



LA LETTRE DE L'EOST

N37 FÉVRIER 2021

LETTRE D'INFORMATION
DE L'ÉCOLE ET OBSERVATOIRE
DES SCIENCES DE LA TERRE
eost.unistra.fr



École et observatoire

des **sciences de la Terre**

de l'Université de Strasbourg

et du 

SOMMAIRE

Réorganisation physique de l'Eost **3**

Formation

Enseigner l'IA en géophysique à l'Eost **4**Premier anniversaire d'HydrogéolABS **5**Publication pour les enseignants **6**

Observatoires

Labelisation du SNO ISDeform **7**Numérisation des archives du BCSF **8**Parc national d'instruments Emmob **9**

Recherche

Electromagnétique 3D en Alsace **10**Gaïa Data, Imagine², Marmor **11**Saturation partielle et stabilité des sols **12**Analyse isotopique des molécules organiques **13**Géothermie profonde à Strasbourg **14**Campagne Sismaore aux Comores **15**

Création de l'Institut Terre et

Environnement de Strasbourg - ltes **16**

CHÈRES ET CHERS COLLÈGUES,

Ce nouveau numéro de la lettre de l'Eost présente l'émergence et l'aboutissement de nombreux projets qui témoignent de notre vitalité : la livraison prochaine de notre nouveau bâtiment de recherche, prêt à accueillir le nouvel Institut Terre et Environnement de Strasbourg (ltes) résultant de la fusion de nos deux anciens laboratoires (Lhyges et IPGS), la mise en place de nouveaux enseignements (intelligence artificielle, hydrogeolabs), l'émergence d'un nouveau service national d'observation (ISDeform) dont l'Eost est partenaire, le succès à l'appel d'offres Equipex...

Sa parution en temps et en heure ne doit néanmoins pas cacher qu'en ce début d'année 2021, une immense lassitude nous a progressivement gagnés. C'est vrai tout autant du côté des étudiants que des personnels.

En septembre, nous étions très heureux de revenir travailler dans nos laboratoires ou sur le terrain, d'enseigner de nouveau devant les étudiants et de les emmener en stages de terrain. Malheureusement cela n'a pas duré. Dès la fin octobre, l'enseignement en présentiel a été interdit (alors qu'il était autorisé dans les BTS et les CPGE...). Immédiatement nous avons repris l'enseignement en distanciel, avec une technicité augmentée par rapport au printemps. Nous espérons tous qu'en janvier ce serait fini et qu'ensuite tout cela ne serait qu'un mauvais souvenir. Il n'en a rien été. J'ai même l'impression que c'est pire, car depuis début janvier, chaque semaine amène son lot de directives nouvelles : accueillir les étudiants fragiles par groupes de 10, faire les TP en présentiel, accueillir les premières années en demi-jauge pour les TD (une place sur deux occupée dans les salles) et enfin, pour le 8 février, accueillir tous les étudiants 20% du temps. Toutes ces directives sont très louables car elles ont pour objectif de sortir les étudiants de leur isolement et d'éviter le décrochage. Malheureusement elles ne tiennent pas compte de nos limites, en terme de locaux et d'enseignants. Ni les uns ni les autres ne peuvent se multiplier, sans compter les étudiants, dont certains, en raison de difficultés financières, ont rendu leur logement et ne veulent plus du présentiel !

L'ensemble des responsables des filières d'enseignement de l'Eost ainsi que le service scolarité font le maximum pour satisfaire les demandes et besoins de chacun tout en privilégiant l'intérêt général, mais que c'est difficile ! Je les remercie ici pour leur investissement sans faille.

Frédéric Masson, directeur de l'Eost



RÉORGANISATION PHYSIQUE DE L'EOST RUE DESCARTES

La construction de l'extension du bâtiment de l'Eost situé rue Descartes a commencé il y a plusieurs années pour accueillir sur un seul site l'ensemble des activités de recherche et d'observation de l'Eost et permettre aux laboratoires expérimentaux et analytiques de bénéficier de locaux plus modernes et aux normes de sécurité actuelles. Ce nouveau bâtiment est l'un des volets du projet G2EI (Géosciences, Eau, Environnement, Ingénierie) partagé avec l'Engées, l'autre étant la migration des activités d'enseignement de l'Eost à la Manufacture des tabacs.

Ce nouveau bâtiment sera livré au premier semestre 2021, quasiment simultanément avec la création du nouvel Institut Terre et Environnement de Strasbourg (ltes - UMR7063 - Université de Strasbourg-CNRS-Engées). En effet, cette nouvelle unité mixte de recherche qui résulte de la fusion du Laboratoire d'Hydrologie et de Géochimie de Strasbourg (LHyGes) et de l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg (IPGS), a démarré le 1er janvier

2021. Les deux laboratoires de recherche de l'Eost n'en font désormais plus qu'un.

Il ne reste plus maintenant qu'à déménager. Cela se fera en trois temps. Le premier déménagement concerne les équipes actuellement situées rue Descartes qui migrent dans le nouveau bâtiment. Il s'agit principalement de l'équipe 'Sismologie' de l'ltes, des observatoires sismologiques de l'Eost et de l'ensemble des électroniciens de l'ltes et de l'Eost. Le second déménagement concerne le regroupement physique de certaines équipes au sein de l'ancien bâtiment rue Descartes (équipes 'Géophysique Expérimentale', 'Dynamique Globale' et 'Déformation Active' de l'ltes). Enfin, le troisième déménagement, le plus important, concerne l'ensemble des personnels installés actuellement rue Blessig (équipes 'Biochimie isotopique et expérimentale', 'Transfert dans les hydrosystèmes continentaux' et 'Géologie Océans Lithosphère Sédiments' de l'ltes, ainsi que l'OHGE) qui investiront leurs nouveaux locaux dans l'ancien et le nouveau bâtiment rue Descartes. Ce dernier

déménagement sera le plus compliqué, car il faudra transférer l'ensemble très conséquent des laboratoires expérimentaux et analytiques de la rue Blessig. Entre chaque phase de déménagement, une remise au propre des bureaux libérés sera réalisée avant qu'ils ne soient réoccupés.

Ce regroupement à la fois institutionnel et géographique conduit donc à la création d'un pôle de recherche unique en Sciences de la Terre et de l'Environnement, qui permettra une meilleure visibilité et une attractivité plus forte auprès des étudiants et jeunes chercheurs.

Frédéric Masson, Séverine Rosat

Photo > [1] Le nouvel ensemble de bâtiments Eost © S. Rosat, 26 janvier 2021

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION Frédéric Masson

REALISATION Véronique Bertrand

IMPRESSION Imprimerie DALI / Unistra

PHOTO DE COUVERTURE Acquisition magnétotellurique en Ethiopie © C. Doubre.

LETTRÉ D'INFORMATION
DE L'ÉCOLE ET OBSERVATOIRE
DES SCIENCES DE LA TERRE

N37 FÉVRIER 2021

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EN GÉOPHYSIQUE ENSEIGNÉE À L'EOST

L'abondance de données numériques en géosciences (sciences de la Terre, sciences de l'environnement, géomatique) aujourd'hui facilement accessibles car gratuites telles que des flux de données satellitaires, ou des flux de données de capteurs géophysiques (sismologie) ou environnementaux (chroniques hydrométéorologiques) fait que les chercheurs, les entreprises, et les administrations sont de plus en plus fréquemment amenés à traiter et à utiliser ces données. Cet accès facilité à des masses de données se développe avec les mouvements de l'Open Data (ouverture des données publiques) et de l'Open Science (ouverture aux données de la science sur des entrepôts de données certifiés). Ces données sont par définition massives (en termes de volume), complexes, diverses (multimodales), et mises à jour fréquemment, nécessitant de développer des compétences en calcul massif et en Intelligence Artificielle, en particulier pour l'automatisation de tâches par l'apprentissage machine et la fouille de données, pour en extraire des informations pertinentes (statistiques avancées, reconnaissance de formes, de motifs, analyses prédictives). Le fait que l'essentiel des spécialistes et professionnels en IA formés à ce jour sont

issus de filières informatiques diminue leur employabilité directe par les entreprises de géosciences et de géomatique. Former « nos » propres spécialistes doit permettre de créer un profil original utile aux débouchés de nos étudiants.

Les compétences des étudiants de l'Eost en Master sciences de la Terre et des planètes, environnement (STEP) et en école d'ingénieur et de la Faculté de géographie et d'aménagement en Master observation de la Terre et géomatique ont permis de développer l'unité d'enseignement (UE) spécifique « Développer la pratique de l'Intelligence Artificielle (IA) et des données massives en Géosciences ». Cette UE est financée par l'AMI Idex* Formation 2019. Elle est placée en Master 2 (semestre 9) et en 3e année d'école d'ingénieur et s'appuie sur un Environnement Numérique d'Apprentissage (en cours de finalisation), correspondant à des capacités de calcul intensif hébergées au Data-Centre de l'Université de Strasbourg en accès facilité pour les composantes partenaires.

En donnant une formation pointue en IA adaptée aux géosciences, ce projet s'inscrit dans la volonté de l'université de développer les sciences des données dans une optique interdisciplinaire. Ainsi les enseignements théoriques ont été réalisés par des enseignants en informatique alors que les enseignements pratiques ont été construits autour d'applications disciplinaires (observation spatiale de la Terre/télé-détection, sismologie, hydrologie) présentées à tous les étudiants quelles que soient leur formation. Ceci a permis de présenter la transversalité des méthodes d'IA adaptées à tout type de problème disciplinaire et d'échanger sur les meilleures solutions existantes afin de traiter les données des géosciences. L'UE est aussi pré-professionnalisante hors du monde universitaire car les étudiants ont appris des savoir-faire concrets comme l'accès à un serveur de calcul distant, le traitement de données massives/big data, les méthodes d'apprentissage machine, statistiques avancées, savoirs-faire en forte demande à l'heure actuelle.

