

Lettre d'information

n° 1

Décembre 2023

EPOS-FR
EUROPEAN PLATE OBSERVING SYSTEM FRANCE



www.epos-france.fr

édito

La nouvelle Infrastructure de Recherche nationale Epos-France a démarré le 6 octobre 2023, et voici sa première newsletter qui s'adresse à la communauté élargie, de la sismologie, la géodésie GNSS et la gravimétrie de feu Résif jusqu'à la volcanologie, l'imagerie satellitaire, le géomagnétisme, la géologie, les observatoires in-situ des failles et les laboratoires multi-échelles. Bienvenue à toutes et tous les collègues qui nous découvrent ! Effectivement, la première réunion du Comité Directeur d'Epos-France a eu lieu le 26 octobre, et les 19 partenaires (tous les organismes nationaux concernés par les Sciences de la Terre dont 7 universités) ont nommé Éric Beucler (Osuna) comme président du Comité Directeur, moi-même (Andrea Walpersdorf, Osug) comme directrice exécutive, et ont confirmé les responsables de 5 Actions dans leur fonction, dont Karin Sigloch (OCA) à la tête de la nouvelle Action Transverse « Coordination de la participation française à EPOS ». Avec ce mix de continuité et de changement, nous optimisons le décollage de la nouvelle IR.

Un grand moment pour lancer cette aventure furent les premières Rencontres Epos-France, qui ont eu lieu du 7 au 10 novembre à St-Jean-Cap-Ferrat (lire le retour détaillé dans cette newsletter) réunissant 180 participants. Entre présentations des bilans et des projets scientifiques et techniques prospectifs, des sessions posters et de nombreux ateliers, un après-midi était consacré à l'infrastructure européenne EPOS-ERIC et sa déclinaison française Epos-France, puis à la cérémonie de lancement avec des allocutions des représentants des ministères, de la directrice exécutive d'EPOS-ERIC et de nos partenaires. Cette nouvelle fût annoncée par un communiqué de presse du CNRS Terre & Univers. Les futures actions spécifiques ou transverses s'intégreront dans Epos-France suivant la procédure validée par le Comité Directeur. Deux instances importantes pour le fonctionnement de l'IR sont le bureau exécutif et le conseil scientifique, il reste quelques places dans chacune alors que les demandes d'intégration commencent à arriver. Les personnes intéressées pour participer à l'une de ces instances peuvent contacter le bureau Epos-France.

Un grand enjeu lors de l'évolution de Résif vers Epos-France est la communication, afin de tenir informée la communauté Terre Solide, mais aussi ses tutelles et le grand public. Grâce au soutien des partenaires et du MESR (alliance Allenvi), plusieurs personnes (dont les portraits sont présentés dans cette lettre) viennent actuellement au secours de notre responsable Communication et Valorisation, et rendent la nouvelle IR visible et lisible à tous les niveaux.

Une autre évolution scientifique et technique actuelle concerne la structuration du groupe de chercheurs français travaillant avec la fibre optique (baptisé G-FROG - Groupe Français de Recherche pour la mesure sur fibre Optique en Géosciences). Ce groupe réunit une cinquantaine de personnes de 17 laboratoires et construit ses objectifs en fort lien avec les big data, en s'appuyant aussi bien sur

Epos-France que sur le pôle de données en Terre Solide, ForM@Ter.

Finalement, EPOS-ERIC fait également évoluer ses contours, en intégrant un nouveau Thematic Core Service « Tsunami » avec des contributions importantes de la communauté française (en particulier le CEA). Notre but est de vous tenir informés des activités et opportunités d'EPOS, grâce à l'Action Transverse dédiée, et aux moyens de communication comme cette lettre d'information. Bonne lecture !

Andrea Walpersdorf, Directrice Epos-France

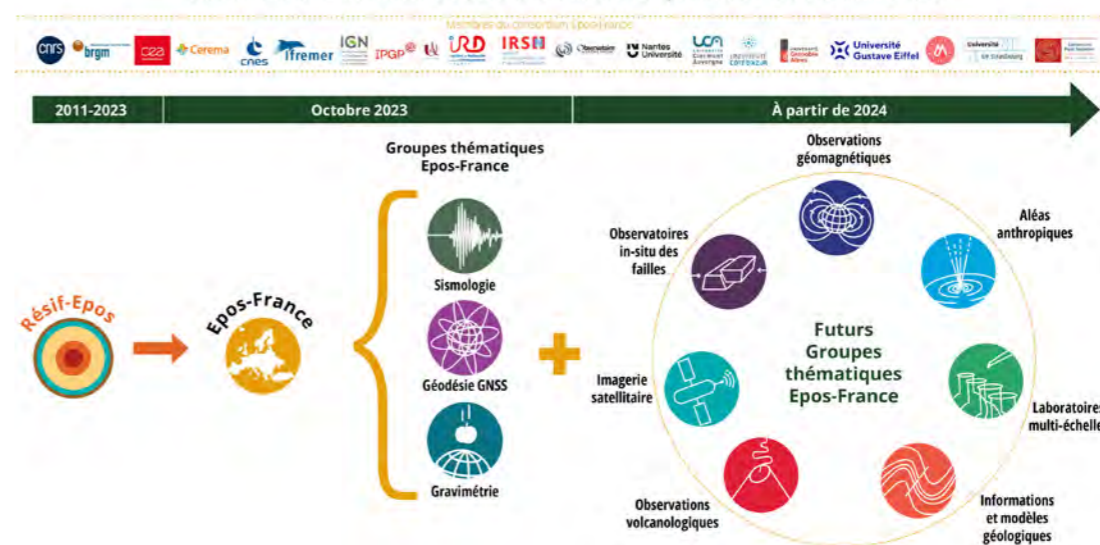
En savoir plus

Adresse du bureau exécutif Epos-France :
 epos-france-bureau@groupes-renater.fr



Cérémonie de lancement de l'IR. De gauche à droite et de haut en bas : Stéphane Guillot (CNRS Insu), Jean-Marie Flaud (MESR), Éric Humler (CNRS), Philippe Freyssinet (BRGM), Éric Beucler (Osuna), Lili Freda (EPOS), Andrea Walpersdorf. © Ana Tempass.

Lancement de l'infrastructure de recherche nationale Epos-France le 8 novembre 2023



sommaire

Vie d'Epos-France

- Hommage à Didier Brunel 4
- Les premières rencontres Epos-France 5
- Portrait de la nouvelle équipe ComVal 10

Ingénierie et instrumentation

- Mesure de gaz in-situ - surveillance des volcans 12
- Mobilisation d'Epos-France - séisme de la Laigne 13
- Envirosciences-Pyrénées 14

Données

- Nouveau modèle sismotectonique pour les Antilles 16

Recherche

- Variation temporelle de la b-value 17
- Un lac pour sismomètre long-terme 18

Événements

- Agenda 20

Hommage à Didier Brunel



1- ©John Pusceddu, DR20 CNRS.

Didier Brunel était ingénieur de recherche en instrumentation sismologique à Géoazur (Observatoire de la Côte d'Azur). Il en était responsable opérationnel de l'Observatoire Sismologie et l'un des piliers de la communauté Epos-France. Il est décédé brutalement le 30 avril 2023.

Didier arrive à Géosciences-Azur en 1998. Il s'implique d'abord dans la gestion des réseaux sismologiques RéNaSS de Nice et Aix puis des 4 stations large-bande régionales et de celles du Réseau accélérométrique permanent (RAP). Naturellement, il œuvre pour l'unification de la prise en charge de ces sites hétérogènes et suit précocement les évolutions des liaisons téléphoniques et du matériel d'acquisition. Dès l'initiation du Réseau Large Bande Permanent (RLBP) en 2006, il participe très activement au développement de ce SNO, aussi bien à l'échelle régionale

comme correspondant technique de l'OCA qu'à l'échelle nationale en contribuant fréquemment aux différents groupes d'experts techniques mis en place dans le cadre de Résif-Epos. Son expérience et sa grande connaissance de l'ensemble de la chaîne d'acquisition sismique font de lui un référent national dans le domaine. C'est aussi grâce à lui, via des dizaines de milliers de kilomètres parcourus dans le sud-est, qu'est bâti en quelques années l'essentiel du réseau de 40 stations permanentes temps-réel qu'opère Géoazur aujourd'hui dans le cadre du RLBP et du RAP.

En parallèle, Didier Brunel s'implique fortement dans la vie de son laboratoire. Il siège dans plusieurs instances, élu par ses pairs ou nommé. Il mène de nombreux combats et accompagne plusieurs collègues lors de leur recrutement et durant leur

carrière.

Didier était un grand organisateur qui ne s'accordait pas trop le droit à l'erreur, doté d'une énorme capacité de travail, habile, fiable, bienveillant, intègre et très bon communicant. Il était ambitieux, pas tant pour lui que pour les communautés locales et nationales auxquelles il appartenait. En retour, il était respecté et écouté. Il devait intégrer l'équipe de direction de Géoazur en 2024.

Son décès, à 2 mètres de la station qu'il hébergeait, a été un choc pour tous ses collègues et amis. Ses compétences leur manquent, sa présence leur manque. Mais ils feront en sorte de perpétuer l'esprit qu'il a insufflé et l'une de ses marques de fabrique : le travail bien fait, pour durer.

Christophe Maron, Jérôme Vergne

Les premières rencontres Epos-France : Retour sur les ateliers



©Ana Tampass

Les 1ères Rencontres Epos-France qui se sont déroulées à St-Jean-Cap-Ferrat du 7 au 10 novembre 2023 ont été l'occasion de rassembler la communauté Terre Solide et de préparer le futur de la nouvelle infrastructure de recherche. Les ateliers sont un des moments phares de ces rencontres : les différentes

thématiques se retrouvent en petits groupes pour discuter des enjeux techniques, scientifiques et sociétales auxquels l'IR prend et prendra part dans les prochaines années. Présentations d'instruments innovants ou de logiciels, tables rondes animées, il y en a eu pour tous les goûts ! Difficile d'assister aux

quatorze ateliers répartis sur les trois jours de rencontres. Pas de panique ! Voici ci-dessous un résumé de chaque atelier rapportant l'essentiel des présentations et des discussions associées. Merci encore à toutes les personnes impliquées dans l'animation des ateliers!

Réseaux de capteurs géophysiques à bas coût

Maurin Vidal, L. Rolland, A. Chambodut

Peut-on faire de la science de qualité avec des instruments géophysiques à bas coût ? La réponse est OUI !

