



**HAL**  
open science

## **Physalia : Plateforme HYdrographique pour la Surveillance Altimétrique du Littoral**

Aurelien Pira, Julien Ancelin, T. Coulombier, Denis Dausse, Valérie Ballu,  
Laurent Testut, Lilia Mzali, Alain Gaugue

► **To cite this version:**

Aurelien Pira, Julien Ancelin, T. Coulombier, Denis Dausse, Valérie Ballu, et al.. Physalia : Plateforme HYdrographique pour la Surveillance Altimétrique du Littoral. Lettre d'information Résif, 2021, 20, pp.13-14. 10.5281/zenodo.5764341 . hal-03508116v1

**HAL Id: hal-03508116**

**<https://hal.inrae.fr/hal-03508116v1>**

Submitted on 3 Jan 2022 (v1), last revised 30 Jun 2022 (v2)

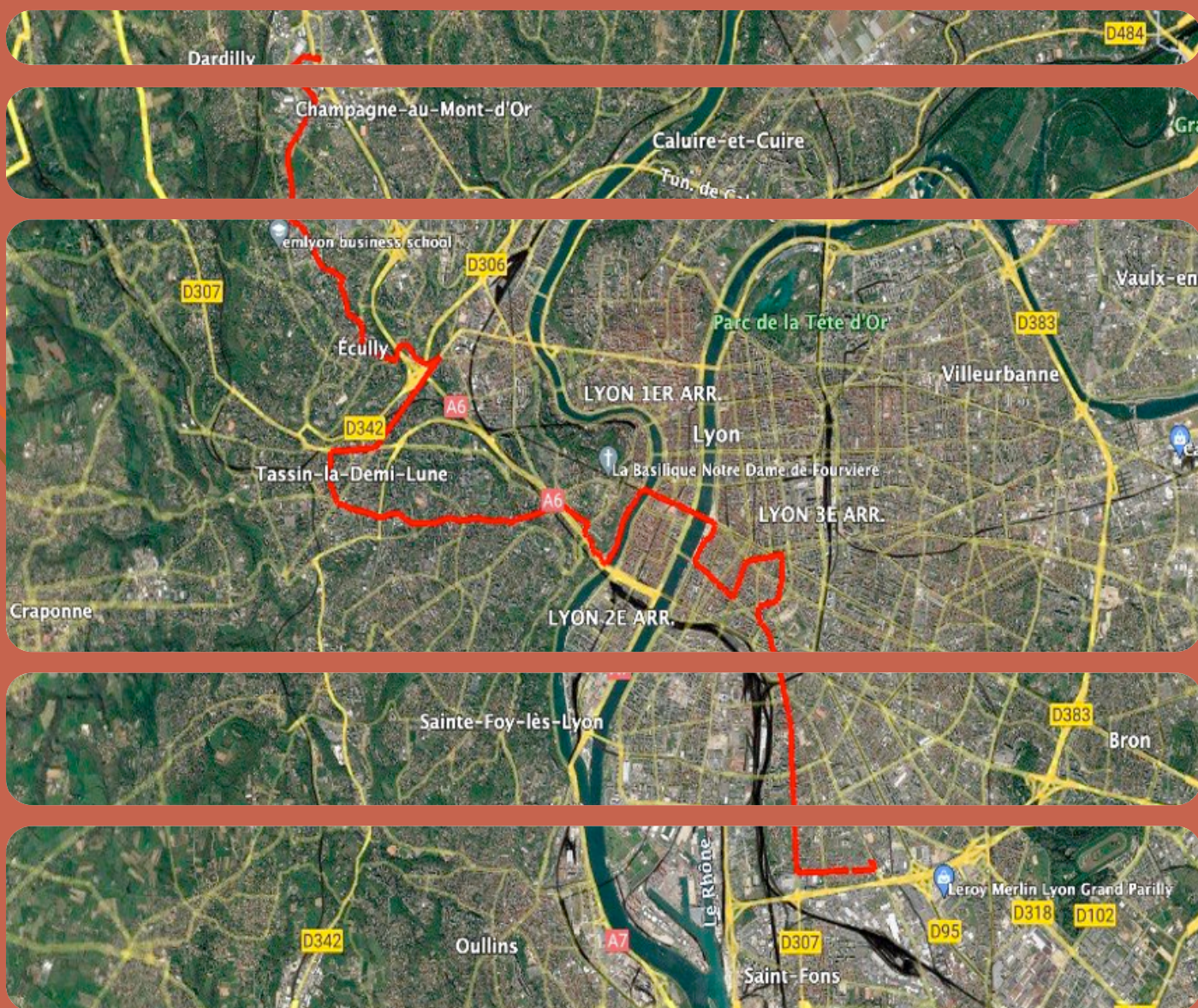
**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Lettre d'information

n° **20**  
Décembre 2021

Réseau sismologique  
et géodésique français



Epos  
**Résif**

[www.resif.fr](http://www.resif.fr)



## sommaire

### Vie de Résif

- Portraits **3**
- Collection de sismogrammes historiques de l'Est **4**

### Recherche

- Monitoring hydro-géophysique dans le Jura **5**
- Détection/localisation séismes par Deep Learning **6**
- Inversions gravimétrie/sismologie **8**
- Edition spéciale de Comptes-rendu Géoscience **9**
- Gravimétrie hybride pour le suivi hydrologique **10**

### Ingénierie et instrumentation

- Interactions sols-structures à Lyon **12**
- Physalia : surveillance altimétrique du littoral **13**

### Évènements

- Rencontres scientifiques et techniques 2021 **15**
- Réunion des sciences de la Terre **16**

L'année 2021 s'achève pour Résif sur l'énorme succès des 5<sup>èmes</sup> Rencontres Scientifiques et Techniques qui se sont tenues à Obernai (Alsace) pendant 4 jours mi-novembre. Presque 180 membres de la communauté Résif ont apprécié de se retrouver lors de cet événement dense et varié, avec des sessions plénières, des présentations posters, des ateliers (au nombre de 15) et une demi-journée dédiée au centenaire du BCSF qui s'est terminée en soirée gala. On sentait qu'une vraie communauté est créée, comme l'expriment certains participants plus loin dans cette newsletter. Même, elle ne cesse de grandir, comme en témoigne l'émergence de la paléo-sismologie lors des Rencontres, suite à la création de l'axe Failles Actives en France (FACT) de l'Action Transverse Sismicité. Encore un immense merci aux comités d'organisation et scientifique qui ont permis le déroulement « sans failles » et l'intensité des échanges scientifiques et techniques.

La prospective scientifique que nous avons pu mener avec ces Rencontres s'avère riche. Comme points forts, on peut retenir les nombreuses applications de méthodes IA/machine learning, particulièrement adaptées aux grandes quantités de données complexes des Sciences de la Terre. Les expériences impliquant la fibre optique se sont également multipliées, et un échange intense a eu lieu lors des ateliers rapprochant les instrumentalistes aux spécialistes de gestion et traitement de (grands volumes de) données. Le bilan de l'EquipEx Résif-Core (projet terminé à la fin de l'année) est très positif car ses objectifs sont atteints : le territoire métropolitain est mieux surveillé avec un seuil de détection des séismes abaissé et un champ de déformation géodésique d'une résolution encore améliorée. Des nouvelles structures de la croûte deviennent visibles grâce aux méthodes du template matching et de relocalisation. Résif réussit donc un très bon équilibre entre l'accomplissement des projets prévus et la prospective vers de nouveaux instruments (DAS, géophysique sous-marine, GNSS low cost) et de nouvelles approches de traitement (IA, template matching).

Ces perspectives et nouveaux développements trouveront leur ancrage dans les projets PIA3+ Marmor et Gaia Data dont Résif est partenaire. Les deux projets sont en cours de démarrage avec de nombreuses actions concrètes prévues dès 2022, comme l'acquisition d'équipements de mesure de fond de mer pour la communauté française dans le cadre de Marmor. Le projet Gaia Data sera fondamental pour le développement du Centre de Données Résif-SI et pour fournir des outils de traitement et analyse des grosses masses de données provenant des DAS/fibres optiques et des réseaux sismologiques Large-N. Des projets ambitieux qui vont contribuer à valoriser et à faire évoluer notre infrastructure de recherche !

**Andrea Walpersdorf, directrice Résif**

## Portraits

### Marianne Métois, nouvelle directrice du Rézag

Marianne Métois est maîtresse de conférences à l'Université Claude Bernard Lyon 1, au sein de l'Observatoire des Sciences de l'Univers de Lyon et du LGL-TPE, depuis septembre 2015. Titulaire d'une thèse de l'Université Paris Diderot menée entre l'IPGP et l'ENS Paris depuis 2012, elle a ensuite été chercheuse post-doctorante au sein de l'INGV de Rome pendant 2 ans. Son travail de recherche porte sur la mesure et la compréhension de la déformation lithosphérique principalement associée au cycle sismique sur les grandes failles actives (marge chilienne, faille de San Andreas) mais également en domaine de faible déformation (Balkans, France Métropolitaine). Elle combine plusieurs techniques de géodésie spatiale (GNSS, InSAR, etc) pour extraire et analyser les signaux tectoniques, anthropiques ou hydrologiques qui peuvent nous renseigner sur les processus physiques à l'oeuvre. Depuis juin 2021, elle prend la suite de Philippe Vernant à la direction du Réseau National GNSS Permanent Résif-Rézag



### Clément Perrin, membre du bureau exécutif Résif

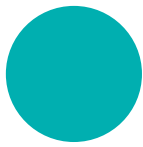


Clément Perrin est Physicien-adjoint au Laboratoire de Planétologie et Géodynamique, et à l'Observatoire des Sciences de l'Univers Nantes Atlantique (Université de Nantes) depuis octobre 2020. Ses travaux de recherche portent sur l'étude des propriétés des grands systèmes de failles et des séismes associés, sur Terre mais aussi sur Mars. Il fait partie de l'équipe en charge du suivi et de l'analyse de la sismicité de la région Grand Ouest en France métropolitaine (ANO-2 Sismologie). Après des études en Géosciences à l'Université de Montpellier et une thèse soutenue en 2014 à Géoazur (Université de Nice-Sophia Antipolis), il poursuit son parcours en postdoc en 2015 au Lamont Doherty Earth Observatory (Columbia University of New York), puis en 2017 à l'Institut de Physique du Globe de Paris dans le cadre de la mission InSight sur Mars. Depuis janvier 2021, il est membre du bureau Résif et participe à la communication interne.

