

Un observatoire sous-marin connecté au large de Terre-de-Bas pour déchiffrer l'activité sismique de la zone des Saintes (Guadeloupe)

Après un an et demi d'enregistrement de la sismicité dans la zone des Saintes, le sismomètre fond de mer installé en juin 2021 confirme la réussite des recherches et développements sur les capteurs optiques en bout de fibre réalisées par l'IPGP et l'ESEO, dans le cadre du projet Interreg PREST, pour surveiller en temps réel l'activité sismique au plus près des failles. Du 3 au 13 décembre 2022, ce sont deux nouveaux capteurs développés par l'ENS et l'IPGP, un inclinomètre et un pressiomètre optiques qui vont mesurer respectivement la déformation du fond marin et la pression hydrostatique, pour compléter la surveillance en temps réel de la zone sismique des Saintes. Ce démonstrateur technologique ouvre des perspectives entousiasmantes pour l'instrumentation géophysique sous-marine dans le monde.

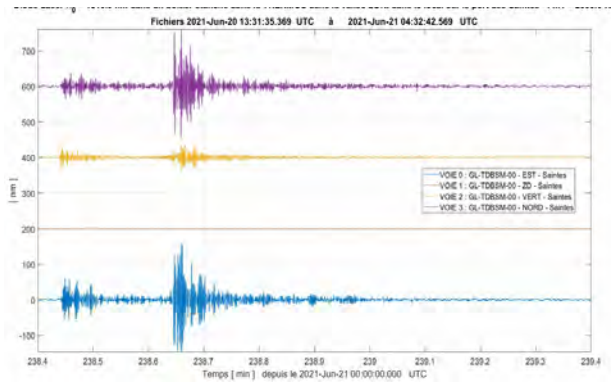


L'amélioration de la connaissance des aléas sismique, volcanique et tsunami qui menacent la Caraïbe nécessite de développer des réseaux de mesures en fond de mer, afin de s'approcher des sources (failles, volcans, mouvements de terrains), souvent immergées au large des îles. Depuis des années, l'observation des fonds océaniques repose sur une instrumentation s'appuyant sur des navires de surface et fonctionnant pendant de courtes durées (quelques semaines à quelques mois). Ces observations ne suffisent plus. Pour comprendre les phénomènes géophysiques et élaborer des modèles, il faut disposer de surveillance sous-marine en continu.

Dans le cadre du programme Interreg V Caraïbe, le projet PREST piloté par l'Observatoire volcanologique et sismologique de Martinique de l'Institut de physique du globe de Paris (OVSM-IPGP) a relevé un défi audacieux : développer une série de trois prototypes de capteurs innovants en bout de fibre optique, et les faire fonctionner dans des conditions de surveillance opérationnelle en temps réel, dans l'observatoire sous marin expérimental des Saintes (Guadeloupe), localisé à 5 kilomètres de distance au sud de l'île de Terre de Bas et 43 m de profondeur.

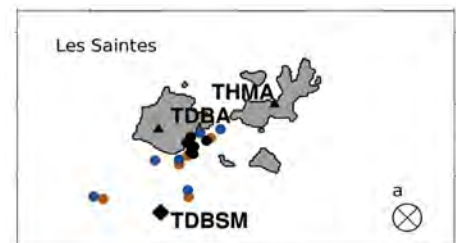
La campagne FIBROSAINTES de juin 2021 : déjà 18 mois de données pour comprendre la sismicité des Saintes

En juin 2021, la première campagne océanographique FIBROSAINTES permet aux équipes du projet PREST d'implanter le premier sismomètre à mesures optiques sous-marin et de déployer le câble optique qui le relie à l'office du tourisme du port de l'Anse des Mûriers (Terre de Bas). Là, un interrogateur laser mesure à distance les mouvements du sismomètre avec une grande précision, et la centrale d'acquisition transmet ses données en temps réel aux observatoires volcanologiques et sismologiques de Guadeloupe et de Martinique, pour surveiller la zone active des Saintes.



Campagne FIBROSAINTES de juin 2021. En haut, mise à l'eau des touques de protection. En bas à gauche, le sismomètre optique au fond de l'eau avant enfouissement et à droite un sismogramme.

