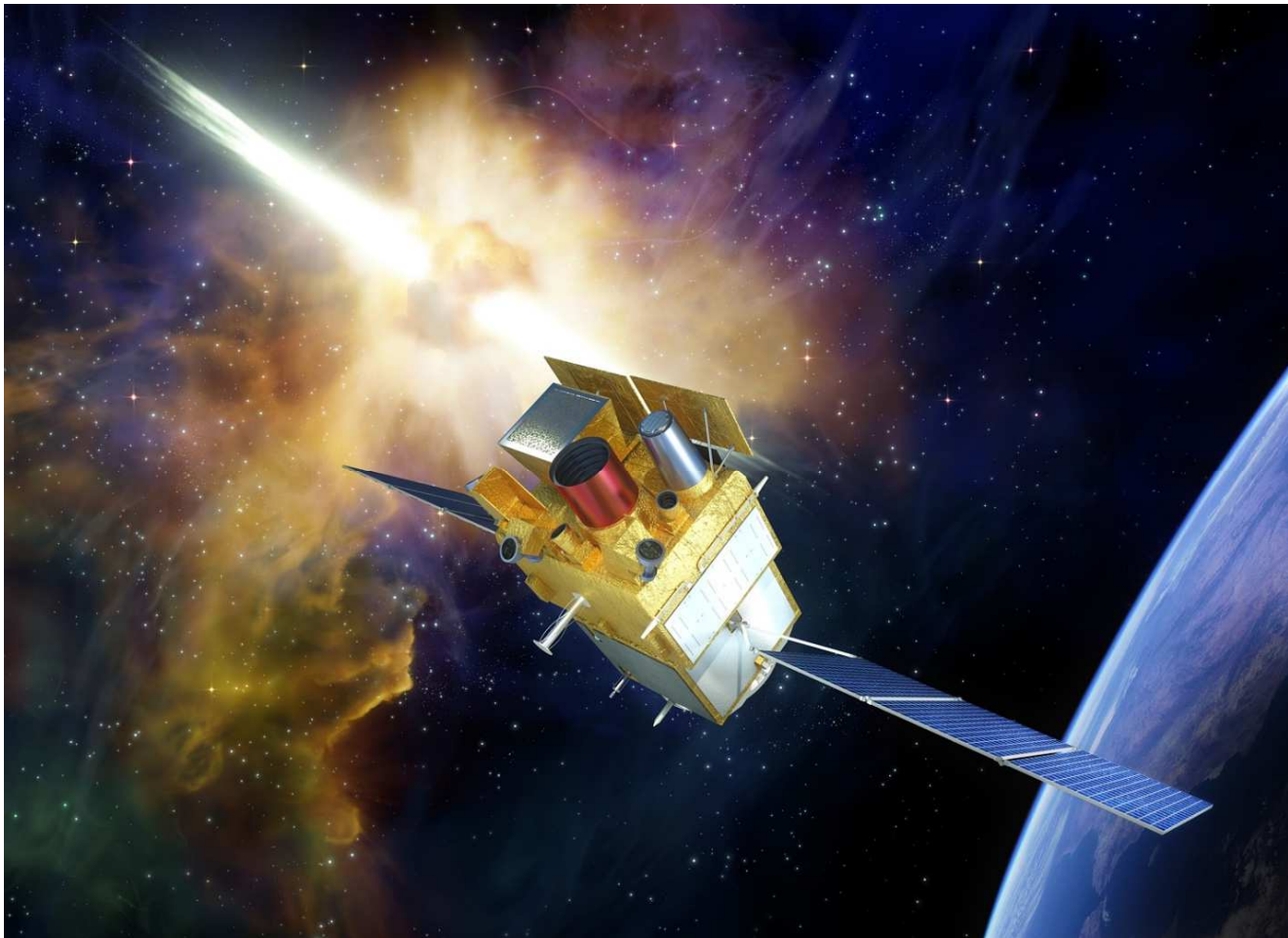


17 mars 2022

SVOM (*Space-based multi-band astronomical Variable Objects Monitor*)

A la recherche du message des premières étoiles



SOMMAIRE

La mission SVOM	03
De mystérieuses bouffées de rayons gamma qui illuminent le ciel	03
Une course contre la montre	04
Une batterie d'instruments à l'affût dans le ciel	04
Les innovations de SVOM	05
Une collecte participative : les antennes VHF	06
Un appui de télescopes au sol	06
Un vaste programme d'observation	06
La contribution française	07
Fiches techniques	07
Contacts	09

