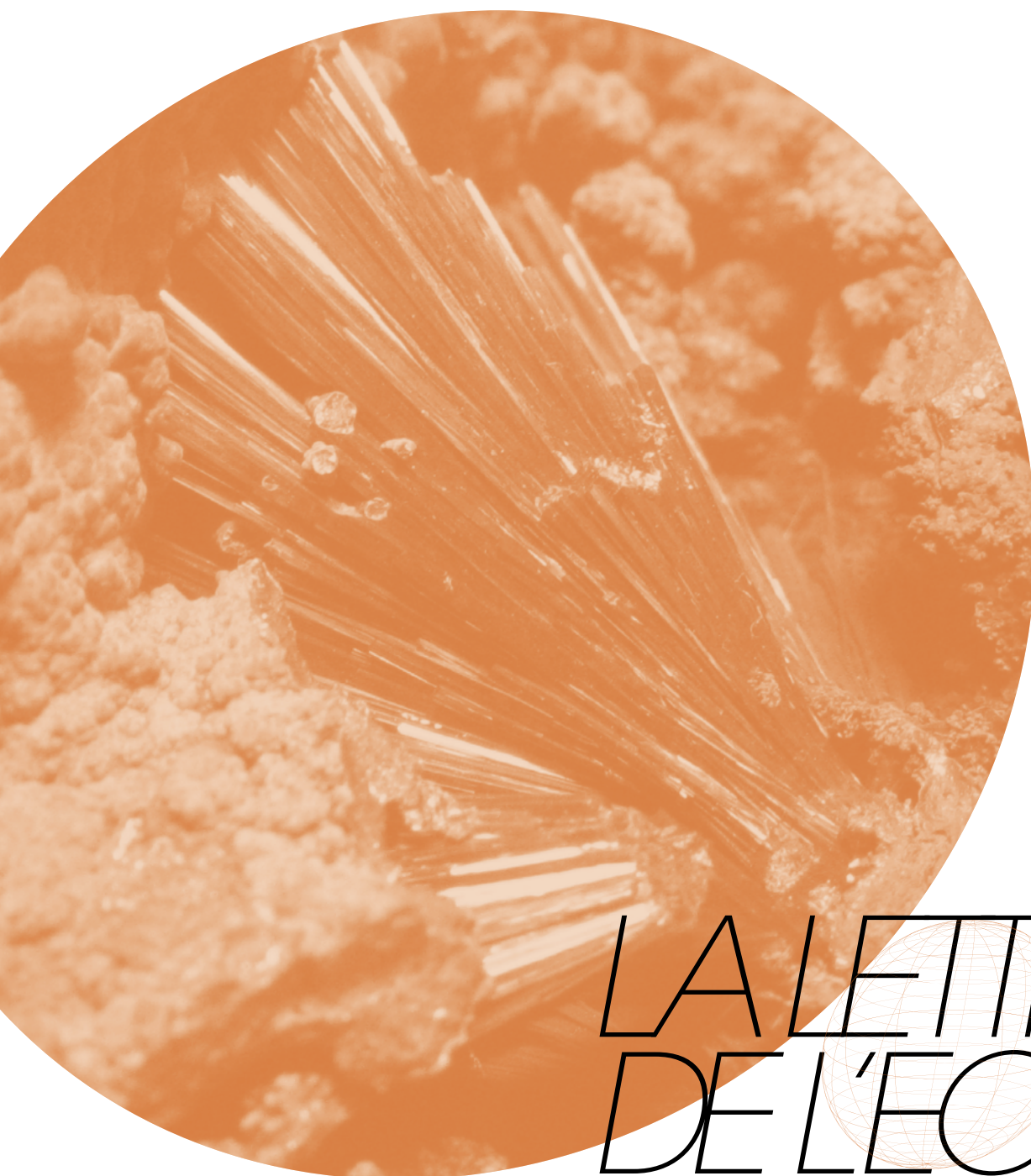




LA LETTRE DE L'EOST

N35 JUIN 2020

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

Formation

Réforme des études de santé	3
L'enseignement au temps du confinement	4

Observatoires

Parc de stations miniaturisées à l'Eost	5
Plateforme observation de la Terre	6-7
Dommages au Strengbach	8
La station gravimétrique de Djougou	9

Recherche

Recherches à partir des données gravimétriques de Djougou	10
Dossier Géosciences et archéologie	11
Médaille de bronze du CNRS	11
Physique des roches	11

Grand public

Beautés minérales	12
Exposition zone critique	12

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION Frédéric Masson
REALISATION Véronique Bertrand
IMPRESSION Imprimerie DALI / Unistra
PHOTO DE COUVERTURE Malachite Betzdorf, Siegerland, Allemagne - Crédits : D. Leybold

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

N35 JUIN 2020

CHÈRES ET CHERS COLLÈGUES,

Fallait-il sortir cette lettre de l'EOST ? C'est la question que le comité éditorial s'est posée fin Mars au plus fort de la crise sanitaire qui a balayé notre région, notre pays, notre monde, et qui a chamboulé nos vies personnelles et professionnelles. Personnellement, la réponse me paraissait évidente : il fallait laisser une trace, un témoignage, de la manière dont nos activités ont été impactées mais aussi et surtout de la manière dont nous avons réussi à les poursuivre en faisant preuve d'ingéniosité et d'adaptation.

A l'instar de la baisse globale du bruit sismique ambiant (voir l'actualité du 28 avril sur le site web de l'Eost), notre activité a sans doute été moins « bruyante », moins visible, pendant cette période. Elle n'en a cependant pas été moins intense.

Réaménager un coin de salon en zone de travail ;
 Installer une multitude d'outils de visio-conférence et s'étonner d'en découvrir de nouveaux à chaque réunion ;
 Garder allumée la télé ou la radio pour suivre les dernières nouvelles ;
 Pester contre le débit trop faible de son wifi qui fige l'image des collègues sur l'écran et donne l'impression de communiquer avec des spatonautes dans la station internationale ;
 Jongler entre ce dossier à terminer, les devoirs des enfants à vérifier et le repas de midi à préparer ;
 Découvrir l'enseignement en « distanciel » et tenter de capter l'attention d'étudiants assis derrière leur écran ;
 Déprogrammer cette réunion à Paris et cette manip prévues début mai ... et les reprogrammer pour le mois d'octobre ;
 Être frappé de stupeur lorsqu'on apprend que tel proche ou collègue a été touché par le virus ;
 Reprendre cette étude que l'on n'avait jamais eu le temps de finaliser ;
 Accumuler les tasses de café ou de thé à côté de son clavier (en fait, ça c'est comme au bureau) ;
 Ressentir les difficultés de tels collègues ou étudiants et les tensions exacerbées par cette situation ;
 Découvrir Moodle et ses multiples possibilités pour organiser un examen en ligne ;
 Croiser les doigts pour que la station de mesure installée récemment, ou le serveur d'acquisition de données du labo, ne tombent pas en panne ;
 Tenter de garder le lien avec les collègues via un « café virtuel » programmé à 10h ;
 Suivre un séminaire ou un congrès international à distance en posant ses questions à travers un chat en ligne ;
 Voir apparaître cette nouvelle formule « Portez-vous bien » dans les mails que l'on reçoit et que l'on envoie ;
 S'enthousiasmer devant toutes ces initiatives solidaires, avec une mention spéciale pour celle de Renaud Toussaint et Alain Steyer, en coordination avec le réseau des mécaniciens, visant à fabriquer des visières de protection par impression 3D.

