe Laurent, l'un des responsables scientifiques de la mission Integral à l'Irfu/CEA, fait partie du cercle des initiés qui reçoivent les alertes de l'expérience américaine Ligo : « *Un accord a été conclu entre la collaboration Ligo/Virgo¹ et plusieurs équipes pilotant des observatoires astronomiques – satellites et télescopes au sol – afin qu'elles soient prévenues très rapidement lorsqu'une onde gravitationnelle est captée et puissent observer la portion du ciel d'où elle provient.* » Pour cette première du 14 septembre 2015, l'alerte n'a toutefois été donnée que le lendemain. Prudents, les scientifiques de Ligo ont préféré attendre d'être sûrs de ce qu'ils avaient découvert avant de

Note :

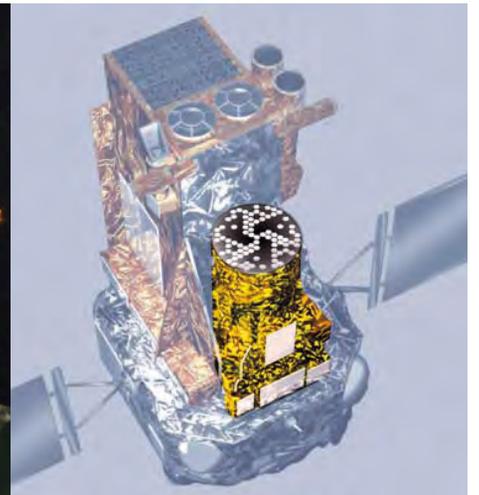
1. Virgo est l'équivalent européen de Ligo. Le détecteur est situé près de Pise, en Italie. Il était en remise à niveau lorsque Ligo a capté l'onde gravitationnelle le 14 septembre 2015.

Expertise astronomique intégrale

En bonne place dans leur arsenal de détection figure le satellite Integral, destiné à l'étude des phénomènes énergétiques de l'univers et à la recherche



Instrument SPI, intégrant une gamma-caméra du CEA, du satellite Intégral.



prévenir leurs confrères. Dans ce cas, le retard n'est pas si grave puisque, théoriquement, la fusion de deux trous noirs (comme captée par Ligo) qui ne sont pas environnés de matière n'est pas censée émettre de lumière.

Les responsables d'Integral ont quand même épluché les données enregistrées ce jour-là. « *Nous n'avions pas une localisation suffisamment précise² pour pointer Integral vers la source de l'onde mais nous disposons d'un système qui enregistre en permanence les flux de particules provenant de n'importe où dans le ciel* », indique Philippe Laurent. Cet appareil, appelé système d'anticoïncidence, est le bouclier du spectromètre SPI qui est le deuxième télescope à bord du satellite. En enregistrant toutes les particules en provenance de l'espace, l'anticoïncidence permet aux scientifiques de séparer le **bruit de fond** des signaux qui les intéressent réellement. « *Comme nous pouvions nous y attendre, nous n'avons rien décelé de particulier* », relate l'astrophysicien. Mais l'équipe est prête : à la prochaine alerte, Integral pourra être repositionné en quelques heures pour capter un éventuel éclair de rayons gamma associé à une onde gravitationnelle.

Des observations sur tous les continents

L'observation de ces éclairs gamma, encore appelés sursauts gamma, est l'objectif d'une autre mission en cours de préparation au CEA : SVOM³. Ce mini-satellite franco-chinois doit être lancé en 2021. À son bord, quatre instruments : un télescope dans les domaines X « durs » (les rayons X les plus énergétiques) et gamma, déclencheur de l'alerte du sursaut (ECLAIRS) ; un ensemble de détecteurs gamma fonctionnant à plus haute énergie (GRM) ; un télescope X (MXT) ; et un télescope scrutant dans le visible et le proche infra-rouge (VT). Grâce à

eux, SVOM transmettra la position du sursaut gamma en temps quasi réel via des antennes réparties à la surface du globe. L'information sera alors relayée à des télescopes robotisés au sol fonctionnant dans le visible et le proche infra-rouge. Deux d'entre eux, l'un situé en Chine, l'autre au Mexique, prendront le relais afin d'affiner la position et d'évaluer la distance du sursaut. « *Le calcul des coordonnées de la source par le microprocesseur embarqué à bord du satellite pourra prendre de 10 millisecondes à 20 secondes, explique Bertrand Cordier, chercheur Irfu/CEA et responsable*

scientifique de la mission côté français. SVOM sera alors automatiquement réorienté pour que ses télescopes puissent observer rapidement une éventuelle contrepartie en rayons X ou en lumière visible du sursaut gamma. »

