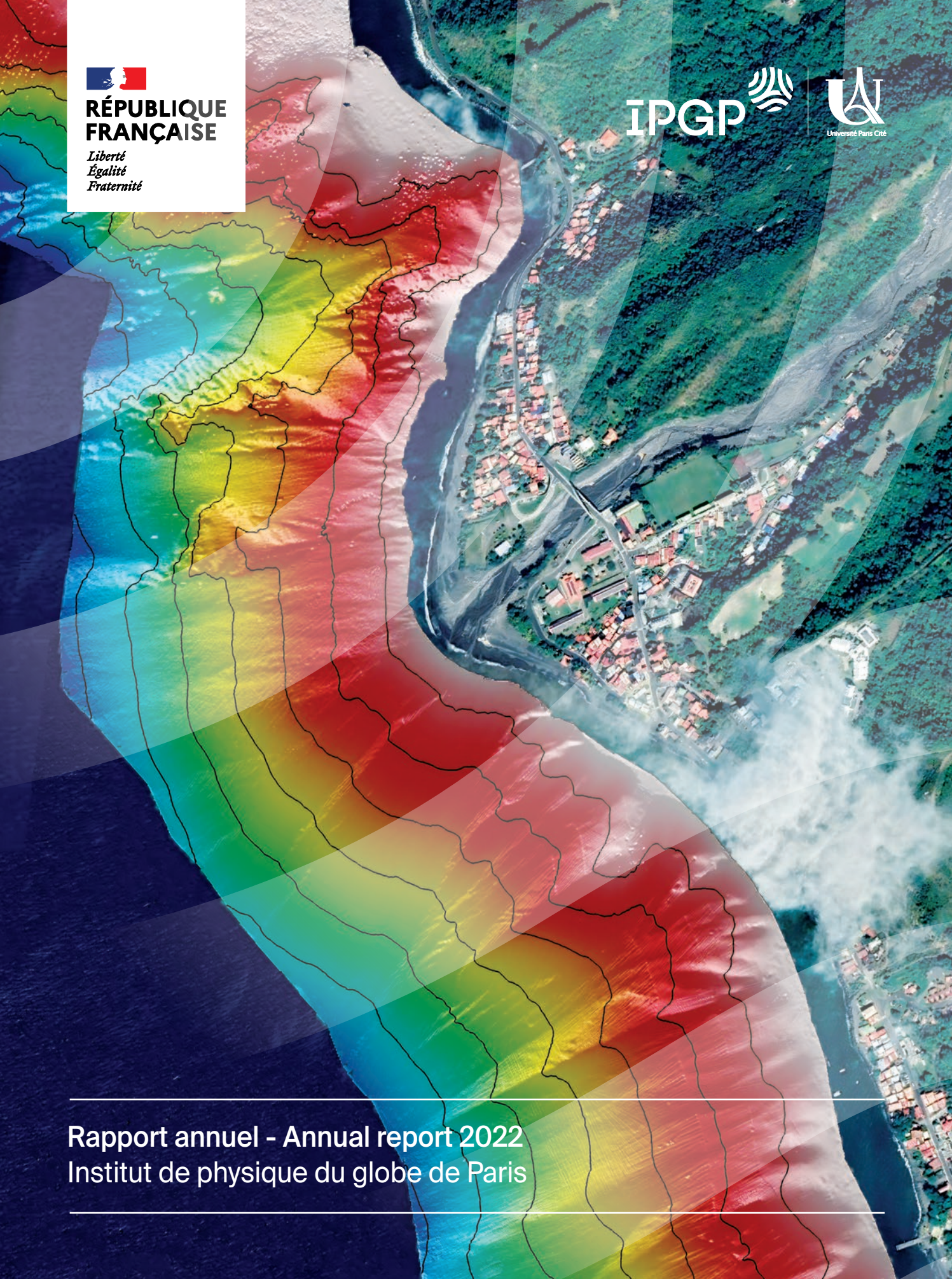


RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

IPGP

Université Paris Cité

Rapport annuel - Annual report 2022
Institut de physique du globe de Paris

En couverture : Bathymétrie haute résolution obtenue à partir d'un sondeur multifaisceaux placé à l'embouchure de la rivière du Prêcheur à la Martinique, engendrant régulièrement des lahars. Plus d'informations sur le projet PREST p. 102

Cover: High resolution bathymetry obtained from the multibeam echosounder placed at the mouth of the Prêcheur River in Martinique, regularly delivering material by lahars. More information on the PREST project p. 102

Sommaire
Contents

02 • L'IPGP, 100 ans de sciences pour la planète
The IPGP, 100 years of science for the planet

04 • Entretien avec Marc Chaussidon, directeur de l'IPGP et Olivier Peyret, président du CA
Interview with Marc Chaussidon, Director of the IPGP and Olivier Peyret, Chairman of the Board of Directors

08 • Vie de l'établissement
Life of the establishment

14 • **Focus : Publication du nouveau repère international de référence terrestre ITRF - Entretien avec Zuheir Altamimi**
Focus: Publication of the new landmark international land reference ITRF - Interview with Zuheir Altamimi

16 • Vie de la recherche
Research life

24 • **Focus : Nouveaux instruments**
Focus: New instruments

28 • Prix et distinctions
Awards and honours

31 • Nouveaux chercheurs et enseignants-chercheurs
New researchers and professors

36 • **Focus : WebObs : prix Science ouverte du logiciel libre de la recherche**
Focus: WebObs: Open Science Prize for Free Research Software

39 • Thèmes IPGP
IPGP themes

38 • Intérieurs de la Terre et des planètes
Earth and Planetary Interiors

46 • Risques naturels
Natural Hazards

54 • Système Terre
Earth System Science

62 • Origines
Origins

68 • **Focus : ECORCAIR - Entretien avec Aude Isambert**
Focus: ECORCAIR - Interview with Aude Isambert

72 • Observatoires
Observatories

98 • **Focus : 40 ans de GEOSCOPE - Entretien avec Martin Vallée**
Focus: 40 years of GEOSCOPE - Interview with Martin Vallée

102 • **Focus : Bilan de PREST**
Focus: PREST report

108 • **Focus : SAFE-M - Entretien avec François Métivier**
Focus: SAFE-M - interview with François Métivier

112 • Enseignement
Teaching

118 • **Focus : Coup d'oeil sur deux thèses**
Focus: Two PhDs at a glance
118 • **Maël Essayeh**
120 • **Sofía López Urzúa**

122 • Partenariats et relations internationales
Partnerships and international relationships

128 • Observatoires, thèmes, plateformes et équipes de recherche
Observatories, themes, platforms and research teams

132 • Direction, instances et référents
Management, bodies and officers

134 • Effectifs
Staff

136 • Budget
Budget

L'IPGP, 100 ans de sciences pour la planète
The IPGP, 100 years of science for the planet

Créé en 1921, l'Institut de physique du globe de Paris est un grand établissement d'enseignement supérieur et de recherche piloté par un conseil d'administration, un conseil scientifique et un conseil pédagogique. Établissement composante d'Université Paris Cité, il assure avec cette dernière ainsi qu'avec le CNRS, l'Université de La Réunion et l'IGN la tutelle de l'UMR 7154 IPGP, qui regroupe l'ensemble des activités de recherche. L'IPGP assure également la tutelle de l'UAR 3454 IPGP, avec le CNRS, qui rassemble toutes les activités d'observation. En outre, il est un laboratoire spatial du CNES.

L'institut rassemble environ 500 personnes recrutées dans le monde entier : chercheurs, ingénieurs, techniciens, agents administratifs, post-doctorants et doctorants, partageant la même passion pour les sciences de la Terre, des planètes et de l'environnement. De nombreux accords de coopération sont mis en place avec de prestigieuses institutions scientifiques internationales.

Institut de recherche en géosciences de renommée mondiale, l'IPGP étudie la Terre et les planètes depuis le noyau jusqu'aux enveloppes fluides les plus superficielles, à travers l'observation, l'expérimentation et la modélisation. Une attention toute particulière est portée aux observations de longue durée, essentielles pour l'étude des systèmes naturels. L'IPGP a la charge de services d'observation labellisés en volcanologie, sismologie (terrestre et spatiale), magnétisme, gravimétrie et érosion. L'observatoire de Chambon-la-Forêt assure la mesure continue du champ magnétique terrestre depuis 90 ans, tandis que les observatoires permanents de l'IPGP surveillent les trois volcans actifs français d'outre-mer en Guadeloupe, en Martinique et à La Réunion. L'institut copilote également le REVOSIMA, en charge de la surveillance scientifique de Mayotte, en partenariat avec le BRGM, l'IFREMER et le CNRS. Par ailleurs, l'IPGP équipe et entretient, en partenariat avec l'EOST, deux réseaux géophysiques mondiaux qui suivent les variations du champ magnétique (réseau INTERMAGNET) et l'activité sismique du globe (réseau GEOSCOPE).

Created in 1921, the Institut de physique du globe de Paris is a major institution for higher education and research, governed by a board of directors, a scientific and education councils. As a component of Université Paris Cité, it supervises with it and with the CNRS, the Université de La Réunion and the IGN, the UMR 7154 IPGP, which brings together all the research activities. The IPGP also supervises with the CNRS the UAR 3454 IPGP, which includes all observation activities. In addition, it is a CNES space laboratory.

The institute brings together around 500 people recruited from all over the world: researchers, engineers, technicians, administrative staff, post-doctoral researchers and PhD candidates sharing the same passion for Earth, planetary and environmental sciences. Numerous cooperation agreements are in place with prestigious international scientific institutions.

A world-renowned geoscience institute, the IPGP studies the Earth and the planets from the core to the most superficial fluid envelopes, through observation, experimentation and modelling. Special attention is given to long-term observations that are essential for the study of natural systems. The IPGP is in charge of labelled observation services in volcanology, seismology (both terrestrial and spatial), magnetism, gravimetry and erosion. The Chambon-la-Forêt observatory has been continuously measuring the Earth's magnetic field for 90 years, while the IPGP's permanent observatories monitor the three active French overseas volcanoes in Guadeloupe, Martinique and Reunion Island. The Institute also co-pilots the REVOSIMA, which is responsible for scientific monitoring of Mayotte, in partnership with the BRGM, the IFREMER and the CNRS. In addition, the IPGP equips and maintains, in partnership with the EOST, two global geophysical networks that monitor magnetic field variations (INTERMAGNET network) and global seismic activity (GEOSCOPE network).

L'IPGP héberge des moyens de calcul puissants, des plateformes expérimentales et analytiques de dernière génération et bénéficie d'un soutien technique de premier plan. Sa structure souple facilite les interactions entre les 17 équipes de recherche travaillant ensemble sur les quatre grandes thématiques de l'institut : Intérieurs de la Terre et des planètes, Risques naturels, Système Terre et Origines.

Enfin, l'IPGP est responsable de plusieurs formations en licence, master et doctorat, en partenariat avec Université Paris Cité.

The IPGP hosts powerful computing resources, state-of-the-art experimental and analytical facilities and benefits from first-class technical support. Its flexible structure facilitates interaction between the 17 research teams working together on the four main themes of the institute: Earth and Planetary Interiors, Natural Hazards, Earth System Science.

Finally, the IPGP is responsible for several bachelor's, master's and doctoral courses, in partnership with Université Paris Cité.

Entretien avec Marc Chaussidon, directeur de l'IPGP et Olivier Peyret, président du CA

Interview with Marc Chaussidon, Director of the IPGP and Olivier Peyret, Chairman of the Board of Directors

L'année 2022 a vu la labellisation définitive d'Université Paris Cité au titre des IdEx. Les fonds du Programme d'investissements d'avenir (PIA) ont ainsi été dévolus définitivement à l'IdEx Université Paris Cité (13 M€ /an) et aux labex (9,8 M€/an) rattachés à l'université. Cette année a aussi été l'occasion pour l'Institut Pasteur de s'associer à Université Paris Cité. Ces évolutions sont l'aboutissement d'une aventure commencée en 2012 et dans laquelle l'IPGP a pris une part très active, en tant qu'établissement composante d'une des premières universités d'excellence françaises.

The year 2022 saw the definitive accreditation of Université Paris Cité as an IdEx. The funds from the Programme d'investissements d'avenir (PIA) were definitively allocated to the IdEx Université Paris Cité (€13 million/year) and to the labex (€9.8 million/year) associated with the university. This year also saw the Institut Pasteur join Université Paris Cité. This is the climax of a story that began in 2012, during which the IPGP played a very active role, as part of one of France's leading universities of excellence.

Comme chaque année, le choix des activités de recherche et d'observation à mettre en exergue dans ce rapport a été difficile. La sélection retenue montre la grande diversité thématique des travaux menés au sein de notre institut, depuis l'étude des processus dans le noyau externe à l'origine du champ magnétique terrestre, la structure de la limite lithosphère-asthénosphère, les émissions de CO_2 géologique en surface, jusqu'à l'architecture de la zone critique à l'interface entre les roches, les eaux et l'atmosphère. Tous ces sujets mettent en lumière une des spécificités des recherches conduites à l'IPGP qui associent données d'observation, expérimentation et modélisation avancée, en mêlant différentes approches allant de la géophysique à la géochimie.

As every year, the selection of the research and observational activities highlighted in this report was challenging, reflecting the wide thematic diversity of the work carried out in the IPGP. These efforts range from studying the processes in the Earth's outer core that give rise to the Earth's magnetic field, investigating the structure of the lithosphere-asthenosphere boundary, to studying geological CO_2 emissions at the surface, and the architecture of the critical zone at the rock-water-atmosphere interface. These research efforts demonstrate a distinctive aspect of IPGP's work, which involves the integration of observations, experiments and advanced modelling across disciplines ranging from geophysics to geochemistry.

Ces travaux révèlent également l'importance des recherches fondamentales menées très en amont des aléas telluriques vis-à-vis des questions de surveillance et d'alerte. L'étude des variations du champ de gravité détectées par mesures satellitaires à l'aplomb d'une zone de subduction avant le déclenchement d'un méga-séisme en est un parfait exemple. Par ailleurs, le colloque de clôture du programme PREST (vers la Plateforme Régionale de Surveillance Tellurique du futur), porté par l'OVSM-IPGP et financé par le programme européen INTERREG, qui s'est tenu en mai 2022 à Saint-Pierre en Martinique, a présenté les avancées récentes, qu'elles soient instrumentales ou conceptuelles, autour des questions de volcanisme, de sismicité et de tectonique dans l'arc des Antilles. Un enjeu de ces travaux est aussi de faire percoler ces progrès de connaissances fondamentales vers les autorités en charge de la gestion de crise et vers les populations concernées.

Another important aspect of these studies is the strong emphasis on basic research related to understanding geological hazards and their monitoring and warning systems. For example, research has revealed gravity variations detected by satellite measurements over a subduction zone prior to the occurrence of a mega-earthquake. The final symposium of the PREST programme (towards the future Regional Seismic Monitoring Platform), led by the OVSM-IPGP and funded by the European INTERREG programme, held in May 2022 in Saint-Pierre in Martinique, presented recent advances, both instrumental and conceptual, in the study of volcanism, seismicity and tectonics in the Caribbean Arc. One of the aims of these studies is to ensure that these advances in basic knowledge make efficiently their way to crisis management authorities and affected populations.

Équipe de direction 2022 (de gauche à droite) : Marc Benedetti, Marianne Greff, Gauthier Hulot, Anne Le Friant, Marc Chaussidon, Antoine Charlot, Arnaud Lemarchand.

Management team 2022 (from left to right): Marc Benedetti, Marianne Greff, Gauthier Hulot, Anne Le Friant, Marc Chaussidon, Antoine Charlot, Arnaud Lemarchand.

Nos chercheurs et enseignants-chercheurs ont en 2022 continué à obtenir des financements importants de l'ANR, de l'ERC et d'autres programmes de la communauté européenne, de l'INSU/CNRS et du CNES, ainsi que d'autres agences ou industriels, pour des projets de recherche associant de nombreux partenaires français et étrangers. L'IPGP a été particulièrement actif dans les travaux d'élaboration des Programmes et équipements prioritaires de recherche exploratoires (PEPR) IRiMa (autour de la gestion des risques, l'IPGP étant en charge du volet sur les risques outremer), Origines et Grands Fonds. En outre, la qualité et l'originalité des travaux menés à l'IPGP s'est manifestée à travers plusieurs prix et distinctions prestigieux. En particulier, le prix Science ouverte du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche pour le logiciel WebObs, conçu pour les observatoires volcanologiques et sismologiques, souligne le rôle que joue l'IPGP dans la communauté scientifique française.

Enfin, l'attraction de notre institut et de ses cursus de licence et de master, y compris les filières professionnalisantes, les doubles licences ASTER et Politiques de la Terre (avec Sciences-Po), ainsi que le CPES Environnement et Énergies nouvelles (2E) (entre l'IPGP-Université Paris Cité et le lycée Janson de Sailly) ne s'est pas démentie. 28 thèses ont été soutenues en 2022 et celles en cours augurent aussi d'un"très bon cru" 2023 !

In 2022, IPGP researchers and faculty continued to secure significant funding from various sources, including the ANR, the ERC and other European Community programmes, as well as the INSU/CNRS and the CNES, and other agencies and industries, for research projects involving numerous French and international partners. The IPGP has played a particularly active role in the development of the national programs PEPR (Programmes et Equipements Prioritaires de Recherche exploratoires) such as IRiMa (focused on risk management, with the IPGP responsible for the overseas risk component), Origines and Grands Fonds. The quality and originality of IPGP's work has been recognised by several awards and distinctions received by its researchers and faculty. For example, the "Science ouverte" prize awarded by the Ministry of Higher Education and Research for the WebObs software developed for volcanic and seismological observatories illustrates the important role played by the IPGP in the French scientific community.

Lastly, our institute and its bachelor's and master's degree programmes, including the professional courses, the ASTER and Earth Policy double bachelor's degrees (with Sciences-Po), as well as the CPES Environment and New Energies (2E) (between IPGP-Université Paris Cité and the Janson de Sailly high school) have continued to attract students. This year, 28 PhDs were successfully defended at the IPGP, and the ongoing PhDs augur well for an equally successful 2023!

Chiffres clés
Key figures

500
membres du personnel.
staff members.

8
sites : Observatoires de Guadeloupe, de Martinique, de La Réunion et de Chambon-la-Forêt, sites de Champs-sur-Marne, de Lamarck à Paris, du laboratoire GéoSciences à La Réunion et le siège de l'IPGP rue Jussieu à Paris.
sites: Observatories in Guadeloupe, Martinique, La Réunion and Chambon-la-Forêt, sites in Champs-sur-Marne, Lamarck in Paris, the GeoSciences laboratory in La Réunion and the IPGP headquarters in rue Jussieu in Paris.

101
ans en 2022 (création de l'IPGP en 1921).
years old in 2022 (IPGP founded in 1921).

404
publications pour l'année 2022 dont 37 dans des revues à fort impact telles que Nature, Science et PNAS.
publications for the year 2022 including 37 in high impact journals such as Nature, Science and PNAS.

4
gands thèmes de recherche : Intérieurs de la Terre et des planètes, Risques naturels, Système Terre et Origines.
major research themes: Earth and Planetary Interiors, Natural Hazards, Earth System Science and Origins.

9
parcours différents du Master Sciences de la Terre et des Planètes, Environnement (STPE) proposés par l'IPGP-Université Paris Cité.
different courses in the Earth and Planetary Sciences, Environment (STPE) Master's programme offered by IPGP-Université Paris Cité.

Vie de l'établissement
Institution's life

Marc Chaussidon, directeur de l'IPGP, reçoit l'insigne de Chevalier de la Légion d'honneur des mains de Bruno David, président du Muséum national d'histoire naturelle.

Marc Chaussidon, IPGP Director, receives the insignia of Chevalier de la Légion d'honneur from Bruno David, President of the Muséum national d'histoire naturelle.

Inauguration scientifique du nouvel observatoire volcanologique et sismologique de Martinique (OVSM-IPGP), en présence de David Zobda, conseiller exécutif à la CTM, Fabrice R. Fontaine, directeur de l'OVSM-IPGP et Marc Chaussidon, directeur de l'IPGP.

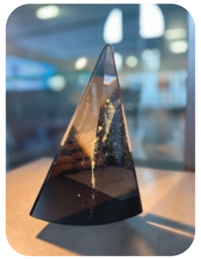
Scientific inauguration of the new Volcanological and Seismological Observatory of Martinique (OVSM-IPGP), in the presence of David Zobda, Executive Councillor of the CTM, Fabrice R. Fontaine, director of the OVSM-IPGP and Marc Chaussidon, IPGP director.

Diffusion de la deuxième session du MOOC "Notre planète" consacré à l'histoire géologique de la Terre, avec Alexandre Fournier et Pierre-Olivier Foucault derrière la caméra.

Broadcast of the second session of the "Our Planet" MOOC on the geological history of the Earth, with Alexandre Fournier and Pierre-Olivier Foucault behind the camera.

Comme chaque année, l'IPGP a accueilli **le festival international du film scientifique Pariscience** pour plusieurs représentations et débats.
As it does every year, the IPGP hosted **the Pariscience international science film festival** for several screenings and debates.

Ateliers participatifs et animations insolites au programme de **la Fête de la science**, animés par des chercheurs et des doctorants IPGP.
Interactive workshops and original shows are on the programme for **the Fête de la science**, led by IPGP researchers and PhD candidates.



Exposition "Verre : l'art et la matière", composée de nombreuses œuvres d'artistes verriers, organisée à l'IPGP par Daniel Neuville dans le cadre de l'année internationale du verre.
"Glass: art and matter"exhibition, featuring numerous works by glass artists, organised at the IPGP by Daniel Neuville as part of the International Year of Glass.

Fête des personnels organisée par Université Paris Cité, composée d'un rallye en équipes dans Paris.
Staff celebration organised by Université Paris Cité, consisting of a team rally around Paris.

Cérémonie de remise des diplômes de doctorat Université Paris Cité sur le campus Saint-Germain-des-Prés.

Université Paris Cité doctoral graduation ceremony on the Saint-Germain-des-Prés campus.

Fin de la mission InSight sur Mars après plus de quatre années de collecte de données scientifiques, suite à une accumulation trop importante de poussière sur les panneaux solaires de l'atterrisseur, réduisant progressivement son énergie.

The InSight mission to Mars comes to an end after more than four years of collecting scientific data, after too much dust accumulated on the lander's solar panels, gradually reducing its energy.

Kristel Chanard, géophysicienne à l'IPGP, explique ce qui fait varier la gravité terrestre **pour l'émission "C'est toujours pas sorcier"**.

Kristel Chanard, a geophysicist at the IPGP, explains what causes the Earth's gravity to vary **for the TV show "C'est toujours pas sorcier"**.

Congrès des doctorants 2022 sur le thème "Macro to micro : a problem of size".

2022 PhD candidate congress on the theme "Macro to micro: a problem of size".

Publication du nouveau repère international de référence terrestre

Publication of the new International Terrestrial Reference Frame

Entretien avec Zuheir Altamimi, directeur de recherche IGN à l'IPGP

Interview with Zuheir Altamimi, IGN research director at the IPGP

La Terre est une planète dynamique, dont la surface est en constante évolution sous l'effet des processus internes, des événements sismiques et telluriques ou des transferts de masses hydrologiques. Or, connaître précisément la position d'un point à la surface du globe s'avère primordial pour de nombreuses applications du quotidien, comme le positionnement par satellite (GPS), mais aussi pour l'étude et la surveillance des phénomènes géologiques et naturels. Pour s'assurer d'avoir une référence commune à tous, l'Union astronomique internationale et l'Union géodésique et géophysique internationale ont créé en 1988 le Service international de la rotation de la Terre et des systèmes de référence (International Earth Rotation and Reference System Service, IERS). Ce service est actuellement confié à l'IGN, via le repère international de référence terrestre (ITRF), dont les calculs et la publication sont assurés par l'équipe de Zuheir Altamimi, également géodésien à l'IPGP.

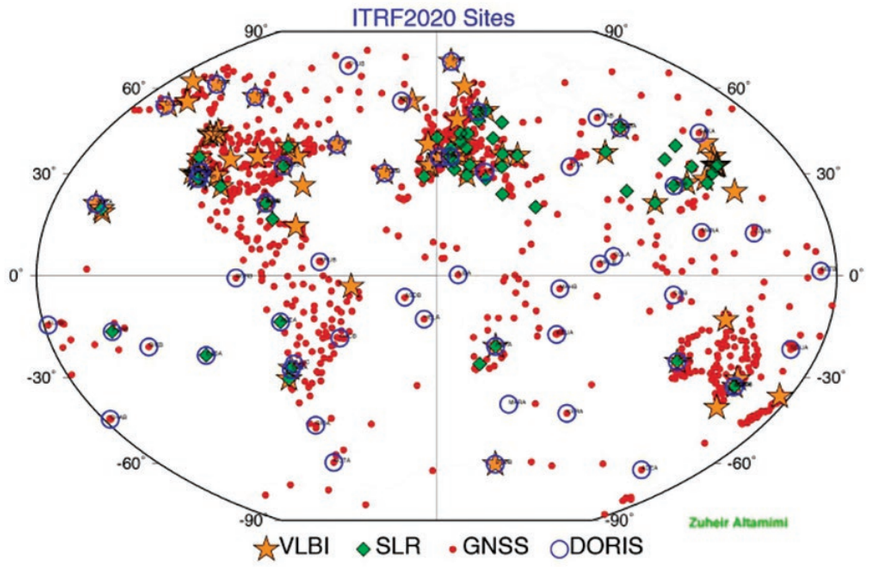
À quoi sert le repère international de référence terrestre et pourquoi est-il nécessaire de le recalculer régulièrement ?

Zuheir Altamimi : L'ITRF est la norme, ou la référence standard, recommandée par un certain nombre d'organisations scientifiques, comme l'Union géodésique et géophysique internationale, pour le positionnement sur la surface de la Terre, la navigation satellitaire et les applications en sciences de la Terre. L'ITRF est matérialisé et accessible aux utilisateurs via les coordonnées temporelles de plus de mille instruments de mesure géodésique répartis dans le monde entier qui, pour la plupart, observent en continu. Ces coordonnées évoluant au cours du temps, il est nécessaire de mettre à jour l'ITRF tous les cinq ans environ afin d'améliorer leur précision et de tenir compte de leurs variations dues aux phénomènes géophysiques, tels que les tremblements de terre entre autres.

The Earth is a dynamic planet, whose surface is constantly changing as a result of internal processes, seismic and telluric events and hydrological mass transfers. Knowing the precise position of a point on the Earth's surface is essential for many everyday applications, such as satellite positioning (GPS), but also for studying and monitoring geological and natural phenomena. To ensure that everyone has a common reference, the International Astronomical Union and the International Union of Geodesy and Geophysics set up the International Earth Rotation and Reference System Service (IERS) in 1988. This service is currently entrusted to IGN, via the International Terrestrial Reference Frame (ITRF), which is calculated and published by the team led by Zuheir Altamimi, also a geodesist at the IPGP.

What is the purpose of the International Terrestrial Reference Frame and why is it necessary to recalculate it regularly?

Zuheir Altimimi: The ITRF is the standard, or standard reference, recommended by a number of scientific organisations, such as the International Union of Geodesy and Geophysics, for positioning on the Earth's surface, satellite navigation and Earth science applications. The ITRF is materialised and accessible to users via the time coordinates of more than a thousand geodetic measurement instruments spread around the world, most of which observe continuously. As these coordinates change over time, it is necessary to update the ITRF every five years or so in order to improve their accuracy and take account of variations caused by geophysical phenomena such as earthquakes.



Carte du réseau mondial des observatoires géodésiques / Map of the worldwide network of geodetic observatories

Comment ce repère est-il utilisé dans les différents domaines des sciences de la Terre ?

La géodésie, composante métrologique de la géophysique, est la science qui sert à quantifier les variations spatio-temporelles des trois propriétés fondamentales de notre planète, à savoir sa forme, son champ de gravité et son orientation dans l'espace. Les domaines des sciences de la Terre, ainsi que leurs usages de l'ITRF, sont donc multiples. Une des applications les plus emblématiques est celle qui concerne les calculs d'orbites des satellites altimétriques référencées dans l'ITRF. Ces satellites scannent les surfaces océaniques par altimétrie radar pour évaluer les variations spatio-temporelles du niveau des mers, indicateur majeur du changement climatique. En tectonique et en sismologie, ce sont les mesures des satellites GNSS/GPS dont les orbites et autres paramètres sont référencés dans l'ITRF qui sont exploités.

How is this reference used in the various fields of Earth sciences?

Geodesy, the metrological component of geophysics, is the science used to quantify the spatio-temporal variations in the three fundamental properties of our planet, namely its shape, its gravitational field and its orientation in space. The fields of Earth sciences, and their uses of ITRF, are therefore many and varied. One of the most emblematic applications is the calculation of altimetry satellite orbits referenced in the ITRF. These satellites scan ocean surfaces using radar altimetry to assess spatio-temporal variations in sea levels, a major indicator of climate change. In tectonics and seismology, the measurements of GNSS/GPS satellites whose orbits and other parameters are referenced in the ITRF are used.

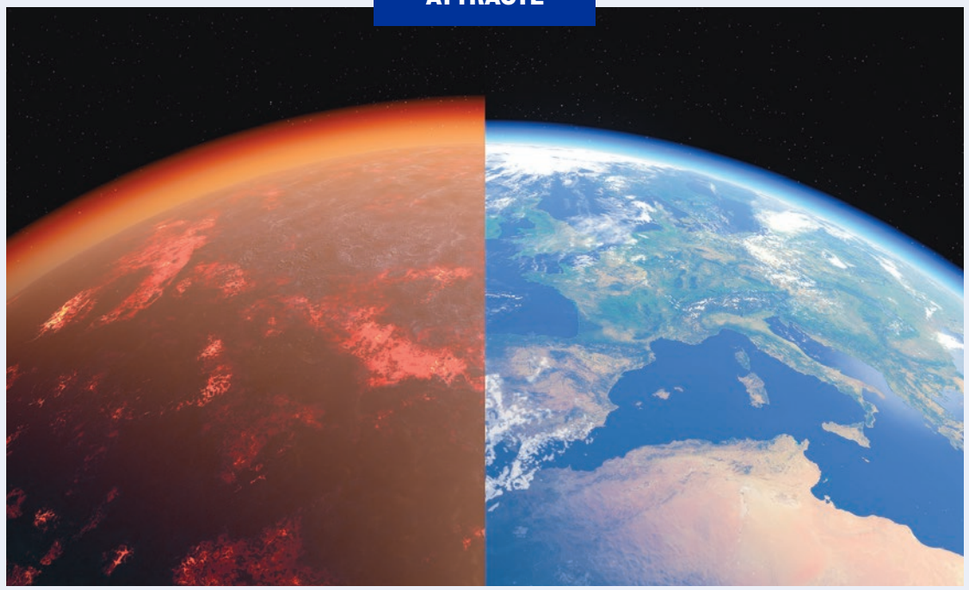
En savoir plus / Read more:
https://itrf.ign.fr/en/solutions/ITRF2020C

Contact : altamimi@ipgp.fr

Vie de la recherche
Research life

Projets européens
EU projects

ATTRACTE



Suivi atmosphérique de l'évolution de la Terre

Ce projet vise à améliorer les connaissances sur les principaux facteurs ayant régi l'évolution de l'atmosphère terrestre au cours des ères géologiques. Plusieurs indicateurs "proxy", tels que des minéraux contenant des signatures géochimiques de l'atmosphère, seront utilisés pour analyser les gaz atmosphériques nouveaux et passés.

Projet ERC Starting Grants, porté par Guillaume Avice de l'équipe de cosmochimie, astrophysique et géophysique expérimentale.

Atmospheric tracing of Earth's evolution

This project aims to improve our knowledge of the main drivers of evolution in the Earth's atmosphere over geological eons. Several proxy indicators, such as minerals containing geochemical signatures of the atmosphere, will be used to analyse new and past atmospheric gases.

ERC Starting Grants project, led by Guillaume Avice from the Cosmochemistry, Astrophysics and Experimental Geophysics team.

ENVSEIS

Étude de la surface terrestre à l'aide de méthodes sismiques

Regroupant dix groupes de recherche de premier plan issus de sept pays, ce projet formera douze chercheurs en début de carrière dans les domaines de la sismologie et des sciences de la surface de la Terre, afin de préparer le terrain pour une nouvelle génération de sismologues de l'environnement. Ils aborderont des défis majeurs dans les domaines des risques naturels, de l'hydrologie, de la géomorphologie et des sciences océaniques.

Projet Marie Skłodowska-Curie Actions Doctoral Networks, porté par Anne Mangeney de l'équipe de sismologie et coordonné par le GFZ Potsdam.

Studying the Earth's surface with seismic methods

Bringing together 10 leading research groups from 7 countries, this project will train 12 early stage researchers (ESRs) in both seismology and Earth surface sciences, to lay the ground for a next strong generation of environmental seismologists. They will address outstanding challenges in natural hazards, hydrology, geomorphology, and ocean sciences.

Marie Skłodowska-Curie Actions Doctoral Networks project, led by Anne Mangeney from the seismology team and coordinated by GFZ Potsdam.

Projets ANR
ANR projects

CARBIONIC

Impact de la synthèse organique abiotique sur le cycle du carbone en contexte de subduction

Ce projet propose de revisiter le cycle du carbone organique profond en explorant les mécanismes de synthèse abiotique (= sans l'action du vivant) de ce carbone dans les zones de subduction. L'objectif de CARBIONIC est d'élucider l'origine de la matière carbonée observée aux limites de plaques et de proposer un premier bilan du stockage du CO_2 sous forme de carbone organique abiotique dans la Terre profonde.

Projet "Jeunes chercheuses et jeunes chercheurs", porté par Baptiste Debret de l'équipe de géomicrobiologie.

Enhanced potential for abiotic organic carbon in subduction zones

This project aims at revisiting the deep organic carbon cycle by exploring the mechanisms of abiotic organic carbon synthesis in subduction zones. The objective of CARBIONIC is to elucidate the origin of the carbonaceous matter observed at plate boundaries and to provide an initial assessment of the storage of CO_2 in the form of abiotic organic carbon in the deep Earth.

"Young researchers"project, led by Baptiste Debret from the geomicrobiology team.

SOFT

Subduction des zones de fracture océaniques : le rôle de l'hydratation sur la dynamique court- à long-terme des zones de subduction

L'objectif de ce projet est de comprendre comment et pourquoi les zones de fractures océaniques contrôlent la dynamique sismique et tectonique des zones de subduction. SOFT permettra de contraindre l'impact respectif de l'hydratation de la lithosphère océanique et des réactions de déshydratation sur la dynamique sismique et tectonique des zones de subduction.

Projet "Jeunes chercheuses et jeunes chercheurs", porté par Cécile Prigent de l'équipe de géosciences marines.

Subduction of oceanic fracture zones: the role of slab hydration on the short- to long-term dynamics of subduction zones

The goal of this project is to understand how and why oceanic fracture zones control the short-term (seismic) and long-term (tectonic) dynamic of subduction zones. SOFT will be a unique interdisciplinary opportunity to constrain the respective impact of slab hydration and dehydration reactions on the seismic and tectonic dynamic of subduction zones.

"Young researchers" project, led by Cécile Prigent from the marine geosciences team.

ORISULF

L'origine du soufre sur Terre

Plutôt que de se concentrer sur l'eau, l'azote ou le carbone, trois espèces dont les budgets terrestres sont fortement impactés par plusieurs milliards d'années de subduction, ORISULF se focalisera sur le soufre et permettra de contraindre la provenance des volatiles terrestres ainsi que de reconstruire la chronologie relative d'acquisition des volatils.

Projet "Jeunes chercheuses et jeunes chercheurs", porté par Jabrane Labidi de l'équipe de géochimie des isotopes stables.

The origin of sulfur on Earth

Rather than focusing on water, nitrogen or carbon, three species whose terrestrial budgets have been strongly impacted by several billion years of subduction, ORISULF will focus on sulphur, helping to constrain the origin of terrestrial volatiles and reconstruct the relative chronology of volatile acquisition.

"Young researchers" project, led by Jabrane Labidi from the Stable Isotope Geochemistry team.

USB-MAC

Comprendre le comportement du soufre dans les magmas pour modéliser la réactivité chimique des silicates fondus naturels

Ce projet rationalisera le rôle de la composition des silicates fondus et calibrera un modèle cinétique et thermodynamique en résolvant leurs propriétés acido-basiques dans le but ultime de prédire le comportement multiforme du soufre dans les systèmes magmatiques, en particulier les systèmes volcaniques.

Coordination IPGP, porté par Roberto Moretti de l'équipe des systèmes volcaniques.

Understanding sulphur behaviour in magmas to model chemical reactivity of silicate melts

This project will rationalize the role of melt composition and calibrate a kinetic and thermodynamic model solving the acid-base properties of melts, with the ultimate goal of predicting the multi-faceted sulphur behaviour in magmatic and related systems, particularly volcanic ones.

Coordinated by the IPGP, led by Roberto Moretti from the Volcanic Systems team.

IONO-DIET

Détection et imagerie ionosphérique des séismes et des tsunamis

Ce projet vise à développer, pour la première fois, des méthodes ionosphériques permettant de détecter des séismes et des tsunamis en temps quasi-réel (TQR - environ 12 à 15 minutes après un séisme), et d'estimer la magnitude des séismes et l'étendue de la source sismique, et/ou calculer les hauteurs des tsunamis se propageant en TQR.

Coopération internationale avec le Brésil, coordonné à l'IPGP par Elvira Astafyeva de l'équipe de planétologie et sciences spatiales.

Ionospheric detection and imaging of earthquakes and tsunamis

This project aims to develop, for the first time, ionosphere-based methods that will detect earthquakes and tsunamis in near-real-time (NRT - around 12 to 15 minutes after an earthquake), and will determine the earthquake source parameters and/or tsunami wave-heights from the ionosphere in NRT.

International cooperation with Brazil, coordinated at the IPGP by Elvira Astafyeva from the Planetology and Space Sciences team.

PALAVAS

Flux d'altération présents et passés des îles volcaniques tropicales

Le projet suivra les taux d'altération et d'érosion au fil du temps en se fondant sur des analyses de sols, de rivières et d'archives sédimentaires détritiques. Il fournira ainsi une vision totalement actualisée de l'évolution de l'altération et de l'érosion dans les îles tropicales et de l'impact de cette évolution sur la consommation globale de CO_2.

Coopération internationale avec l'Allemagne, coordonné à l'IPGP par Julien Bouchez de l'équipe de géochimie des enveloppes externes.

Present and past weathering fluxes from tropical volcanic islands

The project will track weathering and erosion rates through time based on analyses of soils, rivers, and detrital sedimentary archives, and thus will deliver a completely updated view of how weathering and erosion evolve on tropical islands, and how this evolution impacts global CO_2 consumption.

International cooperation with Germany, coordinated at the IPGP by Julien Bouchez of the External Envelopes Geochemistry team.

CAST

Sismotectonique active des Caraïbes : faire la lumière sur les risques sismiques et de tsunami

Ce projet vise à définir la structure des failles lithosphériques décrochantes actives jumelles au Nord de la Plaque des Caraïbes, à révéler leur histoire sismo-tectonique et à caractériser l'activité sismique qui leur est associée afin de mieux estimer les risques naturels auxquels cette région, déjà durement impactée, est soumise.

Coordination IFREMER, porté à l'IPGP par Yann Klinger de l'équipe de tectonique et mécanique de la lithosphère.

Caribbean Active SeismoTectonics: shedding light on the seismic and tsunami hazards.

This project aims to identify the architecture of the twin active lithospheric strike-slip faults to the North of the Caribbean Plate, to unravel their seismotectonic history, and to characterize their earthquake activity to better understand the associated hazards.

Coordinated by the IFREMER, led at the IPGP by Yann Klinger of the Tectonics and Mechanics of the Lithosphere team.

PHYSEROSION

Approches physiques de l'érosion par des écoulements d'eau : rôles du transport et des réactions dans le transfert de masse

Ce projet vise à étudier d'un point de vue physique les différents mécanismes d'érosion par des écoulements d'eau en associant plusieurs expertises complémentaires. Il sera ainsi possible de proposer des prédictions à long terme de l'évolution des paysages sous l'action des phénomènes d'érosion.

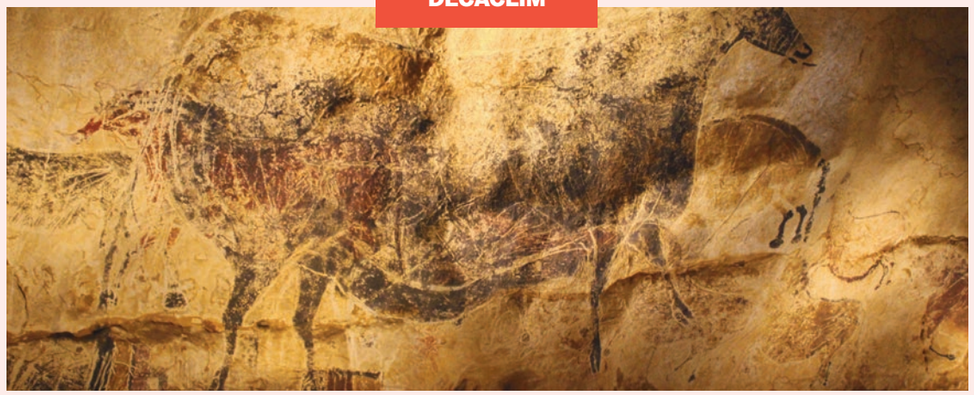
Coordination Université Paris Cité, porté à l'IPGP par Olivier Devauchelle de l'équipe de dynamique des fluides géologiques.

Physical approaches of erosion by water flows: roles of transport and reactions in mass-transfers

This project aims to study from a physical point of view the different mechanisms of erosion by water flows by associating several complementary areas of expertise. It will thus be possible to offer long-term predictions of the evolution of landscapes under the action of erosion phenomena.