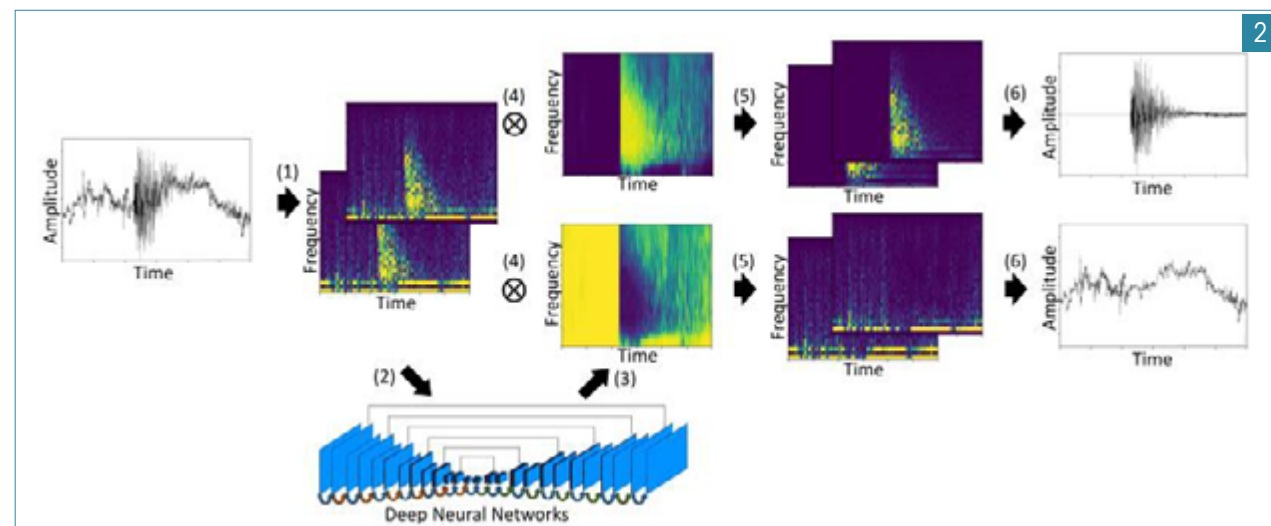
Clément Hibert Jean-Philippe Malet (Eost), Anne Puissant (Faculté de géographie)

Enseignants : C. Wemmer, G. Forestier, J. Weber (informatique) et C. Hibert, J.-P. Malet, R. Wenger, A. Puissant (enseignements pratiques)

*AMI Idex : Appel à manifestation d'intérêt de l'Institut d'Excellence de l'Université de Strasbourg pour les formations

Figure > [2] Zhu, W., M. S. Mousavi, and G. C. Beroza (2018). Seismic signal denoising and decomposition using deep neural networks. arxiv.org/abs/1811.02695

Figure > [2] Zhu, W., M. S. Mousavi, and G. C. Beroza (2018). Seismic signal denoising and decomposition using deep neural networks. arxiv.org/abs/1811.02695



2



3

PREMIER ANNIVERSAIRE DU PROJET HYDROGEO LABS

Il y a un an, nous vous présentions les objectifs et la structuration du projet Idex formation HydroGeoLABS (Lettre de l'Eost n°34). Quelles ont été les étapes du déploiement d'HydroGeoLABS en 2020 ?

Avec l'aide des services administratifs de l'Eost et du Lhyges, l'ensemble des acquisitions planifiées pour alimenter les quatre LABS a pu être réalisé durant l'année 2020. Ces acquisitions et les premières activités réalisées sont détaillées ci-dessous.

Le LABS expérimental s'appuie sur la plateforme de recherche Sceres, située à Cronenbourg, qui a bénéficié d'un nouveau revêtement de surface non métallique permettant la réalisation de TP de géophysique. Une première session de TP s'est déroulée avec les 32 élèves de 3ème année de la filière ingénieur Eost, les 20 et 21 janvier derniers (voir photos ci-contre). Ces TP ont été encadrés par Jean-François Girard, Nolwenn Lesparre (CNRS) et deux doctorants Monica Aquino Guerra et Rohianuu Moua (Ites). Frédéric Delay proposera aux étudiants de l'IUT Louis Pasteur une présentation du potentiel de Sceres pour étudier l'hydrodynamique des écoulements souterrains au printemps.

Le LABS numérique a été doté de 30 licences flottantes du logiciel multi-physiques Comsol, installées sur un serveur à l'Engées en attendant le déménagement à la manufacture (projet G2EI), ce qui a permis la conception d'un projet en mécanique de sol sur le glissement du sol sous l'action d'une pluie intense. Ce projet inédit développé par Marwan Fahs a été suivi fin 2020 par les 120 élèves de 2ème année de l'Engées. Comsol a également été utilisé pour la modélisation des processus d'écoulement souterrain et de transfert de polluant dans les aquifères avec les étudiants en Master Hydro (Engées - Eost / 12h / 10 étudiants) et des étudiants de 3ème année de l'école d'ingénieurs de l'Eost. Plusieurs unités d'enseignement seront enrichies avec des activités reposant sur ce logiciel dès la prochaine rentrée notamment pour le projet hydrogéologie en première année

à l'Engées ou pour l'imagerie électrique sur un aquifère pour les élèves de l'Eost.

Le LABS déployable a été doté fin 2020 de capteurs du niveau piézométrique, températures, et conductivité et de pompes pour étudier la dynamique et qualité des eaux souterraines. Cet équipement viendra renforcer l'unité d'enseignement « Transport de contaminants » qui a réuni pour la première fois en octobre dernier les étudiants de la spécialité Isie du master Sciences de la Terre et des planètes, environnement, de la voie d'approfondissement « Hydrosystèmes » de l'Engées, et de l'IUT Louis Pasteur. Les groupes composés par ces trois formations ont pu successivement concevoir un protocole d'échantillonnage sur le bassin expérimental de Rouffach (eaux de surface et souterraines, sols et sédiments d'une zone humide), puis réaliser les prélèvements et enfin les analyser grâce au LABS analytique. Cette activité a été pilotée par Jérémy Masbou avec le soutien de Maria Prieto Espinoza (doctorante Ites), Benoît Guyot et Gwenaél Imfeld (CNRS). Ce quatrième LABS offre une capacité analytique des polluants dans les eaux et les sols et s'appuie sur la plateforme analytique d'Ites sur les micropolluants et sur les capacités analytiques de l'IUT sur les métaux. Ce LABS offrira dès ce printemps une capacité d'analyse élargie aux molécules organiques polaires émergentes et aux produits de dégradation de pesticides grâce à l'acquisition fin 2020 d'une chromatographie liquide couplée à un spectromètre de masse.

Le déploiement des activités pédagogiques d'HydroGeoLABS va se poursuivre en 2021 en s'appuyant sur le dédoublement des TP et TD, et le distanciel en attendant un retour à la normale pour les sorties sur le terrain.

Jean-François Girard (Eost), Jérémy Masbou, Marwan Fahs et Sylvain Payraudeau (Engées)

Vidéo du TP à Rouffach en octobre 2020 : www.youtube.com/watch?v=00Bp8p_pk64



Photos > TP plateforme Sceres © D. Satchenko (Engées)

[3] Vue d'ensemble des 4 activités avec, de gauche à droite, les 4 ateliers du TP hydrogéophysique : tomographie électrique, mesures RMN, imagerie radar et mesure hydrologique (essai "Porchet").

[4] Mesure de la porosité et de la perméabilité d'un échantillon de sable par RMN à bas champ.

[5] Mise en place d'un faisceau d'électrodes pour imager le sous-sol par tomographie de résistivité électrique.

Rappel : HydroGeoLABS est l'un des projets lauréat de l'appel d'offre Idex Formation Structuration 2019 de l'Université de Strasbourg. Ce projet a également été soutenu financièrement par l'IPGS, le Lhyges et l'Engées. Il regroupe des enseignants chercheurs de l'Eost, de l'Engées, de l'IUT Louis Pasteur et de la faculté Physique-Ingénierie. Ce projet vise à favoriser la manipulation directe des concepts et des techniques dans le domaine des eaux souterraines, tout en facilitant le décloisonnement disciplinaire et la construction de projets communs entre les différentes formations du site strasbourgeois autour de la ressource en eau. Ces trois objectifs sont déclinés autour de quatre pôles d'activités : les LABS.



UNE PUBLICATION SUR LES MARGES PASSIVES À DESTINATION DES ENSEIGNANTS

Une synthèse des innovations scientifiques dans le domaine des marges passives vient d'être publiée par des membres de l'équipe GéOLS dans la revue *Géochronique*. Un article à destination des professeurs de collège et lycée... voire plus.

L'enseignement des marges passives occupe une place significative du programme de Sciences de la Vie et de la Terre au lycée. A la rentrée 2019, ce programme a été actualisé pour intégrer plusieurs avancées scientifiques majeures des deux dernières décennies. Le hors-série n° 1 de décembre 2020 de la revue *Géochronique*, publiée par la Société géologique de France, résume et vulgarise ces avancées scientifiques dans divers domaines des sciences de la Terre afin d'aider les enseignants à adapter leurs cours.

