

Rapport d'activités en géodésie

Activités 2025

Services géodésiques	2
GNSS	2
DORIS	2
GENESIS	3
ITRF2020	3
Recherche	4
Modèle de déformation pour Mayotte	4
Stabilité des mesures marégraphiques et GNSS sur le site d'étalonnage de Corse	4
Définition du système de référence lunaire et réalisation du repère associé	5
Défi optique de la télémétrie laser Lune bicolore à la station MÉO	6
Gravimétrie spatiale et océanographie : librairie scientifique Python Lenapy	7
Géodésie et traitement GNSS : boîte à outils Python <i>geodezyx</i>	7
Institutions	8
Bureau des Longitudes (BDL)	8
Activités au sein de l'Association Internationale de Géodésie (IAG)	8
United Nations Global Geodetic Centre of Excellence (UN-GGCE)	8
Thèses en géodésie	8
Prix de thèse du CNFGG, section 1	8
Thèses soutenues (oct. 2024 - janv. 2026)	9
Quelques thèses en géodésie en cours	9

Services géodésiques

GNSS

Contact : Samuel Nahmani et Arnaud Pollet (équipe de géodésie IGN-IPGP)

L'année a été marquée par les travaux conduits dans le cadre du consortium **SPOTGINS**, avec la publication de *Monitoring the Earth's deformation with the SPOTGINS series* (Santamaría-Gómez et al., 2025) et la présentation de *SPOTGINS: A New Global GNSS Daily iPPP Solution Derived Using GINS software* à l'EGU 2025 (Boy et al., 2025). Ces travaux contribuent à la consolidation d'une série globale de solutions GNSS journalières homogènes.

Sur le volet troposphérique GNSS, plusieurs contributions ont porté sur la qualité, la cohérence et l'homogénéité des estimations de ZTD. Cela inclut notamment la présentation de *Consistency and Homogeneity of ZTD Estimates from IGS Repro3* à l'EGU 2025 (Breton et al., 2025), puis sa poursuite à l'IAG Scientific Assembly. En parallèle, une autre contribution collective, *A look at ground-GNSS ZTD trends for climate models* (Santos et al., 2025), a porté sur l'analyse des tendances de ZTD GNSS dans une perspective climatique. À l'interface entre géodésie, télédétection et volcanologie, une collaboration a donné lieu à la présentation de *Integrating geodetic remote sensing with multi-satellite observations from polar-orbiting and geostationary sensors for monitoring convective and volcanic clouds* à l'IAG Scientific Assembly (Brenot et al., 2025). Ces différentes études s'inscrivent dans des collaborations internationales structurées, incluant des groupes de travail ad hoc de l'IAG.

Publications

- Boy, J. P., Fériol, F., Gravelle, M., Janex, G., Loyer, S., Nahmani, S., ... & Tsapong-Tsague, A. B. (2025, April). *SPOTGINS: A New Global GNSS Daily iPPP Solution Derived Using GINS software*. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (EGU25-12545).
- Breton, H., Bock, O., & Nahmani, S. (2025, April). *Consistency and Homogeneity of ZTD Estimates from IGS Repro3*. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (EGU25-9979).
- Brenot, H., Biondi, R., Nahmani, S., Cannavò, F., Pottiaux, E., Hammouti, M., De Pace, A. M., Crespi, M., Mazzoni, A., Trzcina, E., & Rohm, W. (2025). *Integrating geodetic remote sensing with multi-satellite observations from polar-orbiting and geostationary sensors for monitoring convective and volcanic clouds*. Communication présentée à l'IAG Scientific Assembly.
- Santamaría-Gómez, A., Boy, J. P., Fériol, F., Gravelle, M., Loyer, S., Nahmani, S., ... & Wöppelmann, G. (2025). *Monitoring the Earth's deformation with the SPOTGINS series*. *Earth System Science Data*, 17(11), 5833-5840.
- Santos, M., Pacione, R., Balidakis, K., Byram, S., Dick, G., Hughes, R., Jones, J., Keernik, H., Klos, A., Lou, Y., Marques, H., Nahmani, S., Nikolaidou, T., Rannat, K., Valenzuela, R., Zhang, W., Yao, Y., & Yuan, P. (2025). *A look at ground-GNSS ZTD trends for climate models*. Communication présentée à l'IAG Scientific Assembly.