Cette zone, fortement touchée par un séisme destructeur de magnitude 6.4 en 2004, reste toujours affectée par des tremblements de terre, de plus faible magnitude. Proche des sources, le nouveau sismomètre permet de localiser plus précisément les événements et montre l'activation de failles vers 5 km de profondeur, sous la bordure sud de Terre-de-Bas. Le caractère répétitif des petits séismes enregistrés suggère l'occurrence de glissements lents sur ces failles.



Relocalisation des tremblements de terre grâce au sismomètre fond de mer et aux stations terrestres

La campagne FIBROSAINTES 2 de décembre 2022 : deux nouveaux capteurs

En décembre 2022, ce sont deux prototypes de capteurs optiques sous-marins, totalement innovants, construits à l'ENS, qui vont compléter le dispositif de surveillance, en étant connectés aux l'extrémités de fibres laissées libres dans le câble sous-marin, à côté du sismomètre. Le premier est un inclinomètre hydrostatique qui permettra de suivre avec grande précision et en temps réel les variations d'inclinaison du sol liées à l'activité des failles. Le second est un pressiomètre mesurant les variations de hauteur d'eau liées à l'activité marine ainsi qu'aux mouvements du fond associés à l'activité des failles proches. Sous la direction scientifique de Pascal BERNARD, physicien à



l'IPGP et responsable de cet axe dans PREST, Guy PLANTIER, directeur de recherche à l'ESEO et son équipe ont conçu et développé le sismomètre et l'interrogateur optoélectronique, tandis que Frédéric BOUDIN ingénieur de recherche à l'ENS a élaboré l'inclinomètre et le pressiomètre. Ces résultats sont l'aboutissement de plusieurs années de recherche et développement sur les capteurs optiques en bout de fibre.

Pressiomètre optique en phase de test

Cette technologie permet de s'affranchir de nombreux problèmes liés au déploiement habituel d'électronique et d'énergie en fond de mer ou dans d'autres environnements hostiles (zone volcanique fumerollienne, forages géothermiques, lieu contaminé...). Ici, dans la zone d'intérêt, des capteurs purement mécaniques, donc moins fragiles, sont reliés par câble optique à un point de mesure sûr, permettant la transmission en temps réel des données. La qualification, dans le cadre de PREST, de ces instruments en milieu marin et de leur déploiement lors de la campagne océanographique va permettre de lancer le montage de projets plus ambitieux avec des câbles plus longs, 50 à 100 km, pouvant atteindre les zones sources des grands séismes de la subduction antillaise, au large de la Guadeloupe et de la Martinique, et donc d'en cerner enfin l'activité continue de déformation préparant les prochains grands séismes.

Une fois qualifiés en mer, ces instruments, pourront intéresser d'autres observatoires sous-marins dans le monde. Déjà, le sismomètre et le pressiomètre optiques sont retenus pour intégrer le futur réseau câblé de surveillance fond-de-mer de Mayotte, destiné à suivre en temps réel l'activité sismo-volcanique au large de cette île (projet MARMOR). L'installation des Saintes réalisée par le projet Interreg PREST est donc une expérience pilote fondamentale pour cette intégration.



Déroulé de la campagne océanographique FIBROSAINTES 2

La campagne océanographique FIBROSAINTES 2, dirigée par Yann HELLO, ingénieur de recherche IRD à GéoAzur (Université Côte d'Azur) se déroule du 3 au 13 décembre 2022, à l'aide du navire ANAO opéré par la société AMAYA basée à Saint-François (Guadeloupe) et assisté par un zodiac pour la sécurité des plongeurs.



