



Bienvenue dans la nouvelle newsletter scientifique du CNES !

Le Centre National d'Études Spatiales (CNES) est ravi de vous présenter cette publication qui vous fera découvrir les avancées scientifiques les plus récentes dans le domaine **des sciences de l'Univers, de l'exploration spatiale et de l'observation de la Terre depuis l'espace.**

Chaque trimestre, à travers cette newsletter, nous souhaitons partager avec vous certaines des dernières découvertes scientifiques obtenues grâce aux projets et missions soutenus par le CNES, en collaboration avec ses partenaires nationaux et internationaux.

Nous espérons que cette newsletter scientifique éveillera votre curiosité, étanchera votre soif de connaissances et vous transportera au cœur des découvertes les plus captivantes de la recherche spatiale.

Bonne lecture et que l'aventure commence !

L'équipe de la newsletter scientifique du CNES

Contact :

NewsSciencesCnes@cnes.fr

Comité de rédaction

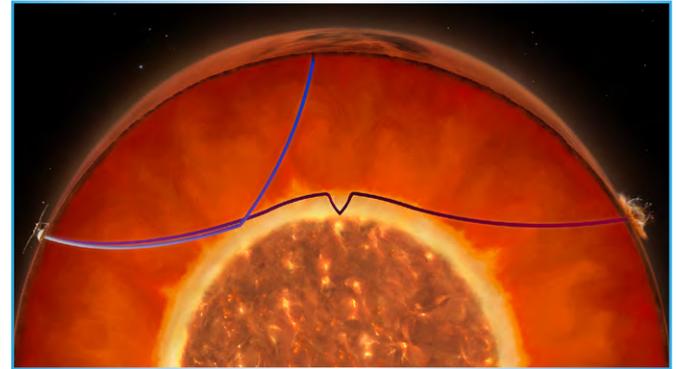
**Martin Boutelier - Maxime Brient - Valérie Frède
Alice Lebreton - Sophie Le Gac - Mioara Mandea**

Les données SEIS mettent en évidence la présence d'un manteau de silicates fondus autour du noyau de Mars

L'analyse des données sismiques enregistrées par l'instrument SEIS lors de l'impact d'une météorite a révélé un manteau de silicates fondus autour du noyau de Mars. L'impact, localisé par la sonde Mars Reconnaissance Orbiter, a généré des ondes sismiques qui se sont propagées jusqu'au noyau. Elles ont ensuite été diffractées à l'interface entre le manteau et le noyau. La différence de temps d'arrivée entre ces ondes et celles se propageant à la surface suggère une réduction de vitesse de propagation près de l'interface entre le manteau et le noyau. Ce profil de vitesse nécessite la présence d'un manteau de silicates fondus entre le manteau convectif et le noyau, incompatible avec le modèle standard homogène de la structure interne de Mars. Cette couche explique de façon cohérente l'évolution de Mars depuis sa formation et rend compte efficacement de l'atténuation des effets de marée sur la lune Phobos. Elle suppose également un noyau liquide plus petit mais plus dense.

Rôle du CNES

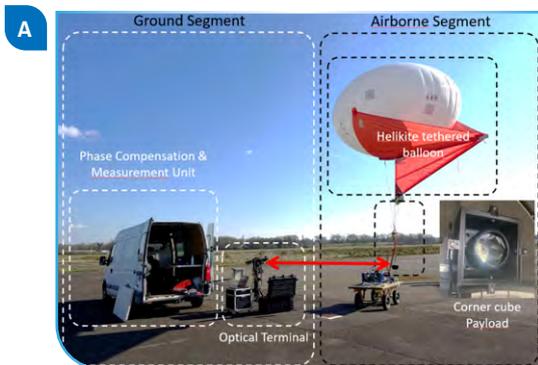
Le CNES a intégré, testé et fourni l'instrument complet à la NASA, et a géré les opérations du sismomètre SEIS via le SISMOC. Le CNES soutient financièrement les nombreuses études scientifiques utilisant ces données. InSight est la 12^e mission du programme Discovery de la NASA.



LÉGENDE : Vue de l'Intérieur de Mars et du trajet de propagation des ondes sismiques depuis la zone d'impact de météorite de septembre 2021 vers le sismomètre SEIS. La couche de silicates fondus est représentée sous la forme d'un anneau jaune entourant le noyau. Crédits : CNES-IPGP.