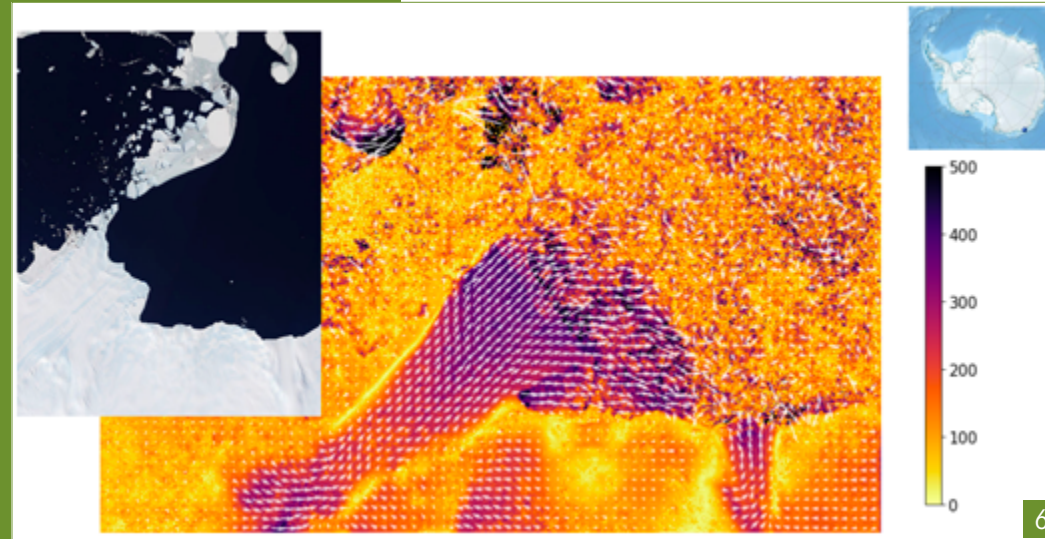
Dans ce contexte, Pauline Chenin, Quentin Boesch, Gianreto Manatschal et Simon Tomasi (équipe GéOLS de l'Ifes) ont rédigé une synthèse de la connaissance actuelle des marges.

Cette synthèse revient entre autres sur la distinction entre marges "pauvres en magma" et marges "volcaniques". Elle décrit les différentes morphologies de marges passives en fonction de la chronologie relative entre activité magmatique et amincissement crustal, et en fonction du "budget magmatique" disponible. Elle expose les processus de d'amincissement de la croûte continentale lors du rifting, aborde les notions de rhéologie de la lithosphère, de transformations physico-chimiques liées au rifting, et souligne l'importance des failles de détachement à faible pendage par rapport aux failles normales dans les processus d'amincissement crustal. Enfin, elle évoque l'aspect tridimensionnel des systèmes de rift, ainsi que les perspectives économiques et environnementales liées à l'exploration des marges distales.

Pauline Chenin

Référence : Chenin, P., Boesch, Q., Manatschal, G., & Tomasi, S. (2020). Enseigner les marges passives : un aperçu des innovations scientifiques des deux dernières décennies ; *Géochronique*, Hors-série 1 ; p 6-22.

Page web du hors-série : <https://lc.cx/d81EniFkQ>



Illustrations >

[6] Exemple de services web à la demande pour le calcul de champ de vitesse à partir de séries temporelles d'images satellitaires Copernicus Sentinel-2. Le service GDM-OPT est issu d'un travail collaboratif de plusieurs laboratoires dans le cadre du pôle de données ForM@Ter. La partie cliente est localisée à l'IPGP, la partie calcul est localisée à l'East.

[7] Champs de déplacement obtenus sur le glacier de l'Astrolabe (Antarctique) sur la période 2017-2020 à partir de données satellitaires Sentinel-2.

LABÉLISATION DU SERVICE NATIONAL D'OBSERVATION ISDEFORM EN TERRE SOLIDE

Dans le contexte actuel de demande d'information en temps quasi-réel sur les catastrophes naturelles (séismes, glissements de terrain, activité volcanique, effondrements) et de suivi en continu de la déformation de la croûte terrestre sur des sites scientifiques d'intérêt majeur, l'imagerie satellitaire permet de fournir des produits à forte valeur ajoutée, à haute-résolution et de grande précision. De plus, du fait des politiques régulières d'acquisition d'images et des politiques Open Data et Open Science, il est maintenant possible d'effectuer un suivi temporel précis et quasi "opérationnel", ce qui ouvre la porte à la compréhension et la quantification des phénomènes à la source de la déformation de surface mesurée.

Ce contexte, ainsi que le fort dynamisme de la communauté scientifique française dans le développement de méthodes innovantes et robustes en traitement de séries temporelles d'imagerie satellitaire a favorisé la labélisation par l'Institut des sciences de l'Univers (CNRS-Insu), en 2021, du Service National d'Observation (SNO) ISDeform (Imagerie Satellitaire de la Déformation) au sein de l'Action Nationale d'Observation (ANO) Géodésie et Gravimétrie. Le service est co-piloté par l'Osgu et l'East et associe quatre autres OSUs.

ISDeform a vocation à accompagner les observatoires thématiques de l'Insu (en particulier Snov, Omiv Renag, H+, Karst et Dynalit) et la communauté scientifique dans

l'utilisation massive, systématique et opérationnelle des images satellitaires radar et optique. L'exploitation de ces données permettra de fournir des produits tels que des intergrammes, champ de déplacement par corrélation d'images, cartes de vitesses, séries temporelles, modèles numériques de surface quantifiant la déformation de la surface de la Terre.

Le service doit ainsi permettre l'observation pérenne de la déformation de la surface, en premier lieu sur le territoire national (métropolitain et outre-mer) mais aussi sur certaines zones à risque sismique, volcanique, et gra-

vitaine, définies comme stratégiques. Il se fonde principalement sur des missions spatiales qui délivrent des données systématiques, gratuites, et planifiées sur une à plusieurs décennies (e.g., Sentinel-1 et Sentinel-2), mais intégrera d'autres missions satellitaires (actuelles ou futures) pour lesquelles l'accessibilité aux données sera négociée par les utilisateurs/partenaires du service.

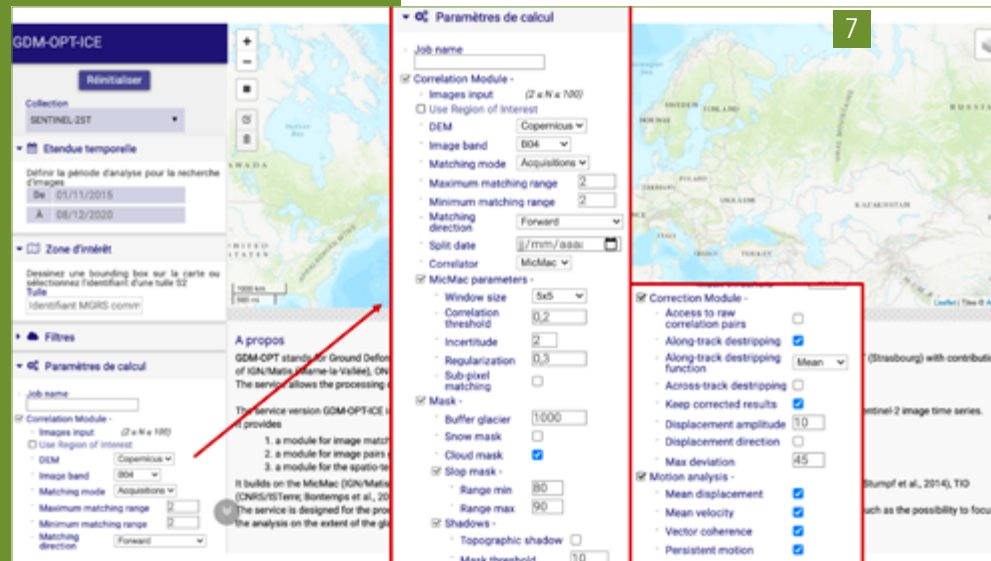
Les missions du service national consistent ainsi à :

- construire et maintenir les bases de données images (archives, programmation) et les produits calculés pour les chantiers ciblés ;
- maintenir et exploiter des codes de traitements par la mise en place de web-services, en production "régulière" ou "à la demande" ;
- organiser le contrôle qualité et la diffusion / valorisation des produits créés ;
- fédérer/animer scientifiquement la communauté "satellitaire" française travaillant sur les problématiques liées à la déformation du sol.

L'East pilote la tâche de service de production des champs de vitesse pour les sites cibles, et assurera l'analyse et le contrôle qualité des produits créés pour comprendre les déformations du nord-est de la France (en lien en particulier avec ObsNef et Renag/Fossé Rhéna), des sites cibles de glissements de terrain (en lien avec Omiv) et des sites cibles de déformation karstiques (en lien avec Karst et H+).

Jean-Philippe Malet et Cécile Doubre

LETTRE DE L'EOST N°37 - FÉVRIER 2021



NUMÉRISATION DES ARCHIVES DU BCSF

Avant même l'apparition des instruments permettant de mesurer l'énergie sismique et de localiser les hypocentres des séismes avec précision, de nombreux observateurs en France, météorologistes, brigadiers des eaux et forêts, policiers municipaux, instituteurs ou encore chefs de gare, ont participé à la collecte d'informations sur les effets des tremblements de terre. Ils l'ont fait pour le compte du Bureau central météorologique avant 1921, puis pour le Bureau central sismologique français, créé à Strasbourg afin de « concentrer les observations sismologiques » (décret du 28 juillet 1921).

L'étude des tremblements de Terre se base, à ses débuts, presque principalement sur l'analyse des effets observables. Les observateurs envoient ainsi, pour chaque événement ressenti ou, par la suite détecté par les instruments, les effets produits par les secousses sur un ensemble d'indicateurs communs comparables d'un site à l'autre (personnes, objets, mobilier, environnement, construction). A partir de la vulnérabilité des indicateurs, du niveau des effets et de leur fréquence à l'échelle communale, le BCSF déduit l'intensité de la secousse sur l'échelle dite macrosismique, aujourd'hui européenne (EMS-98¹).