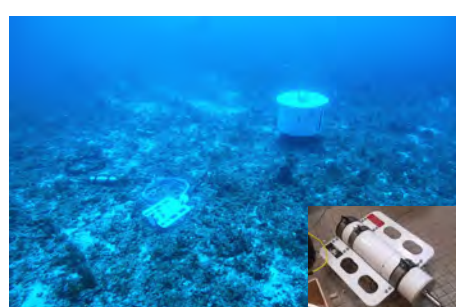
Zone de Mesures



Atterrissage



Jonctions



Capteurs optiques

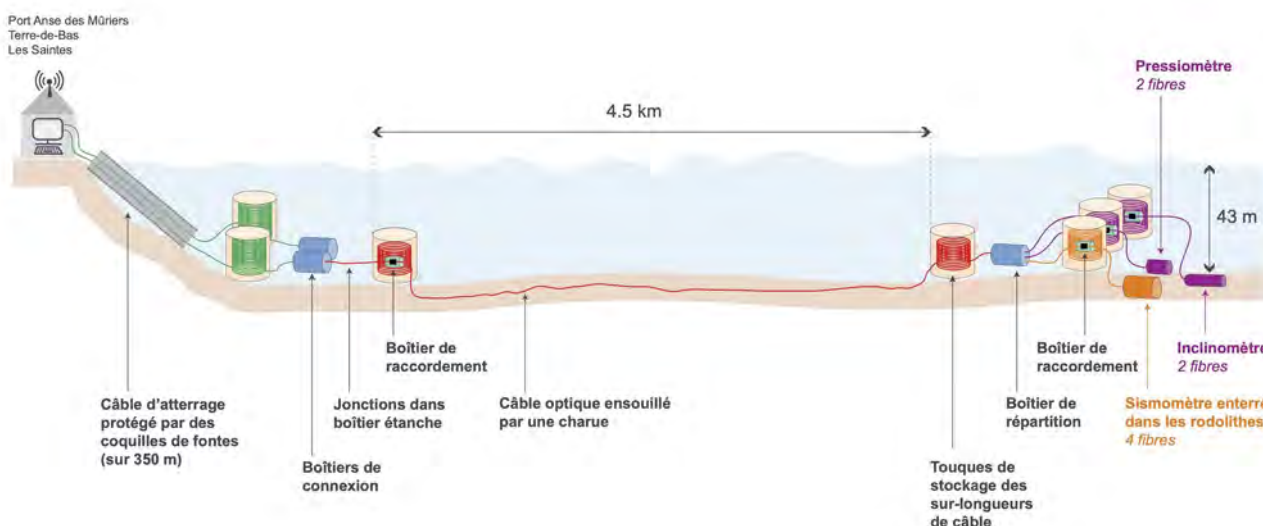


Schéma d'implantation de l'observatoire optique sous-marin des Saintes

L'équipe de plongeurs scientifiques est composée de Mathieu CAMUSAT et Wielfried THOMAS (Station biologique de Roskoff), Bastien GAUCHER et Judichaël RIVIER (Société TSMA basée à Villefranche sur mer). Leur rôle est déterminant : ils interviennent à des profondeurs comprises entre 40 et 50m, avec des durées d'opérations limitées à une quinzaine de minutes, toutes ces phases de travail étant planifiées et chronométrées rigoureusement. Ils commencent par remonter sur le pont de l'ANAO, les boîtiers de raccordement des capteurs, grâce aux 150m de sur-longueurs de câbles stockées dans les touques. À bord, les capteurs sont placés dans une nacelle pour être reliés au câble principal venant du fond, via le boîtier de répartition, permettant la connexion des trois capteurs, avec une sortie supplémentaire disponible pour le raccordement d'un futur autre instrument. L'ensemble est descendu en une seule fois à l'aide du treuil de l'ANAO. Une fois la nacelle sur le fond, les plongeurs déplacent un à un chaque capteur et son boîtier de raccordement à l'aide d'un parachute, sur des emplacements préalablement préparés. Les capteurs sont enterrés et recouverts de sédiments pour leur assurer une bonne protection et un meilleur couplage au fond. Depuis la connexion à bord de l'ANAO jusqu'à l'installation finale, la continuité optique de

chacune des 12 fibres du câble principal avec les capteurs, est contrôlée en continu depuis l'office du tourisme, au port, jusqu'à la validation et le début des acquisitions.



À gauche le navire ANAO et à droite le zodiac 7.5m « Marsoin »

Les opérations à bord de l'ANAO sont pilotées par Yann HELLO, Frédéric BOUDIN et Pascal BERNARD, les plongeurs intervenant de manière autonome et synchronisée à bord du Zodiac, pour assurer une meilleure efficacité et une parfaite sécurité. Alexandre NERCESSIAN (IPGP) et Sébastien DEROUSSI (OVSG-IPGP) coordonnent les activités terre-mer et la transmission des données vers l'observatoire. À terre, dans l'office du tourisme de Terre-de-Bas, Mathieu Feuilloy (ESEO) est responsable de la mise en place et du contrôle de l'interrogateur optique en charge des mesures sur les nouveaux capteurs. Comme en 2021, Sébastien BONNIEUX effectue, avec un interrogateur DAS (Distributed Acoustic Sensing), des mesures optiques du câble sous marin qui sert lui-même de capteur sismique, lorsqu'il est contraint (déformé) par le passage des ondes. Complémentaire des instruments optiques et très prometteuse, cette technologie permet de mesurer un point tous les 10 mètres sur la longueur du câble, et la fibre optique des Saintes représente ainsi l'équivalent de 500 sismomètres.