Ce ne sont là que quelques exemples très personnels, mais sans doute partagés par nombre d'entre nous, de la vie professionnelle qui a été la nôtre pendant ces derniers mois. Même si cela prendra du temps et se fera de manière progressive, je formule désormais le souhait que l'on puisse bientôt reprendre un mode de travail plus habituel et profiter, d'ici quelques mois, de nos (nouveaux) locaux pour se retrouver tous ensemble.

Jérôme Vergne

Actualité sur le bruit sismique ambiant : <https://lc.cx/JynbgQCzz>

LA RÉFORME DES ÉTUDES DE SANTÉ PASSE AUSSI PAR L'EOST

L'accès aux études de santé sera très largement réformé à la rentrée 2020. La PACES (Première année commune aux études de santé) disparaît. À l'Université de Strasbourg, elle laissera la place à la Licence mention « Sciences pour la Santé ». La première année de cette licence se composera de trois ensembles. Le premier est l'ensemble « santé » qui comprendra des enseignements de biologie, mathématiques, physique et chimie. Il comptera pour 25 ECTS. Pour rappel, une année universitaire correspond à 60 ECTS et une UE de 25h correspond en général à trois ECTS. Le second est l'ensemble « transversal » avec des enseignements de méthodologie du travail universitaire, de sciences humaines et sociales en lien avec la santé et de langue vivante. Il comptera pour 14 ECTS. Enfin le dernier ensemble, pour 21 ECTS, concerne la « discipline hors santé ». Il comprendra des enseignements d'une autre discipline, celle qui correspondra à l'intitulé du parcours dans lequel l'étudiant sera inscrit. Les ensembles « santé » et « transversal » seront communs à l'ensemble des étudiants de la mention « Sciences pour la santé ». L'ensemble « discipline hors santé » sera propre à chacun des onze parcours de la mention.

A l'Eost nous porterons deux parcours qui correspondent aux deux licences dont nous sommes responsables, la licence Sciences de la Terre et la licence Sciences et Technologie « Plurisciences ». Quarante places sont ouvertes dans le premier parcours et quatre vingt dans le second. Neuf autres parcours sont ouverts : chimie, droit, mathématiques, physique, psychologie, sciences économiques, sciences sociales, sciences du sport et sciences de la vie. Le parcours

sciences de la vie est celui qui ouvre le plus de places (400). En tout l'ensemble des parcours offre 1420 places.

L'admission en 1^e année de la licence « Sciences pour la Santé » se fait via la plateforme Parcoursup comme pour les autres licences. 560 candidats ont postulé au parcours Science de la Terre et 372 au parcours Sciences et Technologie « Plurisciences ». La plupart des candidats viennent de la filière S du lycée et ont candidaté dans plusieurs parcours. Nous ne saurons qu'à la fin du processus Parcoursup, au début de l'été, si nos parcours sont complets.

L'admission en études de santé (Médecine, Maïeutique, Odontologie, Pharmacie) à la fin de la 1^e année de la licence « Sciences pour la Santé » se fera sur la base suivante :

- il faudra évidemment réussir la 1^e année de la licence « Sciences pour la Santé ».
- les 10 à 12% meilleurs étudiants de chacun des onze parcours de la licence seront directement admis en études de santé, mais pas obligatoirement dans la discipline souhaitée – dans ce cas ils pourront refuser cette admission directe et passer par la phase des oraux comme décrit ci-dessous).
- les 20 à 25% suivants, dans chacun des onze parcours de la licence, ainsi que ceux ayant refusé leur admission directe (voir ci-dessus) devront passer par des épreuves orales d'admission. Ces épreuves auront été préparées durant l'année dans les UE de l'ensemble « transversal ». Une partie des étudiants ayant présenté ces épreuves orales d'admission sera admise en études de santé par le jury.

Le nombre de places dans chaque discipline sera limité, fixé par le président de

l'Université chaque année, en lien avec l'Agence Régionale de Santé. Il y aura des places "kinés" dans chacun des onze parcours de cette licence.

Les étudiants n'ayant pas été admis en études de santé pourront, s'ils ont réussi leur L1, poursuivre en 2^e année de la licence « Sciences pour la Santé » ou poursuivre en 2^e année de la licence correspondant au parcours qu'ils auront suivi en 1^e année (sous réserve d'avoir obtenu la moyenne dans l'ensemble d'enseignements « discipline hors santé »). L'intérêt majeur de cette réforme est de faciliter la poursuite d'études des étudiants qui n'auront pas été admis en études de santé. A l'Eost nous pensons qu'avec les enseignements reçus lors de leur L1 « Sciences pour la Santé », et sous condition d'un niveau minimum dans l'ensemble « discipline hors santé », les étudiants devraient suivre sans difficulté majeure les L2 des licence Sciences de la Terre et Sciences et Technologie « Plurisciences ». Cette réforme est certainement une chance pour les étudiants n'étant pas admis en étude de santé car ils pourront rebondir plus facilement. C'est aussi la possibilité pour l'Eost de recruter des étudiants de qualité au niveau du L2. Nous ferons le bilan dans 18 mois, lorsque quelques étudiants ayant suivi cette licence Sciences pour la Santé termineront leur premier semestre de L2 dans nos licences.

Frédéric Masson

<https://www.unistra.fr/index.php?id=accos-etudes-sante>

Année de terminale / Parcoursup

Licence mention « Sciences pour la Santé »

Tronc commun	Ensemble «Santé»	Biologie, mathématiques, physique et chimie.	25 ECTS
	Ensemble «Transversal»	Méthodologie du travail universitaire, sciences humaines et sociales en lien avec la santé et de langue vivante.	14 ECTS
Au choix parmi 11 parcours	Ensemble « discipline hors santé »	Autre discipline : les deux parcours portés par l'Eost «Sciences de la Terre» (40 places) et «Sciences et Technologie « Plurisciences » (80 places) + chimie, droit, mathématiques, physique, psychologie, sciences économiques, sciences sociales, sciences du sport et sciences de la vie.	21 ECTS

L'ENSEIGNEMENT AU TEMPS DU CONFINEMENT

Le 12 mars 2020, la décision est prise de fermer l'Université. L'annonce du confinement tombe rapidement et personne n'ose se projeter sur l'évolution de la situation, ni s'imaginer combien de temps cela va durer. Dans ce contexte hors du commun, les enseignants de l'EOST ont assuré la continuité pédagogique et su garder le lien avec les étudiants.

Le démarrage a été difficile car personne n'était vraiment préparé à la situation. Il a fallu créer de nouveaux supports de cours en urgence car une bonne partie du matériel d'enseignement était restée confinée au bureau. Les collègues qui maîtrisent bien les outils d'enseignement à distance ont partagé leur expérience et mis à disposition des tutoriels pour les novices. La complémentarité des compétences des enseignants de l'Eost a permis de maintenir au mieux la continuité de nos activités. L'idip a également été très réactive en nous aidant à trouver les supports les plus adaptés dont nous disposons à l'Université. De nombreux collègues ont ainsi découvert ou développé l'utilisation de Moodle (plateforme d'apprentissage en ligne offrant une multitude d'outils numériques), les enregistrements synchronisés voix et présentation Power-Point avec OBS studio, et la plateforme de dépôt de vidéos « pod ».