Université Paris Cité coordination, led at the IPGP by Olivier Devauchelle from the Geological Fluid Dynamics team.

DECACLIM



Les grottes ornées face au changement climatique : une nouvelle stratégie conservatoire à définir

Ce projet a pour objectif d'identifier les situations critiques ou points de bascule, pouvant déboucher sur une altération rapide (physique et/ou biologique) du patrimoine de cavités ornées. Il permettra de définir une approche conservatoire innovante applicable à différentes grottes dans le contexte du changement climatique (instrumentation stable dans le temps, outils de diagnostics adaptés, gestion de la surface...).

Coordination GET, porté à l'IPGP par Frédéric Girault de l'équipe de physique des sites naturels.

Decorated caves under climate change: redefining an effective conservation strategy

This project aims at identifying the tipping points that may lead to an alteration (physical and/or biological) of cave paintings. It will define an innovative conservatory approach to protect intangible cultural heritage in the context of climate change (measurement instrumentation, appropriate diagnostic tools, management of surface land...).

GET coordination, led at the IPGP by Frédéric Girault of the Physics of Natural Sites team.

SLIDEWAVES

Des ondes aux glissements de terrain grâce à la rhéologie multi-échelle

L'ambition de ce projet est de résoudre le lien entre les ondes, la rhéologie et les glissements de terrain en se concentrant sur les petites échelles et en développant une stratégie de mise à l'échelle qui conduira à des avancées sans précédent dans l'extraction des caractéristiques clés des glissements de terrain à partir des ondes enregistrées, qui nourriront les simulations prédictives des glissements de terrain.

Accompagnement du dépôt d'une ERC SYNERGY, coordination IPGP, porté par Anne Mangeney, de l'équipe de sismologie.

From waves to landslides by multi-scale rheology

The ambition of this project is to resolve the wave-rheology-landslide link by shifting the focus to small scales and developing an upscaling strategy that will lead to unprecedented advances in extracting key landslide characteristics from recorded waves and feeding predictive simulations of landslides.

Support for the submission of an ERC SYNERGY, coordination IPGP, led by Anne Mangeney, from the Seismology team.

Projet CEFIPRA (programme de coopération scientifique entre l'Inde et la France)
CEFIPRA project (scientific cooperation program between India and France)

MARAWI

Évaluation morphologique des ressources en eau dans les bassins versants semi-arides du centre de l'Inde.

Ce projet a pour objectif de montrer, à partir de l'étude d'un bassin versant et d'expériences de laboratoire, que la morphologie des canaux et des vallées des cours d'eau intermittents permet d'établir un bilan hydrique de premier ordre à l'échelle de leurs bassins versants.

Coordination IPGP, porté par François Métivier, de l'équipe de dynamique des fluides géologiques.

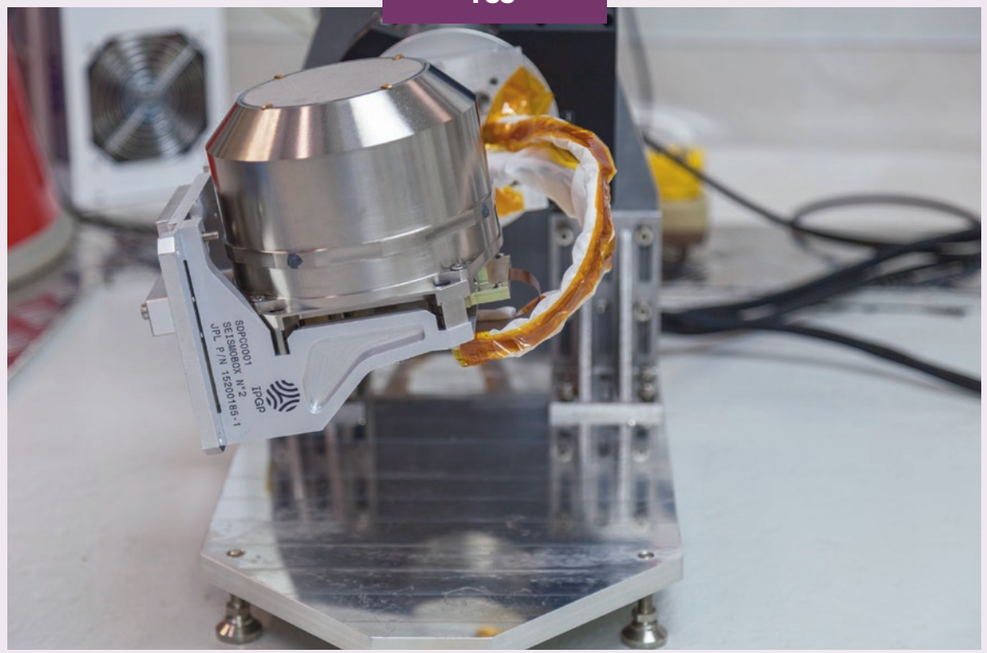
Morphologic assessment of water resources in semi-arid catchments of central India.

The aim of this project is to demonstrate, on the basis of a study of a catchment area and laboratory experiments, that the morphology of the canals and valleys of intermittent watercourses makes it possible to establish a first-order water balance on the scale of their catchment areas.

IPGP coordination, led by François Métivier, from the Geological Fluid Dynamics team.

Projet CNES
CNES project

FSS



Participation de l'instrument Farside Seismic Suite à la mission de la NASA sur la face cachée de la Lune

La mission FSS déploiera une station sismique autonome dans le cratère d'impact Schrödinger à la mi-2025. Cette station, qui restera sur le pont de l'atterrisseur, sera équipée d'un sismomètre vertical à très large bande, dérivé du modèle de rechange de l'expérience SEIS, complétée par un sismomètre tri-axial à courte période.

Coordination NASA JPL, porté par Sébastien de Raucourt, de l'équipe de planétologie et sciences spatiales.

Participation of the Farside Seismic Suite instrument in NASA's mission to the far side of the Moon

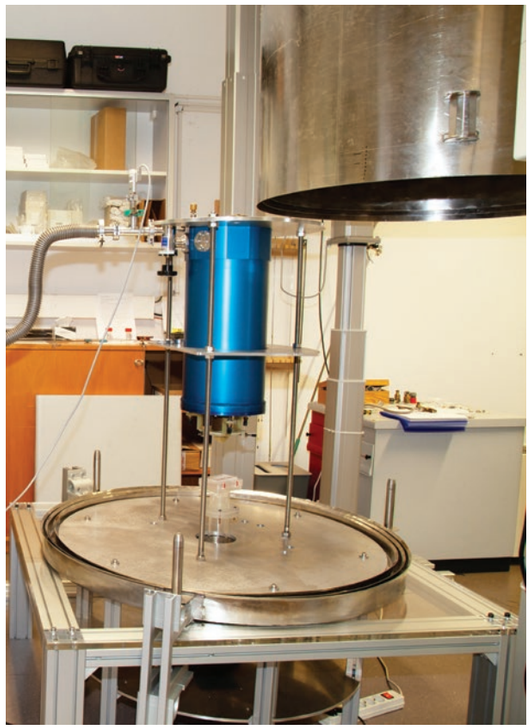
The FSS mission will deploy an autonomous seismic station in the Schrödinger impact crater in mid-2025. This station, which will remain on the lander's deck, will be equipped with a vertical very broadband seismometer, derived from the spare model of the SEIS experiment, completed by a short-period tri-axial seismometer.

NASA JPL coordination, led by Sébastien de Raucourt, from the Planetology and Space Science team.

Nouveaux instruments
New instruments

Microscope magnétique à balayage à capteur SQuID

La plateforme d'analyse de mesures magnétiques (PAMM - intégrée à la plateforme PARI) de l'équipe de paléomagnétisme de l'IPGP accueille un nouvel instrument : un microscope magnétique à balayage. Équipé d'un capteur SQuID, il permet de cartographier la composante verticale de l'aimantation en plus de 10 000 points d'objets conditionnés en lame mince, avec une sensibilité supérieure de quatre à six ordres de magnitude aux magnétomètres conventionnels. En procédant à l'inversion de cette composante verticale, on peut déterminer la direction et l'intensité du champ magnétique ancien.



De nombreuses applications innovantes deviennent réalisables, telles que la localisation des minéraux magnétiques en vue de comprendre le contexte géologique et temporel de leur genèse. Des magnétostratigraphies à plus haute résolution temporelle sont également possibles, permettant d'étudier le champ géomagnétique précambrien via l'analyse d'inclusions de particules magnétiques dans des silicates, ou les champs extra-terrestres, comme celui de la nébuleuse solaire, via l'étude de météorites.

Scanning SQuIDMagnetic Microscope

The Paleomagnetism research group's Magnetic Measurement Analytical Platform (PAMM, a component of the platform PARI), now houses a scanning magnetic microscope. Equipped with a SQuID sensor, it can map the vertical component of magnetization at more than 10,000 points in materials prepared in thin sections, with a sensitivity four to six orders of magnitude greater than conventional magnetometers. By inverting the vertical component of the measured magnetization, the direction and intensity of the ancient magnetic field can be determined. Magnetic microscopy observations open a wide range of innovative paleomagnetic applications such as the location of magnetic minerals helping understand the geological and temporal context of their genesis. High temporal resolution magnetostratigraphies can be obtained from sediments, the Precambrian geomagnetic field from magnetic inclusions embedded and protected by silicates, and extra-terrestrial magnetic fields, such that of the solar nebula, from meteorites.

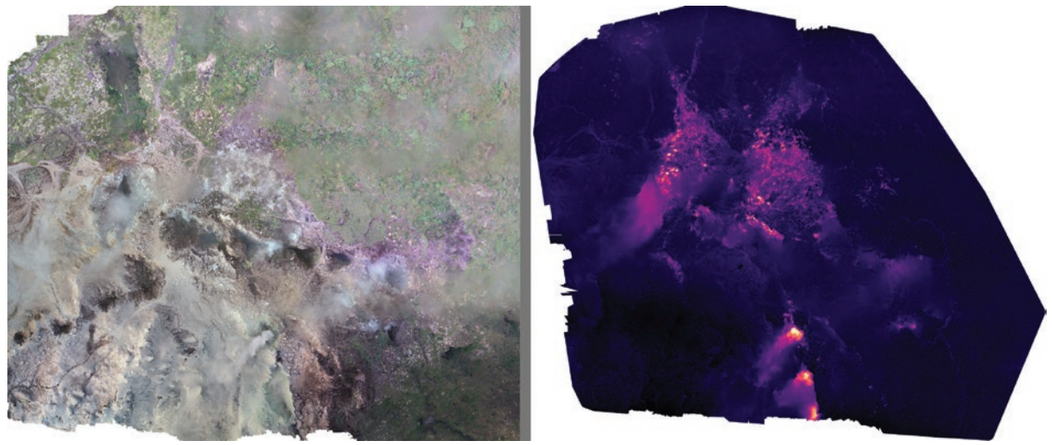
Contact : lagroix@ipgp.fr

Drone à caméra thermique et hyperspectrale

Le Pôle Drones de l'IPGP intègre une nouvelle charge utile constituée d'un capteur aéroporté thermique à micro-bolomètre doté d'une nacelle stabilisée, combiné à un capteur optique. Grâce à une technologie de positionnement en temps réel (RTK), les images radiométriques sont géolocalisées avec une précision centimétrique. Des vols programmés peuvent ainsi être répétés dans le temps pour un suivi régulier d'une zone d'intérêt. Le sommet de la Soufrière en Guadeloupe à ainsi été survolé à plusieurs reprises pour générer des cartographies thermiques et optiques géolocalisées.

Drone with thermal and hyperspectral camera

The IPGP Drones Unit has integrated a new payload consisting of an airborne thermal micro-bolometer sensor equipped with stabilized gimbals, paired with an optical camera. Thanks to a real-time kinematic positioning (RTK), radiometric images are geo-referenced with centimeter accuracy. Repeated surveys can be programmed over time for regular monitoring of an area of interest. The summit of La Soufrière in Guadeloupe has thus been flown over several times to generate geo-referenced thermal and visible maps.



Orthoimages thermique (à droite) et visible (à gauche) du sommet de la Soufrière de Guadeloupe. L'image thermique indique les températures entre 15 et 80°C. On y voit les fumerolles principales (Cratère Sud et bas d'image, Gouffre Tarissan à gauche, Gouffre 1956 à droite) ainsi que la zone fumerolienne qui s'y est progressivement développée au cours de la dernière décennie.

Thermal (right) and visible (left) orthoimages of the summit of La Soufrière in Guadeloupe. The thermal image indicates temperatures between 15 and 80°C. The main fumaroles can be seen (South Crater and bottom of the image, Gouffre Tarissan on the left, Gouffre 1956 at right) as well as the fumarolic zone which has gradually developed over the last decade.

Contact : drones@ipgp.fr

OBS déployés en Antarctique

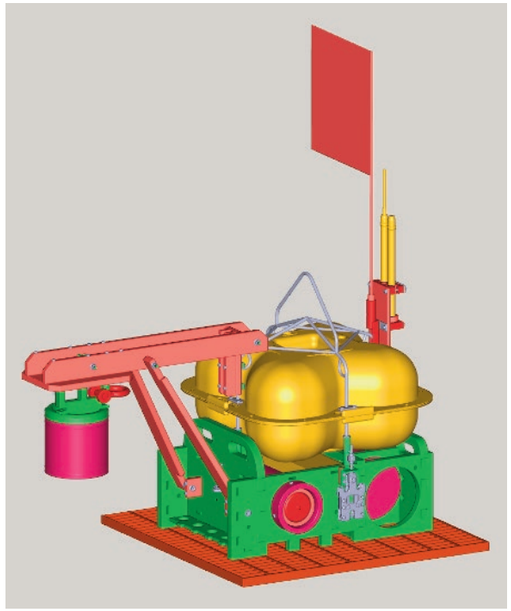
L'objectif du projet SEIS-ADELICE est de suivre l'activité sismique du glacier de l'Astrolabe, proche de la station scientifique Dumont d'Urville en Antarctique, afin de quantifier sa dynamique et ses interactions avec l'océan sous-jacent. Les enregistrements sismiques effectués permettront de détecter et de localiser les sources sismiques liées à la fracturation de surface, au glissement basal et latéral du glacier et à l'activité de vêlage à son terminus en mer.

Dans ce cadre, l'équipe technique de géosciences marines de l'IPGP a adapté la structure des sismomètres de fond de mer de Guralp pour les rendre compatibles avec les exigences de déploiement en chute libre en mer. Les ensembles mécaniques de flottabilité, de largage et du support de capteur sismique ont été améliorés pour déployer les instruments, les localiser sur le plancher océanique et les récupérer depuis un bateau en surface. Trois OBS sont actuellement déployés en Antarctique, qui seront suivis de trois autres au large du Stromboli en fin d'année.

OBS deployed in Antarctica

The SEIS-ADELICE project aims to monitor the seismic activity of the Astrolabe glacier, close to the Dumont d'Urville scientific station in Antarctica, in order to quantify its dynamics and interactions with the underlying ocean. Deployed ocean bottom station will detect seismic sources linked to the surface fracturing of the glacier, its basal and lateral sliding and its calving activity at the seaward end as well.

For this experiment, the IPGP's marine geosciences technical team modified bottom-deployable ocean bottom seismometers (OBS) to be launched in free fall. The mechanical assemblies of the buoyancy, ballast release and seismic sensor support were updated to allow the instruments to be deployed, located on the seabed and recovered from a ship. Three OBSs are currently in Antarctica and an offshore campaign at Strombili volcano will see three more of these upgraded instruments deployed by the end of the year.



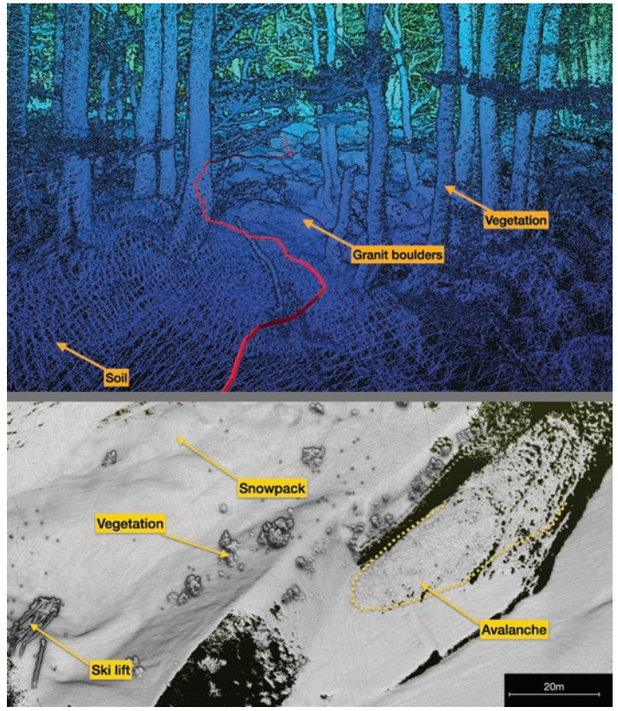
Contact : crawford@ipgp.fr

Arpenter la zone critique avec un Lidar à dos

Bien que les observations satellites puissent conduire à une analyse approfondie des paysages (relief, couverture végétale, rugosité de surface, etc.), elles nécessitent souvent des mesures complémentaires au sol. L'équipe de planétologie et sciences spatiales de l'IPGP a ainsi acquis un Lidar embarqué dans un sac à dos pour palier les limitations des capteurs aéroportés, en vue d'imager des paysages complexes caractérisés par une couverture végétale dense ou un terrain escarpé. Sa capacité de détection permet par exemple de scanner un bassin versant à végétation dense en le traversant à pied. Il est alors possible d'imager à une échelle centimétrique un sol nu, des affleurements ou encore différents types de végétation. Une simple randonnée à ski dans des zones recouvertes de neige par des avalanches permet d'acquérir des données critiques telles que le volume et la rugosité de la surface neigeuse. Celles-ci sont particulièrement utiles en vue de fournir des mesures cohérentes pour les observations de télédétection, en particulier pour l'étalonnage des données SAR et la déduction des propriétés de la surface.

Hiking in the Critical Zone, with a backpack LiDAR

Multi-scale features extraction of landforms such as relief, vegetation cover or the roughness fosters in-depth analysis of landscapes. Satellite observations meet these issues, but they often need to be confirmed by ground-truth measurements. The Planetology and Space Science team has acquired a backpack Lidar to overcome some of the limitations of airborne sensors for scanning complex landscapes with dense vegetation cover and/or steep terrain. The backpack Lidar's detection capability enables the scanning of a densely vegetated catchment area while hiking. Bare ground, outcrops and different types of vegetation can then be deciphered on a centimeter scale. Skiing in areas covered in snow avalanches enables critical metrics such as surface volume and roughness to be acquired. They are useful for providing ground truth metrics for remote-sensing observations, in particular for SAR data calibration and surface parameter's inference.



Mesures LiDAR dans le bassin versant de la Sapine (Cévennes) au cœur de la forêt de hêtres et de sapins. Le tracé rouge correspond au passage de l'antenne à travers la végétation et les blocs de granite affleurants.

LiDAR measurements in the Sapine catchment area (Cévennes) in the heart of the beech and fir forest. The red line shows the path of the antenna through the vegetation and outcropping granite blocks.

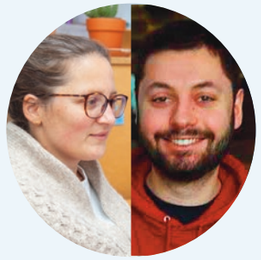
Contact : lucas@ipgp.fr

Prix et distinctions
Awards and honours

Daniel Neuville
Géomatériaux
Geomaterials

"Otto Schott research award" du Fonds Ernst-Abbe
Otto Schott research award by the Ernst-Abbe Fund

Carl Zeiss Research Award



Milena Marjanovic et Simon Besançon
Géosciences marines
Marine Geosciences

"Public Engagement Grant" de l'EGU
EGU Public Engagement Grant

EGU European Geosciences Union

Razvan Caracas
Cosmochimie, astrophysique et géophysique expérimentale
Cosmochemistry, Astrophysics and Experimental Geophysics

"Fellow" de la Mineralogical Society of America
Fellow of the Mineralogical Society of America

MINERALOGICAL SOCIETY OF AMERICA · MINERALOGY · PETROLOGY · CRYSTALLOGRAPHY · MCMXIX

Mathilde Cannat
Géosciences marines
Marine Geosciences

Médaille Arthur Holmes de l'EGU
Arthur Holmes Medal of the EGU

AGU ADVANCING EARTH AND SPACE SCIENCE

Hoaxuan Sun
Cosmochimie, astrophysique et géophysique expérimentale
Cosmochemistry, Astrophysics and Experimental Geophysics

"Wiley-Blackwell Award" de la Meteoritical Society
"Wiley-Blackwell Award" of the Meteoritical Society

EGU European Geosciences Union

Frédéric Moynier

Cosmochimie, astrophysique et géophysique expérimentale
Cosmochemistry, Astrophysics and Experimental Geophysics

"Fellow" de la Meteoritical Society
Fellow of the Meteoritical Society

Philippe Lognonné

Planétologie et sciences spatiales
Planetology and Space Sciences

"Beno Gutenberg Lecture" de l'AGU
Beno Gutenberg Lecture of the AGU

Paul Rebischung

Géodésie
Geodesy

"Ivan I. Mueller Award" de l'AGU
Ivan I. Mueller Award of the AGU

Nouveaux chercheurs et enseignants-chercheurs
New researchers and professors

Boris Robert

Boris Robert obtient son doctorat en paléomagnétisme à l'IPGP en 2016. Il effectue ensuite à partir de 2017 un premier postdoctorat au Centre of Earth Evolution and Dynamics (CEED - Université d'Oslo), où il étudie la paléogéographie de la fin du Précambrien (750-500 Ma), période de transformations tectoniques et biologiques intenses dans l'histoire de la Terre. Fin 2020, il poursuit son travail de recherche en Allemagne au German Research Centre (GFZ). En 2022, il est recruté à l'IPGP en tant que maître de conférences où il rejoint l'équipe de paléomagnétisme. Ses recherches portent sur la reconstruction du mouvement des plaques tectoniques et leur interaction avec le manteau convectif, en intégrant les données paléomagnétiques acquises en laboratoire et les observations géologiques dans des modèles tectoniques régionaux et globaux.

Équipe *Team:* Paléomagnétisme *Paleomagnetism*
Thèmes *Themes:* Intérieurs de la Terre et des planètes *Earth and Planetary interiors*
Origines *Origins*
Statut *Position:* Maître de conférences *Lecturer*
Contact: brobert@ipgp.fr

Boris Robert received his PhD in paleomagnetism from the IPGP in 2016. He then moved to the Centre of Earth Evolution and Dynamics (CEED - University of Oslo) in 2017, where he worked on the paleogeography of the late Precambrian (750-500 Ma), a period of intense tectonic and biological transformations in the Earth's history. At the end of 2020, he continued his work at the German Research Center (GFZ) within the geodynamic modelling section. In 2022, he was hired as a lecturer at the IPGP, where he joined the paleomagnetism team. His research focuses on reconstructing the motion of tectonic plates and understanding their interaction with mantle convection by integrating paleomagnetic data acquired from laboratory and geological observations into regional and global tectonic models.

Carole Berthod

Carole Berthod obtient son doctorat en géosciences en 2016 à l'Université de La Réunion en travaillant sur le Piton des Neiges. Elle rejoint l'année suivante le Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques (CRPG) à Nancy en tant qu'attachée temporaire d'enseignement et de recherche (ATER). Elle effectue ensuite un postdoctorat au Laboratoire Magmas et Volcans à Clermont-Ferrand jusqu'en 2022, où elle étudie le volcanisme sous-marin dans le Canal du Mozambique et plus particulièrement au large de Mayotte. Elle intègre l'IPGP, comme physicienne adjointe, pour rejoindre l'OVSG en septembre 2022. Ses activités de recherche sont principalement axées sur la compréhension de la dynamique du système magmatique alimentant les éruptions. Ce travail repose sur la reconstitution de l'évolution dans le temps du magma, de la source à la surface, en se basant sur les compositions et les propriétés physiques des produits émis.

Observatoire *Observatory:* OVSG-IPGP

Équipe *Team:* Systèmes volcaniques
Volcanic Systems

Thème *Theme:* Risques naturels *Natural Hazards*

Statut *Position:* Physicienne adjointe
CNAP physicist

Contact: berthod@ipgp.fr

Carole Berthod obtained her PhD in Earth Sciences at the Université de La Réunion in 2016, working on the Piton des Neiges. The following year, she joined the Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques (CRPG) in Nancy as a temporary teaching and research associate (ATER). She then worked as a post-doctoral researcher at the Magmas and Volcanoes Laboratory in Clermont-Ferrand until 2022, where she studied submarine volcanism in the Mozambique Channel and in particular off Mayotte. She finally joined the IPGP in September 2022 to work at the OVSG as "physicienne adjointe". Her research activities are mainly focused on the understanding of the dynamics of the magmatic system feeding the eruptions. This work is based on the reconstruction of the evolution of the magma over time, from the source to the surface, based on the compositions and physical properties of the products erupted.

Charlotte Catrouillet

Charlotte Catrouillet obtient son doctorat au sein du laboratoire Géosciences Rennes (Université de Rennes) en 2015. Elle devient ensuite attachée temporaire d'enseignement et de recherche (ATER) et utilise les terres rares comme traceurs de la composition de la matière organique. En 2016, elle rejoint le laboratoire EPOC (Université de Bordeaux), où elle s'intéresse à la biogéochimie du platine en milieu côtier. Puis à partir de 2017, elle poursuit ses recherches au laboratoire IDYST (Université de Lausanne, Suisse), pour comprendre l'impact de la présence du manganèse sur l'efficacité d'une technique de dépollution des eaux contaminées à l'arsenic. En 2020, elle est de retour à Géosciences Rennes pour étudier les interactions entre les métaux/métalloïdes et les microplastiques dans la zone critique. Elle est recrutée en septembre 2022 à l'IPGP comme maître de conférences. A partir d'études expérimentales, de terrain et de modélisation, elle travaille désormais sur les interactions entre les métaux et le soufre organique réduit.

Équipe *Team:* Biogéochimie à l'Anthropocène des éléments et contaminants émergents
Biogeochemistry at the Antropocene of Elements and Emerging Contaminants

Thème *Theme:* Système Terre *Earth System Science*

Statut *Position:* Maître de conférences *Lecturer*

Contact: catrouillet@ipgp.fr

Charlotte Catrouillet obtained her PhD in 2015 in Geosciences Rennes (Université de Rennes). She then became a temporary teaching and research assistant (ATER), using rare earth elements as tracers of the organic matter composition. In 2016, she joined the EPOC laboratory (Université de Bordeaux), where she studied the biogeochemistry of platinum in coastal environments. Then, from 2017, she continued her research at the IDYST laboratory (University of Lausanne, Switzerland), to understand the impact of the presence of manganese on the efficiency of a technique for the depollution of arsenic-contaminated waters. In 2020, she returned to Geosciences Rennes to study the interactions between metals/metalloids and microplastics in the critical zone. In September 2022, she was recruited as a lecturer at the IPGP. Based on experimental, field and modelling studies, she is now working on the interactions between metals and reduced organic sulfur.

Ivan Vlastelic

Après avoir soutenu sa thèse en 1998 à l'Université de Brest, Ivan Vlastélic devient ATER pendant un an à l'École et Observatoire des Sciences de la Terre (EOST) à Strasbourg, puis chercheur contractuel pendant deux ans au Max-Planck Institut (Mayence, Allemagne). Il est ensuite recruté en 2001 comme chargé de recherche CNRS au Laboratoire de Géodynamique des Chaînes Alpines à Grenoble, avant de rejoindre le Laboratoire Magmas et Volcans à Clermont-Ferrand en 2005 en tant que chef de l'équipe de géochimie, puis directeur-adjoint. En 2022, il intègre l'IPGP en tant que directeur de l'Observatoire volcanologique et sismologique de Guadeloupe. Ses recherches se focalisent sur la géodynamique chimique du manteau terrestre, le volcanisme et les cycles géochimiques externes, avec une part importante axée sur la compréhension de l'origine profonde de l'activité volcanique en lien avec les propriétés du manteau.

Observatoire *Observatory:* OVSG-IPGP

Équipe *Team:* Systèmes volcaniques
Volcanic Systems

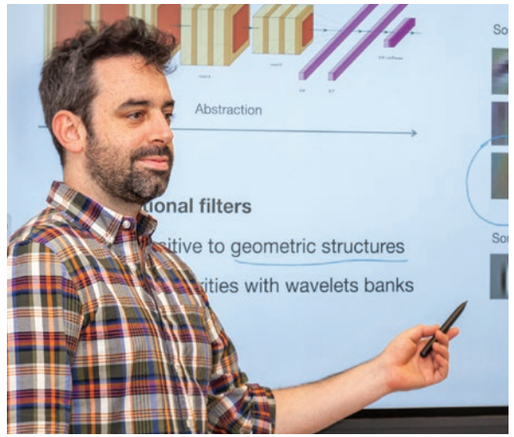
Thèmes *Themes:* Risques naturels *Natural Hazards*
Système Terre *Earth System Science*

Statut *Position:* Chargé de recherche CNRS
CNRS Research Fellow

Contact: vlastelic@ipgp.fr

After defending his PhD at the Brest University in 1998, Ivan Vlastélic became a teaching and research assistant at the Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre (EOST) in Strasbourg for one year, then a contract researcher at the Max-Planck Institute (Mainz, Germany) for two years. In 2001, he was recruited as a CNRS researcher at the Laboratoire de Géodynamique des Chaînes Alpines in Grenoble, before joining the Laboratoire Magmas et Volcans in Clermont-Ferrand in 2005 as head of the geochemistry team, then deputy director. In 2022, he joined the IPGP as director of the Observatoire volcanologique et sismologique de Guadeloupe. His research focuses on the chemical geodynamics of the Earth's mantle, volcanism and external geochemical cycles, with a strong emphasis on understanding the deep origin of volcanic activity in relation to mantle properties.

Leonard Seydoux



Suite à un cursus en mécanique réalisé à l'UPMC à Paris, Léonard Seydoux obtient son doctorat en géophysique en 2016, à l'interface entre l'IPGP et l'Institut Langevin. Il effectue ensuite quatre ans de recherche post-doctorale à l'Institut des sciences de la Terre de Grenoble (ISTerre), puis un an au Massachusetts Institute of Technology (MIT) aux USA, avant d'être recruté sur une chaire de professeur junior par Université Paris Cité au sein de l'IPGP en 2022. Léonard travaille sur les applications de l'intelligence artificielle pour l'exploitation de données géophysiques massives, acquises dans le voisinage d'objets géologiques actifs tels que les systèmes volcaniques et les failles majeures, afin de mieux contraindre notre estimation du risque sismique et volcanique.

Équipe *Team:* Sismologie *Seismology*

Thèmes *Themes:* Intérieurs de la Terre et des planètes
Earth and Planetary interiors
Risques naturels *Natural Hazards*
Système Terre *Earth System Science*

Statut *Position:* Professeur junior *Junior professor*

Contact: seydoux@ipgp.fr

After a degree in mechanics completed at the UPMC in Paris, Léonard Seydoux obtained his PhD in geophysics in 2016, working between the IPGP and the Langevin Institute. He then carried out four years of postdoctoral research at the Institut des sciences de la Terre de Grenoble (ISTerre), followed by a year at the Massachusetts Institute of Technology (MIT) in the US, before being recruited to a tenure-track position at Université Paris Cité within the IPGP in 2022. He is working on the application of artificial intelligence to the exploitation of massive geophysical data collected around active geological objects such as volcanic systems and major faults, in order to better constrain our assessment of seismic and volcanic risk.

WebObs reçoit le prix Science ouverte du logiciel libre

WebObs wins Open Science Award for Open Source Research Software

L'outil WebObs conçu par les observatoires volcanologiques et sismologiques de l'IPGP est lauréat d'un "Accessit" du prix Science ouverte du logiciel libre de la recherche, dans la catégorie "Communauté", remis par le Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation.

The WebObs tool designed by the IPGP's volcanological and seismological observatories has won an "Accessit" from the Open Science Award for Open Source Research Software, in the "Community" category, presented by the Ministry of Higher Education, Research and Innovation.

Basé sur une interface web, cet outil a été initialement développé par François Beauducel, géophysicien à l'IPGP, au début des années 2000, alors qu'il était directeur de l'OVSG-IPGP en Guadeloupe pour assister les tâches quotidiennes de surveillance de l'observatoire. Il a ensuite été rapidement adapté aux observatoires magnétiques de l'IPGP, puis à l'observatoire volcanologique et sismologique de Martinique, à celui du volcan de Montserrat, du Piton de la Fournaise et plus récemment, adopté par le CVGHM, institut national chargé de la surveillance des volcans indonésiens. Depuis près de vingt ans, WebObs continue ainsi à être développé, maintenu et distribué librement par les équipes de l'IPGP, en collaboration avec leurs partenaires scientifiques en France et à l'étranger (IRD, CVGHM, EOS, ...).

Based on a web interface, this tool was initially developed by François Beauducel, a geophysicist at the IPGP, in the early 2000s, when he was director of the OVSG-IPGP in Guadeloupe, to assist with the observatory's day-to-day monitoring tasks. It was then rapidly adapted to the IPGP's magnetic observatories, followed by the OVSM-IPGP, the Montserrat volcano observatory, the OVPF-IPGP and, more recently, adopted by the CVGHM, the national institute responsible for monitoring Indonesian volcanoes.
For almost 20 years, WebObs has been developed, maintained and distributed freely by the IPGP teams, in collaboration with their scientific partners in France and abroad (IRD, CVGHM, EOS, etc.).

Un système intégré, multidisciplinaire et multi-langages

WebObs est un système intégré pour la gestion des données multidisciplinaires et la surveillance volcanologique centralisée, automatisée et en temps réel. La plateforme, développée via plusieurs langages de programmation pour optimiser ses performances, permet une gestion unifiée des données des différentes disciplines (sismologie, géochimie, déformation...) nécessaires à la surveillance des systèmes naturels. Une multitude d'outils sont disponibles, de l'agenda de l'observatoire à la gestion de l'historique de maintenance technique de l'ensemble des réseaux instrumentés, en passant par les e-mails d'alertes paramétrables. WebObs intègre ainsi l'ensemble des étapes de la surveillance, de la gestion des stations sur le terrain à la visualisation des données et parfois la modélisation des phénomènes en temps réel.

An integrated, multidisciplinary and multilingual system

WebObs is an integrated system for multidisciplinary data management and centralised, automated, real-time volcanological monitoring. The platform, developed using several programming languages to optimise its performance, provides unified management of data from the various disciplines (seismology, geochemistry, deformation, etc.) needed to monitor natural systems.
Many tools are available, from the observatory diary to the management of the technical maintenance history of all the instrumented networks, not forgetting the customisable e-mail alerts. WebObs integrates all stages of monitoring, from managing stations in the field to displaying data and, in some cases, modelling phenomena in real time.

Qui fait le lien entre observation et recherche

Une des spécificités de WebObs est d'établir un lien entre les données de surveillance et la recherche appliquée. Il propose ainsi des modules de traitements, de calculs complexes, de modélisation et leur visualisation dynamique utilisant les flux de données d'observation en temps réel. Ces outils permettent de tester la validité de nouveaux modèles et hypothèses de recherche sur de vraies données, et de partager ces résultats avec la communauté.

Ces traitements et analyses automatiques des signaux multidisciplinaires sur de longues périodes de temps sont primordiaux pour valider de nouveaux outils de prédiction des phénomènes observés ou tester la robustesse d'un calcul dans de vraies conditions de temps-réel.

Modulable et utilisé dans le monde entier

Distribué via la plateforme GitHub, WebObs est aujourd'hui utilisé par les quatre observatoires volcanologiques et sismologiques de l'IPGP (Guadeloupe, Martinique, Réunion et Mayotte), mais également dans une douzaine d'observatoires à Montserrat, en Éthiopie, en Indonésie, à Singapour, au Pérou, en Italie... C'est également l'outil de gestion et de distribution des données de l'observatoire de l'eau et de l'érosion aux Antilles (ObsErA).

Chaque type de données d'observation étant géré par un module dédié, il est possible de simplement faire évoluer le système pour l'adapter à de nouveaux types ou formats de données, et éventuellement de l'utiliser pour la surveillance d'autres phénomènes naturels.

Ce prix vient donc récompenser l'investissement des scientifiques dans le développement de programmes librement distribués à la communauté, comme une activité de recherche à part entière.

Linking observation and research

One of the special features of WebObs is that it establishes a link between monitoring data and applied research. It offers modules for processing, complex calculations, modelling and dynamic visualisation using real-time observation data streams. These tools make it possible to test the validity of new models and research hypotheses on real data, and to share these results with the community.

This automatic processing and analysis of multidisciplinary signals over long periods of time is essential for validating new tools for predicting observed phenomena or testing the reliability of a calculation under real real-time conditions.

Modular and used worldwide

Distributed via the GitHub platform, WebObs is currently used by the IPGP's 4 volcanological and seismological observatories (Guadeloupe, Martinique, Réunion and Mayotte), as well as a dozen observatories in Montserrat, Ethiopia, Indonesia, Singapore, Peru, Italy, etc. It is also the data management and distribution tool for the Observatory of Water and Erosion in the Antilles (ObsErA).

As each type of observation data is managed by a dedicated module, it is possible to simply upgrade the system to adapt it to new types or formats of data, and possibly use it to monitor other natural phenomena.

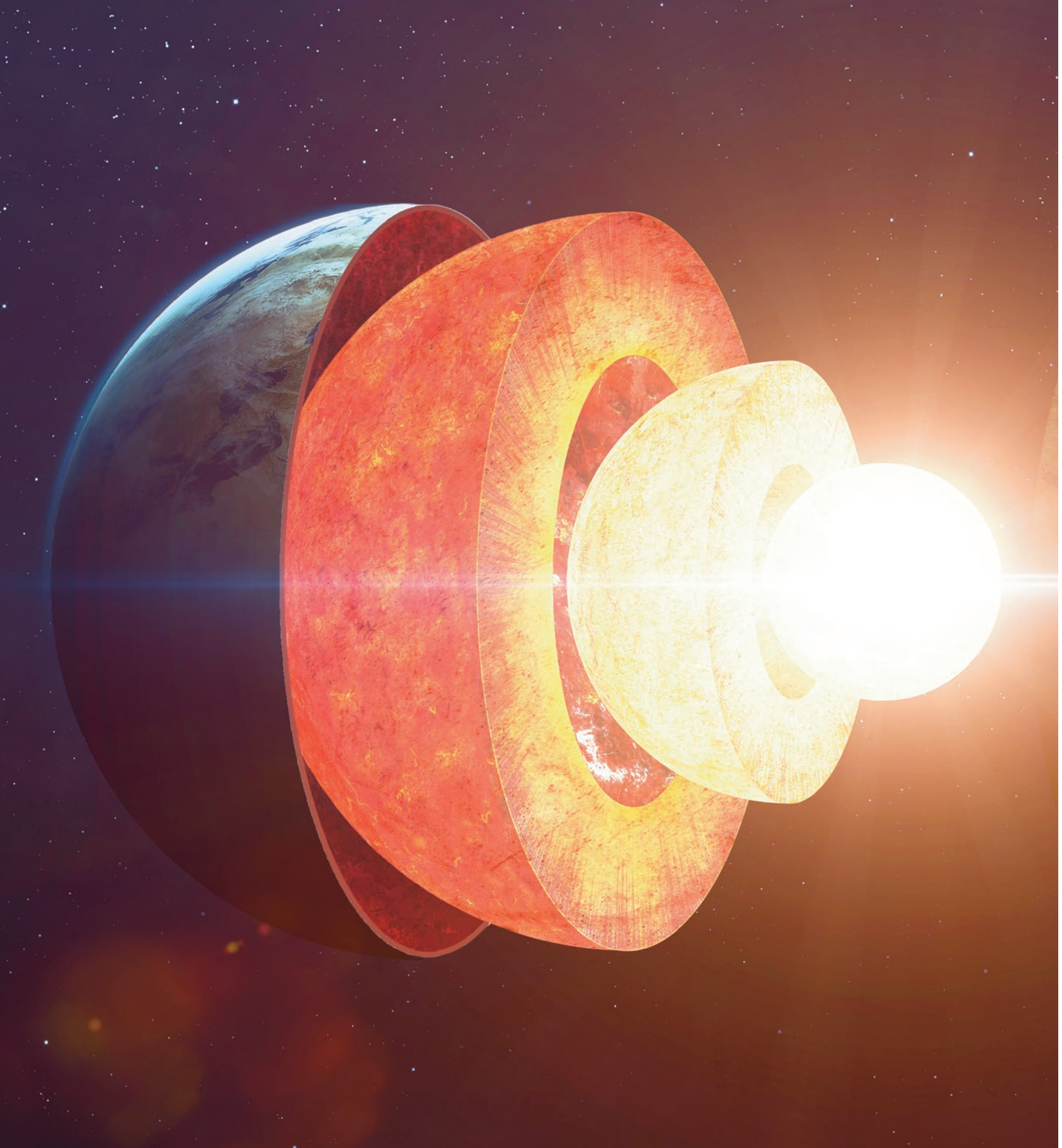
This prize therefore rewards the investment made by scientists in developing programmes that are freely distributed to the community, as a research activity in its own right.

En savoir plus / Read more:

Ref : Beauducel F., Lafon D., Béguin X., Saurel J.-M., Bosson A., Mallarino D., Boissier P., Brunet C., Lemarchand A., Anténor-Habazac C., Nercessian A., Fahmi A. A., (2020). WebObs: The volcano observatories missing link between research and real-time monitoring, Frontiers in Earth Sciences, doi:10.3389/feart.2020.00048.