Des travaux de recherche initiés par des équipes de l'OCA et l'EOST au travers des services nationaux d'observation OMIV et RENAG et de projets collaboratifs (ANR ITEC, Interreg Environnements-Pyrénées) depuis plusieurs années ont porté leurs fruits.

Les développements instrumentaux réalisés pour la conception de stations météorologiques et GNSS ont permis d'abaisser les coûts (jusqu'à un facteur 10) tout en garantissant, par des efforts sur l'exploitation et le traitement de ces données, d'atteindre des niveaux de qualité et de sensibilité comparables aux stations scientifiques conventionnelles.

Les résultats préliminaires sur un prototype de carte de numérisation sismologique sont très encourageants. Moyennant un coût similaire à un Raspberry Shake, la carte pourra

être interfacée avec tous types de capteurs (courte période et large-bande), aura un meilleur système de datation, une plus haute fréquence d'échantillonnage, un niveau de bruit de mesure atténué de 20dB et offrira un contrôle complet de toute la chaîne de numérisation (filtres, décimation, format des données et métadonnées).

L'exploitation de ces nouveaux instruments de mesures permettent d'envisager de densifier les réseaux d'observation apportant une spatialisaiton des événements jusqu'alors impossible car trop onéreuse.

Nous mettons tout en œuvre pour améliorer la robustesse et la sensibilité de ces instruments ainsi que les codes de traitement et d'analyse afin d'obtenir des données fiables sur le long-terme.

Rejoignez le groupe des instrumentalistes d'Epos-France, l'avenir de la mesure est en train de se dessiner maintenant !



1- ©Maurin Vidal

2- ©Maxime Bes de Berc

Défis de l'instrumentation et des systèmes embarqués en milieux extrêmes et environnements hostile.

P. Labazuy, L. Gailler, S. Moune, K. Kelfoun
A. Bernard, M. Bès de Berc

En environnement hostile (volcans, zones polaires, etc.), les accès sont difficiles et les interventions humaines demeurent limitées. Les instruments et les systèmes embarqués de mesures in-situ doivent donc être, autant que possible, résilients, sobres en énergie et robustes (solidité, redondance), afin de limiter les temps de déploiement, la maintenance et les coûts. Cet atelier proposait de discuter des choix techniques et technologiques pour l'acquisition de mesures sur le terrain en conditions extrêmes, sur la base des résultats du défi 16 de la Prospective INSU 2020-2025 et des actions menées dans le cadre du réseau Drones & Cap, notamment.

L'atelier était organisé en trois sous-ateliers, deux dédiés à une réflexion sur l'instrumentation et les problématiques spécifiques rencontrées en milieu polaire

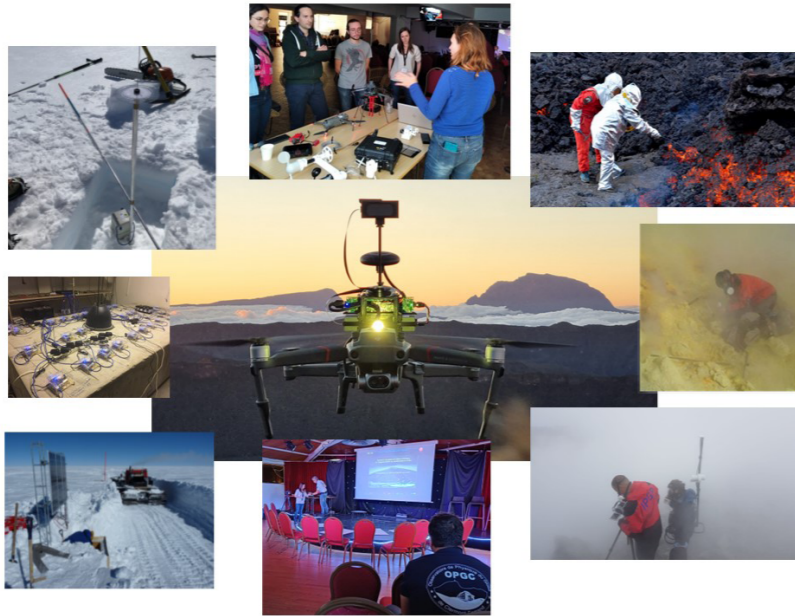
d'une part, en contexte volcanique actif d'autre part, et un troisième, de présentation des solutions opérationnelles en volcanologie de capteurs géophysiques et géochimiques embarqués sur drones. A l'issue de deux courtes présentations introductives, « Atelier instrumentation en milieux extrêmes : synthèse prospective INSU retours Antarctiques » et « Structure et dynamique des édifices volcaniques : problématiques et capteurs aéroportés par drones », l'assemblée a été scindée en trois groupes d'une douzaine de personnes qui ont participé successivement aux sous-ateliers thématiques.

Les principaux thèmes qui sont ressortis des différents échanges et les conclusions ou recommandations envisagées sont : La nécessité de renforcer la mutualisation des ressources et compétences en R&D autour de l'instrumentation en milieux

extrêmes (énergie, robustesse, etc.). Un besoin clairement identifié de formations : sécurité, réglementation, protocoles opérationnels, administration et gestion des projets et missions d'observation, notamment à l'international, etc.

Création d'une structure incluant un entrepôt valorisé pour la documentation technique, une plateforme de développement et de prototypage des capteurs et stations, une cellule dédiée aux problèmes de l'énergie en instrumentation, etc.

L'IR Epos-France peut être le lieu de la mise en œuvre de ces préconisations et initiatives afin de proposer solution évolutive et viable répondant aux attentes de la communauté scientifique.



Fédérer la communauté DAS en France

Benoît Tauzin

Le Fiber Optic Sensing (FOS) est une technologie transformative qui permet l'enregistrement de la déformation des sols et structures le long des câbles à fibres optiques. Le potentiel de rupture découle du fait que la fibre est quasi-omniprésente dans le monde, exploitée à des fins de télécommunication. Certaines technologies FOS permettent une très haute densité de mesures sur des dizaines de kilomètres et dans des géométries variées (tranchées, fonds de mer, puits de forages, structures et infrastructures urbaines, etc...). Les barrières à leur exploitation sont la gestion et le traitement des flux de données, la connaissance imparfaite de la réponse de l'instrument (i.e. le lien entre la grandeur mesurée et les

paramètres physiques recherchés), et le coût des instruments.

Dans ce contexte, il s'agit de proposer une organisation de la communauté française de la fibre optique et soumettre cette organisation pour être formellement reconnue et rattachée aux infrastructures de recherche (IR) françaises. Les points clés de cette future organisation ont été discutés lors de la table ronde aux journées Epos-France. L'organisation intérimaire créé, G-FROG, pour « Groupement Français de Recherche pour la mesure sur fibre Optique en Géosciences », implique 47 personnes de 18 établissements et organismes. Elle sera sous la tutelle des IR Epos-France et DATA Terra, ainsi que Refimeve+. Une organisation pérenne de

la production de données à la recherche impliquera l'acquisition, la gestion et le partage d'instruments au niveau d'un parc mobile national d'instruments sous la tutelle de Epos-France, la participation de la communauté à l'établissement d'un standard de formats de données et métadonnées, la création d'un environnement virtuel pour le traitement de données adossé aux ressources GAIA Data de l'IR Data Terra, la mise en place de noeuds A et B pour la création, curation et distribution des données. Le groupe travaille à une feuille de route pour mettre en place les services et solliciter les soutiens nécessaires à ses activités.

Communication de crise

Véronique Bertrand, Éric Beucler, Philippe Labazuy, Jean-Philippe Malet, Jérôme Vergne

L'atelier était organisé sous forme de world café avec quatre groupes d'une dizaine de personnes qui ont participé successivement aux quatre sous-ateliers thématiques :

- Préparer la communication de crise
- Communiquer en temps de crise
- Communiquer sur le terrain
- Communiquer avec les journalistes

L'atelier a confirmé l'utilité d'organiser la communication en lien avec une gestion de crise tellurique adaptée à l'ampleur de celle-ci. Il a permis une première clarification des termes, du périmètre et des processus clés pour mettre en œuvre une communication de crise à l'échelle de l'IR Epos-France. Pour chaque thématique, une liste des constats, besoins, idées et des pistes de travail a été établie.

L'un des constats majeurs est le besoin d'un travail de fond d'acculturation des acteurs de la gestion du risque (décideurs, autorités, pouvoirs publics) et du public (au travers des journalistes). Concernant la communauté scientifique, il apparaît nécessaire de faire preuve de prudence et de cohérence dans la communication des informations. L'idée a émergé de créer une

équipe de « référents » formés et identifiés par tous et habilités à communiquer sur chaque risque tellurique. Ils fourniraient, au fil de la crise, des informations vérifiées et validées. Les personnes habilitées au sein des équipes de terrain pourraient s'appuyer sur ces informations pour répondre aux sollicitations.

Côté outils, les référents s'appuieraient par exemple sur une base de données d'informations (contextes géologiques et autres paramètres locaux) et d'archives, et sur une plateforme leur permettant d'élaborer, au fil de l'évolution de la crise, des éléments de langage. Les interventions de terrain pourraient être simplifiées par une meilleure identification des équipes scientifiques et des aides aux interactions avec les autorités locales. Enfin, l'information du public (via les journalistes) pourrait être améliorée au travers d'un espace web diffusant des informations validées au fil de la crise ou par des conférences de presse.

Ces idées et pistes de réflexion seront travaillées au cours des mois qui viennent.



1- L'atelier bat son plein autour des 4 tables.

©Aude Laveyssière



2- Un échantillon des notes. ©Aude Laveyssière

La gravimétrie ludique avec un gravimètre de terrain

Lucia Seoane, Nicolas Le Moigne, Sébastien Merlet

L'atelier a débuté par un rappel de l'organisation de la nouvelle AS Gravimétrie afin de présenter le parc d'instruments désormais labélisé PIN, PGravi. Les différentes classes d'instruments du parc ont été présentées ainsi que leur capacités et performances de mesure avant de préciser les conditions d'emprunts. Les participants avaient conscience que les gravimètres de terrain à ressort étaient empruntables mais pas forcément que les gravimètres absolus l'étaient. Les échanges se sont alors concentrés sur l'emprunt du gravimètre quantique AQQ, ses capacités et la formation requise pour l'utiliser. L'outil GMI de gestion du parc a été détaillé ainsi que le site de réservation des instruments, mis en place pour faciliter les demandes et permettre aux utilisateurs d'avoir accès au planning de réservation en prévision de ses demandes d'emprunts. L'emprunt étant conditionné par l'acceptation de la charte du parc, ses points essentiels ont été énumérés, notamment l'obligation de mise en accès libre des données. L'atelier a alors été mis à profit pour décrire spécifiquement ce point fondamental lors de la présentation des schémas d'envoi des données suite à la mesure, jusqu'à l'attribution de doi suite à la validation et

l'intégration dans les bases de données du BGI. La suite de l'atelier a été dédiée à l'utilisation d'un gravimètre relatif mobile du parc, un CG6. Après une présentation de l'instrument, de protocoles de mesures ainsi que de plusieurs cas d'applications, une énumération des logiciels de traitements en accès libre généralement utilisés, a précédé la partie expérimentale de l'atelier.