Vous pouvez suivre le déroulement de la campagne FIBROSAINTES 2 sur les réseaux sociaux



<https://www.facebook.com/ObsVolcanoSismoMartinique>

<https://www.facebook.com/ObsVolcanoSismoGuadeloupe>



<https://twitter.com/ObsMartinique>

<https://twitter.com/ObsGuadeloupe>

<https://interreg-prest.com>

<http://www.ipgp.fr>

Contacts

Pascal BERNARD, IPGP, 06 80 66 62 06 bernard@ipgp.fr

Yann HELLO, Geoazur, 06 62 11 50 92 yann.hello@geoazur.unice.fr

Sébastien DEROUSSI, OVSG-IPGP, 0590 99 11 33 deroussi@ipgp.fr

Frédéric BOUDIN, ENS, 06 13 81 12 26 boudin@geologie.ens.fr

Jean-Bernard de CHABALIER, OVSM-IPGP, 0696 60 34 85 jbdechabaliier@ipgp.fr

Deux rendez-vous en conférences publiques

En Guadeloupe

Le mardi 13 décembre – 18h

Amphithéâtre de l'espace régional du Raizet

Rue du Général de Gaulle Raizet

97139 Les Abymes

En Martinique

Le vendredi 16 décembre – 18h

Hôtel de l'Assemblée de la CTM - Salle Émile Maurice

20 Avenue des Caraïbes

97200 Fort-de-France

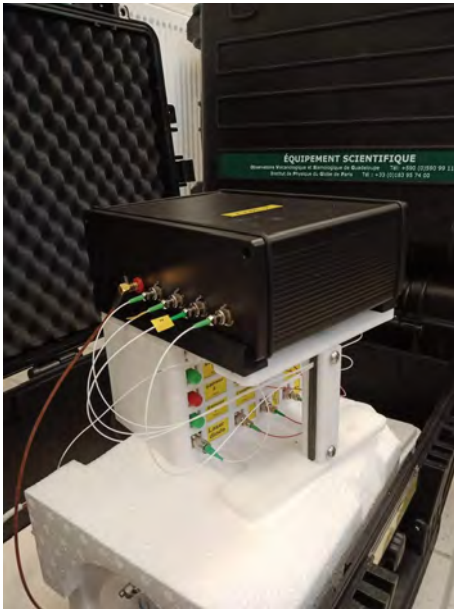
Cette conférence sera suivie d'une discussion :

Deux ans après le passage en vigilance jaune, un point sur l'activité de la Montagne Pelée

L'instrumentation

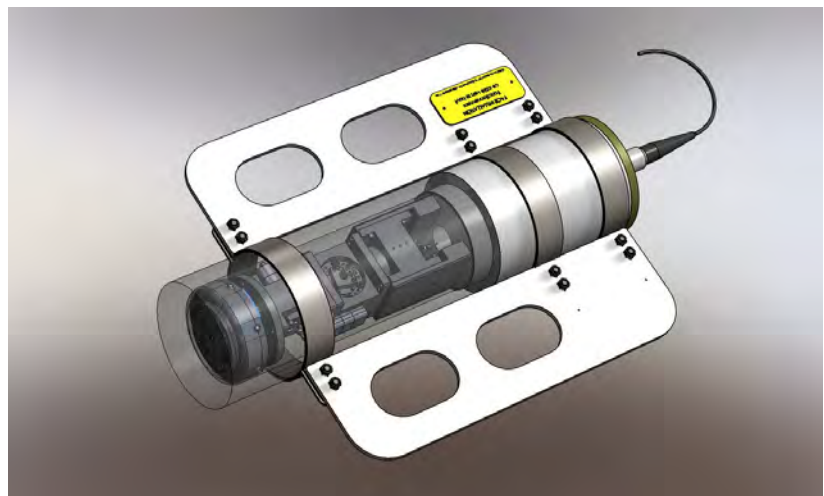
Le simomètre optique et l'interrogateur optoélectronique (installés en juin 2021)