Autant dire qu'avec sa rapidité, SVOM pourra aussi réagir aux alertes envoyées par les équipes lancées dans la chasse aux ondes gravitationnelles. L'annonce de Ligo est d'ailleurs un fabuleux coup de pouce pour la mission, qui a connu une gestation chaotique. « *La détection des ondes gravitationnelles par Ligo* ♦♦♦

Bruit de fond

Ensemble des particules cosmiques pouvant parasiter la détection d'objets spécifiques.

Notes :

2. Plus le nombre de détecteurs répartis sur la Terre est important, plus la localisation de l'onde gravitationnelle est précise. Celle du 14 septembre 2015 n'a été repérée que par Ligo, rendant sa position difficile à évaluer.

3. *Space-based multi-band astronomical Variable Objects Monitor.*



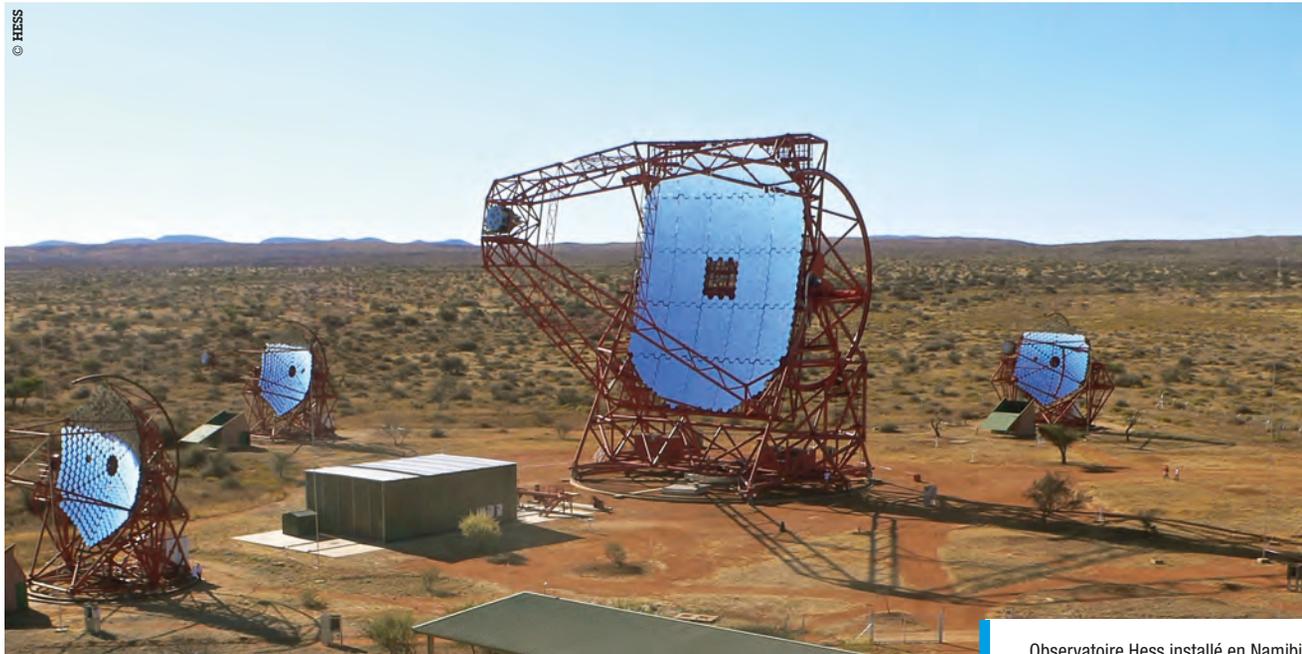
Satellite Integral.