La collection de ces formulaires d'enquêtes, dont le plus ancien remonte à l'année 1910, est au sous-sol de l'Éost. Elle est complétée par des articles de presse, des photographies, des cartographies ou des lettres spontanées. Cet ensemble est aujourd'hui une collection unique de plus de 300 000 documents sur les effets sismiques français, à partir desquels près de 120 000 Intensités communales de 1900 séismes ont été estimées en 100 ans par le BCSF.

Si la collecte se poursuit aujourd'hui numériquement avec des témoignages par internet et des informations stockées en

base de données, les données macrosismiques contemporaines ne peuvent être dissociées des données historiques dans une continuité de l'observation. Ces données représentent aujourd'hui toujours un complément essentiel pour de nombreux domaines d'études. On les retrouve en sismologie bien-sûr (prédiction des intensités, conversion des intensités en mouvement du sol, calibration des paramètres hypocentriques des séismes historiques, évaluation des risques, études des effets de sites...) mais aussi en gestion de crise (calibration des cartes automatiques de secousses, scénarios de pertes, surveillance des ouvrages), dans le génie parasismique (courbes de fragilité des structures), ou encore dans le cadre assurantiel (estimation des pertes, indemnisations des victimes).

Porté par l'axe 3 en macrosismique de l'Action transverse sismicité de l'infrastructure de recherche Résif et avec l'aide du service des archives de l'Université de Strasbourg, le projet de numérisation des archives macrosismiques a pu trouver un premier financement en 2020, dans l'objectif de sauvegarder et de valoriser ces données. Ainsi, en 2020, 70 000 documents sur les



séismes d'intensité maximale supérieure ou égale à VII² ont été numérisés.

En 2021, après la vérification des documents numérisés, le travail se poursuit par la mise en forme des documents, l'ajout de mots clés et la mise en ligne dans l'archive ouverte Hal de Résif. Une évaluation du projet indique qu'un effort identique durant 5 années sera nécessaire pour finaliser la numérisation de cette collection, qui sera, par la suite, versée aux archives départementales. En 2021, la deuxième tranche de numérisation devrait pouvoir être engagée.

Christophe Sira

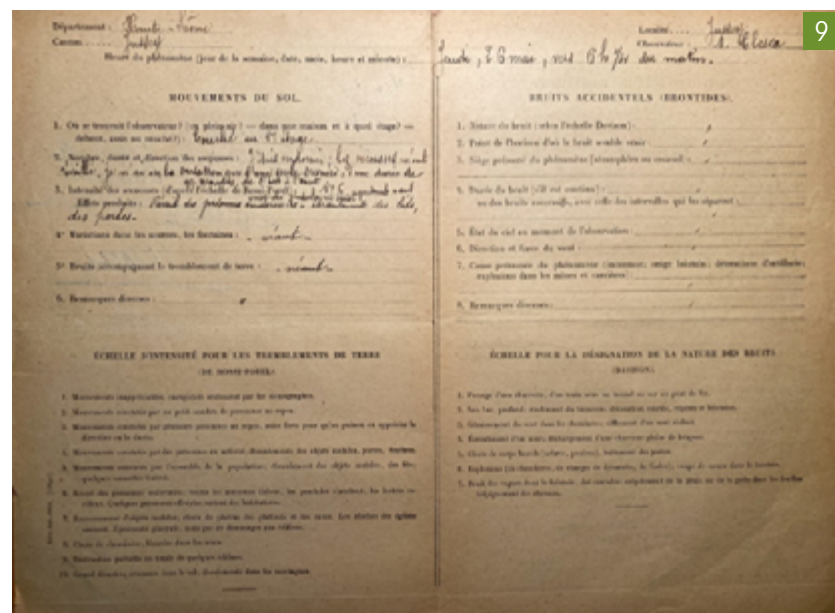
¹ European Macroseismic scale, 1998
² L'échelle EMS-98 compte 12 niveaux d'intensité allant de I à XII

Hal-Résif : hal.archives-ouvertes.fr/RESIF/

Photos >

[8] 100 ans d'archives des enquêtes macrosismiques du BCSF.

[9] Formulaire des archives macrosismiques BCSF, séisme du Jura Suisse du 26 mai 1910.



PARC NATIONAL D'INSTRUMENTS EMMOB : ELECTROMAGNÉTIQUE MOBILE

Le Parc d'Instrumentation Emmob (Electro-Magnétique MOBILE) a été initialement mis en place en 2008. Il est hébergé à l'Institut Terre et Environnement de Strasbourg (Ites) qui en assure la maintenance et la gestion. Les appareils sont à disposition de la communauté scientifique française, les modalités d'emprunt sont décrites sur le site web en référence.

Les deux stations magnétotelluriques (MT) du parc original ont été acquises grâce à une subvention « Mi-lourd » de l'Institut national des sciences de l'Univers du CNRS en 2008. Entre 2010 et 2015, deux stations ont été ajoutées, puis trois en 2019 et trois en 2020.

Comme son nom l'indique, la magnétotellurique (MT) consiste en des mesures des champs magnétique et tellurique (i.e. électrique) naturels à la surface de la terre. On mesure le champ magnétique avec des sondes à contre-réaction de flux qui sont essentiellement des bobines cylindriques contenant des milliers de tours de fil. Le

champ tellurique est mesuré en enregistrant la différence de potentiel entre deux électrodes.

Ces capteurs sont connectés à une centrale d'acquisition (ADU - Metronix) qui filtre et enregistre les signaux. Cette centrale est programmable et son horloge est synchronisée par GPS. Les dix centrales d'acquisition disponibles permettent des enregistrements sur une bande allant du continu à 524 kHz pour les plus récentes.

Les capteurs magnétiques MFS06 couvrent une gamme de fréquences de 1mHz à 10 kHz. Les capteurs CM13 sont limités aux fréquences plus basses (400Hz max) et les capteurs CMA couvrent une gamme de 1 Hz à 8 kHz. Ces gammes de fréquences permettent des études MT couvrant des profondeurs d'investigation de la centaine de mètres à plusieurs dizaines de kilomètres. En complément des stations MT, nous avons récemment acquis un émetteur TIP6000 (Iris Instruments) d'une puissance maximale de 6kW pour injecter du courant élec-



trique dans le sous-sol. Cet émetteur nous permet de mettre en œuvre des campagnes d'électromagnétisme à source contrôlée (CSEM) et de polarisation provoquée (PP).

Jean-Francois Girard et Guy Marquis

Comité scientifique : Jean-Francois Girard (Ites) et Stéphane Garambois (ISterre). Le suivi technique des instruments est assuré par Pierre-Daniel Matthey (Ites).

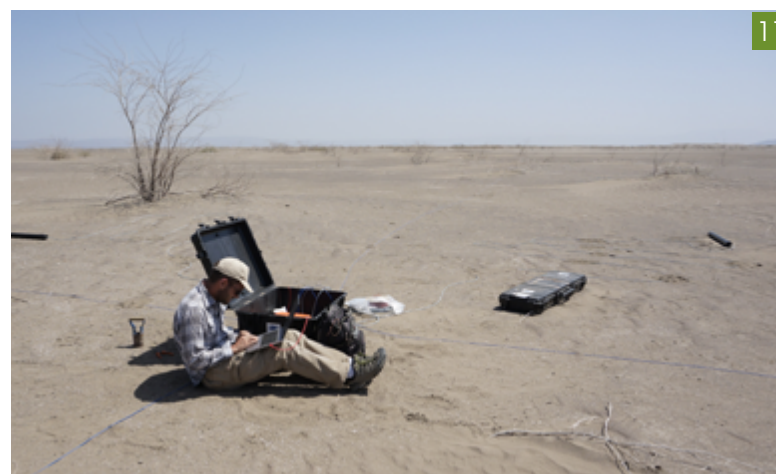
Informations pratiques : <https://lc.cx/qi9-TEj97>

Photos >

[10] Emetteur TIP6000 : Injection de courant lors d'une expérience en Alsace © J.F. Girard

[11] Acquisition MT en Ethiopie © C. Doubre.

[12] Acquisition MT au bord d'un champ en Alsace © P.D. Matthey.



PROJETS RÉCENTS ET ACTUELS

Les campagnes magnétotelluriques utilisant le parc Emmob couvrent un large éventail de thématiques :

- Volcanologie (Soufrière)
- Tectonique en Tanzanie, Népal, Ethiopie
- Géothermie en Alsace (voir article page suivante), Islande, Massif Central, Alpes
- Géomagnétisme (Chambon-la-Forêt, Welschbruch)
- Hydrogéophysique (Strengbach, Inde)
- Polarisation provoquée (Site Expérimental Hydrogéologique de Poitiers, Bretagne)
- Imagerie multiphysique (Alsace - Voir lettre de l'Éost n°36, projet Jins)

Les récentes campagnes en Alsace et en Islande sont des expériences innovantes de suivi temporel des modifications de réservoirs géothermiques.

La plupart de ces projets ont contribué à la réalisation de thèses de doctorat, dont six à l'Éost.