Distribution de WebObs / WebObs distribution: https://ipgp.github.io/webobs

Contact : beaudu@ipgp.fr



Intérieurs de la Terre et des planètes
Earth and Planetary Interiors

Les processus physico-chimiques intervenant à l'intérieur de la Terre sont responsables de multiples phénomènes observables à sa surface, tels que l'activité tellurique et volcanique ou encore l'existence du champ magnétique. La dynamique interne d'une planète détermine son évolution au cours des temps géologiques et sa compréhension nécessite une recherche pluridisciplinaire et le déploiement d'innovations technologiques de pointe. Ainsi, un sismomètre développé à l'IPGP pour équiper l'atterrisseur InSight transmet désormais les données sismiques de Mars, tandis que des expériences innovantes en conditions extrêmes de pression et de température permettent de répliquer directement les processus de formation des noyaux planétaires, et plus particulièrement celui de la Terre.

Le thème "Intérieurs de la Terre et des planètes" revient notamment cette année sur un travail autour des mécanismes à l'origine de la dynamo terrestre et de son évolution (Landeau et al.). Deux autres études portent sur l'imagerie sismique de la limite lithosphère-asthénosphère et permettent de mieux comprendre la nature de cette frontière et le rôle des anomalies thermiques et des processus d'hydratation sur ses caractéristiques (Audhkhasi et Singh, Wang et al.). Pour finir, un article de Debret et al. met en lumière la formation et le piégeage de carbone organique solide abiotique dans le manteau au-dessus de l'interface de subduction des Mariannes.

The physico-chemical processes occurring inside the Earth are responsible for many observable phenomena on its surface, such as telluric and volcanic activity or the existence of the magnetic field. The internal dynamics of a planet determines its evolution over geological time and its understanding requires multidisciplinary research and the deployment of cutting-edge technological innovations. A seismometer developed at the IPGP to equip the InSight lander now transmits seismic data from Mars, while innovative experiments under extreme pressure and temperature conditions make it possible to directly replicate the formation processes of planetary cores, and more particularly that of the Earth.

This year, the "Earth and Planetary Interiors" theme focuses on the mechanisms behind the Earth's dynamo and its evolution (Landeau et al.). Two other studies focus on seismic imaging of the lithosphere-asthenosphere boundary, providing a better understanding of the nature of this boundary and the role of thermal anomalies and hydration processes on its characteristics (Audhkhasi and Singh, Wang et al.). Finally, a paper by Debret et al. highlights the formation and trapping of abiotic solid organic carbon in the mantle above the Mariana subduction interface.

#1

Découverte d'un nouveau réservoir de carbone organique dans la Terre profonde

Discovery of a new organic carbon reservoir in the deep Earth

Bien que le recyclage du carbone dans les profondeurs de la Terre soit moins contraint que son cycle externe, et que sa durée soit à priori trop longue pour empêcher l'augmentation du CO_2 anthropique dans l'atmosphère, l'étude de ce processus s'avère fondamentale pour comprendre comment les échanges de carbone entre l'atmosphère et la Terre profonde ont pu maintenir des conditions propices à l'existence de la vie sur Terre.

Des échantillons de manteau profond ont été collectés aux abords de la fosse des Mariannes, une zone de subduction unique au monde qui abrite des volcans de boue faisant remonter des morceaux de manteau hydraté issus de profondeurs dépassant 15 km. Grâce à la combinaison de nouvelles approches de micro-imagerie développées au sein de l'équipe de géomicrobiologie de l'IPGP, des chercheurs ont pu mettre en évidence la formation d'un type de carbone encore jamais observé dans des roches mantelliques de haute pression : du carbone organique solide abiotique*. Celui-ci se formerait par réduction de carbonates volatilisés lors de la déshydratation de la plaque plongeante pacifique, à des profondeurs de 25 km sous le plancher océanique. Cette découverte met ainsi en lumière un nouveau réservoir de carbone dans la Terre profonde.

Les quantités de carbone stockées par ce processus pourraient représenter entre 0,05 et 0,39 mégatonnes par an. Jusqu'à 54 % du carbone embarqué vers les profondeurs de la planète dans la zone de subduction des Mariannes serait stocké sous forme de carbone organique. Ces estimations montrent que le cycle du carbone profond pourrait être dominé par des composés organiques solides d'origine abiotique qui n'étaient observés jusqu'à présent qu'à proximité de la surface au sein de systèmes hydrothermaux.

La stabilité de ce nouveau réservoir de carbone pourrait être influencée par la tectonique des plaques. Notamment, la formation des chaines de montagnes faciliterait la volatilisation de ce carbone et favoriserait le développement de la vie, non pas dans les océans, mais sur les continents.

* abiotique : formé sans l'action du vivant

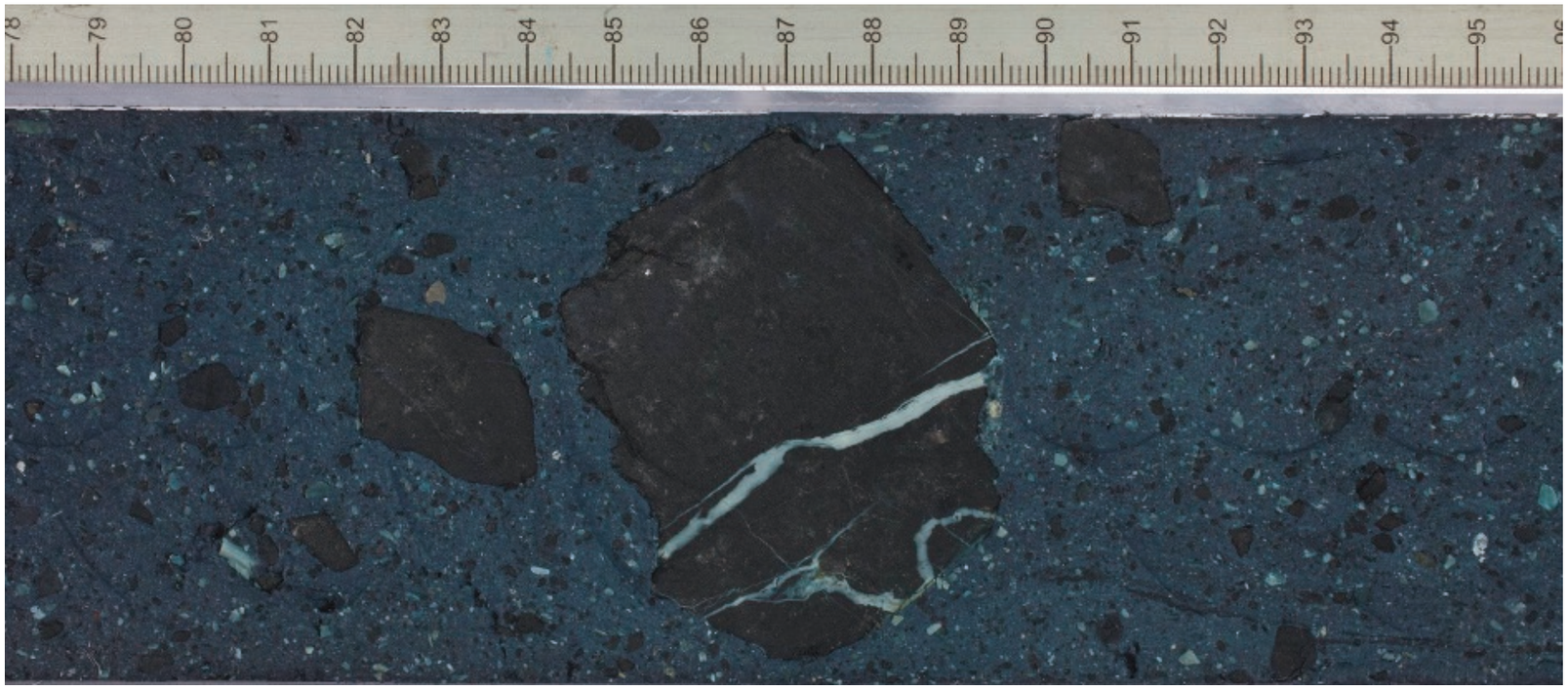
Although the recycling of carbon into the deep Earth is less constrained than its external cycle, and its duration is a priori too long to prevent the increase of anthropogenic CO_2 in the atmosphere, the study of this process is fundamental to understand how the exchange of carbon between the atmosphere and the deep Earth has been able to maintain suitable conditions for the existence of life on Earth.

Deep mantle samples were collected near the Mariana Trench, a unique subduction zone that hosts mud volcanoes that bring to the surface pieces of hydrated mantle formed at depths exceeding 15 km. Using a combination of new micro-imaging approaches developed by the IPGP's geomicrobiology group, researchers were able to reveal the formation of a type of carbon never before observed in high-pressure mantle rocks before: abiotic* solid organic carbon. This organic carbon will be formed by the reduction of carbonates released during the dehydration of the subducting Pacific Plate, at depths of 25 km below the ocean floor. This discovery highlights a new carbon reservoir in the deep Earth.

The amount of carbon stored by this process is estimated between 0.05 and 0.39 megatons per year. This represents up to 54% of the input to the Mariana subduction zone. These estimates suggest that the deep carbon cycle may be dominated by solid organic compounds of abiotic origin, which have so far only been observed near the surface in hydrothermal systems.

The stability of this new carbon reservoir may be influenced by plate tectonics. In particular, the formation of mountain ranges would facilitate the volatilisation of this carbon and favour the development of life, not in the oceans, but on the continents.

* abiotic: formed without the action of life



Photographie d'une carotte du volcan de boue Yinazao. La boue contient des morceaux centimétriques de manteau hydraté ayant été arrachés lors de la remontée de la boue vers la surface.

Photograph of a core from the Yinazao mud volcano. The mud contains centimetric pieces of hydrated mantle that have been exhumed to the surface by muds.

Ref : Debret, B., Ménez, B., Walter, B., Bouquerel, H., Bouilhol, P., Mattielli, N., Pisapia, C., Rigaudier, T., Myfanwy Williams, H., High-pressure synthesis and storage of solid organic compounds in active subduction zones, Sci. Adv., 8 (37), eabo2397. DOI: 10.1126/sciadv.abo2397

Contact : debret@ipgp.fr

#2

Vers une meilleure compréhension du moteur de la géodynamo
Towards a better understanding of the engine of the geodynamo

Le champ magnétique de la Terre est utile à la vie, en permettant notamment à de nombreuses espèces animales et bactériennes de s'orienter dans leur environnement. Il est en outre capable de dévier le vent solaire, conduisant à l'atténuation ou à l'amplification de l'érosion de l'atmosphère.

Ce champ magnétique est généré dans le noyau externe de notre planète par des mouvements de métal liquide. Ce processus, appelé géodynamo, est actif depuis au moins 3,4 milliards d'années. Cependant, les mécanismes qui l'alimentent sont encore débattus.

Les mouvements de convection dans le noyau externe, produits par le refroidissement de la Terre au cours des temps géologiques, pourraient être un de ces mécanismes. Il est possible de le comprendre en observant un bol de soupe miso chaude. Tandis que la soupe refroidit, des particules de soja se déplacent et révèlent les mouvements de convection.

Des études récentes remettent toutefois en question le scénario d'une dynamo forcée par convection. Celles-ci suggèrent que la conductivité thermique dans le noyau pourrait atteindre 100 à 250 W/m/K. Avec de telles valeurs, l'essentiel de la chaleur du noyau serait transporté par conduction, ne laissant pas assez d'énergie pour alimenter la géodynamo par convection durant les derniers 3,4 milliards d'années.

Une équipe de chercheurs de l'IPGP et de l'Institut des Sciences de la Terre (CNRS Grenoble) a examiné ces mécanismes et démontre que la convection pourrait alimenter la géodynamo, à condition que la conductivité thermique soit inférieure à 100 W/m/K.

D'autres processus pourraient être à l'origine d'un écoulement dans le noyau, tels que la précession de la Terre, qui est une lente variation de l'orientation de son axe de rotation, et les marées lunaires. Tandis que dans le premier cas, l'écoulement s'avère trop faible pour expliquer la géodynamo, les scientifiques montrent que celui généré par les marées aurait pu alimenter la dynamo de la Terre primitive, quand la Lune était plus proche de la Terre.

The Earth's magnetic field is essential to life, allowing many species of animals and bacteria to navigate their environment. It is also capable of deflecting the solar wind, resulting in the attenuation or enhancement of atmospheric erosion.

This magnetic field is generated in the Earth's outer core by the movement of liquid metal. This process, known as the geodynamo, has been active for at least 3.4 billion years. However, the mechanisms that maintain it are still debated.

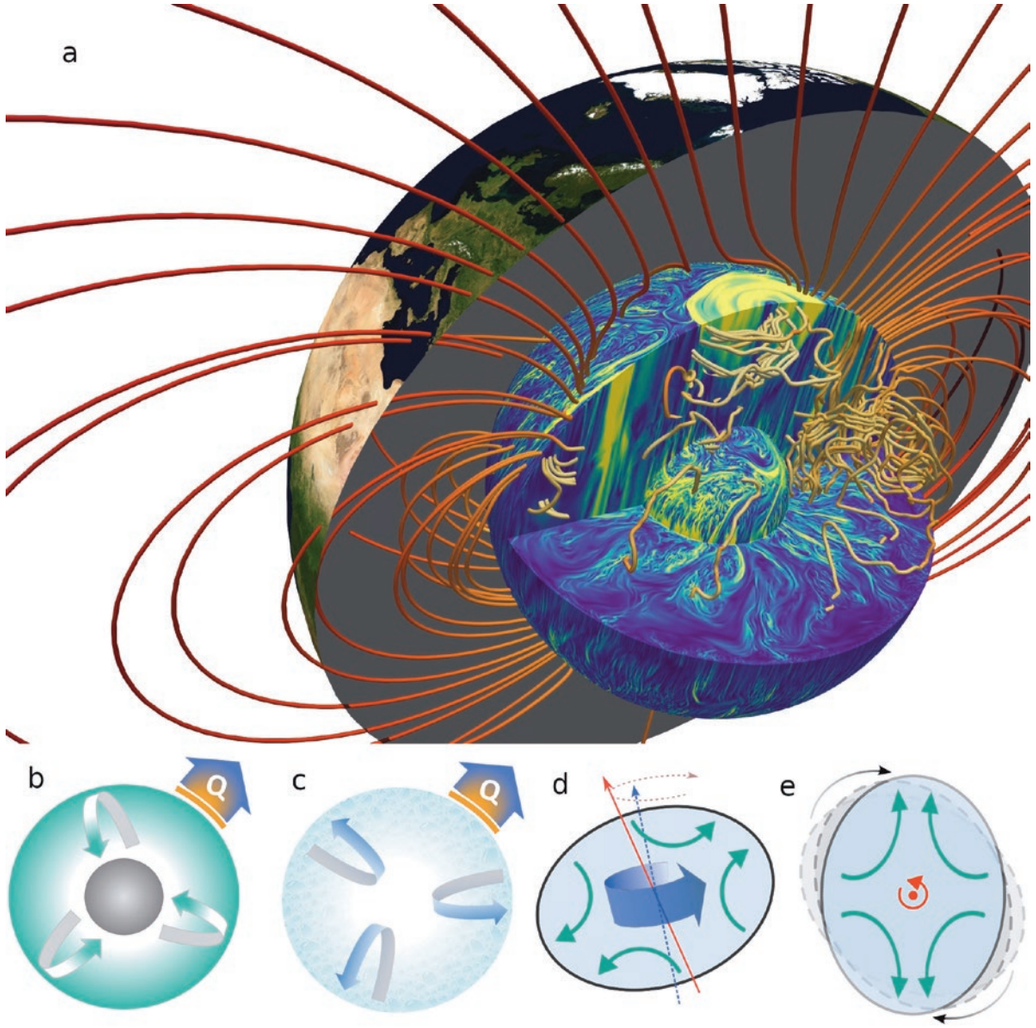
Convection in the outer core, caused by the cooling of the Earth over geological timescales, could be one of these mechanisms. This can be understood by observing a bowl of hot miso soup. As the soup cools, the soy particles move, revealing the convection.

Recent studies, however, question the convection-driven dynamo scenario. They suggest that the thermal conductivity in the core could reach 100 to 250 W/m/K. At such values, most of the core's heat would be transported by conduction, leaving insufficient energy to sustain a convection-driven geodynamo over the past 3.4 billion years.

A team of researchers from the IPGP and the Institute of Geosciences (CNRS Grenoble) has investigated these mechanisms and shown that convection could power the geodynamo provided the thermal conductivity is below 100 W/m/K.

Other processes could contribute to the flow in the core, such as the Earth's precession, a slow change in the orientation of its rotational axis, and lunar tides. While in the first case the flow is too weak to explain the geodynamo, the scientists show that the flow generated by the tides could have powered the dynamo of the primitive Earth when the Moon was closer to the Earth.

Intérieurs de la Terre et des planètes Earth and Planetary Interiors



(a) Le noyau métallique de la Terre, composé d'une graine et d'un noyau externe liquide, est entouré d'un manteau rocheux. Les mouvements de métal liquide dans le noyau externe alimentent la géodynamo. Les lignes de champ magnétique (de rouge à jaune) et l'intensité de l'écoulement (de bleu à jaune) sont extraites d'une simulation numérique de la dynamo forcée par convection. (b-e) Mécanismes proposés dans la littérature pour alimenter la géodynamo : (b) Convection forcée par refroidissement séculaire et croissance de la graine. (c) Convection forcée par l'exsolution d'oxides tels que MgO ou SiO_2. (d) Précession qui induit une rotation du métal liquide le long d'un axe de rotation (en bleu) différent de l'axe de rotation du manteau (en rouge). (e) Marées lunaires qui induisent une déformation tournant autour du noyau externe en un jour environ.

(a) The Earth's metallic core, consisting of a seed and a liquid outer core, is surrounded by a rocky mantle. The movement of liquid metal in the outer core drives the geodynamo. The magnetic field lines (red to yellow) and flow intensity (blue to yellow) are taken from a numerical simulation of the convection-driven dynamo. (b-e) Mechanisms proposed in the literature to drive the geodynamo: (b) Forced convection by secular cooling and seed growth. (c) Convection forced by the exsolution of oxides such as MgO or SiO_2. (d) Precession that induces a rotation of the liquid metal along a rotation axis (in blue) different from the rotation axis of the mantle (in red). (e) Lunar tides that induce a rotating deformation around the outer core in about one day.

Ref : Landeau M., Fournier A., Nataf HC., Cébron D. & Schaeffer N.. Sustaining Earth's magnetic dynamo. Nat Rev Earth Environ 3, 255–269 (2022). DOI: 10.1038/s43017-022-00264-1

Contact : landeau@ipgp.fr

#3

Influence de l'hydratation et des anomalies thermiques sur la limite lithosphère-asthénosphère et la discontinuité de Gutenberg

Influence of hydration and thermal anomalies on the lithosphere-asthenosphere boundary and the Gutenberg discontinuity

Diverses approches sismologiques ont été adoptées au fil du temps pour cartographier la base de la lithosphère terrestre, appelée limite lithosphère-asthénosphère (lithosphere-asthenosphere boundary - LAB), utilisant des résolutions très différentes, allant de quelques dizaines à quelques centaines de kilomètres. De ce fait, plusieurs modèles, parfois contradictoires, ont été proposés pour expliquer sa formation et son évolution.

Deux chercheurs, P. Audhkhasi et S. C. Singh, ont récemment imagé la LAB dans l'océan Atlantique équatorial, de manière continue le long d'une lithosphère océanique âgée de 2 à 75 millions d'années, à l'aide de la technique de sismique réflexion la plus avancée à l'heure actuelle sur le plan technologique, permettant une résolution sans précédent de quelques centaines de mètres. Ils ont ainsi découvert deux limites distinctes dans le manteau : une LAB dont la profondeur augmente avec l'âge de la lithosphère et une discontinuité de Gutenberg qui reste constante à une profondeur de 75 km. Ils suggèrent que la LAB pourrait être une limite de cristallisation correspondant à une température constante d'environ 1250°C, qui séparerait la lithosphère solide d'une zone du manteau riche en lentilles de liquide magmatique. La discontinuité de Gutenberg serait quant à elle une limite de déshydratation gelée qui séparerait le manteau appauvri en eau suite à sa fusion partielle sous l'axe de la dorsale, du manteau non-fondu riche en eau situé en dessous.

Les scientifiques se sont également aperçus que la présence ou le simple passage d'une anomalie thermique dans le manteau, comme un panache mantellique, est capable de rajeunir la lithosphère, faire remonter le niveau de la LAB et supprimer la discontinuité de Gutenberg. Dans un article complémentaire, Z. Wang et ses collègues montrent, en utilisant la sismique réfraction, que l'eau de mer peut pénétrer profondément dans le manteau sous les failles transformantes océaniques et faire fondre le manteau, remontant le niveau de la LAB. Ces résultats suggèrent que les anomalies thermiques et l'eau influencent la nature de la LAB et des processus sous-lithosphériques. L'existence d'une couche riche en liquide magmatique, donc à faible viscosité, dans l'asthénosphère sous la LAB implique un découplage mécanique de la lithosphère du manteau convectif sous-jacent. La tectonique des plaques serait alors principalement déterminée par le mouvement des plaques, tel que la poussée des dorsales et la traction des plaques, et non par des processus dans le manteau profond.

Seismological methods have been used to image the base of the lithosphere, called the lithosphere-asthenosphere boundary (LAB), but the resolution of these methods is on tens to hundreds of kilometres, and therefore, contradictory models have been proposed for its formation and evolution.

Recently, P. Audhkhasi and S. C. Singh have imaged the LAB continuously in the equatorial Atlantic Ocean covering 2- to 75-million-year-old oceanic lithosphere using a seismic reflection technique by utilising the most advanced industry technology on an unprecedented resolution of a few hundred metres. They discovered two distinct reflection boundaries in the Earth mantle: a LAB that deepens with age of the lithosphere and a Gutenberg discontinuity that remains constant at a depth of 75 km depth. They suggest that the LAB is a freezing boundary, corresponding to a constant temperature of ~1250°C, where the solid lithosphere is underlain by water-rich melt lenses. On the other hand, the Gutenberg discontinuity is a frozen-in dehydration boundary separating the water-poor mantle melting region above from the water-rich mantle below and is formed at the ocean spreading centre.

They also find that a passage or the presence of a mantle thermal anomaly, such as a mantle plume, can rejuvenate the lithosphere, uplifting the LAB and destroying the Gutenberg discontinuity. In a companion paper, Z. Wang and colleagues, using seismic refraction technique, show that the sea water can penetrate deep in the mantle beneath transform plate boundaries, melting the mantle and shallowing the LAB. These results suggest that the presence of thermal anomalies and water modulate the nature of the LAB and sub-lithospheric processes. The existence of water-rich melt in the LAB will decrease the viscosity in the asthenosphere, decoupling the lithosphere with the underlying convecting mantle, requiring the plate tectonics to be driven mainly by the plate movement, such as ridge-push and slab pull, not by any deep mantle processes.

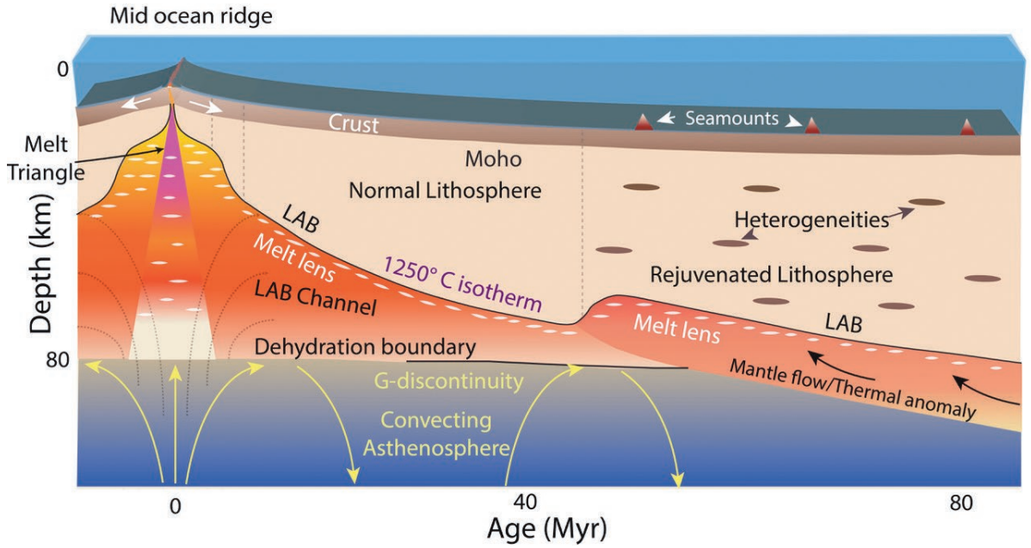


Schéma montrant la limite lithosphère-asthénosphère (LAB) et la discontinuité de Gutenberg (G). Le triangle situé sous la dorsale médio-océanique est le triangle de fusion. La LAB est marquée par une ligne noire continue qui suit l'isotherme 1250 ± 20°C pour des âges lithosphériques > 12 Ma. Les lignes verticales noires en pointillés indiquent le changement de profondeur de la LAB à 5, 12 et 47 Ma. Pour les âges > 47 Ma, la lithosphère est thermiquement rajeunie par les panaches chauds du manteau. Les ellipsoïdes horizontaux blancs représentent des lentilles de liquide magmatique au niveau de la LAB. L'anomalie thermique du manteau est indiquée pour les âges > 50 Ma par des flèches noires incurvées indiquant la direction de l'écoulement du manteau. L'anomalie thermique du manteau introduit des hétérogénéités dans la lithosphère et produit des monts sous-marins sur le plancher océanique.

Schematic diagram showing the discovered lithosphere-asthenosphere boundary (LAB) and Gutenberg (G) discontinuity. The triangle beneath the mid-ocean ridge is the melt triangle. The LAB is marked by a solid black line following the 1250 ± 20°C isotherm for the lithospheric ages > 12 Myr. The black dashed vertical lines indicate the change in the dip of the LAB at 5, 12 and 47 Myr. For ages > 47 Myr, the lithosphere is thermally rejuvenated caused by hot mantle plumes. The white horizontal ellipsoids represent melt lenses at the LAB. The mantle thermal anomaly is indicated for ages > 50 Myr with curved black arrows indicating direction of the mantle flow. The mantle thermal anomaly introduces heterogeneities in the lithosphere and produces seamounts on the seafloor.

Ref : Audhkhasi, P. & Singh, S. C. Discovery of distinct Lithosphere Asthenosphere Boundary and the Gutenberg Discontinuity in the Atlantic Ocean, Science Advances, 8, eabn5404, (2022). DOI: 10.1126/sciadv.abn5404
Wang, Z., Singh, S. C., Prigent, C., Gregory, E. P. M., Marjanović, M., (2022): Deep hydration and lithospheric thinning at oceanic transform plate boundaries. Nature Geoscience, 15, 741-746, DOI: 10.1038/s41561-022-01003-3

Contact : singh@ipgp.fr

Risques naturels
Natural Hazards

Comprendre l'origine et le fonctionnement des éruptions volcaniques, des tremblements de terre, des tsunamis, des glissements de terrain ou encore des orages magnétiques constitue un enjeu majeur pour appréhender les aléas et risques associés. Ces phénomènes naturels demeurent le résultat de processus géologiques se produisant sur des échelles de temps et d'espace variées, dont l'analyse englobe la quasi-totalité des spécialités des sciences de la Terre. Leur étude à l'IPGP combine des approches de terrain (observations et mesures continues ou ponctuelles, en observatoire, lors de campagnes en mer, etc.), des observations depuis l'espace, des études et analyses d'échantillons en laboratoire, ainsi que des modélisations théoriques.

Cette édition 2022 du rapport annuel met en avant l'observation depuis l'espace des mouvements de masse profonds qui précèdent les grands séismes (Bouih et al.), et l'écoute des coulées de lave dans les grands fonds marins (Saurel et al.). Enfin, une attention particulière est donnée à l'analyse de la communication faite autour de la crise sismo-volcanique de Mayotte (Devès et al.).

Understanding the origin and functioning of volcanic eruptions, earthquakes, tsunamis, landslides and magnetic storms is a major challenge for understanding the associated hazards and risks. These natural phenomena are the result of geological processes occurring on various time and space scales, and their analysis covers almost all the branches of the Earth sciences. Their study at the IPGP combines field approaches (continuous or punctual observations and measurements, in observatories, during sea campaigns, etc.), observations from space, laboratory studies and analyses of samples, as well as theoretical modelling.

This 2022 edition of the annual report highlights the observation from space of the deep mass movements that precede major earthquakes (Bouih et al.), and the monitoring of lava flows in the deep ocean (Saurel et al.). Finally, special attention is given to analysing the communication surrounding the seismic-volcanic crisis in Mayotte (Devès et al.).

#1

Les mouvements des plaques en profondeur détectés dans le champ de gravité terrestre avant un méga-séisme

Deep slab motions detected in the Earth's gravity field before a mega-earthquake

Les méga-séismes se produisent le plus souvent en zone de subduction, à l'interface entre une plaque continentale et une plaque océanique plongeant dans le manteau. Le rôle joué par les mouvements profonds de la plaque plongeante dans la génération de ces séismes reste mal connu, en raison d'un manque d'observations sensibles à ces déformations profondes, à l'exception des fréquences sismiques.

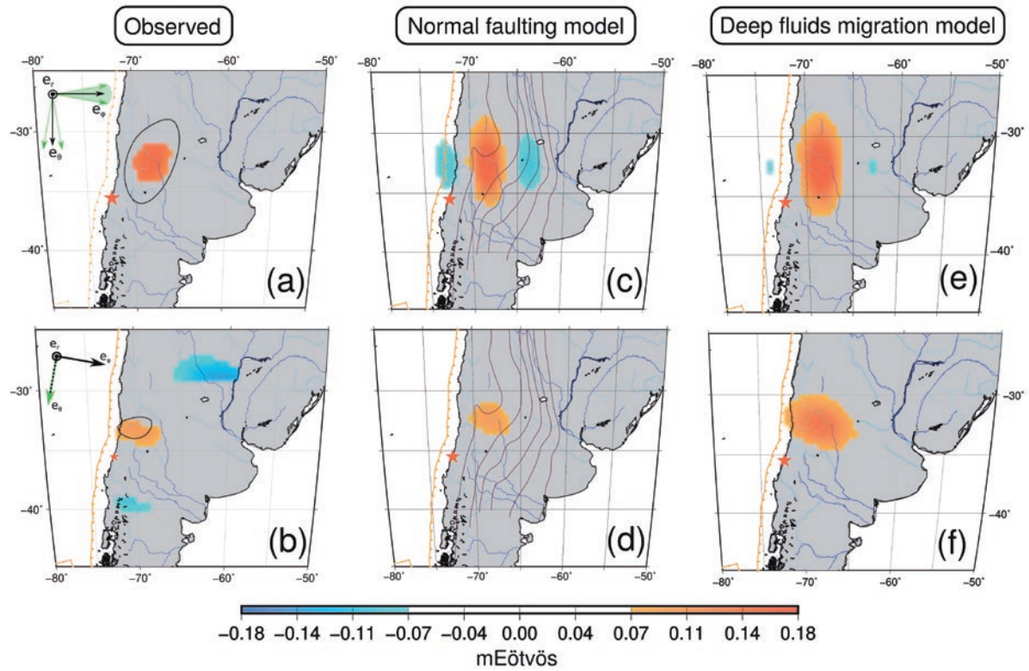
L'observation satellitaire ouvre de nouvelles perspectives, avec les mesures des satellites GRACE et GRACE Follow-On, qui cartographient chaque mois les variations spatio-temporelles du champ de gravité terrestre. Celles-ci sont dues aux redistributions de masses provenant du cycle de l'eau dans les enveloppes fluides, mais sont aussi révélatrices des mouvements tectoniques de notre planète.

L'analyse de ces données satellitaires a ainsi permis d'identifier une variation anormale de la gravité terrestre dans les mois précédant le séisme géant de Maule, au Chili (Mw 8.8, 27 février 2010), dans une zone de quelques centaines de kilomètres de long au nord de la zone épicentrale. Une étude détaillée du signal hydrologique dans cette région, où la plaque Nazca plonge sous la plaque sud-américaine, a permis de conclure que le signal observé, équivalent à un mouvement de 60 km³ d'eau en deux mois, ne peut pas s'expliquer par des redistributions d'eau dans le système climatique, mais trouve probablement son origine plus profondément à l'intérieur de la Terre solide. Les anomalies observées apparaissent cohérentes avec un étirement de la plaque plongeante vers 150 km de profondeur et suggèrent que la rupture géante de Maule pourrait avoir été favorisée par une propagation vers la surface de cette déformation profonde de la plaque subduite. Ces résultats illustrent le fort potentiel de la gravimétrie satellitaire pour étudier l'aléa sismique le long des zones de subduction.

Major earthquakes are most common at subduction zones, at the interface between an overriding continental plate and an oceanic plate subducting into the mantle. The role of deep motions of the subducted slab in the generation of these earthquakes remains poorly understood, due to a lack of observations sensitive to these deep deformations, except in the seismic frequencies.

Satellite observations are opening up new perspectives, with the measurements from the GRACE and GRACE Follow-On satellites, mapping the space-time variations of the Earth's gravity field every month. These variations are due to the redistribution of mass from the water cycle in the fluid envelopes, but also reveal the tectonic movements of our planet.

Analysis of these satellite data has identified an anomalous variation in the Earth's gravity field in the months before the Maule giant earthquake in Chile (Mw 8.8, February 27, 2010), in an area a few hundred kilometers wide to north of the epicentral zone. A detailed study of the hydrological signal in this region, where the Nazca plate subducts under the South American plate, showed that the observed signal, equivalent to the movement of 60 km³ of water in two months, cannot be explained by water redistribution in the climate system, but probably originates deeper in the solid Earth. The observed anomalies appear to be consistent with an extension of the slab at a depth of about 150 km and suggest that the giant Maule rupture may have been favored by a propagation of this deep deformation of the subducted slab towards the surface. These results illustrate the strong potential of satellite gravity to study the seismic hazard at subduction zones.



Comparaison entre les signaux gravimétriques pré-sismiques observés avant le séisme de Maule (a,b), et modélisés (c-f), exprimés en gradients de gravité horizontaux de façon à souligner les signaux orientés Nord/Sud (a,c,e) ou Est-Ouest (b,d,f). Figures c-d : signaux prédits par un modèle de dislocation en faille normale à 150 km de profondeur, équivalent à un séisme de magnitude 8.2. Figures e-f : signaux associés à des variations de densité dues à des infiltrations de fluides dans la plaque subduite en extension.

Comparison between pre-seismic gravity signals observed before the Maule earthquake (a,b), and modeled (c-f), expressed in terms of horizontal gravity gradients to highlight North/South (a,c,e) or East/West (b,d,f) oriented signals. Figures c-d: signals predicted by a dislocation model featuring normal faulting at 150 km depth, equivalent to a magnitude 8.2 earthquake. Figures e-f : signals associated with density variations due to fluid infiltration in the extending subducted plate.

Ref : Bouih, M., Panet, I., Remy, D., Longuevergne, L. & Bonvalot, S. Deep mass redistribution prior to the 2010 Mw 8.8 Maule Earthquake (Chile) revealed by GRACE satellite gravity, Earth and Planetary Science Letters, 584, 117465. DOI: 10.1016/j.epsl.2022.117465

Contact : panet@ipgp.fr

#2

Étude des verrous à l'information des populations lors de la crise sismo-volcanique de Mayotte

Study of the obstacles to informing the population during the seismic-volcanic crisis in Mayotte

L'information des populations est un élément essentiel à la réduction du risque de catastrophes. Mais le partage de l'information juste, selon des modalités adaptées et en temps utile, reste toujours un défi.

Une équipe de chercheurs a analysé les actions de communication entreprises par les autorités et les institutions scientifiques lors de la crise sismo-volcanique de Mayotte entre mai 2018 et mai 2021. Cette étude, en se basant sur la collecte et l'analyse de plusieurs centaines d'archives écrites (bulletins, communiqués, publications web) et sur la réalisation d'entretiens auprès des principaux acteurs en charge de la surveillance du phénomène et de la gestion des crises et des risques associés, fournit la première description documentée de la mise en place progressive du suivi scientifique et administratif de cet évènement hors norme.

Elle analyse et discute le volume, le timing et le contenu de l'information partagée au grand public pour tenter de comprendre le décalage entre l'effort de communication officiel et le ressenti d'un défaut d'information au sein de la population. Elle souligne également les limites des actions de communication entreprises et propose une liste de recommandations telles que veiller à l'intentionnalité de ces actions de communication pour ne pas vouloir davantage rassurer qu'informer, ou encore ne pas rester focalisé sur le court-terme et les spécificités de l'aléa sismique et prendre le temps d'expliquer les connaissances actuelles sur l'ensemble de la région, les incertitudes, les hypothèses scientifiques et les moyens mobilisés pour tenter de comprendre et réduire les risques.

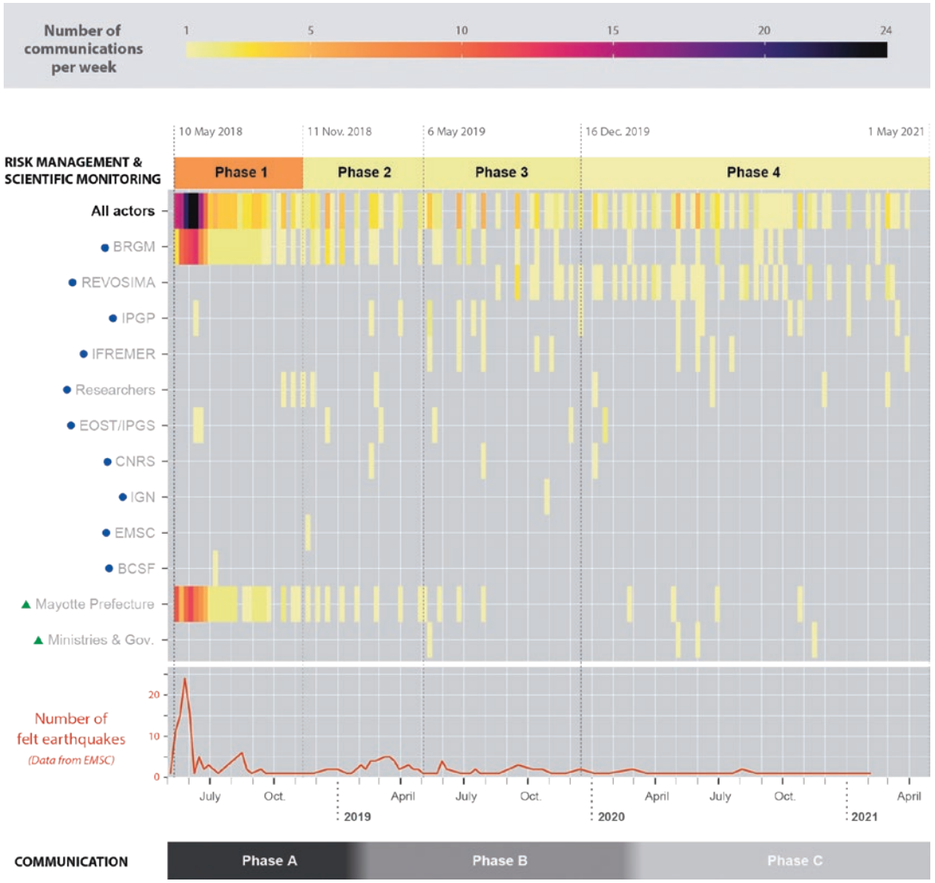
S'inscrivant dans le cadre du projet interdisciplinaire MAYVOLCANO, financé par le Centre des politiques de la Terre, ce travail se penche aussi sur la couverture médiatique de l'évènement dans la presse locale, régionale et nationale. Il montre notamment que la parole des scientifiques occupe une place centrale mais que l'explication scientifique se trouve "brouillée" par la multiplicité des formes d'explication présentes dans le texte de presse. Enfin, les scientifiques analysent les témoignages de la population et illustrent les rapports de force sous-jacents aux représentations sociales et à la manière dont les différents acteurs se représentent leur rôle et celui des autres acteurs de la "crise".

Informing the public is a fundamental to effective disaster risk reduction. However, implementing an effective communication strategy to disseminate the right information, in a timely and appropriate manner, remains a challenge.

A team of researchers has analysed the communication measures taken by the authorities and scientific institutions during the Mayotte seismo-volcanic crisis, between May 2018 and May 2021. This study, based on the collection and analysis of several hundred of written archives (bulletins, press releases, web publications) and on interviews with the main actors in charge of monitoring the phenomenon and managing the crises and risks, associated with it, provides the first documented description of the gradual implementation of the scientific and administrative management of this exceptional event.

It analyzes and discusses the volume, timing and content of the information provided to the general public in an attempt to understand the discrepancy between the official communication effort and the perceived lack of information among the population. It also highlights the limitations of the communication actions undertaken and proposes a list of recommendations such as ensuring the intentionality of these communication actions, so as not to try to reassure rather than inform, or not to focus on the short term and the specificities of the seismic hazard, but to take the time to explain the current knowledge of the whole region, the uncertainties, the scientific hypotheses and the means mobilised in order to try to understand and reduce the risks.

As part of the interdisciplinary MAYVOLCANO project, funded by the Earth Policy Centre, this paper also examines the media coverage of the event in the local, regional and national press. In particular, it shows that the words of scientists occupy a central place but that the scientific explanation is 'blurred' by the multiplicity of explanatory forms present in the press text. Finally, the scientists analyse the testimonies of the population and illustrate the power relations underlying the social representations and the way in which the various actors represent their role and that of the other actors in the 'crisis'.



Nombre de documents rendus publics par semaine par les principaux acteurs de la surveillance et de la gestion des risques et des crises.
Number of documents published per week by the main actors in oversight, risk and crisis management.