Les participants ont alors pu découvrir et entrer dans les différents menus de l'instrument. Les fonctionnalités essentielles ainsi que quelques conseils d'utilisations et de transports ont été rappelés avant que l'atelier ne se poursuive au soleil durant une mesure de différence de gravité entre le parc de l'hôtel et la promenade du front de mer en contrebas.



1- Préparation des paramètres de mesure du gravimètre de terrain utilisé lors de l'atelier

©Sébastien Merlet

Tsunamis : quels enjeux dans Epos-France ?

H. Hébert et al.

L'atelier tsunami a rassemblé une vingtaine de participants de différents organismes. Dans un premier temps ont été présentées les thématiques du TCS Tsunami en cours de montage dans EPOS, autour de 4 axes : 1/ éléments pour les services d'alerte, 2/ données, 3/ outils numériques et 4/ produits d'estimation de l'aléa et du risque.

La communauté française est déjà présente, pour l'étude des phénomènes (génération, propagation, impact à la côte), dans des environnements et mécanismes variés (séismes, effondrements gravitaires, météotsunamis). Ont ainsi été présentés le besoin de caractériser les failles actives sous marines, les déformations associées, les techniques d'inversion sismologique, et la possibilité d'exploiter les données GNSS en temps réel. L'observation des tsunamis se fait majoritairement sur les marégraphes côtiers, intégrés dans les systèmes d'alerte, qui peuvent être complétés par des approches innovantes (capteurs de pression en fond de mer, signatures dans le TEC ionosphérique).

La connaissance de l'aléa s'appuie sur la simulation numérique, avec une paramétrisation physique la plus complète possible, de la source à l'impact côtier, nécessitant de nombreuses données. Les applications permettent d'estimer des niveaux d'aléa, par exemple selon des approches probabilistes montrées lors de l'atelier.

L'atelier a aussi abordé les apports scientifiques aux enjeux opérationnels et de prévention. Les exemples du Revosima et du Cenalt ont illustré comment les simulations apportent des éléments pour la gestion de crise, ou des estimations rapides des impacts côtiers en avance. L'exemple des Antilles a montré comment la thématique des sources volcaniques intègre peu à peu les systèmes d'alerte coordonnés par l'Unesco. Enfin, quelques résultats de projets récents (EXPLOIT, TASOMA, EFACTSU Mayotte) permettent de progresser avec les autorités sur la planification de la gestion de crise et sur les dispositifs d'alerte aux populations (Fr-Alert).

L'atelier a montré que de nombreux acteurs de Epos-France, complétés par des collaborateurs de sciences humaines et sociales, peuvent se regrouper au sein d'un groupe de travail informel pour avancer ensemble sur les enjeux évoqués.

Découverte des mesures de Distributed Acoustic Sensing DAS sur fibres optiques

Marie Baillet, Alister Trabattoni, Anthony Sladen, Diane Rivet

Au cours de cet atelier, Marie Baillet, Alister Trabattoni, Anthony Sladen et Diane Rivet ont abordé divers aspects d'une campagne d'acquisition DAS, en se basant sur des déploiements auxquels ils ont participé ou qu'ils ont réalisés. L'objectif était de définir les contours des avantages et des limitations de cette technologie devenue incontournable ces dernières années en sismologie. Une introduction au principe de mesure DAS a été présentée. Comment les vibrations du sol sont détectées sur la fibre optique et mesurées par le DAS ?

Comment le choix des différents paramètres influe sur la mesure ? Une démonstration d'un équipement DAS a ensuite été effectuée sur place, suivie d'une discussion sur la mise en œuvre d'expériences DAS, que ce soit avec le déploiement de câbles de fibre optique dédiés (par exemple, au Stromboli) ou sur des câbles de réseau télécom privés (par exemple, au Chili).

Les volumes de données DAS générés équivalent à plusieurs milliers, voire des dizaines de milliers de capteurs, échantillonnés à plusieurs dizaines, voire centaines de hertz.

La gestion et la manipulation de ces données représentent un nouveau défi, nécessitant l'utilisation d'outils adaptés. Nous avons donc également présenté notre stratégie de gestion des données pour des acquisitions prolongées, accompagnée d'un outil d'exploration des données DAS.

Cet atelier qui a réuni plus de quarante personnes a été l'occasion

d'échanges nombreux et riches, que j'espère motivera les frileux à se lancer dans l'instrumentation de leurs failles/volcans/lacs/glaciers/canyons/puits/mers/glissements/bâtiments/arbres préférés avec la fibre optique.



Initiation à l'utilisation du code FMNEAR

Bertrand Delouis

L'Atelier a consisté essentiellement en une présentation de la méthode et à des discussions autour de certains paramètres ou de la meilleure façon de procéder (par exemple sur le choix du filtrage des signaux, les précautions d'utilisation des signaux tiltés...).

Les codes ont été mis à disposition sous forme d'une machine virtuelle, nécessitant l'installation préalable de VM VirtualBox (Oracle). Les codes ont également été fournis pour trois exemples de séismes français.

Le temps a été trop court pour réaliser une démo complète lors de l'atelier mais il a été convenu de prévoir des sessions en visio une fois que les participants auront pu tester les codes et être en mesure de partager leur expérience.

Le document support de l'atelier est téléchargeable sur le site web des Rencontres ([Epos-france-Rencontres](https://www.epos-france.fr/rencontres)).

Les personnes intéressées qui n'auraient pas été présentes lors de l'atelier sont bienvenues pour participer aux futures sessions en visio et peuvent se faire connaître auprès de Bertrand Delouis (delouis@geoazur.unice.fr).

Que peut dire le GNSS de la lente déformation de la métropole ?

Axel Periollat

L'atelier animé par A. Periollat, en postdoctorat sur le volet déformation du projet Alceste (ATT-Sismicité) a réuni une vingtaine de personnes autour de la problématique de cartographie et mesure de la déformation lente en France métropolitaine par GNSS. Les résultats des calculs du tenseur des taux de déformation (amplitude et style tectonique) par 8 méthodes différentes et 6 équipes de recherche à partir de données synthétiques ont été présentés et discutés. La non-unicité bien connue des résultats de ce calcul est montrée très clairement par l'exercice, avec des artefacts non négligeables dans les calculs issus de champs de vitesses composés de bruit uniquement. Certaines méthodes parviennent à extraire une déformation typique de ce qui est attendu en modélisant le rebond post-glaciaire associé à la fonte de la calotte Alpine, tout en sous-estimant de façon systématique l'amplitude maximale des taux de déformation. Aucune méthode ne parvient en revanche à déceler les taux de déformation théoriques attendus associés à un éventuel point chaud localisé sous le Massif Central (amplitudes horizontales maximales 0,2mm/an).

Le cas des taux de déformation associés à des failles bloquées ou en creep (avec des vitesses très largement supérieures à l'attendu, de 0,3 à 1mm/yr) est plus complexe et des analyses complémentaires doivent être menées.

Les discussions ont porté sur la nature du bruit utilisé et l'absence de prise en compte de corrélation spatiale jusqu'à présent, la nécessité de quantifier l'impact de la densité des stations sur la capacité de résolution, l'importance de regarder plus en détail le style tectonique, potentiellement sur des zones sources assez grandes. Enfin, ce travail communautaire a été remis dans la perspective de calcul des taux de déformation à partir de vitesses "vraies" qui devra s'intégrer rapidement dans l'élaboration de la carte d'aléa sismique attendue dans le cadre du projet Alceste à l'horizon 2026.

Utilisation des services Résif-sismologie

Constanza Pardo, Philippe Bollard

Le système d'information de données sismologiques d'Epos-France met à disposition des services standards d'accès aux données et aux métadonnées sismologiques ainsi qu'à des produits dérivés, parfaitement intégrés dans EPOS.

En plus de ces outils incontournables, d'autres services, moins connus mais très utiles, ont été implémentés pour faciliter l'exploration et l'interprétation de métadonnées, la génération des graphiques ou l'exploration d'un catalogue d'événements, la citation des données. Dans cet atelier sont présentées aussi les fonctionnalités du portail des données sismologiques.

L'atelier a eu lieu le mercredi 8 novembre de 11h à 12h30 et s'adressait aux utilisateurs des données sismologiques et ses produits dérivés, aux opérateurs des réseaux et à tout membre d'Epos-France intéressé par ces données. Les participants étaient soit des utilisateurs débutants soit des utilisateurs qui ont l'habitude d'accéder et utiliser les données sismologiques.

Le matériel utilisé pour cet atelier est disponible sur : <https://resif.gitlab.io/publications/ninja-webservices/> Il peut-être utilisé à tout moment pour se familiariser avec les interfaces.

Pour toute question, remarque ou besoin de plus d'information, utiliser l'aide à l'utilisateur sur : [gitlab.com/resif/sismo-help](https://resif.gitlab.com/resif/sismo-help) ou envoyer un message à : sismo-help@resif.fr.

Epos-France Marin : Point d'avancement du projet MARMOR

Jean-Mathieu Nocquet, Wayne Crawford

Outre le développement d'un observatoire permanent et continu sous-marin au large de Mayotte, le projet MARMOR vise à fournir à la communauté les équipements nécessaires pour conduire des recherches d'excellence utilisant les outils de la sismologie et de la géodésie sous-marines, ainsi qu'à structurer la communauté scientifique française. En ce sens, il constitue le volet marin de d'EPOS-France. Cet atelier a rassemblé une dizaine de personnes et a permis de faire le point d'avancement des différents axes et la mise en place des différents parcs d'instruments pour la communauté. Parmi les éléments marquants, on peut citer l'achat et la mise en place progressive du parc de capteurs de pression en géodésie fond de mer, l'analyse des offres en cours pour les sismomètres légers dédiés à l'imagerie et l'intervention, la mise en place d'une réflexion sur les modalités d'intervention rapide, les premières étapes pour l'achat du parc de sismomètres large-bande compact, l'achat de l'hydrophone sur mouillage dans le canal SOFAR et la modernisation de la station d'observation longue MUG-OBS, ainsi que l'achat du DAS pour installation sur la fibre Monaco-Savone. Le point sur les développements technologiques a aussi été présenté incluant la conception de sismomètres fond de mer compacts, le lancement de l'action pour mesurer la déformation statique sur fibre, et les développements du sismomètre et pressiomètre optique. Une recommandation a été la mise en place des portails utilisateurs et des comités d'attribution des équipements au fur et à mesure de la mise en place opérationnelle des parcs.