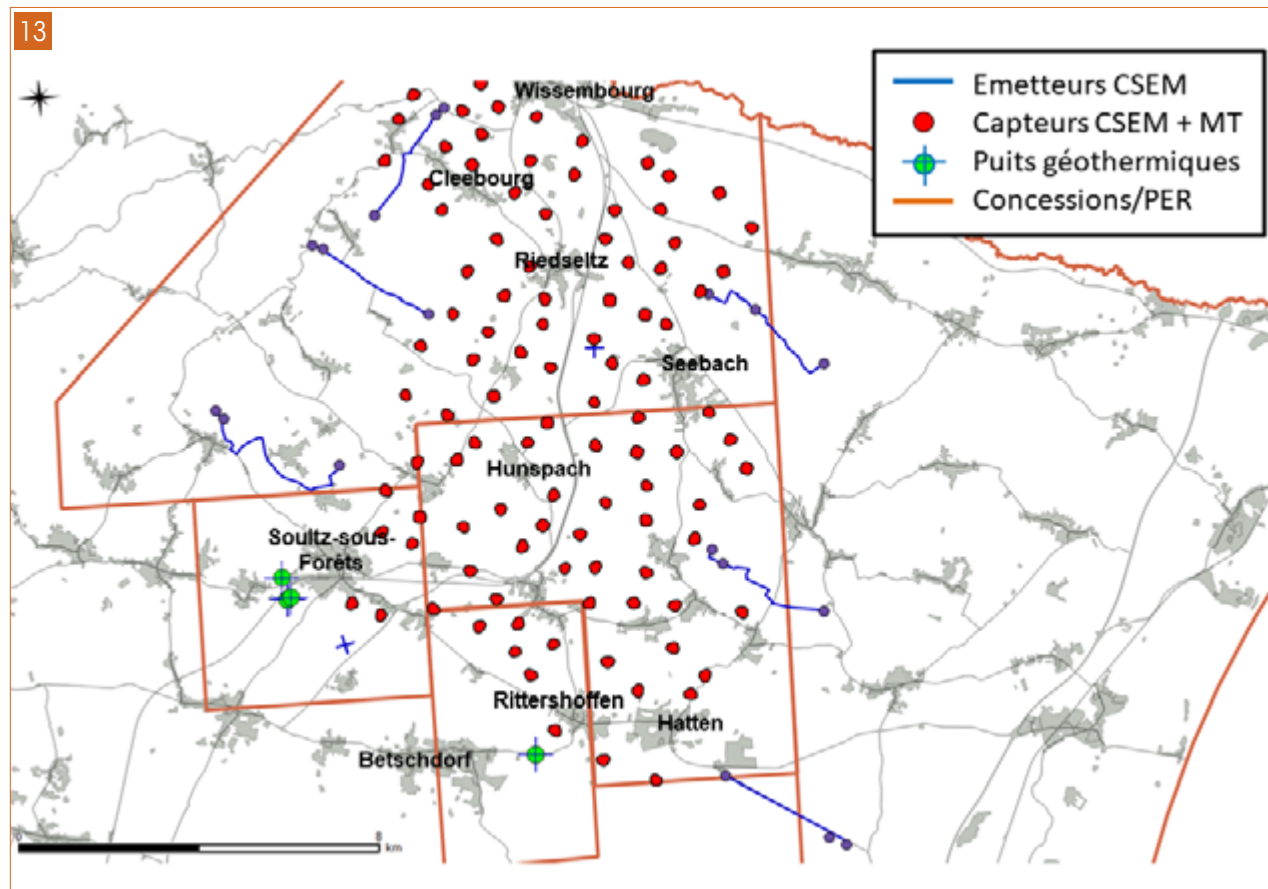
CAMPAGNE ÉLECTROMAGNÉTIQUE 3D DE 150 KM² DANS LE NORD DE L'ALSACE

Dans le cadre du projet Deep-EM financé par l'appel à projets de recherche « Energie Durable » de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (Ade-me), le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) associé à Electricité de Strasbourg – Géothermie (ES-G) et l'Eost ont réalisé une campagne d'acquisition de données géophysiques électromagnétiques 3D couvrant une superficie de 150 km² au Nord de l'Alsace, dans la partie française du Fossé rhénan. Cette campagne d'une ampleur inégalée en France a nécessité l'intervention d'une vingtaine d'étudiants, techniciens, ingénieurs et chercheurs et la mobilisation de tout le parc d'instruments de ces trois organismes —Emmob pour l'Eost (voir article page précédente)— du 5 au 19 octobre 2020. Pour la première fois en exploration géothermique, la méthode de l'électromagnétisme à source contrôlée (CSEM) a été employée afin de réduire l'impact du fort bruit électromagnétique d'origine anthropique présent dans cette région sur les mesures magnétotelluriques (MT) traditionnelle-

ment employées. Après traitement, ces données permettront de cartographier en 3D la conductivité électrique du sous-sol, paramètre sensible à la présence de fluides, et notamment de saumures, dans les roches. L'objectif est d'appréhender les propriétés électriques, notamment dans les zones de fractures naturelles qui recoupent les formations du Trias et le socle granitique. Ces réservoirs sont le siège de circulations hydrothermales exploitées industriellement en Alsace depuis plusieurs années pour produire de la chaleur et de l'électricité. Cette information sera ensuite utilisée pour préciser les zones les plus favorables au développement de futurs projets d'exploitation des ressources géothermales de la région.

Jean-François Girard

Figure > [13] Dispositif électromagnétique déployé lors de la campagne CSEM et MT réalisée au Nord de l'Alsace, dans la partie française du Fossé rhénan



L'EOST ET L'ITES IMPLIQUÉS DANS DE NOUVEAUX ÉQUIPEMENTS D'EXCELLENCE NATIONAUX

Mis en place dans le cadre du Plan d'investissement d'avenir (PIA), Les programmes EquipEx (équipement d'excellence) visent à doter la communauté française d'équipements structurants pour la recherche et répondants aux plus hauts standards internationaux. Depuis 10 ans, les équipes de l'Eost se sont largement impliquées dans les EquipEx Résif-Core, Critex et Miga à travers, entre autres, la réalisation du réseau sismologique large-bande métropolitain (Lettre de l'Eost n°32), l'installation d'un RiverLab au Strengbach (Lettre de l'Eost n°26) ou la mise en œuvre de gravimètres de dernière génération (voir Lettre de l'Eost n°28).

Suite à un nouvel appel d'offre lancé en 2020 et dénommé EquipEx+, 50 nouveaux équipements d'excellence ont été sélectionnés tous domaines confondus. L'Eost et l'Ites sont de nouveau au cœur de ce dispositif en participant désormais à la construction de 3 nouveaux grands équipements chacun rattachés à des Infrastructures de Recherche nationales du domaine des sciences de la Terre, de l'univers et de l'environnement.

Projets lauréats EquipEx+ : https://lc.cx/jA7_7kL9I

GAIA-DATA

Le projet vise à réaliser une e-infrastructure intégrée pour l'observation, la modélisation et la compréhension du système Terre en appui à l'infrastructure de recherche Data Terra, qui regroupe les pôles de données d'observation de l'atmosphère, des océans, des surfaces continentales et de la Terre solide. L'objectif est de disposer d'un continuum de services distribués de stockage, de traitements (incluant l'utilisation des moyens de calculs et d'intelligence artificielle), de croisement de données, d'analyse et de visualisation orientés vers le besoin des communautés scientifiques. L'Eost et la division du numérique de l'Université de Strasbourg piloteront l'un des huit centres nationaux interconnectés de données et services. En retour, l'ensemble des services nationaux d'observation et les plateformes de l'Eost bénéficieront des développements et outils proposés par Gaia-Data qui permettra également, en lien avec l'EquipEx+ Mesonet, de positionner les géosciences au cœur du Datacenter de l'Université de Strasbourg.

Contact Eost : Jean-Philippe Malet
Data Terra : www.data-terra.org

MARMOR

Marine advanced geophysical research equipment and Mayotte multidisciplinary observatory for research and response

Le projet proposera à la communauté scientifique de nouveaux moyens géophysiques pour l'étude des aléas telluriques (déformations, sismicité, tsunamis, volcanisme, mouvements gravitaires ...) et de l'intérieur de la Terre en étendant au domaine marin la démarche initiée dans le cadre de l'infrastructure de recherche Résif. Ces équipements permettront également de développer de nouvelles approches à l'interface entre hydrosphère et tectosphère pour répondre aux défis émergents dans le domaine des sciences de l'environnement, de l'océan et du climat. Concrètement, Marmor vise à développer et acquérir de nouveaux équipements géodésiques et sismologiques fond de mer installés de manière permanente ou mobilisables en cas de crise. La plateforme instrumentale en sismologie de l'Eost participera à la caractérisation d'une partie de ces équipements. Marmor intègre également le développement d'un observatoire sous-marin permanent pour la surveillance en temps réel des phénomènes sismo-volcaniques au large de Mayotte. Très impliqués dans le suivi et la compréhension de cette crise, l'Eost et l'Ites participeront à l'analyse et la valorisation des nouvelles données produites dans ce cadre.

Contact Ites : Jérôme Vergne et Jérôme Van der Woerd
Résif : www.resif.fr

IMAGINE²

Imaging and analytical national platform for the Environmental and Energy transition

Le projet vise à créer une plateforme technologique ouverte permettant de caractériser une large gamme de matériaux et d'échantillons complexes et hétérogènes pour des objectifs multi-thématiques (chimie, physique, biologie, mécanique) en lien avec la transition environnementale et énergétique. La force de cette plateforme, répartie sur l'ensemble du territoire français, sera de réaliser des analyses multi-échelles en conditions statiques et dynamiques (4D). En développant l'imagerie corrélative et l'analyse multimodale, Imagine² réunira des équipements d'imagerie spectroscopique à rayons X, électroniques et 2D-3D pour décrypter les relations entre les propriétés texturales, structurales et chimiques des matériaux et leurs fonctions, effets ou performances. Par sa capacité d'analyse chimique ponctuelle non destructive et de cartographie de surface, la microfluorescence X présente à l'Ites, acquise en 2018 et déjà intégrée à l'infrastructure Régef fait partie intégrante du projet Imagine².