### Blandine Gardonio, membre du bureau exécutif Résif

Blandine Gardonio est chargée de recherche au CNRS au Laboratoire de Géologie de Lyon, Terre, Planètes, Environnement depuis janvier 2021. Elle est sismologue et ses travaux de recherche portent sur l'étude de la sismicité en zone de subduction, notamment au Japon. Elle s'intéresse particulièrement à la micro-sismicité comme marqueur de déformation et au lien entre la sismicité superficielle (0-80km), intermédiaire (80-150km) et profonde (350-700km). Après des études en Géosciences à l'Université Grenoble Alpes et une thèse soutenue en 2017 à ISTERRE (Université Savoie Mont Blanc), elle poursuit son parcours en postdoc en 2017 à l'ENS Paris puis en 2019 au CEA de Bruyères le Châtel. Depuis janvier 2021, elle est membre du bureau Résif et participe à la communication interne..





## La collection de sismogrammes historiques de Strasbourg

Alors que les premiers enregistrements sismologiques réalisés à Strasbourg remontent à 1892, ce n'est qu'en 1900 que la station sismologique de Strasbourg a été officiellement créée dans un bâtiment spécifiquement construit pour la surveillance sismologique. La présence de scientifiques très motivés et actifs dès le début, ainsi que la situation géographique et politique unique de Strasbourg à la fin du XIXe et la première moitié du XXe siècle, ont fait de la ville un point central pour la recherche sismologique et les échanges internationaux.

Une grande variété de sismographes a fonctionné à la station tout au long du 20ème siècle. Un inventaire complet des sismogrammes historiques de la station sismologique de Strasbourg vient d'être terminé et publié (Rivera et al. 2021). Plus de 130 000 enregistrements des instruments Wiechert, Mainka, Galitzin, Peterschmitt, pendule de 19 tonnes, Nikiforov et Press-Ewing couvrant une période allant de 1903 à 1981 sont conservés à l'Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre (Table 1). La plupart des enregistrements sont des originaux (enregistrement sur papier noir de fumée ou papier photographique, et enregistrement à l'encre pour la période la plus récente), cependant, pour les sismogrammes antérieurs à 1930, nous ne disposons que de copies sur microfilms. Nous disposons également d'un inventaire des constantes instrumentales reportées dans les cahiers de station conservés, ainsi que

Instrument	Comp.	Début	Fin	Nb sismogrammes	Type de support
Wiechert	E	Juin 1903	Juin 1968	11 823	microfilm (avant 1931), papier noir de fumée
	N	Juin 1903	Juin 1968	11 829	
	Z	Décembre 1907	Juin 1968	8 910	
Galitzine	E	Janvier 1914	Décembre 1975	18 022	microfilm (avant 1930), papier photo
	N	Février 1914	Décembre 1975	18 028	
	Z	Février 1914	Décembre 1975	17 416	
Mainka	E	Janvier 1920	Mai 1939	954	papier noir de fumée
	N	Mars 1915	Mai 1939	1 142	
19T	E	Janvier 1926	Juin 1968	6 286	microfilm (avant 1934), papier noir de fumée
	N	Janvier 1926	Juin 1968	5 154	
	Z	Septembre 1927	Novembre 1940	2 330	
Nikiforov	E	Février 1944	Juin 1948	1 498	papier photo
	N	Février 1944	Juin 1948	1 494	
Peterschmitt	Z	Juin 1948	Décembre 1975	10 993	papier photo
Press-Ewing	E	Mai 1963	Juin 1981	5 831	papier photo + encre (à partir 1976)
	N	Mai 1963	Juin 1981	5 869	
	Z	Mai 1963	Juin 1981	5 880	
Total				133 459	

1 - Synthèse de l'inventaire des sismogrammes historiques conservés à l'Eost. La collection de sismogrammes des Galitzines, des Nikiforov, du Peterschmitt et des Press-Ewing est très complète à l'exception des périodes des deux grandes guerres. Celle des Wiecherts, du 19 tonnes et du Mainka a subi en 1966 une sélection sévère basée sur la présence d'événements sismiques.

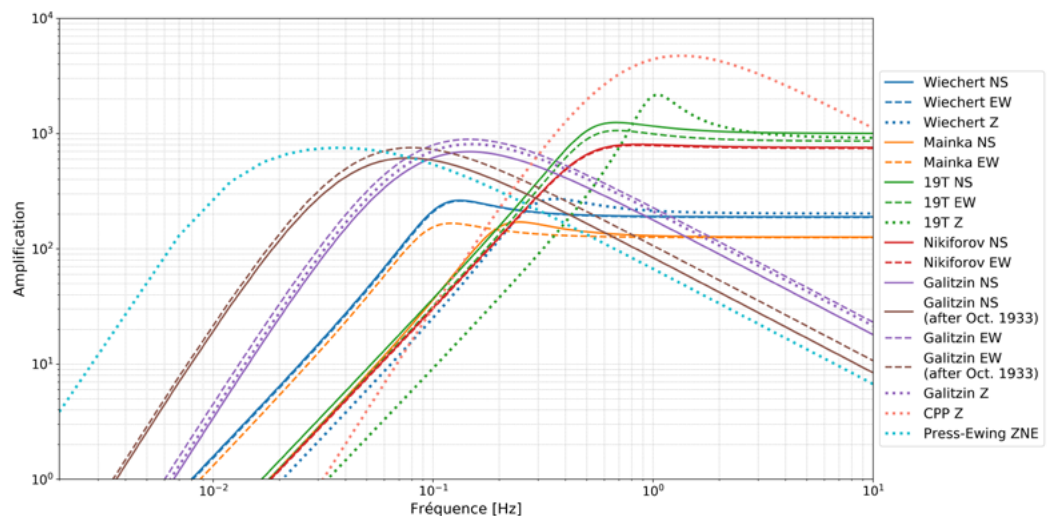
les réponses instrumentales correspondantes (Figure 2).

Des chercheurs du monde entier demandent régulièrement des copies des sismogrammes de la collection pour des événements spécifiques et nous leur fournissons des images scannées.

Sophie Lambotte, Luis Rivera, Julien Fréchet (Eost)

### Référence

Rivera, L., S. Lambotte, J. Fréchet. The historical seismogram collection in Strasbourg. Comptes Rendus. Géoscience, (online 2021), p. 1-19., doi : 10.5802/crgeos.90.



2 - Réponse instrumentale caractéristique des sismographes ayant fonctionné à la station sismologique de Strasbourg (calculée à partir des valeurs moyennes des constantes instrumentales reportées dans les cahiers de station).



# Monitoring hydro-géophysique des réservoirs d'eau souterraine dans le Jura

Les aquifères karstiques représentent un enjeu majeur quant à la ressource en eau, en particulier dans le Jura où 80% de l'eau potable en est issue. L'aquifère karstique de Fourbanne (Doubs) constitue un laboratoire de recherche in-situ exceptionnel pour mieux comprendre le fonctionnement de ces systèmes. Ce karst est majoritairement alimenté par des pertes de ruisseaux et présente un réseau de conduits souterrains bien développé. Sa partie non-saturée est accessible par un puits vertical de 20 m creusé par le groupe de spéléologues de l'ASCD. Depuis fin 2013, l'aquifère bénéficie d'un suivi hydrogéologique continu à l'exutoire et dans la galerie souterraine dans le cadre de l'observatoire Jurassic Karst (OSU Theta - SNO Karst, IR Ozcar).

Des transferts d'eau souterraine complexes ont été mis en évidence au sein du réservoir avec des points de recharge et de perte localisés importants et, en fonction des conditions hydrologiques, une recharge non-négligeable par la matrice calcaire fracturée (Cholet et al., 2017). Les modèles hydrogéologiques suggèrent une variabilité spatio-temporelle des échanges entre le conduit et la matrice qui doivent être précisés.

Ainsi, depuis fin 2018, l'observatoire est agrémenté d'un suivi géophysique continu. Trois stations sismologiques ont été installées en surface et en profondeur permettant de mesurer les flux d'eau et le transport de charge dans la rivière souterraine (Voir figure). Depuis peu, des mesures de température par fibre optique (DTS) sont effectuées dans la zone non-saturée, visant à localiser spatialement les points de recharge et de perte pour mieux

comprendre les échanges entre conduit et encaissant rocheux sous différentes conditions hydrologiques (collaboration J.-P. Malet, Ites-Eost).

L'installation d'un réseau dense de capteurs (parc mobile Résif-SisMob) est prévue fin 2021 sur le bassin versant pour une durée de 4 mois afin d'étudier les transferts d'eau dans le réservoir et sa réponse hydromécanique en période de crue (projet région Bourgogne-Franche-Comté Sismaeuclim).