Le défi majeur a cependant été de maintenir l'interaction avec les étudiants. Beaucoup ont choisi de réaliser des séances d'échanges après les cours par le *chat* Moodle ou par divers outils de visioconférence. Les étudiants ont particulièrement apprécié cette interactivité, qui est la clé d'un enseignement complet et adapté à son public. La taille raisonnable des promotions de l'Eost a facilité la mise en place de ces échanges en direct. Ces séances ont permis de compléter les cours et TD, de répondre aux questions des étudiants, mais aussi d'obtenir un retour sur leur ressenti en termes de motivation, de rythme de travail et de stress. Ce *feedback* nous a permis d'adapter nos pratiques et de les rassurer. La situation n'était en effet pas facile pour certains d'entre eux d'un point de vue logistique (connexion aléatoire, manque de disponibilité des équipements numériques), ou d'un point de vue émotionnel (stress, proches malades, parents soignants). Les

étudiants ont particulièrement apprécié le fait de garder un rythme de travail hebdomadaire, calé sur l'emploi du temps initial, lorsque cela était possible. Cela minimise le changement, voire la perte de rythme. Les étudiants et les enseignants ont su s'adapter pour réaliser la plupart des examens à distance, que ce soit en ligne ou sous forme d'oral par visioconférence.

Les étudiants ont souligné la disponibilité et la bienveillance des enseignants. Le lien avec les étudiants est aussi une bouffée d'oxygène et une source de motivation pour nous. Il nous permet de continuer à les voir évoluer, montre que notre travail porte ses fruits, ou nous permet d'ajuster nos méthodes si ce n'est pas le cas.

Il y a bien sûr des limites à cet enseignement à distance comme le manque d'accès au matériel concret (cartes, échantillons, lames minces, appareils de laboratoire) et à certains logiciels. Les stages de terrain ont également dû être reportés, voire annulés. Cette période a été intense en termes de temps passé à préparer de nouveaux supports, à maîtriser les nouveaux outils numériques et à réajuster en permanence nos méthodes d'enseignement. Mais les ressources que nous avons découvertes pourront être réinvesties dans les années à venir et il est certain que la qualité de nos enseignements n'en sera que meilleure ! Cette période a révélé deux choses importantes. D'abord elle a mis en lumière à quel point les étudiants ont besoin d'échanges avec les enseignants. Ces échanges ne se limitent pas à des connaissances, mais comportent une forte composante émotionnelle. Par ailleurs, elle a révélé à quel point nous avons besoin du réel pour la recherche et pour l'enseignement des géosciences. Le réel est en effet une source de connaissance et d'émerveillement intarissable, et une source de motivation sans équivalent pour les étudiants.

Quentin Boesch

Photo > [1] Mon bureau confiné - Crédits : Quentin Boesch

Idip : Institut de Développement et d'Innovation Pédagogiques, qui forme les enseignants au numérique et à la pédagogie de l'enseignement supérieur.



1

MICRO-TROTTOIR VIRTUEL

Cécile - "Ça m'a permis de clarifier mes cours pour qu'ils soient plus accessibles pour les étudiants sans interaction directe. Une bonne chose de faite !"

Valérie - "Les cours de math en L1 ont continué sans délai. Documents sur Moodle puis visioconférence, chat : nous avons utilisé tous les moyens disponibles pour faire des cours vivants. Et après chaque séance, vidéo en ligne de corrections des exercices et test d'entraînement automatique sur Moodle. Beaucoup de travail pour les enseignants mais une bonne adhésion des étudiants."

Anne-Désirée - "Enseigner en période de confinement demande de modifier sa pédagogie, de s'approprier de nouveaux outils d'enseignement, d'interagir différemment avec les étudiants, de régler des problèmes logistiques inédits. C'est aussi éviter les bouchons sur la route, gérer l'intendance familiale et la continuité pédagogique de ses propres enfants. Bref, impossible de s'ennuyer"

Tania - "Malgré des exigences d'assiduité, d'échanges continus et de travaux à rendre, les étudiants de Master ISIE ont fait preuve d'investissement et de sérieux. Cette période m'a permis de découvrir des modes d'enseignement nouveaux, intéressants mais aussi très contraignants."

Alessia - "Les plus grandes difficultés : enseigner sans pouvoir lire dans l'expression des étudiants si les explications amènent au déclic recherché ; ne pas pouvoir débloquent un point dur pour un étudiant qui ne pose pas de questions en séance. Les bons côtés : plus de marqueurs vides ou craie sur les mains, et l'occasion de développer une nouvelle compétence : l'édition vidéo."

DENSE SEISMIC ARRAY (DENSAR) : UN NOUVEAU PARC DE STATIONS SISMOLOGIQUES MINIATURISÉES DISPONIBLE À L'EOST

L'Eost a fait l'acquisition en Février 2020 d'un parc de sismomètres miniaturisés et autonomes grâce au soutien financier du Labex G-Eau-Thermie profonde, de la composante Eost et de l'IPGS. Ce parc, dénommé Densar (DENse Seismic ARray) est constitué de 120 "nodes" de type SmartSolo du fabricant Dynamic Technologies (DTCC). Chaque node contient trois géophones 5Hz, un numériseur 24 bits, un GPS pour le positionnement et la datation, une carte pour le stockage des données et une batterie Lithium-Ion d'une autonomie de 30 jours pour un fonctionnement en continu. Nous disposons en sus de l'ensemble des équipements pour la configuration des nodes, le chargement des batteries et la récupération et le traitement des données sismiques (dont une version de terrain).

Contrairement aux équipements sismo-

logiques coûteux, volumineux et complexes traditionnellement utilisés dans le domaine académique, les nodes du parc Densar sont faciles et rapides à installer, autorisant le déploiement de réseaux sismiques temporaires denses et flexibles pouvant être utilisés comme des antennes sismiques. Ces dispositifs sont au cœur du développement des nouvelles méthodes d'imagerie tomographique et de suivi des propriétés et de la dynamique de la croûte terrestre peu profonde (failles, percolations de fluides, étude de la déformation du milieu, instabilités gravitationnelles, sismologie environnementale, etc.) pour des problématiques de recherche fondamentale et à des fins plus appliquées. La facilité et le coût peu élevé du déploiement des nodes Densar permettront de couvrir différents contextes et domaines d'application. Plusieurs études

se concentreront en particulier sur l'imagerie et la surveillance des réservoirs profonds dans le cadre du LabEx G-Eau-Thermie profonde et du nouvel ITI G-Eau-TE. En plus des projets de recherche, le parc sera également utilisé pour caractériser les différents sites des services de l'observatoire national (SNO/Insu) dans lequel l'Eost est impliqué, ainsi que pour la formation des étudiants en école d'ingénieur.