Contact Ites : Marc Ulrich
Régef : www.regef.fr

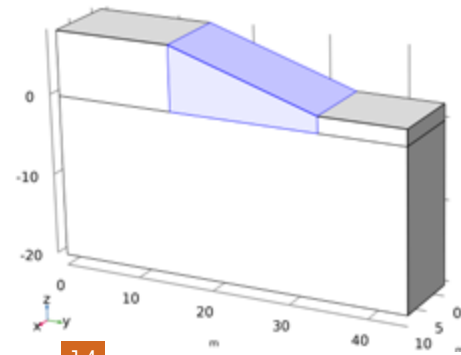
La stabilité des sols sous contrainte gravitaire constitue un problème d'hydromécanique important dans le contexte de la gestion des risques naturels. Ainsi, sur les flancs de montagne, la pluie peut déclencher des coulées de boue et de débris, alors qu'en environnement lacustre ou sous-marin, les avalanches peuvent déclencher des tsunamis. Les dégazages de méthane associés peuvent également jouer un rôle important dans les bilans globaux de gaz à effet de serre.

La simulation numérique joue un rôle très important dans l'analyse de la stabilité du sol. Elle constitue actuellement un outil incontournable pour des finalités théoriques et pratiques telles que la compréhension des processus physiques, la validation des expériences de laboratoire et les études de gestion de sol, d'analyse de risque et de prédiction. La démarche de simulation numérique consiste à décrire les processus physiques (i.e. hydromécaniques) par des équations aux dérivées partielles et à résoudre ces équations numériquement par des méthodes appropriées, à savoir la méthode des éléments finis ou des différences finies. L'une des questions les plus préoccupantes de la simulation numérique de la stabilité des sols est la capacité du modèle mathématique à prendre en compte les différents processus physiques. En particulier, la prise en compte des forces de capillarité associées à la présence de deux phases fluides piégées, un liquide et un gaz, dans un milieu poreux déformable, place la formulation de ce problème dans le champ de

la rhéologie des fluides complexes, pour lequel aucune loi rhéologique macroscopique générale n'a encore été formulée. Les modèles actuels d'étude de l'effet de la saturation en eau sur le glissement du sol ne permettent pas de prendre en compte l'effet de l'eau sur le comportement mécanique-rhéologique du sol. L'objectif de ce projet est de développer un nouveau modèle plus réaliste que le modèle existant, permettant de mieux représenter les processus physiques, et notamment les forces provenant de la tension superficielle. Dans ce contexte, nous avons développé une nouvelle formulation mathématique, permettant la prise en compte des forces de tension de surface. Dans cette nouvelle formulation, les forces de tension de surface sont représentées sous la forme d'un gradient d'une fonction non linéaire de la saturation du sol. Cette fonction est nulle quand le sol est parfaitement saturé ou sec. Elle est proportionnelle au coefficient de tension superficielle de l'eau et inversement proportionnelle à la racine carrée de la perméabilité du sol à saturation. Le nouveau modèle mathématique est résolu avec la méthode des éléments finis dans le logiciel Comsol.

Le nouveau modèle a été appliqué sur un cas test synthétique, issu de la littérature (figure 14). Dans ce cas test, on s'intéresse à la stabilité du sol, sur une pente, pendant une période de pluie intense. Cette application a permis de valider le nouveau modèle (sans les forces de tension de surface), par comparaison avec les résultats numériques issus de la littérature. Les premiers résultats numériques, montrent que les modèles qui négligent les forces de tension de sur-

PROJET : INFLUENCE DE LA SATURATION PARTIELLE SUR LA STABILITÉ DES SOLS



14

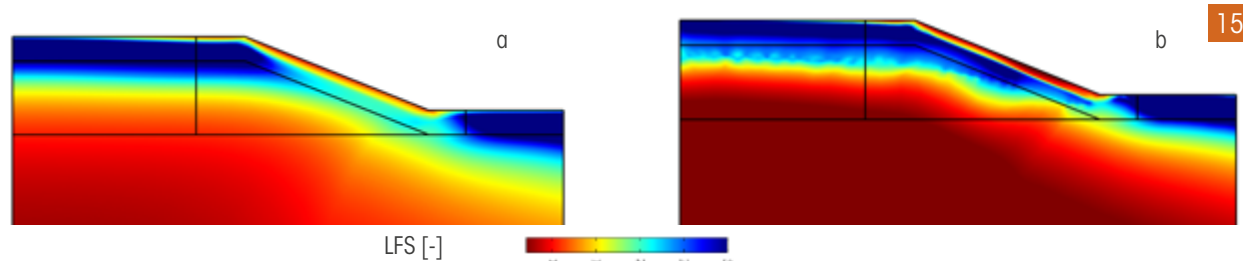
face sont susceptibles de sous-estimer les risques de glissement du sol (figure 15). Une analyse plus détaillée et approfondie est en cours de développement pour la validation et l'exploitation de ces résultats.

Paiman Shafabakhsh, Marwan Fahs & Renaud Toussaint

Figures >

[14] Le cas synthétique étudié dans le cadre du projet.

[15] La distribution spatiale du facteur de sécurité local (LFS) après une période de pluie intense. Une valeur proche de 1 de ce facteur indique un risque important de glissement. (a) les résultats obtenus avec un modèle standard et (b) les résultats du nouveau modèle permettant la prise en compte des forces de tension de surface.



15

ANALYSE ISOTOPIQUE DES MOLÉCULES ORGANIQUES DANS LES EAUX ET LES SÉDIMENTS

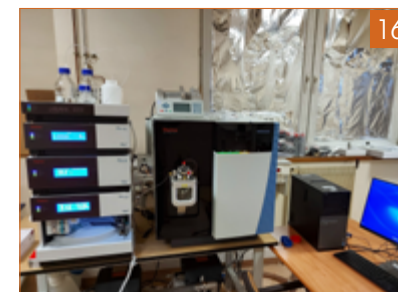
L'appel à projet lancé en 2019 dans le cadre de la fusion entre l'IPGS et le LHYGES a permis l'émergence du projet Isosed qui s'inscrit dans la thématique transverse « Ressource en eau et transferts associés ». Isosed vise à développer des méthodes et des concepts de diagnostic de la mobilité et de la persistance des micropolluants organiques émergents dans les sédiments lacustres. En particulier, Isosed développe conjointement la caractérisation isotopique de molécules organiques constituant la matière organique sédimentaire (ex. biomarqueurs moléculaires paléo-environnementaux) et de molécules organiques émergentes (pesticides) pour mieux comprendre les interactions matière organique – micropolluants organiques.

Ces approches isotopiques originales reposent sur l'analyse des signatures isotopiques (carbone, azote, chlore) et des produits de dégradations ou métabolites de molécules organiques ciblées (pesticides de synthèse, molécules pharmaceutiques, biomarqueurs moléculaires). Elles font écho au besoin des gestionnaires des eaux de mieux évaluer la capacité naturelle d'atténuation de polluants organiques et de leurs produits de transformation dans les ressources en eaux stratégiques ou sensibles et leur résilience face à des pollutions ponctuelles ou diffuses. En effet, pour évaluer l'ampleur d'une pollution ponctuelle ou diffuse dans les écosystèmes aquatiques, l'utilisation des seules concentrations ne permet pas de distinguer la contribution des processus de dégradation, incluant un clivage moléculaire, et des processus de dilution qui dépendent de la variabilité des débits. La dégradation est le seul processus permettant une réduction massive des polluants organiques dans les eaux. Mesurer la dégradation via les signatures isotopiques permet ainsi d'évaluer la per-

sistance d'une molécule toxique et/ou à fort potentiel d'accumulation et permet de déterminer si la capacité naturelle du milieu récepteur est suffisante pour permettre, à terme, une dégradation complète du polluant. Après une étape de validation en laboratoire, ces approches seront testées dès 2022 sur un site pilote situé sur le plan d'eau de Reichshoffen (Parc régional des Vosges du Nord) pour tenter d'ouvrir le verrou de caractérisation in situ de la réactivité des micropolluants dans les géoréservoirs. Le projet Isosed s'appuie fortement sur le pôle analytique d'Ite qui dispose d'une plateforme analytique complète (Voir photos). Cette plateforme inclut des chromatographies gazeuses couplées à différents spectromètres de masse (GC-MS, GC-IRMS) dédiés à l'analyse des concentrations et des signatures isotopiques des molécules organiques volatiles, dont des polluants, mais aussi des acides organiques présents dans les solutions de sol ou des gaz (CO₂, CH₄). Avec l'appui du projet IDEX Formation HydroGeoLABS, du conseil scientifique de l'Enges et du pôle analytique du Lhyges, le projet Isosed a notamment permis d'acquérir fin 2020 deux nouvelles instrumentations, l'une pour l'analyse isotopique des molécules organiques halogénées (GC-MC-ICPMS) et l'autre pour l'analyse des concentrations des micropolluants organiques (LC-MS). Véritable couteau-suisse de l'analyse des molécules organiques polaires émergentes, la chromatographie liquide couplée à un spectromètre de masse (LC-MS), acquise en décembre 2020, est l'instrument central de ce projet.

L'acquisition de ces instruments chromatographiques permet à Ite de disposer d'une plateforme analytique complète alliant la quantification et la caractérisation des signatures isotopiques dédiée à la compréhension du devenir des molécules organiques dans les différents compartiments de la zone critique. Il permet également de développer des approches couplées en sédimentologie et en biogéochimie innovantes et structurante pour Ite.