DORIS

Contact : Samuel Nahmani et Arnaud Pollet (équipe de géodésie IGN-IPGP)

Les activités du centre d'analyse IDS IGN-IPGP/JPL se sont poursuivies autour de plusieurs priorités : pondération des mesures, amélioration des traitements, produits troposphériques, première évaluation des données SWOT et analyses liées aux référentiels terrestres. Ces travaux se reflètent notamment dans l'article *Weighting DORIS measurements for space geodesy* (Pollet et al., 2026), issu de travaux menés en 2024 et 2025, ainsi que dans les présentations *DORIS IGN-IPGP/JPL Analysis Center: Current Status and Future Developments* (Pollet et al., 2025a) et *IDS contribution to the second update of the ITRF2020* (Moreaux et

al., 2025a). Ils ont également alimenté la note technique IERS DORIS assessment of the DTRF2020, ITRF2020 and JTRF2020 solutions, soumise en 2025 (Moreaux et al., 2025b), consacrée à l'évaluation comparative de ces solutions à partir des données DORIS. À l'IAIG Scientific Assembly, ces activités ont aussi donné lieu à des contributions sur les produits troposphériques DORIS (Nahmani et al., 2025) et sur une première évaluation des données DORIS de SWOT (Pollet et al., 2025b). Ces activités ont également contribué au rapport d'activité IDS 2025 en cours de rédaction, en cohérence avec les travaux méthodologiques et d'analyse menés par le centre.

Publications

- Moreaux, G., Capdeville, H., Pollet, A., & Nahmani, S. (2025b). *DORIS assessment of the DTRF2020, ITRF2020 and JTRF2020 solutions*. Note technique IERS soumise.
- Moreaux, G., Lemoine, F., Capdeville, H., Štěpánek, P., Otten, M., Nahmani, S., ... & Schreiner, P. (2025a). *IDS contribution to the second update of the ITRF2020*. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (EGU25-12833).
- Nahmani, S., Pollet, A., & Bertiger, W. (2025). *Assessing the quality of DORIS tropospheric products: Insights from the IDS IGN-IPGP/JPL analysis center for ITRF2020-u2024*. Communication présentée à l'IAIG Scientific Assembly.
- Pollet, A., Nahmani, S., & Bertiger, W. (2025a). *DORIS IGN-IPGP/JPL Analysis Center: Current Status and Future Developments*. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (EGU25-15635).
- Pollet, A., Nahmani, S., & Bertiger, W. (2025b). *First assessment of SWOT DORIS data by the IDS IGN-IPGP/JPL Analysis Center*. Communication présentée à l'IAIG Scientific Assembly.
- Pollet, A., Nahmani, S., Reischung, P., & Bertiger, W. (2026). *Weighting DORIS measurements for space geodesy*. *Advances in Space Research*, 77(4), 4247-4270.

GENESIS

Contact : [Samuel Nahmani et Arnaud Pollet \(équipe de géodésie IGN-IPGP\)](#)

L'équipe a été impliquée en 2025 dans la mission ESA GENESIS, au travers de différents groupes de travail de l'ESA et de l'IAIG. Des simulations ont été réalisées pour évaluer notamment l'impact de l'inclinaison de l'orbite GENESIS sur le repère terrestre, ainsi que le niveau de calibration des antennes nécessaire pour réduire certaines erreurs systématiques liées aux PCO et PCV et atteindre les objectifs d'exactitude et de stabilité du repère de référence. Ces travaux ont donné lieu à des notes techniques et à plusieurs présentations dans les groupes de travail concernés. Une thèse a par ailleurs débuté fin 2025 sur l'évaluation des solutions GENESIS et leur utilisation dans le calcul de l'ITRF.