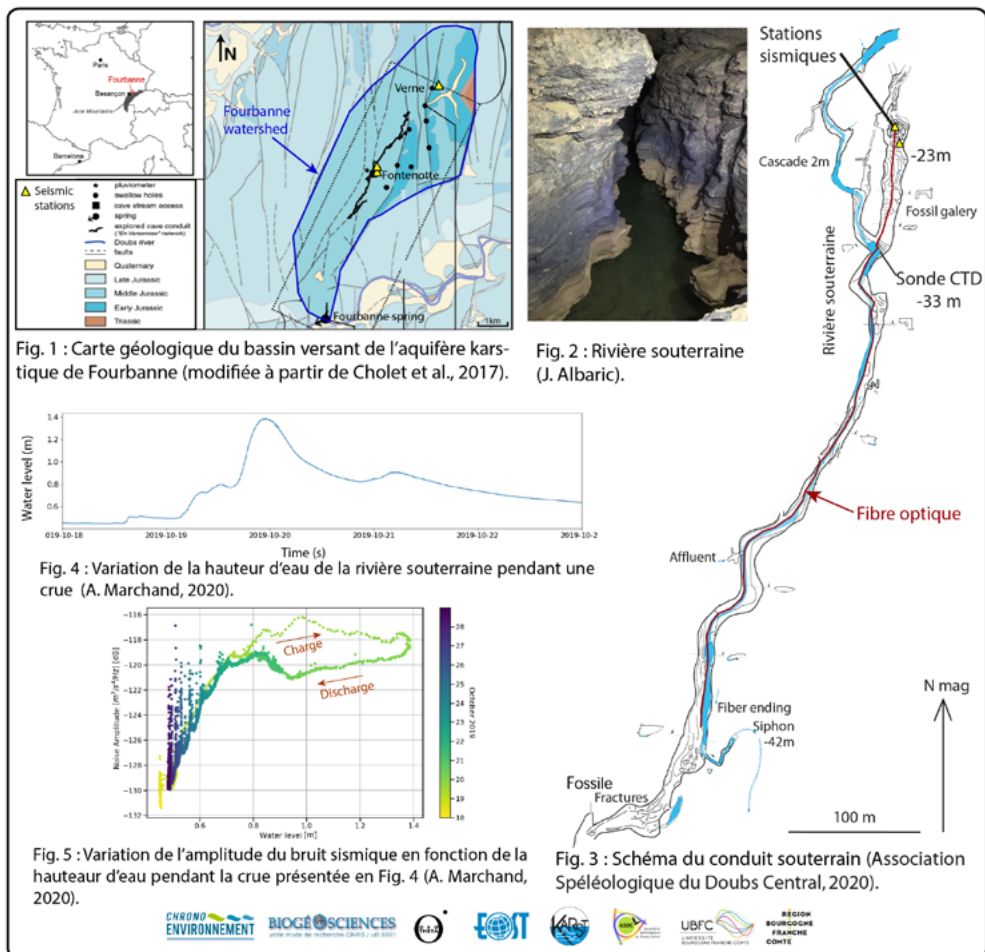
Julie Albaric, Marc Steinmann, Anthony Abi Nader, Jean-Philippe Malet, Benjamin Fores, Anaïs Marchand, Camille Geley, Marine Gros, Kusnahadi Susanto, Gilbert Ferhat, Vanessa Stefani, Anne Boetsch, Claude Fontaine, Hélène Celle, Christian Sue

### En savoir plus

Sismaeuclim : [lc.cx/Mp-Fam](http://lc.cx/Mp-Fam)  
 Projet Fibrokarst : Lettre de l'Eost n°38.  
[lc.cx/Nf8loE](http://lc.cx/Nf8loE)  
 Parc Résif-Sismob : [sismob.resif.fr](http://sismob.resif.fr)

### Références

- Cholet, C., Charlier, J.-B., Moussa, R., Steinmann, M., Denimal, S., 2017. Assessing lateral flows and solute transport during floods in a conduit-flow-dominated karst system using the inverse problem for the advection-diffusion equation. *Hydrology and Earth System Sciences* 21, 3635–3653. [dx.doi.org/10.5194/hess-21-3635-2017](https://doi.org/10.5194/hess-21-3635-2017)
- Marchand A., Etude hydrogéophysique d'un aquifère karstique dans le Jura, Rapport stage M2, 2020



## Détection et localisation de séismes par Deep-Learning (PhaseNet)

### Etude des essaims sismiques Pyrénéens

Les procédures de détection, de localisation et de caractérisation des événements sismiques reposent jusqu'à présent essentiellement sur des critères d'analyse automatique du signal bas niveau (détection de variations d'amplitudes du signal) et sur le travail d'analystes inspectant visuellement les signaux, et effectuant « à l'œil » la caractérisation des sources sismiques (tir de carrière, séisme, explosion, etc). Cependant, avec l'augmentation massive des données à traiter depuis la densifica-

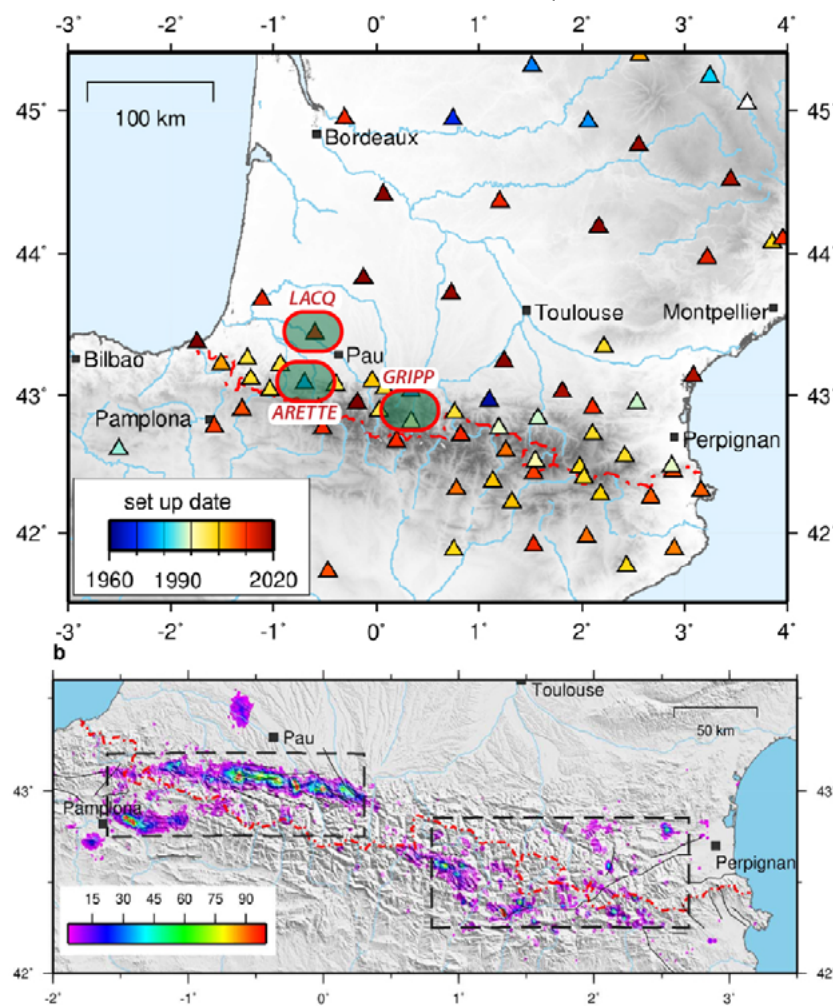
tion du réseau RLBP /RAP, ces procédures doivent être repensées et un fort intérêt émerge pour le développement de méthodes de détection automatique robustes, prenant en compte toute la complexité du signal sismologique. Les techniques de type Deep-Learning (DL) appartiennent à cette catégorie d'algorithmes.

Au-delà de Résif, l'explosion du nombre de capteurs à bas coûts (ex. RaspberryShake) et le déploiement de réseaux denses incitent là aussi à ce développement de méthodes automatiques.

A l'OMP (Observatoire Midi-Pyrénées), nous évaluons la capacité d'un tel algorithme de pointe automatique (PhaseNet, un algorithme de deep-learning supervisé développé par Zhu & Beroza, 2019, à Stanford) à permettre le suivi quotidien de la sismicité sur les stations Résif du Sud-Ouest de la France. Nous investiguons aussi son apport pour l'étude de clusters de sismicité d'intérêt (Figures 1 & 2) pour lesquels des réseaux temporaires ont été déployés depuis 2020. Trois sites Pyrénéens en particuliers ont été instrumentés et étudiés par les personnels de l'OMP pour leur intérêt scientifique : la zone d'Arette à la frontière Pyrénéenne du Béarn, la région de Campan dans les Hautes-Pyrénées et la zone des gisements de gaz de Lacq dans le bassin aquitain.

### Arette, Pyrénées-Atlantiques

La région d'Arette est soumise à une sismicité régulière clustérisée et quasi permanente, comme le rappellent les travaux de Sylvander et al. (2021) basés sur le récent catalogue Sihex-BCSF. Pour discriminer spatialement ces nids de sismicité et tenter d'en comprendre les origines, un réseau de 7 stations disposées en étoile sur une surface d'environ 100 km<sup>2</sup> a été installé dans la région depuis près de 2 ans. Associé aux 3 stations permanentes RLBP / RAP ainsi qu'à 9 RaspberryShake (géophones 3D à bas coût) de l'Université de Pau, et grâce aux méthodes de deep-learning utilisées et développées à l'OMP pour détecter et pointer les événements, ce réseau a permis de localiser dans la région plusieurs milliers de séismes de faible magnitude, améliorant grandement l'exhaustivité du catalogue existant (Figure 2). Un projet d'installation temporaire d'un réseau dense (100 stations espacées d'1 km sur une surface de 10\*10km<sup>2</sup>) dans la



1 - a) Réseau instrumental permanent dans le sud-ouest de la France en 2021. Les essaims instrumentés et étudiés apparaissent en encadrés rouges. b) Densité sismique dans les Pyrénées, catalogue de l'OMP, 1989-2019. D'après Sylvander et al. 2021.

zone est en cours (printemps 2022). Les développements de méthodes de deep-learning pour l'analyse de la donnée sismologique réalisés au sein de l'OMP sont dimensionnés pour le traitement massif de la grande quantité de données produites par ce type d'installation.

### Gripp, Hautes-Pyrénées

En juin 2020, une augmentation majeure du taux de sismicité dans une zone de 400 km<sup>2</sup> au sud-est de Lourdes est observée, et semble corrélée à l'ouverture soudaine d'une cavité [Barréjot, 2020] dans laquelle l'Adour de Payolle (affluent de l'Adour) s'est engouffré. Quatre stations temporaires sont alors installées aux abords de l'essai sismique nouvellement observé pour en assurer le suivi. Traitées en utilisant PhaseNet, les données découlant de cette instrumentation ont permis de détecter près de 2000 séismes sur l'année, et les relocalisations automatiques indiquent la présence de deux essaims distincts, activés de manière asynchrone, à quelques kilomètres du « trou de l'Adour ». La présence et la migration de fluides en profondeur est actuellement étudiée et privilégiée pour expliquer l'occurrence de ces essaims.