La mission SVOM



La mission spatiale franco-chinoise SVOM (*Space-based multi-band astronomical Variable Objects Monitor*) est consacrée à la localisation et à l'étude des plus lointaines explosions d'étoiles, les sursauts gamma. Ces cataclysmes qui se signalent par un bref éclair de rayons gamma, la forme la plus énergétique de la lumière, accompagnent la désintégration des plus grosses étoiles. Visibles jusqu'aux confins de l'Univers, ces explosions offrent l'unique moyen d'observer le destin des toutes premières étoiles de l'Univers et de sonder les confins du cosmos.

SVOM sera lancée en juin 2023 par le lanceur chinois Longue Marche 2C, depuis la base de lancement de Xichang. La mission est le fruit d'une collaboration des deux agences spatiales

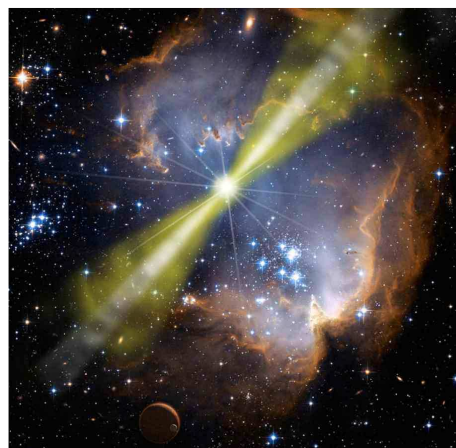
nationales, CNSA (China National Space Administration) et CNES (Centre national d'études spatiales) avec les contributions principales du CEA et de l'Institut de recherche en astrophysique et planétologie (IRAP ; CNRS/Université Toulouse III – Paul Sabatier) pour la France et de l'Observatoire Astronomique National (NAO) et l'Institut de Physique des Hautes Energies de Pékin (IHEP) pour la Chine. La mission SVOM est prévue pour une durée initiale de trois ans.

Après le lancement en 2018 du satellite CFOSat, dédié à l'étude des océans, SVOM est la deuxième mission spatiale scientifique fruit d'une collaboration franco-chinoise.

De mystérieuses bouffées de rayons gamma qui illuminent le ciel

Dans le ciel, de brèves et intenses bouffées de rayonnement gamma sont détectées chaque jour. Evènements fugaces qui ne durent parfois que quelques millièmes de secondes, ces éclairs gamma libèrent une énergie colossale, équivalente à celle générée par le Soleil durant toute sa vie. Depuis les années 90, les astronomes soupçonnent certains éclairs gamma d'être associés à la mort violente d'étoiles très massives au sein de galaxies lointaines.

Grâce à leur extrême luminosité, certains éclairs gamma sont les phénomènes les plus lointains (et donc les plus anciens) jamais observés dans l'Univers. Cette lumière a parfois été émise alors que l'Univers avait moins d'un milliard d'années, soit 5 à 10% de son âge actuel. Etudier ces bouffées gamma, c'est donc sonder l'Univers jeune et s'approcher des premières étoiles de l'Univers et de leur environnement.



Une course contre la montre

La brièveté des sursauts gamma impose une stratégie très complexe pour la collecte des informations scientifiques. Sur SVOM, l'instrument primaire est le télescope ECLAIRs, capable de détecter en premier le sursaut et de fournir une première localisation dans le ciel.

Grâce au calculateur de bord, une alerte est alors déclenchée et entraîne automatiquement un « repointage » du satellite pour aller s'aligner plus précisément dans l'axe de la source et permettre les observations de suivi des télescopes MXT et VT. Cette opération s'effectue en moins de 5 minutes.