Impact environnemental de nos travaux : comment décarboner les projets de recherche ?

A. Tempass, J. Trévisan

L'objectif de l'atelier porte sur la discussion de l'état des lieux des structures des participants et l'implication de chacun dans la transition bas-carbone. Les tutelles commencent à réfléchir sur la transition pour les infrastructures de recherche et les projets de recherche. Comment prendre le temps de comprendre les implications et les solutions de la politique bas-carbone dans la façon de faire sa recherche ?

Les perceptions d'avancements en matière de transition dans chaque laboratoire ou structure est très hétérogène, même au sein d'une même structure. La communication des avancements, actions et état des lieux est donc un point clé à travailler.

Concernant les projets de recherche, très peu de personnes pensent déjà à décarboner leurs projets; cette question laisse les participants parfois démunis. Décarboner ce n'est pas seulement ne plus prendre l'avion mais favoriser une recherche différente. Nous manquons d'outils pour qualifier, quantifier et optimiser la décarbonation des projets. Une politique descendante de la part de nos tutelles serait la bienvenue, pour créer des indicateurs, favoriser des conditions adéquates, en particulier sur les marchés et budgets, et donner des formations concrètes sur les bonnes pratiques à suivre.

Découverte et utilisation des webservices pour l'accès aux données volcanologiques

J.M. Saurel

L'atelier « webservices pour l'accès aux données volcanologiques » a permis de présenter à la dizaine de participants les différents portails et services permettant d'accéder aux données du service national d'observation en volcanologie (SNOV). Environ 75 % des stations de mesure opérées par les observatoires volcanologiques de l'IPGP sur les 4 volcans actifs français (Piton de la Fournaise à La Réunion, Montagne Pelée en Martinique, Soufrière de Guadeloupe en Guadeloupe et zone volcanique de Mayotte) sont constituées de sismomètres et de stations GNSS. Le portail Volobsis (<http://volobsis.ipgp.fr/>) développé et hébergé par le centre de données de l'IPGP est la porte d'entrée pour accéder aux différents webservices. Il permet de consulter les contenus des jeux de données via les descriptions des différents DOI, mais aussi de retrouver les liens des différents webservices. Les webservices FDSN (<http://ws.ipgp.fr/fdsnws>) permettent d'accéder aux métadonnées et aux formes d'onde des sismomètres et stations géophysiques (inclinomètres, extensomètres, températures), mais aussi aux catalogues des événements localisés et validés manuellement chaque jour. Le portail du nœud EPOS GNSS de l'IPGP (<http://volobsis.ipgp.fr/glasswebui>) permet l'accès aux différents webservices développés par la communauté GNSS Européenne et Française pour naviguer et accéder aux métadonnées et données des stations permanentes. La page dédiée sur le portail Volobsis (<http://volobsis.ipgp.fr/data/access-gnss-data>) offre également un nombre de liens pour accéder facilement aux métadonnées et indicateurs de qualité des données. Ces données sismiques et GNSS sont aussi présentes via les services Epos-France et depuis le portail EPOS.

Les produits des observatoires volcanologiques sont aussi disponibles sur l'entrepôt de données « IPGP research collection » (<https://research-collection.ipgp.fr/>), où chaque observatoire a sa propre collection de données.

Le portail Hotvolc (hotvolc.opgc.fr) offre via la création d'un compte utilisateur l'accès au service de supervision par satellite hébergé par l'OPGC. Il est notamment utilisé à chaque éruption du Piton de la Fournaise pour estimer les flux de lave à partir de leur signature thermique.

L'atelier a enfin permis de questionner les utilisateurs pour récolter leurs attentes et orienter les prochains développements pour la mise en ligne d'autres données, par exemple les résultats des prélèvements et analyses de routine en géochimie.

.../...

Portrait de la nouvelle équipe ComVal

Grâce au soutien de certains partenaires, l'action transverse Communication et valorisation est aujourd'hui animée par toute une équipe, malgré le départ de Solène Malerba. Outre Ana Tempass, qui continue à nous épauler, Gaïa Ollivier vient d'être recrutée pour un an grâce aux contributions financières du BRGM, de l'OPGC, de l'OMP, de l'IPGP, de l'IRSN et aussi de l'IRD en 2024. Elle est installée à Strasbourg avec moi. Camille Sèze-Goismier, à Nantes, est chargée du bulletin mensuel de brèves, Géraldine Del Campo assure, à Clermont-Ferrand la réalisation de la Lettre d'information virtuelle ou imprimée que vous avez sous les yeux et Isabelle Dubigeon assure à Rennes la gestion de la collection Hal d'Epos-France.

Merci chaleureusement à tous de ce soutien providentiel ! L'année 2024 s'annonce sous de bons auspices.

Véronique Bertrand, Responsable de l'Action comval

Portrait de Camille Sèze-Goismier

Camille est IR CNRS. Après une thèse de biologie soutenue en 2008, elle rejoint le service partenariat et valorisation CNRS-Université d'Orléans. Adjointe au responsable de service, elle assure la veille sur les appels à projets, l'aide au montage de projets, rédige des accords de collaboration et reçoit les déclarations d'inventions. Arrivée en 2020 à l'Osuna, elle intervient en appui aux projets de l'observatoire ou des laboratoires porteurs pour la veille, le montage et le suivi, la communication et la rédaction du plan de gestion des données. Elle est par ailleurs correspondante pour l'Observatoire de 3 réseaux INSU : "Communication", "Europe et international" et "Valorisation" et en charge d'actions de communication à l'Osuna (newsletter, articles sur le site internet, organisation d'événements...). Au sein de l'équipe communication d'Epos-France, elle assure dorénavant la rédaction du bulletin mensuel de brèves.



Portrait d'Isabelle Dubigeon

Je suis documentaliste CNRS depuis novembre 2001 et affectée depuis cette date à la bibliothèque de Géosciences Rennes. Je gère la bibliothèque avec une collègue et assure la communication interne et externe de l'Unité. Je suis depuis peu en charge de la collection HAL d'Epos-France. Comme je gère la collection HAL de Géosciences Rennes depuis 2007, je ne serai pas trop dépaysée. Je suis très enthousiaste à l'idée d'entamer cette nouvelle fonction de valorisation des productions d'Epos-France.

J'en profite pour inviter tous les membres de la communauté Epos-France à me transmettre les photos de stations, d'instruments, de campagnes, etc. Je préparerai les métadonnées et vous solliciterai pour les compléter si besoin et pour les valider avant d'effectuer les dépôts.



Portrait de Gaïa Ollivier

En 2024, Gaïa Ollivier viendra renforcer l'équipe d'Epos -France, accompagnant Véronique Bertrand dans la mise en œuvre de l'Action transverse communication et valorisation. Diplômée d'un master en communication scientifique, Gaïa a d'abord travaillé en tant que coordinatrice de la Fête de la Science sur le département du Rhône, pour le centre de culture scientifique, technique et industrielle de l'Université de Lyon, participant déjà à la diffusion des savoirs scientifiques. Sensible aux enjeux environnementaux elle a ensuite mis à disposition ses compétences en communication au service de structures œuvrant pour la protection du patrimoine naturel (SMGDP, CEN PACA). Très curieuse, elle s'intéresse également aux sciences de la Terre. Elle est aujourd'hui enthousiaste à l'idée de rejoindre l'IR et de rajouter sa visibilité auprès de la communauté scientifique, des institutions partenaires, mais aussi du grand public.



Portrait de Géraldine Del Campo

Géraldine Del Campo est assistante de direction et en charge de la communication à l'OSU-OPGC depuis septembre 2000, cependant sa carrière dans l'enseignement supérieur a débuté à l'Université en 1990.

Elle assure les fonctions d'assistante de direction, mais elle est également en charge la communication et la diffusion de la culture scientifique de l'OSU OPGC. A ce titre, elle assure le relais vers le grand public et le monde socio-économique. Elle est impliquée notamment dans la médiation scientifique en animant des ateliers durant des manifestations comme la fête de la science, des salons, festivals, etc.

Qualifiée comme graphiste, elle valorise l'image de l'OSU OPGC en assurant les productions visuelles de l'OSU (flyers, affiches, logos, plaquettes, posters, etc.). Elle est aussi passionnée par l'histoire de l'Observatoire et propose un voyage historique qui ramène à la création d'une des premières stations de recherche d'altitude lors des visites grand public et scolaires.

Grâce à toutes ses activités, elle crée du lien entre l'Unité d'appui et de recherche OPGC et les deux laboratoires de l'OSU que sont le Laboratoire Magmas et Volcans et le Laboratoire de Météorologie physique.

Aujourd'hui elle rejoint l'action transverse Comval d'Epos-France et réalise la lettre d'information, à commencer par celle que vous êtes en train de lire.



La géochimie des gaz : un outil de surveillance volcanologique

Le groupe thématique volcanologie (GT Volcanologie), en cours de structuration pour Epos-France, se mettra en place autour de différentes actions qui constituent déjà le cœur des actions du Service national d'observation en volcanologie (SNOV). Cependant, outre celui de fédérer la communauté scientifique française volcanologique, ce groupe thématique va proposer un éventail d'instruments, de procédures et d'applications scientifiques adaptées à la fois à une recherche scientifique de qualité en volcanologie et à l'intervention rapide, en cas de réactivation ou d'éruption imminente.

Jusqu'à récemment, la surveillance volcanologique s'est focalisée surtout sur la sismologie et la géodésie. Or, grâce aux évolutions technologiques et aux connaissances scientifiques, l'étude des gaz volcaniques est devenue, depuis le début des années 2000, un outil puissant pour étudier et surveiller en continu et in-situ l'activité des volcans.

L'échantillonnage direct des gaz de fumerolles, effectué traditionnellement grâce à des dispositifs portables comme les ampoules de Giggenbach reste la méthode la plus largement utilisée. Les ampoules sont remplies partiellement par une solution basique où sont dissous la vapeur d'eau et les gaz acides condensables (CO_2 , H_2S , SO_2 , HCl , HF), alors que le volume résiduel est sous vide et recueille les gaz incondensables (N_2 , O_2 , H_2 , CO , Ar , He). Un inconvénient de ces méthodes d'échantillonnage c'est qu'elles peuvent devenir dangereuses, voire impossibles, en fonction du niveau d'activité volcanique. De plus, les analyses nécessitent d'être effectuées en laboratoire, les résultats ne sont donc pas immédiats.