Référence publication H. Samuel et al., Geophysical evidence for an enriched molten silicate layer above Mars' core, *Nature*, **622**, p712-717 (2023), DOI: [10.1038/s41586-023-06601-8](https://doi.org/10.1038/s41586-023-06601-8).

Vers des liaisons optiques en espace libre pour de la géodésie chronométrique



LÉGENDE : Figure A : Dispositif expérimental déployé au centre d'opération ballon d'Aire sur Adour. L'encadré montre le coin de cube avec les 4 balises laser permettant de maintenir le terminal optique pointé dans la direction du coin de cube.

Des chercheurs du CNRS (LNE-SYRTE) et du CNES ont établi une liaison optique via un rétro-rélecteur aérien (ballon captif à 300 m d'altitude) permettant des transferts de fréquence avec une stabilité de 8×10^{-19} . L'expérience inclut un terminal sol pour pointer le ballon, compenser la turbulence et mesurer la phase du signal optique. Le segment aéroporté comprend un coin de cube et 4 balises laser pour maintenir l'alignement. Après compensation du bruit de phase, la stabilité obtenue est comparable aux meilleures horloges atomiques (incertitudes relatives de fréquence de 10^{-18}). Déployée au centre d'opération ballon d'Aire sur Adour, cette expérience est une première étape vers des comparaisons d'horloges sur de courtes distances via un relais à basse altitude, voire sur des centaines de kilomètres via une plateforme stratosphérique à 20 km d'altitude. Facilement déployable et transportable, cette technique permet des mesures de différences de géopotential de l'ordre du centimètre. Utilisant le décalage gra-

vitational pour mesurer des différences de potentiel géodésique, elle est compétitive et complémentaire des meilleures techniques de géodésie spatiale (CHAMP, GRACE, GRACE FO) et pourrait permettre des expériences de physique fondamentale.

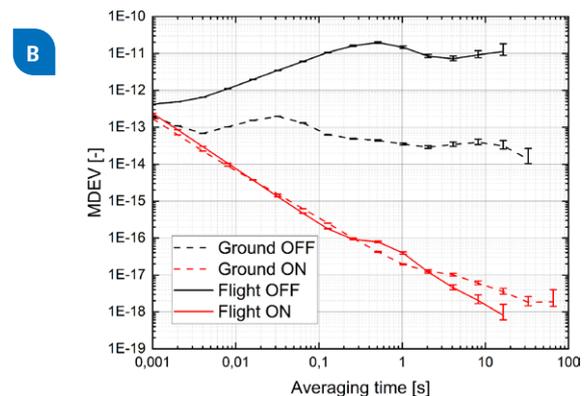


Figure B : Evolution de la stabilité en fréquence du lien optique en fonction de la durée de moyennage suivant que la compensation de phase est activée ou non. Crédits : SYRTE-CNES.

Rôle du CNES

Le CNES participe à ces activités de démonstration de transfert de fréquence en espace libre à travers ses ingénieurs et son centre d'opération ballon d'Aire sur Adour, en finançant des études de R&T, des bourses de thèses et en soutenant les scientifiques français à travers son programme d'Appel à Proposition de Recherche.

Référence publication N. Maron et al., Free space optical link to a tethered balloon for frequency transfer and chronometric geodesy, *Opt. Express*, **32**, p4267-4276 (2024), DOI: [10.1364/OE.511244](https://doi.org/10.1364/OE.511244).

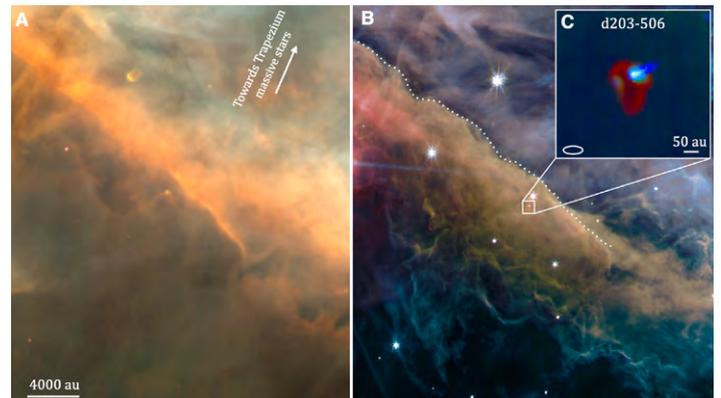
Le rôle du rayonnement des étoiles massives mis en évidence dans la formation des systèmes planétaires

La plupart des étoiles peu massives se forment dans des amas d'étoiles, au sein desquels il existe également des étoiles massives qui irradient dans l'ultraviolet lointain. Les modèles théoriques prédisent que ce rayonnement a une influence importante sur les disques proto planétaires entourant les étoiles de faible masse et influant sur la formation des systèmes planétaires.