ITRF2020

Contact : [Xavier Collilieux \(IGN, IPGP\)](#)

Le centre de produit ITRS (hébergé à l'IGN) a publié la seconde mise à jour de l'ITRF2020 en septembre 2025 nommée ITRF2020-u2024 (Altamimi et al. 2025 ; IGN/IERS). 1 ans de données supplémentaires fournies par les centres des techniques de l'IERS et de l'AIG ont permis la fourniture de coordonnées plus précises que celles de la première mise à jour, incluant de nouvelles discontinuités de positions et des modèles de déformation post-sismiques mises à jour pour certaines stations.

Publications :

- Altamimi, Z., Reischung, P., Collilieux, X., Metivier, L., Barneoud, J., de La Serve, M., & Chanard, K. (2025) *Uncertainty evaluation of the ITRF2020 Updates*. AGU fall meeting 2025.
- IGN/IERS (2025) [dataset], ITRF2020-u2024, <https://itrf.ign.fr/en/solutions/ITRF2020-u2024>

Recherche

Modèle de déformation pour Mayotte

Contact : Xavier Collilieux (IGN, IPGP)

L'île de Mayotte a subi une crise volcano-tectonique engendrant des variations de coordonnées supérieures à 20 cm, principalement sur la période mai 2018 - janvier 2021. Ces déformations ont conduit l'IGN à effectuer de nouvelles mesures à l'automne 2023 qui ont permises la publication du référentiel local RGM23 en lieu et place du RGM04.

Un modèle de déformation permettant de prédire en tout point de Mayotte et entre deux dates les variations de coordonnées liées à la crise a été développé par l'IPGP. Pour en permettre une utilisation simplifiée, ce modèle a été implémenté dans la librairie de transformation de coordonnées *proj* (logiciel libre). Il a permis de construire une transformation de coordonnées entre l'ITRF2020 et le RGM23 quelle que soit la date des données. Ce modèle, ainsi que la transformation utilisant ce modèle, sont fournis à des fins expérimentales sur le site de l'IGN (IGN, 2025).

Publications :

Grandin, R., X. Collilieux, I. Pasquier and O. Jamet (2025) Volcano-tectonic crisis of Mayotte (2018-2022): a deformation model for geodetic applications, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 130, doi:10.1029/2025JB031473

Grandin R., Collilieux X., Pasquier I. (2025) [Dataset], Mayotte deformation model, 2018-2022 volcano-tectonic crisis, doi: 10.57932/41cf41f5-5a0c-47d0-b88d-a774e06e9012

IGN (2025) <https://geodesie.ign.fr/modele-de-deformation-sur-mayotte-pour-la-crise-tectonique-de-2018-2022>

Stabilité des mesures marégraphiques et GNSS sur le site d'étalonnage de Corse

Contact : Pascal Bonnefond (Observatoire de Paris - Laboratoire Temps Espace)

Des mesures précises et stables du niveau de la mer sont essentielles pour comprendre les tendances climatiques à long terme. Cette étude examine la stabilité des mesures du niveau de la mer à l'aide de marégraphes et d'instruments GNSS sur le site d'étalonnage de Corse. L'étalonnage et la validation des missions d'altimétrie par satellite exigent une incertitude de $\pm 0,3$ mm/an à l'échelle mondiale et de ± 1 mm/an à l'échelle régionale. L'étude évalue également le mouvement vertical du sol (VLM) du site GNSS de référence (RG00) et son impact sur les tendances à long terme du niveau de la mer. Elle évalue la fiabilité des mesures du niveau de la mer fournies par des méthodes avancées de traitement GNSS, notamment le positionnement différentiel et le positionnement ponctuel précis (PPP). L'analyse démontre que la stabilité des marégraphes, confirmée par des mesures basées sur le GNSS, est supérieure à 0,1 mm/an. En outre, l'étude a examiné la tendance à long terme du niveau de la mer sur le site de Senetosa, révélant une augmentation moyenne de +4,4 mm/an sur une période de 26 ans (1998-2024), avec une accélération possible de +0,18 mm/an². Ce taux dépasse les estimations mondiales, potentiellement en raison d'effets océanographiques régionaux. Les résultats soulignent la nécessité d'une surveillance de haute précision et l'importance des systèmes basés sur le GNSS pour valider les mesures des marégraphes afin d'évaluer avec précision le niveau de la mer.