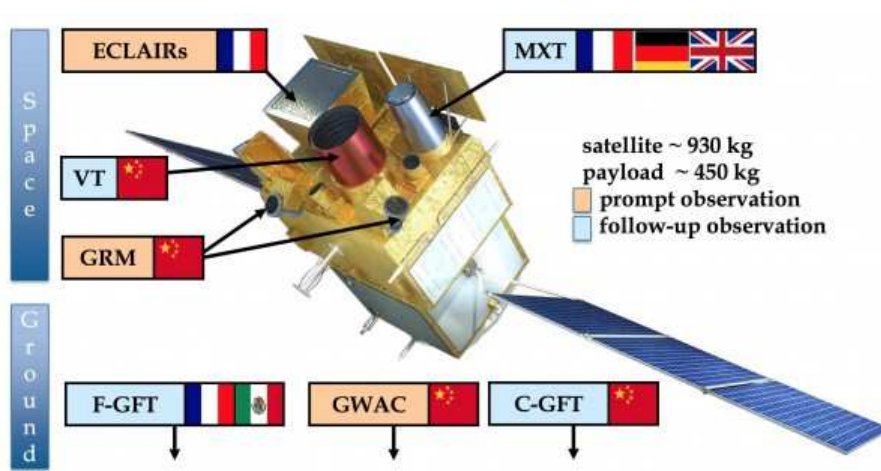
Le satellite transmet également l'alerte vers le sol par radio grâce à un réseau d'antennes VHF pour déclencher les observations de suivi au sol. Toutes ces opérations doivent se dérouler en l'espace de quelques minutes seulement.

Une batterie d'instruments à l'affût dans le ciel

La fugacité des sursauts gamma rend leur observation très difficile. L'émission de rayons gamma, accessible uniquement depuis l'espace car bloquée par l'atmosphère, est très brève, d'une fraction de seconde à quelques dizaines de secondes seulement. Au cours de l'explosion, cette brève et intense lueur gamma est suivie en général par une émission de rayons X qui peut durer jusqu'à quelques heures, elle-même suivie par un rayonnement de lumière visible pendant quelques jours.

Pour détecter, localiser et étudier avec efficacité tous ces phénomènes, SVOM possède quatre instruments :

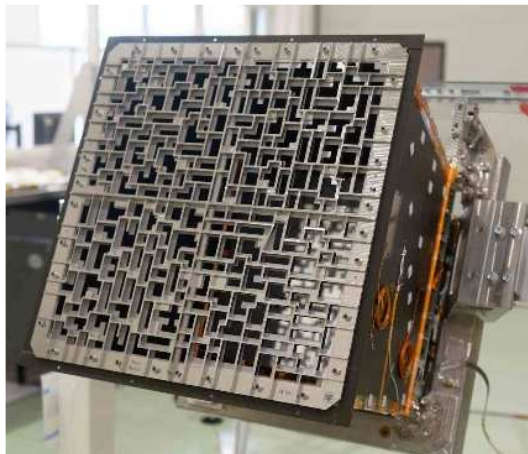
- **ECLAIRs**, télescope pour détecter et localiser les sursauts gamma dans la bande des rayons X et des rayons gamma de basse énergie (de 4 à 250 keV). Ce télescope à ouverture codée à grand champ couvre un sixième de l'ensemble de la voûte céleste. Il détectera les sursauts gamma et fournira leur position avec une très précision.
- **MXT (Microchannel X-ray Telescope)**, télescope pour l'observation des sursauts gamma dans le domaine des rayons X mous (de 0.2 à 10 keV). À petit champ de vue (57x57 minutes d'arc), il détectera l'émission rémanente des sursauts gamma et en fournira la position sur la voûte céleste avec une précision meilleure que 30 secondes d'arc dans 50% des cas.
- **GRM (Gamma Ray Monitor)**, détecteur gamma à haute énergie (de 15 keV à 5000 keV). Ce spectromètre gamma à grand champ (le même qu'ECLAIRs), mesurera le spectre à haute énergie des sursauts gamma.
- **VT (Visible Telescope)**, télescope opérant dans le domaine visible et le très proche infrarouge (de 400 à 950 nm) pour détecter et observer l'émission de lumière produite immédiatement après un sursaut gamma.



Le satellite pèse un poids total de 930 kg pour une charge utile de 450 kg. Il sera placé sur une orbite terrestre basse avec une inclinaison de 30 degrés, une altitude de 625 km et une période orbitale de 96 minutes.

