



Nous sommes heureux de vous présenter la troisième édition de la newsletter scientifique du CNES !

Le Centre National d'Études Spatiales (CNES) a le plaisir de vous retrouver dans ce nouveau numéro, où nous mettons en lumière les dernières avancées et découvertes issues de nos projets. À travers une sélection d'articles, cette édition vous plonge dans les domaines fascinants **des sciences de l'Univers, de l'exploration spatiale et de l'observation de la Terre depuis l'espace.**

Dans le cadre de son engagement en faveur de la recherche scientifique, le CNES a organisé du **8 au 10 octobre 2024 le séminaire de prospective scientifique (SPS)** à Saint-Malo. Cet événement, qui se tient tous les cinq ans, est un moment crucial pour réunir la communauté scientifique spatiale française et dresser un bilan des recherches menées dans le domaine spatial. Ce bilan a permis de souligner les avancées majeures réalisées par la communauté scientifique, soutenue par le CNES, dont l'une des missions principales est de promouvoir l'excellence scientifique française. Ce séminaire a également été l'occasion de mettre en lumière l'importance des projets et missions auxquels le CNES contribue, en partenariat avec ses collaborateurs nationaux et internationaux, et qui génèrent des résultats scientifiques **de premier plan** tout en renforçant la visibilité de la science française à l'échelle internationale. Enfin, les grandes orientations de la recherche spatiale pour les cinq prochaines années ont été présentées, traçant ainsi les perspectives et ambitions futures pour la science spatiale en France. Les conclusions du séminaire ont également été partagées à l'international, aux différentes agences spatiales. Le rapport du SPS, en cours de finalisation, est disponible sur le site du CNES.

Nous espérons que cette sélection d'articles vous inspirera et que vous continuerez à suivre de près l'évolution de nos projets !

Bonne lecture !

L'équipe de la newsletter scientifique du CNES

Contact :
NewsSciencesCnes@cnes.fr

Comité de rédaction

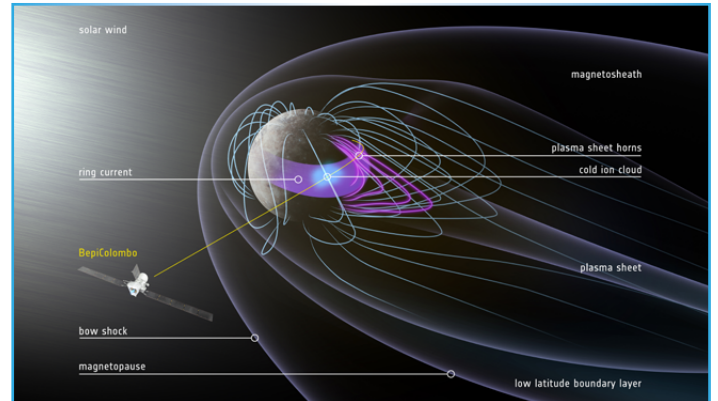
**Martin Boutelier - Maxime Brient - Valérie Frède
Alice Lebreton - Sophie Le Gac - Mioara Manda**

Une nouvelle structure de la magnétosphère de Mercure révélée par la sonde BepiColombo

L'environnement spatial proche de la planète Mercure forme un système complexe qui interagit fortement avec la surface et l'intérieur de la planète. Ces interactions sont les plus intenses observées dans le Système solaire du fait de la proximité de la planète avec le Soleil et de la faiblesse relative de son champ magnétique. C'est un lieu privilégié pour étudier les phénomènes de couplages exosphère – magnétosphère et les processus d'interactions donnant naissance aux différentes populations ioniques de la magnétosphère. L'exploration de la dynamique de la magnétosphère et l'étude des propriétés de ses particules est d'ailleurs l'un des objectifs scientifiques de la sonde euro-japonaise BepiColombo. En utilisant les données acquises durant une trentaine de minutes lors du 3^e survol de la planète le 19 juin 2023 par les instruments Mercury Plasma Particle Experiment, une équipe de recherche internationale a reconstruit une nouvelle image de la magnétosphère de Mercure. Cette structure, similaire à la magnétosphère terrestre, a montré quelques surprises comme la présence d'ions énergétiques piégés autour de Mercure et formant un courant annulaire.