Ce parc est géré par la Plateforme d'Instrumentation en Sismologie (PISE) de l'Eost qui apporte une aide aux utilisateurs dans la préparation de leurs expériences, la manipulation des équipements et la récupération/conversion des données. Il est à disposition de l'ensemble des équipes de l'Eost, mais également d'autres partenaires universitaires et industriels, permettant ainsi de favoriser nos collaborations existantes et d'en développer de nouvelles.

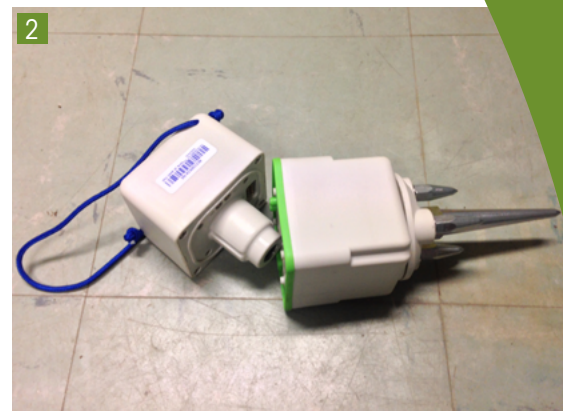
D. Zigone, M. Bes de Berc et J. Vergne

Si vous êtes intéressé vous pouvez contacter le comité de pilotage du parc DENSAR composé de D. Zigone, M. Bes de Berc, J. Vergne, C. Hibert et A. Bellahcene.

Photos > Crédits : C. Broucke, Eost

[2] Node SmartSolo

[3] et [4] Racks de chargement et de configuration des nodes



4

LA PLATEFORME OBSERVATION SPATIALE DE LA TERRE

ou l'accès et la commande de données satellitaires dans le cadre des dispositifs nationaux des pôles de données.

Les ressources de la plateforme permettent l'acquisition de modèles numériques de terrain très résolus et à plusieurs échelles en fonction de la chaîne d'acquisition, d'images multi-spectrales, et de champs de déformation. Les logiciels, outre le traitement des données brutes, permettent des restitutions cartographiques et 3D, ainsi que la conception de bases de données géospatiales.

Les ressources de la plateforme ont été utilisées depuis 2017 pour de nombreux projets tutorés et thèses, ainsi que dans le cadre de partenariats de recherche fondamentale ou appliquée (voir ci-contre). Ces équipements, et en particulier le radar interférométrique terrestre, sont actuellement mobilisés pour le suivi de crises gravitaires en temps réel à Aiguilles dans le Queyras et à Viella dans les Hautes-Pyrénées, à la demande des services de l'Etat tels que l'ONF-RTM ou le CEREMA.

La plateforme a bénéficié de financements incitatifs IDEX (grands équipements, investissements pédagogiques). L'objectif des années 2021 et 2022 est de finaliser l'archivage et la diffusion des données géospatiales collectées par les instruments de la plateforme et par les projets tutorés Geo-Lab sous forme de catalogues standardisés et pérennes.

Jean-Philippe Malet, Frédéric Masson, Gilbert Ferhat (Eost), Anne Puissant et Marc Fleck (Faculté de Géographie et d'Aménagement)



Ressource instrumentale



Ressources logicielles,
calcul et salle de cours



En cours de développement

Thèses : suivi 4D des champs de déformation de mouvements de terrain (F. Provost et M. Desrues), mesure de la déformation des galeries des mines de potasse d'Alsace (G. Modeste), mesure de la déformation de réservoirs de gaz (E. Henrion), caractérisation des instabilités gravitaires le long de corridors routiers (J. Voumard).

Partenariats de recherche : suivi couplé radar interférométrique sol et sismologie du glacier d'Argentières (collaboration avec l'IGE/Grenoble), quantification des taux d'érosion du Mont Granier (collaboration ISTerre/Grenoble), analyse de corridors routiers soumis à des chutes de blocs par LiDAR mobile (collaboration ISTE-Unil/Lausanne), analyse morpho-tectonique des déformations du Monte Vettore suite aux séismes de Norcia en 2016 (collaboration CEREGE/Aix-en-Provence), analyse de la rugosité de formes de labours des loess alsaciens et donc des modalités de ruissellement (collaboration ARAA/Strasbourg), analyse des stades phénologiques de végétation des prairies par LiDAR et drone infra-rouge (collaboration LIVE/Strasbourg).

Formation : à l'Eost, stages de terrain d'initiation au Nideck en L2 et en troisième année de l'Ecole d'Ingénieur ; à la Faculté de Géographie, stage instrumentation du Master OTG, projets tutorés GEO-Lab.

Les ressources de la plateforme sont accessibles en contactant les responsables.

<https://eost.unistra.fr/plateformes/plateforme-observation-terre/>

Illustration > [5] Ressources de la Plateforme



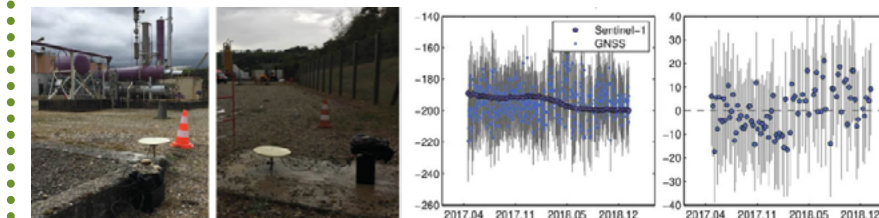
Radar interférométrique terrestre pour mesurer la déformation du glacier d'Argentières. Crédits : J.-P. Malet, G. Ferhat & C. Hibert

A l'été 2018, la déformation haute fréquence

du glacier d'Argentières a été mesurée en combinant laser scanner terrestre et radar interférométrique. Les équipements, héliportés sur une vire à 2700 m d'altitude en rive gauche du glacier, ont permis d'imager le champ de vitesse toutes les cinq minutes sur une emprise proche de 3 km². Ces mesures sont venues compléter les observations sismologiques (déploiement de 100 nœuds sismologiques 3C) et hydrologiques (capteurs de pression en forage) de l'IGE (Grenoble). La figure de droite présente le radar interférométrique et son champ de mesure ; la figure de gauche présente les déplacements (en ligne de visée) pour 3 points virtuels. Les résultats de l'expérimentation ont permis de quantifier la réponse complexe du glacier aux forçages hydrologiques.

Les stations GNSS de la plateforme, au nombre de cinq, permettent de réaliser des campagnes de mesures géodésiques temporaires, comme ici sur un site de stockage de gaz souterrain. En répétant deux fois par an ces mesures pendant une période de trois ans, il a été possible de mettre en évidence les mouvements verticaux et horizontaux du sol liés à la déformation du réservoir. La figure de gauche présente les stations GNSS de campagne qui viennent en complément de mesures de stations GNSS permanentes et de mesures InSAR. La figure de droite présente une superposition des séries temporelles de déplacements verticaux issues des données GNSS et InSAR Sentinel-1 et les résidus des déplacements verticaux entre les deux méthodes. Les stations GNSS de la plateforme peuvent être complétées par les celles du parc national de stations GNSS de l'INSU pour des campagnes plus conséquentes.