Les innovations de SVOM

Le masque codé, une merveille de technologie



La localisation d'un rayon gamma dans le ciel est une tâche bien plus ardue que celle de la lumière visible. C'est pourquoi l'instrument ECLAIRs de SVOM utilise la technologie innovante du masque codé, issue de la longue expérience des instruments SIGMA (à bord du satellite franco-russe GRANAT) et ISGRI (à bord du satellite européen INTEGRAL), développés en France par le CEA et le CNES.

Pris en charge par le laboratoire Astroparticule et cosmologie (CNRS/Université Paris Cité), le masque codé est une plaque métallique percée de trous. Lorsqu'une source de rayons gamma illumine le masque, elle projette sur le plan de détection un motif unique qui permet de reconstituer sa direction. Le masque est en général porté par une structure mais dans le cas de SVOM, c'est le premier exemple d'un masque autoporteur. Il a dû être très

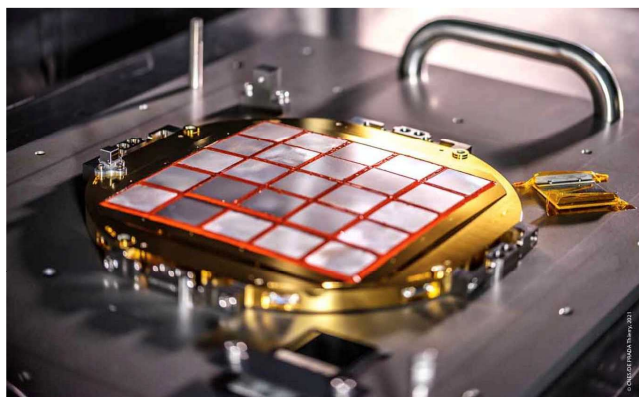
précisément usiné dans une plaque de tantale de 0,6 mm d'épaisseur, renforcé par deux plaques en titane de chaque côté.

L'œil de homard, une vision tout azimut

Pour assurer un très grand champ de vue de l'ordre de 1 degré carré, l'instrument MXT bénéficie d'une optique révolutionnaire, un concentrateur à galette de micro-canaux qui s'inspire de la structure des yeux de crustacés comme le homard ou la langouste.

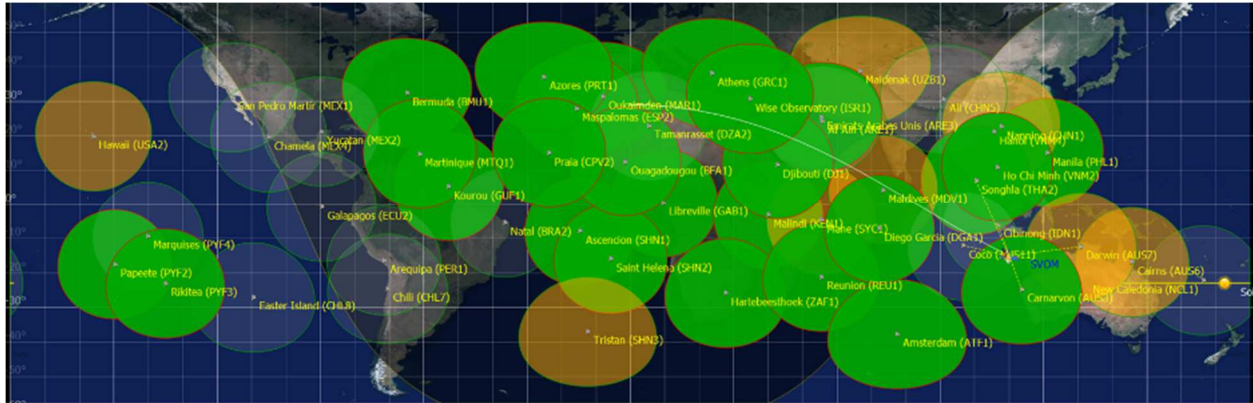
Cette optique particulière est constituée d'une mosaïque de micro-tubes faits de verre, de seulement quelques dizaines de microns de côté (inférieurs à la finesse d'un cheveu).

L'optique complète est un bijou de technologie, d'une vingtaine de centimètres de diamètre, pour un poids de seulement 1,8 kg, réalisée par la société française Photonis. Elle comporte plusieurs millions de ces micro-tubes, garantissant ainsi de pouvoir capter le maximum de lumière dans toutes les directions, comme le font avec efficacité les yeux du homard.