Rôle du CNES

Le CNES a contribué, à travers 8 laboratoires français, à la conception et à la maîtrise d'ouvrage de 6 des 16 instruments de la mission. Il finance également le CDPP (Centre de Données de la Physique des Plasmas) qui met à disposition de la communauté scientifique les données BepiColombo.



LÉGENDE : Illustration de la planète Mercure et de sa magnétosphère. La trajectoire de la sonde BepiColombo est figurée en ligne jaune. La sonde a échantillonné plusieurs régions distinctes de la magnétosphère telles que la magnétopause, les nuages d'ions froids ou encore l'anneau de courant révélant ainsi la structure de la magnétosphère. Credits : ESA.

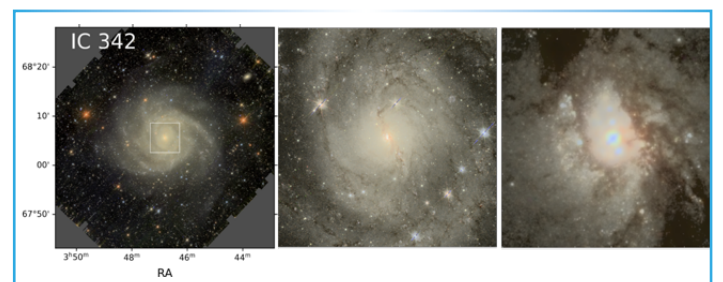
Référence publication : L.Z. Hadid et al., Mercury's plasma environment after BepiColombo's third flyby, *Commun Phys*, 7, 316 (2024), [DOI: 10.1038/s42005-024-01766-8](https://doi.org/10.1038/s42005-024-01766-8).

Plongée au cœur des galaxies voisines avec Euclid

D'après le modèle standard de formation de l'Univers le plus couramment admis, les galaxies se forment par accréation successive de systèmes de plus faible masse. Lors de ces fusions, le disque d'étoiles de la galaxie la moins massive disparaît, laissant seulement quelques traces dans le halo d'étoiles de la galaxie la plus massive. Détecter ces traces permet de confirmer le modèle de formation hiérarchique. Certaines ont déjà été mises en évidence dans le groupe local de galaxies, mais les détecter ailleurs est extrêmement difficile à cause de la très faible brillance de surface de ces structures. La mission Euclid, avec son très large champ de vue (0.67 deg²), son optique ultra stable et sa réponse impulsionnelle parfaitement déterminée, doit permettre d'améliorer significativement l'étude des galaxies proches. En utilisant les données Early Release Observation de six galaxies proches acquises entre août et novembre 2023, une équipe de recherche internationale démontre le potentiel incroyable des données des instruments (*VISible instrument*) et (*Near Infrared Spectro Photometer*) de la mission Euclid pour l'observation d'objets très peu lumineux avec un niveau de détail à l'échelle du parsec pour les galaxies proches, ou encore pour la détermination de l'âge et de la métallicité des galaxies.

Rôle du CNES

Le CNES finance les activités des laboratoires et instituts français travaillant sur les instruments VIS et NISP et assure un rôle important dans le segment sol de la mission.



LÉGENDE : Image RGB de la galaxie IC342 située dans la constellation de la Girafe à une dizaine de millions d'années-lumière. L'image de gauche montre le champ de vue complet Euclid de 0.7°x0.7° tandis que les images du centre et de droite représentent des zooms successifs de 6'x6' et 30''x30'' de la région centrale. Crédits : L.Hunt et al.

Référence publication : L. Hunt et al., Euclid Early Release Observations - Deep anatomy of nearby galaxies, *A&A* (2024), [DOI: 10.1051/0004-6361/202450781](https://doi.org/10.1051/0004-6361/202450781).

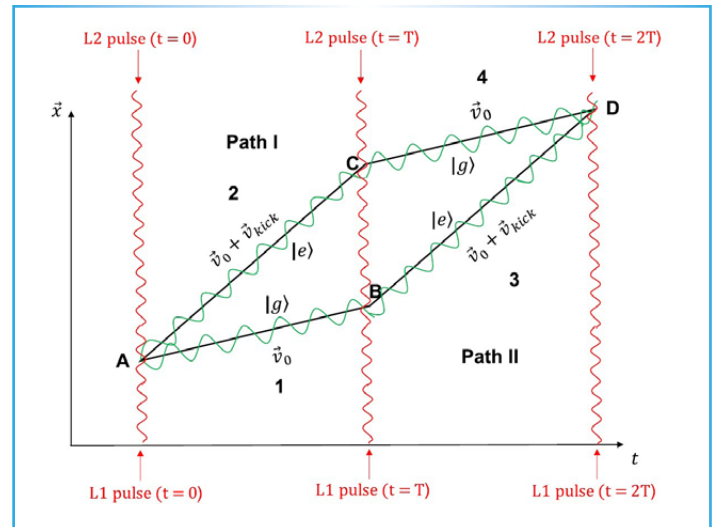
Des interféromètres atomiques pour détecter la matière noire