Depuis environ deux décennies, de nouvelles perspectives ont été ouvertes avec l'apparition d'instruments de télédétection pour la phase gazeuse, de mesures in-situ des panaches et émissions fumeroliennes et le suivi en continu des émissions diffusées par le sol. Cette évolution des techniques d'observation et d'analyse ainsi que celle des connaissances sur les processus de dégazage a conduit à des avancées marquantes dans la surveillance des volcans via la géochimie des gaz volcaniques. Ces techniques permettent d'obtenir des données de haute-résolution (1h-1s) en temps quasi-réel, données qui peuvent ainsi être corrélées aux données géophysiques.

Les flux et la composition élémentaire et isotopique des gaz volcaniques montrent une variabilité spatiale et temporelle importante. De plus, il a été montré que la mobilité des gaz volcaniques est généralement plus grande que celle du liquide silicaté dont ils sont issus. Ainsi, ils transportent à la surface des informations pouvant nous renseigner sur l'état du système magmatique en profondeur, sur les changements des conditions physico-chimiques dans les

réservoirs magmatiques intermédiaires et sur le chemin vers la surface.

Par conséquent, la phase gazeuse constitue un moyen quasi-unique pour appréhender certains mécanismes internes, comme la migration des magmas ou la perturbation des systèmes hydrothermaux qui peut culminer par des phénomènes éruptifs.

c de manière importante à la surveillance et à l'étude de l'activité volcanique. Ces signaux peuvent être acquis, à présent grâce aux nouvelles techniques, pendant les phases de quiescence, de réactivation ou d'éruption d'un volcan.

Un des enjeux du GT volcanologie sera de mettre à disposition les données (et métadonnées associées) acquises par les instruments du SNOV, dans lesquelles seront inclus à terme les données géochimiques des gaz volcaniques produites par le SNOV.

Séverine Moune, Andrea Di Muro, Philippe Labazuy, Jean-Christophe Komorowski.



1- Mesure MultiGAS au sommet de la Soufrière de Guadeloupe
©S. Moune

Mobilisation de la communauté Epos-France suite au séisme de la Laigne

Mobilisation de la communauté Epos-France suite au séisme de La Laigne (2023)

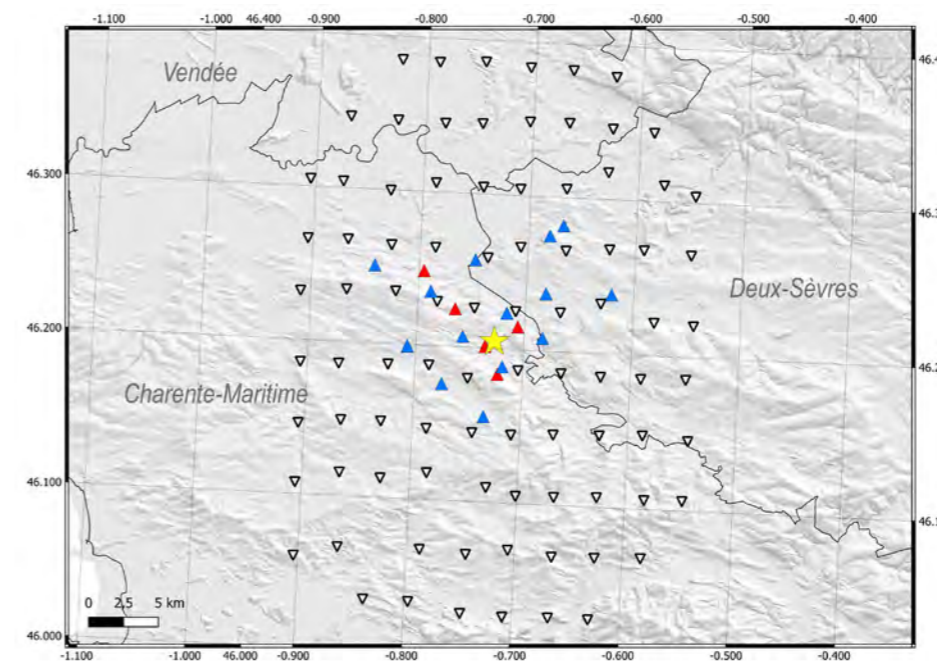
Le 16 juin 2023 à 18h38 heure locale, le séisme de La Laigne ($M_L=5.3$, $\text{Int. max}=\text{VII}$) a surpris les habitants de la commune de Charente-Maritime et ses environs. Avec plus de 6000 témoignages reportés sur le site [franceseisme.fr](https://www.franceseisme.fr), ce séisme a été fortement ressenti à l'épicentre, largement observé dans une large partie de l'Ouest de la France et jusqu'à plus de 600 km de l'épicentre. Le choc principal a été suivi par de nombreuses répliques dont la plus puissante, d'une magnitude $M_L = 4.3$, le lendemain matin.

Déploiement de stations sismologiques temporaires

Une fois les premières localisations déterminées par différentes agences, notamment le BCSF-RéNaSS, la communauté nationale s'est rapidement organisée via la cellule post-sismique pour intervenir sur le terrain. Dès le lendemain du séisme, les sismologues de l'Osuna ont

déployé une douzaine de stations sismologiques (MeMs Sercel) dans un rayon de 10 km autour de l'épicentre, afin d'enregistrer un maximum de répliques. Afin de densifier et d'étudier l'évolution de la sismicité sur plusieurs semaines, ce réseau temporaire a été complété dans un premier temps par l'apport de 5 stations post-sismiques (télémetrées et autonome en énergie), ainsi que 16 nodes fournis par SiSmob, installés dès le lundi, soit 3 jours après le séisme. Par la suite, un vaste déploiement de 88 nodes a été effectué par l'EOST et le CEA afin d'obtenir un modèle de vitesse sismologique régionale en trois dimensions qui sera utile pour affiner les localisations des répliques.

Les résultats préliminaires dénombrent plus de 600 répliques détectées sur une période de quatre mois. Les répliques semblent souligner une structure de 2 km de long orientée Nord-Sud (décrochement sénestre) et concentrée entre 2 et 5 km de profondeur dans le socle cristallin.



1- Couverture du réseau sismologique temporaire déployé par l'Osuna, l'EOST et le CEA suite au séisme de la Laigne. Étoile jaune : épicentre du séisme de la Laigne (BCSF-RéNaSS). Triangles bleus et rouges : MeMs, nodes et stations post-sismiques déployés entre le 17 juin et le 20 juin (Osuna); Triangles blancs : Nodes déployés dès le 21 juin (EOST-CEA). Crédits Clément Perrin.

Groupe d'Intervention Macrosismique (GIM)

Quatre jours après le séisme, le Groupe d'Intervention Macrosismique, regroupant 9 experts inter-organismes (plus 2 observateurs), a estimé durant 7 jours les intensités de la secousse sismique pour 20 communes localisées dans un rayon de 20 km autour de l'épicentre (<https://hal.science/hal-04315583>). Le GIM a relevé de nombreux dommages aux bâtiments les plus fragiles dans la zone épicentrale, notamment dans les communes de La Laigne (intensité VII) et de Cram-Chaban (intensité VI-VII) où une étude exhaustive des dommages a été réalisée. Le degré 4 de l'EMS-98 a été atteint (ouverture de murs), 425 bâtiments ont été expertisés.

Le premier rapport scientifique préliminaire a été transmis dès le 28 juin à la cellule interministérielle de classement en catastrophe naturelle pour répondre à la demande de procédure accélérée du Ministère de l'intérieur. 4 autres rapports ont été produits depuis au fil des analyses dans ce même objectif.

Près de 9000 témoignages recueillis ont été pris en compte pour estimer plus de 2243 intensités communales (54 départements). Ce séisme a été ressenti jusqu'à 637 km.

Le rapport final de l'enquête macrosismique sera disponible fin d'année 2024 (<https://www.franceseisme.fr/>).

.../...

Géodésie spatiale et mesures GNSS.

L'étude de la déformation du sol par interférométrie radar (InSAR) peut s'avérer particulièrement utile pour identifier la faille rompue en surface lors d'un séisme et son extension spatiale. Malheureusement, contrairement au séisme du Teil de 2019 (magnitude équivalente à La Laigne), les premières images satellitaires de la déformation dans la zone de La Laigne sont dominées par des perturbations atmosphériques et ne montrent pas de rupture de surface, ni de déformation claire.

De leurs côtés, les réseaux de stations GNSS permanents qui maillent le territoire national (Rérag, RGP, Centipède, Teria, Orphéon, etc) ne disposent pas de stations à moins de 12 km de l'épicentre. Les premiers traitements réalisés par la communauté académique ne montrent pas de déplacements significatifs à ces distances.

Les réseaux de marqueurs historiques de l'IGN, dont la position et l'altitude sont mesurées lors de campagnes régulières, sont en revanche très denses dans la zone



2- Evaluation de l'intensité macrosismique dans la commune de La Laigne par le Groupe d'intervention macrosismique. Crédits GIM - V. Mendel 2023

et pourraient avoir été déformés par le séisme. Après coordination entre les équipes du service de géodésie et de métrologie de l'IGN et les équipes scientifiques du Rérag, deux missions de mesures se sont déroulées pendant l'été. D'une part, les équipes de l'IGN ont remesuré la position verticale (nivellement) d'un ensemble de marqueurs situés au cœur du village de La Laigne, et d'autre part, trois équipes de scientifiques du LIENSs ont remesuré la position d'une quinzaine de marqueurs du réseau dit de détail à l'aide de positionnement cinématique temps réel (RTK) dans l'optique d'extraire le déplacement associé au séisme. Il reste difficile de mesurer des déplacements centimétriques à partir des réseaux géodésiques anciens compte tenu de leur imprécision. Les mesures de nivellement devraient permettre de les révéler ; d'autres mesures devraient avoir lieu prochainement.

C. Perrin, C. Sira et M. Métois pour la communauté Epos-France impliquées dans les missions post-sismiques.



3- Mesure RTK de la position d'une borne du réseau RDF de l'IGN dans la zone de La Laigne par les équipes du LIENS en juillet 2023. Crédits Médéric Gravelle

Envirosiences-Pyrénées : un réseau dense de stations multi-paramètres pour la connaissance des aléas tectoniques et hydro-gravitaires dans les Pyrénées centrales.