### Sislacq2021, la sismicité induite de Lacq

La région de Lacq (Figure 1) est régulièrement secouée par des séismes de faibles magnitudes, les plus importants atteignant des magnitudes autour de 4. Depuis janvier 2021, en collaboration avec le GFZ et l'UPPA, nous y avons déployé un réseau de 10 stations (courtes-périodes) pour une durée de 2 ans. 5 RaspberryShake viendront bientôt compléter ce réseau. L'objectif est de mieux caractériser la sismicité induite par les injections d'eau usée actuellement en cours, et par la déplétion long terme du réservoir suite à son exploitation passée. Dans ce contexte industrialisé, en milieu urbain, les capteurs enregistrent une sismicité constante mais aussi une part importante de « bruits » (résonances de tuyaux, trains, usines, etc) qui perturbent l'analyse des séismes. Lacq est donc un site test intéressant

pour développer et adapter ces méthodes à la présence de bruit fort, afin qu'elles puissent être ensuite réutilisées pour des études en milieu urbain, en contexte anthropique.

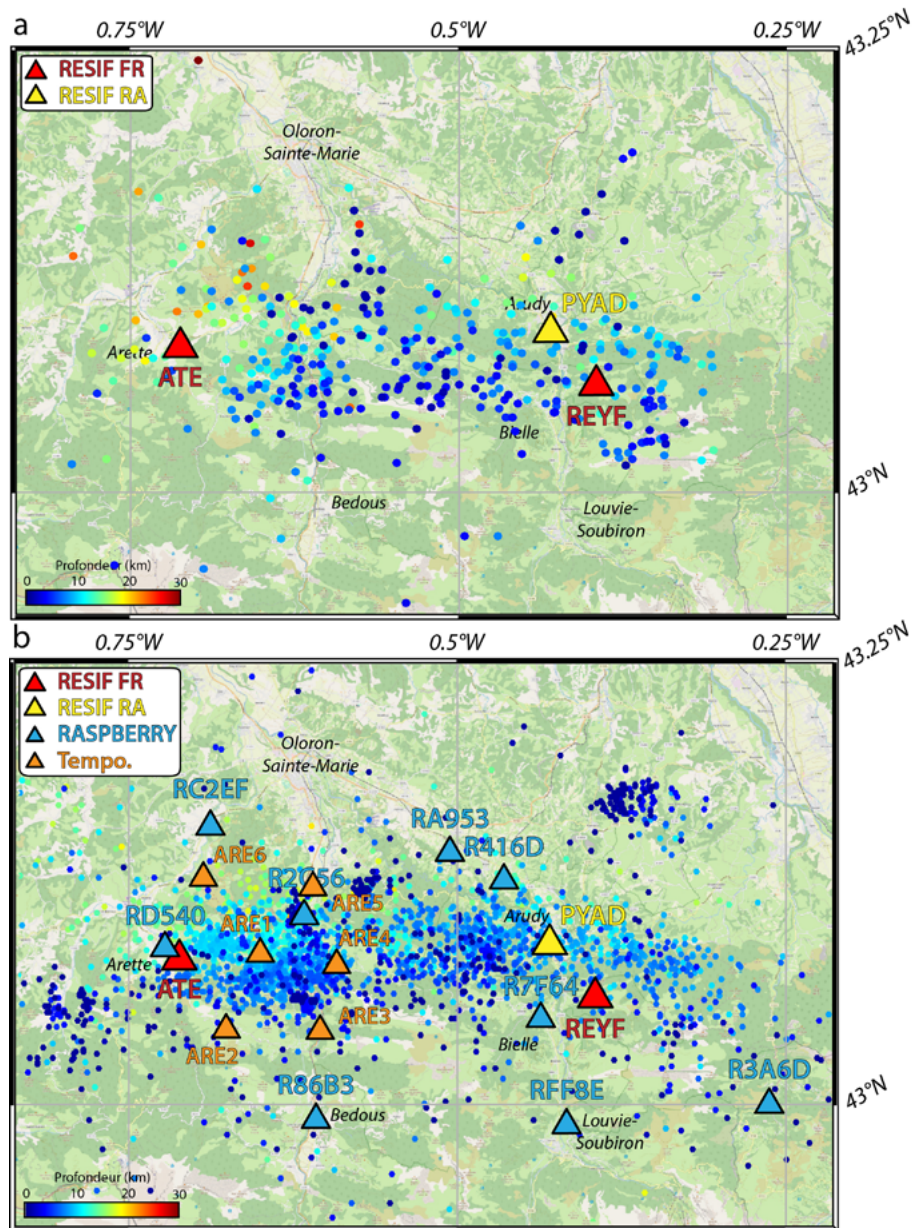
Benoit Derode et le groupe « observations sismologiques » de l'OMP : Sébastien Benahmed, Marie Calvet, Sébastien Chevrot, Alisson Gounon, Frank Grimaud, Jean Letort, Hélène Pauchet, Guy Sénéchal (UPPA), Matthieu Sylvander.

#### En savoir plus :

Sismicité de Gripp : [rssp.irap.omp.eu/Actualites/ProjetCampan.php](http://rssp.irap.omp.eu/Actualites/ProjetCampan.php)

#### Références

- Sylvander et al. 2021. [doi.org/10.5802/crgeos.60](https://doi.org/10.5802/crgeos.60)
- Zhu et Beroza 2019. [doi.org/10.1093/gji/ggy423](https://doi.org/10.1093/gji/ggy423)
- Derode et al. 2021. [hal.archives-ouvertes.fr/RESIF/hal-03446396](https://hal.archives-ouvertes.fr/RESIF/hal-03446396)
- Gounon et al. 2021. [hal.archives-ouvertes.fr/RESIF/hal-03444809](https://hal.archives-ouvertes.fr/RESIF/hal-03444809)
- Letort et al. ; présentation journées Résif, 15 -18 nov. 2021; [rst-resif-2021.sciences-conf.org](https://rst-resif-2021.sciences-conf.org)
- Barréjot A. 2020. [lc.cx/tN8iwM](https://lc.cx/tN8iwM)



2 - Région d'ARETTE : a) Sismicité instrumentale, catalogue RENASS, 2020. b) Idem, obtenue par détection/pointé automatique en intégrant divers réseaux temporaires et permanents. D'après Derode et al. 2021.





## Inversions gravimétrie/sismologie : comment concilier deux observables indépendants à l'échelle de Résif ?

**Les inversions couplées de paramètres, ou coopératives selon la définition de Lines et al. (1988), permettent d'inverser dans un même schéma deux observables indépendants, avec l'objectif de mieux contraindre le ou les modèles qui en ressortent.**

On différencie les inversions conjointes, pour lesquelles on inverse simultanément les deux observables dans un schéma commun (e.g. Zeyen & Achauer, 1997 ; Barnoud et al., 2019), et les inversions séquentielles, pour lesquelles les observables sont inversés successivement et indépendamment, en tenant compte de l'a priori obtenu à l'étape précédente (e.g. Gautier et al., 2019). Qu'elles soient conjointes ou séquentielles, ces inversions coopératives doivent tenir compte du couplage entre les paramètres recherchés (densité et vitesse sismique, densité et résistivité, résistivité et vitesses sismiques...). On emploie soit une loi théorique ou empirique (e.g. Von Frese et al., 1981 ; Coutant et al., 2012), soit on laisse libre ce couplage en utilisant des corrélations ou cross-gradient entre paramètres (Gallardo & Meju 2004, Gao et al., 2019). L'inversion coopérative entre données gravimétriques et sismologiques a été l'une des premières à s'imposer en géophysique, en particulier du fait de la relation linéaire (ou quasi-linéaire) empiriquement observée entre vitesse sismique des ondes P et densité des roches (e.g. Birch 1961, Nafe & Drake, 1963).

Si ces inversions conjointes ont été appliquées à l'échelle régionale ou locale dans le cas de réseaux temporaires en France (Vernant et al., 2002 ;

Dufréchou et al., 2018), aucune inversion sismologique/gravimétrique à l'échelle métropolitaine n'a encore été entreprise, alors même que les données sont à présent disponibles. La récente mise en place du réseau sismologique permanent large bande (170 stations à ce jour) permet d'avoir une couverture du territoire inégalée, et des données sur maintenant plusieurs années (certaines sur plus de 10 ans). La couverture des données gravimétriques sur le territoire français est également excellente et les données terrestres sont toutes disponibles (BGI). Enfin, le récent développement des données gradiométriques<sup>1</sup> satellitaires permet d'atteindre les plus grandes longueurs du signal gravimétriques ainsi qu'une information plus complète de la géométrie des structures en profondeur. Le WP3 de l'ANR FR-Litho3D pilotée par J. Vergne a pour but de réunir ces 3 types de données dans des schémas coopératifs d'inversion. Ce travail s'effectuera principalement en collaboration entre Géosciences Montpellier et le GET (Toulouse), à travers un post-doctorat et une thèse.

Les défis sont nombreux, et il faudra en particulier être vigilant à la compatibilité des données sismologiques et gravimétriques en termes de résolution spatiale, d'échantillonnage et de leur sensibilité respective aux structures. Le rôle des a priori, particulièrement important dans ce type d'inversion, sera également quantifié pour des schémas conjoints et séquentiels. Pour ce faire, des modèles sismiques régionaux, des contraintes d'épaisseurs de croûte obtenues par fonctions récepteurs seront testés et introduits dans les différents schémas d'inversions coopératives. Enfin, nous nous intéresserons au bénéfice et à l'apport des récentes données gradiométriques satellitaires GOCE dans un tel schéma conjoint. Ces données permettent d'avoir une information plus complète de la géométrie des structures, une couverture homogène, mais ne donnent accès qu'aux plus grandes longueurs d'onde du signal gravimétrique (Plasman et al., 2020). En appliquant différentes méthodologies d'inversions coopératives à l'échelle de la France métropolitaine, nous espérons pouvoir focaliser notre intérêt sur des régions où le couplage généralement observé entre densité et vitesse sismique n'est pas forcément suivi. Le rôle respectif des perturbations thermiques, compositionnelles ou structurelles devra être identifié et décorrélié du signal global.

métriques satellitaires GOCE dans un tel schéma conjoint. Ces données permettent d'avoir une information plus complète de la géométrie des structures, une couverture homogène, mais ne donnent accès qu'aux plus grandes longueurs d'onde du signal gravimétrique (Plasman et al., 2020). En appliquant différentes méthodologies d'inversions coopératives à l'échelle de la France métropolitaine, nous espérons pouvoir focaliser notre intérêt sur des régions où le couplage généralement observé entre densité et vitesse sismique n'est pas forcément suivi. Le rôle respectif des perturbations thermiques, compositionnelles ou structurelles devra être identifié et décorrélié du signal global.