Acquisition de champ de vitesse par campagne GNSS pour le suivi de la déformation de réservoirs de stockage de gaz naturel. Crédits : E. Henrion & F. Masson



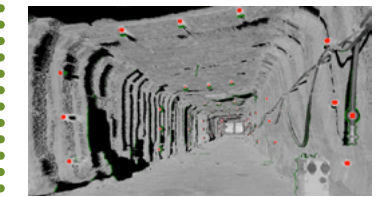
Acquisition de nuages de point par LiDAR mobile et station inertielle - Crédits : J.-P. Malet et J. Voumard

Des acquisitions de nuages de points le long de corridors routiers ont été réalisées en Suisse (cantons de Vaud et du Jura). L'objectif était de scanner en mode mobile plusieurs kilomètres de parois rocheuses en installant le capteur, relié à une station inertielle, sur un véhicule. En répétant le trajet quatre fois en A/R, et en roulant à une vitesse maximale de 30 km/h, l'instrument permet de réaliser une double acquisition de distances et de photographies. L'image ci-dessus représente le LiDAR, l'appareil photographique avec objectif Fish-Eye et la station inertielle sur le véhicule. L'image ci-contre représente un exemple d'acquisition en termes de nuages de points géoréférencés et colorisés.



LiDAR longue-portée Riegl VMZ2000 en acquisition dans les Mines de Potasse d'Alsace. Crédits : G. Modeste & F. Masson

Dans le cadre des travaux de thèse de G. Modeste, des acquisitions de nuages de points LiDAR ont été répétées selon un protocole original dans les galeries de sel des Mines de Potasse d'Alsace. L'image ci-dessus représente le LiDAR en acquisition sur un trépied. L'image ci-dessous représente le nuage de points dans une galerie à 550 m de profondeur. Les cercles rouges indiquent la position de réflecteurs spécifiques à l'appareil. Ces réflecteurs facilitent le suivi de la déformation de la galerie en servant de points de repère fixes. Le nuage de points n'est toutefois pas continu, la rugosité de la paroi est à l'origine de zones d'ombre.



L'aile volante Ebee-RTK permet d'acquérir des images sur des surfaces de l'ordre de 10 km² en un vol d'une vingtaine de minutes, pour des tailles de pixel au sol de l'ordre de 5 cm. Le drone est piloté de manière automatique par un simulateur de vol. L'aile volante est utilisée pour la réalisation de modèles numériques de terrain de grandes surfaces et pour l'acquisition d'ortho-images multi-spectrales dans des gammes de longueurs d'ondes proches de celles des satellites optiques (Sentinel-2, Spot, Pléiades) pour interpréter la radiométrie des surfaces, étudier les stades phénologiques de la végétation ou proposer des proxys d'humidité des sols.

Acquisition d'images multi spectrales drone par aile volante fixe - Crédits : A. Puissant, J.-P. Malet et M. Fleck



LES FORÊTS ENDOMMAGÉES DU BASSIN VERSANT DU STRENGBACH

Mi-février 2020, deux tempêtes successives ont fait tomber de nombreux arbres par couloirs sur le versant nord du site d'étude de l'OHGE (massif vosgien, commune d'Aubure, Haut-Rhin, entre 880 et 1150m d'altitude).

Ces dizaines d'arbres arrachés, ou même déracinés, doivent être évacués par les bucherons locaux, d'autant plus que certains sont tombés sur du matériel nous appartenant, endommageant ainsi certains de nos suivis. Malheureusement, le confinement a mis un arrêt à ce travail et nous espérons, au moment où cet article est écrit, que les travaux de coupe et d'extraction pourront reprendre rapidement.

Ces tempêtes s'ajoutent aux autres récents fléaux auxquels la forêt à dû faire face ces dernières années, comme une succession d'années exceptionnellement chaudes avec de longs épisodes de sécheresse, mais aussi des attaques de scolytes. Les scolytes sont des coléoptères dont les larves se nourrissent voracement de la sève située juste sous l'écorce (le phloème). Les arbres en bonne santé ont des défenses naturelles pour se protéger de ces parasites (insecticide, structure de la sève). Malheureusement, les individus dénutris, soumis au stress hydrique ou affaiblis par des tempêtes deviennent des cibles fragiles. C'est le cas des épicéas des parcelles situées sur le site de l'OHGE (mais c'est aussi le cas de multiples endroits dans les Vosges). Ces observations posent la question du devenir des forêts. Les réflexions autour de la forêt durable de demain soulèvent de nombreux enjeux comme le type de plantation, les politiques d'exploitation, l'évolution de la fertilité des sols ou les usages.

En outre, l'augmentation de la destruction des arbres par des parasites xylophages est telle qu'au niveau mondial cela pourrait avoir un impact significatif sur la dynamique du carbone (Fei *et al.*, 2019).

Marie-Claire Pierret

Lutte contre les scolytes : <https://lc.cx/CsIDTrkNc>



6



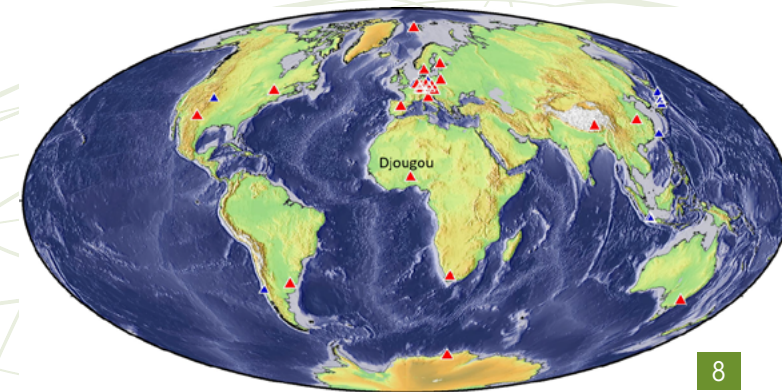
7

Photos > Crédits : M.C. Pierret

[6] La parcelle dévastée

[7] Galerie de scolytes à l'intérieur d'écorces tombées au sol

Fei, S., Morin, R. S., Oswalt, C. M., & Liebhold, A. M. (2019). Biomass losses resulting from insect and disease invasions in US forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(35), 17371-17376.



8

OBSERVATION DES VARIATIONS TEMPORELLES DE GRAVITÉ : LA STATION DE DJOUGOU

En juillet 2010 nous avons installé un gravimètre supraconducteur¹ (OSG-060) sur le site de Nalohou, près de Djougou, au nord du Bénin (Afrique de l'Ouest). Ce projet a pu se concrétiser grâce à un co-financement entre l'ANR Ghysaf (Gravité et Hydrologie en Afrique : Etude du cycle de l'eau en Afrique de l'Ouest - Une expérience pilote du Sahara à la zone de mousson à partir de mesures de gravimétrie sol et satellite) et le CNRS-Insu Terre Solide (voir *Lettre de l'EOST* n°14, déc. 2012).

Ce site fait partie du Soere Amma-Catch d'observations hydro-météorologiques en zone de mousson. La station de Djougou est une des stations du réseau de gravimètres supraconducteurs Igets (International Geodynamics and Earth Tides Service), un réseau international de l'IAG (Association Internationale de Géodésie) d'environ une vingtaine de stations opérationnelles en 2018 (en rouge sur la carte [8]). L'Eost a la responsabilité du bureau central de l'Igets.