Envirosiences-Pyrénées a pour objectif de contribuer à documenter les aléas telluriques (hydro-gravitaire, sismique) dans les Pyrénées centrales. Le projet est piloté par l'EOST (Strasbourg) et OCA/Géoazur (Nice), en partenariat avec l'OMP (Toulouse, Tarbes) et le LFC (Pau).

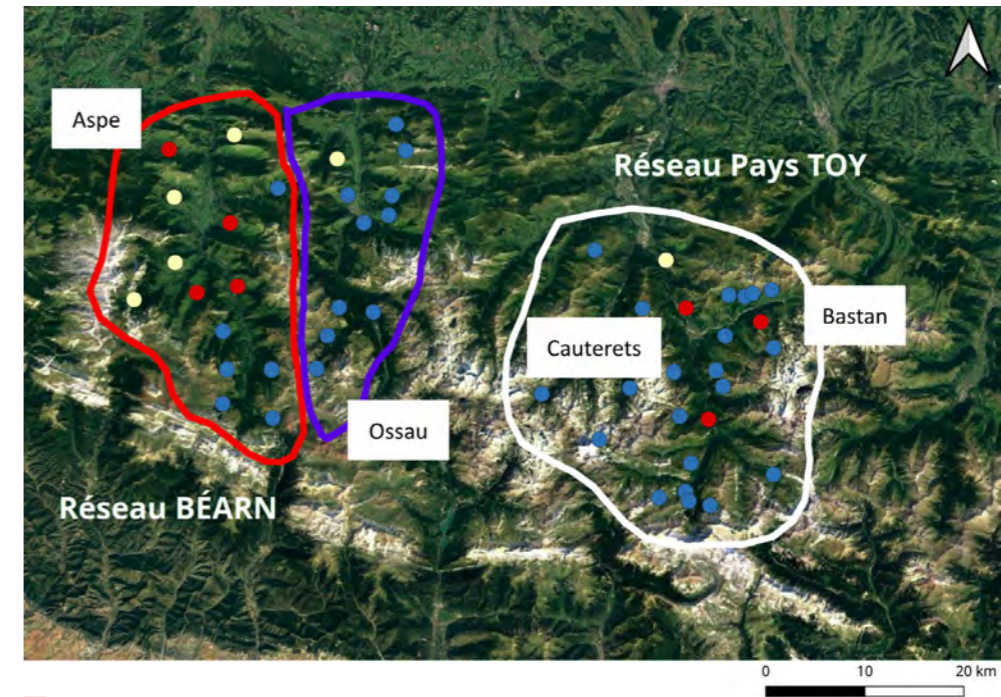
Le projet comporte un volet instrumental, avec le déploiement d'un réseau dense de 40 stations de mesures multi-paramètres (géodésiques, météorologiques et sismologiques) autonomes, temps-réel et à bas-coût, pour une durée minimale de 10 ans. Un second volet concerne l'exploitation des données par la création de services d'analyse dédiés pour créer des catalogues de sismicité (sources telluriques et environnementales), comprendre la micro-météorologie locale et étudier les déformations du sol, en combinant géodésie et imagerie satellitaire.

Le réseau de mesure est concentré sur plusieurs vallées des Pyrénées-Atlantiques (Aspe, Ossau) et des Hautes-Pyrénées (Cauterets, Bastan) et a été défini en lien avec des

partenaires institutionnels territoriaux en charge de la gestion du risque. Il permet d'acquérir des observations sur des secteurs peu documentés en investiguant à la fois des sommets de versants et des fonds de vallées.

Le développement instrumental est réalisé conjointement entre l'Eost, qui coordonne la mise en œuvre de la station de mesure intégrée et de sa composante sismologique, et Géoazur qui développe les composantes météorologique et géodésique (GNSS).

Le projet a permis le développement d'une carte de numérisation des données sismologiques. Moyennant un cout similaire à un Raspberry Shake, la carte peut être interfacée avec tout type de capteurs (courte période, large-bande), dispose d'un meilleur système de datation, d'une plus haute fréquence d'échantillonnage, d'un niveau de bruit de mesure atténué de 20 dB et offre un contrôle complet de toute la chaîne de numérisation (filtres, décimation, format des données et métadonnées).



1- Réseau de mesures envirosiences-Pyrénées déployé dans le Béarn (Département 64) et le Pays Toy-Cauterets (Département 65). © CNRS/EOST - Florian Bourcier

Pour l'instrumentation GNSS, les choix technologiques se sont portés vers un récepteur bi-fréquence multi-constellation u-blox permettant d'atteindre des précisions de positionnement infra-centimétrique. Pour l'instrumentation météorologique, suite à divers étalonnages et comparaisons de capteurs réalisés par Géoazur, des stations multi-paramètres Davis Vantage Pro sont utilisés.

Outre les développements instrumentaux, des enjeux d'installation environnementale légère, respectant à la fois des critères paysagers et des contraintes administratives, ont été pris en compte (dimensionnement des coffrets de mesures, couleur des structures d'installation, installations démontables). En effet, une grande majorité des stations sont localisées dans l'emprise du Parc National des Pyrénées ou proche de zones Natura 2000. Vingt stations de mesures sont installées et opérationnelles depuis l'été 2023. D'ici fin 2024, la totalité du réseau aura été déployé.

Des applications d'accès aux données, par type d'obser-

vables (hydro-météorologie, GNSS, sismologie) sont en cours de développement, proposant à la fois l'accès aux données validées et à des produits de données. Le projet permet ainsi le développement de solutions de traitement originales, en particulier sur les solutions GNSS de positionnement (GINS, GipsyX) et de délais troposphériques (ZTD), et sur la création de catalogues de sismicité et de micro-sismicité environnementale par l'utilisation de méthodes d'apprentissage profond pour la classification, en flux, des sources sismologiques

Florian Bourcier (EOST), Maxime Bès de Berc (EOST), Jean-Philippe Malet (EOST), Maurin Vidal (Géoazur), Céleste Broucke (IPGP), Nicolas Chatelain (EOST), Franck Grimaud (OMP), Jean Le-tort (OMP), Guy Sénéchal (LFC), Clément Hibert (EOST), Frédéric Masson (EOST), Lucie Rolland (GéoAzur)



2- Station de mesures multi-paramètres co-localisées associant récepteur et antenne GNSS, station météorologique et capteur sismologique : exemple des stations EVVI (Villalongue), EVDU (Sarrance), EVDU (Barèges) et EVLU (Lescun). © CNRS/EOST - Jean-Philippe Malet



Un nouveau modèle sismotectonique pour les Antilles

Les niveaux d'aléa sismique de référence des Petites Antilles françaises sont dérivés d'études réalisées en 2002. De nos jours, les connaissances scientifiques ont considérablement augmenté, justifiant une mise à jour. L'identification des éléments nécessaires à la production d'un nouveau calcul de l'aléa sismique a été effectuée suite à une demande de la Direction Générale de la Prévention des Risques du Ministère de la Transition écologique (MTECT) auprès de l'Action transverse sismicité (ATS) du consortium Epos-France. Parmi les priorités identifiées, la mise en place d'un nouveau modèle sismotectonique intégrant les données les plus à jour a été relevée. Un modèle sismotectonique est défini par des zones sources dans lesquelles la sismicité future est supposée avoir une distribution des propriétés des sources et de la localisation de la libération de l'énergie qui ne varie pas dans le temps et l'espace. Leurs limites sont déterminées à l'aide de la sismicité historique et instrumentale, de la géologie régionale et styles tectoniques de déformation, des contraintes et déformations mesurées ou déduites, etc. Cette étude a été menée par Océane Foix au laboratoire Géosciences Montpellier de l'Université de Montpellier en collaboration avec l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, et financée par le MTECT.

Dans cette étude, l'arc des Petites Antilles trouve notamment sa particularité dans sa forte asymétrie nord-sud d'un point de vue de l'activité sismique, volcanique et tectonique. Au 19ème siècle, deux séismes majeurs ont été rapportés avec des magnitudes estimées à 7.5-8 et 8-8.5. Leurs localisations exactes et leurs mécanismes de glissement sont encore débattus, s'intégrant dans un questionnement plus large sur le potentiel sismique de cette zone. Afin de permettre une réévaluation du modèle sismotectonique des Petites Antilles, cette étude s'est basée sur une combinaison de nouvelles informations sur les failles actives, les types de rupture, et les vitesses et déformations obtenues via la géodésie spatiale. Le modèle se présente sous la forme de zones (polygones 3d) dont les limites géographiques correspondent à des variations spatiales significatives des caractéristiques tectoniques et de la sismicité. Le modèle est composé de 20 zones sources pour la croûte, 6 zones sources pour l'interface de subduction, 15 zones sources pour la

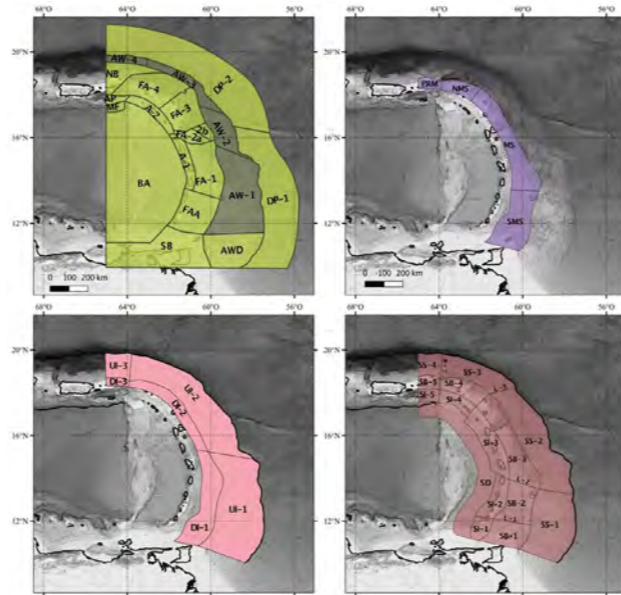
plaque océanique en subduction, et 4 zones sources pour le manteau de la plaque supérieure 1. Des zones pour chacun des 13 volcans actifs recensés sont également proposées, ainsi que pour 6 failles actives : Roseau, Morne Piton, Redonda, Bouillante-Montserrat, Anegada, et Muertos 2. Le modèle proposé peut être utilisé dès à présent pour le calcul de l'aléa sismique. Il pourra être mis à jour à la lumière de nouvelles connaissances, permettant de réduire certaines incertitudes.