Chritel Tiberi, Stéphanie Gautier, Roland Martin, Jérôme Vergne, Eric Beucler, Sébastien Chevrot.

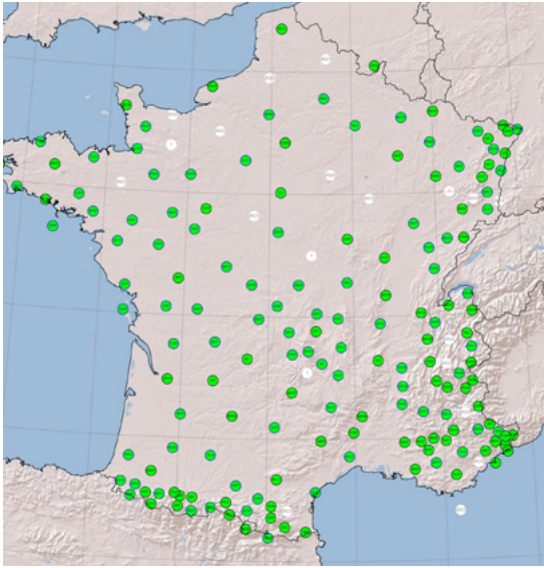
<sup>1</sup> Tenseur des dérivées secondes du potentiel de pesanteur dans les 3 directions spatiales.

Illustrations ci-contre :

- 1- Sismologie (RLBP; J. Vergne)
- 2- Gravimétrie terrestre (Bouguer; BRGM 2009)
- 3- Gradiométrie satellitaire (Tyz; C. Cadio et C. Tiberi)

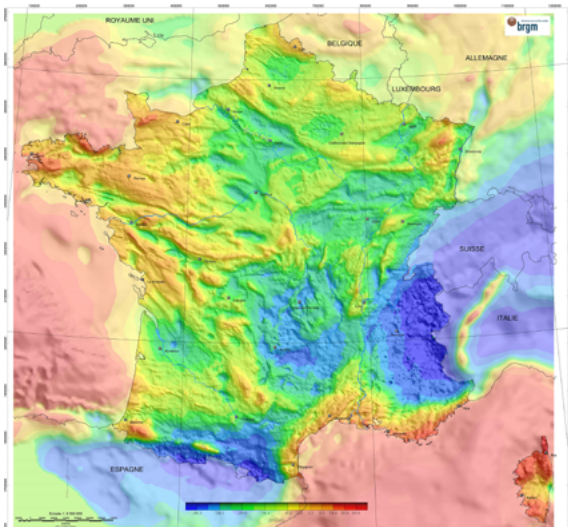
### Références

- Barnoud, A., Cayol, V., Niess, V., Cârloganu, C., Lelièvre, P., Labazuy, P., Le Ménédeu, E., 2019, Bayesian joint muographic and gravimetric inversion applied to volcanoes, *Geophys. J. Int.*, 218(3), 2179–2194, doi.org/10.1093/gji/ggz300
- Birch, F., The Velocity of Compressional Waves in Rocks to 10 Kilobars, Part 2, 1961, *J. Geophys. Res.*, 66, 2199, doi:10.1029/JZ066i007p02199
- Coutant, O., Bernard, M.L., Beauducel, F., Nicollin, F., Bouin, M.-P., et al., 2012, Joint inversion of P-wave velocity and density, application to La Soufrière of Guadeloupe hydrothermal system. *Geophys. J. Int.*, 191 (2), 723-742. doi:10.1111/j.1365-246X.2012.05644.x.



1

- Dufréhou, G., Tiberi, C., Martin, R., Bonvalot, S., Chevrot, S., Seoane, L., 2018, Deep structure of Pyrénées Range (SW Europe) imaged by joint inversion of gravity and teleseismic delay time. *Geophys. J. Int.*, 214, 282-301, doi:10.1093/gji/ggy134.
- Gallardo, L. A. and Meju, M. A. (2004). Joint two-dimensional dc resistivity and seismic travel time inversion with cross-gradients constraints. *Journal of Geophysical Research : Solid Earth*, 109(B3). 192, 212, 213
- Gautier, S., Tiberi, C., Lopez, M., Foix, O., Lallemand, S., Theunissen, T., Hwang, C., Chang, E., 2019, Detailed lithospheric structure of an arc-continent collision beneath Taiwan revealed by joint inversion of seismological and gravity data, *Geophys. J. Int.*, 218, 1, 2019, 586–600, doi:10.1093/gji/ggz159
- J. E. Nafe and C. L. Drake, "Physical Properties of Marine Sediments," In: M. N. Hill, Ed., *The Sea*, 1963, pp. 794-813.
- Plasman, M., Tiberi, C., Cadio, C., Saraswati, A., Pajot-Metivier, G., Diament, M., 2020, From space to lithosphere: inversion of the GOCE gravity gradients. Supply to the Earth's interior study, *Geophys. J. Int.*, 223, 398-419, doi:10.1093/gji/ggaa318
- Vernant, P., Masson, F., Bayer, R., Paul, A., 2002, Sequential inversion of local earthquake traveltimes and gravity anomaly—the example of the western Alps, *Geophys. J. Int.*, 150, 79—90, doi:10.1046/j.1365-246X.2002.01694.x



2

### Edition spéciale BCSF dans comptes rendus géoscience

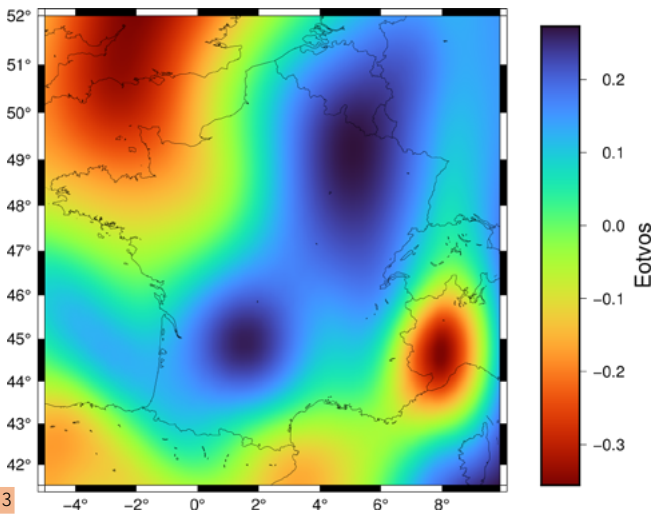
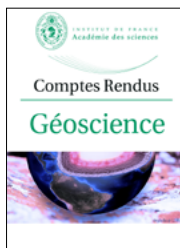
Le BCSF (Bureau Central Sismologique Français) fête ses 100 ans en 2021. Pour célébrer cet anniversaire, et en partenariat avec l'Action Transverse Sismicité Résif, un numéro spécial des Comptes Rendus (de l'Académie des Sciences) - Géoscience sur la sismicité française est en cours de publication, sous la responsabilité éditoriale de Carole Petit (Nice), Stéphane Mazzotti (Montpellier) et Frédéric Masson (Strasbourg).



La question de la sismicité française est revenue sur le devant de la scène de façon prégnante ces dernières années. Les séismes meurtriers d'Italie (2009, Mw 6.1 L'Aquila ; 2016 Mw 6.0 Amatrice et Mw 6.5 Norcia) et les récentes crises sismiques de Mayotte, du Teil et de Strasbourg ont rappelé que la sismicité est un risque naturel non négligeable pour notre pays. De plus, de nouvelles avancées techniques et théoriques ont remis récemment en cause la compréhension classique du lien entre sismicité et déformation en France et ailleurs. La question de l'origine de cette sismicité fait l'objet d'hypothèses diverses étayées par des modèles. Elle est largement discutée par la communauté scientifique. Ce questionnement s'appuie sur de nouvelles mesures rendues possibles par les équipements d'envergure lancés par Résif ces 10 dernières années.

L'ensemble de ces éléments justifie de faire un point sur notre connaissance de la sismicité française, ainsi que sur la façon dont cette connaissance s'est construite. D'où l'idée de ce numéro spécial.