La relativité générale est l'un des deux piliers de la physique moderne, avec le modèle standard des particules. Elle repose sur le principe d'équivalence d'Einstein, qui dit que tous les objets tombent de la même manière, quelle que soit leur masse. Ce principe a été vérifié avec une grande précision sur Terre et dans l'espace. Cependant, certaines théories qui tentent de combiner la théorie quantique des champs et la relativité générale suggèrent que ce principe pourrait être violé. Ces théories incluent des modèles où des champs scalaires massifs interagissent de manière non uniforme avec le modèle standard. Ces champs pourraient aussi expliquer la matière noire. Dans ces modèles, les oscillations de ces champs à une certaine fréquence pourraient causer des variations dans l'espace et le temps des constantes fondamentales, comme la masse au repos et la fréquence de transition atomique.

Une équipe de chercheurs français du SYRTE¹ a calculé les effets attendus de ces oscillations, en particulier celles de l'axion et du dilaton, dans des expériences classiques testant le principe d'équivalence et en interférométrie atomique. Ils ont montré que deux types d'atomes différents en chute libre seraient accélérés différemment, ce qui produirait une différence de phase dans un interféromètre atomique. Ces différences d'accélération pourraient aussi être détectées par la mission MICROSCOPE, avec une sensibilité 100 fois meilleure que les expériences au sol pour détecter l'axion.

Rôle du CNES

Le CNES soutient cette équipe de recherche à travers le financement du programme national GRAM (Gravitation, Références, Astronomie, Métrologie).



LÉGENDE : Illustration du fonctionnement d'un interféromètre atomique à transition Raman. Au point A, les atomes sont préparés par des pulses laser pour modifier leur état d'énergie interne. Les paquets d'atomes sont ensuite envoyés à travers deux chemins différents. Les lignes noires montrent le chemin atomique parcouru sans perturbation, en vert figure le chemin parcouru en présence d'oscillation sur la masse au repos des atomes. Crédits : J. Gué et al.

Référence publication : J. Gué et al., Violation of the equivalence principle induced by oscillating rest mass and transition frequency, and its detection in atom interferometers, *Phys Rev D*, **110**, 035005 (2024), DOI: [10.1038/s41598-024-61494-5](https://doi.org/10.1038/s41598-024-61494-5).

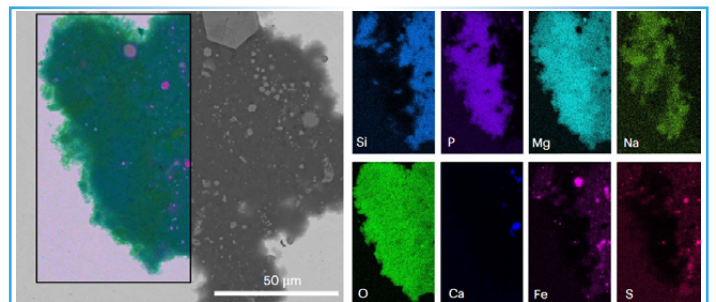
¹- Système de Référence Temps Espace, Observatoire de Paris

De l'hydrate de phosphore oxydé détecté dans les échantillons de Ryugu

Quel est le rôle des astéroïdes dans l'apport de composés organiques aux planètes de type terrestre dans les premiers instants du Système solaire ? C'est à cette question que répond la mission japonaise Hayabusa2 après avoir ramené sur Terre des échantillons de l'astéroïde Ryugu en 2020. Ces échantillons, prélevés à la surface et dans un cratère artificiel, constituent une matière primitive, non altérée par l'environnement terrestre, qui se serait formée dans les premiers millions d'années du Système Solaire. En utilisant l'instrument MicrOmega, un microscope hyperspectral dans le proche infrarouge, une équipe de recherche internationale a mis en évidence la présence de grains de quelques centaines de micromètres riches en hydrate d'ammonium, de magnésium et de phosphore oxydé (HAMP). Ces grains, riches en phosphore dans une forme soluble et réactive, pourraient avoir joué un rôle important dans l'apparition de la matière organique et l'évolution de la biochimie sur Terre lorsque qu'ils se sont dissous dans les océans primitifs de notre planète.

