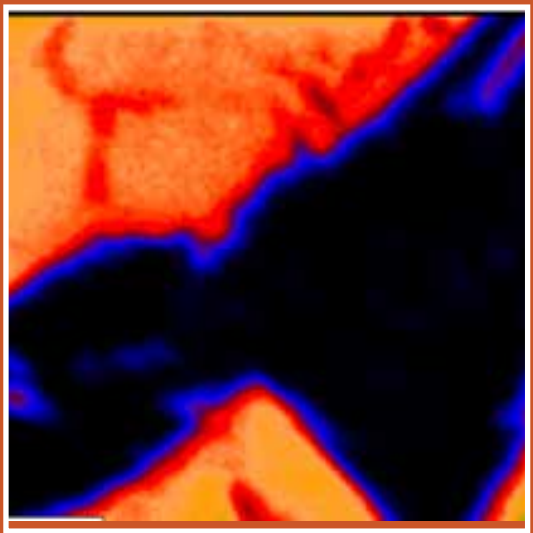
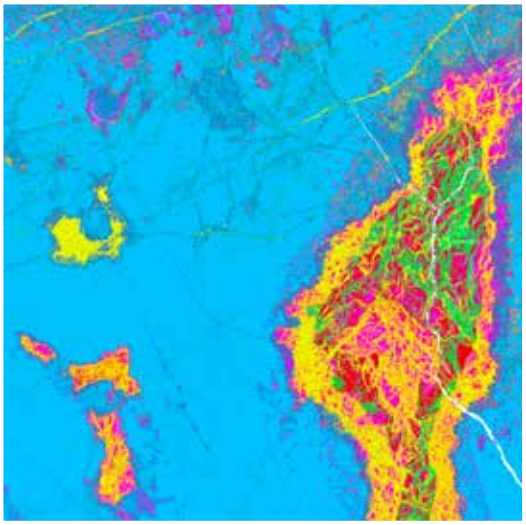
# otelo

Observatoire Terre Environnement Lorraine

# RAPPORT D'ACTIVITÉ 2023





cnrs INRAE UNIVERSITÉ DE LORRAINE GÉOLOGIE NANCY

# SOMMAIRE

02 MOT DU DIRECTEUR
03 LES PROJETS INTERDISCIPLINAIRES
08 LES PROJETS JEUNES CHERCHEURS
13 BILAN FINANCIER
14 RESSOURCES HUMAINES
15 THÈSES
16 NOUVEAUX ÉQUIPEMENTS
17 FAITS MARQUANTS
19 LABCOM THEIA
20 LABELLISATION INFRA +
22 MANIFESTATIONS SCIENTIFIQUES
23 GEOLOGIA
24 ANNIVERSAIRES
25 REVUE DE PRESSE

Photos 1ère de couverture

CRPG - Mesures d'hydrogène dans les chondrites à enstatite 3 - D.Thomassin
(Photo 1 du haut gauche)

LSE - Mésofaune dégradant de la matière organque - Colllembole dicyrtomina ornata - L. Caron
( Photo 2 du haut droite)

LIEC - Daphnia magna grossissement x500,0 - C. Bojic
(photo 3 du bas à gauche)

GeoRessources - AMICS Uranium bassin d'Athabasca - A.Lecomte
(photo 4 du bas droite)

otelo
Observatoire Terre Environnement Lorraine

http://otelo.univ-lorraine.fr

*date de parution : Septembre 2024*

Le rapport d'activité d'OTELo pour l'année 2023 met en avant les anniversaires de trois des UMRs qui ont fêté cette année leurs 70 ans pour le CRPG et 10 ans pour le LIEC et GeoRessources. Le LSE fêtera lui ses 30 ans à l'automne 2024. La stabilité et la longévité de ces unités de recherche reflètent bien le positionnement pertinent des géosciences et des sciences de l'environnement du site lorrain, organisées depuis des décennies autour de différentes fédérations de recherche (Institut Lorrain des Géosciences – ILG dans les années 90, puis fédération de recherche Eau Sol Terre – FR-EST dans les années 2000), ancêtres de l'OSU/Pôle OTELo. Ce positionnement s'appuie sur un continuum scientifique cohérent et ancré lui aussi depuis des décennies sur des disciplines et thématiques fortes comme la géochimie (deux services nationaux du CNRS-INSU labellisés depuis les années 90), les environnements anthropisés (le GISFI a 20 ans), les ressources (la station expérimentale STEVAL fête aussi cette année ses 60 ans).