**Numéro spécial en accès libre**  
lc.cx/gFo4oW



3



## La gravimétrie hybride pour cartographier la dynamique du stockage de l'eau dans un bassin versant de montagne

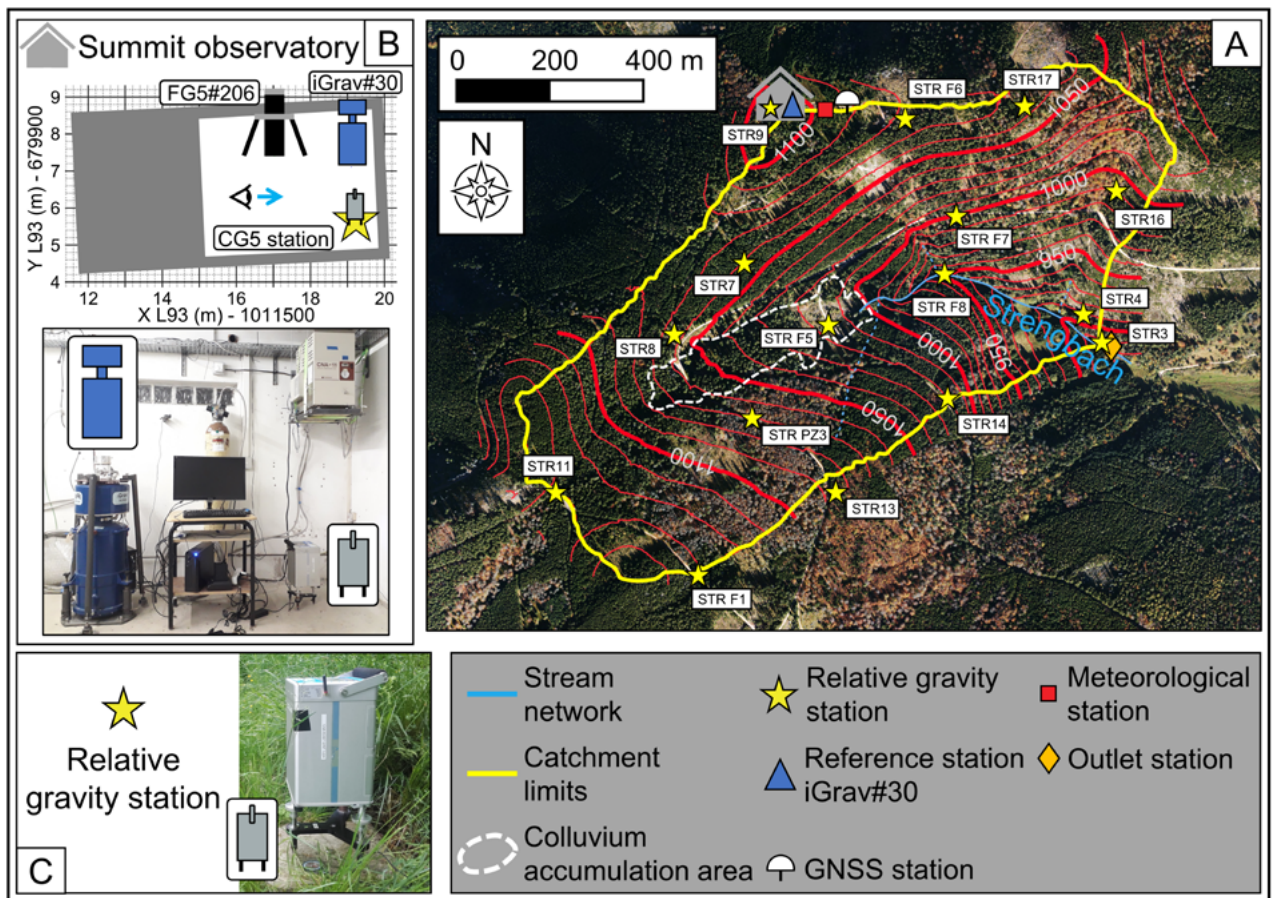
Les hydrosystèmes de montagne contribuent significativement à l'approvisionnement en eau des populations et constituent des écosystèmes avec une riche biodiversité. Ils sont identifiés comme des sentinelles du changement climatique, au sens où ils sont particulièrement vulnérables à de petites perturbations des variables climatiques. Il est donc nécessaire de déterminer leur fonctionnement hydrologique actuel, dans l'optique d'évaluer leur vulnérabilité au changement climatique et de proposer des mesures d'adaptation. Toutefois, du fait d'une grande variabilité des stocks d'eau dans l'es-

pace et dans le temps, le suivi de la dynamique des stocks d'eau au sein des bassins versants de montagne est complexe. Le déploiement de réseaux de mesures in situ est donc indispensable. Parmi les différentes méthodes d'observation in situ disponibles, la gravimétrie est une méthode adéquate car elle permet un suivi direct des variations de stock d'eau à une échelle de mesure intermédiaire (i.e., dans un rayon d'une centaine de mètres autour des stations). Nous avons mis en œuvre un tel suivi gravimétrique sur un réseau de 16 stations avec un pas de 1-2 mois et sur une période couvrant

plus de deux cycles hydrologiques sur le petit (80 ha) bassin versant du Strengbach (Vosges, France).

### Méthode

Le suivi gravimétrique mis en place est dit hybride car il combine: (i) un suivi continu des variations de gravité sur une station de référence assuré par un gravimètre supraconducteur de type iGrav® (instrument bleu, Fig. 1.B) avec (ii) des mesures de gravimétrie relative effectuées avec un gravimètre de terrain Scintrex CG5 (instrument gris, Fig. 1.B) permettant de mesurer les différences de



1—Dispositif de suivi gravimétrique hybride du bassin versant du Strengbach. A) Carte d'instrumentation. B) Intérieur de la station de mesure avec l'emplacement de l'iGrav#30 et de la station de référence pour les mesures relatives. C) Une station de mesure du réseau micro-gravimétrique. Chaffaut, Q., Lesparre, N., Masson, F., Hinderer, J., Viville, D., Bernard, J.D., Ferhat, G., Cotel, S. (2021b). Hybrid gravimetry to map Water Storage Dynamics in a mountain catchment, *Frontiers in Water*. Accepted for publication (2021).

gravité entre les stations du réseau micro-gravimétrique et la référence (Fig. 1.A) pour chaque campagne de mesure. La combinaison des deux types de mesure permet d'obtenir les variations temporelles de gravité sur l'ensemble des stations du réseau.

Les observations gravimétriques sont corrigées de l'effet des marées, du mouvement des pôles, ainsi que des contributions de l'atmosphère et de l'hydrologie continentale, de telle sorte que les variations de gravité résiduelles obtenues résultent exclusivement des redistributions de masse d'eau locales.

## Résultats

On interprète les variations temporelles de gravité observées à l'aide de deux modèles hydro-gravimétriques de complexité croissante. On illustre les résultats obtenus pour 3 stations (STR13, STR F8 et STR F5, Fig. 2.A). Le premier modèle (dit « modèle homogène ») suppose que les variations de stock d'eau sont homogènes spatialement. Dans ce cas, les chroniques de gravité (Fig.

2.A, courbes grises) correspondent au produit de l'admittance topographique (i.e., l'effet gravimétrique d'une lame d'eau d'épaisseur nominale plaquée à la surface, Fig. 2.B) et de la lame d'eau du bassin versant (i.e., le stock d'eau total du bassin versant obtenu en effectuant la différence entre les flux hydrométéorologiques mesurés entrants et sortants, Fig. 2.C). Dans la deuxième approche, les variations de gravité sont modélisées à partir du champ de teneur en eau 3D simulé par un modèle hydrologique distribué à base physique préalablement calibré sur des données de débit et une campagne de résonance magnétique protonique (le modèle NIHM, pour « Normally Integrated Hydrological Model », courbes rouges Fig. 2.A).

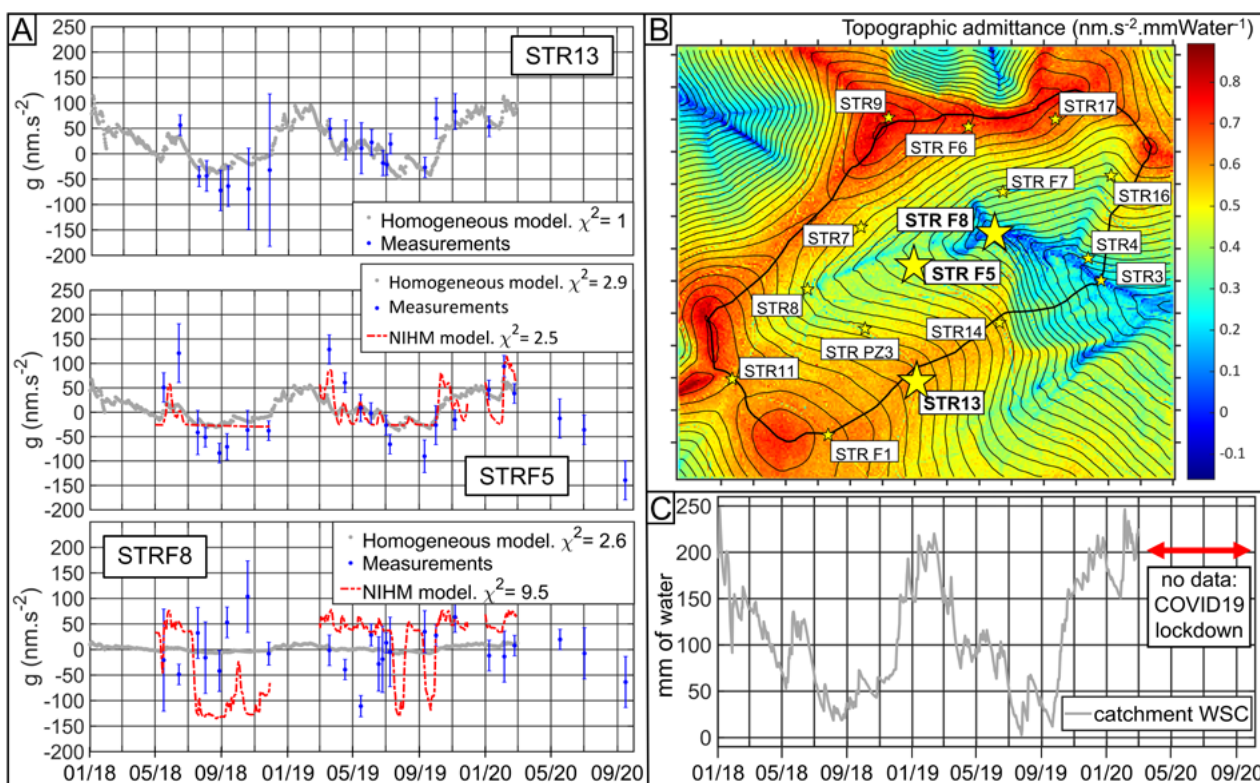
Le modèle homogène ne permet pas de reproduire les variations de gravité observées pour les stations STR F5 et STR F8 (Fig. 2.A), les variations de stock d'eau sont donc hétérogènes spatialement. On met notamment en évidence une zone de stockage préférentielle à proximité de STR F5, au sein d'une zone d'accumulation de colluvions (Fig. 1.A). Le modèle

NIHM ne parvient pas non plus à reproduire les observations gravimétriques (Fig. 1.A) du fait d'une calibration insuffisamment contraignante des paramètres hydrodynamiques du modèle hydrologique. La gravimétrie hybride fournit donc des mesures distribuées indispensables pour contribuer à mieux contraindre les modèles hydrologiques distribués à base physique. D'un point de vue observationnel, cette étude montre ainsi l'apport de la gravimétrie hybride à la compréhension de la dynamique des stocks d'eau en zone de montagne. En outre, des travaux visant à intégrer les observations gravimétriques dans le processus de calibration du modèle NIHM sont en cours et feront l'objet d'une prochaine publication.