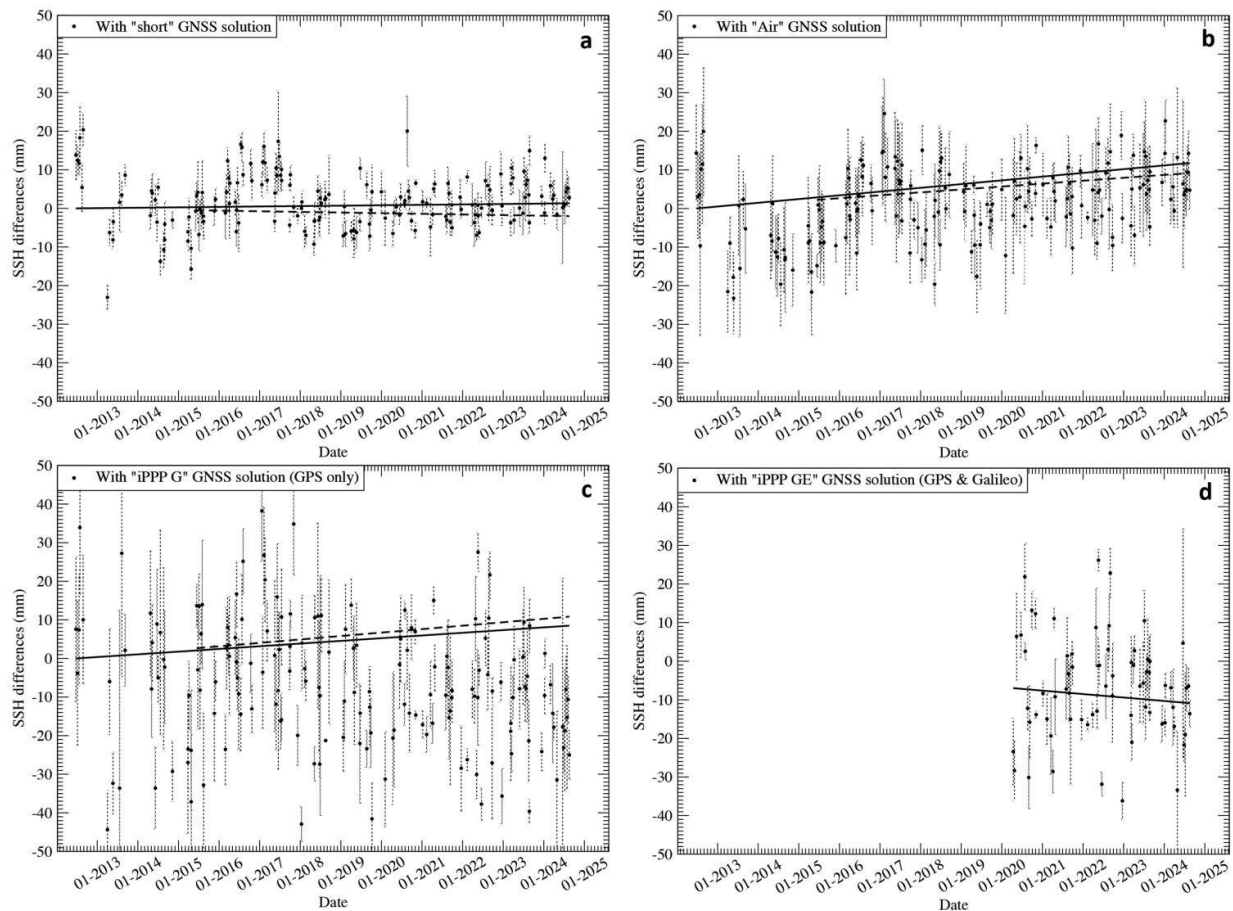


Fig. 1 SSH differences between GNSS-zodiac and tide gauges from 6 July 2012 to 30 August 2024. The GNSS measurements were processed using the TRACK 'short mode' (a), TRACK 'air mode' (b), GINS 'iPPP GPS-only mode' (c, hereafter noted iPPP G, G being the standard abbreviation for GPS) and GINS 'iPPP GPS and Galileo mode' (d, hereafter noted iPPP GE, E being the standard abbreviation for Galileo). The error bars are indicative of the standard deviation of each set of differences. The dashed black lines correspond to the linear trend computed with a basic linear least squares weighted by the standard deviation for the period from 1 June 2015 to 30 August 2024 (as indicated in brackets in), while the plain black lines refer to the entire set of GNSS-zodiac and tide gauges SSH differences (except for iPPP GE which last only from May 2020 to August 2024). (Figure extraite de Bonnefond et al. 2026).

Publication :

Bonnefond, P., Laurain, O., Exertier, P., Calzas, M., Drezén, C., Fichen, L., Guillot, A., Guinle, T. & N. Picot (2026). Towards 0.1mm/yr stability over decades for measuring sea level using tide gauges together with GNSS-based instruments? *Marine Geodesy*, Vol. 49, No. 2, 258-287 <https://doi.org/10.1080/01490419.2025.2546920>

Définition du système de référence lunaire et réalisation du repère associé

Contact : Nicolas Rambaux (Observatoire de Paris - Laboratoire Temps Espace)