En combinant des données multi longueur d'onde dans l'infrarouge (JWST), le submillimétrique (ALMA) et le visible (Hubble), une équipe internationale dirigée par des scientifiques français a observé un système stellaire de la nébuleuse d'Orion et dans lequel le disque protoplanétaire était irradié par des étoiles massives. Ils ont pu mettre en évidence et quantifier l'effet de ce rayonnement ultraviolet lointain sur le taux de perte de masse dans le disque. Ils ont montré que ce processus était suffisamment efficace pour supprimer le gaz dans le disque proto planétaire en moins d'1 million d'années, empêchant la formation de planètes géantes telles que Jupiter. Ce résultat vient confirmer les modèles théoriques de formation des planètes sous l'influence des étoiles massives.

Rôle du CNES

Le CNES supporte les activités d'exploitation scientifique de la mission JWST à travers son programme d'Appel à Proposition de Recherche (APR). Les scientifiques français qui ont mené cette étude sont soutenus par ce programme.



LÉGENDE : A : Image de la Bar d'Orion située dans la nébuleuse d'Orion obtenue par le Hubble Space Telescope. B : Même région imagée par le James Webb Space Telescope. La ligne pointillée délimite le front d'ionisation qui sépare la zone où le gaz est complètement ionisé (partie supérieure droite de l'image) de la zone où le gaz est neutre. C : zoom sur le système protoplanétaire d203-506 obtenu par l'instrument NIRCam. Crédits : A : NASA/STScI/Rice Univ./C.O'Dell et al. ; B, C : O. Berné et al.

Référence publication

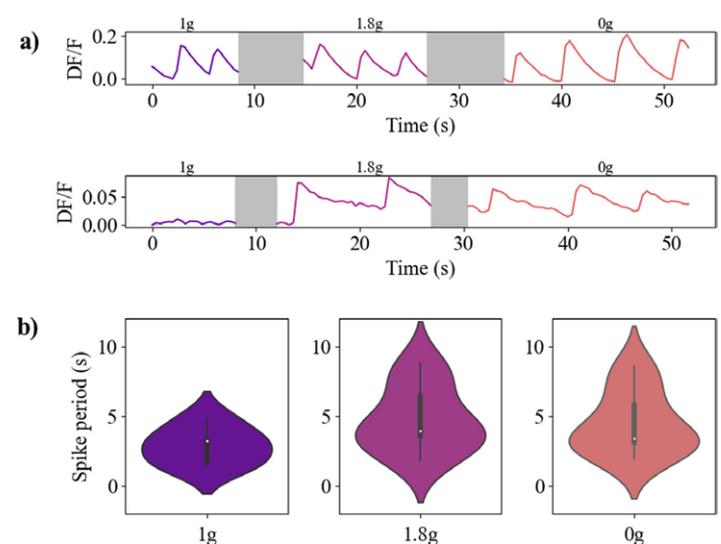
O. Berné et al., A far-ultraviolet-driven photoevaporation flow observed in a protoplanetary disk, *Science*, **383**, p988-992 (2024), DOI: [10.1126/science.adh2861](https://doi.org/10.1126/science.adh2861).

Influence de la gravité sur le fonctionnement des neurones

Les astronautes montrent parfois des difficultés cognitives et locomotrices au début des vols spatiaux. Ces problèmes, liés au fonctionnement cérébral, peuvent avoir des origines multiples. Pour les étudier, il faut utiliser des systèmes simplifiés de neurones en culture. Les neurones communiquent par des signaux électrochimiques rapides, détectables par des mesures de courant électrique ou de concentration en ions calcium. Les auteurs ont utilisé cette méthode avec des neurones contenant une sonde fluorescente, dont l'intensité augmente avec la concentration de calcium. Pour induire des changements de gravité, ils ont placé des cultures de neurones dans des systèmes de microfluidique et mesuré la fluorescence. Ce dispositif a volé lors d'une campagne de vol parabolique organisée par le CNES. Les données préliminaires montrent que les neurones réagissent aux changements de gravité. Ce travail pourrait permettre de développer de nouveaux dispositifs expérimentaux pour travailler en vol sur des cultures cellulaires et de comprendre comment les neurones détectent les changements gravitaires, potentiellement par des systèmes de détection des modifications de pression.