Quentin Chaffaut, Nolwenn Lesparre, Frédéric Masson, Jacques Hinderer.

## Référence

Chaffaut, Q., Lesparre, N., Masson, F., Hinderer, J., Viville, D., Bernard, J.D., Ferhat, G., Cotel, S. (2021). Hybrid gravimetry to map water storage dynamics in a mountain catchment, *Frontiers in Water*. doi: 10.3389/frwa.2021.715298



2—Résultats. A) séries de gravité observées (points bleus) et modélisées (courbes grises et rouges). B) Carte d'admittance topographique. C) Variations du stock d'eau total du bassin versant du Strengbach. Chaffaut, Q., Lesparre, N., Masson, F., Hinderer, J., Viville, D., Bernard, J.D., Ferhat, G., Cotel, S. (2021b). Hybrid gravimetry to map Water Storage Dynamics in a mountain catchment, *Frontiers in Water*. Accepted for publication (2021).



## Etude des effets d'interactions sol - structure sous sollicitation sismique à l'échelle de l'agglomération lyonnaise

La propagation des ondes sismiques induit du balancement et du glissement au niveau des bâtiments ainsi que des efforts internes au niveau des fondations (Pecker, 1986 ; Belmouden et Lestuzzi, 2006). Soumis à des forces d'inertie, les bâtiments tentent de préserver leur équilibre en transmettant des efforts à leur sol support. Le couplage du système de fondation des bâtiments avec le terrain est ainsi à l'origine de l'interaction sol – structure inertielle (ISS) dans le cadre de laquelle la structure devient une source d'oscillations dynamiques. Longtemps confondus avec les effets de site, les effets de ville ont été mis en évidence lors de la destruction sélective des bâtiments de Mexico en 1985. Généralement favorables au dimensionnement des structures sous séismes, ces effets doivent être pris en compte lors de la conception d'ouvrages sujets à des déformations importantes comme les tours.

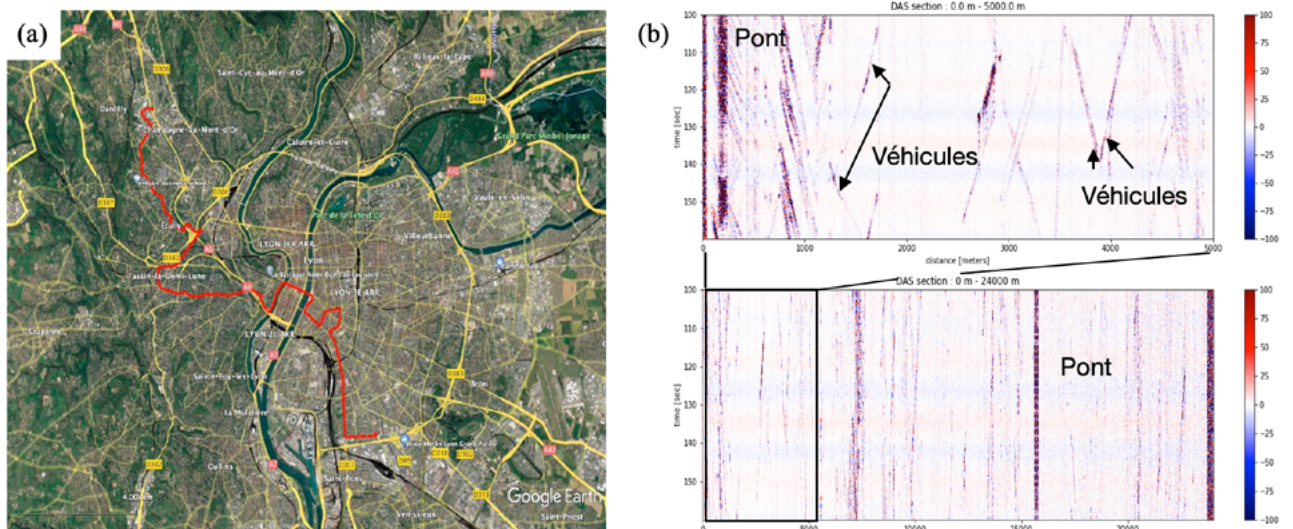
Les effets d'ISS entre les éléments de fondation et le sol peuvent être modélisés à l'aide d'oscillateurs analogiques (Guéguen et al., 2002 ; Brû-

lé et Caira, 2017). D'un point de vue expérimental, les enregistrements de vibrations in-situ fournissent les caractéristiques modales des ouvrages et s'avèrent ainsi être des outils fondamentaux pour évaluer la vulnérabilité du bâti existant (Farsi et Bard, 2004). Toutefois, la mise en œuvre de telles mesures est délicate dans les zones urbaines du fait de la présence de nombreux réseaux et acteurs économiques. Contrairement aux mesures ponctuelles avec capteurs conventionnels, les signaux enregistrés en permanence par les systèmes d'écoute sismique distribuée DAS (Distributed Acoustic Sensing) pourraient fournir d'autres possibilités observationnelles, en donnant accès à une multitude de données expérimentales le long des réseaux de fibre optique urbains.

La capacité du DAS à détecter et caractériser les effets ISS sera explorée dans le cadre du projet Distributed Acoustic Sensing Auvergne Rhône-Alpes (DASARA). La technique du DAS consiste à effectuer des mesures de délais de pulse laser sur des câbles optiques pour estimer leur

déformation. Les premières données acquises au sein de la métropole de Lyon ont été obtenues à partir d'une route optique longue de 24 km s'étendant de Limonest à Vénissieux (figure 1). Cette route optique parcourt divers terrains géologiques, une grande variété de quartiers urbains (résidentiel plus ou moins dense, tours de faible, moyenne et grandes hauteurs) ainsi que plusieurs ouvrages d'art (ponts). La densité de mesure est équivalente au déploiement de 4800 capteurs conventionnels. Ce jeu de données sera d'intérêt pour les secteurs d'activité de l'ingénierie parasismique et de la géotechnique en permettant une meilleure compréhension des mécanismes d'ISS. Parallèlement, le suivi de la réponse dynamique de certains ouvrages dans le temps apportera de nouvelles données pour évaluer et suivre l'évolution de l'état de santé des structures urbaines.

Julie Rodet, Stéphane Brûlé, Destin Nziengui, Philippe Guéguen, Olivier Coutant, Raphael Rollet, Jérôme Gran-ger, Olivier Depret, Meghan S. Miller, Benoit Tauzin



1 (a) Route optique utilisée pour la première acquisition de données DAS (24 km). Source des données : Grand Lyon THD et Métropole de Lyon. (b, bas) 60 secondes de données sur les 24 km de fibre. (b, haut) Zoom sur les 5 premiers kilomètres de fibre. Traitement et images effectués par D. Nziengui (Febus Optics/Université Grenoble Alpes).

**En savoir plus**

hal.archives-ouvertes.fr/RESIF/hal-03464139

Le projet scientifique est financé par la région Auvergne Rhône-Alpes et implique des collaborateurs académiques de l'Université Claude Bernard Lyon1, ISTerre Grenoble, et l'Australian National University, ainsi que des partenaires industriels : Grand Lyon THD, société locale délégataire de la Métropole de Lyon qui exploite la fibre optique pour le compte de la Métropole de Lyon, Febus Optics, société basée à Pau qui fabrique des dispositifs optoélectroniques de mesure s'appuyant sur les fibres et la société Ménard basée à Chaponost (Rhône), spécialisée dans le développement de solutions d'amélioration et de renforcement des sols. Le projet est aussi soutenu par la métropole Grand Lyon

et la société Pulsalys, incubateur et accélérateur d'innovations Deep Tech de Lyon et St-Etienne.

Dates du projet : du 18/02/2020 au 19/06/2025.

**Références**

- Belmouden, Y. & Lestuzzi, P. (2006). Évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments existants en Suisse. Rapport de Recherche, École Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- Farsi, M. N. & Bard, P. Y. (2004). Estimation des périodes propres de bâtiments et vulnérabilité du bâti existant dans l'agglomération de Grenoble. Revue française de génie civil, 8(2-3), 149-179.
- Guéguen, P., Bard, P. Y. & Chávez-
- García, F. J. (2002). Site-city seismic interaction in Mexico city-like environments: An analytical study. Bulletin of the seismological society of America, 92(2), 794-811.
- Pecker, A. (1986). Comportement des fondations sous sollicitation sismique. Revue française de géotechnique, (37), 29-39.
- S. Brûlé and F. Cuiru (2017). Bases de l'interaction sol-structure sous séisme - représentation analogique de l'interaction inertielle. Techniques de L'ingénieur

## Physalia : Plateforme HYdrographique pour la Surveillance Altimétrique du Littoral.

Bien que l'utilisation des marégraphes reste encore la technique couramment utilisée pour la mesure du niveau de la mer à la côte, plusieurs expériences ont montré l'intérêt des bouées GNSS appliquées à cet usage, notamment dans des zones où l'utilisation de marégraphes traditionnels est rendue difficile. Cette solution est en théorie onéreuse, car utilisant des récep-

teurs GNSS coûteux, mais c'est sans compter sur l'arrivée des matériels à faibles coûts et des logiciels Open Sources.

**Structure et caractéristiques**

Les bouées Physalia apportent une solution concrète au déploiement d'instruments fiables et évolutifs, tout en limitant les coûts de dévelop-

pement et d'utilisation. Les bouées sont construites autour d'une platine centrale réalisée en impression 3D, trois bras équipés de flotteurs ainsi que d'une quille lestée. Cette configuration leur apporte une excellente stabilité tout en permettant un transport aisé avec une masse totale par dispositif avoisinant les 7 Kg.

Le choix du récepteur GNSS a été porté sur la puce u-blox F9P



Bouées Physalia - Crédits : Julien Ancelin, INRAE



bi-fréquence et multi-constellations. Il est associé à une antenne multi bandes DA910. La réception des corrections et l'envoi des données dans une base distante sont assurés par une liaison 4G.