Rôle du CNES

Le CNES a assuré la maîtrise d'ouvrage de l'instrument MicrOmega et a soutenu les scientifiques français pour la fourniture de l'instrument au Japon afin de réaliser des analyses préliminaires de l'ensemble des échantillons de Ryugu.



LÉGENDE : Analyses spectroscopiques d'un fragment de grain riche en hydrate d'ammonium, de magnésium et de phosphore oxydé. Ces analyses montrent que les zones riches en phosphore (P) et en magnésium (Mg) sont pauvres en calcium (Ca), excluant l'apatite. Crédits : C. Pilorget et al.

Référence publication : C. Pilorget et al., Phosphorus-rich grains in Ryugu samples with major biochemical potential, *Nat. Astron.*, (2024), DOI: [10.1038/s41550-024-02366-w](https://doi.org/10.1038/s41550-024-02366-w).

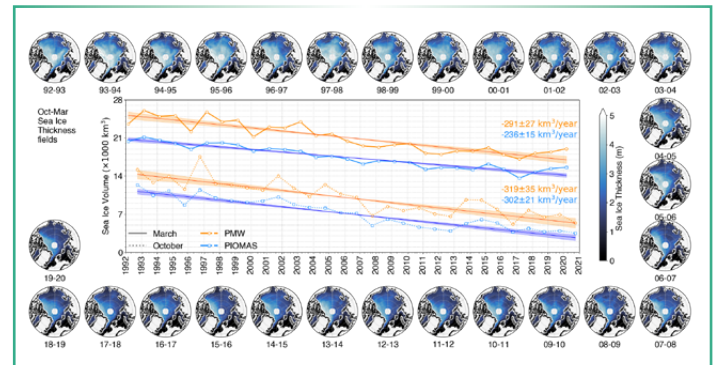


Diminution du volume de la banquise arctique : apport des radiomètres micro-ondes passifs satellitaires

Depuis 1979, les radiomètres micro-ondes satellitaires ont montré le déclin progressif de l'étendue de la banquise arctique, attribué principalement aux émissions de CO₂ anthropiques. Cependant, la simple mesure de la surface de glace ne fournit pas d'informations sur son épaisseur. Les altimètres ont la capacité de déterminer l'épaisseur de la glace de mer mais la couverture spatio-temporelle des observations radar et lidar reste insuffisante. Ainsi l'estimation du volume de la banquise arctique provient exclusivement de simulations numériques, avec une incertitude d'environ 50%. Une équipe internationale de scientifiques a démontré l'apport des observations micro-ondes passives depuis l'espace pour déterminer, avec davantage de précision, l'épaisseur et le volume hivernal de la glace de mer arctique. Grâce à la reconstruction de séries temporelles d'observations micro-ondes satellitaires à l'aide d'un algorithme d'intelligence artificielle, entraîné sur des données lidar d'épaisseur de la glace, les auteurs obtiennent une bonne concordance entre les valeurs obtenues d'épaisseur et de volume de glace et les simulations réalisées au cours des 30 dernières années. Ainsi, l'intégration des données satellitaires utilisant des micro-ondes passives dans les modèles semble primordiale en vue de mieux déterminer l'épaisseur et le volume de la glace de mer arctique.

Rôle du CNES

Le CNES a cofinancé le doctorat de Clément Soriot, au sein du LERMA² dans le cadre de son programme d'Allocations de recherche doctorales et postdoctorales.



LÉGENDE : Déclin du volume de la glace de mer en Arctique entre 1992 et 2020 pour les mois d'octobre et de mars, estimé par des observations satellites micro-ondes (PMW) et par un modèle physique (PIOMAS). Les tendances associées sont indiquées pour les deux sources. Les cartes autour montrent l'épaisseur moyenne hivernale de la banquise arctique estimée par l'étude pour chaque année entre 1992 et 2020. Crédits : C. Soriot et al.