L'ESEO et l'IPGP collaborent depuis de nombreuses années pour concevoir des capteurs sismiques innovants à mesures optiques adaptés au domaine géophysique et à ses contraintes. L'instrument de mesure combine un capteur sismométrique et un interféromètre optique reliés au moyen d'une fibre optique à un interrogateur optoélectronique. Grâce à des techniques avancées de traitement du signal, le logiciel embarqué de l'interrogateur déduit du signal interférométrique le déplacement du sol. Cette version de l'interrogateur affiche des performances accrues en terme de consommation, d'encombrement, de connectivité et d'évolutivité par rapport aux précédentes réalisations de l'équipe ESEO-IPGP. Les géophones qui équipent le capteur ont été spécifiquement développés et caractérisés pour un usage optique. Les mesures de cet instrument sont transmises en temps réel aux observatoires volcanologiques et sismologiques de Guadeloupe et de Martinique (OVSG-OVSM-IPGP).



En haut à gauche, ensemble inter-rogateur dans sa valise de déploiement avec de haut en bas, l'électronique, le conditionnement optique et la diode laser. En haut à droite, électronique de conditionnement et de traitement.

À droite, Intégration du sismomètre optique dans son enceinte.



L'inclinomètre optique

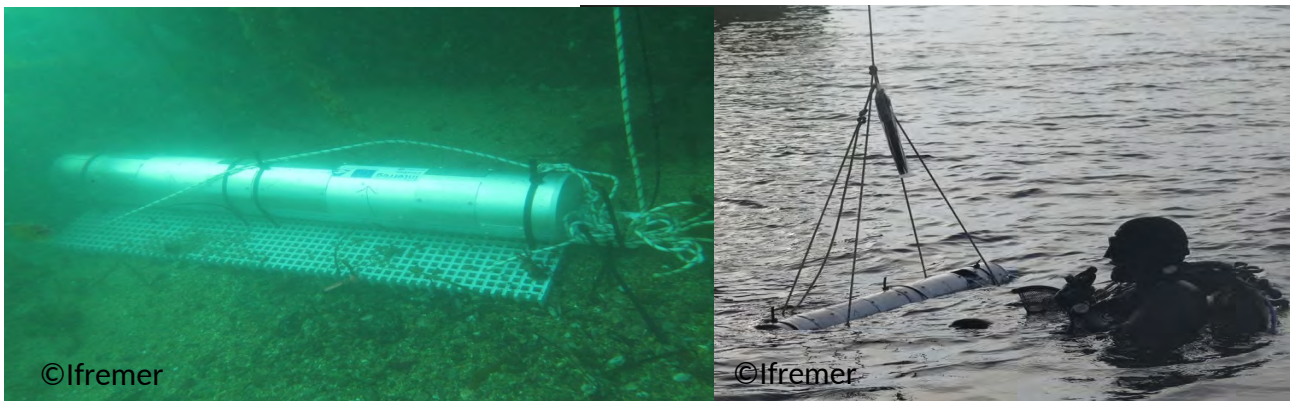
Développé par l'ENS et l'IPGP, ce prototype d'inclinomètre de 1.2 m de long est constitué d'un système de nivellement hydrostatique fermé, étanche et insensible à la pression ambiante. Quand le capteur s'incline, une différence de pression interne apparaît de part et d'autre d'une masse mobile qui se déplace légèrement. Ce déplacement est mesuré avec un faisceau laser par interférométrie optique, permettant de suivre cette inclinaison au cours du temps avec une grande précision. Comme pour les autres instruments, cette mesure est déportée à grande distance, dans l'office du tourisme de Terre-de Bas. L'installation de cet instrument en fond de mer permet donc de mesurer en continu et en temps réel l'inclinaison du fond marin, liée à l'activité des failles proches.



L'inclinomètre optique

Le pressiomètre optique

Le principe de ce prototype de pressiomètre optique développé par l'ENS et l'IPGP, est similaire à l'inclinomètre, mais il est ouvert à la pression extérieure. On regarde l'évolution de la pression ambiante (ici celle de l'eau) par rapport à la pression initiale qui est conservée comme référence. La variation de cette pression ambiante produit un déplacement d'une masse mobile qui est mesurée avec une grande précision, comme pour les autres instruments, par l'interferometrie laser avec un interrogateur à la terminaison de la fibre. L'installation de cet instrument en fond de mer permettra donc de mesurer en continu et en temps réel la pression en fond de mer, révélant les variations de hauteur d'eau (marée, houle, courants, ondes de gravité, tsunamis...) mais aussi la subsidence - soulèvement du fond marin par l'activité des failles proches.



Premiers tests du pressiomètre à Brest