Jérémy Masbou (Enges), Gwenaël Imfeld, Mathieu Schuster, Mathieu Granet (CNRS) et Sylvain Payraudeau (Enges)



16



17

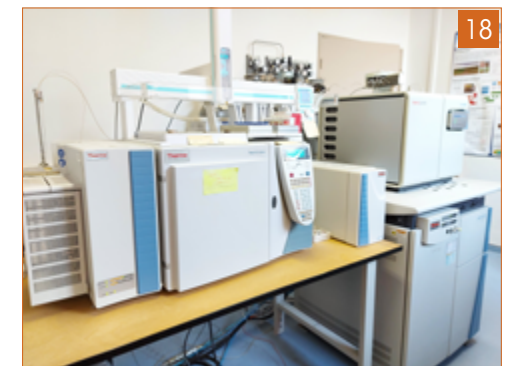
Photos > © J. Masbou

[16] Chromatographie liquide couplée à un spectromètre de masse triple quadrupôle

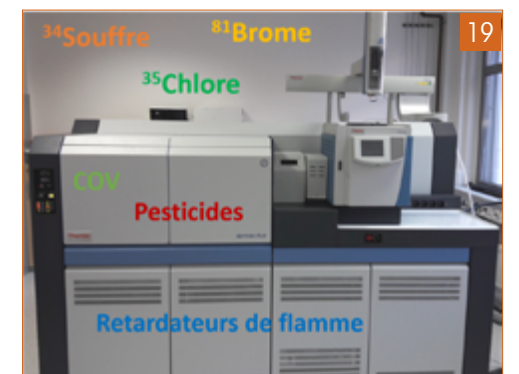
[17] Chromatographie gazeuse couplée à un spectromètre de masse simple quadrupôle

[18] Chromatographie gazeuse couplée à un spectromètre de masse à rapports isotopiques

[19] Chromatographie gazeuse couplée à un spectromètre de masse à multi-collection.



18



19

GÉOTHERMIE PROFONDE À STRASBOURG

VERS UN ARRÊT DÉFINITIF DU PROJET GEOVEN APRÈS UNE PHASE DE TESTS MAL MAÎTRISÉE

Depuis la fin septembre 2020, une phase de tests avait été lancée sur le site de géothermie profonde Geoven (société Fonroche-Geothermie) à Vendenheim au Nord de Strasbourg pour mieux comprendre la structure géologique du réservoir ciblé et la nature des circulations de fluide en profondeur. Cette phase de tests faisait suite aux recommandations formulées en février 2020 par le BRGM et l'Ineris dans le cadre d'une tierce-expertise lancée après la crise sismique de Novembre 2019 au cours de laquelle un premier séisme de magnitude M_l supérieure à 3 à proximité des puits avait été fortement ressenti sur l'ensemble de l'agglomération et avait induit un arrêt des injections dans les puits. La tierce-expertise mettait en effet en avant de trop grandes incertitudes sur le modèle géologique et hydro-géologique proposé par la société Fonroche-Géothermie.

Depuis le début des tests à l'automne 2020, une série de plus d'une centaine de séismes a été enregistrée par le BCSF-RénaSS (service national d'observation de l'activité sismique nationale hébergé par l'Éost) et localisée au voisinage des puits Geoven, dont cinq séismes de magnitude M_l supérieure à 2 entre le 27 octobre et le 11 novembre. Vu l'inquiétude grandissante au sein de la population et les interrogations multiples des médias, l'Éost a alors publié sur son site web une note d'information régulièrement actualisée à propos de ces séismes induits, en montrant en particulier leur localisation précise au voisinage des puits, à 5 km de profondeur environ. Ces résultats ont été obtenus en utilisant une technique d'apprentissage machine de détection de type "template matching" et une relocalisation relative précise à quelques dizaines de mètres (HypoDD). On voit alors que les événements ressentis se localisent

tous au voisinage du puits nord (GT2) en deux sous-groupes :

- les événements M_l 2.1 et M_l 2.7 du 27 et 28 octobre sont positionnés sur une faille qui a déjà produit des séismes en 2019 et qui est orientée vers le nord-est (N40¹) ;
- les événements les plus récents sur une autre structure orientée vers le nord-ouest (N320¹), au voisinage de la terminaison de l'extension récente du puits nord. Très peu de sismicité récente a lieu au voisinage du puits sud (GT1).

Le 4 décembre dernier, l'agglomération strasbourgeoise se réveillait brusquement suite à un nouveau séisme d'une magnitude encore un plus grande (M_l =3.6), suivi de deux autres séismes de magnitude supérieure à 2 (M_l =2.6 et M_l =2.8). Ils étaient également localisés dans la même zone au niveau du puits nord de Geoven. Ces événements sont apparus comme la traduction directe d'une perte de maîtrise de la sismicité induite lors des opérations de test dans les puits. Le 8 décembre 2020, la Préfète du Bas-Rhin ordonnait un arrêt définitif des opérations de géothermie profonde sur le site de Geoven. Elle ordonnait également une enquête administrative rapide dont les conclusions énoncées le 30 décembre 2020 ont mis en avant des pratiques non autorisées, à savoir des dépassements de la surpression d'injection réglementaire de 100 bars ainsi qu'un al-

longement du forage du puits nord au-delà de la profondeur définie par l'accord préalable, des conclusions que conteste la société Fonroche Géothermie.

Le 2 janvier 2021, la circulation dans les puits a été totalement arrêtée. Une surpression par rapport à la pression hydrostatique dans le réservoir profond est toujours présente mais se relâche lentement. Plusieurs séismes ont encore été enregistrés pendant cette phase d'arrêt dont un événement important le 22 janvier dernier à 19h33, de magnitude M_l =3.4, suivi de deux autres événements de magnitude M_l =1.9 et 2.2. Tous ces événements sont également localisés sur la même structure, à la terminaison du puits nord.

La Préfecture a décidé de constituer un comité d'experts pour analyser la situation et comprendre les séismes intervenus sur l'Eurométropole de Strasbourg depuis novembre 2019. L'Éost a répondu favorablement à l'invitation de participer à ce comité dont les conclusions devraient être rendues au courant de l'année.

Jean Schmittbuhl, Jérôme Vergne, Marc Grunberg, Sophie Lambotte, Olivier Lengliné, Cécile Doubre, Frédéric Masson - Éost (Univ. de Strasbourg et CNRS - UMR 7063 / UMS 830)

¹ N40 et N320 sont des directions angulaires en degrés par rapport au Nord géographique

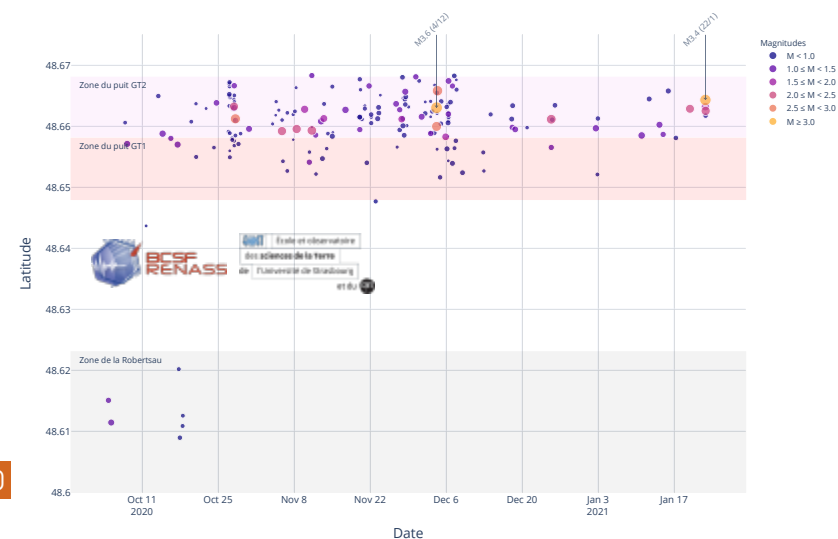


Figure > [20] Déroulé temporel de l'activité sismique au Nord de Strasbourg enregistrée par le BCSF-ReNaSS depuis fin Septembre 2020.

20



21

CAMPAGNE EN MER SISMAORE

MIEUX COMPRENDRE LE CONTEXTE GÉODYNAMIQUE DE L'ARCHIPEL DES COMORES SUITE À LA CRISE SISMO-VOLCANIQUE DE MAYOTTE

La campagne en mer Sismaore, action majeure du projet ANR Coyotes (2020-2024), a pour objectif d'acquies de données géophysiques et géologiques à travers l'archipel des Comores pour mieux comprendre le contexte géodynamique, volcanologique et sismologique de ces îles suite à la crise sismo-volcanique de Mayotte.

Le 10 mai 2018 commençait une crise sismique exceptionnelle au large de l'île volcanique de Mayotte, avec un choc majeur de magnitude M_w 5.9 et une trentaine de séismes de magnitude supérieure à 5.0, tous fortement ressentis par la population. L'Éost a conduit et participé à l'intervention du groupe GIM du BCSF-RénaSS dès juin 2018, et le lancement des projets Sismaoyotte d'instrumentation géodésique et sismologique à terre et en mer (soutien MTE et CNRS). Depuis, la surveillance de la séquence sismo-volcanique est assurée par le Revosima (Réseau de surveillance volcanologique et sismologique de Mayotte) qui publie les bulletins rendant compte de l'évolution de l'activité. Il a été établi que la crise sismique a accompagné une remontée magmatique depuis 50 km de profondeur jusqu'à la surface où l'éruption sous-marine, toujours en cours, a construit un édifice volcanique nouveau en quelques mois. Plusieurs coulées ont été identifiées à l'extrémité Est d'une ride volcanique qui s'étend sur la pente sous-marine de l'île de Mayotte. Cette séquence s'accompagne également de la subsidence et le mouvement vers l'est de l'île de 15 à 20 cm. La sismicité est organisée en deux essaims, dont l'un est localisé à seulement 15 km des côtes de Mayotte entre 20 et 50 km de profondeur.