Cette année 2023 a vu aussi la poursuite de notre activité partenariale institutionnelle dans le cadre du renouvellement du Laboratoire International Associé (LIA) Ecoland entre le LSE et deux universités chinoises, ainsi que l'inauguration d'un nouveau Labcom (THEIA) entre le laboratoire GeoRessources et un partenaire industriel (Arethuse Geology).

Le potentiel analytique et expérimental des UMRs d'OTELo continue son organisation et améliore sa visibilité avec deux nouvelles labellisations dans le cadre du programme INFRA+ de Lorraine Université d'Excellence (LUE) pour les plateformes HydroGéoMécanique (HGM de GeoRessources) et LiecOscope (du LIEC).

Plus classiquement, ce rapport d'activité met aussi en avant le bilan des actions scientifiques financées dans le cadre des appels à projets Jeunes Chercheurs et Interdisciplinaires d'OTELo, ainsi que les nombreuses distinctions reçues par nos scientifiques.

Raphaël PIK , directeur d'OTELo

# PROJETS INTERDISCIPLINAIRES 2022

## SUIVI DES TRANSITIONS ENTRE LES RÉGIMES D'EXTENSION : EXTENSION DE L'ARRIÈRE-ARC ÉGÉEN À CORINTH RIFTING, AU NORD DU PÉLOPONNÈSE, GRÈCE.

**Porteurs** : Mary FORD (CRPG)
Pierre BOUILHOL (CRPG)
Marie Camille CAUMON (GeoRessources)

**Financement OTELo** : 7532 €

**Résumé** : This multidisciplinary project investigated the interactions between Miocene low angle normal faults (LANFs) associated with exhumation of the high pressure Phyllite-Quartzite Nappes (PQN) in the Aegean back arc system and the younger high angle normal faults (HANF) of the Corinth rift. The objective was to understand how the two extensional systems interacted in time and space. The project represented the PhD of V. Wicker and was part of the international DeepRift project led by Prof. Rob Gawthorpe, University of Bergen. We constrained the timing, geometry, PT conditions and kinematics of tectonic units and structures in three stages. Field mapping in the northern Peloponnese was completed in 2021 funded by the DeepRift project. A Tellus-SYSTER project (2022; 10 k€) covered the bursary of a Master M2 student and the cost of low temperature thermochronology analyses. The OTELo project funded analyses to constrain the exhumation history of the PQN through collaboration between Georessources and the CRPG (RAMAN analyses, chemical mapping of mineral assemblages (EPMA), bulk geochemical analyses).

**Résultats scientifiques obtenus** :

The metamorphic and deformation history of the PQN were constrained (Fig. 1). The PQN was exhumed by Late Miocene NE directed extension partly through thinning of the upper crust by LANFs above the Cretan detachment. The metamorphic dome plunged and closed northward where the Corinth rift nucleated, with HANFs cutting across older LANFs.

**Valorisation du projet :**

PhD of V. Wicker (2023) : Rifts superposés : Transition entre subduction alpine, extension tardi-orogénique et rifting actif dans le système avant-arc Egéen, Péloponnèse, Grèce : Une approche cartographique, structurale, pétrologique et thermochronologique. Master M2 thesis of Léa Kerouedan 2023. Études structurales et thermiques de l'unité Phyllite-quartzite au sud du rift de Corinthe.

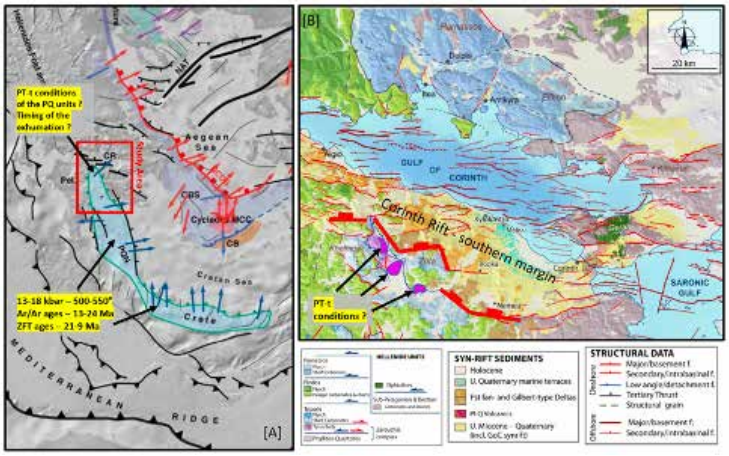



**Illustration : [A] Tectonic map of the Aegean domain showing the Phyllite-Quartzite HP metamorphic nappes (PQN) and PT conditions. The study area is indicated in red at the northern end of the PQN and including the Corinth rift (CR). [B] The Corinth Rift showing the southern margin border faults (thick red lines) and the north Peloponnese HP metamorphic windows (Pink) in which PT-t conditions of exhumation were investigated.**