Référence publication : C. Soriot et al., Winter arctic sea ice volume decline: uncertainties reduced using passive microwave-based sea ice thickness, *Scientific Reports* **14**: 21000 (2024), DOI: [10.1038/s41598-024-70136-9](https://doi.org/10.1038/s41598-024-70136-9).

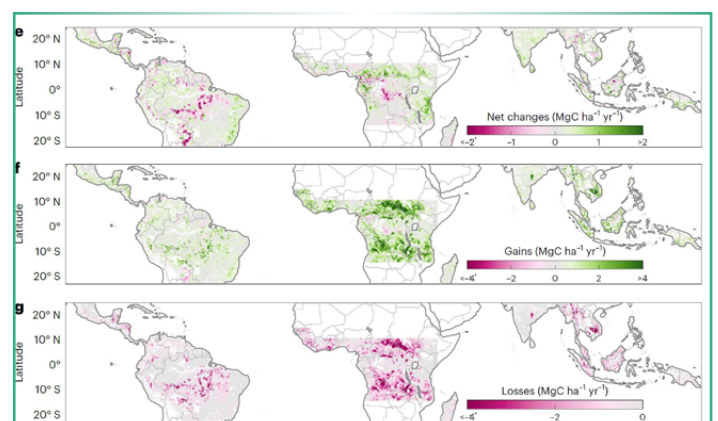
²- Laboratoire d'Etudes du Rayonnement et de la Matière en Astrophysique et Atmosphères

Le cycle du carbone et les écosystèmes terrestres en région tropicale soumis à des changements importants

Alors que les écosystèmes terrestres jouent un rôle majeur dans la régulation globale du cycle du carbone, certains processus et leur dynamique restent encore mal compris. Une des variables représentant l'évolution de la biomasse aérienne carbonée est l'AGC (AboveGround live biomass Carbon). Dans cette étude, des chercheurs ont utilisé des données spatiales pour déterminer les variations de l'AGC dans la bande tropicale, qui concentre à elle seule plus de 50% du taux global d'AGC, la rendant ainsi déterminante dans l'équilibre global du cycle du carbone. En mesurant quotidiennement l'épaisseur optique de la végétation (L-VOD), en lien avec l'humidité des sols, la mission Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS), fournit un indicateur précieux de la dynamique spatio-temporelle de l'AGC. En associant des données micro-ondes (SMOS), optiques (Landsat) et un modèle numérique, les auteurs ont pu dresser un bilan précis des sources et des puits d'AGC dans toute la zone tropicale entre 2010 et 2020. Certains pixels montrant une corrélation entre perte et gain d'AGC suggèrent par exemple que les feux de biomasse ne détruisent pas complètement l'écosystème de la végétation sous-terrine, capable de se régénérer rapidement. Ainsi la dynamique temporelle de l'AGC est variable d'une région à l'autre.

Rôle du CNES

Cette étude a bénéficié de financements au travers du programme d'Appel à Propositions de Recherche (APR) du CNES pour le produit L-VOD de la mission SMOS et les travaux de l'unité ISPA³.



LÉGENDE : Moyennes annuelles des variations spatio-temporelles de la biomasse aérienne carbonée (AGC) en bilan net (a, en haut), gains (b, au centre) et pertes (c, en bas). La résolution des cartes est de 0.25°, pouvant masquer l'hétérogénéité de certains phénomènes à échelle plus fine. Crédits : Feng et al.

Référence publication : Y. Feng et al., Global patterns and drivers of tropical aboveground carbon changes, *Nat. Clim. Chang.* **14**, 1064–1070 (2024), DOI: [10.1038/s41558-024-02115-x](https://doi.org/10.1038/s41558-024-02115-x).