Rôle du CNES

Ce travail résulte de la collaboration de deux équipes de recherche financées par le CNES dans les domaines des sciences de la vie et de la physique. Le dispositif a volé lors d'une campagne de vol parabolique organisée par le CNES.



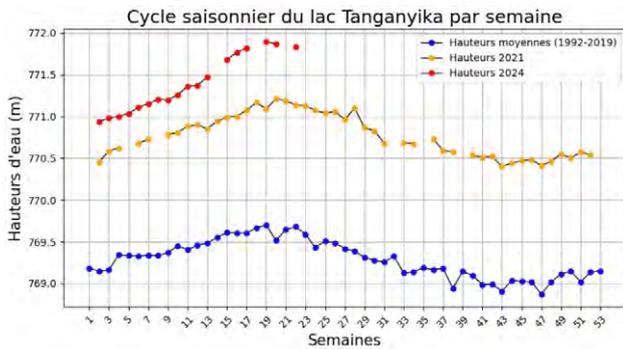
LÉGENDE : Activités des neurones pendant les vols paraboliques. a) Fluorescence du calcium imagée pendant les vols paraboliques pour un neurone actif pendant la phase 1g (courbe du haut) et pour un neurone activée pendant la phase 1.8g uniquement. b) Densité de probabilité et répartition des données de la période d'oscillation de l'activité neuronale. L'effet de l'hypergravité et de la microgravité sur l'activité neuronale est clairement visible. Crédits : P-E. Lecoq et al.

Référence publication

P-E. Lecoq et al., Influence of microgravity on spontaneous calcium activity of primary hippocampal neurons grown in microfluidic chips, *npj Microgravity*, **10**, p15 (2024), DOI : [10.1038/s41526-024-00355-x](https://doi.org/10.1038/s41526-024-00355-x).

Montée record du niveau des lacs en Afrique de l'Est en 2024 : une vraie menace pour les populations locales

Les mesures altimétriques fournies par la base de données Hydroweb.next montrent que depuis 2019-2020, la plupart des grands lacs d'Afrique de l'Est connaissent une augmentation significative de leur niveau d'eau par rapport à leur niveau moyen sur la période 1992-2023, alors que des crises majeures ont récemment affecté les populations vivant autour de ces grands lacs.



LÉGENDE : Signal saisonnier de la hauteur d'eau du lac Tanganyika par semaine de l'année 2024, où l'on constate que les hauteurs moyennes mesurées en 2024 (en rouge) atteignent des niveaux record par rapport aux années précédentes (précédent record 2021 en jaune ; période de référence 1992-2019 en bleu).

Crédits : P-G. Gbetkom.

Une équipe de scientifiques toulousains a réalisé une étude dont les résultats sont alarmants pour les quatre plus grands lacs de cette région

(Malawi, Tanganyika, Turkana et Victoria). Les niveaux d'eau observés en janvier et en février 2024 étaient les plus élevés jamais enregistrés depuis 1992. Sur les lacs Tanganyika et Victoria, les niveaux étaient, en février 2024, déjà supérieurs aux maximums enregistrés lors des années records (2019/2020), alors même que les maximums sont attendus autour de fin mai-début juin pour ces deux lacs. Quant au lac Turkana, les niveaux d'eau début 2024 étaient bien supérieurs aux valeurs de l'année 2023 (+70 cm en janvier 2024, +80 cm en février 2024), qui était déjà l'année record sur la période de référence. Le niveau maximum pour ce lac est habituellement attendu en novembre.

L'équipe du LEGOS a ainsi mis en place un suivi quasi-opérationnel de l'évolution des niveaux d'eau dans ces régions et fournit des bulletins de surveillance hebdomadaires.