En savoir plus :

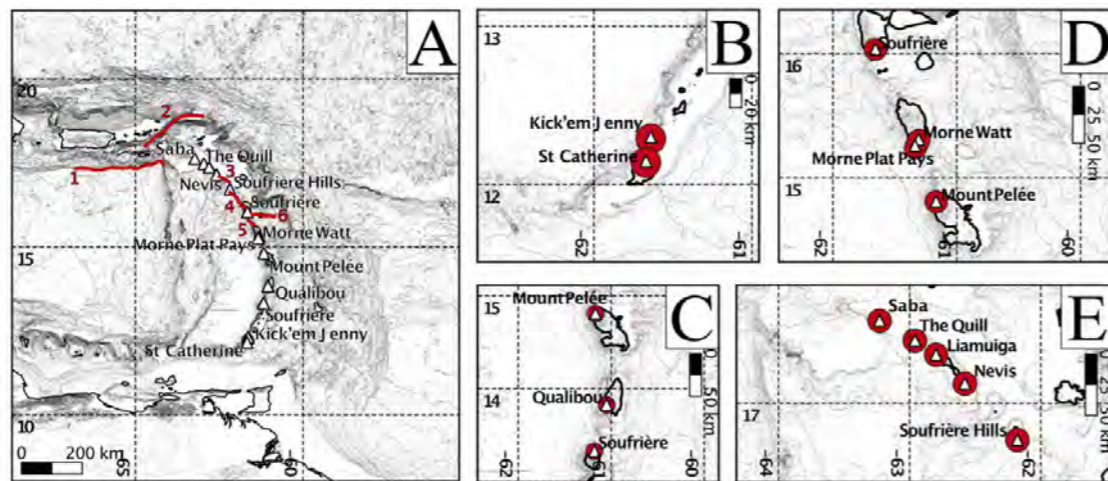
Le rapport ministériel et les données sont disponibles sur le site de l'Oreme: www.oreme.org

Foix, Océane; Mazzotti, Stéphane; Jomard, Hervé (2023). A New Seismic Source Zone. Model for Lesser Antilles Seismic Hazard Assessment - IData. OSU Oreme. (Dataset).

DOI: <https://lc.cx/DOI>



1- Modèles sismotectoniques crustal (vert), du coin mantellique (violet), de l'interface de subduction (rose) et de la plaque plongeante (rose transparent).



2- Modèles sismotectoniques pour les volcans (cercle rouge) et les failles actives (traits rouges). 1 : faille de Muertos, 2 : faille d'Anegada, 3 : faille de redonda, 4 : faille de Bouillante-Montserrat, 5 : faille de Roseau, 6 : faille de Morne Piton.



Inversion - Variation temporelle de la b_{value}

Comment estimer les variations temporelles de b_{value} dans nos catalogues de manière probabiliste ?

Pour analyser la sismicité dans un catalogue, l'une des toutes premières étapes du sismologue consiste à regarder la distribution du nombre de séismes par intervalle de magnitude 1.a. Au-delà d'une valeur de magnitude de complétude (que l'on note M_c), on considère que tous les séismes sont détectés, et cette distribution suit généralement une loi exponentielle décroissante dite loi Gutenberg-Richter dont l'exposant est appelé la b_{value} . Cette b_{value} varie d'un catalogue à l'autre et l'analyse de ses variations spatio-temporelles a suscité beaucoup d'attention ces dernières années. En particulier, elle est un paramètre important pour l'évaluation probabiliste de l'aléa sismique. Une meilleure estimation des variations de cette grandeur et de ses incertitudes est donc nécessaire.

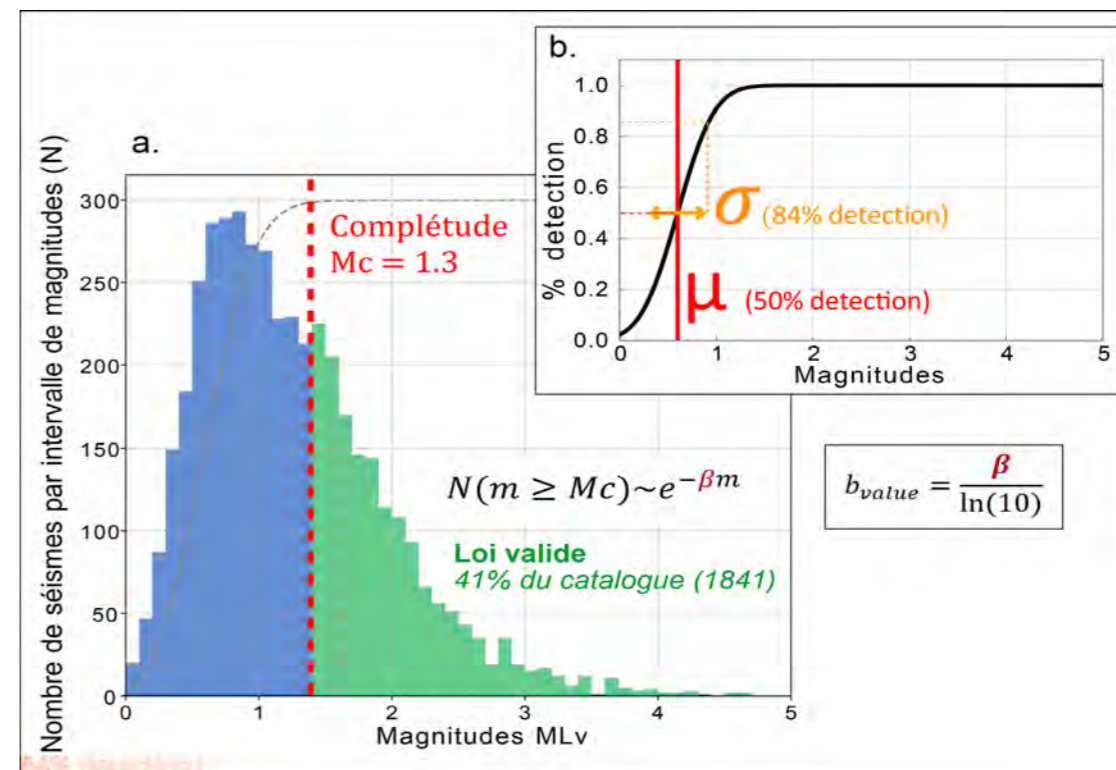
La méthode classique

La méthode fréquemment utilisée dans la communauté pour estimer la b_{value} dépend de la valeur choisie pour M_c 1.a. Ce problème est important pour l'étude des variations temporelles puisque la capacité de détection des séismes de plus faibles magnitudes et donc la valeur de M_c peut également varier épisodiquement (lors de crises sismiques

ou de changements dans le réseau).

Une nouvelle approche

Afin de mieux caractériser la distribution en fréquence-magnitude des séismes, on propose d'utiliser l'ensemble des magnitudes disponibles pour estimer la b_{value} indépendamment de M_c 1 parties bleue + verte. Pour cela, on décrit la diminution dans la détection des séismes de plus faibles magnitudes par une loi de détectabilité 1.b. Cette première étape, appliquée dans un cadre dit bayésien, permet d'obtenir les densités de probabilité de la b_{value} et de deux paramètres de la loi de détectabilité (μ, σ). On peut alors généraliser cette approche pour retrouver les variations temporelles de la distribution fréquence-magnitude en s'intéressant aux variations temporelles des trois paramètres (b_{value}, μ, σ). Le nombre et la position des discontinuités temporelles sont estimées par la méthode de Monte-Carlo par chaîne de Markov (McMCMC). Le cadre bayésien fournit la distribution de probabilité complète à chaque temps, pour la b_{value} , et les paramètres de détectabilité 2



1- a. Distribution du nombre de séismes par intervalle de magnitudes sur un catalogue réel
b. Schéma de la loi de détection en fonction des paramètres μ et σ

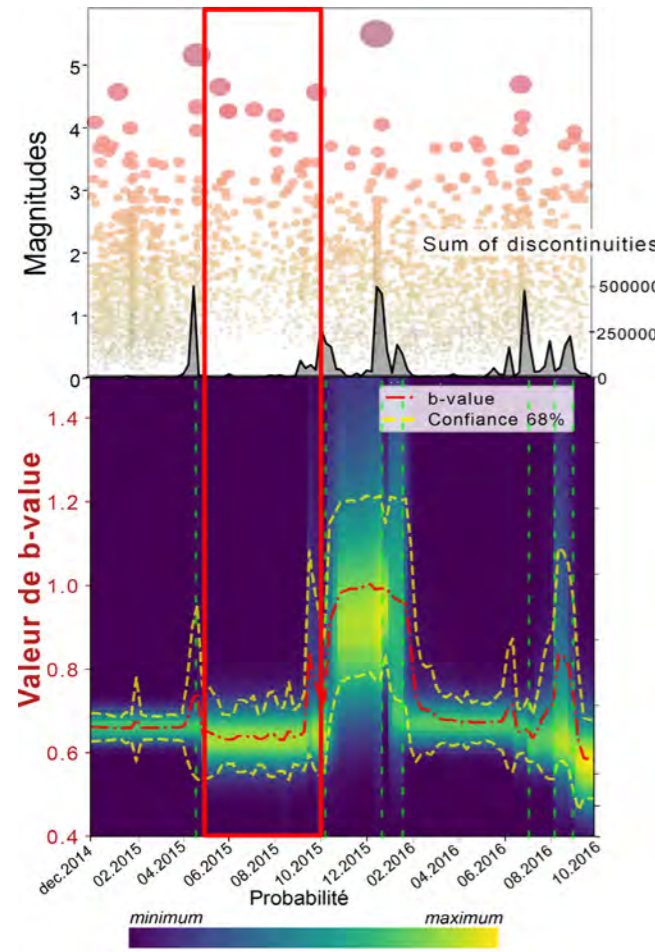
$$b_{value} = \frac{\beta}{\ln(10)}$$

$$N(m \geq M_c) \sim e^{-\beta m}$$

Loi valide 41% du catalogue (1841)

Application

Dans la figure 2, nous présentons l'évolution temporelle des distributions de probabilités de la b_{value} pour un catalogue de sismicité obtenu à l'issue d'une expérience sismologique temporaire réalisée dans le Grand-Ouest Népal entre 2014 et 2016 (HiKNet, SisMob). La probabilité d'avoir une discontinuité temporelle est représentée par la courbe noire sur l'axe x, chaque pic principal (lignes verticales verte) pouvant correspondre à un changement de b_{value} . Des pertes de stations ont eu lieu pendant la mousson entre avril et septembre 2015 (rectangle rouge). Pendant cette période la b_{value} reste constante même si son incertitude augmente. On montre alors qu'on est capable d'observer



2- Evolution temporelle de la b-value avec un intervalle de confiance à 68 %. Le rectangle rouge représente la période où l'on perd jusqu'à 4 stations sur 15 pendant la mousson.

des variations de b_{value} qui sont à priori indépendantes des variations de détectabilité.