Ref : Devès, M., Lacassin, R., Pécout, H., & Robert, G. (2022a). Risk communication during seismo-volcanic crises: the example of Mayotte, France. Natural Hazards and Earth System Sciences, 22(6), 2001-2029. DOI: 10.5194/nhess-22-2001-2022

Devès, M. H., Moirand, S., Le Vagueresse, L., & Robert, G. (2022b). Mayotte's seismo-volcanic "crisis" in news accounts (2018–2021). Comptes Rendus Géoscience, 354(S2), 1-25. DOI: 10.5802/crgeos.149

Devès, M.H., Moirand, S., Le Vagueresse, L. (2023). Discours et pratiques langagières dans le champ de la réduction des risques : la crise sismo-volcanique de Mayotte, Nouvelle revue en psychosociologie, sous presse 2023.

Contact : deves@ipgp.fr

#3

Suivre une éruption sous-marine en combinant la bathymétrie et les signaux hydro-acoustiques

Tracking a deep-sea eruption by combining bathymetry and hydro-acoustic signals

La grande limitation dans l'étude des volcans sous-marins en domaine profond est leur difficulté d'accès. La reconstruction fine de l'évolution des éruptions de ces systèmes magmatiques est pourtant un enjeu important pour mieux comprendre les éruptions volcaniques sous-marines, la relation entre les manifestations au fond et les signaux profonds (sismicité, déformations, dégazages), et mieux anticiper les éruptions futures.

De mai 2018 à fin 2020, une activité volcanique s'est produite à 50 km à l'est des côtes de Mayotte, avec l'émission, à plus de 3000 m de profondeur, de plus de 6 km^3 de lave. En moins d'un an, un nouvel édifice volcanique de 800 m de haut s'est formé : le mont Fani Maoré. Depuis 2019, la zone est surveillée par le réseau de surveillance volcanologique et sismologique de Mayotte (REVOSIMA), structure co-opérée par l'OVPF-IPGP et le BRGM Mayotte, avec le soutien de l'IFREMER et du CNRS. Cette activité volcanique exceptionnelle offre ainsi une opportunité unique de mieux comprendre les éruptions sous-marines profondes.

En exploitant plusieurs types de données acquises pendant la campagne océanographique MAYOBS 15 effectuée en octobre 2020, des chercheurs ont pu mettre en évidence la complémentarité de deux méthodes : l'étude des signaux hydro-acoustiques et celle des différentiels bathymétriques. En combinant, sur une même période de dix jours, l'analyse d'un millier d'événements ayant généré des signaux hydro-acoustiques identifiés manuellement et celle de six levés bathymétriques du fond marin, ils ont pu reconstituer la progression des coulées de lave avec une précision et une résolution plus importantes que dans le cadre d'une utilisation dissociée. En effet, les différentiels bathymétriques permettent de définir la position et l'épaisseur des coulées de lave émises entre deux levés, tandis que les signaux hydro-acoustiques apportent le suivi temporel à une échelle de temps très fine. Ces derniers conduisent également à mieux contraindre l'extension de ces coulées, en validant ou non l'interprétation de faibles différences bathymétriques de l'ordre de quelques mètres et, in fine, à une meilleure estimation des volumes de lave émis et des flux associés.

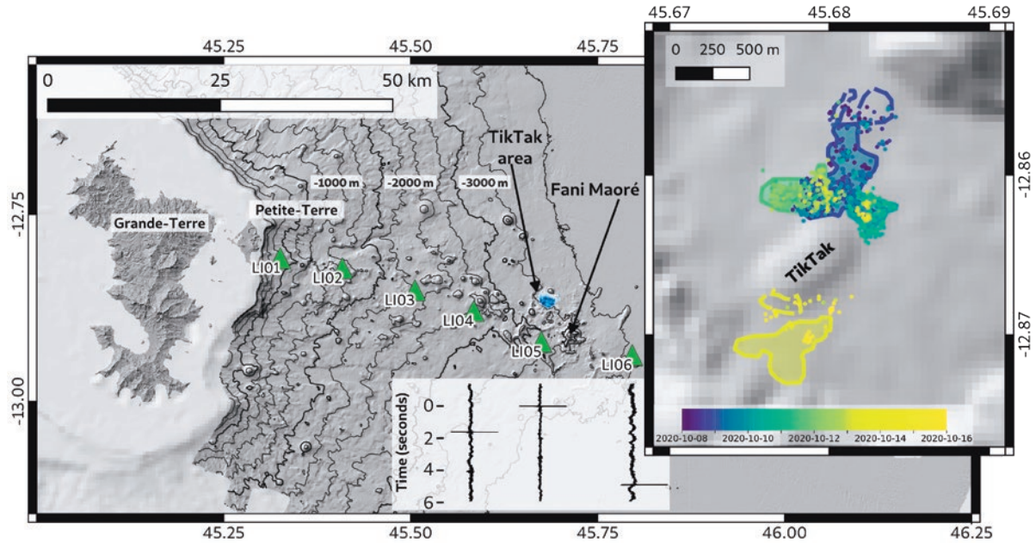
Cette méthodologie appliquée sur l'ensemble des données enregistrées depuis 2019 donnera ainsi lieu à une reconstruction plus précise des différentes phases de l'éruption au large de Mayotte, ainsi qu'à une meilleure quantification des flux de lave associés. Cette démonstration permet aussi d'envisager l'utilisation opérationnelle de la détection et du traitement des signaux hydro-acoustiques pour surveiller l'activité éruptive en fond de mer.

The main limitation in the study of deep-sea volcanoes relies on their difficulty of access. Fine reconstruction of the temporal evolution of those magmatic system eruptions is however an important goal to better understand submarine eruptions, the relationships between events on the seafloor and deep signals (seismicity, deformation, degassing), and to better anticipate future eruptions.

From May 2018 to the end of 2020, volcanic activity occurred 50 km east of the coast of Mayotte, with the emission of more than 6 km^3 of lava at a depth of more than 3000 m. In less than a year, a new 800 m high volcanic edifice was formed: Mount Fani Maoré. Since 2019, the volcanic area of Mayotte has been monitored by the volcanological and seismological monitoring network of Mayotte (REVOSIMA), a consortium made up of the OVPF-IPGP and the BRGM, with the support of the IFREMER and the CNRS. This exceptional activity offers a unique opportunity to better understand deep submarine eruptions.

By exploiting several types of data collected during the MAYOBS 15 oceanographic campaign carried out in October 2020, the researchers were able to highlight the complementarity of two methods: the study of hydroacoustic signals and bathymetric differentials. By combining, over the same ten-day period, the analysis of a thousand events that generated manually identified hydro-acoustic signals and that of six bathymetric surveys of the seafloor, they were able to reconstruct the progression of the lava flows with greater accuracy and resolution than if they were used separately. In fact, the bathymetric differentials make it possible to define the position and thickness of the lava flows emitted between two surveys, while the hydroacoustic signals allow temporal tracking on a very fine time scale. The latter will help to better constrain the extension of these flows, by validating or not the interpretation of small bathymetric differences of the order of a few metres and, in fine, to better estimate the volumes of lava ejected and the associated flows.

This methodology, applied to all the data recorded since 2019, will allow a more accurate reconstruction of the different phases of the off Mayotte eruption and a better quantification of the associated lava flows. This demonstration will also enable the operational use of hydro-acoustic signal detection and processing to monitor seafloor eruptive activity.



Carte bathymétrique de la zone volcanique sous-marine de l'est de Mayotte avec isobathes à 1000 m (contours épais) et à 250 m (contours fins). Les triangles verts représentent les OBS déployés du 7 au 17 octobre 2020. La zone volcanique du TikTak, active durant le déploiement, est représentée en bleu. Insert en haut à droite : localisations des événements hydro-acoustiques superposés aux zones montrant des variations de profondeur entre deux levés. Les points montrent les localisations relatives des événements hydro-acoustiques, leur couleur dépendant de la date à laquelle ils se sont produits. Les contours pleins englobent les zones fiables où des différences de profondeur ont été observées et interprétées comme de nouvelles coulées. Les contours en pointillés indiquent les zones moins fiables qui ont pu être confirmées comme correspondant à de réels changements de profondeur grâce aux localisations relatives des événements hydro-acoustiques. Insert sous les stations : exemple de signal d'un événement hydro-acoustique, synchronisé sur la première arrivée à LI05.

Bathymetric map of the eastern Mayotte submarine volcanic area with depth contours every 1000 m (thick contours) and 250 m (light contours). The green triangles represent the OBS deployed from October 7 to October 17, 2020. The TikTak volcanic area, active during the deployment, is shown in blue. Top right insert: locations of hydroacoustic events superimposed on bathymetry difference contours. The dots show the relative locations of hydroacoustic events, their color representing the time of their occurrence. Solid contours are the outlines of reliable depth differences interpreted as new lava flows. Dashed contours show the outlines of questionable depth changes, which we further confirmed as new volcanic material using the relative locations of the hydro-acoustic events. Insert below the stations: example of a hydroacoustic event recording, synchronized with the first arrival of LI05.

Ref : Saurel, J-M., Retailleau L., Deplus C., Loubrieu B., Pierre D., Frangieh M., Khelifi N., Bonnet R., Ferrazzini V., Bazin S., Guyavarch P., Moulin M., REVOSIMA Seismology group & REVOSIMA Bathymetry group, Combining hydro-acoustic sources and bathymetric differences to track the vent evolution of the Mayotte eruption, Mozambique Channel., Front. Earth Sci., DOI: 10.3389/feart.2022.983051

Contact : saurel@ipgp.fr

Système Terre
Earth System Science

Le thème Système Terre s'attache à comprendre les interactions entre les enveloppes externes de notre planète (lithosphère, hydrosphère, biosphère et atmosphère), et par extension des corps célestes du système solaire. Ces milieux, qui mélangent organismes vivants, air, eau et roches, sont le théâtre de transformations chimiques, de réactions biologiques et de flux d'énergie et de matière. Ils jouent un rôle environnemental majeur dans l'évolution des surfaces, notamment la zone critique, définie comme la couche la plus externe de notre planète s'étendant de la base des aquifères au sommet de la couche limite atmosphérique. En concentrant la plupart des activités humaines, la zone critique est sujette à des changements rapides et profonds affectant les organismes vivants et leur environnement.

Cette année, le thème Système Terre met en avant de nouveaux développements sur le rôle du vent dans la formation des paysages désertiques (Chanteloube et al.), l'origine et la mesure des émissions géologiques de CO_2 (Girault et al.), ainsi que l'étude des réservoirs d'eau souterrains par des méthodes géophysiques (Pasquet et al.).

The Earth System Science theme focuses on understanding the interactions between the outer layers of our planet (lithosphere, hydrosphere, biosphere and atmosphere) and by extension the celestial bodies of the solar system. These environments, where living organisms, air, water and rocks interact, are the site of chemical transformations, biological reactions and fluxes of energy and matter. They play a major environmental role in the evolution of surfaces, especially the Critical Zone, defined as the outermost layer of our planet extending from the base of aquifers to the top of the atmospheric boundary layer. By concentrating most human activities, the Critical Zone is subject to rapid and profound changes affecting living organisms and their environment.
This year, the Earth System Science theme highlights new developments on the role of wind in the formation of desert landscapes (Chanteloube et al.), the origin and measurement of geological CO_2 emissions (Girault et al.), and the study of underground water reservoirs using geophysical methods (Pasquet et al.).

#1

Dynamique des zones arides : quand le vent façonne le désert de Lout (Iran)

Dynamics of arid zones: when the wind shapes the Lut Desert (Iran)

Dans les zones arides, le transport du sable et les émissions de poussières (aérosols désertiques) par le vent façonnent des paysages singuliers tout en ayant un impact sur le climat, la vie et les activités humaines. Beaucoup d'incertitudes persistent néanmoins sur la contribution des processus éoliens à la morphodynamique des surfaces continentales et les échanges de matière avec les océans et l'atmosphère.

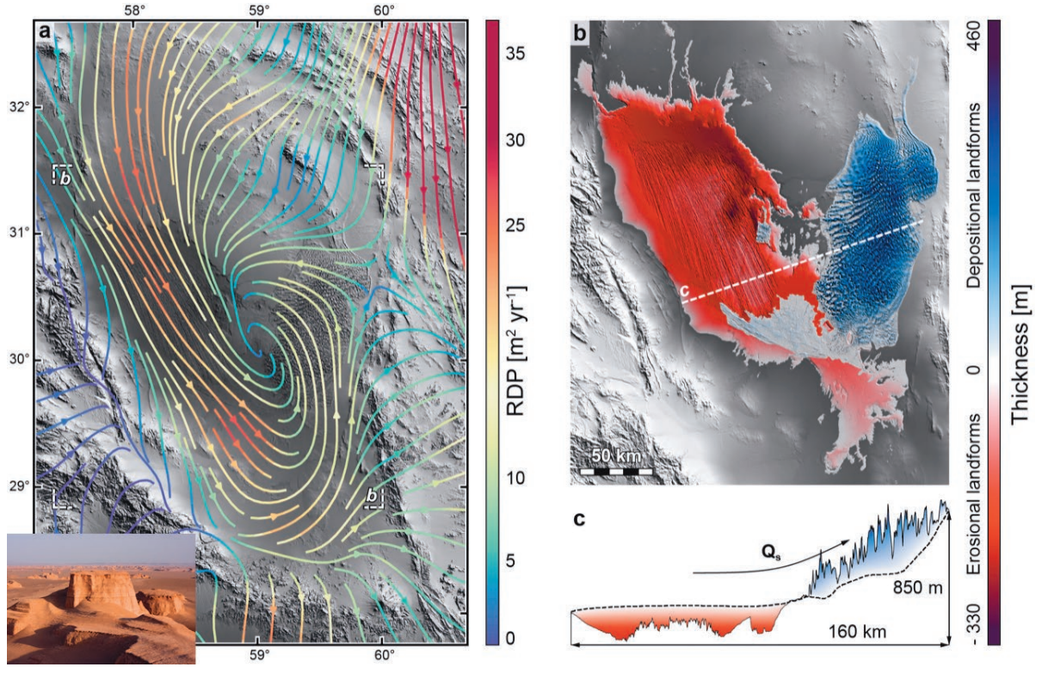
Contrairement au transport de sédiments dans les rivières, le transport éolien n'est pas associé à un réseau de chenaux bien identifiés reliant directement les zones de production (sources) et d'accumulation (puits) de sable et de poussières. Niché dans une dépression topographique fermée, le désert de Lout, ou Dasht-e-Lut, situé dans le sud-est de l'Iran, est un laboratoire naturel parfait pour l'étude de l'action du vent. On y observe des formes de relief allongées spectaculaires appelées méga-yardangs et des dunes géantes parmi les plus hautes du monde, issues de processus d'érosion et de dépôt.

Ces structures ont été associées à des données de vents pour cartographier et quantifier les flux de sable sur des échelles de temps allant de quelques décennies à quelques millions d'années. Ces flux de sable permettent d'estimer non seulement les quantités de sable transporté dans ce désert mais aussi les quantités d'aérosols désertiques injectés dans l'atmosphère, dont les valeurs sont comparables à celle du transport sédimentaire fluviatile (105–106 tonnes par an). Si ces estimations sont importantes pour la gestion des zones arides terrestres, elles fournissent aussi des informations sur l'évolution des surfaces planétaires dominées par les processus éoliens comme celles de Mars ou de Titan.

In arid zones, wind-borne sand transport and dust emissions (desert aerosols) shape singular landscapes and have implications for climate, life and human activities. However, many uncertainties remain about the contribution of aeolian processes to the morphodynamics of continental surfaces and the exchanges of matter with the oceans and the atmosphere are still subject to considerable uncertainty.

Unlike riverine sediment transport, wind transport is not associated with a network of well-identified channels directly linking areas of sand and dust production (sources) and accumulation (sinks). Nested in a closed topographic depression, the Lut Desert, widely referred to as Dasht-e Lut, located in southeastern Iran, is a perfect natural laboratory for studying wind action. Here, spectacular elongated landforms called mega-yardangs and giant dunes, some of the highest in the world, can be observed as a result of erosion and deposition processes.

These structures have been combined with wind data to map and quantify sand fluxes on time scales ranging from decades to millions of years. These sand fluxes provide estimates not only of the amount of sand transported across this desert but also of the amount of desert aerosols injected into the atmosphere, with values comparable to fluvial sediment transport (105–106 tons per year). If these estimates are important for the management of terrestrial drylands, they also provide information on the evolution of planetary surfaces dominated by aeolian processes such as those of Mars or Titan.



Contribution des processus éoliens à la dynamique du paysage du désert de Lout. (a) Routage sédimentaire éolien à travers le désert à partir des données de réanalyse météorologiques ERA5-Land. Les couleurs indiquent l'ampleur du flux résultant potentiel (RDP) le long des routes de sable. (b) Carte et (c) coupe transversale de l'érosion et des dépôts éoliens quaternaires à partir de la morphologie du paysage. Les couleurs indiquent l'épaisseur de sédiments excavés (en rouge) des objets morpho-sédimentaires (yardangs et dépressions éoliennes) érodés en amont et l'épaisseur de sédiments accumulés (en bleu) dans ceux (champs de dunes) déposés en aval. Contrairement aux paysages à dominante fluviale, le dépôt éolien peut se produire à contre-pente, à une altitude plus élevée que celle de l'érosion éolienne.

Contribution of aeolian processes to the landscape dynamics of the Lut Desert. (a) Aeolian sediment transport routing across the desert from ERA5-Land meteorological reanalysis data. Colors indicate the magnitude of the resultant drift potential (RDP) along the sand routes. (b) Map and (c) cross-section of the Quaternary aeolian erosion and deposition from the landscape morphology. Colors indicate the thickness of excavated sediment (red) in morpho-sedimentary objects (yardangs and aeolian depressions) eroded upwind and the thickness of accumulated sediment (blue) in those (dune fields) deposited downwind. In contrast to fluvial-dominated landscapes, aeolian deposition can occur against the slope at a higher elevation than aeolian erosion.

Ref : Chanteloube C., Barrier L., Derakhshani R., Gadal C., Braucher R., Payet V., Léanni L. & Narteau C., Source-to-sink aeolian fluxes from arid landscape dynamics in the Lut Desert, Geophysical Research Letters, 49, e2021GL097342 (2022), DOI: 10.1029/2021GL097342

Contact : chanteloube@ipgp.fr

#2

Quand la géophysique, la pétrophysique et les géostatistiques se combinent pour caractériser l'architecture de la zone critique profonde

When geophysics, petrophysics and geostatistics combine to characterize the architecture of the deep critical zone

Les processus d'altération et d'érosion dominent l'évolution de la zone critique (ZC), définie comme la fine couche à la surface de la Terre où la roche, l'eau, l'air et la vie interagissent. L'infiltration dans le sous-sol des eaux souterraines provenant des précipitations altère et désagrège la roche dans la partie profonde de la ZC (10-100 m), créant un réservoir dont la porosité permet de stocker l'eau nécessaire au développement des écosystèmes à la surface. Les informations sur la structure et la teneur en eau de ce réservoir restent pourtant difficiles à obtenir.

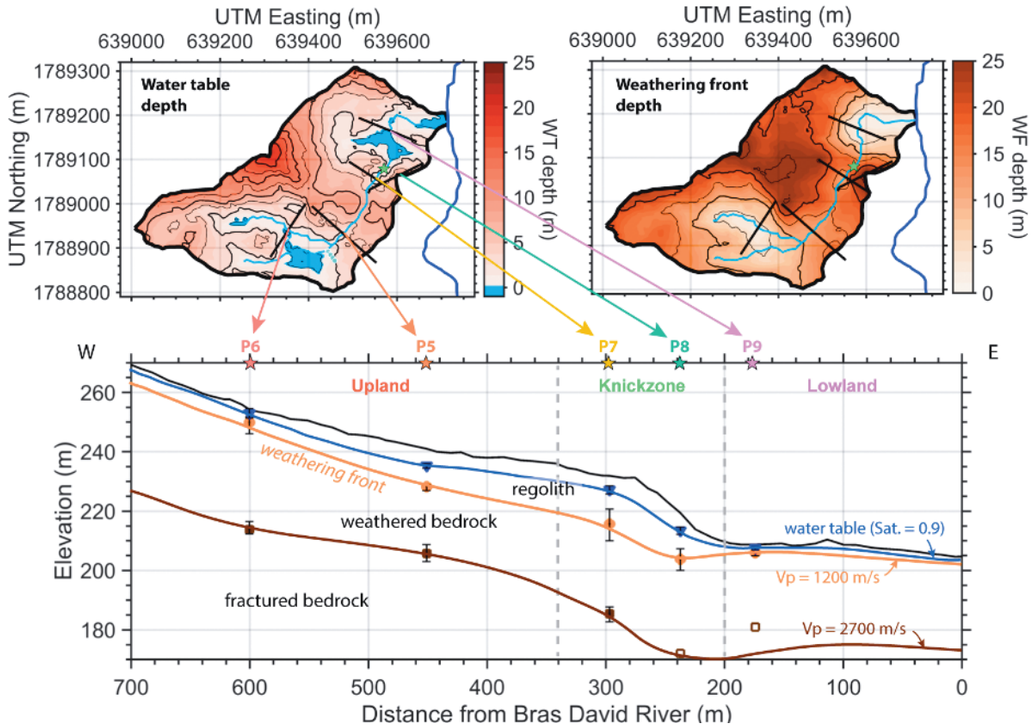
Des chercheurs de l'IPGP ont utilisé des techniques géophysiques non invasives pour imager la subsurface et cartographier la profondeur de la zone altérée et de la nappe phréatique. Une nouvelle approche combinant des mesures sismiques, un modèle pétrophysique et la géostatistique a permis de caractériser l'architecture de la ZC profonde à l'échelle d'un bassin versant. La méthodologie a été appliquée à un site instrumenté par l'Observatoire de l'eau et de l'érosion aux Antilles (OBSERA) sur l'île de Basse-Terre, à la Guadeloupe. Ce site est représentatif des paysages tropicaux volcaniques avec une forte activité d'altération et d'érosion. A l'aide d'un modèle pétrophysique, les scientifiques ont converti les mesures géophysiques en estimations de la porosité et de la saturation en eau, puis ils ont appliqué des techniques d'interpolation spatiale pour étendre ces estimations locales à l'ensemble du bassin versant. Cette approche a permis de produire pour la première fois des cartes de profondeur de la nappe phréatique et du front d'altération sur l'ensemble d'un bassin versant, via une seule méthode géophysique.

Les résultats montrent l'existence d'un point de rupture (knickpoint) situé à mi-chemin de la rivière Quiock. Ce dernier influence le front d'altération et le toit de la nappe, qui s'approfondissent à sa proximité. Inversement, le sommet de la roche fracturée (bedrock) semble être parallèle à la topographie à une profondeur d'environ 45 m. Ces comportements résultent probablement de processus d'altération concurrents se déroulant à des échelles différentes. Cette vue intégrée de l'architecture de la ZC met en évidence deux organisations spatiales dans le bassin versant : une organisation transversale, le long du versant, et une autre longitudinale, le long du cours d'eau, fortement contrôlée par le point de rupture. Ces résultats soulignent la nécessité de dépasser les représentations "simples" de la ZC (c-à-d les modèles de versant) lorsqu'on étudie les processus hydrologiques et d'altération dans des environnements aussi complexes.

Weathering and erosion processes dominate the evolution of the Critical Zone (CZ), the thin layer at the Earth's surface where rock, water, air and life interact. Subsurface infiltration of groundwater from precipitation alters and fractures rock in the deep part of the CZ (10-100 m), creating a porous reservoir that stores water for the development of ecosystems at the surface. However, information on the structure and water content of this reservoir is difficult to obtain.

IPGP researchers have used non-invasive geophysical techniques to image the subsurface and map the depth of the weathered zone and water table. A novel approach combining seismic measurements, a petrophysical model, and geostatistics was used to characterize the architecture of the deep CZ at the catchment scale. The methodology was applied to a site instrumented by the Observatoire de l'eau et de l'érosion aux Antilles (OBSERA) in Basse-Terre Island (Guadeloupe, France). This site is representative of tropical volcanic landscapes with strong weathering and erosion activity. Using a petrophysical model, the scientists converted geophysical measurements into estimates of porosity and water saturation, and then applied spatial interpolation techniques to extend these local estimates to the entire catchment area. This approach has made it possible, for the first time, to produce depth maps of the water table and weathering front over an entire catchment, using a single geophysical method.

The results show the existence of a knickpoint midway along Quiock Creek. This knickpoint influences the weathering front and the water table roof, which deepen in its vicinity. Conversely, the top of the bedrock appears to parallel the topography at a depth of about 45 m. These behaviors are likely to result from competing weathering processes occurring at different scales. This integrated view of the CZ architecture highlights two main spatial organizations in the catchment: one transverse, along the hillslope, and another longitudinal, along the stream, strongly influenced by the knickpoint. These results highlight the need to go beyond "simple" representations of the CZ (i.e., slope models) when studying hydrological and weathering processes in such complex environments.



(a) Profondeur interpolée de la nappe phréatique de la rivière Quiock. (b) Profondeur interpolée du front d'altération. (c) Coupe transversale du profil topographique du cours d'eau (ligne noire) calculé à partir du modèle numérique d'élévation (résolution 5 m). Elle met en évidence l'emplacement de la nappe phréatique (en bleu) et affiche la structure de la zone critique avec des contours de vitesses d'ondes de pression spécifiques décrivant le front d'altération (en orange), et la zone de transition entre le substrat rocheux altéré et fracturé (en brun). Les points colorés et les barres d'erreur associées correspondent à la profondeur moyenne de chaque interface, extraite des profils géophysiques. Les carrés bruns vides correspondent à la profondeur maximale d'investigation à laquelle le substrat rocheux fracturé n'est pas atteint.

(a) Interpolated depth of the Quiock Creek water table. (b) Interpolated depth of the weathering front. (c) Cross section of the stream topographic profile (black line) calculated from the digital elevation model (5 m resolution). It highlights the location of the water table (blue) and displays the structure of the Critical Zone with specific pressure wave velocity contours describing the weathering front (orange), and the transition zone between weathered and fractured bedrock (brown). The colored dots and associated error bars correspond to the average depth of each interface, extracted from the geophysical profiles. Empty brown squares correspond to the maximum depth of investigation at which the fractured bedrock is not reached.

Ref : Pasquet S., Marçais J., Hayes J.L., Sak P.B., Ma L. & Gaillardet J., Catchment-scale architecture of the deep critical zone revealed by seismic imaging, Geophysical Research Letters, 49, e2022GL098433, DOI: 10.1029/2022GL098433

Contact : pasquet@ipgp.fr

#3

D'où proviennent les émissions géologiques de CO_2 ?
Where do geological CO_2 emissions come from?

Les fortes émissions de CO_2 d'origine géologique sont généralement associées à des volcans actifs et à des systèmes géothermiques. La mesure de ces émissions est fondamentale pour la surveillance à long terme des édifices volcaniques, la prédiction de l'activité future et l'évaluation des risques pour les populations. Déterminer la profondeur des sources de CO_2 dans la partie supérieure de la croûte terrestre demeure cependant un challenge. Une équipe internationale, incluant des chercheurs de l'IPGP, a développé une technique utilisant le gaz radon pour suivre les émissions de CO_2 observées à la surface de la Terre, dont l'origine et la mobilité restent mal connues. Cette étude est primordiale pour une meilleure prédiction des risques sismiques et volcaniques associés à ces émissions.

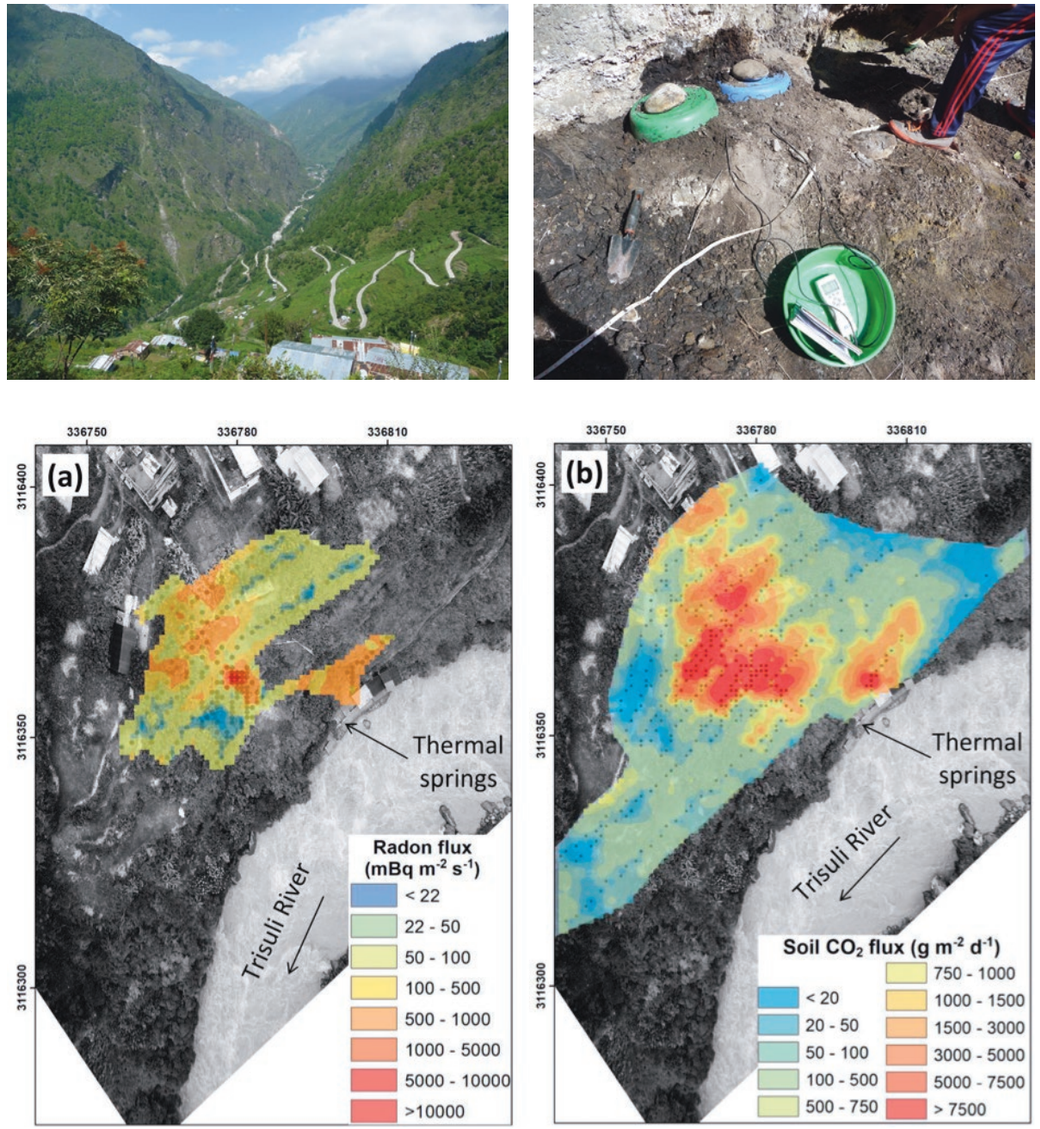
Le radon, gaz naturellement présent dans les roches, est en effet transporté avec le CO_2 vers la surface. Étant radioactif et disposant d'une demi-vie très courte (de l'ordre de 4 jours), il apporte une contrainte temporelle permettant de mieux estimer les temps de transport du CO_2 dans la croûte terrestre et ainsi déterminer sa profondeur de dégazage. La méthode est appliquée avec succès sur deux sites en contexte actif : le champ fumerolien du stratovolcan Furnas aux Açores (Portugal), dont le CO_2 est d'origine magmatique et mantellique, et le système hydrothermal de Syabru-Bensi dans l'Himalaya (Népal), dont le CO_2 est d'origine métamorphique. La forte corrélation entre les flux de CO_2 et de radon mesurés en surface sur ces deux sites est bien reproduite par un modèle couplé de transport de radon et de CO_2. Les profondeurs de dégazage obtenues sont compatibles avec les structures profondes connues sur ces deux sites.

Cette étude permet de mieux comprendre les mécanismes de dégazage et de manière générale, le transport du CO_2 dans les zones tectoniques et volcaniques actives de notre planète. L'étude du CO_2 est essentielle pour prédire l'activité géologique de ces zones et ainsi mieux évaluer les risques encourus par les populations. Par ailleurs, ces résultats ouvrent la voie à l'étude spécifique des émissions de radon. En effet, les forts flux mesurés sur le champ fumerolien du stratovolcan Furnas en période de quiescence suggèrent une émission de radon significative des volcans à l'échelle globale, pouvant modifier l'ionisation de l'atmosphère et le climat.

High geological CO_2 emissions are commonly associated with active volcanoes and geothermal systems. Measuring these emissions is fundamental for long-term monitoring of volcanic edifices, predicting future activity, and assessing risks to people. Determining the depth of CO_2 sources in the Earth's upper crust, however, remains a challenge. An international team, including IPGP researchers, has developed a technique using radon gas to track CO_2 emissions observed at the surface, whose origin and mobility remain poorly understood. This study is essential to better predict the seismic and volcanic risks associated with these emissions.

Radon, a gas naturally present in rocks, is indeed transported to the surface with CO_2. Since it is radioactive and has a very short half-life (about 4 days), it provides a time constraint to better estimate the transport time of CO_2 in the Earth's crust, and thus determine its degassing depth. The method has been successfully applied to two active sites: the Furnas stratovolcano fumarole field in the Azores (Portugal), where the CO_2 is of magmatic and mantle origin, and the Syabru-Bensi hydrothermal system in the Himalayas (Nepal), where the CO_2 is of metamorphic origin. The strong correlation between CO_2 and radon fluxes measured at the ground surface at these two sites is well reproduced by a coupled radon-CO_2 transport model. The degassing depths obtained are consistent with the known deep structures at these two sites.

This study allows a better understanding of the mechanisms of degassing and, more generaly , of the transport of CO_2 in the active tectonic and volcanic zones of our planet. The study of CO_2 is essential to predict the geological activity of these tectonic and volcanic zones, and thus to better assess the risks faced by the population. The results also open the way to the study of radon emissions themselves. Indeed, the high fluxes measured in the fumarole field of the Furnas stratovolcano during the dormant period suggest a significant radon emission from volcanoes on a global scale, which could modify the ionization of the atmosphere and the climate.

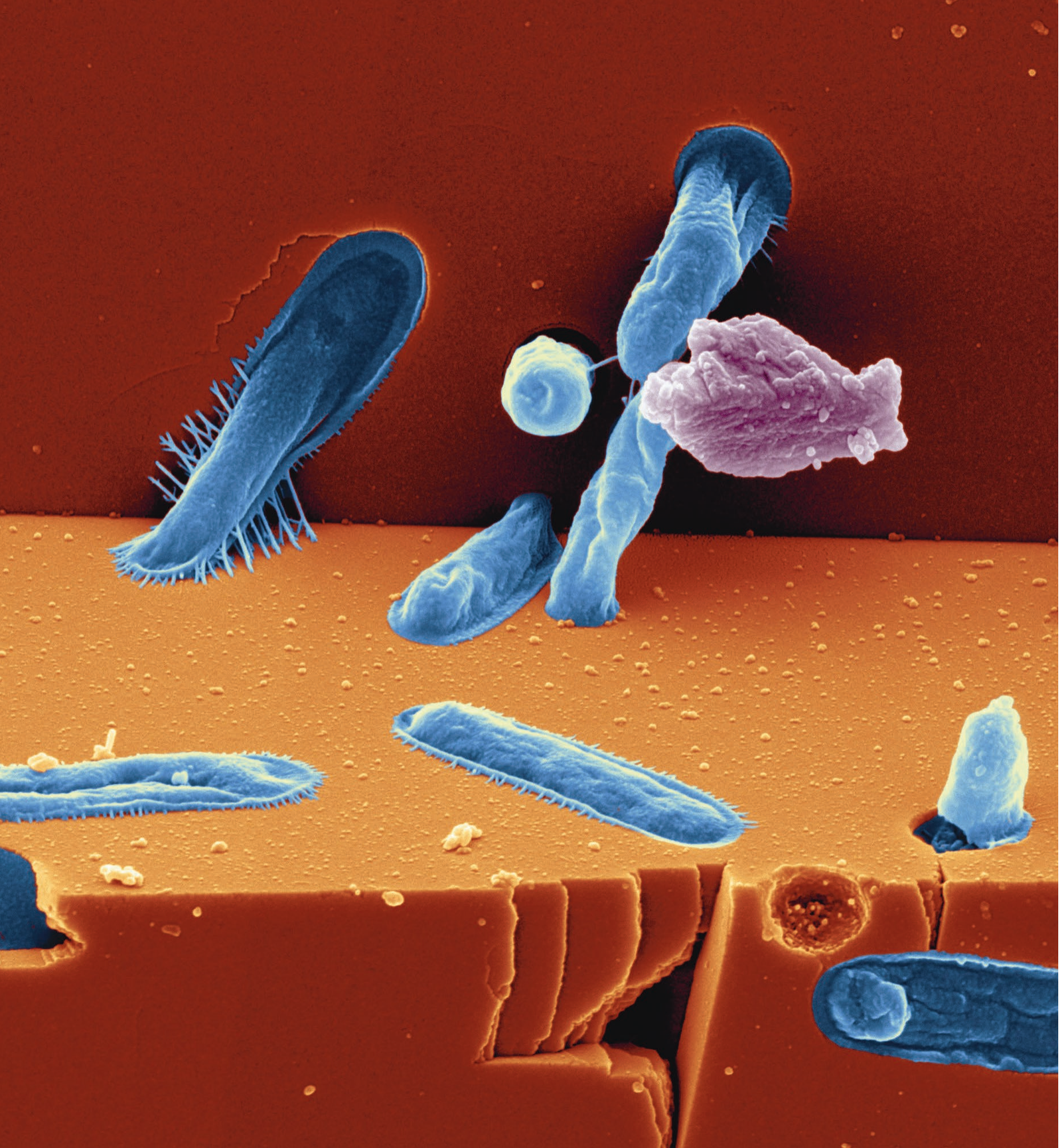


Champ fumerolien du stratovolcan Furnas (Açores, Portugal). En haut : vue générale du site et mesure des flux de gaz. En bas : cartes interpolées de flux (a) de radon et (b) de CO_2. Les encarts représentent un agrandissement de la zone fumerolienne.

Furnas Lake Fumarolic Field (Azores, Portugal). Top: General view of the site and measurement of gas fluxes. Bottom: Interpolated (a) radon and (b) CO_2 flux maps. The inserts are an enlargement of the fumarolic area.

Ref : Girault F., Viveiros F., Silva C., Thapa S., Pacheco J.E., Adhikari L.B., Bhattarai M., Koirala B.P., Agrinier P., France-Lanord C., Zanon V., Vandemeulebrouck J., Byrdina S. & Perrier F., Radon signature of CO_2 flux constrains the depth of degassing: Furnas volcano (Azores, Portugal) versus Syabru-Bensi (Nepal Himalayas), Scientific Reports, 12, 10837 (2022), DOI: 10.1038/s41598-022-14653-5

Contact : girault@ipgp.fr



Origines
Origins

Les planètes du Système solaire présentent des compositions et structures particulièrement variées, aux origines encore largement débattues. L'étude des processus primordiaux s'avère essentielle pour comprendre comment ils ont pu contrôler aussi bien la dynamique de formation, la composition et l'évolution de ces astres, qu'une éventuelle chimie prébiotique et des conditions environnementales favorables au développement des premiers organismes sur Terre, voire sur d'autres planètes et exoplanètes. L'IPGP est l'un des rares établissements où des scientifiques de multiples domaines de recherche tels que la géologie, la géochimie, la cosmochimie, la géophysique, la géobiologie et l'astrophysique peuvent travailler ensemble sur le décryptage de ces questions fondamentales.

Cette édition 2022 du rapport annuel met en lumière des travaux qui éclairent l'origine de l'astéroïde Ryugu (Paquet et al.) et celle de la structure des planétésimaux différenciés (Sturtz et al.), témoins de l'histoire précoce de notre Système solaire et des processus d'accrétion, et fournissent de nouveaux modèles pour comprendre la chronologie de la mise en place des premières atmosphères planétaires (Salvador et Samuel).

The planets of the Solar System present particularly varied compositions and structures, the origins of which are still widely debated. The study of the primordial processes is essential to understand how they controlled the formation dynamics, composition and evolution of these planets, but also the prebiotic chemistry and the environmental conditions relating to the development of the first living organisms on Earth, and even on other planets and exoplanets. The IPGP is one of the few institutions where scientists from multiple fields of research such as geology, geochemistry, cosmochemistry, geophysics, geobiology and astrophysics can work together to decipher these fundamental questions.

This 2022 edition of the annual report highlights work that sheds light on the origin of the asteroid Ryugu (Paquet et al.) and the structure of differentiated planetesimals (Sturtz et al.), witnesses to the early history of our solar system and accretion processes, and provides new models for understanding the timing of the establishment of the first planetary atmospheres (Salvador and Samuel).

#1

La formation des premières atmosphères planétaires serait loin d'être instantanée
The formation of the first planetary atmospheres would be far from being instantaneous

Les premiers stades d'évolution des planètes telluriques telles que Mercure, Vénus, la Terre et Mars sont marqués par la présence d'océans de magmas. Jusqu'à présent, bien que cela n'ait jamais été démontré, il était communément admis que les composés volatils dissous dans ces gigantesques volumes de magma superficiels étaient instantanément dégazés, formant ainsi les premières atmosphères planétaires. Ce dégazage aurait été favorisé par la faible viscosité des magmas qui permet des mouvements convectifs rapides.
Des simulations numériques à haute résolution réalisées à l'IPGP montrent cependant que, malgré des vitesses convectives élevées, les espèces volatiles dissoutes dans le magma se rapprochent de la surface planétaire sans nécessairement atteindre les profondeurs auxquelles le dégazage a lieu. Une fraction considérable de volatils et notamment d'eau peut ainsi rester dissoute et se retrouver piégée dans les intérieurs planétaires à l'issue de cette phase évolutive. Ces résultats suggèrent que la formation des atmosphères planétaires ne serait pas aussi instantanée qu'on le supposait et révèlent ainsi une répartition différente de l'eau entre les différents réservoirs planétaires, affectant de fait l'apparition des premiers océans d'eau où la vie peut se développer, mais également l'évolution globale des planètes rocheuses.