Cette séquence sismo-volcanique a surpris puisque l'archipel des Comores était considéré comme une région de sismicité modérée et que le volcanisme de l'île de Mayotte

ne semblait pas actif. Ainsi, cette activité souligne le manque de connaissances sur le contexte géodynamique régional de l'archipel des Comores. Si le bassin de Somalie résulte de l'ouverture océanique au secondaire lors de la dérive de Madagascar, la nature de la croûte dans le bassin de Comores, océanique ou continentale étirée ou un mélange des deux, reste mal documentée. Aussi, l'alignement de ces îles et l'activité sismique actuelle sont-ils dus à un volcanisme intraplaque de point chaud ? Ou sont-ils associés à des processus lithosphériques comme la propagation off-shore du rift Est-Africain ou à la formation d'une limite de plaque ?

Pour répondre à ces questions, la campagne océanographique hauturière Sismaore permet l'acquisition de données géophysiques et géologiques à l'échelle régionale des Comores : sismique (sondeurs de sédiments, sismique rapide, sismique multi-traces), mesures gravimétriques et magnétiques, flux de chaleur et prélèvements ciblés par carottages et dragages. L'ensemble de ces nouvelles données permettra de mieux identifier les structures actives, tectoniques et/ou volcaniques et leur chronologie, la cinématique de l'axe de l'archipel et de préciser la nature et la structure thermique de la croûte des bassins entourant les Comores.

Embarquée le 22 décembre 2020 pour 1 mois et demi, l'équipe, conduite par I.Thinon, A. Lemoine (BRGM) et S. Leroy (Istep), compte près de 40 scientifiques dont trois de l'Éost (voir note), se relayant en deux legs pour parcourir les fonds océaniques autour des îles des Comores et Mayotte à bord du navire Pourquoi Pas ? de la Flotte Océanographique Française. Un partenariat entre le BRGM, l'Ifremer et l'Académie de Mayotte permet à deux enseignants de SVT de participer successive-



ment aux deux legs et de faire participer les élèves du primaire à la terminale de nombreuses écoles de la Réunion et de Mayotte à travers un blog alimenté journalièrement.

Jérôme Van der Woerd, Cécile Doubre

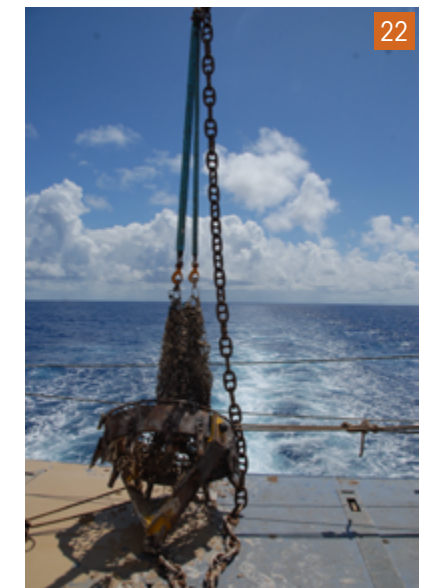
Projet Coyotes : anr.fr/Projet-ANR-19-CE31-0018
Revosima : www.ipgp.fr/fr/revosima
Blog pédagogique : sismaore.ac-mayotte.fr

Participants Éost au projet ANR Coyotes : N. Mercury (doctorant), C. Doubre, J. van der Woerd, D. Sauter, J. Autin, M. Grunberg, A. Maggi.

Présents sur la campagne Sismaore : N. Mercury, C. Doubre, J. van der Woerd.

Photos > © J. Van der Woerd

[21] Le navire Pourquoi Pas ? à quai à Saint Denis de La Réunion le jour de son départ, le 22 décembre 2020.
Navire de la Flotte Océanographique Française, affrété par Ifremer et la Marine Nationale et opéré par Géonavi.
[22] Opération de dragage le 31 décembre 2020.



22

CRÉATION DE L'INSTITUT TERRE ET ENVIRONNEMENT DE STRASBOURG (ITES)

PÔLE DE RECHERCHE EN SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'ENVIRONNEMENT



*Unité Mixte de Recherche (UMR 7063)
Issue de la fusion du Lhyges et de l'IPGS au
1er janvier 2021
Site web : ites.unistra.fr*

C'est au 1er janvier 2021 que l'Institut Terre et Environnement de Strasbourg (Ites) est né au sein de l'École et Observatoire des Sciences de la Terre (Eost). Cette Unité mixte de recherche, placée sous les tutelles du CNRS, de l'Université de Strasbourg et de l'Engées, se positionne sur une recherche pluridisciplinaire autour de l'étude de la Terre et de son environnement de surface. Il s'appuie sur quatre piliers disciplinaires : l'hydrologie, la géochimie, la géologie et la géophysique.

L'INSTITUT

L'Ites est issu de la fusion du Laboratoire d'hydrologie et de géochimie de Strasbourg (Lhyges) et de l'Institut de physique du globe de Strasbourg (IPGS). Il est organisé autour de sept équipes de recherche (voir encart) en sciences de la Terre et de l'environnement dans un pôle d'expertise, de recherche de pointe et de nouvelles technologies. Ses 210 membres sont chercheurs et enseignants chercheurs (90), ingénieurs et techniciens (40), et doctorants et post-doctorants (80). Ils portent des thématiques de recherche sur la dynamique et la structure interne de la Terre, la déformation lithosphérique et les risques telluriques (instabilités gravitaires, risques sismiques, physique des roches), mais également sur toutes les activités liées aux ressources en eau et transferts associés par l'hydrologie et la (bio)géochimie.

LA RECHERCHE

Ce nouveau Pôle de recherche en Sciences de la Terre et de l'Environnement à Strasbourg se structure autour de l'interdisciplinarité et la mise en commun des outils numériques et analytiques. Il est fondé sur la volonté de renforcer les collaborations

entre chercheurs à l'aide d'un meilleur partage de la connaissance sur leurs thématiques respectives, tout en renforçant l'innovation et la recherche de pointe. Le pôle souhaite faire interagir des géophysiciens et des géologues de la Terre solide avec des hydrologues et des géochimistes de l'environnement afin de renforcer et pérenniser les projets transverses, avec pour objectif de produire de nouveaux résultats scientifiques majeurs. L'Ites a donc pour vocation de se positionner comme un véritable pôle d'expertise dans les domaines de la Terre solide, des surfaces et interfaces continentales et de l'environnement. Il déploie ses activités dans de très nombreux projets, dont la Fered (Fédération de recherche en environnement et durabilité), l'Institut Thématique Interdisciplinaire GeoT (géothermie et transition énergétique), des financements nationaux (ANR ...) et européens (ERC, ITN...).

Les travaux de recherche fondamentale associés aux observations menées au sein de l'OSU (Observatoire des sciences de l'Univers) Eost permettront de répondre aux enjeux sociétaux actuels, en apportant une meilleure connaissance des processus affectant notre environnement à de multiples échelles, qu'ils soient anthropiques (polluants, gestion des ressources, etc.) ou naturels (tectonique, géomagnétique, météorologique, climatique, etc.).

LA DIFFUSION DES SCIENCES

L'un des rôles majeurs du pôle est également de contribuer à la diffusion de la culture scientifique et de participer à l'éveil des consciences sociétales autour des grands défis environnementaux de demain. Il est, à ce titre, partenaire actif des structures muséales de l'Eost (Musée de Sismologie, Musée de Minéralogie, Collections de Paléontologie) et du Jardin des Sciences de l'Unistra.

Les enseignants chercheurs et chercheurs de l'Ites interviennent dans les formations universitaires de la licence au doctorat, ainsi que dans les IUTs et les écoles d'ingénieurs (Eost, Engées). Les pratiques pédagogiques proposées s'appuient grandement sur les travaux et dispositifs de recherche et d'observation, avec par exemple des stages de terrain sur des sites

instrumentés par des membres de l'Ites et de l'Eost et des travaux pratiques sur les maquettes expérimentales et/ou dans les unités analytiques du laboratoire.

La création de ce pôle de recherche en Sciences de la Terre et de l'Environnement à Strasbourg devrait permettre une meilleure visibilité et une attractivité plus forte auprès des étudiants et jeunes chercheurs. L'Ites positionne ainsi sa recherche en lien direct avec l'enseignement autour des géosciences, de l'eau, de l'environnement et de l'ingénierie du futur pôle G2EI, qui seront regroupés à terme à l'ancienne manufacture de tabacs de Strasbourg.

LES PARTENARIATS INDUSTRIELS

Enfin, l'Ites compte de nombreux partenaires industriels : secteur de la gestion des eaux et des sols, de la géotechnique, secteur de l'exploitation et de la gestion des ressources (énergétiques, minérales, eaux, liquides et gazeuses), secteur des pratiques agricoles, gestion et prévention des risques naturels et anthropiques (sismicité, glissements de terrain...) à l'échelon local, régional, national, européen, mondial.

*Clément Hibert, Valérie Sellani et
l'équipe de direction Ites*

Équipes : Biogéochimie isotopique et expérimentale, Déformation active, Dynamique globale, Géologie océans lithosphère sédiments, Géophysique expérimentale, Sismologie, Transfert dans les hydrosystèmes continentaux.

Écoles d'ingénieurs impliquées : École et observatoire des sciences de la Terre (Eost), École nationale du génie de l'eau et de l'environnement de Strasbourg (Engées).