© Integral

Une nouvelle fenêtre sur l'Univers le plus violent vient de s'ouvrir. Imaginez tout ce que nous pourrions apprendre lorsque nous verrons aussi la contrepartie lumineuse des ondes gravitationnelles !

Fabian Schüssler de l'Irfu/CEA





Observatoire Hess installé en Namibie.

- Notes :
4. Observation des rayonnement gamma à très haute énergie pour sonder l'origine du rayonnement cosmique ou étudier les processus d'accélération, par exemple dans les noyaux actifs de galaxies.
 5. Cherenkov Telescope Array (réseau de télescopes tcherenkov).

conforte nos objectifs scientifiques, indique Bertrand Cordier. *Jusqu'à présent, notre volonté d'assurer une surveillance du ciel 24 h sur 24 dans le cadre des recherches sur les ondes gravitationnelles se heurtait à des difficultés techniques et financières, ces ondes n'étant alors que pures hypothèses théoriques. Maintenant que nous les savons réelles, le système de surveillance et la chaîne d'alerte automatiques de SVOM sont encore plus légitimes.* » La détection par Ligo arrive d'ailleurs à point nommé : la conception définitive de la mission sera décidée à la fin de l'année 2016.

L'espace et le sol en alerte

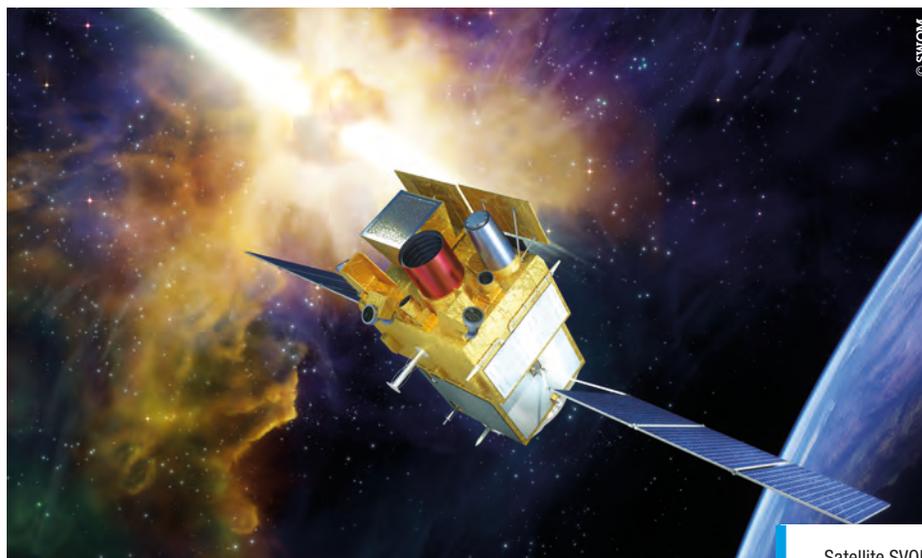
Au sol, les télescopes robotisés de SVOM ne seront pas les seuls à pointer leurs miroirs vers le ciel à la recherche de la contrepartie lumineuse des ondes gravitationnelles. D'autres instruments font partie de la traque. Le télescope Hess, par exemple. Installé en Namibie, cet ensemble de cinq télescopes est dédié lui aussi à l'étude des rayons gamma de très hautes énergies en provenance de l'espace. Or, Hess II, le télescope central, mastodonte de 28 mètres de diamètre, est capable de se positionner sur

une source en moins d'une minute ! « Jusqu'à maintenant, la contrepartie gamma des ondes gravitationnelles n'était pas vraiment la priorité de Hess⁴, avoue Fabian Schüssler, chercheur Irfu/CEA et membre

de la collaboration internationale qui pilote l'instrument. *Nous allons sans doute surveiller un peu plus les alertes émises par les expériences Ligo/Virgo.* » C'est surtout le successeur de Hess, CTA⁵, dont le

Maintenant que nous savons que les ondes gravitationnelles sont réelles, SVOM est encore plus légitime !

Bertrand Cordier, de l'Irfu/CEA.



Satellite SVOM.