The early stages of the evolution of rocky planets such as Mercury, Venus, Earth and Mars are characterised by the presence of magma oceans. Although this has never been demonstrated, it was previously thought that the volatiles dissolved in these huge volumes of superficial magma were instantly degassed to form the first planetary atmospheres. This degassing would have been favored by the low viscosity of the magmas, which allows rapid convective motions.
However, high-resolution numerical simulations show that, despite high convective velocities, the volatile species dissolved in the magma approach the planetary surface without necessarily reaching the depths at which degassing takes place. A significant fraction of volatiles especially water, may therefore remain dissolved and be trapped in the planetary interior at the end of this evolutionary phase. These results suggest that the formation of planetary atmospheres would not be as instantaneous as previously thought and reveal a different distribution of water between the different planetary reservoirs, with implications for the appearance of the first water oceans where life can develop, but also for the global evolution of rocky planets.

Vue d'artiste d'un océan magmatique planétaire dégazant ses éléments volatils à la surface.
Artist's view of a planetary magma ocean the outgassing its volatiles at the surface.

Ref : Salvador, A., Samuel, H., Convective outgassing efficiency in planetary magma oceans: insights from computational fluid dynamics, Icarus, 390, DOI: 10.1016/j.icarus.2022.115265

Contact : samuel@ipgp.fr

#2

Les échantillons de l'astéroïde Ryugu nous éclairent sur l'histoire du Système solaire et de la Terre
Samples from the Ryugu asteroid shed light on the history of the Solar System and the Earth

Près de deux ans après le retour sur Terre de la mission japonaise Hayabusa 2, les cinq grammes de l'astéroïde Ryugu, non altérés par leur arrivée et leur séjour terrestre comme le sont les météorites, continuent de fournir de précieuses informations sur l'histoire du Système solaire primitif. Des scientifiques de l'IPGP ont utilisé les isotopes du zinc et du cuivre, deux éléments modérément volatils et donc clefs pour étudier les processus d'accrétion de volatils pendant la formation des planètes telluriques, pour comprendre l'origine de l'astéroïde.

Les signatures isotopiques en zinc et en cuivre de Ryugu mettent ainsi en évidence une composition proche de celle des chondrites carbonées de type Ivuna (CI), les météorites chimiquement les plus primitives et considérées comme se rapprochant le plus de celle du Soleil. Ces échantillons représentent donc la meilleure estimation de la composition solaire à ce jour pour le cuivre et le zinc.

Nearly two years after the return to Earth of the Japanese Hayabusa 2 mission, the five grams of asteroid Ryugu, unaltered by their arrival and stay on Earth as are meteorites, continue to provide valuable information on the history of the early Solar System. IPGP scientists used the isotopes of zinc and copper, two moderately volatile elements and therefore key to studying volatile accretion processes during the formation of terrestrial planets, to understand the origin of the asteroid.

The zinc and copper isotopic signatures of Ryugu show a composition close to that of Ivuna-type carbonaceous chondrites (CI), the most primitive meteorites chemically and considered to be the closest to the composition of the Sun. These samples therefore represent the best estimate of solar composition to date for copper and zinc.

In addition, the zinc isotope analysis of this asteroid can

En outre, l'analyse isotopique en zinc de cet astéroïde peut également servir à étudier l'histoire de l'accrétion des éléments modérément volatils sur Terre, qui se sont avérés essentiels au développement de l'habitabilité planétaire. L'équipe de chercheurs révèle ainsi que l'apport de matériau similaire à Ryugu représente environ 5 % de la masse de notre planète.

also be used to study the accretion history of moderately volatile elements on Earth, which have been shown to be essential for the development of planetary habitability. The research team reveals that the supply of similar material to Ryugu represents about 5% of the mass of our planet.

Fragments de l'astéroïde Ryugu rapportés par la mission japonaise Hayabusa2 avant analyse des isotopes du Zn et du Cu.

Fragments of the asteroid Ryugu brought back by the Japanese mission Hayabusa2 before Zn and Cu isotope analysis

Ref : Paquet M., Moynier F., Yokoyama T. et al., Contribution of Ryugu-like material to Earth's volatile inventory by Cu and Zn isotopic analysis, (2022), Nature Astronomy, DOI: 10.1038/s41550-022-01846-1

Contacts : paquet@ipgp.fr / moynier@ipgp.fr

#3

Comment préserver une croûte chondritique à la surface des planétésimaux différenciés : l'exemple d'Erg Chech 002

How to preserve a chondritic crust on the surface of differentiated planetesimals: the example of Erg Chech 002

Considérées comme les reliques des premiers corps planétaires, les météorites représentent les témoins préservés de l'histoire précoce de notre Système solaire. La composition d'une achondrite récemment découverte, nommée Erg Chech 002 (EC002), la plus ancienne roche andésitique connue à ce jour, implique la fusion partielle d'une source chondritique environ deux millions d'années après la formation du Système solaire. Jusqu'à présent, les modèles d'évolution thermique n'étaient pas en mesure d'expliquer la préservation de matériau chondritique dans des planétésimaux différenciés, ces derniers ayant subi une fusion massive suite à la désintégration de leurs éléments radioactifs à vie courte.

Meteorites are considered to be the relics of the first planetary bodies and are the preserved witnesses of the early history of our Solar System. The composition of a recently discovered achondrite, named Erg Chech 002 (EC002), the oldest known andesitic rock to date, implies partial melting of a chondritic source about two million years after the formation of the Solar System. Until now, thermal evolution models have not been able to explain the preservation of chondritic material in differentiated planetesimals, which underwent massive melting following the decay of their short-lived radioactive elements.

En combinant un modèle thermique de formation et d'évolution des planétésimaux avec des nouvelles expériences en laboratoire, des chercheurs de l'IPGP ont réussi à démontrer que l'accrétion continue et prolongée de matériau indifférencié froid à la surface d'un corps planétaire pouvait conduire à la préservation d'une croûte chondritique de plusieurs kilomètres d'épaisseur. Au cours de l'accrétion, la chaleur libérée par la désintégration radioactive induit des épisodes de fusion partielle à la base de cette croûte, pouvant amener à la formation de roches andésitiques similaires à EC002.

By combining a thermal model of planetesimal formation and evolution with new laboratory experiments, IPGP researchers have demonstrated that the continuous and prolonged accretion of cold undifferentiated material to the surface of a planetary body can lead to the preservation of a chondritic crust several kilometres thick. During accretion, the heat released by radioactive decay induces partial melting episodes at the base of this crust, which may lead to the formation of andesitic rocks similar to EC002.

En utilisant les informations disponibles sur l'âge de cette achondrite et son taux de refroidissement, le modèle contraint les paramètres de la loi d'accrétion et le rayon terminal du corps parent d'EC002. Le modèle est général et peut être appliqué à d'autres corps parents. Il est capable d'expliquer notamment la grande gamme d'âges des météorites de fer ou encore la préservation d'une magnétisation rémanente dans une croûte chondritique.

Using the available information on the age of this achondrite and its cooling rate, the model constrains the parameters of the accretion law and the terminal radius of the parent body of EC002. The model is general and can be applied to other parent bodies. In particular, it is able to explain the wide range of ages of iron meteorites or the preservation of remanent magnetisation in a chondritic crust.

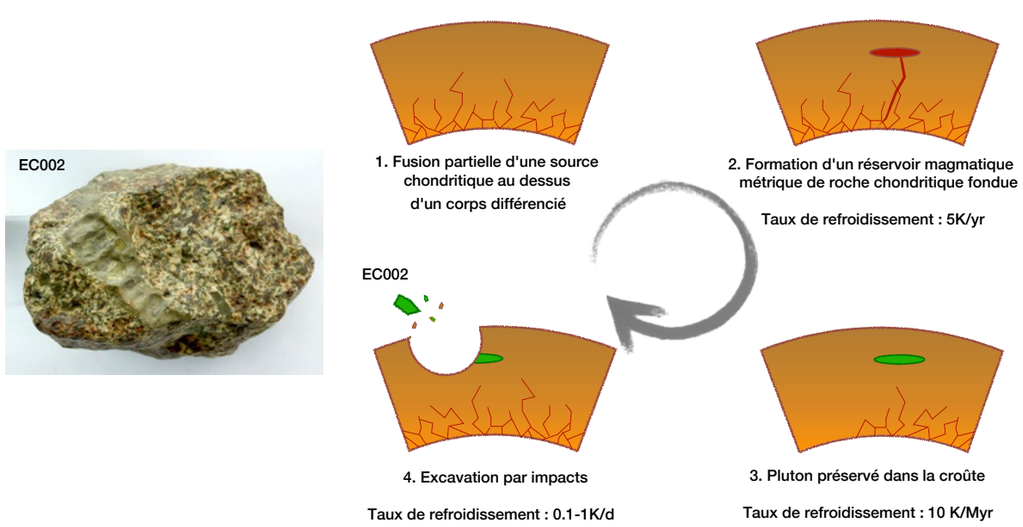


Photo d'un fragment de l'achondrite EC002 (à gauche). Genèse et histoire thermique de l'EC002 issues du modèle (à droite).

Photo of a fragment of the EC002 achondrite (left). Genesis and thermal history of EC002 from the model (right).

Ref : Sturtz C., Limare A., Chaussidon M., Kaminski E., Structure of differentiated planetesimals: A chondritic fridge on top of a magma ocean, (2022), Icarus, DOI: 10.1016/j.icarus.2022.115100

Contact : limare@ipgp.fr

ECORCAIR : Participer à la cartographie de la pollution en ville en collectant des écorces de platanes

ECORCAIR: Participate in the mapping of pollution by collecting plane tree bark

Entretien avec Aude Isambert, enseignante-chercheuse à l'IPGP et membre du projet ECORCAIR

Interview with Aude Isambert, professor at the IPGP and member of the ECORCAIR project

Quels sont les objectifs et les enjeux de ce projet ?

ECORCAIR est un programme scientifique participatif dont les objectifs sont de cartographier et tracer les émissions de particules fines métalliques dans l'air. Ces particules polluantes, liées notamment au trafic automobile, sont connues pour leurs effets néfastes sur la santé. Avec ECORCAIR, nous avons souhaité apporter notre expertise à l'aide d'une mise en œuvre originale, reposant sur l'utilisation d'instruments d'analyse magnétique, particulièrement adaptés au suivi des polluants métalliques, couplée à la collecte d'échantillons – des écorces de platanes - par des volontaires intéressés par le projet.

What are the objectives and challenges of this project?

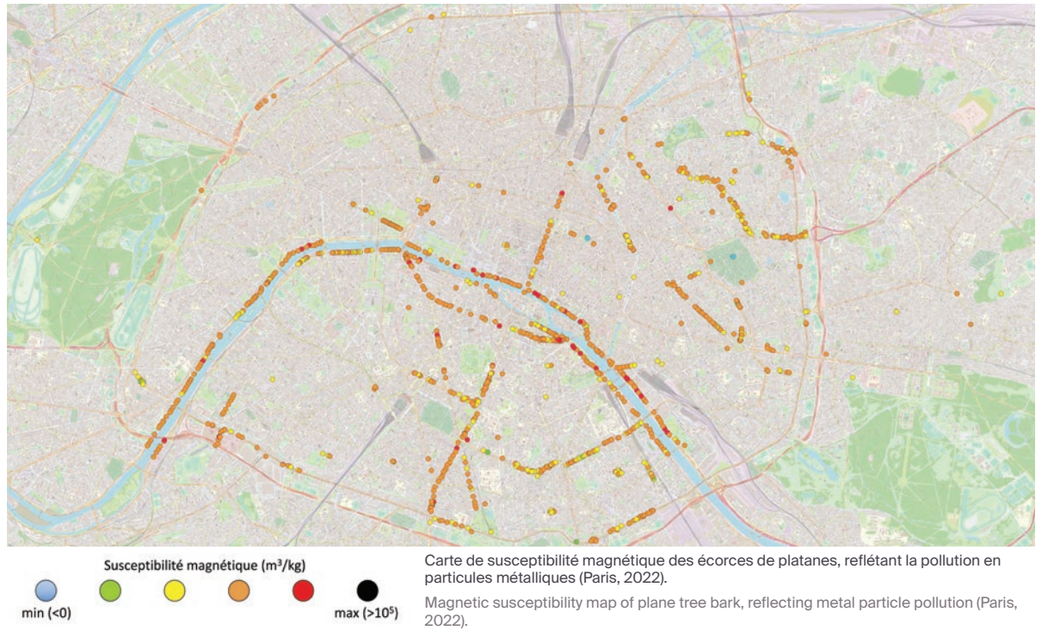
ECORCAIR is a participatory scientific program aimed at mapping and tracking emissions of fine metallic particles in the air. These polluting particles, associated in particular with car traffic, are known for their harmful effects on health. With ECORCAIR, we wanted to share our expertise through an original implementation, based on the use of magnetic analysis instruments, particularly suitable for the monitoring of metallic pollutants, coupled with the collection of samples - plane tree bark - by volunteers interested in the project.

Pourquoi étudier les platanes ?

Les particules émises par les véhicules (freinage, abrasion des pneus, gaz d'échappement) se déposent sur les objets environnants, comme les façades des immeubles ou les végétaux. À Paris, les platanes sont nombreux et particulièrement exposés le long des rues. Ces arbres renouvelant leur écorce chaque année, il est possible de prélever celle-ci sans les abimer, afin d'évaluer la quantité de particules accumulées durant un an.

Why study plane trees?

Particles emitted by vehicles (braking, tyre wear, exhaust fumes) are deposited on surrounding objects, such as building facades or plants. In Paris, plane trees are numerous and particularly exposed along the streets. As these trees renew their bark every year, it is possible to take a sample without damaging them, in order to assess the amount of particles accumulated over the course of a year.



Carte de susceptibilité magnétique des écorces de platanes, reflétant la pollution en particules métalliques (Paris, 2022).

Magnetic susceptibility map of plane tree bark, reflecting metal particle pollution (Paris, 2022).

Qu'apporte l'action participative au projet ?

What does participatory action bring to the project?

La campagne 2022 a été un succès avec plus de 1000 échantillons récoltés ! Sans l'aide des volontaires, nous aurions difficilement atteint cet objectif. C'est également une aventure humaine très riche qui permet à chacun de contribuer à l'avancée de la science. C'est un vrai défi : expliquer des processus complexes de façon simple afin de sensibiliser à la démarche sans jamais perdre de vue la rigueur scientifique.

With over 1000 samples collected, the 2022 campaign was a success. Without the help of the volunteers, we could hardly have achieved that goal. It is also a very rich human adventure that allows everyone to contribute to the progress of science. It is a real challenge: to explain complex processes in a simple way in order to raise awareness without ever losing sight of scientific rigor.

Quelles sont les prochaines étapes ? What are the next steps?

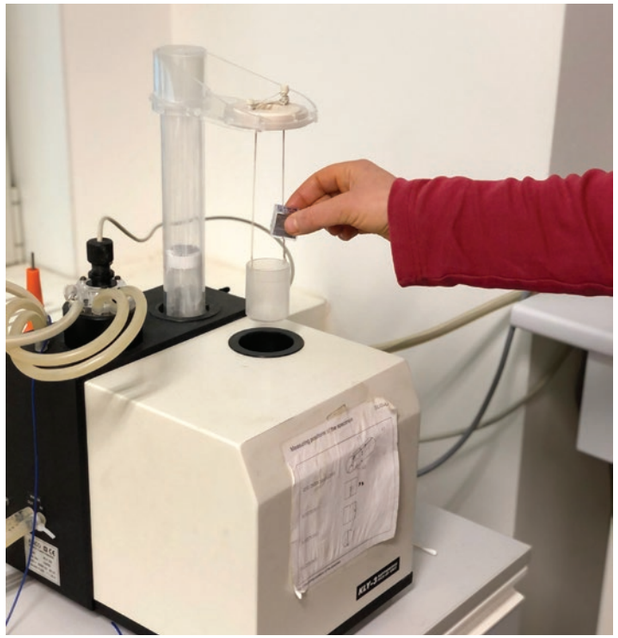
Passer au 100 % participatif et étendre notre couverture spatiale en suivant les évolutions liées à certains aménagements urbains. ECORCAIR fait désormais partie de NanoObs - l'Observatoire Urbain Participatif des Nanoparticules - et devient un projet transdisciplinaire couplant techniques magnétiques et géochimiques afin de mieux caractériser ces particules et identifier leurs sources.

To become 100% participatory and to extend our spatial coverage by following the evolution of certain urban developments. ECORCAIR is now part of NanoObs - a Participatory Urban Nanoparticle Observatory - and is becoming a transdisciplinary project combining magnetic and geochemical techniques to better characterize these particles and identify their sources.

Comment participer ? How to participate ?

Si vous souhaitez en savoir plus sur votre exposition aux particules fines, il vous suffit de repérer un platane, prélever son écorce à l'aide d'un minimum de matériel - protocole disponible sur notre site internet - puis transmettre votre échantillon à l'IPGP.

If you want to know more about your exposure to fine particles, all you have to do is find a plane tree, take a sample of its bark with minimal equipment - protocol available on our website - and then send your sample to the IPGP.



Prélèvement d'écorces de platanes et analyse magnétique des échantillons (susceptibilimètre KLY3, laboratoire de Paléomagnétisme).

Sampling of plane tree bark and magnetic analysis of the samples (KLY3 susceptibility meter, Palaeomagnetism laboratory).

Échantillons d'écorces de platanes.

Samples of plane tree bark.

Contact : ecorcair@particitae.fr

En savoir plus / Read more:

- http://www.particitae.upmc.fr/fr/ecorcair.html
- https://www.ipgp.fr/ecorcair
- https://fondation-uparis.org/projets/nanobs-lobservatoire-urbain-participatif-des-nanoparticules-de-paris/

Observatoires
Observatories

Observatoires magnétiques
Magnetic observatories

Le service des observatoires magnétiques de l'IPGP fournit des observations au sol du champ magnétique terrestre ainsi que des produits dérivés. Il fait partie du Bureau Central de Magnétisme Terrestre (BCMT) qui est un Service National d'Observation (SNO) du CNRS-INSU géré par l'IPGP, auquel participe aussi le service d'observation magnétique de l'EOST à Strasbourg. L'IPGP maintient les réseaux de stations de variations et de répétition français, ainsi que douze observatoires en collaboration avec des institutions françaises et internationales : l'observatoire magnétique national de Chambon-la-Forêt et ceux de Borok (Russie), Dalat (Vietnam), Île de Paques (Chili), Edéa (Cameroun), Kourou (Guyane), Lanzhou (Chine), La Réunion, Sop/Niakhar (Sénégal), Phu Thuy (Vietnam), Pamatai (Polynésie française) et Tamanrasset (Algérie). Les observatoires de Borok et Lanzhou ne sont pas opérationnels actuellement. La majorité de ces observatoires fait partie du réseau INTERMAGNET, une organisation internationale d'observatoires magnétiques. Ils sont opérés par des observateurs spécifiquement formés pour effectuer les mesures d'étalonnage hebdomadaires. Les observations effectuées sont à la fois d'une grande précision et d'une haute stabilité à long-terme. Les observatoires fournissent des données temps-réel, quasi-définitives et définitives, qui sont distribuées sous la forme de données secondes, de moyennes sur une minute ou sur de plus longues périodes (heure, jour, mois, année). Ces données sont distribuées sur les portails web du BCMT et d'INTERMAGNET, mais aussi à travers les centres de données mondiaux pour les données magnétiques (World Data Centres - WDC) au Royaume-Uni, aux USA et au Japon. Ces données sont utilisées en premier lieu pour des activités de recherche (dynamique du noyau liquide de la Terre, conductivité du manteau, structure de la croûte, dynamiques de l'ionosphère et de la magnétosphère), mais également comme des références d'orientation pour l'industrie et comme outils pour le suivi de la météorologie de l'espace.

The service of the magnetic observatories at the IPGP provides ground-based observations of the Earth's magnetic field, as well as derived products. It is part of the Central Bureau of Terrestrial Magnetism (BCMT), which is a National Observation Service (SNO) of the CNRS-INSU managed by the IPGP, and also involves the magnetic observation service at the EOST in Strasbourg. The IPGP maintains the networks of French variation and repeater stations, as well as twelve observatories in collaboration with French and international institutions: the national magnetic observatory of Chambon-la-Forêt and those in Borok (Russia), Dalat (Vietnam), Easter Island (Chile), Edéa (Cameroon), Kourou (French Guiana), Lanzhou (China), La Réunion, Sop/Niakhar (Senegal), Phu Thuy (Vietnam), Pamatai (French Polynesia), and Tamanrasset (Algeria). The observatories in Borok and Lanzhou are not currently operational. The majority of these observatories are part of the INTERMAGNET network, an international organization of magnetic observatories. They are operated by observers specifically trained to perform weekly calibration measurements. The observations made are both highly accurate and stable in the long term. The observatories provide real-time, quasi-definitive, and definitive data, which are distributed in the form of second data, one-minute averages, or longer periods (hour, day, month, year). These data are distributed through the BCMT and INTERMAGNET web portals, as well as through the World Data Centers (WDC) for magnetic data in the United Kingdom, the United States, and Japan. These data are primarily used for research activities (Earth's liquid core dynamics, mantle conductivity, crustal structure, ionosphere, and magnetosphere dynamics), but they are also used as orientation references for industry and tools for space weather monitoring.

Activités en 2022
Activities in 2022

Relevé du réseau de répétition français
Survey of the French repeat network

Le réseau de stations de répétition français est composé de onze sites d'observation où des mesures bisannuelles sont effectuées de nuit. Ces mesures précises de la force et de la direction du champ magnétique local permettent de s'assurer de la validité des modèles de champ magnétique utilisés par les outils d'orientation. Les sites d'observation ont été disposés sur des pistes d'aérodromes ou d'aéroports de façon à couvrir au mieux le territoire métropolitain. Pour la première fois, le site espagnol de Lesaka, à 30 km au sud de Biarritz, a été utilisé en remplacement du site de l'aéroport de Biarritz, devenu magnétiquement très bruité ces dernières années.

The French repeater station network consists of eleven observation sites where biennial measurements are taken at night. These precise measurements of the local magnetic field strength and direction ensure the validity of the magnetic field models used by orientation tools. The observation sites are located on airport runways or aerodromes to provide optimal coverage of the metropolitan territory. For the first time, the Spanish site of Lesaka, located 30 km south of Biarritz, was used as a replacement for the Biarritz airport site, which has become magnetically noisy in recent years.

Mesure magnétique sur la piste de l'aéroport de Valenciennes-Denain.
Magnetic measurement on the Valenciennes-Denain airport runway.

Création d'un nouvel observatoire magnétique à La Réunion
Establishment of a new magnetic observatory on Reunion Island

Le modèle du champ magnétique IGRF (International Geomagnetic Reference Field), dont l'IPGP est un des contributeurs, prédit un accroissement significatif de la force du champ terrestre dans l'océan Indien. Afin de suivre cette évolution, il a été décidé de construire un observatoire magnétique sur l'île de La Réunion, avec l'appui de l'OVPF-IPGP. Cette installation, qui représente un vrai défi du fait de la forte aimantation des roches volcaniques, a été effectuée en trois étapes : le choix d'un site suffisamment isolé mais

The IGRF (International Geomagnetic Reference Field) model, to which the IPGP is a contributor, predicts a significant increase in the strength of the Earth's magnetic field in the Indian Ocean. To monitor this evolution, it was decided to build a magnetic observatory on the island of La Réunion, with the support of the OVPF-IPGP. This installation, which represents a real challenge due to the strong magnetization of volcanic rocks, was carried out in three stages: the selection of a sufficiently isolated

à proximité relative de l'observatoire volcanologique, puis la construction de l'infrastructure de l'observatoire et enfin la mise en place des instruments.

L'observatoire a été conçu afin de minimiser son impact environnemental ; il fonctionne de manière indépendante, sans apport externe d'énergie. Malgré cela, l'observatoire respecte les normes de qualité internationales en ce qui concerne le contrôle des températures, la stabilité des infrastructures et la qualité des données. Des mesures de calibration manuelles sont effectuées toutes les semaines par des agents de l'OVPF. Les données secondes sont transmises toutes les cinq minutes, par GSM, au service des observatoires magnétiques de l'IPGP et sont accessibles sur le portail du BCMT sous dix minutes.

site but relatively close to the volcanic observatory, the construction of the observatory's infrastructure, and the installation of instruments.

The observatory was designed to minimize its environmental impact; it operates independently, without external power supply. Nevertheless, the observatory complies with international quality standards regarding temperature control, infrastructure stability, and data quality. Manual calibration measurements are performed weekly by OVPF agents. Second data are transmitted every five minutes via GSM to the IPGP magnetic observatories service and are accessible on the BCMT portal within ten minutes.

Site du nouvel observatoire magnétique de La Réunion.
Site of the new magnetic observatory on Reunion Island.

Réinstallation des observatoires de Niakhar (SOK) et Phu Thuy (PHU)
Reinstallation of the Niakhar (SOK) and Phu Thuy (PHU) observatories

L'observatoire de Niakhar (Sénégal), installé en 2020, a la particularité d'avoir ses instruments de mesures enterrés afin de minimiser l'impact des importantes variations de température diurnes. L'ensemble des câbles connectant les instruments sont également enfouis pour limiter l'empreinte de l'observatoire sur les terrains cultivables. En dépit de ces précautions, les gaines protégeant ces câbles ont été percées par des rongeurs, et des intempéries estivales exceptionnelles ont inondé les puits de mesures, détériorant un des instruments. Celui-ci a été réparé sur place et réinstallé.

Des problèmes liés à la foudre ont conduit l'observatoire de Phu Thuy (Vietnam) à ne plus fonctionner normalement depuis début 2020. Malgré les restrictions de voyages liées à la pandémie de COVID-19 qui empêchaient jusqu'ici toute mission de réparation depuis la France, cet observatoire a fourni des données magnétiques partielles durant les trois dernières années. Une mission de réinstallation a permis une mise à jour des systèmes de mesures et d'alimenter les chaines d'acquisitions à partir de panneaux solaires.
Ces deux observatoires fournissent de nouveau des données de la qualité attendue, disponibles sur le portail du BCMT.

The Niakhar observatory (Senegal), installed in 2020, has the unique feature of having its measuring instruments buried to minimise the impact of significant diurnal temperature variations. All the cables connecting the instruments are also buried to limit the observatory's footprint on arable land. Despite these precautions, the sheaths protecting the cables were punctured by rodents, and exceptional summer weather flooded the measurement wells, damaging one of the instruments. This was repaired on site and reinstalled.

Problems linked to lightning have meant that the Phu Thuy observatory (Vietnam) has not been operating normally since the beginning of 2020. Despite travel restrictions linked to the COVID-19 pandemic, which until now prevented any repair missions from France, this observatory has provided partial magnetic data for the last three years. A reinstallation mission has enabled the measurement systems to be updated and the acquisition chains to be powered by solar panels.
These two observatories are once again providing data of the expected quality, available on the BCMT portal.

Collaborations, visites et accords
Collaborations, visits and agreements

- Dans le cadre de son programme Artemis d'exploration de la Lune, la NASA organise une série de missions scientifiques, dont une, planifiée pour 2025, consiste à installer un sismomètre dans le bassin "Schrödinger" sur la face cachée de la Lune. Le sismomètre est fourni par l'IPGP et devra être protégé par un blindage magnétique. Une série de tests, effectués sur la plateforme de calibration de l'observatoire magnétique national, a permis de s'assurer de la qualité et de l'efficacité de ce blindage.

- Une convention entre l'IPGP et l'Office national des forêts (ONF) a été signée pour assurer l'exploitation du nouvel observatoire magnétique de La Réunion durant les neuf prochaines années, sur le site de la forêt domaniale de la plaine des Cafres, dans la commune de Le Tampon.

- In the framework of its Artemis program to explore the Moon, NASA is organising a set of scientific missions, one of which, planned for 2025, consists of installing a seismometer in the "Schrödinger" basin on the far side of the Moon. The seismometer is being supplied by the IPGP and will need to be magnetically shielded. A series of tests, carried out on the calibration platform of the national magnetic observatory, have ensured the quality and effectiveness of this shielding.

- National Forestry Office (ONF) has been signed to ensure the operation of the new magnetic observatory on Reunion Island for the next nine years, on the site of the Plaine des Cafres national forest, in Le Tampon.

Observatoire GEOSCOPE
GEOSCOPE observatory

La mission de l'observatoire GEOSCOPE est de fournir des données sismologiques large bande validées, de haute qualité, aux communautés sismologiques française et internationale. GEOSCOPE est constitué d'un réseau de 33 stations sismologiques réparties dans le monde entier, toutes équipées pour fournir des données en temps réel. GEOSCOPE est en premier lieu dédié aux travaux de recherche : ses données sont ainsi utilisées pour l'étude de la structure et de la dynamique terrestres, pour l'analyse des sources sismiques, pour le suivi temporel des phénomènes de déformation ou encore pour la sismologie environnementale. L'observatoire fournit également ses données en temps réel aux organismes d'alerte des séismes et des tsunamis partout dans le monde.

GEOSCOPE est géré conjointement par l'IPGP à Paris et par l'EOST à Strasbourg. L'IPGP assure l'instrumentation et la maintenance de 23 stations, ainsi que la mise à disposition de toutes les données à travers son centre de données. Celles-ci sont également disponibles via les centres de données RESIF et IRIS et sont largement utilisées par la communauté scientifique, avec au moins 1600 publications citant GEOSCOPE depuis 1982 (liste disponible sur le site de GEOSCOPE). Elles le sont aussi au sein de l'observatoire, afin de fournir des informations telles que l'estimation rapide des paramètres de sources d'un tremblement de terre (catalogue disponible sur le site de GEOSCOPE). L'équipe implique directement 11 personnes, 7 à l'IPGP et 4 à l'EOST (4 enseignants-chercheurs, 6 ingénieurs et un administratif).

The mission of the GEOSCOPE observatory is to provide validated, high quality broadband seismic data to the French and international seismological communities. GEOSCOPE consists of a network of 33 seismic stations distributed around the world, all equipped to provide real-time data. GEOSCOPE is primarily dedicated to research activities, using its data for the study of the Earth's structure and dynamics, the analysis of seismic sources, the temporal monitoring of deformation phenomena and environmental seismology. The observatory also provides real-time data to earthquake and tsunami warning agencies worldwide.

GEOSCOPE is jointly managed by the IPGP in Paris and the EOST in Strasbourg. The IPGP is responsible for the instrumentation and maintenance of 23 stations and for the provision of all data through its data centre. These data are also available through the RESIF and IRIS data centres and are widely used by the scientific community, with at least 1600 publications citing GEOSCOPE since 1982 (list available on the GEOSCOPE website). They are also used within the Observatory to provide information such as the rapid estimation of source parameters for an earthquake (catalogue available on the GEOSCOPE website). The team directly involves 11 people, 7 at the IPGP and 4 at the EOST (4 researchers, 6 engineers and 1 administrative staff).

Activités en 2022
Activities in 2022

Travaux pour améliorer et entretenir le réseau existant
Work to improve and maintain the existing network

La levée des restrictions sanitaires, en place depuis mars 2020, a permis aux ingénieurs du réseau GEOSCOPE de se rendre sur le terrain pour effectuer des rénovations importantes :

- La station ROCAM (île Rodrigues, Océan Indien), qui n'était alimentée en énergie qu'avec des panneaux solaires, est maintenant connectée au secteur. Elle possède désormais deux chaines d'acquisition. Les capteurs (STS2 en surface et T120 Horizon enterré) ont été installés dans une grotte naturelle, tandis que leurs numériseurs Centaur et le modem se trouvent maintenant à l'extérieur, dans une armoire sismique.

The lifting of the sanitary restrictions in place since March 2020 allowed the GEOSCOPE network engineers to go into the field to carry out major renovations:

- The ROCAM station (Rodrigues Island, Indian Ocean), previously powered only by solar panels, is now connected to the grid. It now has two acquisition channels. The sensors (surface STS2 and buried T120 Horizon) have been installed in a natural cave, while their digitizers (Centaur) and modems are now outside in a seismic cabinet.

Vue de l'armoire sismique (intérieur et extérieur) et du nouveau capteur enterré à la station ROCAM.

View of the seismic cabinet (inside and out) and the new sensor buried at the ROCAM stations.

- Un nouveau capteur (T360) a été installé à la station SOK (Sénégal), à 20 m de profondeur, dans le but de remplacer le capteur STS-6 précédent qui n'avait été placé qu'à 4 m de profondeur et montrait des signaux parasites sur les composantes horizontales. Le forage a été réalisé par une entreprise spécialisée.
- A new sensor (T360) was installed at the SOK station (Senegal) at a depth of 20 metres, replacing the previous STS-6 sensor, which was only installed at a depth of 4 metres and was experiencing noise on the horizontal components. The drilling was carried out by a specialised company.

Mise en place du nouveau capteur à SOK (Sénégal) dans le puits de 20 m (à gauche) et vue du site après la finalisation de l'installation (à droite).

Installation of the new collector at SOK (Senegal) in the 20 m well (left) and view of the site after completion of the installation (right).

Anticipation du vieillissement des capteurs large-bande STS-1
Anticipating the ageing of the STS-1 broadband sensors

GEOSCOPE est un des seuls réseaux au monde à fournir des données très large bande jusqu'à des périodes de 360 secondes et au-delà. La fabrication des capteurs STS-1, historiquement installés depuis la création de l'observatoire, s'est arrêtée dans les années 90. En 2022, GEOSCOPE a poursuivi l'acquisition de sismomètres de nouvelle génération, avec l'achat de deux Trillium T360. Ces capteurs seront installés au sein des stations les plus menacées par le vieillissement des STS-1, ainsi que dans les nouvelles stations en projet. Contrairement à leurs prédécesseurs, ces nouveaux sismomètres intègrent leurs trois composantes dans une même enceinte qui n'a plus besoin d'être mise sous vide, simplifiant leur installation et leur maintenance. Le T360 installé en décembre 2021 par nos partenaires à la station TAM (Algérie) s'est révélé parfaitement fonctionnel, validant ainsi cette évolution.

GEOSCOPE is one of the few networks in the world to provide very broadband data up to 360 seconds and beyond. Production of the STS-1 sensors, historically installed since the observatory's inception, ceased in the 1990s. In 2022, GEOSCOPE continued its acquisition of next-generation seismometers with the purchase of two Trillium T360 sensors. These sensors will be installed at the stations most affected by the ageing of the STS-1 sensors, as well as at new planned stations. Unlike their predecessors, these new seismometers integrate all three components in a single enclosure that no longer requires vacuum sealing, making them easier to install and maintain. The T360 installed by our partners in December 2021 at the TAM station (Algeria) proved to be fully functional, validating this evolution.

Validation des données et suivi de la diffusion des produits dérivés mis en place par l'observatoire
Validation of data and monitoring of the dissemination of derived products implemented by the observatory

En particulier concernant les informations sur les séismes récents. Celles-ci sont diffusées sur le compte Twitter @geoscope_ipgp à près de 4000 abonnés, soit 700 de plus que l'année passée.

In particular regarding information on recent earthquakes. This information is disseminated via the @geoscope_ipgp Twitter account, which has almost 4000 followers, an increase of 700 compared to the previous year.

Observatoire OBSERA
OBSERA observatory

Les stations d'ObsERA ont non seulement enregistré mais aussi subi les effets du passage du cyclone Fiona, qui a frappé la Guadeloupe les 16 et 17 septembre 2022, donnant lieu à des pluies diluviennes, en particulier sur la Basse-Terre. Les forts cumuls de précipitations ont provoqué une augmentation brutale du débit des rivières.

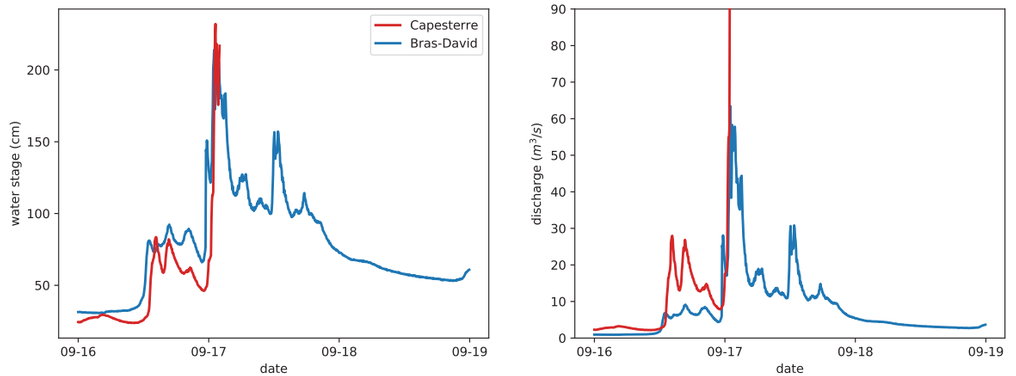
Les chroniques hydrologiques disponibles (IRD, DEAL et ObsERA) montrent que la Rivière de Bras-David est signalée en crue dès que son débit instantané est supérieur à 1,3 m^3/s, et en crue extrême lorsque le débit dépasse 9 m^3/s. Avec Fiona, le débit maximum a atteint 63 m^3/s (hauteur d'eau mesurée de 214 cm), un niveau équivalent à celui observé en septembre 2017 lors du passage du cyclone Maria.

La Grande Rivière de Capesterre a quant à elle dépassé les 280 m^3/s, avec des hauteurs d'eau mesurées supérieures à 230 cm, alors qu'on l'estime en état de crue extrême à partir de 33 m^3/s. Le niveau atteint est sans précédent, même si des débits de l'ordre de 100 m^3/s ont déjà été observés occasionnellement sur Capesterre.

ObsERA stations not only recorded but also experienced the effects of the passage of Cyclone Fiona, which hit Guadeloupe on 16 and 17 September, causing torrential rainfall, particularly in Basse-Terre. The heavy rainfall caused a sudden increase in river flows.

Available hydrological records (IRD, DEAL and ObsERA) show that the Bras-David river is considered to be in flood when its instantaneous flow exceeds 1.3 m^3/s, and in extreme flood when the flow exceeds 9 m^3/s. During Fiona, the maximum flow reached 63 m^3/s (water level measured at 214 cm), a level similar to that observed in September 2017 during the passage of Hurricane Maria.

The Grande Rivière de Capesterre exceeded 280 m^3/s, with measured water levels exceeding 230 cm, while it is considered to be in a state of extreme flooding from 33 m^3/s. The level reached is unprecedented, although flows of around 100 m^3/s have occasionally been observed on the Capesterre.



Hauteur d'eau (gauche) et débit (droite) mesurés dans les rivières Bras-David et Capesterre pendant le passage du cyclone FIONA. Les hauteurs d'eau sont mesurées par des sondes de pression (Campbell) et les débits sont estimés à partir des courbes de jaugeage (estimation approximative pour les hauts débits).

Water level (left) and discharge (right) measured in the Bras-David and Capesterre rivers during the passage of cyclone FIONA. Water levels are measured with pressure probes (Campbell) and flows are estimated from gauging curves (approximate estimate for high flows).

La crue a été d'une violence telle que la station hydrologique d'ObsERA n'a pas résisté et a été emportée par les eaux pendant la nuit (heure de la dernière acquisition : 2h du matin). Le seuil de captage en rivière, installé à proximité de la station, a également été fortement endommagé. Bien que la remise en état de fonctionnement de la station hydrologique soit une des priorités de l'observatoire, la destruction de la route d'accès et la fragilisation du seuil de captage compliquent les travaux en cours.

The flood was so severe that the ObsERA hydrological station could not withstand it and was swept away by the water during the night (last recorded at 2 am). The river gauge installed near the station was also badly damaged. Although restoring the hydrological station's functionality is one of the ObsERA's priorities, the destruction of the access road and the weakening of the sill are complicating the ongoing work.

Station hydrologique de la Grande Rivière de Capesterre, avant (gauche) et après (droite) le passage du cyclone FIONA.
Hydrological station on the Grande Rivière de Capesterre, before (left) and after (right) the passage of cyclone FIONA.

Observatoires volcanologiques et sismologiques
Volcanological and seismological observatories

L'IPGP est en charge de la surveillance scientifique des quatre volcans actifs français situés dans les outre-mer, ainsi que de leur sismicité régionale et des risques potentiels associés de formation de tsunamis, à travers ses observatoires volcanologiques et sismologiques (OVS) et son équipe à Paris:

- l'OVSG-IPGP est en charge de la Soufrière de Guadeloupe
- l'OVSM-IPGP est en charge de la Montagne Pelée à la Martinique
- l'OVPF-IPGP est en charge du Piton de la Fournaise à La Réunion
- le REVOSIMA (infrastructure copilotée avec le BRGM, l'IFREMER et le CNRS) est en charge de Mayotte

La distribution de leurs données s'est étoffée en 2022 avec la mise en production de deux webservices aux standards européens EPOS, hébergés par le centre de données de l'IPGP :

- FDSN-event, webservice opérationnel depuis juin 2020, distribue les informations des évènements sismiques enregistrés par les quatre observatoires et alimente en temps-réel le portail du BCSF-Rénass en données validées manuellement par des opérateurs. Il est désormais accessible depuis le portail EPOS.
- GLASS, infrastructure développée par la communauté GNSS d'EPOS, distribue les données brutes des stations GNSS des observatoires.

Au cours de l'année, trois réunions du comité d'experts en volcanologie de l'IPGP (CEV) se sont déroulées pour réfléchir aux questions suivantes et proposer un avis à la direction de l'IPGP :

- installation du comité et ré-évaluation des contraintes d'accès à la zone fumerolienne du Cratère Sud à la Soufrière de Guadeloupe pour le personnel de l'IPGP et ses collaborateurs ;
- finalisation de l'avis sur les conditions d'accès au Cratère Sud à la Soufrière de Guadeloupe ;
- évaluation sur l'évolution de l'activité et de l'unrest de la Montagne Pelée en Martinique.