Ces définitions sont essentielles pour l'étude dynamique de notre satellite, l'établissement de sa cartographie précise et pour de nombreuses applications, notamment, la navigation spatiale et le positionnement de haute précision. La définition du système de référence lunaire est étroitement rattachée à l'orientation de la Lune. Actuellement, deux systèmes de référence lunaire sont utilisés : (i) le système des axes principaux d'inertie (Principal Axis System PA) et (ii) le système dit Mean Earth/Mean Polar Axis (ME) dans lequel un des axes pointe en moyenne vers la Terre. Dans cet article, nous présentons les étapes fondamentales

nécessaires pour la construction des repères de références, suivant l'approche de Kovalevsky et al. en 1989 pour le système de référence terrestre, et appliquons cette méthodologie à la Lune avec l'éphéméride INPOP. Nous décrivons également pour la première fois la transformation complète entre les systèmes PA et ME. Enfin, nous proposons une première étape vers la définition relativiste d'une échelle de temps lunaire, en cohérence avec les recommandations de l'Union astronomique internationale (UAI) et avec d'autres réalisations récentes.

Publication :

Rambaux N., Fienga A., Seyffert Y., Sosnica K., Kaitheri A., Laskar J., Gastineau M., Baguet, D. (2026). Lunar reference systems and their realisations using INPOP ephemerides., *Astronomy and Astrophysics*, 705, A88. doi:10.1051/0004-6361/202555962

Défi optique de la télémétrie laser Lune bicolore à la station MéO

Contact : Grégoire Martinot-Lagarde (Observatoire de la Côte d'Azur)

Cet article décrit des améliorations de la station laser, ayant conduit à l'obtention d'échos bicolores de télémétrie laser lunaire (en vert et aussi en infra-rouge), même à 19° d'élévation (exemple en février 2025 vers 20H52 TU).