L'application de cette nouvelle méthode à des catalogues réels ou expérimentaux dans des contextes de sismicité variés permettra de s'assurer de l'existence de variations significatives de b_{value} et donc de mieux décrypter le sens physique de ses variations temporelles. N'hésitez pas à nous contacter pour tester la méthode sur vos catalogues !

Marine Laporte, Stéphanie Durand, Blandine Gardonio, Thomas Bodin, David Marsan

Un lac pour sismomètre long-terme

Les enregistrements sismologiques instrumentaux et les témoignages écrits nous renseignent sur la sismicité actuelle et historique. Pour remonter plus loin dans le temps il est nécessaire d'exploiter les archives géologiques. Une approche en plein essor consiste à étudier des carottes sédimentaires prélevées dans des lacs. Les lacs présentent en effet l'avantage de constituer des milieux calmes dans lesquels les évolutions climatiques, biologiques et même anthropiques qui affectent leurs bassins versants sont enregistrées en continu. Dans cette sédimentation continue, des dépôts événementiels (ou « event layer » - 1) se démarquent et témoignent de l'occurrence d'événements ponctuels tels que des crues ou bien encore des séismes.

De nombreux lacs ont été étudiés dans et autour des Alpes dans une optique paléosismologique, le lac d'Aiguebelette (Savoie - 2) se démarque toutefois par une sédimentation saisonnière quasi-continue couvrant les 12 derniers milliers d'années (i.e. Holocène) et par un cadre géomorphologique favorisant l'enregistrement d'« event-layer » d'origine sismique. Les travaux qui y ont été menés dans le cadre de la thèse de Mathilde Banjan soutenue cette année ont permis d'identifier une trentaine d'événements pendant l'Holocène dont au moins un événement sismique historique survenu en 1784 en Chartreuse et de magnitude estimée proche de 5.

L'enregistrement sédimentaire lacustre présente cependant l'inconvénient majeur de ne pas apporter d'information directe concernant la localisation de l'événement sismique déclencheur. Aussi, l'étude de la sensibilité du lac aux sollicitations sismiques est un élément clé qui, pour le lac d'Aiguebelette, a permis de proposer l'hypothèse que celui-ci est plutôt sensible à la sismicité survenue en champ proche, c'est-à-dire à quelques kilomètres ou dizaines de kilomètres de distance. A cet égard, la chronique événementielle établie, unique dans les Alpes de par sa continuité temporelle, pourrait constituer un outil précieux en vue de tester notamment les modèles d'aléa sismique.

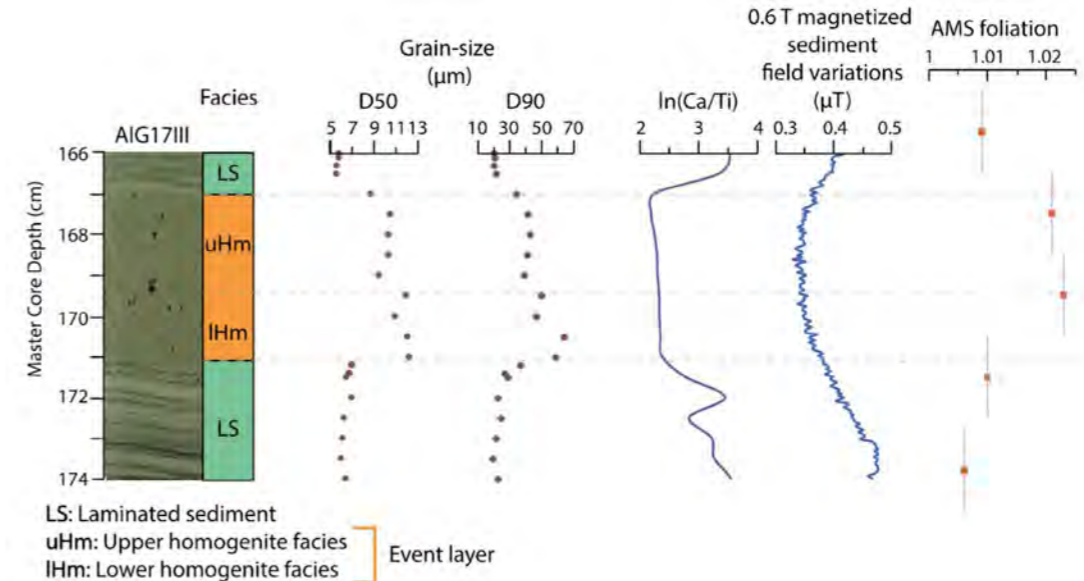
Cette analyse de sensibilité, établie empiriquement, pourrait dans le futur bénéficier des moyens d'enregistrements sismiques sous-marins développés dans le cadre d'Epos-fr, qui permettraient de quantifier beaucoup plus finement la sensibilité du lac et de ses sédiments aux secousses sismiques.

H. Jomard, M. Banjan, C. Crouzet, P. Sabatier, E. Messenger

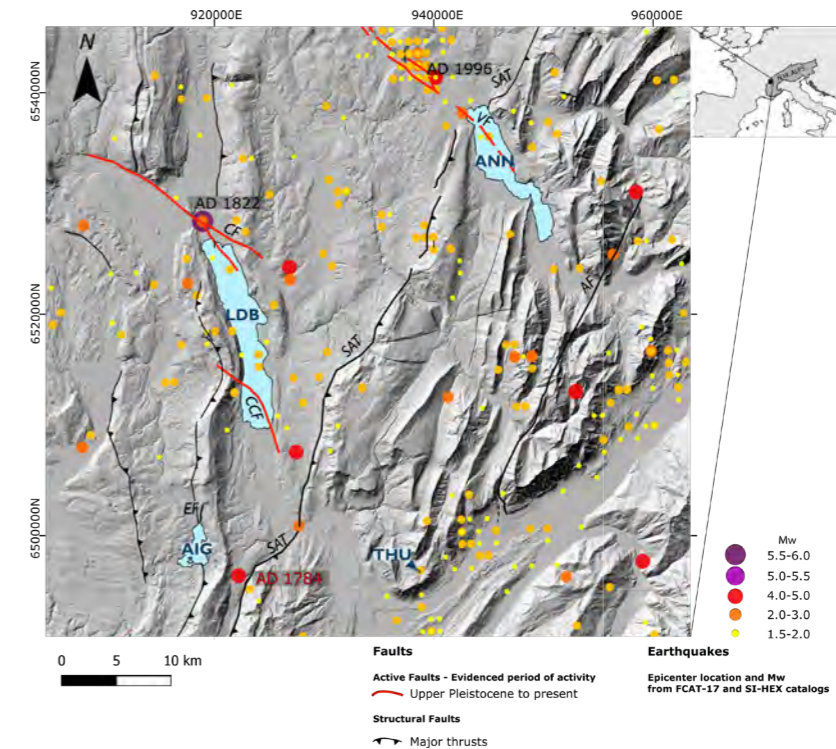
Références :

Banjan, M. (2023). Le signal sédimentaire comme élément de caractérisation de l'activité sismique au front des Alpes, à l'Holocène.

Banjan, M., Crouzet, C., Sabatier, P., Jomard, H., Bajard, ... & Messenger, E. (2022). Did the Younger Dryas to Holocene climate transition favour high seismicity rates in the north-western Alps?. *Sedimentology*, 70(2), 538-568.



1- Photographie de la tranche d'une carotte sédimentaire (8 cm d'épaisseur) montrant les lamines claires et sombres de la sédimentation saisonnière continue (varves - LS) et un dépôt événementiel (event layer - uHm/IHm). Les différents paramètres granulométriques, chimiques, magnétiques correspondant permettent de déterminer l'origine et les processus de mise en place des dépôts associés.



2- Localisation du lac d'Aiguebelette (AIG) et des lacs régionaux étudiés précédemment (Lac du Bourget - LDB; lac d'Annecy - ANN; lac de la Thuille - THU). Localisation de la sismicité instrumentale et historique, dont le séisme de 1784 (magnitude estimée de 4.9 +/- 0.3) archivé dans les sédiments du lac d'Aiguebelette.

Le site web Epos-France est en ligne !

Avec les 1ères Rencontres Epos-France, la publication de ce premier numéro de la Lettre d'information et la mise en ligne du site web, c'est une nouvelle étape concrète de construction et de visibilité de l'IR Epos-France qui s'achève.

Le nouveau site est installé à l'adresse www.epos-france.fr, hébergeant jusqu'ici un site dédié à la participation française à EPOS. Riche de plus de cinquante pages en versions française et anglaise, le site est la vitrine de l'infrastructure et un point d'accès aux données et services qu'elle fournit. Il accompagnera l'évolution de l'infrastructure au fil de l'intégration des nouveaux Groupes thématiques et Actions. Un grand merci à tous les contributeurs et relecteurs des contenus !

Les sites web des Actions spécifiques ont également migré vers le nouveau domaine epos-france.fr. Les gestionnaires de ces sites vont adapter les contenus dans les semaines à venir, si ce n'est déjà fait.

Le bouquet de sites est hébergé sur les serveurs de la Direction des systèmes d'information du CNRS, qui gère aussi, depuis peu, les noms de domaines associés. Des redirections provisoires sont mises en place pour l'ensemble des sites, mais pensez à corriger dès à présent vos signets et liens.

Agenda

Mars

Colloque annuel du G2, sur le thème de la géodésie marine, sous-marine et côtière, du 18 au 20 Mars 2024 à La Rochelle.

Journées annuelles OZCAR du 25 au 28 Mars 2024 à Samatan dans le Gers - [OZCAR](#)

Avril

EGU24, du 14 au 19 Avril 2024 à Vienne – session EPOS « Multi-, inter- and transdisciplinary studies in solid Earth science », date limite des contributions 10 Janvier 2024 - [EGU24](#)

Mai

Workshop NuTS (Numérique pour la Terre Solide), du 27 au 31 mai 2024 à Strasbourg - [NUTS](#)



Photo de couverture : photo de groupe des participants à cette première rencontre Epos-France. ©Ana Tempass

Lettre d'information Epos-France

Directrice de la publication : A. Walpersdorf
 Equipe éditoriale : V. Bertrand, B. Gardonio, C. Perrin, A. Walpersdorf
 Secrétariat de rédaction : V. Bertrand, B. Gardonio, C. Perrin
 Réalisation : G. Del Campo
 Design graphique : C. Emonet
 Impression : Groupe Car, Strasbourg

© Epos-France 2023