The IPGP is responsible for scientific monitoring the four active French volcanoes located in the French overseas territories, as well as their regional seismicity and the associated potential risks of tsunami formation, through its volcanological and seismological observatories (OVS) and its team in Paris:

- the OVSG-IPGP is in charge of the Soufrière in Guadeloupe
- the OVSM-IPGP is in charge of Mount Pelée in Martinique
- the OVPF-IPGP is in charge of the Piton de la Fournaise on Reunion Island
- the REVOSIMA (infrastructure co-piloted with the BRGM, the IFREMER and the CNRS) is responsible for Mayotte

The distribution of their data was expanded in 2022 with the production of two webservices to European EPOS standards, hosted by the IPGP data center:

- FDSN-event, a webservice operational since June 2020, distributes information on seismic events recorded by the four observatories and feeds the BCSF-Rénass portal in real time with data validated manually by operators. It is now accessible from the EPOS portal.
- GLASS, an infrastructure developed by the EPOS GNSS community, distributes raw data from the observatories' GNSS stations.

During the year, three meetings of the IPGP's Committee of Experts in Volcanology (CEV) were held to consider the following issues and propose an opinion to the IPGP's management:

- installation of the committee and re-evaluation of access constraints to the fumarole zone of the South Crater at the Soufrière of Guadeloupe for IPGP staff and collaborators;
- finalisation of the opinion on the conditions of access to the South Crater at the Soufrière of Guadeloupe;
- assessment of the evolution of the activity and unrest of Mount Pelée in Martinique.

A la suite de ces réunions, les conditions d'accès à la zone du Cratère Sud ont été précisées avec la poursuite de l'arrêt des prélèvements et mesures directes sur la fumerolle et un rayon d'interdiction ramené à deux mètres autour de la cuvette du Cratère Sud.

Following these meetings, the conditions of access to the South Crater zone were clarified, with the continued cessation of sampling and direct measurements on the fumarole and a restricted radius of two metres around the South Crater basin.

Le Piton de la Fournaise à La Réunion
The Piton de la Fournaise volcano, Reunion Island

- L'année 2022 fut une fois encore particulièrement active avec deux éruptions à l'intérieur de la caldera de l'Enclos Fouqué, dont une débutée fin 2021, ainsi qu'une intrusion sous le sommet qui n'a pas débouché sur une activité de surface. Ces 32 jours d'éruption sur l'ensemble de l'année et cette intrusion ont particulièrement mobilisé les équipes de l'OVPF-IPGP avec :
- 516 heures d'astreintes renforcées (se rajoutant aux astreintes H24 classiques) ; 108 de ces heures ont été assurées avec le soutien de membres de l'IPGP basés à Paris.
- 44 communiqués exceptionnels détaillés d'activité (se rajoutant aux bulletins quotidiens semi-automatiques relatifs aux observations de la veille et aux bulletins mensuels). Ces bulletins sont consultables sur la page internet de l'OVPF.
- Cinq VONAs (Volcano Observatory Notice for Aviation) émis auprès du VAAC (Volcanic Ash Advisory Center) de Toulouse et de Londres ainsi qu'auprès de Météo-France.
- Neuf alertes en lien avec l'activité du volcan auprès de l'astreinte EMZPCOI (augmentation de sismicité, crises sismiques, début du trémor éruptif, fin du trémor éruptif...), lesquelles ont conduit à huit changements de niveaux d'alerte prévus dans le cadre du dispositif ORSEC "Volcan du Piton de la Fournaise" par le préfet de La Réunion.

- Once again, 2022 was a particularly active year, with two eruptions inside the Enclos Fouqué caldera, one of which began at the end of 2021, and an intrusion below the summit that did not lead to surface activity. These 32 eruption days over the year as a whole and this intrusion particularly mobilised the OVPF-IPGP teams with:
- 516 hours of reinforced on-call duty (in addition to the standard H24 on-call duty); 108 of these hours were provided with the support of members of the IPGP located in Paris.
- 44 exceptional detailed activity bulletins (in addition to the semi-automatic daily bulletins relating to the previous day's observations and the monthly bulletins). These bulletins can be consulted on the OVPF website.
- Five VONAs (Volcano Observatory Notice for Aviation) issued to the VAAC (Volcanic Ash Advisory Center) in Toulouse and London and to Météo-France.
- Nine alerts related to the volcano's activity issued to the EMZPCOI on-call team (increase in seismicity, seismic crises, start of eruptive tremor, end of eruptive tremor, etc.), which led to eight changes in alert levels provided for under the "Piton de la Fournaise Volcano" ORSEC mechanism by the Prefect of Reunion Island.

Campagne de mesures de réitération GNSS lors de l'éruption de septembre 2022 au Piton de la Fournaise.
GNSS reiteration measurements during the September 2022 eruption of Piton de la Fournaise.

Acquisition d'images thermiques lors de l'éruption de début 2022 au Piton de la Fournaise.
Acquisition of thermal images during the eruption of Piton de la Fournaise in early 2022.

Intervention technique sur l'une des stations du réseau de surveillance de l'OVPF-IPGP localisée au sommet du Piton de la Fournaise, dans le cratère Bory.
Technical intervention on one of the stations of the OVPF-IPGP monitoring network located at the summit of the Piton de la Fournaise, in the Bory crater.

Mayotte
Mayotte

Installation d'une station sismique sur l'îlot de Mbouzi à Mayotte.
Installation of a seismic station on the islet of Mbouzi in Mayotte.

Campagne de récupérations et de redéploiements des OBS lors de la campagne MAYOBS 22 au large de Mayotte, à bord de l'OSIRIS II (6-12 mars 2022).
OBS recovery and redeployment campaign during the MAYOBS 22 campaign off Mayotte, aboard OSIRIS II (6-12 March 2022).

Même si la dernière activité sous-marine observée au niveau du volcan Fani Maoré remonte au 18 janvier 2021 lors de la campagne MAYOBS 17, une activité sismique est toujours en cours entre 5 et 50 km à l'est de Mayotte, avec l'émission sous-marine de fluides volcaniques dans la zone du Fer à Cheval. En 2022, une nouvelle campagne océanographique de surveillance (MAYOBS 23) a été menée au mois de juillet sur la zone volcanique active mahoraise. Par ailleurs, le personnel des OVS à Paris et de l'OVPF-IPGP a commencé à travailler sur le plan ORSEC des risques telluriques à Mayotte, initié par la préfecture. À cette occasion, la collaboration avec les services de sécurité civile du ministère de l'intérieur (DGSCGC) s'est renforcée.

Although the last underwater activity observed at the Fani Maoré volcano dates back to the 18th of January 2021 during the MAYOBS 17 campaign, seismic activity is still underway between 5 and 50 km to the east of Mayotte, with the underwater emission of volcanic fluids in the Fer à Cheval area. In 2022, a new oceanographic monitoring campaign (MAYOBS 23) was carried out in July in the active volcanic zone of Mayotte. In addition, staff from the OVS in Paris and the OVPF-IPGP began work on the ORSEC plan for telluric risks in Mayotte, initiated by the prefecture. Collaboration with the civil security services of the Ministry of the Interior (DGSCGC) was strengthened at the same time.

La Soufrière de Guadeloupe
The Soufrière of Guadeloupe

La Guadeloupe et sa région ont connu une activité volcanique et tellurique soutenue avec près de 6000 séismes volcaniques enregistrés par l'OVSG-IPGP, dont 14 essaims sismiques, et 832 séismes tectoniques, dont 469 ont pu être localisés. Cette activité a été l'objet de 28 communiqués relatifs à la sismicité volcanique et 16 relatifs à des séismes tectoniques ressentis.

Le réseau GNSS a permis d'identifier une déformation radiale centrifuge du sommet du volcan, qui est une réponse à la pressurisation du système hydrothermal. Cette déformation s'est traduite à petite échelle par la progression de l'ouverture du Cratère Napoléon et la contraction du Cratère Dupuy, mesurées par extensométrie. L'activité fumerolienne est restée intense sur le site du Cratère Sud et a continué à s'étendre vers le nord et l'est du dôme. Cette extension s'est accompagnée en fin d'année d'une hausse de la température de la fumerolle Napoléon Nord, qui a dépassé pour la première fois la température d'ébullition de l'eau, ainsi qu'une augmentation de la composante magmatique dans les gaz.

Guadeloupe and its region experienced sustained volcanic and telluric activity, with almost 6,000 volcanic earthquakes recorded by the OVSG-IPGP, including 14 seismic swarms, and 832 tectonic earthquakes, 469 of which were located. This activity was the subject of 28 releases relating to volcanic seismicity and 16 relating to tectonic earthquakes felt.

The GNSS network identified a centrifugal radial deformation of the volcano summit, which is a response to the pressurisation of the hydrothermal system. On a small scale, this deformation was reflected in the widening of the Napoleon crater and the contraction of the Dupuy crater, as measured by extensometry. Fumaronitic activity remained intense at the South Crater site and continued to extend towards the north and east of the dome. At the end of the year, this extension was accompanied by an increase in the temperature of the Napoleon North fumarole, which exceeded the boiling temperature of water for the first time, as well as an increase in the magma component in the gases.

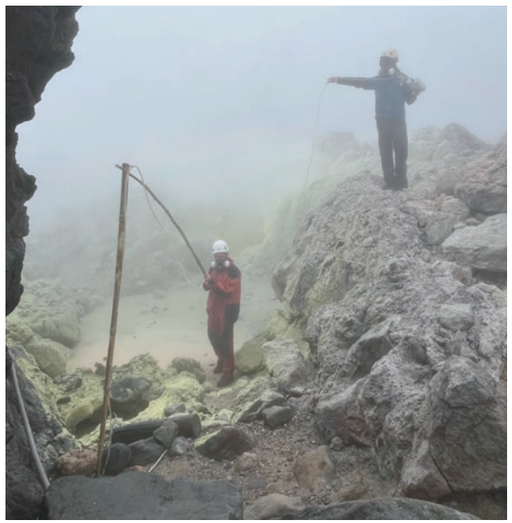
Sur le flanc sud de la Soufrière, Elodie Chilin accédant à la ravine Goyavier pour prélever une source thermale en cours de réchauffement.
On the southern flank of La Soufrière, Elodie Chilin accessing the Goyavier gully to tap a thermal spring currently warming up.

En lien possible avec cette évolution, les sources thermales localisées en altitude sur le flanc sud de la Soufrière ont poursuivi leur montée en température, et le lac acide du Gouffre Tarissan localisé au sommet du volcan s'est probablement totalement évaporé. Le niveau d'alerte volcanique reste jaune (vigilance).

En 2022, l'OVSG-IPGP a poursuivi le développement de son réseau de capteurs, renforcé ses capacités opérationnelles, et contribué à plusieurs projets de recherche. Dans le cadre d'une convention avec le Ministère de la Transition Ecologique et de la Cohésion des Territoires, trois forages destinés à accueillir des stations multi-paramètres à bas bruit de fond ont été réalisés sur les flancs de la Soufrière. Ces forages ont aussi été l'occasion de prélever des carottes de roches altérées pour en étudier les propriétés physiques et mieux comprendre les instabilités gravitaires (projet ANR MYGALE). Après plus d'un an d'interruption, l'analyse des gaz non condensables par spectrométrie de masse a été relancée au sein de l'observatoire, permettant à nouveau la quantification fine des composants magmatiques dans les vapeurs hydrothermales.
Une mission de maintenance de l'observatoire sous-marin des Saintes basée sur des technologies optiques a été menée dans le cadre du projet Interreg PREST (campagne océanographique FIBROSAINTES), complétée par l'installation d'une nouvelle station sismique à Grand îlet, au sud des Saintes.
L'année 2022 aura aussi été marquée par la tempête Fiona au mois de septembre, qui a foudroyé une station sismique et transformé durablement les points de sortie des sources thermales, en en interdisant parfois l'accès.

Possibly linked to this development, the thermal springs located high up on the southern flank of the Soufrière volcano have continued to rise in temperature, and the acid lake of the Gouffre Tarissan located at the summit of the volcano has probably evaporated completely. The volcano alert level remains yellow (vigilance).

In 2022, the OVSG-IPGP continued to develop its sensor network, strengthened its operational capabilities and contributed to several research projects. As part of an agreement with the French Ministry for Ecological Transition and Territorial Cohesion, three boreholes designed to house low background multi-parameter stations were drilled on the slopes of the Soufrière. These boreholes also provided an opportunity to collect cores of altered rock to study its physical properties and better understand gravity instabilities (ANR MYGALE project). After more than a year's interruption, the observatory relaunched the analysis of non-condensable gases by mass spectrometry, allowing fine quantification of magmatic components in hydrothermal vapours.
As part of the Interreg PREST project (FIBROSAINTES oceanographic campaign), a maintenance mission was carried out on the Les Saintes underwater observatory using optical technologies, and a new seismic station was installed at Grand îlet, south of Les Saintes.
The year 2022 was also marked by storm Fiona in September, which struck down a seismic station and permanently transformed the outlets of the thermal springs, in some cases blocking access.



Au somment de la Soufrière, mesure de la température de la fumerolle Cratère Sud Nord, en nette augmentation (146°C).
At the summit of La Soufrière, the temperature of the South North Crater fumarole is measured, with a significant increase (146°C).

La Montagne Pelée à la Martinique
Mount Pelée in Martinique

En Martinique, la sismicité volcanique de la Montagne Pelée est restée au-dessus du niveau de base avec 627 séismes de type volcano-tectonique, cinq séismes longue période et 29 séismes de type hybride, liés à la présence et à la migration de fluides à l'intérieur et sous l'édifice volcanique. L'énergie sismique libérée reste faible et aucun séisme volcanique n'a été ressenti par la population. Depuis juin 2022, les déformations de l'édifice mesurées par le réseau de capteurs GNSS indiquent un faible gonflement sur le long terme, pouvant être interprété comme une source superficielle de légère pressurisation localisée sous la partie sommitale de la Montagne Pelée. Cette source pourrait être engendrée par la remontée de volumes limités de fluides hydrothermaux et/ou magmatiques (gaz, eaux hydrothermales).

La poursuite d'une activité sismo-volcanique à la Montagne Pelée et l'apparition d'un faible signal d'inflation sur les flancs proches du sommet ont amené l'IPGP à recommander le maintien du niveau jaune (vigilance). Bien que le niveau de sismicité soit plus faible qu'en 2021, il reste nettement au-dessus de la ligne de base des années 2010. Ainsi, 985 séismes d'origine tectonique ont été enregistrés, dont huit ont été ressentis par la population et ont fait l'objet de communiqués spécifiques. Le plus fort d'entre eux (intensité II à III) s'est produit le 16 juillet à l'est-nord-est de Trinité à environ 51 km de profondeur.

In Martinique, volcanic seismicity on Mount Pelée remained above the baseline level, with 627 volcano-tectonic earthquakes, five long-period earthquakes and 29 hybrid-type earthquakes linked to the presence and migration of fluids within and beneath the volcanic edifice. The seismic energy released remains low and no volcanic earthquakes have been felt by the population. Since June 2022, the deformations of the edifice measured by the GNSS sensor network indicate a slight swelling over the long term, which could be interpreted as a surface source of slight pressurisation located beneath the summit of Mount Pelée. This source could be generated by the upwelling of limited volumes of hydrothermal and/or magmatic fluids (gas, hydrothermal water).

The continuation of seismo-volcanic activity on Mount Pelée and the appearance of a weak inflation signal on the slopes near the summit have led the IPGP to recommend maintaining the yellow level (vigilance). Although the level of seismicity is lower than in 2021, it remains clearly above the 2010 baseline. A total of 985 tectonic earthquakes were recorded, eight of which were felt by the general public and were the subject of specific press releases. The strongest of these (intensity II to III) occurred on the 16th of July to the east-north-east of Trinité at a depth of around 51 km.

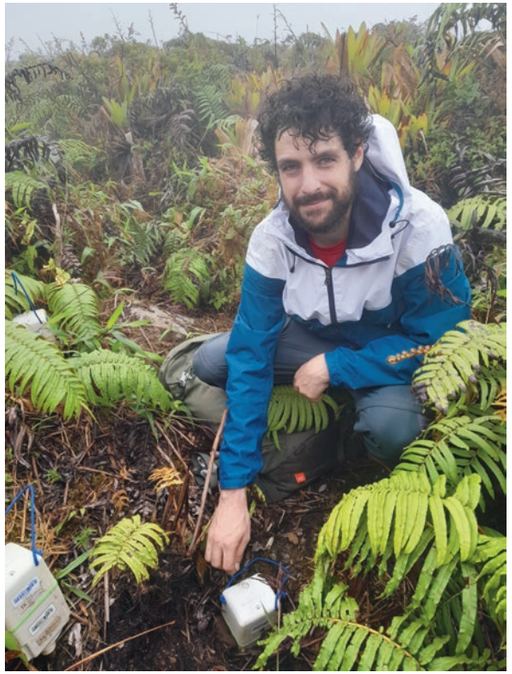
Installation de la station multi-paramètres Source Chaude sur le flanc sud-ouest de la Montagne Pelée (octobre 2022).
Installation of the Source Chaude multi-parameter station on the south-west slope of Mount Pelée (october 2022).

Par ailleurs, les membres de l'OVSM-IPGP, des OVS à Paris et de l'OPGC ont contribué et participé à l'exercice Volcan Pelée 2022, organisé par la préfecture de Martinique pour simuler certains aspects de l'évacuation d'une zone menacée en cas d'éruption phréatique à la Montagne Pelée et tester ainsi le nouveau plan ORSEC publié en 2022.

In addition, members of the OVSM-IPGP, the OVS in Paris and the OPGC contributed to and took part in the Volcan Pelée 2022 exercise, organised by the Prefecture of Martinique to simulate some of the issues involved in evacuating a threatened area in the event of a phreatic eruption on Mount Pelée and thus test the new ORSEC plan published in 2022.

En 2022, le renforcement des réseaux de surveillance de la Montagne Pelée s'est poursuivi, avec l'ajout d'une nouvelle station sismologique munie d'un capteur GNSS permanent. En outre, trois réseaux denses de huit capteurs sismologiques ont été déployés fin 2022 autour de l'édifice volcanique pour une durée d'un an, financés par le ministère de la Transition écologique. Par ailleurs, une bouée instrumentée a été acquise dans le cadre du projet Interreg Caraïbes PREST, permettant de réaliser des mesures continues en mer (température, pH, salinité...). Enfin, la migration progressive des services de l'ancien bâtiment de l'OVSM-IPGP s'est poursuivie, avec l'installation et la mise en service du cluster informatique dans la nouvelle salle dédiée de l'observatoire.

In 2022, the Mount Pelée monitoring networks continued to be strengthened, with the addition of a new seismological station equipped with a permanent GNSS sensor. In addition, three dense networks of eight seismological sensors were deployed at the end of 2022 around the volcanic edifice for a period of one year, financed by the Ministry of Ecological Transition. In addition, an instrumented buoy has been acquired as part of the PREST Interreg Caribbean project, enabling continuous measurements to be taken at sea (temperature, pH, salinity, etc.). Finally, the gradual migration of services from the old OVSM-IPGP building continued, with the installation and commissioning of the IT cluster in the observatory's new dedicated room.



Arnaud Andrieu effectuant la maintenance mensuelle d'un des trois réseaux denses de huit capteurs sismologiques déployés autour de l'édifice volcanique en Martinique.

Arnaud Andrieu carrying out monthly maintenance of one of the three dense networks of eight seismological sensors deployed around the volcanic edifice in Martinique.

En savoir plus / Read more:

> www.ipgp.fr/ovs

Centre de données IPGP
IPGP Data Center

Le Centre de données IPGP (CD-IPGP) assure la gestion et la mise à disposition des données d'observation et de recherche de l'IPGP pour la communauté scientifique. Il est responsable de leur archivage, leur stockage à long terme (protection renforcée) et leur diffusion dans des formats et interfaces standards. Il est également chargé de l'interconnexion avec des services nationaux (Résif-EPOS et ForM@Ter), européen (EPOS) et mondiaux (FDSN et Planetary Data System de la NASA). En outre, il est responsable de la déclaration des DOI (Digital Object Identifier) associés aux réseaux d'observation et aux jeux de données IPGP.

Le CD-IPGP gère les données (sismologiques, GNSS, volcanologiques) de sept réseaux d'observation : GEOSCOPE (G), l'observatoire volcanologique et sismologique de Guadeloupe (GL), l'observatoire volcanologique et sismologique de Martinique (MQ), l'observatoire volcanologique du Piton de la Fournaise (PF), le réseau sismique et volcanique de l'archipel des Comores (QM), le réseau sismologique français des Antilles (WI) et l'observatoire martien InSight (XB 2016-2023).

En 2022, le CD-IPGP a créé un entrepôt de données pour la préservation, la diffusion et la valorisation des données issues des activités de recherche et d'observation de l'IPGP, en facilitant leur identification et leur citation, tout en suivant les principes FAIR*. L'ouverture de ce nouveau service élargit les missions du CD-IPGP, désormais en charge d'héberger et mettre à disposition les données associées à des projets de recherche et à des articles dans des revues à comité de lecture.

L'équipe se compose de quatre personnes (un chercheur et trois ingénieurs), avec un support administratif assuré par deux gestionnaires et travaille en étroite collaboration avec les observatoires de l'IPGP, la plateforme DANTE/S-CAPAD et le service informatique de l'IPGP. Les membres du CD-IPGP font partie des réseaux d'ingénieurs de Résif-EPOS et de ForM@Ter.

* Facile à trouver, Accessible, Interopérable et Réutilisable

The IPGP Data Center (IPGP-DC) manages the IPGP observational and research data and makes them available to the scientific community. It is responsible for their archiving, long-term storage (enhanced protection) and distribution via standard formats and interfaces. It is also responsible for the interconnection with national (Résif-EPOS and ForM@Ter), European (EPOS) and global (FDSN and NASA's Planetary Data System) services. In addition, it is also responsible for declaring DOIs (Digital Object Identifiers) associated with IPGP observational networks and datasets.

The IPGP-DC manages data (seismological, GNSS, volcanological) from seven observational networks: GEOSCOPE (G), the Volcanological and Seismological Observatory of Guadeloupe (GL), the Volcanological and Seismological Observatory of Martinique (MQ), the Volcanological Observatory of Piton de la Fournaise (PF), the Comoros Archipelago Seismic and Volcanic Network (QM), the French West Indies Seismological Network (WI), and the InSight Mars Observatory (XB 2016-2023).

In 2022, the IPGP-DC created a data warehouse for the preservation, dissemination and valorisation of data from the IPGP's research and observational activities, facilitating their identification and citation, while following the FAIR* principles. The opening of this new service extends the missions of the IPGP-DC, which is now in charge of hosting and making available data associated with research projects and articles in peer-reviewed journals.

The team consists of four people (one researcher and three engineers), with administrative support from two managers, and works in close collaboration with the IPGP observatories, the DANTE/S-CAPAD platform and the IPGP IT department. Members of the IPGP-DC are part of the Résif-EPOS and ForM@Ter engineering networks.

* Findable, Accessible, Interoperable, Reusable

Le CD-IPGP gère les données de :
The IPGP-DC manages data from:

193 stations sismologiques

193 seismological stations

73 stations GNSS

73 GNSS stations

155 stations distribuées en temps réel

155 real-time distributed stations

14 jeux de données dans l'entrepôt "IPGP Research Collection"

14 datasets in the IPGP Research Collection warehouse

Activités en 2022
Activities in 2022

- Ouverture d'un entrepôt de partage et de conservation des données et documents de recherche produits et collectés à l'institut, "IPGP Research Collection", conçu, réalisé et entièrement géré par le CD-IPGP. Cet entrepôt est le premier service du CD-IPGP sur lequel les utilisateurs déposent directement leurs produits et données. Chaque jeu de données est identifié par un DOI permettant de le citer correctement.
- Évolution majeure du système d'information de données GNSS (Global Navigation Satellite System) afin d'implémenter l'un des nœuds de données du système EPOS-GNSS.
- Lancement du projet de mise en œuvre des services de données pour la mission lunaire FarSide Seismic Suite (FSS), qui déploiera en 2025 deux sismomètres (large bande et courte période) sur la face cachée de la Lune.
- Rôles de responsabilité au sein du système d'information de données sismologiques de Résif-EPOS : Constanza Pardo est responsable nationale du comité technique ; Claudio Satriano est responsable du comité de pilotage.
- Participation au projet Equipex+ GAIA Data, financé par le Programme d'investissements d'avenir (PIA), dont l'objectif est de développer un dispositif global d'accès à des données, produits et services FAIR* pour le système Terre. Ce projet est coordonné à l'IPGP par Claudio Satriano et implique les équipes du CD-IPGP, S-CAPAD, ForM@Ter et le service informatique de l'IPGP.
- Participation au sous-comité "Données de la recherche", dans le cadre du comité "Science ouverte" d'Université Paris Cité.
- Participation au comité technique du Pôle Spatial Université Paris Cité (PSUPC).

- Opening of a warehouse for sharing and storing research data and documents produced and collected at the institute, "IPGP Research Collection", designed, built and fully managed by the IPGP-DC. This warehouse is the first service of the IPGP-DC where users deposit their products and data directly. Each dataset is identified by a DOI allowing it to be correctly cited.
- Major evolution of the GNSS (Global Navigation Satellite System) data information system to implement one of the EPOS-GNSS data nodes.
- Launch of the data services implementation project for the FarSide Seismic Suite (FSS) lunar mission, which will deploy two seismometers (broadband and short period) on the far side of the Moon in 2025.
- Responsibilities within the Resif-EPOS seismic data information system: Constanza Pardo is the national head of the technical committee; Claudio Satriano is the head of the steering committee.
- Participation in the Equipex+ GAIA Data project, funded by the Future Investment Programme (PIA), which aims to develop a global access system to FAIR* data, products and services for the Earth system. This project is coordinated at the IPGP by Claudio Satriano and involves the IPGP-DC, S-CAPAD, ForM@Ter and the IPGP IT department.
- Participation in the "Research data" sub-committee of the "Open Science" committee of Université Paris Cité.
- Participation in the technical committee of the Université Paris Cité Space Centre.

En savoir plus / Read more:

IPGP Research Collection : https://research-collection.ipgp.fr

Données GNSS / GNSS Data: http://volobsis.ipgp.fr/data/access-gnss-data

"Science ouverte" d'Université Paris Cité / Université Paris Cité's "Open Science" programme: https://u-paris.fr/science-ouverte/

InSight / InSight

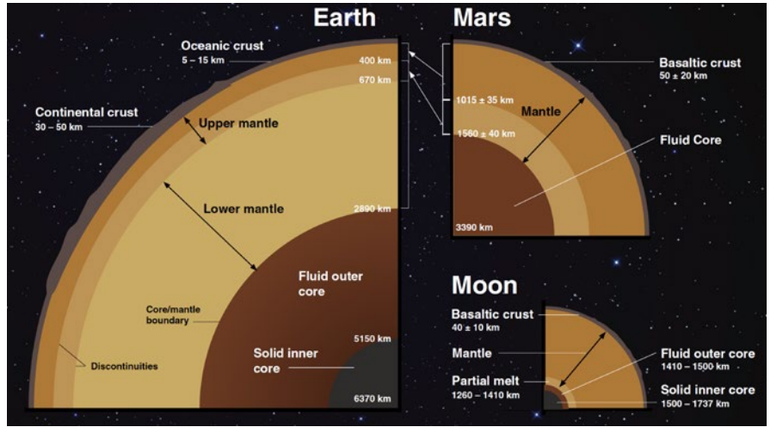
Ce service national d'observation (SNO) accompagne la mission NASA InSight, qui a déployé fin 2018 un observatoire géophysique à la surface de la planète Mars, réalisant des mesures sismiques, géodésiques et magnétiques simultanées. Il est porté par l'IPGP, en collaboration avec plusieurs laboratoires et observatoires français (en particulier le LPG et GEOAZUR).
L'IPGP est responsable avec le CNES de SEIS, instrument principal de la mission, de la validation des données de cette expérience et du Mars SEIS data service (MSDS), chargé de leur diffusion et archivage. L'IPGP contribue aussi au Mars Structure Service et au Marsquake Service, chargés de l'analyse de ces données et de la sismicité de Mars.

This national observation service (SNO) accompanies the NASA InSight mission, which deployed a geophysical observatory on the surface of Mars at the end of 2018, carrying out simultaneous seismic, geodetic and magnetic measurements. It is led by the IPGP, in collaboration with several French laboratories and observatories (in particular the LPG and GEOAZUR). Together with the CNES, the IPGP is responsible for SEIS, the mission's main instrument, for validating the data from this experiment and for the Mars SEIS Data Service (MSDS), which is in charge of disseminating and archiving the data. The IPGP also contributes to the Mars Structure Service and the Marsquake Service, which are responsible for analysing these data and the seismicity of Mars.

Activités en 2022 / Activities in 2022

En raison de l'accumulation continue de poussières depuis son atterrissage, la puissance délivrée par les panneaux solaires d'InSight a progressivement diminué. À partir de l'été 2022, l'instrument SEIS ne fonctionnait déjà plus que par intermittence. Les dernières données ont ainsi été acquises le 13 décembre, soit 1439 jours martiens après le début de la mission.
2022 est donc l'année du premier bilan scientifique de SEIS : 1319 séismes martiens ont été détectés, sans compter les 1383 séismes thermiques très locaux. Le plus puissant d'entre eux a été enregistré le 4 mai 2022, avec une magnitude estimée à 4.7. Ce séisme est le seul dont les ondes de surface ont pu être détectées après plus d'un tour autour de la planète rouge. Deux très gros impacts de météorite ont également atteint des magnitudes supérieures à 4, avec des ondes de surface mesurables pour le train direct, ainsi que des phases d'ondes de volume éclairant la base du manteau pour l'un d'entre eux (Posioleva et al., 2022). Six autres impacts ont été identifiés à moins de 300 km de l'atterrisseur, grâce aux infrasons générés par leur rentrée supersonique dans l'atmosphère martienne et par l'explosion engendrée lors de la collision.
L'équipe SEIS de l'IPGP a contribué en 2022 à plus de trente articles sur l'analyse de ces nouvelles données. Celles-ci ont été préparées par le centre de données de l'IPGP et distribués internationalement à plus de 2400 adresses IP distinctes, représentant 2 téraoctets de requêtes de données.

Due to the continuous accumulation of dust since its landing, the power delivered by InSight's solar panels has gradually decreased. By the summer of 2022, the SEIS instrument was already operating only intermittently. The last data were acquired on 13 December, 1,439 Martian days after the start of the mission.
2022 is therefore the year of the first scientific evaluation of SEIS: 1,319 Martian earthquakes have been detected, not including the 1,383 very local thermal earthquakes. The strongest of these was recorded on 4 May 2022, with an estimated magnitude of 4.7. This earthquake is the only one whose surface waves have been detected after more than one orbit of the Red Planet.
Two very large meteorite impacts have also reached magnitudes greater than 4, with measurable surface waves for the direct train, as well as volume wave phases illuminating the base of the mantle for one of them (Posioleva et al., 2022). Six other impacts were identified less than 300 km from the lander, thanks to the infrasound generated by their supersonic re-entry into the Martian atmosphere and by the explosion generated during the collision.
In 2022, the IPGP SEIS team contributed to more than thirty articles analyzing this new data. These were processed by the IPGP Data Center and distributed internationally to more than 2,400 different IP addresses, representing 2 terabytes of data requests.

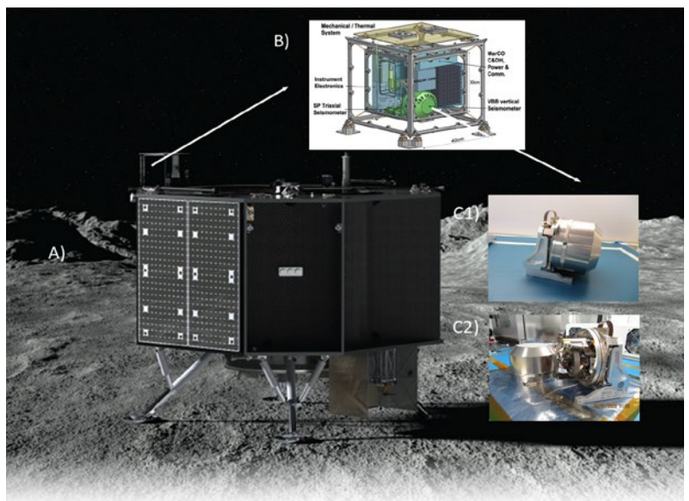


Comparaison des interfaces de la Terre, de la Lune et de Mars mesurées par plus d'un siècle de sismologie sur Terre, par le réseau Apollo sur la Lune et par le sismomètre SEIS de la mission InSight.

Comparison of the interfaces of Earth, Moon and Mars measured by more than a century of seismology on Earth, by the Apollo network on the Moon and by the SEIS seismometer on the InSight mission.

Ce travail d'analyse a permis de préciser la localisation des séismes dans la région de Cerberus Fossae. Les inversions de mécanismes aux foyers confirment que cette zone est vraisemblablement le siège d'une tectonique volcanique, contribuant pour moitié à la sismicité mesurée par SEIS. Ces travaux ont également conduit à l'amélioration quantitative des modèles de structure interne de Mars, avec notamment des inversions contraintes par des modèles d'évolution thermique de la planète.
Grâce à SEIS, Mars devient le troisième corps tellurique exploré par la sismologie, 135 ans après la première observation d'un télé-séisme sur Terre et 45 ans après l'arrêt du réseau sismique Apollo sur la Lune. Or c'est justement sur notre satellite naturel que la sismologie planétaire continuera d'opérer à l'avenir, avec l'achèvement à la fin de l'année 2022 par l'équipe instrumentale FSS de l'IPGP des deux modèles VBBZ de la mission FarSide puis le lancement de la mission en 2025 vers le bassin de Schrödinger, sur la face cachée lunaire.

This analysis work has enabled us to pinpoint the location of earthquakes in the Cerberus Fossae region. Focal point mechanism inversions confirm that this area is likely to be the site of volcanic tectonics, contributing half of the seismicity measured by SEIS. This work has also led to quantitative improvements in models of the internal structure of Mars, in particular with inversions constrained by models of the planet's thermal evolution.
Thanks to SEIS, Mars is the third telluric body studied by seismology, 135 years after the first observation of a teleearthquake on Earth and 45 years after the end of the Apollo seismic network on the Moon. However, it is precisely on our natural satellite that planetary seismology will continue to operate in the future, with the completion by the IPGP's FSS instrumental team at the end of 2022 of the two VBBZ models for the FarSide mission, followed by the launch of the mission in 2025 towards the Schrödinger Basin on the far side of the Moon.



A) Image d'artiste de l'atterrisseur Draper, sélectionné par la NASA pour la mission NASA CP-12 qui déposera FSS sur la Lune en 2025. B) Éclaté du module autonome FarSide Seismic Suite, qui assurera la servitude puissance et transmission à la fin de la vie de l'atterrisseur et en particulier pendant les nuits lunaires. C1) Module VBBZ complet de vol et C2) détails de l'intérieur du modèle de vol avant la fermeture du boitier de protection en décembre 2022, avec en particulier les sismomètres VBB en configuration verticale.

A) Artist's view of the Draper lander, selected by NASA for the NASA CP-12 mission that will land FSS on the Moon in 2025. B) Exploded view of the FarSide Seismic Suite autonomous module, which will provide power and transmission services at the end of the lander's life, particularly during lunar nights. C1) Complete VBBZ flight module and C2) details of the interior of the flight model before the protective casing is closed in December 2022, with in particular the VBB seismometers in vertical configuration.

Réseau des observatoires et stations de l'IPGP
Network of the IPGP observatories and stations

Observatoires Observatories

- Observatoires volcanologiques et sismologiques Volcanological and seismological observatories
- Observatoire de l'eau et de l'érosion aux Antilles OBSERA Observatory of water and erosion in the Antilles OBSERA
- Observatoires magnétiques du BCMT BCMT Magnetic observatories
- Stations sismologiques GEOSCOPE GEOSCOPE seismological stations
- Sites instrumentés Instrumented sites
- Service national d'observation InSight InSight National Observation Service

Avec With: L'école et observatoire des sciences de la Terre EOST

Geoscope souffle ses 40 bougies

Geoscope celebrates its 40th anniversary

A l'occasion des 40 ans de l'observatoire Geoscope, entretien avec son responsable scientifique, Martin Vallée

For the 40th anniversary of the Geoscope observatory, interview with its scientific manager, Martin Vallée

Comment est né Geoscope et comment avez-vous rejoint cet observatoire ?

How was Geoscope born and how did you join this observatory?

À la fin des années 1970, de nouveaux prototypes de capteurs sismiques sont en phase de développement avancé, les STS-1, qui vont pour la première fois offrir la possibilité d'enregistrer, avec une haute sensibilité et sur une grande gamme de fréquences, les mouvements du sol sur leurs trois composantes : un sismomètre vertical et deux horizontaux. L'observatoire Geoscope, anticipant le fait que le déploiement de tels capteurs à l'échelle globale permettra des avancées importantes dans notre connaissance de la structure de la Terre et des sources sismiques qui la font vibrer, est créé en 1982 en vue de relever un défi de taille : équiper des sites particulièrement isolés sur Terre avec des sismomètres de haute qualité.

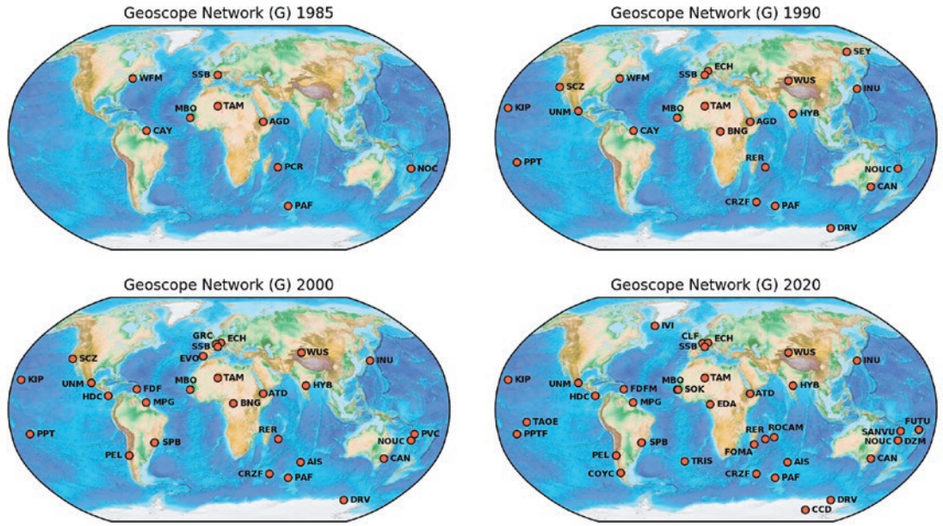
Tout en travaillant à la validation des capteurs STS-1 avec leurs concepteurs, E. Wielandt et G. Streckheisen, les membres de Geoscope commencent ainsi à déployer le réseau au cours des années suivantes, à travers la mise en place de nombreuses synergies entre chercheurs et ingénieurs de l'IPGP et de l'EOST à Strasbourg, mais aussi grâce au support des partenaires locaux des pays dans lesquels les stations sont installées.

En ce qui me concerne, c'est en 2015 que j'ai pris la suite d'Eléonore Stutzmann à la direction de l'observatoire, avec d'autant plus d'intérêt que les données Geoscope ont toujours eu un rôle essentiel dans mes activités de recherche.

At the end of the 1970's, new prototypes of seismic sensors, the STS-1, were in an advanced development phase. These sensors (a vertical seismometer and two horizontal ones) offered for the first time the possibility of recording, with high sensitivity and over a wide range of frequencies, the movements of the ground on their three components. The Geoscope observatory, anticipating that the deployment of such sensors on a global scale will enable significant advances in our knowledge of the structure of the Earth and of the seismic sources, was created in 1982 to answer the challenge of equipping isolated sites with high-quality seismometers.

While working on the validation of the STS-1 sensors with their designers, E. Wielandt and G. Streckheisen, Geoscope members started to deploy the network in the 1980's. This has been made possible through numerous synergies between researchers and engineers from the IPGP and the EOST in Strasbourg, and also thanks to the support of local partners in the countries where the stations are installed.

As far as I am concerned, I replaced Eléonore Stutzmann in 2015 as director of the observatory, with all the more interest since Geoscope data has always had an essential role in my research activities.



Développement du réseau Geoscope entre 1985 et 2020.
Development of the Geoscope network between 1985 and 2020.

L'instrumentation a-t-elle beaucoup évolué en 40 ans ?

Has the instrumentation changed a lot in 40 years?

Les STS-1 sont restés les capteurs les plus performants pendant plusieurs décennies. Ils ont donc été installés et maintenus dans toutes les stations Geoscope à bas bruit, même après la fin de leur production dans les années 1990. Encore aujourd'hui, 19 des 33 stations Geoscope en sont équipées. Au cours des années 2000 et 2010, des améliorations ont été intégrées (électronique, système de couplage au sol...), permettant d'en extraire un signal toujours plus précis.

STS-1s remained the most successful sensors for several decades. They have therefore been installed and maintained in all low-noise Geoscope stations, even after their production ended in the 1990's. Even today, 19 of the 33 Geoscope stations are equipped with them. During the years 2000's and 2010's, improvements were integrated to the original STS-1s (electronics, ground coupling system, etc.), leading to even more precise signals.

Les trois capteurs STS-1 et leur système de couplage au sol ("warpfree base plate").
The three STS-1 sensors and their coupling system to the ground ("warpfree base plate").

En parallèle, Geoscope a testé ces dernières années des capteurs très large-bande de nouvelle génération, les T360, dont la qualité s'est révélée être du niveau des STS-1. Nous sommes donc aujourd'hui dans la phase d'installation de ces nouveaux dispositifs, comme cela vient d'être fait dans les stations TAM (Algérie) et ECH (Alsace).