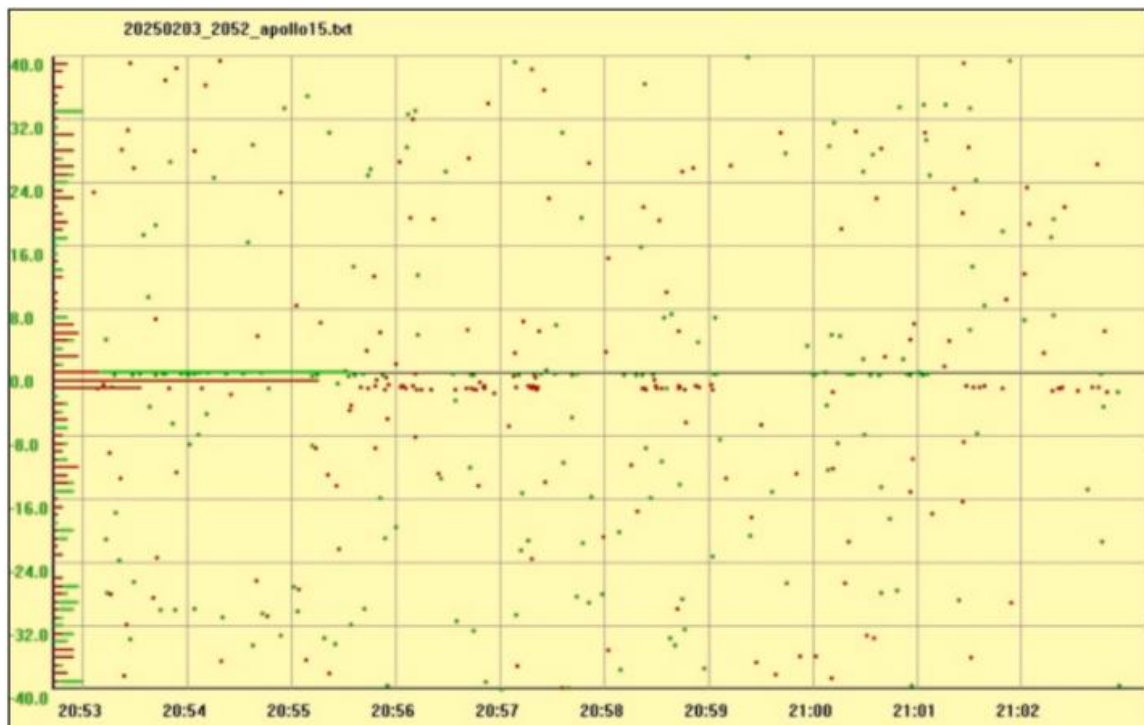


Fig. 2 Two-colour LLR session on Apollo15, realised on the 03 February 2025 with $h \sim 19^\circ$. The horizontal axis is the UTC observing time. The vertical axis dates LLR echoes in ns. Green echoes are green {dots + histogram}. Infrared (IR) echoes are red {dots + histogram}: \rightarrow *Green residual* = {green_2_way_time_of_flight – green pulse travel prediction} = – 0.1 ns, \rightarrow *Infrared residual* = {IR_2_way_time_of_flight – green pulse travel prediction} = – 1.9 ns. Here, the *Earth-Moon ranging accuracies (one-way RMS)* are 12.8 mm@532 nm & 29.4 mm@1064 nm. (Figure extraite de Martinot-Lagarde et al. 2025).

Publication :

G. Martinot-Lagarde, H. Mariey , N. Maurice , J. Scariot , H. Viot (2025). The optical challenge of two-colour lunar laser ranging at MéO station, *Results in Optics*, 100833, <https://doi.org/10.1016/j.rio.2025.100833>

Gravimétrie spatiale et océanographie : librairie scientifique Python **Lenapy**

Contact : Hugo Lecomte (FGI, Finlande), Sebastien Fourest (CNES, Toulouse), Alejandro Blazquez (LEGOS, CNES, Toulouse)