³- Interactions Sol Plante Atmosphère, INRAE

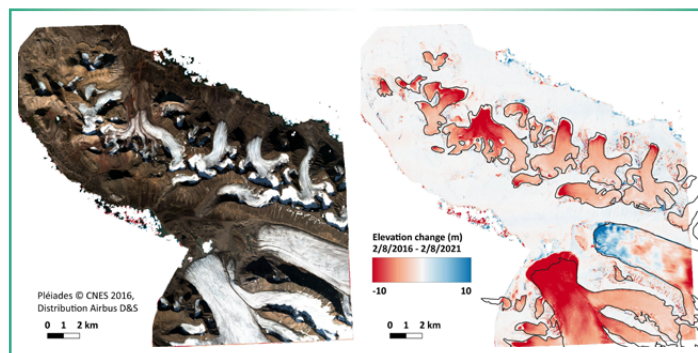


Les satellites Pléiades révèlent à haute résolution les évolutions des glaciers du globe

Le suivi des glaciers est essentiel pour documenter les impacts du réchauffement climatique. Pourtant seulement 1% des glaciers sont observés sur le terrain. Lancé en 2016, le Pléiades Glacier Observatory (PGO) vise à faciliter l'accès de la communauté des glaciologues à l'imagerie stéréoscopique des satellites Pléiades et aux modèles numériques de terrain (MNT) dérivés sur 140 sites glaciaires à travers le monde. Ces MNT sont en accès libre sur la plateforme [Theia de DataTerra](#). Depuis 2016, les acquisitions sont répétées tous les 5 ans afin d'établir des cartes très résolues de changement d'altitude, avec une précision altimétrique de quelques décimètres, comme illustré. Une équipe internationale a validé cette précision, sur des terrains stables autour de glaciers au Canada et en Norvège, en comparant les MNT Pléiades avec des MNT Lidar très précis et quasi synchrones. Ainsi le PGO permet de suivre finement et régulièrement l'état de santé de près de 7 000 glaciers à travers le monde. Ces résultats montrent aussi que cet échantillon, correspondant à 3% de la surface englacée sur Terre, est assez représentatif des plus de 200 000 glaciers du globe.

Rôle du CNES

En partenariat avec le Polar Space Task Group (Organisation Mondiale de la Météorologie), le CNES finance l'acquisition des couples stéréoscopiques et facilite via DINAMIS les interactions avec Airbus Defence and Space, opérateur des satellites Pléiades. L'équipe scientifique bénéficie également d'un financement à travers le programme d'Appel à Propositions de Recherche (APR) du CNES depuis 2021.



LÉGENDE : Image Pléiades (2 août 2016), à gauche, et carte de variation d'altitude entre 2016 et 2021 des glaciers de la Péninsule de Brøggerhalvøya au Svalbard (79°N, 12°E), à droite. Cette carte illustre le fort amincissement de la majorité des glaciers mais également la complexité des évolutions glaciaires avec l'épaississement (en bleu) du front d'un des glaciers dû à son accélération transitoire. Crédits : E. Berthier, CNRS-LEGOS.

Référence publication : E. Berthier et al., *The Pleiades Glacier Observatory: high resolution digital elevation models and ortho-imagery to monitor glacier change*, *The Cryosphere*, **18** (12), 5551–5571, (2024), [DOI: 10.5194/tc-18-5551-2024](https://doi.org/10.5194/tc-18-5551-2024).

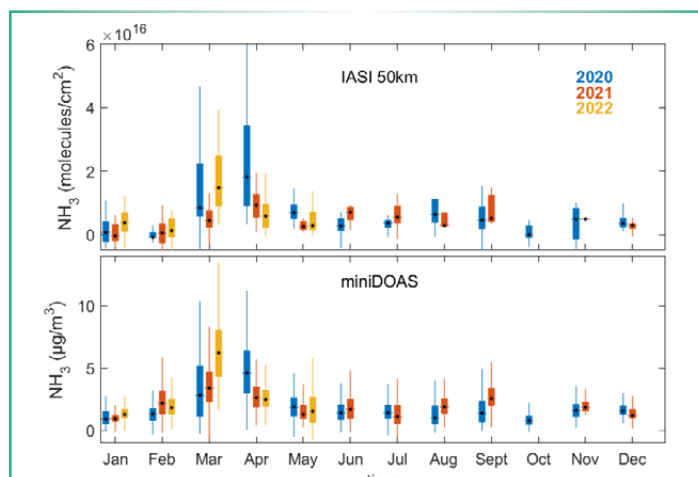
L'ammoniac à Paris observé par satellite (IASI) et par mesures au sol (miniDOAS)