L'ensemble des logiciels nécessaires au fonctionnement de la bouée sont centralisés sur un Raspberry Pi ZéroW.

Les bouées utilisent la librairie RTKlib pour l'enregistrement des données brutes GNSS ainsi que pour leurs localisations par Cinématique temps réel. Les corrections sont obtenues par le réseau de stations GNSS collaboratif Centipède qui est en libre accès.

Les bouées embarquent une batterie d'une capacité de 20 000 mAh suffisante pour des levés journaliers. Il est également possible d'utiliser un circuit de recharge secteur ou photovoltaïque pour une utilisation plus longue en marais.

### Performances

Des essais ont été réalisés à proximité du marégraphe permanent de l'île d'Aix (Charente-Maritime). Les données obtenues ont été filtrées dans le but de s'affranchir de l'effet des vagues. Le tableau ci-dessous

reprend l'ensemble des paramètres statistiques mesurés.

Les différences observées, notamment durant la période de flot, ont été interprétées comme étant liées aux paramètres hydrodynamiques de la région. Les courants de flots importants de direction ouest-est, présents lors de l'expérimentation, ont alors pu provoquer un phénomène de convergence de l'eau au pied du marégraphe, entraînant une légère surcote. Par ailleurs, des phénomènes de résonance peuvent avoir lieu au pied de la jetée, particulièrement exposée à la houle. Les bouées ont également pu subir un léger enfoncement lié à la tension des lignes d'amarrage.

Les résultats obtenus restent toutefois concluants et montrent la capacité des bouées Physalia à effectuer des mesures précises du niveau de la mer avec des différences moyennes entre les valeurs relevées par les bouées et le marégraphe comprises entre 0,25 et 0,97 cm pour les valeurs obtenues en RTK et entre 0,57 et 1,04 cm pour les valeurs obtenues en post-traitement. L'erreur quadratique moyenne calculée sur les données obtenues en post-traitement est comprise entre 1,93 et 2,12 cm. Ces résultats sont du même ordre de grandeur que ceux obtenus par

André et al. (2013) et sont en adéquation avec les standards de la marégraphie.

Les bouées Physalia ouvrent de nouvelles perspectives pour l'étude du niveau de la mer et des marais littoraux, et notamment pour des usages de surveillance. Leur faible coût et leurs bonnes performances favoriseront une multiplication des dispositifs et des déploiements massifs permettant l'usage des bouées GNSS pour des études de topographie dynamique à fine échelle spatiale.

A. Pira, J. Ancelin, T. Coulombier, D. Dausse, V. Ballu, L. Testut, L. Mzali, A. Gaugue

### En savoir plus

Physalia : [physalia.centipede.fr](http://physalia.centipede.fr)  
 librairie RTKlib : [rtklib.com](http://rtklib.com)  
 Centipède : [centipede.fr](http://centipede.fr)

Bouée	Coefficient de détermination $R^2$	Erreur moyenne absolue (cm)	Écart-type des différences (cm)	RMSE (cm)
<b>Valeurs RTK</b>				
INRAE 1	0.9995	0.25	2.73	2.75
LIENSS 1	0.9996	0.97	2.87	3.03
LIENSS 2	0.9996	0.53	2.33	2.39
<b>Valeurs PPK</b>				
INRAE 1	0.99974	0.66	1.85	1.96
LIENSS 1	0.99976	0.57	1.84	1.93
LIENSS 2	0.99971	1.04	1.85	2,12

Valeurs statistiques calculées sur les différences entre les données filtrées

## 5èmes Rencontres scientifiques et techniques Résif : micro-trottoir



Les 5e rencontres scientifiques et techniques Résif se sont tenues à Obernai (Bas-Rhin) du 15 au 18 novembre 2021. Premier événement majeur pour la communauté après la longue période de crise sanitaire qui a contraint le RAP à annuler sa biennale 2020, ces rencontres ont attiré près de 180 participants. L'Eost organisait cette édition de quatre jours dont le programme incluait une quinzaine d'ateliers et une demi-journée spéciale Centenaire du BCSF. Plutôt qu'un compte-rendu, voici quelques impressions recueillies durant l'événement.



**Hélène (ingénieure)** : Le fait marquant de ces rencontres, pour moi, est le plaisir qu'ont les participants à se retrouver et la densité des échanges qui en résultent (au-delà du programme, très dense lui aussi). La soirée anniversaire du BCSF était très réussie !

**Alvaro (CNAP)** : Je suis impressionné par le nombre de participants et étonné par la faible participation de la communauté géodésique.

**Caroline (ingénieure en entreprise)** : Les Rencontres Résif permettent de discuter avec les membres de la communauté académique. Il serait

intéressant d'y développer l'appliqué et les liens entre le milieu académique et les entreprises.

**Alisson (doctorante en 3e année)** : En tant que doctorante, c'est la 1ère fois que je suis en contact, à la fois scientifiquement et humainement, avec la communauté sismologique de toute la France. Je me rends compte de la diversité des connaissances et compétences que cela implique.

**Jean-François (chercheur CNRS)** : Les échanges durant ces Rencontres Résif sont très riches à tous points de vue. La présence, nouvelle dans Résif, de la paléo-sismologie illustre le fait que la communauté s'enrichit, notamment en termes d'expertises, de disciplines et de thématiques.

**Aude (post-doctorante)** : Je suis impressionnée par le nombre de participants. Malgré des séances posters un peu courtes et un programme dense, découvrir la diversité des thèmes permet de sortir de notre domaine. C'était très agréable de rencontrer la communauté dans cette bonne ambiance.

**Didier (ingénieur BRGM)** : C'était vraiment très important de se retrou-



Crédits photos : V. Bertrand

ver après cette période de Covid. J'ai beaucoup apprécié la diversité des thèmes : cela permet de sortir de notre périmètre habituel.

**Julie (Maître de conférences)** : Je suis très contente de retourner en conférence et de retrouver la communauté. J'ai collecté durant ces quelques jours des idées de nouveaux projets et collaborations. Les ateliers sont également utiles et agréables pour discuter en petits groupes sur des sujets précis.



### Etudiants de l'Eost

**21 étudiants de Master d'excellence de l'Eost (qui suivent à la fois le cursus de l'école d'ingénieur et un master Sciences de la Terre et des Planètes, environnement) ont participé à la journée du mercredi qui incluait une session « Imagerie des structures crustales et lithosphériques », inscrite dans leur cursus.**

**Arnaud** : j'ai apprécié l'atelier RAP, qui m'a permis de voir comment la communauté travaille et échange.

**Gaël** : être immergé dans un monde très différent de ce dont on a l'habitude était une belle expérience.

**Pauline** : le plus intéressant pour moi a été la diversité des thèmes traités.





Cela élargit la perspective par rapport aux thèmes que l'on voit en cours.

**Emma** : L'atelier paléo-sismologie a montré qu'il y a plusieurs approches pour avancer sur un problème et que les chercheurs en discutent et collaborent pour le résoudre. La session poster a été rassurante car les doctorants ont l'air heureux. Ça donne envie de faire de la recherche.

**Elise** : J'ai pu voir la science en train de se faire. Par exemple, dans l'atelier RAP, on discute du meilleur appareil à utiliser sur le terrain. Je n'imaginais pas qu'on pouvait se poser ce genre de question.

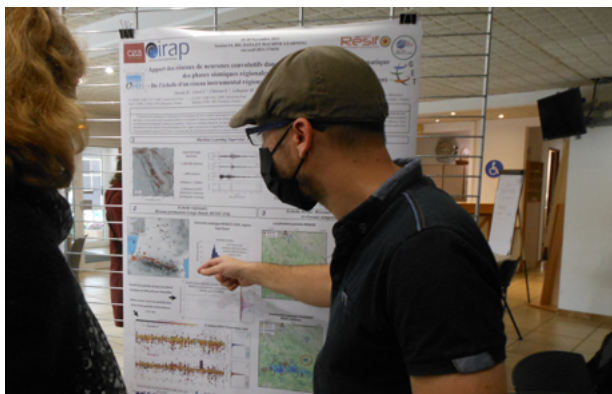
**Loretta** : J'ai bien apprécié de découvrir que les chercheurs communiquent et partagent. Ils ne travaillent pas chacun dans son coin.

**Tifenn** : La séance posters m'a permis de discuter avec des doctorants et j'ai découvert qu'ils sont passionnés. En participant à l'atelier paléo-sismologie, j'ai vu les interactions entre chercheurs, l'entraide et le partage d'idées pour résoudre les problèmes concrets et faire avancer la science. Ça donne envie d'appartenir à ce monde.

Propos recueillis par V. Bertrand

#### En savoir plus sur les rencontres

[rst-resif-2021.sciencesconf.org](http://rst-resif-2021.sciencesconf.org)



## 27e Réunion des sciences de la Terre

Résif était présent à la 27e Réunion des Sciences de la Terre à Lyon, qui a réuni du 1er au 5 novembre plus de 1000 participants. Dans le cadre d'une table ronde, l'infrastructure et ses apports pour les Sciences de la Terre ont été présentés et discutés, avant d'aborder les activités de l'Action transverse sismicité pour améliorer la connaissance et la compréhension de la sismicité française.

Concernant l'Action transverse sismicité, deux points ont été plus particulièrement discutés : le déploiement de l'axe Failles actives France (FACT) sur l'ensemble du territoire métropolitain et l'utilisation des cartes de déformation obtenues à partir des champs de vitesse GNSS.

#### En savoir plus sur l'évènement

[rst2020-lyon.sciencesconf.org](http://rst2020-lyon.sciencesconf.org)

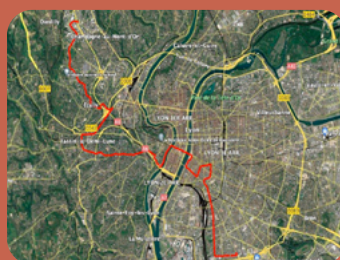


Photo de couverture : Route optique utilisée pour la première acquisition de données DAS (24 km).  
Source des données : Grand Lyon THD et Métropole de Lyon. Fond de carte Google Earth.

Lettre d'information Résif

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

© Résif 2021