Lenapy est une librairie Python open-source destinée aux géophysiciens, gravimétriciens et/ou océanographes. Elle est construite en complément de l'environnement *xarray*, basé sur le format NetCDF, et est compatible avec *Dask*. La librairie propose un cadre cohérent et reproductible pour estimer le Niveau Global Moyen des Océans (GMSL) obtenu par altimétrie, ainsi que ses composantes : la composante manométrique (masse) à partir de la gravimétrie spatiale, et la composante thermo-stérique à partir des mesures ARGO. Les travaux associés utilisent une approche unifiée des traitements entre gravimétrie et altimétrie afin d'étudier la fermeture du budget du GMSL. La librairie peut également être utilisée pour d'autres usages en géodésie et/ou océanographie qui impliquent la manipulation du même type de données. La librairie étend les objets *xarray.Dataset* et *xarray.DataArray* au moyen d'"accessors" spécialisés (.Ingeo, .Inharmo, .Inocean, .Intime), permettant d'appliquer directement les opérations courantes en géophysique : moyennes pondérées par la surface, calculs géodésiques, filtrages et décompositions climatologiques ou statistiques, ainsi que la manipulation de données harmoniques sphériques et leur conversion au format grille. Cette architecture de code permet des calculs scalables grâce à *Dask*.

Pour la lecture et l'écriture, **Lenapy** fournit des outils pour manipuler les données harmoniques sphériques (formats ICGEM .gfc, SDS GRACE/GRACE-FO) ainsi que des lecteurs pour les produits océaniques de température et de salinité. La librairie est notamment utilisée au LEGOS pour la production du produit gravimétrique L3 GRACE/GRACE-FO.

Lenapy est extensible et accessible dans une démarche open-source : github.com/CNES/lenapy (documentation et tutoriels disponibles en ligne). Des développements en cours visent à permettre le traitement de modèles globaux de champ de gravité pour les applications en gravimétrie terrestre.

Publication :

Lecomte, H., Fourest, S., Blazquez, A., *Lenapy: Enhancing xarray for multidimensional geophysical data analysis*, Journal of Open Source Software, <https://doi.org/10.21105/joss.09189>

Dépôt et documentation: github.com/CNES/lenapy // lenapy.readthedocs.io

Géodésie et traitement GNSS : boîte à outils Python **geodezyx**

Contact : Pierre Sakic (IPGP)

L'année a aussi vu la présentation d'un poster consacré à *geodezyx*, boîte à outils Python polyvalente pour la manipulation de données géodésiques et l'enseignement du traitement GNSS (Sakic et al., 2025), à l'IAIG Scientific Assembly.

Publication :

Sakic, P., Nahmani, S., & Mansur, G. B. (2025). *geodezyx: a versatile python toolbox for geodetic data manipulation with GNSS processing pedagogical features*. Poster présenté à l'IAIG Scientific Assembly.

Institutions

Bureau des Longitudes (BDL)

Contact : Claude Boucher (Membre du Bureau des Longitudes, Président de la commission du BDL sur les infrastructures géodésiques)

La commission du BDL sur les infrastructures géodésiques a continué ses activités. Une mise à jour de son organisation et de sa composition est en cours. Un secrétaire (Thomas Donal) a été nommé en fin d'année. Les thèmes actuellement identifiés font l'objet de travaux à divers stades d'importance :

- Observatoire géodésique et géophysique de Tahiti (OG2T)
- Activités géodésiques de l'UN GGIM
- Mission GENESIS
- Télémétrie laser
- Capteurs quantiques

Une nouvelle version du livre blanc publié en 2000 sur la géodésie a été décidée par le BDL. Un comité éditorial composé de Claude Boucher, Michel Diamant et Marie-Françoise Lalancette a été mis en place et a entamé des travaux. Il a notamment décidé de rédiger au préalable un inventaire des organismes français en relation avec la géodésie.

Par ailleurs, un projet de Fond Documentaire Géodésique est en cours de développement, en partenariat avec l'ENSG. Ce fond comporte notamment les archives du Bureau central de l'Association internationale de géodésie (dissout en 1995) qui ont été léguées au BDL.