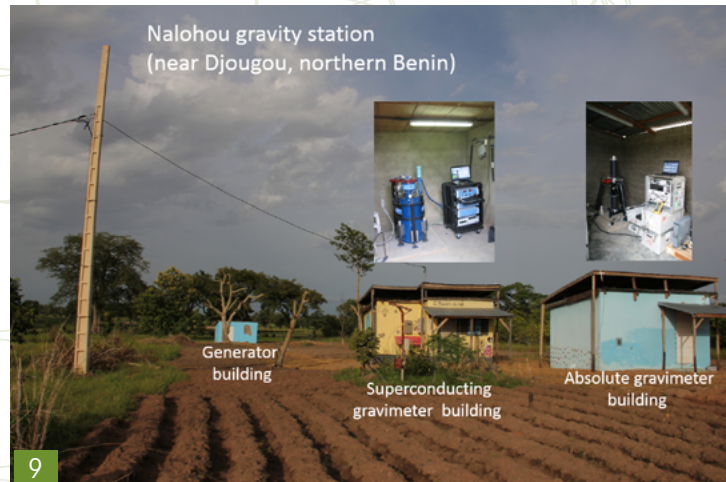
Cette localisation à Djougou permettait de combler une lacune de stations permanentes d'observatoire en Afrique d'une part (une seule autre station en Afrique du Sud)

et en zone équatoriale d'autre part (Djougou y est la seule station en opération à ce jour).

Pour pouvoir implanter cette nouvelle station gravimétrique, il a fallu un effort très important dont la première étape était d'équiper le site en électricité à partir d'une ligne à haute tension située à plus d'un kilomètre. Plusieurs bâtiments

ont aussi été construits [9] : le bâtiment principal abrite le gravimètre supraconducteur d'observatoire, mais il y a aussi un bâtiment pour les mesures épisodiques de gravimétrie absolue et un troisième bâtiment pour le groupe électrogène et sa cuve de gas-oil. Tout ce travail préparatoire a pu être mené à bien grâce à l'expatriation à l'IRD du Bénin, pendant trois ans, d'un assistant-ingénieur de l'Eost (Observatoire gravimétrique de Strasbourg). Malgré des défis climatiques (températures oscillant toute l'année entre 25° et 37°) et logistiques importants (pannes de courant incessantes de quelques heures à plus de quinze jours), nous avons réussi au fil des années à assurer la continuité des mesures de gravité, notamment grâce à un soutien technique local et une maintenance annuelle de l'ordre de quatre semaines par du personnel de l'Observatoire.

Le gravimètre supraconducteur OSG-060 est installé dans la zone sommitale du bassin de l'Ara et bénéficie d'une instrumentation hydro-météorologique et géophysique dense grâce au Soere Amma-Catch [10]. De 2010 à 2018, cette station a fourni une série de données de qualité qui ont été validées avec des mesures de gravité absolue faites avec un gravimètre balistique FG5#206 du parc Résif-Gmob dont l'Eost a la charge, ainsi qu'avec les mesures de gravimétrie spatiale de la mission Grace.



9

Cette série de qualité a fait l'objet d'études. La localisation ouest-africaine de la station de Djougou a permis d'obtenir des résultats nouveaux dans de nombreux domaines (voir article page suivante).

Jacques Hindérel

Obs. gravi. Strasbourg : <https://lc.cx/WdagQWpbX>
Igets : <http://lgets.u-strasbg.fr/>
ANR Amma-Catch : <http://www.amma-catch.org/>
Lettre de l'Eost déc. 2012 : <https://lc.cx/XBVVfCbeO>

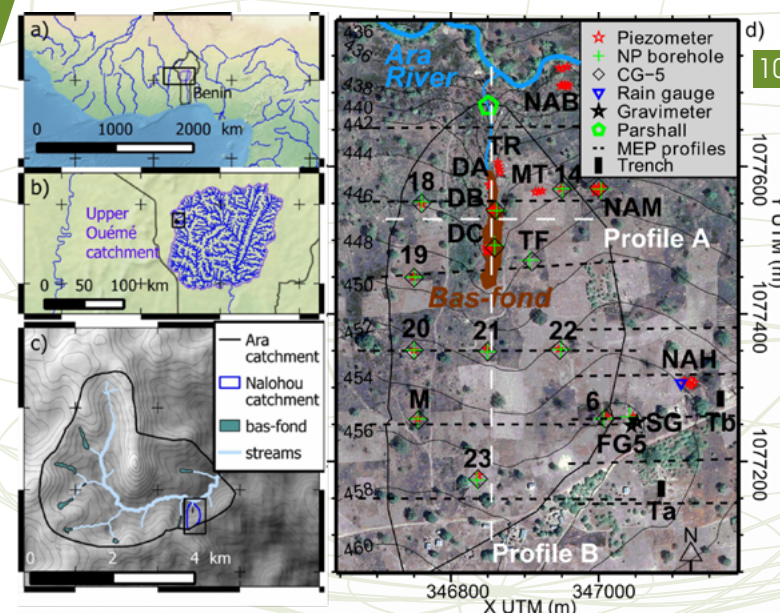
Illustrations >

[8] Carte des gravimètres supraconducteurs du réseau international IGETS indiquant la position unique de la station de Djougou.

[9] Photographie montrant les 3 bâtiments de la station gravimétrique de Djougou à Nalohou (bassin de l'Ara).

[10] Localisation du bassin versant de l'Ara au sein du bassin de l'Ouémé (nord Bénin). L'instrumentation hydro-météorologique et géophysique disponible sur site est indiquée à droite. Les losanges indiquent les mesures de micro-gravimétrie faites sur le réseau local à l'aide d'un gravimètre de terrain Scintrex CG5.

1 - Un gravimètre supraconducteur est un instrument capable de mesurer les variations temporelles de la gravité terrestre avec une très grande précision (de l'ordre de quelques pico-g (10^{-12} g) où g est la gravité moyenne à la surface de la Terre). De plus, sa dérive très faible, sans comparaison avec les gravimètres mécaniques, rend possible l'étude des phénomènes géophysiques sur un spectre très large, allant de la seconde à plusieurs années de période.



10

APPORT D'UNE SÉRIE DE HUIT ANS DU GRAVIMÈTRE SUPRACONDUCTEUR DE DJOUGOU

La série de données enregistrées par le gravimètre supraconducteur de Djougou durant plus de huit ans (voir page précédente) a fait l'objet d'études au sein de l'équipe de Dynamique Globale de l'IPGS, en collaboration avec plusieurs équipes française (IGE Grenoble) et étrangères (Naples et Madrid), études qui ont abouti à deux dernières publications en 2020 (voir références).

Nous détaillons ci-dessous les résultats nouveaux obtenus (grâce à la localisation ouest-africaine de la station) dans le domaine des marées terrestres et océaniques, des effets de charge de pression atmosphérique et hydrologique.

Tout d'abord la longue série a permis d'effectuer une analyse des ondes de marée luni-solaires (amplitude et phase) rendues séparables par la longue durée d'enregistrement. Les forces d'attraction luni-solaires font varier la gravité au travers de marées terrestres et de marées océaniques. Nous avons ainsi pu vérifier l'impact de neuf modèles récents de marée océanique et, en particulier, pour la première fois, leur estimation dans le Golfe de Guinée sur la côte atlantique africaine.