Enfin, la stratégie d'installation de capteurs au fond de puits est de plus en plus envisagée, afin de limiter la sensibilité aux perturbations atmosphériques. De ce fait, les stations SOK (Sénégal) et CCD (Antarctique) disposent de capteurs enfouis respectivement à 20 et 120 m de profondeur.

In recent years, new generation very broadband sensors have been tested by Geoscope. One of them, the T360, has proven to be at the quality level of STS-1. We are therefore now in the installation phase of these new devices, as has just been done in the TAM (Algeria) and ECH (Alsace) stations.

Finally, the strategy of installing boreholes sensors is increasingly being considered, in order to limit sensitivity to atmospheric disturbances. As a result, the SOK (Senegal) and CCD (Antarctica) stations have sensors buried at depths of 20 and 120 m, respectively.

Quelles découvertes majeures ont pu être faites grâce à Geoscope ?
Which major discoveries have been made thanks to Geoscope?

La spécificité des données Geoscope réside dans leur qualité à longues périodes, de quelques dizaines de secondes jusqu'à quelques milliers de secondes, une gamme clé pour quantifier précisément les tremblements de terre les plus intenses. Les séismes à Sumatra en 2004, au Chili en 2010 et au Japon en 2011, de magnitudes proches ou supérieures à 9, ont ainsi pu être rapidement caractérisés grâce aux données Geoscope et GSN (réseau américain incorporant également un grand nombre de capteurs STS-1).

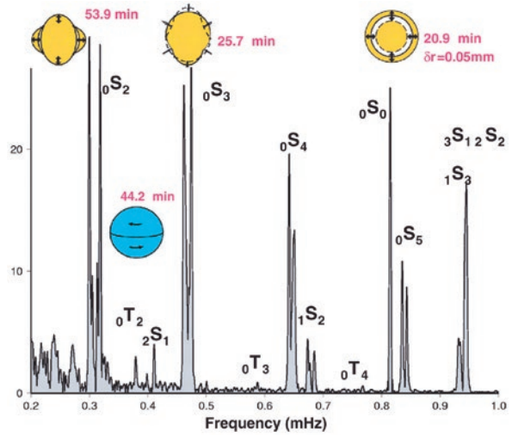
En outre, les vibrations longue-période associées à ces séismes majeurs, appelées "modes propres", apportent de précieuses informations sur la structure profonde terrestre. Il a aussi été découvert que ces derniers sont continument générés par l'activité océanique ou atmosphérique ("seismic hum"). Plus récemment, les stations Geoscope ont contribué à la mise au jour des signaux élasto-gravitaires générés par les forts séismes, détectables avant l'arrivée des ondes sismiques usuelles. Enfin, les stations situées à proximité du volcan Hunga Tonga ont particulièrement bien enregistré sa récente éruption, démontrant que l'intérêt des données Geoscope ne se limite pas qu'aux séismes.

The specificity of Geoscope data lies in their quality at long periods, from a few tens of seconds to a few thousand seconds, a key range for the precise quantification of the largest earthquakes. The earthquakes in Sumatra in 2004, in Chile in 2010 and in Japan in 2011, of magnitudes close to or greater than 9, could thus be quickly characterized thanks to the data provided by Geoscope and GSN (US network also incorporating a large number of STS-1 sensors).

In addition, the long-period vibrations associated with these major earthquakes, called "eigenmodes", provide rich information on the Earth's deep structure. It has also been discovered that these eigenmodes are continuously excited by oceanic or atmospheric activity ("seismic hum"). More recently, Geoscope stations have contributed to uncovering the elastogravity signals generated by strong earthquakes, detectable before the arrival of the usual seismic waves. Finally, the Geoscope stations located near the Hunga Tonga volcano recorded its recent eruption particularly well, demonstrating that the interest of Geoscope data is not limited to earthquakes.

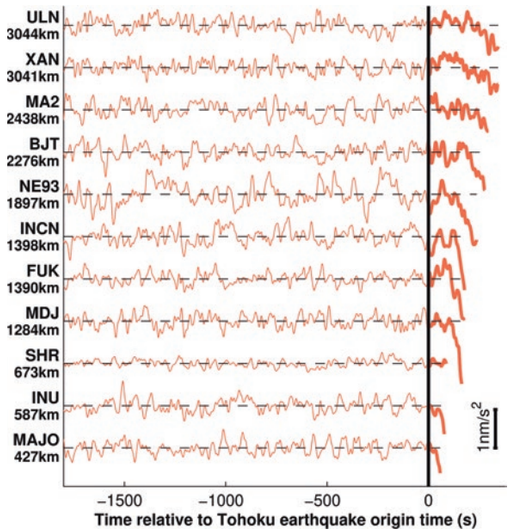
Participants au colloque des 40 ans de Geoscope, organisé à l'IPGP les 29 et 30 juin 2022.

Participants to the workshop celebrating the 40 years of Geoscope, held at the IPGP on June 29-30, 2022.



Visualisation des modes propres de la Terre, excités par le séisme de Sumatra de 2004 et enregistrés à la station Geoscope CAN en Australie.

Visualization of the Earth's eigenmodes, excited by the 2004 Sumatra earthquake and recorded at the CAN Geoscope station in Australia.



Observation du signal élasto-gravitaire lors du séisme de Tohoku (Japon) de 2011. Alors que toutes les formes d'onde sont coupées avant l'arrivée de l'onde P, un signal précédant cette arrivée est clairement visible, y compris à la station Geoscope INU.

Observation of the elastogravity signal during the 2011 Tohoku (Japan) earthquake. While all waveforms are cut at the P wave arrival, a signal preceding this arrival is clearly visible, including at the INU Geoscope station.

Quels sont les projets en cours et à venir ?
What are the current and future projects?

Geoscope vise en premier lieu à maintenir la qualité de ses données, mais aussi à l'améliorer quand les sites des stations le permettent, grâce à de nouveaux capteurs et de nouveaux protocoles d'installation. Pouvoir comparer l'enregistrement de futurs événements sismiques avec des événements passés présente un intérêt considérable, requérant des observations sur de longues périodes de temps (au delà de 40 ans). Par ailleurs, nous développons actuellement des partenariats en vue d'accroître le nombre de stations, avec des projets au Brésil, en Polynésie, au Chili et en Bolivie.

As a long-term observatory, the first Geoscope goal is to maintain and secure the seismic broadband observations. When the sites of the stations allow it, we plan to even improve the signal quality, thanks to new sensors and new installation protocols. The recordings at the same site of large similar seismic events are of considerable interest, requiring observations over long periods of time (over 40 years). We are also currently developing partnerships to increase the number of stations, with projects in Brazil, Polynesia, Chile and Bolivia.

Contact : www.geos@ipgp.fr

En savoir plus / *Read more*:

- Colloque des 40 ans de Geoscope / *Workshop celebrating the 40 years of Geoscope:* https://geoscope40.sciencesconf.org/
- Site de Geoscope / *Geoscope Website:* http://geoscope.ipgp.fr

Retour sur le projet Interreg PREST : mieux comprendre et surveiller les aléas volcaniques, sismiques et tsunamiques des Antilles

Reflecting on the Interreg PREST project: improving knowledge and monitoring of volcanic, seismic and tsunamic hazards in the Caribbean

Du 14 au 19 mai 2022 avaient lieu les rencontres scientifiques "Volcanisme, sismicité et tectonique des Grandes et des Petites Antilles" à Saint-Pierre à la Martinique, réunissant plus de 70 scientifiques du monde entier autour de la restitution du projet PREST (Plateforme Régionale de Surveillance tellurique) piloté par Jean-Bernard de Chabalier.

Avec comme objectif principal "d'accroitre la capacité de réponse des territoires face aux risques naturels" en renforçant la recherche scientifique régionale, ce projet de cinq ans était financé par le programme Interreg V Caraïbe et piloté par l'OVSM-IPGP. Il rassemblait les partenaires antillais du CENAIS (Centro National de Investigaciones Sismológicas) de Cuba, de l'UEH (Université d'État d'Haïti), du BME (Bureau des Mines et de l'Énergie) d'Haïti et de l'OVSG-IPGP, mais également les partenaires institutionnels du CNRS, de l'ENS, de l'IRD, du GET et de l'ESEO. Plus de 40 publications ont déjà été publiées dans des revues scientifiques internationales.

From May 14 to 19, 2022, the scientific meeting "Volcanism, seismicity and tectonics of the Greater and Lesser Antilles" was held in Saint-Pierre, Martinique, attended by more than 70 scientists from all over the world, to present the findings of the PREST project "Regional Plateform for telluric monitoring" led by Jean-Bernard de Chabalier.

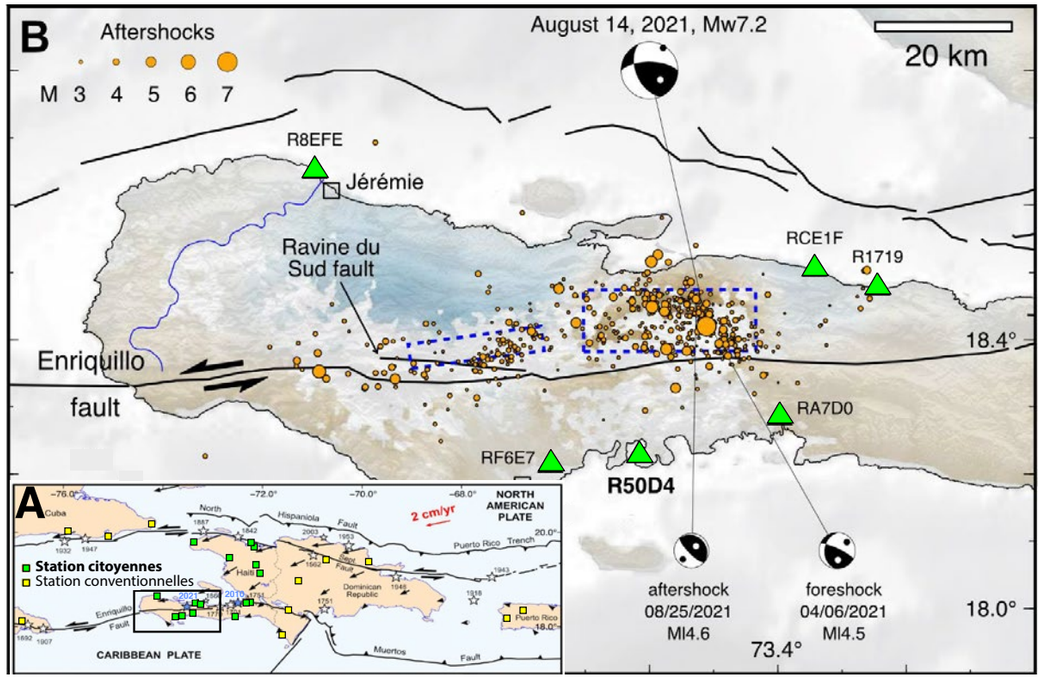
With the main objective of "enhancing the response capacity of territories to natural hazards" by strengthening regional scientific research, this five-year project was funded by the Interreg V Caribbean program and led by the OVSM-IPGP. It involved Caribbean partners, including the CENAIS (Centro National de Investigaciones Sismológicas) of Cuba, the UEH (Université d'État d'Haïti), the BME (Bureau des Mines et de l'Énergie) of Haiti and the OVSG-IPGP, as well as institutional partners from the CNRS, the ENS, the IRD, the GET and the ESEO. More than 40 publications have already been published in international scientific journals.

Des partenariats scientifiques régionaux renforcés

Un réseau sismologique citoyen a été mis en place à Haïti, avec des stations peu coûteuses installées directement chez des habitants équipés de liaisons internet. Cette solution répond aux problèmes économiques, politiques et sécuritaires du pays qui ont empêché le déploiement d'un réseau national "professionnel", suite au séisme dramatique de 2010. Les données de ces stations s'avèrent de qualité suffisante pour détecter et localiser en temps réel la sismicité régionale. Elles ont ainsi permis aux chercheurs de caractériser le séisme de magnitude 7.2 du 14 août 2021 et ses répliques.

Strengthened regional scientific partnerships

A citizen seismological network has been established in Haiti, with low-cost stations installed directly in households equipped with an internet connection. This solution responds to the country's economic, political and security problems, which prevented the deployment of a "professional" national network, after the dramatic 2010 earthquake. The data from these stations are of sufficient quality to detect and locate regional seismicity in real-time. They enabled researchers to characterize the 7.2 magnitude earthquake of August 14, 2021 and its aftershocks.



Les stations du réseau sismologique citoyen (en vert) ont permis de relocaliser précisément le séisme de magnitude 7.2 du 14 août 2021 et ses répliques (cercles oranges).

The stations of the citizen seismological network (green) allowed to precisely relocate the magnitude 7.2 earthquake of August 14, 2021 and its aftershocks (orange circles).

Des innovations instrumentales en milieu marin

Les aléas sismiques, volcaniques et tsunamiques qui menacent la Caraïbe nécessitent de mettre en œuvre des réseaux instrumentaux et d'effectuer des mesures en mer, afin de s'approcher ou de s'éloigner des sources souvent immergées au large des îles, telles que des failles, des volcans ou des mouvements de terrains. Trois axes d'instrumentation ont ainsi été développés dans le projet PREST :

1. Une plateforme instrumentale de cartographie côtière en Martinique

Conçue pour être embarquée sur des petits bateaux locaux, elle est équipée d'un sondeur multifaisceaux pour cartographier les fonds marins entre 0 et 300 m de profondeur, ainsi que d'un drone sous-marin (ROV) pour les imager et prélever des sédiments. La bathymétrie côtière de l'ouest de la Montagne Pelée a pu être réalisée, incluant l'embouchure de la rivière du Prêcheur, en vue d'étudier l'évolution des dépôts de lahars.

Instrumental innovations in the marine environment

The seismic, volcanic and tsunami hazards that threaten the Caribbean require the implementation of offshore instrumental networks and measurements to approach or move away from sources that are often submerged in the sea, such as faults, volcanoes or land movements. The PREST project has developed three axes of instrumentation:

1. An instrumental platform for coastal mapping in Martinique

Designed to be installed on small local boats, it is equipped with a multibeam echosounder to map the seafloor between 0 and 300 m depth, and a remotely operated underwater vehicle (ROV) to image and collect sediments. The coastal bathymetry of the western part of Mount Pelée, including the mouth of the Prêcheur River, was carried out to study the evolution of lahar deposits.

Installation du sondeur et de ses équipements sur un navire d'opportunité en Martinique.

Installation of the echosounder and its equipments on a ship of opportunity in Martinique.

2. Un prototype d'OBS spécifique basé aux Antilles

Requérant des moyens océanographiques importants en provenance de métropole, rares sont les évènements telluriques ayant pu être suivis par des sismomètres fond de mer (OBS) aux Antilles. Le projet PREST a offert la possibilité de développer un prototype d'OBS dit "à réponse rapide" : léger (portable à la main), facile à utiliser et déployable par des bateaux locaux stationnés sur les îles. Ce prototype est testé en Martinique, au large de la Montagne Pelée

2. A dedicated OBS prototype based in the West Indies

Requiring significant oceanographic capabilities from mainland France, few telluric events have been monitored with ocean bottom seismometers (OBS) in the Caribbean. The PREST project offered the opportunity to develop a prototype of a "fast response" OBS: light (hand-held), easy to use and deployable by local boats stationed on the islands. This prototype is being tested in Martinique, off the coast of Mount Pelée.

Prototype d'OBS présenté lors du colloque de mai 2022 en Martinique.

OBS prototype presented during the May 2022 conference in Martinique.

3. Un observatoire optique fond de mer en temps réel

Une surveillance fond de mer en continu est devenue indispensable pour la compréhension des phénomènes géophysiques et améliorer les modèles existants. En décembre 2021, les équipes de PREST ont déployé le premier sismomètre optique en bout de fibre, permettant une surveillance opérationnelle en temps réel dans l'observatoire sous-marin expérimental des Saintes (Guadeloupe), localisé à 5 km au sud de Terre-de-Bas et à 43 m de profondeur.

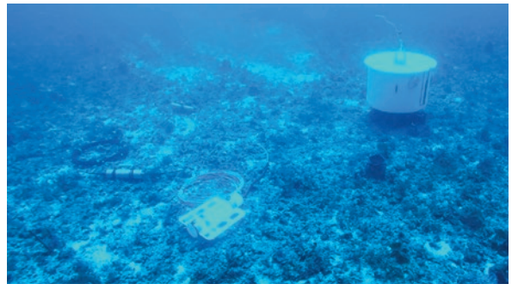
3. An ocean bottom optical observatory in real time

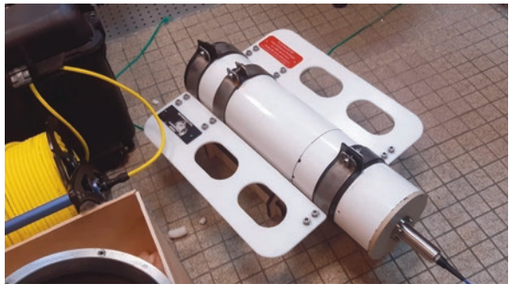
Continuous monitoring of the ocean floor has become essential to understand geophysical phenomena and improve existing models. In December 2021, PREST teams deployed the first fiber-optic seismometer, allowing real-time operational monitoring in the experimental submarine observatory of Les Saintes (Guadeloupe), located 5 km south of Terre-de-Bas and 43 m deep.

Zone de mesures
Measurement zone

Atterrage
Landfall

Jonctions
Junctions





Capteurs optiques
Optical sensors

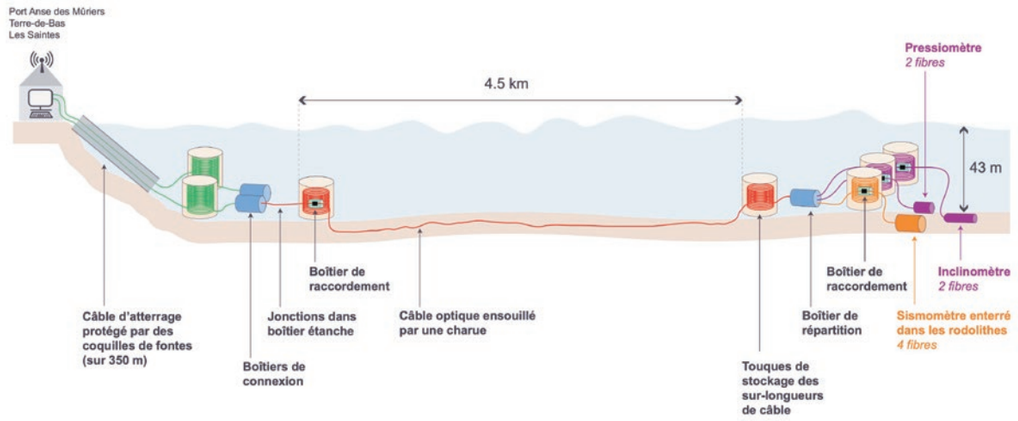


Schéma de l'implantation de l'observatoire optique fond de mer des Saintes. L'interrogateur laser installé dans le port (à gauche) mesure à distance les mouvements du sismomètre (à droite), localisé plus près des sources sismiques. La centrale d'acquisition transmet les données en temps réel aux observatoires, pour décrypter la sismicité persistante de la zone des Saintes, fortement touchée par un séisme destructeur de magnitude 6.4 en novembre 2004.

Drawing of the optical ocean bottom observatory implantation in Les Saintes. The laser interrogator installed in the port (left) measures remotely the motions of the seismometer (right), located closer to the seismic sources. The acquisition transmits in real-time the data to the observatories, to record the persistent seismicity of Les Saintes area, strongly affected by a destructive earthquake of magnitude 6.4 in November 2004.

Une meilleure connaissance des aléas volcaniques, sismiques et tsunamiques aux Antilles

A better understanding of volcanic, seismic and tsunamic hazards in the Caribbean

Couplage sismique de la subduction des Petites Antilles

L'analyse de 25 ans de données GNSS montre que l'interface de la subduction des Petites Antilles présente actuellement un très faible taux de couplage, signifiant que les mégaséismes d'inter-plaque seraient peu probables et donc rares dans cette région (van Rijsingen et al. 2020, 2022). Cependant, l'analyse de 20 ans de sismicité inter-plaque au large de la Martinique révèle une augmentation du taux et de l'énergie sismique, potentiel précurseur d'une rupture majeure comparable au séisme de 1839 (Corbeau et al. 2021). Des niveaux de turbidites identifiés dans des carottes marines prélevées au large de la Guadeloupe, ainsi que des dépôts sédimentaires caractéristiques de submersions marines dans les îles du nord pourraient être la conséquence de séismes de subduction et de tsunamis majeurs (Cordrie et al. 2022, Seibert et al., 2023).

Seismic coupling of the Lesser Antilles subduction zones

Analysis of 25 years of GNSS data shows that the Lesser Antilles subduction interface currently has a very low coupling rate, meaning that interplate mega-earthquakes are unlikely and therefore rare in this region (van Rijsingen et al. 2020, 2022). However, the analysis of 20 years of interplate seismicity off Martinique shows an increase in seismic rate and energy, a potential precursor to a major rupture comparable to the 1839 earthquake (Corbeau et al. 2021). Turbidite levels identified in marine cores off Guadeloupe and sedimentary deposits characteristic of marine submersions in the northern islands could be the consequence of subduction earthquakes and large tsunamis (Cordrie et al. 2022, Seibert et al., 2023)

Aléas et risques volcaniques aux Antilles

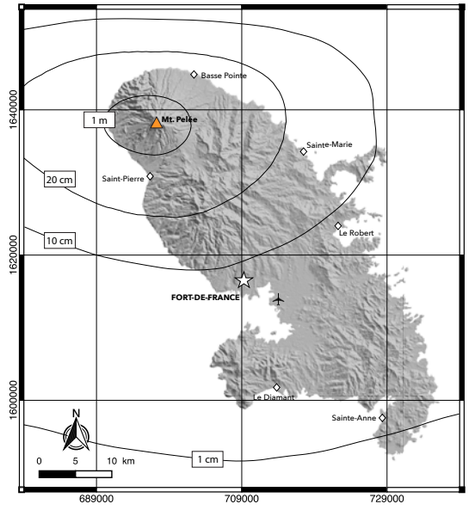
L'analyse des carottes sédimentaires du forage U1397 de la campagne IODP-340 a permis de mener des études de tephrochronologie et de compléter l'histoire volcanologique de la Montagne Pelée sur près de 200 000 ans (Villemant et al., 2022 ; Del Manzo et al, 2023).

Le projet PREST a développé des simulations numériques d'éruptions volcaniques de la Montagne Pelée qui sont déjà été intégrées au plan de gestion de crise ORSEC "Volcan" de la Martinique des autorités préfectorales.

Volcanic hazards and risks in the Caribbean

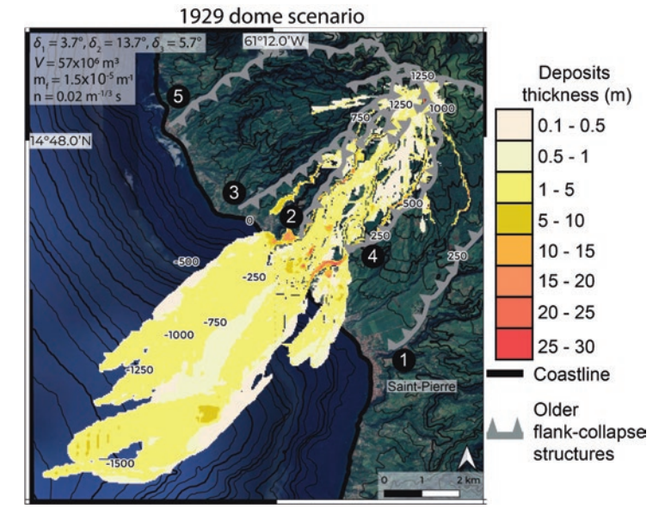
Analysis of sediment cores from the IODP-340 campaign (drilling site U 1397) has allowed some tephrochronology studies to bring new insight on the volcanological history of Mount Pelée over nearly 200 000 years (Villemant et al. 2022 ; Del Manzo et al, 2023).

The PREST project has carried out numerical simulations of the ash dispersalhazard from volcanic eruptions of Mount Pelée which have already been integrated into the Civil Protection ORSEC "Volcano" emergency response plan of Martinique.



Modélisation semi-probabiliste des retombées de cendres pour 16 scénarios d'éruptions pliniennes de la Montagne Pelée, en prenant en compte 43 ans de régimes de vents. Cette simulation prédit 5 % de probabilité d'atteindre 1, 10, 20, 100 cm d'épaisseur de cendres.

Semi-probabilistic modeling of ash fall for 16 Plinian eruption scenarios for Mount Pelée, taking into account 43 years of wind regimes. This simulation predicts a 5% probability of reaching 1, 10, 20, 100 cm of ash thickness.



Simulation numérique de l'effondrement des dômes de la Montagne Pelée et de la mise en place d'une avalanche de débris tsunamigène.

Numerical simulation of the partial collapse of the domes of Mount Pelée triggering the emplacement of a tsunamigenic debris avalanche

Contact : jbdechabalier@ipgp.fr

En savoir plus / *Read more*:

- PREST : https://interreg-prest.com
- Rencontres scientifiques OVSM-IPGP-PREST / *OVSM-IPGP-PREST scientific meetings:* https://prest.sciencesconf.org/program
- Sismicité régionale autour d'Haïti / *Regional seismicity around Haiti:* https://ayiti.unice.fr/ayiti-seismes

SAFE-M : soutenir l'apprentissage et les formations sur l'eau à Madagascar

SAFE-M: supporting learning and training on water in Madagascar

Entretien avec François Métivier, professeur à l'IPGP et coordinateur du projet.

Interview with François Métivier, professor at the IPGP and coordinator of the SAFE-M project.

Comment est né ce projet ?

Madagascar présente l'un des taux de pauvreté les plus élevés du monde et un indicateur de développement humain parmi les plus faibles. 80 % de la population vit sous le seuil de pauvreté et n'a pas accès de façon régulière à une eau saine. Plus de la moitié vit sans assainissement. Les récentes crises alimentaires et sanitaires (choléra, diarrhée, famine dans le sud) mettent chaque jour en lumière l'insuffisance d'approvisionnement en eau de qualité. Cette lacune est pour une partie non négligeable liée au manque de personnels qualifiés en prospection, distribution et protection des ressources en eau, ainsi qu'en gestion des risques et des crises qui surviennent à intervalles réguliers.

Le projet SAFE-M est une collaboration d'universitaires français et malgaches visant à renforcer l'enseignement supérieur à Madagascar dans tous les domaines liés à l'EAH (Eau-Assainissement-Hygiène - WASH en anglais), en particulier la formation de techniciens, de chargés d'études et de chefs de projets ayant une expertise pratique (terrain et laboratoire).

How did this project come about?

Madagascar has one of the highest poverty rates in the world and one of the lowest human development indicators. Eighty percent of the population lives below poverty level and does not have regular access to safe water. More than half live without sanitation facilities. Recent food and health crises (cholera, diarrhea, famine in the south) highlight the lack of quality water supply on a daily basis. A significant part of this deficiency is related to the lack of qualified staff in water resources exploration, distribution and protection, as well as in risk and crisis management, which occur at regularly.

The SAFE-M project is a collaboration between French and Malagasy academics aimed at strengthening higher education in Madagascar in all fields related to WASH (Water, Sanitation and Hygiene), in particular the training of technicians, researchers and project managers with practical expertise (field and laboratory).

Formation aux mesures en hydrologie à Antananarivo

Training in hydrology measurements in Antananarivo

Quels sont les enjeux de ce projet ?

L'objectif est de soutenir le développement de compétences en matière de gestion de l'eau dans des formations professionnalisantes de standard international et impliquant des domaines tels que la prospection géophysique/géochimique des ressources et des pollutions, la gestion des ressources en eau, l'hydrogéologie et l'hydrologie, la chimie des eaux, l'assainissement et la gestion des

What are the challenges of this project?

The objective is to support the development of water management skills through professional training courses of international standard in fields such as geophysical/geochemical prospecting of resources and pollution, water resources management, hydrogeology and hydrology, aquatic chemistry, sanitation and waste management, ecology and aquatic microbiology, risk and crisis

déchets, l'écologie et la microbiologie des eaux, la gestion des risques et des crises liées à l'eau (d'origines sociétale, technologique ou naturelle).

Nos actions visent à doter nos collègues malgaches de dispositifs pédagogiques à la fois nécessaires à la formation de professionnels compétents et adaptés au niveau et aux besoins actuels des étudiants, des administrations et des entreprises.

Les dispositifs proposés sont définis à partir d'une analyse des cursus, de propositions d'évolution de ceux-ci et de formation des enseignants, notamment les vacataires, afin d'aider nos collègues à renforcer leurs diplômes. Nous prévoyons aussi, en partenariat avec des ONG et des acteurs privés, de renforcer la présence des professionnels dans les formations autour notamment du renforcement des cas d'études, des projets tutorés et des stages.

management related to water (of societal, technological or natural origin).

Our actions aim to provide our Malagasy colleagues with the educational systems necessary for the training of competent professionals and adapted to the current level and needs of students, administrations and companies.

The proposed systems will be defined on the basis of an analysis of the curricula, proposals for their development and the training of teachers, especially temporary teachers, in order to help our colleagues strengthen their diplomas. We also plan, in partnership with NGOs and private actors, to strengthen the presence of professionals in the training courses, in particular by reinforcing case studies, tutored projects and internships.

Campagne de géolocalisation de puits et points d'eau à Antananarivo.
Geolocation campaign for wells and water points in Antananarivo.

Quelles sont les prochaines étapes ?

En 2022, nous avons livré du matériel de terrain sur place qui permettra aux étudiants de se former aux mesures et observations in situ des ressources en eau. En complément, un accompagnement de nos collègues a débuté pour rechercher des sites appropriés à la mise en place de stages et de suivis au sein des formations.

Nous travaillerons ensuite sur l'analyse chimique et microbiologique des eaux (Madagascar ne compte qu'un seul laboratoire aux normes internationales pour 25 millions de personnes), ainsi que sur des apprentissages techniques essentiels tels que l'analyse de données, l'informatique et les systèmes d'information géographique (SIG).

L'apprentissage de la gestion de crises est également en cours de développement, en collaboration avec la faculté Sociétés et Humanités d'Université Paris Cité. Enfin, nous souhaitons intégrer des professionnels du secteur dans l'offre de formation des universités malgaches, notamment les ONG partenaires du programme.

What are the next steps?

In 2022, we delivered field equipment on site that will help students learn about in situ measurements and observations of water resources. In addition, we have started to help our colleagues find suitable sites for them to develop field surveys and monitoring with their students.

We will then work on the chemical and microbiological analysis of water (Madagascar has only one laboratory that meets international standards for 25 million people), as well as basic technical training such as data analysis, computing and geographic information systems (GIS).

Crisis management training is also being developed in collaboration with the Faculty of "Societies and Humanities" of Université Paris Cité. Finally, we want to integrate professionals from the sector into the curricula of Malagasy universities, particularly those of the program's NGO partners.

Discussions sur les formations en gestion des risques et des crises.
Discussions on risk and crisis management training.

Contact : metivier@ipgp.fr

En savoir plus / *Read more*:
https://morpho.ipgp.fr/safe-m

Enseignement
Teaching

Coup de projecteur dans cette édition 2022 du rapport annuel sur les stages de terrain organisés pour les étudiants en licence et en master, à travers deux exemples illustrant la richesse pédagogique, la diversité et la transdisciplinarité des cursus proposés à l'IPGP.

In this 2022 edition of the Annual Report, we turn the spotlight on the field internships organised for bachelor's and master's students, through two examples that illustrate the educational richness, diversity and transdisciplinarity of the courses offered at the IPGP.

Un stage de licence aussi ibérique qu'éclectique
An Iberian and eclectic undergraduate course

Un stage scientifique était organisé pour les étudiants en deuxième année de licence Terre et Environnement, du 25 juin au 2 juillet 2022, sur l'île espagnole de La Palma. L'objectif de ce voyage était d'étudier la dernière éruption du Cumbre Vieja, le 19 septembre 2021, ayant donné naissance à un nouveau volcan, le Tajogaite.

Le programme, dense et varié, comprenait la visite du centre touristique de la Caldera de Taburiente, de l'observatoire d'astrophysique du Roque de los Muchachos ou encore de l'école agricole de Los Llanos, où les étudiants ont pu assister à des séminaires sur la répartition de la végétation par étage et le développement particulier de la vie et de l'agriculture sur un volcan actif.

Des sorties sur le terrain étaient également prévues, telles qu'une randonnée dans le parc national de la Caldera de Taburiente, où les étudiants ont pu s'apercevoir de l'importance de cette caldera en tant que réservoir d'eau douce de La Palma, dans un contexte insulaire de ressources en eau limitée.

Ils ont aussi eu la chance de pouvoir s'approcher en toute sécurité du Tajogaite, leur faisant prendre conscience de l'ampleur et de la multiplicité des impacts d'une éruption volcanique sur un territoire. Les anciens volcans n'étaient pas en reste, puisque les stagiaires sont aussi allés admirer le Teneguía et le San Antonio, leur permettant d'en apprendre davantage sur les différentes étapes de vie d'un volcan et sur la formation de l'archipel des Canaries.

Enfin, le groupe s'est rendu aux salines traditionnelles de Fuencaliente pour découvrir la manière dont le climat façonne La Palma, notamment du fait des alizés.

A scientific internship was organised for students in the second year of their Earth and Environment bachelor's degree, from 25 June to 2 July 2022, on the Spanish island of La Palma. The aim of the trip was to study the latest eruption of Cumbre Vieja, on 19 September 2021, which gave rise to a new volcano, Tajogaite.

The packed and varied programme included visits to the Caldera de Taburiente tourist centre, the Roque de los Muchachos astrophysics observatory and the Los Llanos agricultural school, where the students attended seminars on the distribution of vegetation by level and the particular development of life and agriculture on an active volcano.

Field trips were also planned, such as a hike in the Caldera de Taburiente national park, where the students were able to appreciate the importance of this caldera as a reservoir of fresh water for La Palma, in an island context of limited water resources.

They were also lucky enough to be able to approach the Tajogaite volcano in complete safety, giving them an idea of the scale and multiple impacts of a volcanic eruption on an area. The ancient volcanoes were not left out, as the trainees also went to admire Teneguía and San Antonio, enabling them to learn more about the different stages in the life of a volcano and the formation of the Canary archipelago.

Finally, the group visited the traditional saltworks of Fuencaliente to discover how the climate shapes La Palma, particularly as a result of the trade winds.

Un stage de master pluridisplinaire au cœur des volcans d'Auvergne
A multi-disciplinary Masters internship in the heart of the Auvergne volcanoes

Un stage de terrain d'une semaine est organisé en Auvergne chaque année à la rentrée pour les étudiants de l'IPGP en première année de master, tous parcours et spécialités confondus. Il leur offre l'opportunité de découvrir de manière transverse diverses disciplines et méthodes de travail, via de l'acquisition et de l'analyse de données en conditions réelles.

Les sites visités sont ainsi appréhendés à travers différentes approches : sédimentologie, tectonique, volcanologie, géophysique (électrique et sismique), minéralogie, géochimie des eaux et géobiologie. L'objectif de ce stage est de faire comprendre aux étudiants que l'étude des objets et processus géologiques peut bénéficier d'une démarche pluridisciplinaire pouvant s'avérer précieuse. C'est également l'occasion de favoriser la cohésion entre les étudiants en début de formation.

A one-week field internship is organised in Auvergne every year at the start of the academic year for IPGP students in their first year of a Master's degree, whatever their course or speciality. It gives them the opportunity to discover various disciplines and working methods in a cross-disciplinary way, by acquiring and analysing data in real conditions.

The visited sites are examined from a variety of angles: sedimentology, tectonics, volcanology, geophysics (electrical and seismic), mineralogy, water geochemistry and geobiology. The aim of this course is to help students understand that the study of geological objects and processes can benefit from a multidisciplinary approach that can be highly valuable. It is also an opportunity to encourage cohesion between students at the start of their course.

Nouvelles thèses
New PhDs

21 nouvelles thèses commencées en 2022

21 new PhDs started in 2022

10 femmes

10 women

11 hommes

11 men

7 doctorants issus du master IPGP

7 PhD candidates from the IPGP Master's degree

14 doctorants hors master IPGP

14 PhD candidates outside IPGP

Thèses soutenues
Defended PhDs

27 thèses soutenues en 2022

27 PhDs defended in 2022

17 femmes

17 women

10 hommes

10 men

6 doctorants étrangers

6 foreign PhD candidates

15 doctorants français

15 French PhD candidates

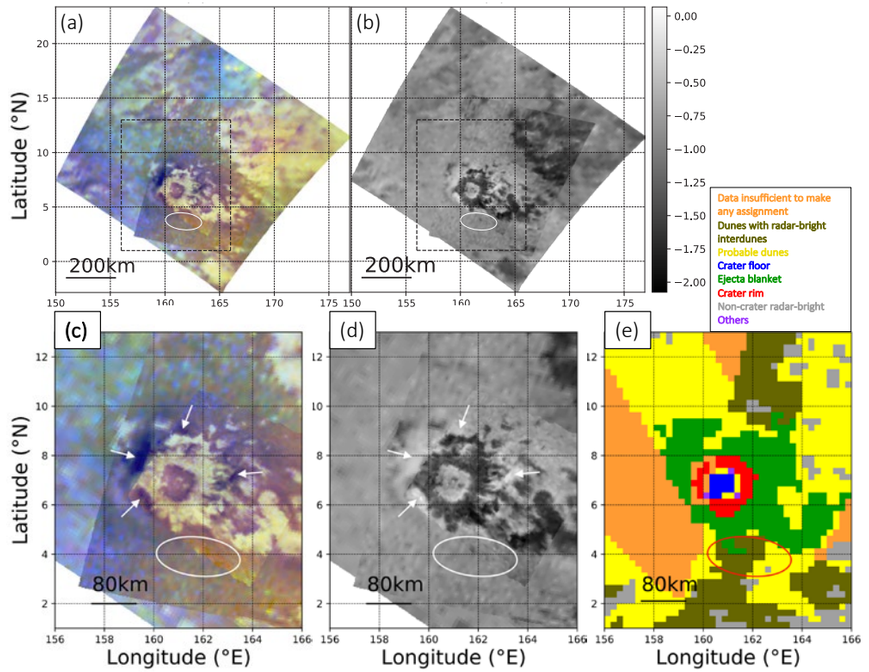
Mael Es-sayeh

Cartographie de la réflectance de la surface de Titan à partir des données VIMS de la sonde Cassini

Mapping of Titan's surface reflectivity from Cassini's VIMS data

La composition de la surface de Titan, satellite naturel de Saturne, est encore très largement méconnue. En apprendre davantage permettrait de comprendre les processus climatiques et géologiques qui font la singularité de Titan au sein de notre système solaire et qui nous semblent si familiers : cycle du méthane analogue au cycle hydrologique terrestre, molécules prébiotiques, nuages, pluies, lacs, mers, réseaux de rivières, champs de dunes, canyons, montagnes… Bien que Titan ait été observé dans sa globalité lors d'une centaine de survols par la sonde Cassini (NASA-ESA-ASI), en orbite autour de Saturne entre 2004 et 2017, son épaisse atmosphère se révèle opaque dans la plupart des longueurs d'onde visibles et infrarouges, là où les signatures spectrales sont autant d'indices de la composition de l'atmosphère et de la surface. En outre, les radiations solaires sont fortement diffusées par ses brumes d'aérosols.

The composition of Titan's surface, a natural satellite of Saturn, is still largely unknown. Learning more about it would help us understand the climatic and geological processes that make Titan so unique in our solar system and that seem so familiar to us: the methane cycle, which is similar to the Earth's hydrological cycle, prebiotic molecules, clouds, rain, lakes, seas, river systems, dune fields, canyons, mountains, etc. Although Titan has been observed on a global scale during a hundred or so flybys by the Cassini spacecraft (NASA-ESA-ASI), which orbited Saturn between 2004 and 2017, its thick atmosphere is opaque in most visible and infrared wavelengths, where spectral signatures are clues to the composition of the atmosphere and the surface. In addition, solar radiation is strongly scattered by its aerosol haze.



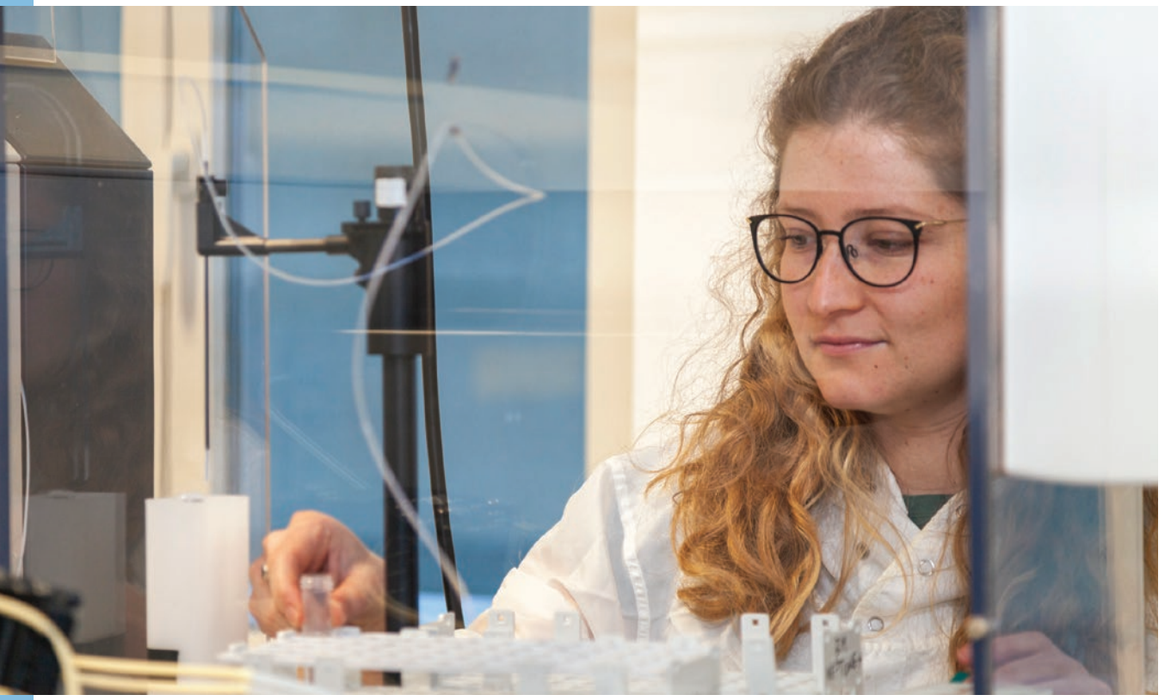
(a) Mosaïque RGB de 4 observations du cratère Selk, avec les rapports d'albédo 1.57/1.28 µm pour le rouge, 2.02/1.28 µm pour le vert et 1.28/1.07 µm pour le bleu. (b) Même mosaïque pour un indice d'enrichissement en glace d'eau. (c) et (d) Zooms sur (a) et (b). (e) Carte de classification de Lorenz et al. 2021. Les flèches blanches désignent les zones ayant l'indice d'enrichissement en glace d'eau le plus élevé. L'ellipse d'atterrissage initiale de Dragonfly est indiquée par l'ovale sur chaque carte (Es-Sayeh et al. en révision).