Rôle du CNES

Le CNES a développé la plateforme opérationnelle Hydroweb.next grâce au programme préparatoire SWOT-aval et à l'infrastructure de données et de services THEIA de DataTerra. Son ambition est de centraliser un maximum de données satellitaires, de modèles et de données in situ pour les experts en hydrologie. Les séries temporelles des niveaux d'eau sont produites par le LEGOS et CLS.

Référence publication

P-G. Gbetkom et al., *Lake Tanganyika basin water storage variations from 2003–2021 for water balance and flood monitoring*, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, **34**, (2024), DOI : [10.1016/j.rsase.2024.101182](https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101182).

Confirmation de signaux de gravité pré-sismiques lors de méga-séismes profonds

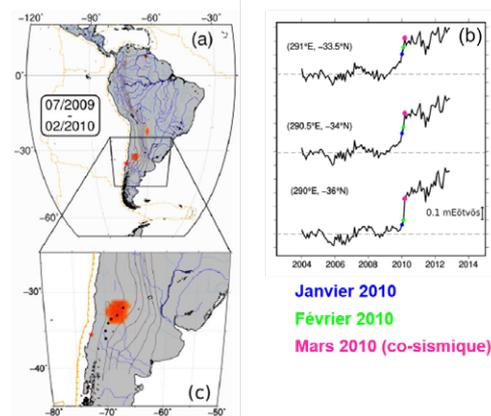
Le rôle des processus de subduction profonds reste mal compris dans la survenue des méga-séismes.

Des scientifiques français ont analysé les variations spatio-temporelles des gradients de gravité de la Terre entre 2003 et 2014, dérivés des modèles du géoïde GRACE, autour de la zone de rupture du séisme de magnitude Mw 8.8 survenu en 2010 au Chili.

Leur étude révèle un signal de grande amplitude, augmentant progressivement au cours des 3 mois précédant le séisme, au nord de la zone de l'épicentre. Equivalent à une diminution de 60 km³ de stockage d'eau sur 2 mois, ce gradient de gravité n'a pas pu être expliqué par des flux hydrologiques en surface ou autres artefacts. Les scientifiques attribuent plutôt son origine à des redistributions de masse sur le côté continental de la zone de subduction, causées par une déformation en extension de la plaque en profondeur, associée à une libération de fluides à grande échelle.

Ces résultats soulignent l'importance d'accéder à la variation temporelle du champ de gravité terrestre grâce aux satellites, permettant de sonder les redistributions lentes de masse en profondeur et de fournir de nouvelles informations essentielles sur les processus dynamiques à l'œuvre dans les systèmes de subduction, et pour mieux comprendre le cycle sismique dans son ensemble.

A la suite de cette étude remarquable, l'Institut de France a attribué le Grand Prix scientifique 2023 de la Fondation Simone et Cino Del Duca à Isabelle Panet (IPGP/IGN).



LÉGENDE : Les figures (a) et (c) montrent en orange la zone d'apparition d'un gradient de gravité supérieure à 0,1 mEotvos ($10^{-13} \text{m/s}^2/\text{m}$) dans les mois précédant le séisme de Maule (Chili) en mars 2010. La figure (b) montre le saut des évolutions mensuelles du gradient de gravité dans les mois précédant le séisme à 3 latitudes différentes. Crédits : M. Bouih et al.

Rôle du CNES

Les modèles de champ de gravité sont produits par le CNES dans le cadre de l'International Gravity Field Service (IGFS) et accessibles via le pôle de données et de services FormaTerre de DataTerra. Cette étude a bénéficié d'un cofinancement de thèse ainsi que de budgets d'accompagnement scientifique (APR).

Référence publication

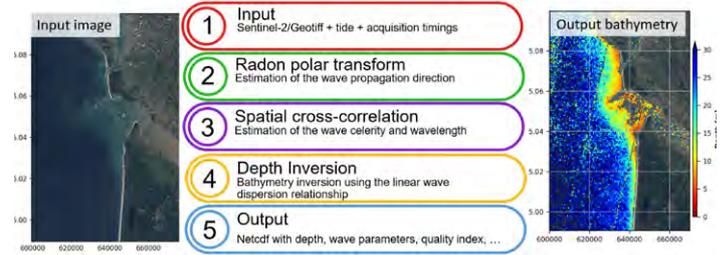
M. Bouih et al., *Deep mass redistribution prior to the 2010 Mw 8.8 Maule (Chile) Earthquake revealed by GRACE satellite gravity*, *Earth and Planetary Science Letters*, **584**, (2022), DOI : [10.1016/j.epsl.2022.117465](https://doi.org/10.1016/j.epsl.2022.117465).