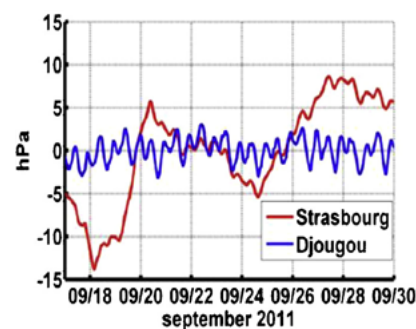
Un autre aspect novateur est l'étude des effets atmosphériques car dans cette zone, ce sont les ondes barométriques qui dominent l'enregistrement des variations temporelles de pression atmosphérique, au contraire des stations à mi-latitude comme Strasbourg qui, elles, sont surtout sensibles au passage des fronts météorologiques [11]. Ces ondes barométriques sont d'extension planétaire et requièrent une modélisation

de charge atmosphérique basée sur des modèles de circulation à grande échelle. Cette modélisation est faite à l'Eost (Loading service) et nous avons pu montrer que l'approche classique, qui n'utilise que la pression locale (admittance barométrique), ne peut expliquer correctement nos observations pour les ondes de période 1 an, 6 mois, 1 jour et 12 heures.

Nous avons pu également confronter nos observations au signal hydrologique prédit dans cette zone africaine de mousson, où une pluie intense survient chaque année entre mai et septembre. Après correction de nos signaux des effets de marée luni-solaire, de pression

d'eau en utilisant une simulation basée sur un modèle numérique du bassin versant (de type Parflow-CLM). Ce modèle, forcé par les données de pluie locales, reproduit fidèlement les données d'évapo-transpiration et de débit à l'exutoire. Il conduit aussi à une distribution des stocks d'eau dont l'effet gravifique est en bon accord avec nos observations du gravimètre supraconducteur [12]. Cette étude confirme le rôle de 'proxy' (substitut) fiable des variations de gravité de surface pour le suivi temporel des variations de stocks d'eau dans des bassins de petite taille.

Jacques Hinderer



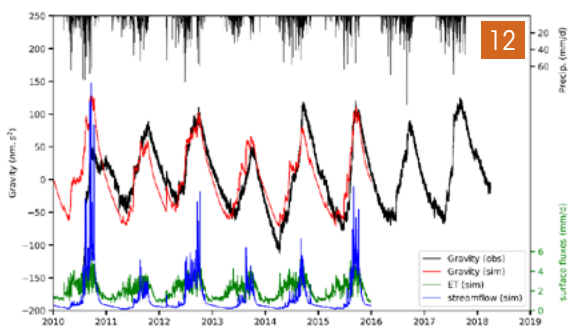
Eost loading Service : <http://loading.u-strasbg.fr/>

Illustrations >

- [11] Variations temporelles et spectrales de la pression atmosphérique à Djougou et Strasbourg.
[12] Modélisation à l'aide de Parflow-CLM du stock d'eau d'après une simulation de l'évapotranspiration (ET) (en vert), le débit à l'exutoire (en bleu) et la gravité (en nm s⁻²) (en rouge) et comparaison avec la gravité observée (en noir).

Références

- Rosat, S. & Hinderer, J., 2018. Limits of Detection of Gravimetric Signals on Earth. *Scientific Reports*, Nature Publishing Group, 2018, 8 (1), 10.1038/s41598-018-33717-z
- Hinderer, J., B. Hector, U. Ricciardi, S. Rosat, J.-P. Boy, Calvo, M., Littel, F., and Bernard, J.-D., 2020. A study of the monsoonal hydrology contribution using a 8-yr record (2010–2018) from superconducting gravimeter OSG-060 at Djougou (Benin, West Africa). *Geophysical Journal International*, Oxford University Press (OUP), 221 (1), pp.431–439. 10.1093/gji/ggaa027
- Hinderer, J., U. Ricciardi, S. Rosat, J.-P. Boy, B. Hector, Calvo, M., Littel, F., and Bernard, J.-D., 2020. A study of the solid earth tides, ocean and atmospheric loadings using an 8-year record (2010–2018) from superconducting gravimeter OSG-060 at Djougou (Benin, West Africa). *Journal of Geodynamics*, Elsevier, 134, pp.101692. 10.1016/j.jog.2019.101692



DOSSIER GÉOSCIENCES ET ARCHÉOLOGIE DANS LA REVUE

ARCHIMÈDE
ARCHÉOLOGIE ET HISTOIRE ANCIENNE

En juin paraîtra le volume 7 de *Archimède. Archéologie et histoire ancienne*, revue scientifique à comité de lecture en accès libre hébergée par l'Université de Strasbourg. Dans ce volume, un dossier spécial intitulé « *Géosciences et Archéologie : interactions, complémentarités et perspectives* ». Ce dernier fait suite à la première rencontre interdisciplinaire et interprofessionnelle Géosciences – Archéologie et co-organisée

par l'IPGS en juin 2019. Composé de quatorze articles originaux et dirigé par Bruno Gavazzi (IPGS), le dossier constitue une étape dans le développement de nouvelles approches interdisciplinaires et collectives visant à mieux comprendre le passé de l'Homme et de son Environnement, ainsi que l'évolution de leurs interactions jusqu'à nos jours. Ce dossier illustre le dynamisme collaboratif entre des communautés diverses des sciences et techniques et des sciences humaines et sociales autour de sujets communs, et positionne l'Unistra comme un acteur structurant de cette démarche qui, à travers cette rencontre de plusieurs disciplines, fait émerger de nouveaux champs de recherche et d'application.

<https://archimede.unistra.fr/revue-archimede/>

Financement : L'édition de ce dossier a été rendue possible grâce au soutien de l'Unistra (Idex), du CNRS (INSU) et de la Direction Régionale des Affaires Culturelles Grand Est (Service Régional de l'Archéologie)

ORIGINE PHYSIQUE DE LA TRANSITION FRAGILE-DUCTILE DANS LES MATÉRIAUX

Les séismes ont leur origine dans la rupture fragile des roches. Celles-ci ont lieu dans les couches superficielles de la Terre, alors que les roches (parfois identiques) plus en profondeur fluent et se déforment sans à-coups, de manière aismique. En général, comment se fait-il que certains matériaux rompent brutalement, quand d'autres se déforment doucement et de façon ductile ? Pourquoi un même matériau, porté à différentes températures, peut-il présenter ces deux comportements ? Nous proposons ici une explication à la fragilité et à la ductilité de la matière, une question fondamentale pour nombre d'ingénieurs, la rupture fragile de certaines structures pouvant entraîner des désastres difficilement prédictibles. C'est aussi un point important en sciences de la Terre : les séismes destructeurs sont souvent générés par la rupture de roches superficielles relativement froides de la croûte terrestre, plutôt que par celle de roches plus profondes, et donc plus chaudes et plus ductiles.