L'ammoniac (NH_3) est un polluant atmosphérique capable de former des particules fines nocives pour la santé. Il est principalement émis par le secteur agricole et de plus en plus par le trafic dans les zones urbaines. Une équipe de recherche européenne a analysé 2 ans et demi d'observations de NH_3 issues d'instruments de télédétection au sol (MiniDOAS) et grâce à l'instrument IASI à bord de la mission MetOp. C'est la première fois que les variabilités temporelles des concentrations de NH_3 à Paris sont quantifiées sur une période aussi longue. Les résultats montrent un bon accord entre les valeurs des concentrations de NH_3 mesurées depuis le sol (à Paris) et par satellite (IASI). Les concentrations mesurées au printemps, jusqu'à 2 à 3 fois plus élevées que pendant les autres saisons, indiquent que les activités agricoles ont un impact sur les variabilités saisonnières et mensuelles de NH_3 à Paris. Les émissions dues au trafic routier sont même perceptibles dans les cycles hebdomadaires de NH_3 lorsque les émissions liées à l'agriculture sont faibles.

Les auteurs soulignent qu'il est nécessaire de poursuivre la surveillance à long terme du NH_3 dans les zones urbaines afin de mieux estimer les émissions provenant du trafic routier et leur impact sur la formation de particules secondaires.

Rôle du CNES

Le CNES finance l'équipe scientifique du LATMOS⁴ à travers son programme d'Appel à Propositions de Recherche (APR) ainsi qu'une demi-bourse de thèse dans le cadre de son programme d'Allocations de recherche doctorales et postdoctorales.



LÉGENDE : Concentrations mensuelles de NH_3 mesurées à Paris selon l'année des mesures (2020, 2021 et 2022), issues de IASI (50 km autour de Paris) et de l'instrument miniDOAS situé sur la plateforme QUALAIR au centre-ville de Paris. Crédits : C. Viatte et al.

Référence publication : C. Viatte et al., *Measurement report: Ammonia in Paris derived from ground-based open-path and satellite observations*, *Atmos. Chem. Phys.*, **23**, 15253–15267, (2023), [DOI: 10.5194/acp-23-15253-2023](https://doi.org/10.5194/acp-23-15253-2023).

⁴- Laboratoire Atmosphères, Observations Spatiales



- » 30 octobre-15 novembre 2024 Vol d'essai [BalMan](#) au CSG
- » 19 novembre 2024 Sortie du [2^e livre bleu des thèses](#), promotion 2019, Edmée Chandon
- » 3 Décembre 2024 Mise à disposition du [rapport du Séminaire de Prospective Scientifique](#) (SPS)
- » 1^{er} décembre 2024 5^e survol de Mercure par BepiColombo
- » 6 novembre 2024 [Ouverture de GEODES](#), la plateforme d'information et d'accès aux données d'observation de la Terre du CNES
- » 2-6 décembre 2024 [IASI Conference2024](#), Nancy, France
- » 5 décembre 2024 Succès du lancement de la mission Copernicus Sentinel 1C par Vega C
- » 8 janvier 2025 6^e survol de Mercure par BepiColombo
- » 27-28 janvier 2025 [10 ans d'AERIS](#), Cité des sciences, Paris
- » Mars 2025 Survol de Mars et Phobos par la sonde Hera

↓ PARTENAIRES

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

Observation de la Terre :

Bordeaux Sciences Agro, CEA, CNRS, Estellus, Grenoble INP, IGE, INRAE, IPSL, IRD, ISPA, LATMOS, LEGOS, LERMA, LOCEAN, LSCE, MNHN, Observatoire de Paris, Sorbonne Université, Université de Toulouse, Université Grenoble Alpes, Université PSL, Université Toulouse III- Paul Sabatier, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines.

Sciences de l'Univers :

AIM, Aix-Marseille Université, APC, CEA, CNRS, CPPM, Ecole polytechnique, IAP, IAS, IN2P3, Institut Polytechnique de Paris, IP2I Lyon, IPSL, IRAP, ISAE-SUPAERO, IUF, Laboratoire Lagrange, LAM, LATMOS, LNE, LPC2E, LPP, Observatoire Astronomique de Strasbourg, Observatoire de la Côte d'Azur, Observatoire de Paris, SMIS-Soleil, Sorbonne Université, SYRTE, Université Claude Bernard Lyon 1, Université Côte d'Azur, Université de Paris, Université de Strasbourg, Université de Toulouse, Université d'Orléans, Université Paris Cité, Université Paris-Saclay, Université PSL, Université Toulouse III- Paul Sabatier.