La bathymétrie des zones côtières mondiales révélée par les technologies spatiales

Compte tenu des pressions à la fois anthropiques et induites par le changement climatique que subissent les zones côtières, il est urgent de mieux connaître leur évolution morphologique pour des objectifs de gestion environnementale. Il a été donc jugé important pour les équipes du LEGOS, du CNES et du SHOM de disposer d'un outil de télédétection par satellite, rapide et efficace, pour réaliser cette estimation de la bathymétrie côtière pour n'importe quel littoral dans le monde.

Jusqu'à présent, les méthodes satellitaires de dérivation de la bathymétrie reliaient principalement la réponse radiométrique à une profondeur d'eau connue comme avec SPOT, Landsat et Sentinel.

Pour ces travaux, le délai entre les différentes bandes de couleur de Sentinel-2 a été utilisé pour estimer les propriétés statiques et dynamiques des vagues, puis calculer une profondeur en utilisant la théorie de la dispersion linéaire des vagues. La chaîne de traitement d'observations côtières S2Shores (Satellites to Shores), à partir de données satellites optiques, a ainsi été mise en place grâce à ce partenariat public-public. Les bathymétries obtenues sont qualifiées selon les normes de l'Organisation Hydrographique Internationale ce qui permet une utilisation directe par les nombreux utilisateurs et opérateurs de la zone côtière.



LÉGENDE : Schéma de la méthode S2Shores, de l'image satellite initiale à l'identification de la bathymétrie. Crédits : R. Almar et al.

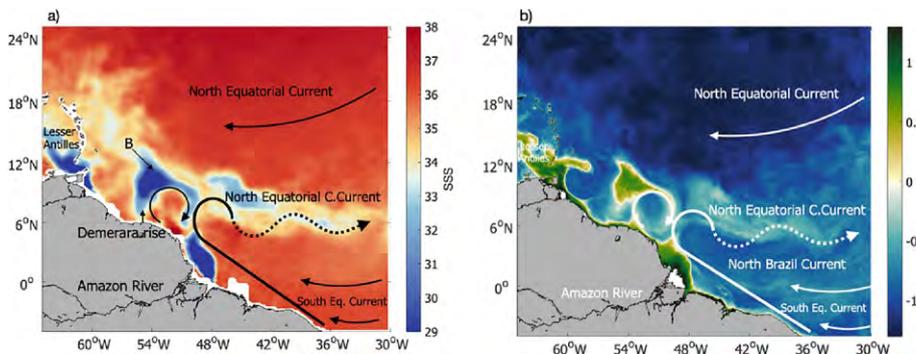
Rôle du CNES

Dans le cadre de cette activité, le CNES a été actif aussi bien au niveau technique (ex. conception de la chaîne de traitement, études de R&T) que programmatique (coordination inter-organismes).

Référence publication

R. Almar et al., *Satellite-derived bathymetry from correlation of Sentinel-2 spectral bands to derive wave kinematics: Qualification of Sentinel-2 S2Shores estimates with hydrographic standards*, *Coastal Engineering*, **189**, (2024), DOI: [10.1016/j.coastaleng.2024.104458](https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2024.104458).

Les mesures spatiales de salinité de l'océan montrent de nouvelles trajectoires du panache de l'Amazon



LÉGENDE : Description de la zone d'étude et des principaux courants océaniques (flèches) au large de la côte Nord de l'Amérique du Sud. a) Carte de la salinité de surface de la mer (SSS) et b) Carte de la chlorophylle-a le 15 septembre 2021. Les données de salinité de surface de la mer et de Chlorophylle-a proviennent respectivement de Boutin et al. (2022) et de Collecte Localisation Satellite (CLS). La lettre B indiquée sur la carte a) fait référence au bassin d'eau douce identifié dans l'étude. Crédits : L. Olivier et al.

Chaque seconde, le fleuve Amazone déverse 200 000 m³ d'eau douce dans l'Océan Atlantique tropical, soit 20% des apports en eau douce mondiaux. Il apporte des nutriments nécessaires au développement de la vie marine, et crée un fort puits de carbone local. Pendant l'été, les courants marins entraînent ce panache vers l'Afrique, à l'est. Cependant, en naviguant dans l'Océan Atlantique tropical nord en août-septembre 2021, le voilier Tara a observé une partie du panache de l'Amazon vers les Caraïbes, au nord.