(a) RGB mosaic of 4 observations of the Selk crater region, with the 1.57/1.28 µm albedo ratio as the red channel, 2.02/1.28 µm as the green channel, and 1.28/1.07 µm as the blue channel. (b) Same mosaic for a water ice enrichment index. (c) and (d) Zooms on (a) and (b). (e) Classification map of the Selk crater region (Lorenz et al. 2021). White arrows designate the areas with the highest water ice enrichment index. The initial landing ellipse of Dragonfly is indicated by the solid oval on each map (Es-Sayeh et al. under review).

Quelques fenêtres infrarouges de transmission atmosphérique permettent toutefois de sonder la surface, lorsque l'absorption par le méthane s'avère suffisamment faible. Cette thèse consiste ainsi à développer un modèle de transfert du rayonnement en vue d'analyser les treize années d'observations de l'instrument VIMS (Visual and Infrared Mapping Spectrometer) qui équipait la sonde Cassini, afin d'extraire la réflectivité de la surface de Titan dans ces fenêtres atmosphériques. Ce modèle, dont la validation sur la zone d'atterrissage de la prochaine mission Dragonfly (NASA) fait l'objet d'un article scientifique, permettra d'analyser massivement les données VIMS, avec l'appui des dernières observations, dans l'infrarouge également, du James Webb Space Telescope (NASA-ESA-CNA), plus sensibles et résolues spectralement que les observations VIMS.

However, a few infrared windows of atmospheric transmission allow the surface to be probed when the absorption by methane is sufficiently low. Thus, this PhD consists in developing a radiative transfer model to analyse the thirteen years of observations from the VIMS (Visual and Infrared Mapping Spectrometer) instrument that equipped the Cassini probe, in order to extract the reflectivity of Titan's surface in these atmospheric windows. This model, whose validation on the landing zone of the next Dragonfly mission (NASA) is the subject of a scientific article, will help to massively analyse the VIMS data, with the support of the latest observations, also in the infrared, from the James Webb Space Telescope (NASA-ESA-CNA), which are more sensitive and spectrally resolved than the VIMS observations.

Doctorant	Maël Es-Sayeh
PhD candidate	*essayeh@ipgp.fr*
Directeur de thèse	Sébastien Rodriguez
PhD supervisor	*rodriguez@ipgp.fr*



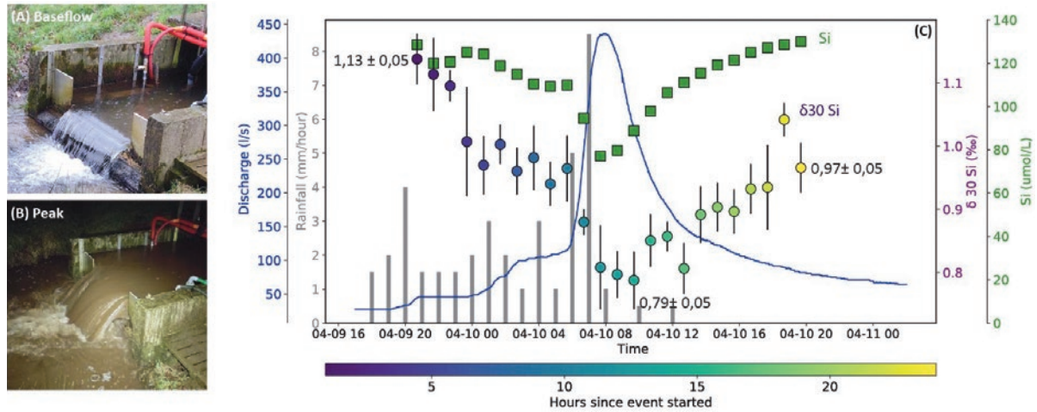
Sofía López Urzúa

Contraintes des traceurs isotopiques sur les relations concentration-débit dans la zone critique

Isotopic tracer constraints on concentration-discharge relations in the Critical Zone

Les rivières sont des intégrateurs des réactions biogéochimiques et des voies d'écoulement des eaux au sein de la zone critique, définie comme la couche externe de notre planète, allant de la végétation jusqu'aux eaux souterraines. Les variations de concentration et de débit dans les rivières ("C-Q") sont des indicateurs utiles de ces processus. Elles s'expliquent par l'activation de nouvelles voies, la libération d'eau ancienne ou encore l'interaction chimique entre des matériaux (roche, sol, matière organique) et une eau "plus jeune". Compte tenu de la complexité de ces systèmes, il est difficile de n'utiliser que les abondances des éléments pour comprendre des changements dans les voies de transport et/ou de réaction. Des traceurs réactifs, tels que les rapports isotopiques ("R"), peuvent donc nous fournir des signatures reflétant les changements dans les voies d'écoulement ou la réactivité en réponse aux événements hydrologiques.

Rivers are integrators of biogeochemical reactions and water flow pathways in the critical zone. It encompasses the external or near-surface Earth extending from the top of the vegetation canopy down to and including the zone of freely circulating fresh groundwater. Concentration-discharge "C-Q" variations in rivers are useful indicators of these processes. They can be explained by the activation of new pathways, the release of old water, or the chemical reaction of materials (rock, soil, organic matter) with "younger" water. However, due to the complexity of these systems, it is difficult to use elemental concentrations alone to solve the problem of changes in transport and/or reaction pathways. Reactive tracers, such as isotope ratios "R" can provide additional fingerprints that reflect changes in flow pathways or reactivity in response to hydrological events.



Photos de la rivière dans le bassin versant de Kervidy-Naizin au niveau du débit de base (A) et au pic lors d'une crue (B). Pendant la crue, la concentration de Si suit une tendance de dilution tandis que les valeurs de δ^{30}Si diminuent sur la montée de crue et s'inversent sur la descente. Les variations de signatures δ^{30}Si pendant la crue indiquent des changements dans les réactions biogéochimiques, favorisant la dissolution des argiles.

Photos of the river in Kervidy-Naizin catchment during a flood at the baseflow (A) and the peak (B). During the flood, Si concentration exhibits a dilution pattern while δ^{30}Si values decrease on the rising limb and reverse on the falling limb. The changing δ^{30}Si signatures during the flood point to changes in biogeochemical reactions, promoting clay dissolution.

L'objectif de cette thèse est de mieux contraindre les relations C-Q-R par l'utilisation combinée de traceurs réactifs et de modèles de distribution des temps de transit dans les rivières. Les sites étudiés sont deux bassins versants de tête : celui de Kervidy-Naizin (ArgHys) en France et le bassin expérimental de Weierbach au Luxembourg. Après avoir échantillonné à haute fréquence quatre événements de crue et mesuré les isotopes du silicium (δ^{30}Si) et les rapports isotopiques du strontium (^{87}Sr/^{86}Sr), nous avons pu identifier les principales réactions d'altération se produisant dans les bassins ainsi que le mélange de réservoirs distinctifs au sein de la zone critique. En complément de la modélisation hydrologique du temps de transit de l'eau, nous serons en mesure de mieux comprendre les moteurs des changements biogéochimiques pendant les événements de crue.

The aim of this PhD is to better constrain the C-Q-R relationships by the combined use of reactive tracers and models of the transit time distributions in rivers. The study sites are two headwater catchments: the Kervidy-Naizin catchment (ArgHys) in France and the experimental catchment of the Weierbach in Luxembourg. After high-frequency sampling of four flood events and the measurement of silicon (δ^{30}Si) and strontium (^{87}Sr/^{86}Sr) isotope ratios, we were able to identify the main weathering reactions occurring in the catchment and the mixing of distinctive pools within the critical zone. Together with hydrological modelling of water transit time, we will be able to better understand the drivers of biogeochemical changes during flood events.

Doctorante PhD candidate	Sofía López Urzúa *lopezurzua@ipgp.fr*
Directeurs de thèse **PhD supervisors**	Louis Derry *derry@ipgp.fr* Jérôme Gaillardet *gaillard@ipgp.fr*

Partenariats et relations internationales
Partnerships and international relationships

Retour sur l'atelier conjoint entre l'IPGP et l'Earthquake Research Institute (ERI) de l'Université de Tokyo

Review of the Joint Workshop between the IPGP and the Earthquake Research Institute (ERI) of the University of Tokyo

Depuis son origine, la collaboration entre l'IPGP et l'ERI a conduit à des avancées significatives dans de nombreux domaines de la géophysique, comme l'a une nouvelle fois montré le septième atelier conjoint entre les deux instituts, qui s'est tenu à Tokyo en septembre 2022. Un certain nombre de conclusions et de recommandations ont été émises :

- Un échange de technologies et de connaissances est préconisé en matière de développement de sismomètres de fond de mer et d'applications de la détection acoustique distribuée (DAS) par fibre optique, technique s'avérant très prometteuse. Des collaborations pourraient ainsi voir le jour dans le cadre du couplage des câbles DAS avec des sismomètres optiques, l'intégration de capteurs DAS dans les infrastructures de télécommunications ou encore l'exploration d'applications gravimétriques et géodésiques.

- Suite à l'utilisation fructueuse de drones par les deux instituts, en particulier à des fins d'observation des volcans, des collaborations sont envisagées pour la surveillance de la croissance des dômes de lave et l'échantillonnage des gaz et des cendres. En outre, la mutualisation de l'expertise et des données dans le domaine de la muographie, ou tomographie muonique, est cruciale pour les futurs projets volcanologiques conjoints. L'IPGP et l'ERI doivent relever ensemble le défi du partage des connaissances techniques à travers l'analyse des big data, le traitement des images et des signaux, ainsi que les techniques d'apprentissage automatique.

- Dans le domaine de la sismologie planétaire, des progrès significatifs ont été réalisés notamment sur Mars, la Lune et Titan, une des lunes de Saturne. Le développement d'une communauté dédiée est essentiel pour l'avenir de cette discipline.

- Les deux instituts projettent également de collaborer au sujet de l'étude des phénomènes sismiques causés par les activités atmosphériques et océaniques, connue sous le nom de sismologie environnementale. Les sujets de recherche sont nombreux, tels que le bruit ambiant, la reconstruction du niveau de la mer à partir de microatolls ou encore l'éruption du volcan Hunga Tonga en 2022 ; les recherches en cours sur la propagation mondiale des ondes atmosphériques, les observations de surface et les tsunamis anormaux générés par cette éruption soulignent l'importance de comprendre les mécanismes des tsunamis.

- Des études comparatives des éruptions océaniques récentes, notamment à Mayotte, Tonga et Nishinoshima, sont proposées pour tirer parti des projets en cours et faciliter le partage des données. L'étude de la relation entre l'activité tectonique, la sismicité et le comportement volcanique, avec des études de cas du volcan Kirishima, est préconisée. Ces recherches permettront notamment de comparer les caractéristiques des cristaux des volcans voisins afin de vérifier l'existence de systèmes de plomberie communs en profondeur. L'utilisation de la technique magnétotellurique (MT) de l'ERI dans la zone d'étude de l'IPGP, en particulier à la Soufrière de Guadeloupe et à la Montagne Pelée, pourrait conduire à des avancées significatives dans la compréhension des processus volcaniques.

- A l'image de certains projets communs aux résultats prometteurs, tels que le Pacific Array et la théorie de l'anisotropie, d'autres projets sont envisagés afin de poursuivre l'échange d'informations et l'utilisation des données existantes : la promotion de l'utilisation des données, l'imagerie de la plaque Caroline, l'étude d'images dynamiques globales plus vastes, l'imagerie de la résistivité du volcan de Mayotte, les modèles de circulation globale ou encore les mécanismes de rupture des roches.

Since its inception, the collaboration between the IPGP and the ERI has led to significant advances in various fields of geophysics, as demonstrated once again during the seventh joint workshop between the two institutes, held in Tokyo in September 2022. Several conclusions and recommendations were drawn:

- An exchange of technologies and knowledge is recommended for the development of seafloor seismometers and applications of distributed acoustic sensing (DAS) using optical fibres, a promising technique. Collaborations could be established to couple DAS cables with optical seismometers, to integrate DAS sensors into telecommunication infrastructures, or to explore gravimetric and geodetic applications.

- Following the successful use of drones by both institutes, particularly for volcano observation, collaborations are envisaged for monitoring lava dome growth and sampling gases and ash. In addition, sharing expertise and data in the field of muography, or muon tomography, is crucial for future joint volcanic projects. The IPGP and the ERI must address the challenge of sharing technical knowledge through big data analysis, image and signal processing, and machine learning techniques.

- Significant progress has been made in the field of planetary seismology, particularly on Mars, the Moon and Titan, one of Saturn's moons. The development of a dedicated community is essential for the future of this discipline.

- The two institutes also plan to collaborate on the study of seismic phenomena caused by atmospheric and oceanic activities, known as environmental seismology. Numerous research topics include environmental noise, sea level reconstruction using micro-atolls, and the 2022 eruption of Hunga Tonga; ongoing research on the global propagation of atmospheric waves, surface observations, and abnormal tsunamis generated by this eruption underscore the importance of understanding tsunami mechanisms.

- Comparative studies of recent oceanic eruptions, in particular Mayotte, Tonga and Nishinoshima, are proposed to take advantage of ongoing projects and facilitate data sharing. The study of the relationship between tectonic activity, seismicity and volcanic behaviour is recommended, with case studies from Kirishima volcano. These studies will allow comparison of crystal characteristics between neighbouring volcanoes to verify the existence of common plumbing systems in depth. The use of ERI's magnetotelluric (MT) technique in the IPGP study area, particularly at the Soufrière of Guadeloupe and Mount Pelée, could lead to significant advances in the understanding of volcanic processes.

- Just as certain joint projects have shown promising results, such as the Pacific Array and the theory of anisotropy, other projects are being considered to continue the exchange of information and the use of existing data: promotion of data use, imaging of the Caroline Plate, study of larger global dynamic images, imaging of the resistivity of the Mayotte volcano, global circulation models and rock rupture mechanisms.

Visite guidée du "musée" de l'Earthquake Research Institute à Tokyo, avec la présentation de plusieurs sismomètres d'avant-guerre toujours fonctionnels.
Guided tour of the Earthquake Research Institute "museum" in Tokyo, with a demonstration of several pre-war seismometers that are still operational.

Retour sur la journée scientifique CEA-IPGP
Review of the CEA-IPGP Scientific Day

Suite à la réorganisation interne de l'IPGP initiée en 2018, centrée autour de la création de quatre thèmes de recherche transversaux (Intérieurs de la Terre et des planètes, Risques naturels, Système Terre et Origines), un accord-cadre historique entre le CEA et l'IPGP avait été signé. Cette collaboration a été redynamisée en 2022 avec la mise en place d'un comité directeur, qui a réétudié la liste des axes prioritaires précédemment identifiés pour la période quadriennale 2020-2024 ainsi que celle des projets envisagés. Bien que nombreuses, ces orientations stratégiques restent d'actualité dans leur grande majorité. Le bilan des travaux de ces quatre dernières années a mis en évidence la publication de plus de cent articles co-signés par les chercheurs des deux établissements.

Une journée scientifique CEA-IPGP, organisée en juin 2022, a permis de faire le point sur les projets en cours et d'envisager de nouvelles collaborations. Ainsi, des exposés traitant de sujets allant de l'importance des reconstructions paléogéographiques pour les simulations numériques des climats anciens à l'étude de signatures sismo-acoustiques du bruit ambiant d'origine océanique en Asie centrale, en passant par les expériences DAS à l'IPGP et au CEA, ont été présentés. Dans un second temps, les collaborations fructueuses entre les deux établissements ont été abordées, à travers des projets prometteurs tels que la télédétection hyper-spectrale de l'environnement, les séismes anciens le long des grandes failles continentales, le magnétisme spatial, ou encore le devenir des radionucléides dans l'environnement. Un second colloque se tiendra en 2023, sur le site du CEA de Bruyères le Châtel.

Following the internal reorganisation of the IPGP initiated in 2018, centred on the creation of four transversal research themes (Earth and planetary interiors, Natural hazards, Earth system science and Origins), a historic framework agreement was signed between the CEA and the IPGP. This collaboration was revitalised in 2022 with the creation of a Steering Committee which re-examined the list of priority axes previously identified for the four-year period 2020-2024, as well as the list of planned projects. Although these strategic guidelines are numerous, most of them remain relevant. The evaluation of the work carried out over the last four years highlighted the publication of more than one hundred articles co-authored by researchers from both institutions.

A CEA-IPGP Scientific Day, organised in June 2022, provided an opportunity to review ongoing projects and consider new collaborations. Presentations covered a wide range of topics, from the importance of paleogeographic reconstructions for numerical simulations of ancient climates, to the study of sismo-acoustic signatures of environmental noise of oceanic origin in Central Asia, to DAS experiments at the IPGP and the CEA. Fruitful collaborations between the two institutions were then discussed, including promising projects such as hyperspectral remote sensing of the environment, ancient earthquakes along major continental faults, spatial magnetism and the fate of radionuclides in the environment. A second colloquium will be held in 2023 at the CEA site in Bruyères le Châtel.

Journée scientifique CEA-IPGP organisée à l'IPGP le 27 juin 2022
CEA-IPGP Scientific Day organised at the IPGP on the 27th of June 2022

Chercheurs invités en 2022
Visiting researchers in 2022

Invité Guest	**Affiliation** Affiliation	**Invitant** Host	**Équipe** Team
William Bruce BANERDT	*Jet Propulsion Laboratory, Etats-Unis*	**Philippe LOGNONNE**	Planétologie et sciences spatiales / Planetology and Space Sciences
Delia BRAUER	*Iena University, Allemagne*	**Daniel NEUVILLE**	Géomatériaux / Geomaterials
Daniele CARBONE	*INGV, Italie*	**Michel DIAMENT**	Géodésie / Geodesy
Jon CHOROVER	*Arizona University, Etats-Unis*	**Lou DERRY**	Géochimie des enveloppes externes / External Envelopes Geochemistry
James DAY	*UC Santa Cruz, Etats-Unis*	**Frédéric MOYNIER**	Cosmochimie, astrophysique et géophysique expérimentale / Cosmochemistry, Astrophysics and Experimental Geophysics
Julia DIAZ	*UC San Diego, Etats-Unis*	**Alexandre GELABERT**	Géomicrobiologie / Geomicrobiology
Ben HOLTZMAN	*Lamont-Doherty Earth Observatory, Etats-Unis*	**Kristel CHANARD**	Géodésie / Geodesy
Heiner IGEL	*Ludwig-Maximilians-Universität München, Allemagne*	**Jean-Paul MONTAGNER**	Sismologie / Sismology
Rohan JAIN	*Indian Institute of Technology, Inde*	**Eric VAN HULLEBUSCH**	Biogéochimie à l'anthropocène des élements et contaminants émergents / Biogeochemistry at the Antropocene of Elements and Emerging Contaminants
Sajeev KRISHNAN	*Center for Earth Sciences, Indian Institute of Science, Inde*	**Yann SIVRY**	Biogéochimie à l'anthropocène des élements et contaminants émergents / Biogeochemistry at the Antropocene of Elements and Emerging Contaminants
Thomas LECOCQ	*Royal Observatory of Belgium, Belgique*	**Valérie FERRAZZINI**	Systèmes volcaniques / Volcanic Systems
Sudhan Singh MAHAT	*Sanjen Jalavidhuyt Company Limited, Nepal*	**Frédéric GIRAULT**	Physique des sites naturels / Physics of natural sites
Nadia MALASPINA	*Università degli Studi di Milano-Bicocca, Italie*	**Baptiste DEBRET**	Géomicrobiologie / Geomicrobiology
Jerome A. NEUFELD	*University of Cambridge, Royaume-Uni*	**Olivier DEVAUCHELLE**	Dynamique des fluides géologiques / Geological Fluid Dynamics
Nicholas PEDATELLA	*High Altitude Observatory, National Center for Atmospheric Research, Etats-Unis*	**Elvira ASTAFYEVA**	Planétologie et sciences spatiales / Planetology and Space Sciences
Martin SCHIMMEL	*CSIC, Espagne*	**Eléonore STUTZMANN**	Sismologie / Sismology
Mark TORRES	*Rice University, Etats-Unis*	**Jotis BARONAS**	Géochimie des enveloppes externes / External Envelopes Geochemistry
Jeroen TROMP	*University of Princeton, Etats-Unis*	**Satish SINGH**	Géosciences marines / Marine Geosciences
Bishal Nath UPRETI	*Nepal Academy of Science and Technology, Nepal*	**Frédéric GIRAULT**	Physique des sites naturels / Physics of natural sites
Jeff VERVOORT	*Washington State University, Etats-Unis*	**Catherine CHAUVEL**	Cosmochimie, astrophysique et géophysique expérimentale / Cosmochemistry, Astrophysics and Experimental Geophysics

Observatoires, thèmes, plateformes et équipes de recherche
Observatories, themes, platforms and research teams

Au 1er septembre 2022 / On 1st of September 2022

Observatoires
Observatories

Observatoires volcanologiques et sismologiques
Jean-Christophe KOMOROWSKI, Responsable scientifique
Jean-Marie SAUREL, Responsable opérationnel

Volcanological and Seismological Observatories
Jean-Christophe KOMOROWSKI, Scientific Manager
Jean-Marie SAUREL, Operational Manager

OVSM : Observatoire volcanologique et sismologique de Martinique
Fabrice R. FONTAINE

Volcanological and Seismological Observatory of Martinique
Fabrice R. FONTAINE

OVSG : Observatoire volcanologique et sismologique de Guadeloupe
Ivan VLASTELIC

Volcanological and Seismological Observatory of Guadeloupe
Ivan VLASTELIC

OVPF : Observatoire volcanologique du Piton de la Fournaise
Aline PELTIER

Volcanological Observatory of Piton de la Fournaise
Aline PELTIER

Observatoires magnétiques
Vincent LESUR

Magnetic Observatories
Vincent LESUR

Observatoire GEOSCOPE
Martin VALLÉE, Responsable scientifique
Nicolas LEROY, Responsable technique

GEOSCOPE Observatory
Martin VALLÉE, Scientific Manager
Nicolas LEROY, Technical Manager

OBSERA : Observatoire de l'eau et de l'érosion aux Antilles
Éric LAJEUNESSE

Observatory of Water and Erosion in the Caribbean
Éric LAJEUNESSE

Centre de données IPGP
Claudio SATRIANO, Reponsable scientifique
Constanza PARDO, Responsable technique

IPGP Data Center
Claudio SATRIANO, Scientific Manager
Constanza PARDO, Technical Manager

Observatoire InSight
Philippe LOGNONNÉ

InSight Observatory
Philippe LOGNONNÉ

Thèmes
Themes

Intérieurs de la Terre et des planètes
Cécile PRIGENT
James BADRO

Earth and Planetary Interiors
Cécile PRIGENT
James BADRO

Risques naturels
Martine SIMOES
François BEAUDUCEL

Natural Hazards
Martine SIMOES
François BEAUDUCEL

Système Terre
Stéphane JACQUEMOUD
Julien BOUCHEZ

Earth System Science
Stéphane JACQUEMOUD
Julien BOUCHEZ

Origines
Bénédicte MÉNEZ
Frédéric MOYNIER

Origins
Bénédicte MÉNEZ
Frédéric MOYNIER

Plateformes et services communs
Platforms and shared services

Plateau d'analyse haute résolution (PARI)
Catherine CHAUVEL, Responsable scientifique
Mickaël THARAUD, Responsable technique

High-Resolution Analysis Platform
Catherine CHAUVEL, Scientific Manager
Mickaël THARAUD, Technical Manager

Service de calcul parallèle et de traitement de données en sciences de la Terre (S-CAPAD)
Alexandre FOURNIER, Responsable scientifique
Geneviève MOGUILNY, Responsable technique

Parallel Computing and Data Analysis Platform for Earth Science
Alexandre FOURNIER, Scientific Manager
Geneviève MOGUILNY, Technical Manager

Lithothèque marine
Cécile PRIGENT, Responsable scientifique

Marine Rock Repository
Cécile PRIGENT, Scientific Manager

Pôle drones
Sébastien BONAIMÉ

Drones Unit
Sébastien BONAIMÉ

Service mutualisé de virtualisation
Michel LE COCQ

Shared virtualisation service
Michel LE COCQ

Infrastructures nationales hébergées
National hosted infrastructures

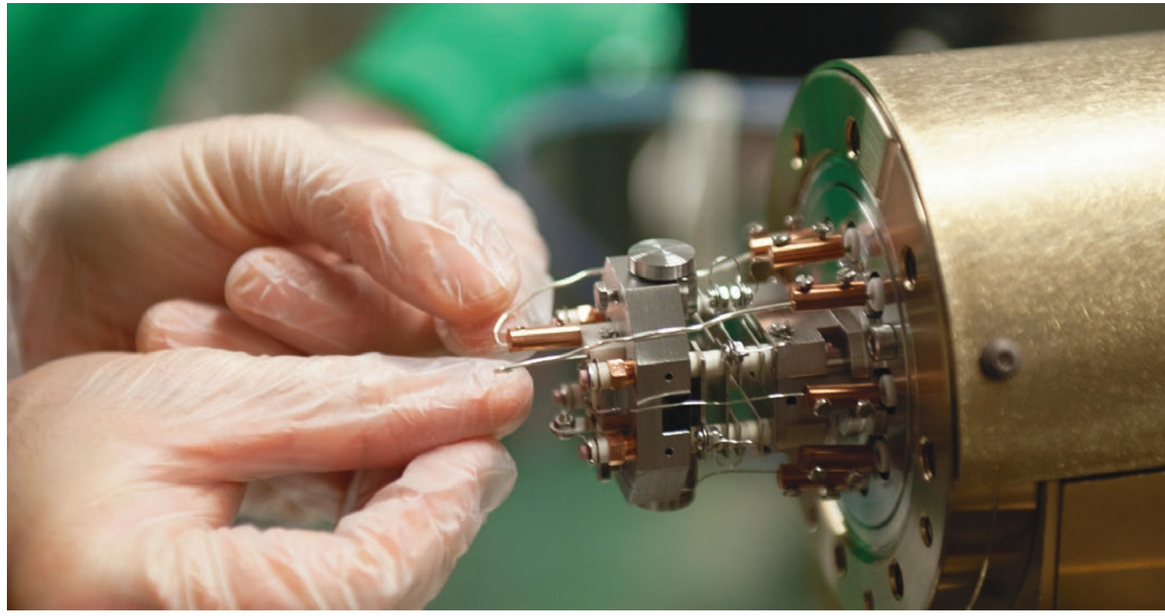
- **Parc de sismomètres "fond de mer" INSU-IPGP**
  Wayne CRAWFORD, Responsable scientifique
  Romuald DANIEL, Responsable technique
- **Centre de coordination et de diffusion de ForM@Ter**
  Raphaël GRANDIN
- **OZCAR (Observatoires de la zone critique, applications et recherche)**
  Jérôme GAILLARDET
- **REVOSIMA : Réseau de surveillance volcanologique et sismologique de Mayotte**
  Aline PELTIER

- INSU-IPGP Ocean-Bottom Seismometers (OBS)
  Wayne CRAWFORD, Scientific Manager
  Romuald DANIEL, Technical Manager
- Center of Coordination and Distribution of ForM@Ter
  Raphaël GRANDIN
- OZCAR (Critical Zone Observatories, Applications and Research)
  Jérôme GAILLARDET
- Volcanological and seismological monitoring network of Mayotte
  Aline PELTIER

Équipes
Teams

- **Biogéochimie environnementale**
  Rémi LOSNO
- **Biogéochimie à l'Anthropocène des éléments et contaminants émergents**
  Yann SIVRY
- **Cosmochimie, astrophysique et géophysique expérimentale**
  Julien SIEBERT
- **Dynamique des fluides géologiques**
  Olivier DEVAUCHELLE
- **Géochimie des enveloppes externes**
  Jérôme GAILLARDET
- **Géochimie des isotopes stables**
  Magali ADER
- **Géomagnétisme**
  Thomas GASTINE

- Environmental Biogeochemistry
  Rémi LOSNO
- Biogeochemistry at the Antropocene of Elements and Emerging Contaminants
  Yann SIVRY
- Cosmochemistry, Astrophysics and Experimental Geophysics
  Julien SIEBERT
- Geological Fluid Dynamics
  Olivier DEVAUCHELLE
- External Envelopes Geochemistry
  Jérôme GAILLARDET
- Stable Isotope Geochemistry
  Magali ADER
- Geomagnetism
  Thomas GASTINE



- **Géomatériaux**
  Daniel NEUVILLE
- **Géomicrobiologie**
  Alexandre GÉLABERT
- **Géosciences marines**
  Nathalie FEUILLET
- **Géodésie**
  Isabelle PANET
- **Paléomagnétisme**
  Frédéric FLUTEAU
- **Physique des sites naturels**
  Frédéric GIRAULT
- **Planétologie et sciences spatiales**
  Cécile FERRARI
- **Sismologie**
  Jean-Philippe METAXIAN
- **Systèmes volcaniques**
  Fidel COSTA
- **Tectonique et mécanique de la lithosphère**
  Yann KLINGER

- Geomaterials
  Daniel NEUVILLE
- Geomicrobiology
  Alexandre GÉLABERT
- Marine Geosciences
  Nathalie FEUILLET
- Geodesy
  Isabelle PANET
- Paleomagnetism
  Frédéric FLUTEAU
- Physics of Natural Sites
  Frédéric GIRAULT
- Planetology and Space Sciences
  Cécile FERRARI
- Seismology
  Jean-Philippe METAXIAN
- Volcanic Systems
  Fidel COSTA
- Lithosphere Tectonics and Mechanics
  Yann KLINGER

Direction, instances et référents
Management, bodies and officers

L'équipe de direction de l'IPGP se compose du directeur de l'établissement (Marc Chaussidon), du directeur général des services (Antoine Charlot), du directeur adjoint chargé de la recherche et du spatial (Gauthier Hulot), de la directrice adjointe chargée des observatoires (Anne Le Friant), de la directrice adjointe chargée de l'enseignement (Marianne Greff), du directeur adjoint chargé des relations industrielles et internationales (Marc Benedetti) et du directeur adjoint chargé de l'instrumentation (Arnaud Lemarchand).

Le dispositif de pilotage de l'institut s'appuie notamment sur trois instances : un conseil d'administration qui est garant de la politique générale et de la stratégie de l'établissement et vote le budget, un conseil scientifique, qui pilote la politique de recherche et un conseil pédagogique, qui pilote la politique de formation. On compte également trois autres instances : le comité technique, la commission paritaire d'établissement et le comité d'hygiène, sécurité et conditions de travail.

Certains personnels sont nommés par la direction pour remplir des missions particulières d'intérêt général :
- Référent déontologue et lanceur d'alerte : **François Métivier**
- Référente Services publics + : **Marianne Greff**
- Référente intégrité scientifique : **Julie Carlut**
- Fonctionnaire sécurité défense : **Antoine Charlot**
- Référente égalités : **Marie Boyé**

The IPGP's management team includes its director (Marc Chaussidon), the general director of services (Antoine Charlot), the deputy director for research and space activities (Gauthier Hulot), the deputy director for observatories (Anne Le Friant), the deputy director for teaching (Marianne Greff), the deputy director for industrial and international relations (Marc Benedetti) and the deputy director in charge of intrumentation (Arnaud Lemarchand).

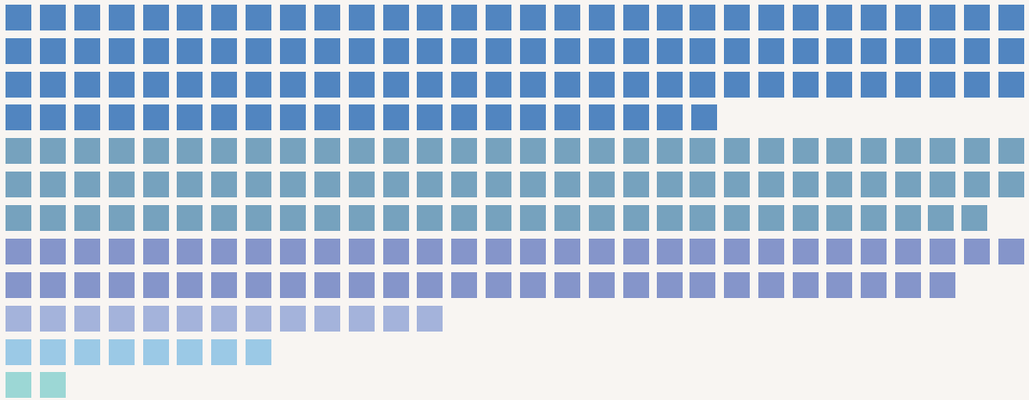
The Institute's steering system relies in particular on three bodies: a board of directors who is responsible for the general policy and strategy of the institution and votes the budget, a scientific council, which directs the research policy and a pedagogical council, which directs the teaching policy. Three other bodies exist: the technical committee, the joint committee of establishment and the safety and health council.

Some staff are appointed by management to carry out specific tasks of general interest:
- Ethics officer and whistleblower: **François Métivier**
- "Public services +" officer: **Marianne Greff**
- Scientific integrity officer: **Julie Carlut**
- Defence security officer: **Antoine Charlot**
- Equality officer: **Marie Boyé**

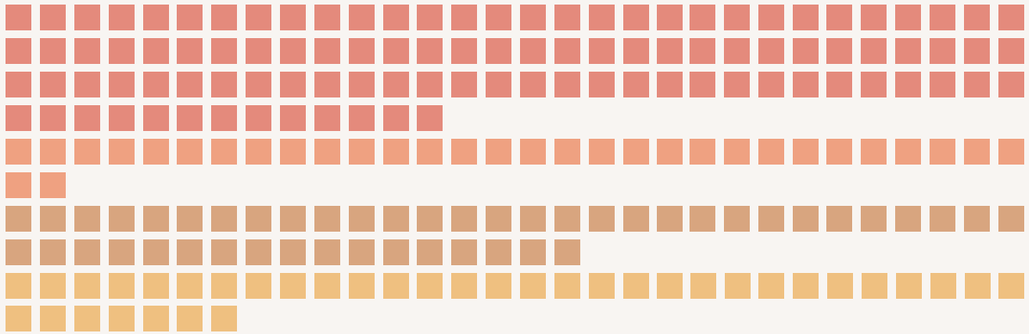
Effectifs
Staff

500 personnels en 2022
staff in 2022

281 permanents
permanent staff



219 non permanents
non-permanent staff



111 personnels IPGP IPGP staff
- **1** directeur director
- **1** directeur général des services general director of services
- **8** professeurs professors
- **4** maîtres de conférences senior lecturers
- **14** physiciens CNAP CNAP senior physicists
- **20** physiciens-adjoints CNAP CNAP physicists
- **63** IATSS engineers, technicians, administrative staff

89 personnels CNRS CNRS staff
- **19** directeurs de recherche senior researchers
- **21** chargés de recherche researchers
- **49** ITA engineers, technicians, administrative staff

58 personnels Université Paris Cité Université Paris Cité staff
- **19** professeurs professors
- **27** maîtres de conférences senior lecturers
- **12** IATSS engineers, technicians, administrative staff

13 personnels IGN IGN staff
- **3** directeurs de recherche senior researchers
- **3** chargés de recherche researchers
- **1** assimilé directeur de recherche assimilated senior researcher
- **3** assimilés chargés de recherche assimilated researchers
- **2** enseignants-chercheurs professors
- **1** ingénieur engineer

8 personnels Université de la Réunion University of Reunion Island staff
- **2** professeurs professors
- **4** maîtres de conférences senior lecturers
- **2** IATSS engineers, technicians, administrative staff

2 personnels Collectivité territoriale de Martinique Territorial collectivity of Martinique
- **2** IATSS engineers, technicians, administrative staff

103 doctorants PhD candidates

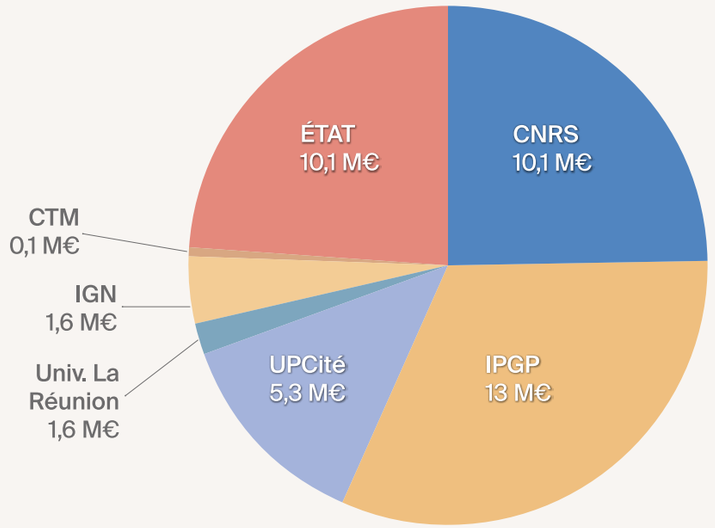
32 post-doctorants post-doctoral fellows

47 IATSS engineers, technicians, administrative staff
- **42** personnels IPGP IPGP staff
- **5** personnel Université Paris Cité Université Paris Cité staff

37 ITA engineers, technicians, administrative staff
- **15** personnels CNRS CNRS staff
- **22** personnels hébergés Hosted staff

Budget
Budget

41 millions d'euros (M€)



Apport des partenaires :
- 1,8 M€ en crédits budgétaires
- 26,3 M€ en nature (291 personnels ETP)

Rapport annuel Annual report	Institut de physique du globe de Paris 1, rue Jussieu 75238 Paris Cedex *www.ipgp.fr*
Conception et réalisation Design and production	Service communication *communication@ipgp.fr*
Mise en page Layout	David Kamioner
Rédaction Drafting	Personnels de l'IPGP et service communication. *IPGP staff and communication department.*
Impression Print	Imprimerie Magenta Color, labellisée PEFC (papier eco-responsable). *Magenta Color Printing, labelled PEFC (eco-responsible paper).*
Photos et illustrations Photos and illustrations	Photothèque IPGP (photos et figures) sauf : Stéphane Félicité - Pariscience (p. 9), Université Paris Cité (p. 12), NASA (p. 12, p. 93), Z. Altamimi (p. 14-15), Adobe Stock (p. 16, p. 38, p. 64), Pexels (p. 19, p. 21), IODP Expedition (p. 40), Interreg Prest-IPGP-CNRS-La Rochelle Université (p. 70), Banerdt et al. (modifié - p. 93), Park et al. (modifié - p. 97), Vallée et al. (modifié - p. 97), Calais et al. (p. 99), Michaud-Dubuy et al. (p. 103), Poulain et al. (p. 103), Es-Sayeh et al. (p. 115), Unsplash (p. 46, p. 53, p. 118).
MERCI THANK YOU	La direction et le service communication de l'IPGP remercient chaleureusement les chercheurs, enseignants-chercheurs, doctorants, ingénieurs, techniciens et personnels administratifs ayant participé à ce numéro. *The IPGP's management team and communication department would like to warmly thank the researchers, professors, PhD candidates, engineers, technicians and administrative staff who participated in this issue.*

Deux nouveaux parcours de licence à l'IPGP Université Paris Cité à la rentrée 2023-2024

Two new Bachelor's degree courses at the IPGP-Université Paris Cité at the start of the 2023-2024 academic year

Politiques de la Terre avec / Politics of the Earth with

SciencesPo

CPES Environnement et Énergies nouvelles (2E) avec
CPES Environment and New Energies (2E) with

Janson de Sailly

L'IPGP-UPC ouvre deux parcours innovants et pluridisciplinaires en L3, conçus pour aborder les enjeux environnementaux et sociétaux auxquels nous faisons face et pour former les scientifiques de demain, prêts à proposer des actions concrètes qui façonneront un avenir durable.

Deux parcours en double formation, venant clôturer des cursus en sciences de la Terre pointus et exigeants :
- PoTerre, en partenariat avec Sciences Po, qui relie les géosciences et les sciences humaines et sociales
- CPES Environnement et Énergies nouvelles, en partenariat avec le lycée Janson de Sailly, qui conjugue la rigueur de la classe préparatoire et l'ouverture de l'université

The IPGP-UPC is opening two innovative, multidisciplinary courses in L3, designed to tackle the environmental and societal challenges we face and to train the scientists of tomorrow, ready to propose concrete actions that will shape a sustainable future.

Two dual-training courses, at the end of highly specialised and rigorous Earth science curricula:
- PoTerre, in partnership with Sciences Po, which links the geosciences with the humanities and social sciences
- CPES Environment and New Energies, in partnership with the Janson de Sailly high school, which combines the rigour of a preparatory class with the openness of a university.

https://cpes-jansonpariscite.u-paris-sciences.fr/parcours-2e