Une collecte participative : les antennes VHF

Pour collecter l'information du satellite, vu la brièveté des sursauts gamma, aucun temps mort ne peut être toléré. Pour rester en contact avec le satellite tout au long de son orbite et pouvoir capter les alertes déclenchées à bord et transmises par radio, un gigantesque réseau d'alerte a dû être conçu. Véritable centre nerveux de la stratégie scientifique de la mission SVOM, il est constitué de 47 antennes VHF disposées autour de l'équateur dans une quarantaine de pays. En mettant en place ce réseau d'alerte, SVOM implique de nombreux pays qui pourront ainsi développer leur recherche spatiale en accédant aux données de la mission.



Un appui de télescopes au sol

Pour optimiser la collecte de l'information sur les sursauts gamma, la mission spatiale SVOM est conçue pour être en liaison directe avec des observatoires au sol.

L'ensemble GWAC (*Ground-based Wide Angle Camera*) est composé de 10 montures portant chacune 4 caméras de 18 cm de diamètre et couvrant ainsi un champ de vue total d'environ 5000 degrés carrés, soit un peu plus que la moitié du champ de vue du télescope ECLAIRs. Le GWAC sera divisé en deux parties, composées chacune de 20 caméras et d'un télescope de suivi de 60 cm. En complément du télescope VT à bord de SVOM, GWAC fournit une couverture à grand champ des régions du ciel observées par SVOM en lumière visible.

Les télescopes robotiques GFT (*Ground Follow-up Telescope*) mesurent avec précision les coordonnées et la distance du sursaut gamma. La mission SVOM met en œuvre deux télescopes robotiques comportant un miroir primaire d'un mètre de diamètre. Les télescopes pilotés automatiquement sont en liaison directe avec le satellite SVOM et sont capables de s'orienter de façon autonome vers la zone de localisation communiquée par le satellite à travers le réseau d'alerte d'antennes VHF, en moins d'une minute.

Un vaste programme d'observation

Si le cœur de la mission SVOM est de garantir l'observation d'environ 100 sursauts gamma par an, c'est aussi un formidable outil destiné à sonder le ciel transitoire et étudier d'autres sources variables.

La mission pourra réagir à des alertes générées par d'autres observatoires du ciel transitoire, au sol ou dans l'espace, et pointer alors ses instruments vers l'objet détecté. SVOM sera ainsi un partenaire de choix pour d'autres grands programmes d'observation, comme par exemple l'Observatoire Vera Rubin au Chili qui doit être mis en service fin 2023 dans le domaine visible ou le réseau SKA (*Square Kilometre Array*) en construction en Afrique du Sud et en Australie, dans les ondes radio.

La mission sera également apte à répondre rapidement aux alertes fournies par les télescopes à neutrinos comme IceCube au Pôle Sud ou le KM3NeT (*Cubic Kilometre Neutrino Telescope*), un télescope à neutrinos européen en cours d'installation en mer Méditerranée.

De même, SVOM pourra contribuer à la localisation des sources d'ondes gravitationnelles qui résultent de la fusion d'astres compacts comme les trous noirs, en répondant aux alertes délivrées par les interféromètres d'ondes gravitationnelles LIGO (*Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*) aux USA, Virgo en Italie et Kagra au Japon.

La contribution française

Le CNES est responsable programmatique de la mission et responsable technique du projet de développement. Il est donc maître d'œuvre des instruments ECLAIRs et MXT.

Les laboratoires scientifiques français du CEA, du CNRS et de leurs partenaires assurent la responsabilité scientifique du projet et, par délégation du CNES, le développement technique de certains produits et des opérations d'exploitation.

Le CEA a la responsabilité scientifique de SVOM (PI-ship français de la mission), de l'instrument MXT, du segment sol de mission français et de l'instrument center de MXT. Il a aussi la responsabilité technique du développement du Centre de mission scientifique de la mission, hébergé au CEA-Saclay, de la caméra MXT et de l'intelligence artificielle qui analysera les données reçues et dirigera en temps réel le satellite vers le sursaut détecté.

L'IRAP a la responsabilité scientifique de l'instrument ECLAIRs et il a la responsabilité technique du développement du plan de détection de l'instrument ECLAIRs. Il participe au développement du segment sol scientifique français et a la responsabilité du développement de l'instrument center de l'instrument ECLAIRs. De plus il est responsable technique du développement de la caméra infra-rouge (CAGIRE) qui sera installée sur le F-GFT à San Pedro Mártir au Mexique.