Activités au sein de l'Association Internationale de Géodésie (IAG)

United Nations Global Geodetic Centre of Excellence (UN-GGCE)

Contact : Samuel Nahmani et Arnaud Pollet (équipe de géodésie IGN-IPGP)

Contribution aux travaux du United Nations Global Geodetic Centre of Excellence (UN-GGCE) sur la robustesse d'une chaîne d'approvisionnement mondiale en géodésie, *What does a robust global geodesy supply chain look like?* (Poshyvailo Strube et al., 2025), ainsi que l'inscription de ces réflexions dans la session spéciale *Geodesy – From Invisible to Essential*, organisée par l'UN-GGCE lors de l'EGU General Assembly 2025.

Publications

Poshyvailo Strube, L., Nahmani, S., Rodríguez Pérez, J. C., & Brown, N. J. (2025). *What does a robust global geodesy supply chain look like?* Communication présentée dans le cadre du UN-GGCE / EGU 2025.

Thèses en géodésie

Prix de thèse du CNFGG, section 1

Le prix de thèse 2025 a été remis à **Madame Hanane Aït-Lakbir**, pour sa thèse intitulée « Analyse des sources d'erreurs systématiques dans le positionnement précis par GNSS:

apport de la constellation Galileo », préparée à l'Université Toulouse 3 Paul Sabatier et soutenue le 16 novembre 2023.

Thèses soutenues (oct. 2024 - janv. 2026)

- Clément Staelen (LaB, Bordeaux, mai 2025), « Théorie des figures d'équilibre pour les rotateurs rapides » - Encadrant : J.-M. Huré
- Charlotte Gagne Gouranton (IPGP, nov. 2025), « Étude des redistributions de masse à la frontière noyau-manteau de la Terre par gravimétrie spatiale » - Encadrants : I. Panet, M. Manda, M. Greff, S. Rosat
- Maëva Levesque, LPG Nantes (déc. 2025) « Measuring the spin state of Venus and the time-variable gravity field of Mars using the precise orbit determination of spacecraft » - Encadrants : P. Rosenblatt, C. Dumoulin, J.-C. Marty (CNES Toulouse - GET)
- Florent Cambier, GET (GET, janv. 2026) « Suivi spatio-temporel sur 20 ans de la calotte polaire du Groenland par géodésie spatiale et lien avec le changement climatique global » - Encadrants : J. Darrozes, M. Llubes

Quelques thèses en géodésie en cours

- Alicia Tafflet, GeF Le Mans (2022 -) « Signatures du changement climatique dans les signaux hydrologiques observés par géodésie spatiale » - Encadrants : J. Nicolas, A. Baltzer (LETG, Univ de Nantes), J. Verdun
- Hugo Gerville, GeF Le Mans (2022 -) « Restitution du champ de vapeur d'eau 3-D par tomographie GNSS pour la correction des observations INSAR appliquées aux déformations du Piton de la Fournaise à La Réunion » - Encadrants : L. Morel, F. Durand (IGR Labo GeF), J. Van Balen (LACy, Univ. de La Réunion)
- Thiziri Saad, ITES Strasbourg (2023 -) « Prédiction et observations des déformations de surface pour un modèle de Terre viscoélastique 3D » - Encadrants : S. Rosat, J.-P. Boy
- Maxime Rousselet, GET Toulouse & IPGP Paris (2023 -) « Etude d'une rhéologie transitoire de la Terre solide, vis-à-vis des effets de charges globales dus à l'océan sur les dernières 40 années » - Encadrants : P. Exertier, K. Chanard
- Maya Nocet-Binoit, GET & LEGOS Toulouse (2023 -) « Amélioration des traitements de données GRACE ; étude des problèmes de de-aliasing et de la propagation des erreurs » - Encadrants : S. Bonvalot, B. Messignac