En combinant les données récoltées à bord de Tara et des données satellitaires de salinité de surface à haute résolution temporelle des missions SMOS et SMAP, une étude récente a apporté une compréhension plus détaillée des chemins empruntés par le panache.

Une voie d'eau douce jusqu'alors très peu documentée a ainsi été identifiée, présentant une trajectoire vers le Nord en fin d'été, en complément de celle vers l'Est créée par les courants géostrophiques. Ainsi, les anneaux du Brésil, gros tourbillons de plus de 200 km de diamètre, fractionnent le panache en plus petits morceaux et les

entraînent en dehors des courants principaux. Leur salinité étant très faible, ils restent peu profonds et protégés des eaux plus salées par une forte stratification. Ils peuvent ainsi être facilement transportés par les vents dominants, remontant vers les Caraïbes.

Les eaux douces et stratifiées influent sur les échanges air-mer et sur l'intensité des cyclones tropicaux. Cette étude démontre l'apport direct d'eau douce en pleine saison cyclonique vers les Caraïbes, une zone souvent impactée par ces phénomènes extrêmes.

Rôle du CNES

Le CNES a soutenu financièrement cette étude à travers son programme d'Appel à Proposition de Recherche (APR).

Référence publication

L. Olivier et al., *Late summer northwestward Amazon plume pathway under the action of the North Brazil Current rings*, *Remote Sensing of Environment*, **307**, (2024), DOI: [10.1016/j.rse.2024.114165](https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114165).



- » 12 mars 2024 : Renouvellement du [Comité des Programmes Scientifiques \(CPS\)](#)
- » 3 mai 2024 : Lancement de Chang'e 6/DORN ; alunissage dans la nuit du 2 au 3 juin 2024
- » 28 mai 2024 : Lancement de la mission EarthCARE
- » Juin 2024 : Campagne de lâchers de ballons TRANSAT 2024
- » 22 juin 2024 : Lancement de la mission sino française SVOM
- » 3 juin - 25 septembre 2024 : Campagne [Appel à Proposition de Recherche \(APR\)](#) pour l'année 2025
- » 1^{er} juillet 2024 : Mise en ligne des [rapports des groupes de travail du SPS](#)
- » Juillet 2024 : Vol inaugural d'Ariane 6, Kourou (prévu le 9 juillet)
- » 13 - 21 juillet 2024 : 45^e [Assemblée Scientifique du COSPAR](#), Busan, Corée du Sud
- » 2-7 septembre 2024 : Symposium «[30 Years of Progress in Radar Altimetry](#)», Montpellier, France
- » 8-10 octobre 2024 : [Séminaire de prospective Scientifique \(SPS\)](#), Saint Malo, France
- » 14-18 octobre 2024 : 75^e [Congrès International d'Astronautique \(IAC\)](#), Milan, Italie

↓ **PARTENAIRES**

LES RÉSULTATS SCIENTIFIQUES PRÉSENTÉS DANS CETTE NEWSLETTER ONT ÉTÉ OBTENUS EN COLLABORATION AVEC LES PARTENAIRES NATIONAUX SUIVANTS :

Observation de la Terre :

ACRI-ST, CNRS, Ecole Polytechnique, ENS, ENSG-Géomatique, Geosciences Rennes, GET, Hydro Matters, IGN, IPGP, IRD, LACy, LEGOS, LMD, LOCEAN-IPSL, Météo-France, MNHN, SHOM, Sorbonne Université, Station biologique de Roscoff (ECOMAP), UAR IMAGO, Université de La Réunion, Université de Paris, Université de Rennes, Université de Toulouse, UPS.

Sciences de l'Univers :

ACRI-ST, CNRS, ESPCI Paris, IAS, INSA, Inserm, IPAG, IPGP, IRAM, IRAP, ISAE-SUPAERO, ISMO, LERMA, LNE-SYRTE, Neurosciences Paris Seine IBPS, Observatoire de Paris, PMMH, Sorbonne Université, Université de Grenoble Alpes, Université de Toulouse, Université Paris Cité, Université Paris-Saclay, Université PSL.