Les autres laboratoires français ayant participé au développement de ces deux instruments sont :

- Le laboratoire Astrophysique instrumentation et modélisation (CNRS/CEA/Université Paris Cité) ;
- L'Institut d'astrophysique de Paris (CNRS/Sorbonne Université) ;
- Le Laboratoire de physique des deux infinis Irène Joliot-Curie (CNRS/Université Paris Saclay) ;
- Le Laboratoire d'astrophysique de Marseille (CNRS/CNES/Aix-Marseille Université) ;
- Le laboratoire Astroparticule et cosmologie (CNRS/Université Paris Cité) ;
- L'Observatoire astronomique de Strasbourg (CNRS/Université de Strasbourg) ;
- Le Centre de physique des particules de Marseille (CNRS/Aix-Marseille Université) ;
- Le laboratoire Galaxies, étoiles, physique et instrumentation (Observatoire de Paris – PSL/CNRS) ;
- Le Laboratoire Univers et particules de Montpellier (CNRS/Université de Montpellier).

Fiches techniques

Télescope ECLAIR's

Energie = 4-250 keV – résolution 10 arcminutes d'arc

Télescope à ouverture codée à grand champ (2 stéradians soit un sixième de l'ensemble de la voûte céleste), opérant dans la bande des rayons X et des rayons gamma de basse énergie pour détecter les sursauts gamma et en fournir la position sur la voûte céleste avec une précision meilleure que 10 minutes d'arc (moins du tiers du diamètre apparent

de la pleine Lune) dans le cas des sursauts les moins lumineux. ECLAIRs est réalisée avec le soutien du CNES par un consortium de laboratoires français (CEA - Saclay, CESR* - Toulouse, APC* - Paris).

Télescope MXT (Multi channel X-ray Telescope)

Energie = 0.23-107 keV – résolution 30 arcsecondes

Télescope à rayons X à petit champ de vue (57x5730 minutes d'arc), opérant dans la gamme des rayons X mous (0,23-10 7 keV) pour détecter l'émission rémanente des sursauts gamma et en fournir la position sur la voûte céleste avec une précision meilleure que 30 secondes d'arc dans 50% des cas. MXT est réalisé avec le soutien du CNES par un consortium de laboratoires français (LAM, Marseille ; CEA, Saclay ; CESR, Toulouse) avec une participation de l'Université de Leicester (Royaume-Uni) et du Max-Planck institut (Allemagne).

Spectromètre GRM (Gamma-Ray Monitor)

Energie = 15-5000 keV

Spectromètre gamma à grand champ (2 stéradian), opérant dans la gamme des rayons gamma de basse énergie (50 keV-5 MeV) pour mesurer le spectre à haute énergie des sursauts gamma. GRM est réalisé par un laboratoire chinois (IHEP ; Pékin).

Télescope VT (Visible Telescope)

Télescope de 45 cm de diamètre - Champ de vue 45x45 arcminutes d'arc

Longueurs d'onde = 0.4 à 0.9 micromètres

Télescope de 45 cm de diamètre à petit champ (21•21 minutes d'arc) qui opèrent dans le visible et le proche infrarouge (400-950 nm) pour détecter l'émission rémanente des sursauts gamma. VT est réalisé par un consortium de laboratoires chinois (NAOC, Pékin ; XIOPM, Xian).

CONTACTS

CNES

Olivia Baumann – Attachée de Presse

Tél. 01 44 76 76 59 / olivia.baumann@cnes.fr

Pascale Bresson — Attachée de presse

Tél. 01 44 76 75 39 / pascale.bresson@cnes.fr

Raphaël Sart — Responsable Presse

Tél. 01 44 76 74 51 / raphael.sart@cnes.fr

Claire Dramas – Attachée de presse Occitanie

Tél. 05 61 28 28 36 / claire.dramas@cnes.fr

CEA

Guilhem Boyer – Attaché de Presse

Tél. 01 64 50 27 53 / guilhem.boyer@cea.fr

CNRS

François Maginot — Attaché de presse CNRS

Tél. 01 44 96 43 09 / francois.maginot@cnrs.fr

presse.cnes.fr