Les solides se déforment grâce à la propagation de micro-fissures et de défauts. Ces fractures, quand elles se propagent, dégagent de la chaleur : plus vite elles progressent, plus elles chauffent. Mais en réponse, des fissures dont la température augmente ont tendance à accélérer, car

la rupture des liens moléculaires en pointe de rupture est alors favorisée. Le phénomène peut alors s'amplifier, menant à un emballement thermique dans le processus de fracturation, lorsque la température d'une fissure vient dépasser significativement la température ambiante. Dans le cas contraire, si la chauffe reste limitée, chaque fissure n'accélère que progressivement lorsque le chargement mécanique augmente : le matériau flue et la déformation est ductile. Dans un article récent dans *Physical Review Materials*, les chercheurs de l'IPGS-Eost décrivent ainsi la rupture comme une transition de phase, similaire à celle expliquant la fonte ou le gel de l'eau par exemple, et qui, de manière surprenante, dépend des propriétés thermiques de la matière.

Contexte : Collaboration au sein du Laboratoire international associé D-FRACT, « Deformation, Flow and Fracture of Disordered Materials - Taming Geophysical Hazards » (Oslo).

Actualité CNRS-Insu : <https://lc.cx/kshfUWGqW>

Référence : T. Vincent-Dospital, R. Toussaint, A. Cochard, K. Jørgen Måløy, E. Grude Flekkøy, Thermal weakening of cracks and brittle-ductile transition of matter: A phase model, 2020, *Phys. Rev. Materials* 4(2), 023604. DOI 10.1103/PhysRevMaterials.4.023604
Article : <https://journals.aps.org/prmaterials/>

DAMIEN DAVAL REÇOIT LA MÉDAILLE DE BRONZE DU CNRS



Damien DAVAL s'est vu décerner la Médaille de Bronze 2020 du CNRS, qui récompense les premiers travaux consacrant des chercheurs et des chercheuses spécialistes de leur domaine. Damien Daval, chercheur au Laboratoire d'hydrologie et de géochimie de Strasbourg depuis 2011 travaille au sein de l'équipe Biogéochimie Isotopique et Expérimentale sur les mécanismes et les vitesses d'altération des minéraux. Cette distinction représente un encouragement du CNRS à poursuivre des recherches bien engagées et déjà fécondes.

abstract/10.1103/PhysRevMaterials.4.023604
Open Access : <https://arxiv.org/pdf/1901.04202.pdf> et <https://univok.eu/islandora/object/islandora%3A86584>

Photo > [13] Rupture fragile (à droite) et déformation ductile (à gauche) d'une tablette de chocolat portée à plusieurs températures. Crédits : Tom Vincent-Dospital



GRAND PUBLIC

La période de confinement et la mise en place du télétravail ont remis en question les projets en cours au musée de minéralogie. Certaines activités de base se sont arrêtées, telles que le nettoyage des spécimens ou leur inventaire, et de nombreux événements majeurs ont été annulés ou reportés. Cette période particulière offre cependant l'opportunité de se recentrer sur le travail méticuleux, et chronophage, de documentation des collections et de recherche bibliographique sur des thématiques précises. C'est ainsi qu'est né le projet de mise en lumière de certains spécimens du musée au travers d'une série d'articles intitulée « Beauté(s) minérales ». Accessibles à tous, ces articles permettent de découvrir des résultats de recherches et des anecdotes sur certains des plus beaux minéraux du musée en termes de couleur et de brillance. En puisant dans la photothèque remarquable du musée, mais aussi dans la littérature, l'architecture, les arts décoratifs ou la poésie, ces articles abordent les minéraux d'une manière évidemment non exhaustive, mais originale et "rafraîchissante".

Dans cette série, trois articles sont déjà parus : l'« **Azurite ou le bleu des montagnes** », la « **Malachite ou le vert des montagnes** », et « **Le Soufre : l'élément du diable ?** ». Ils sont disponibles sur le site web du Jardin des sciences de l'Université de Strasbourg et seront imprimés pour être mis à disposition des visiteurs au musée de minéralogie.

15

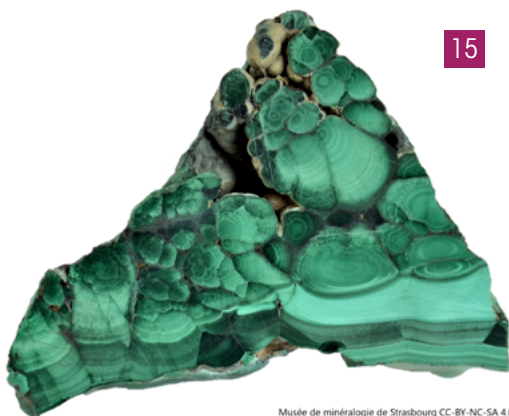
Bonne lecture !

Photos > Crédits D. Leybold, Eost

[14] Azurite, Chessy, Lyon, France

[15] Malachite d'oural

[16] Soufre, Girgenti, Sicile, Italie



Musée de minéralogie de Strasbourg CC-BY-NC-SA 4.0

BEAUTÉS MINÉRALES



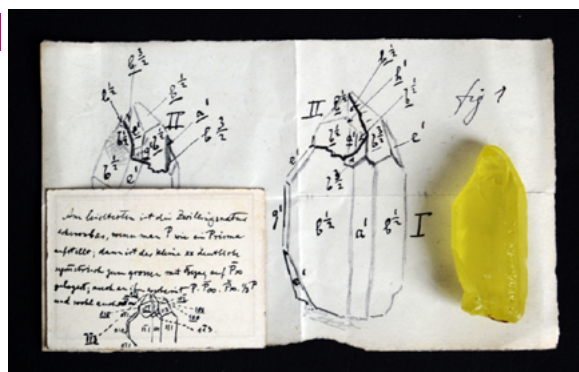
14

Les articles : <https://ic.cx/iRFEm6N4Q>

Le musée : <http://musee-mineralogie.unistra.fr/>

Sur Facebook : <https://www.facebook.com/MineralEOST>

16



EXPOSITION



Le bassin versant du Strengbach (OHGE) a été choisi comme site de référence dans l'exposition "Zones critiques - Observatoires de la politique terrestre" au centre des arts et médias de Karlsruhe (ZKM). Pendant longtemps, les réactions de la Terre à nos actions humaines sont restées

inaperçues, mais récemment, avec le mouvement de protestation "Fridays for Future", l'opinion publique a pris conscience de la crise climatique. L'exposition "Zones critiques - Observatoires de la politique terrestre" nous invite à aborder la situation critique de la Terre de différentes manières et à explorer de nouveaux modes de coexistence entre toutes les formes de vie. Avec le philosophe français Bruno Latour, le ZKM a créé un observatoire - sur le mode d'une exposition de pensée - qui présente à petite échelle la diversité des relations entre les formes de vie sur Terre. Les visiteurs de l'exposition deviennent des

observateurs, leur comportement modifie l'exposition, et le comportement de l'exposition change en conséquence. Ainsi, notre comportement peut également changer le monde.

À cet égard, l'exposition sert de laboratoire vivant pour développer, dans une coopération transdisciplinaire de stratégies scientifiques et artistiques innovantes, le potentiel futur des connaissances et des options d'action en dehors des notions et concepts établis de "nature" et "d'écologie".

L'exposition est ouverte jusqu'au 28 février 2021.
<https://zkm.de/en/exhibition/2020/05/critical-zones>