**Publications :**

Wicker, V., Gawthorpe, R. L., Ford, M., Skourtsos, E., Kranis, H. D., Kerouédan L., & Muravchik, M. (2023). Transition from Late-Miocene syn-orogenic extension to Plio-Pleistocene Corinth rifting in the Southern Hellenides, northern Peloponnese, Greece. Tectonics (resubmitted).

Wicker, V., Bufféral, S. (2023). Deformation mechanisms during the syn-orogenic extrusion of the High-Pressure Phyllite-Quartzite Unit in the Central and Northern Peloponnese, Greece. Tectonics (submitted)

**Presentations :**

Wicker, V., Plunder, A., Kerouedan, L., Caumon, MC. Tectonic and metamorphic evolution of the High-Pressure Phyllite-Quartzite Unit in the Aegean forearc, Peloponnese, Greece. Metamorphic Studies Group, Oxford, 2023

Wicker, V., Bufféral, S., The central and northern Peloponnese low-angle normal faults (LANFs). Late Miocene unroofing of the Aegean forearc in the upper plate of the Hellenic subduction zone. RST 2023.

Wicker, V., Bufféral, S., Unraveling the deformation phases of the Phyllite-Quartzite metamorphic nappe in Central and Northern Peloponnese: Implications for the Oligo-Miocene External Hellenides evolution (Greece). RST 2023.

Wicker, V., Gawthorpe, R., Skourtsos, E., Kranis, H., Along-strike variability of the influence of inherited structures in the Plio-Pleistocene Corinth Rift southern margin architecture. RST 2023.

**Autre subvention obtenue** : INSU Tellus-SYSTER project (2022; 10 k€), DeepRift, University of Bergen (2021, 6 k€)

# EVALUATION DE LA QUALITÉ ENVIRONNEMENTALE CHEZ UNE ESPÈCE SENTINELLE D'EAU DOUCE, DREISSENA POLYMORPHA : APPROCHE PAR MICROSCOPIE À FORCE ATOMIQUE (AFM) DE L'ÉVOLUTION DES PROPRIÉTÉS NANOMÉCANIQUES ET MORPHOLOGIQUES DES CELLULES REPRODUCTRICES SOUS LES EFFETS DU MILIEU ENVIRONNANT

**Porteurs** : Laëtitia MINGUEZ (LIEC)
Angelina RAZAFITIANAMAHARAVO (LIEC)
Fanny LOUIS (LIEC)
**Financement OTELo** : 8 108€

**Résumé :**

Dreissena polymorpha est une espèce de moule d'eau douce largement utilisée en écotoxicologie. Bien qu'invasive, cette espèce représente aujourd'hui une importante part de la biomasse des macro-invertébrés benthiques en France et participe au maintien de nombreux services écosystémiques. Cependant, la reproduction de la moule zébrée n'est que très peu connue alors que cela représente un point clé dans le maintien des populations. Ce projet a pour objectif d'optimiser le conditionnement pour le bon maintien des cellules reproductrices chez Dreissena polymorpha au laboratoire pour ensuite mettre au point les mesures des propriétés morphologiques et nanomécaniques des cellules par le biais de la microscopie à force atomique. Cette technique innovante nous permettra de suivre, à l'échelle nanométrique et cellulaire, les effets des facteurs environnementaux sur la reproduction d'une espèce sentinelle ainsi que la réponse des cellules reproductrices face au stress occasionné par le milieu environnant représenté ici par le lithium. Cet élément a été choisi car il est au coeur de plusieurs projets actuellement financés au laboratoire. L'optimisation des méthodes de conditionnement des échantillons a été réalisée à travers ce projet pour ensuite pouvoir apporter cette approche dans des études écotoxicologiques.

**Résultats scientifiques obtenus :**

Les expérimentations réalisées pour la 1ère partie du projet ont permis d'établir (1) le milieu adéquat pour la ponte et (2) le temps optimal entre la ponte et l'analyse des cellules. La viabilité des gamètes a été analysée par épifluorescence (femelles) et par cytométrie en flux (mâles) après co-marquage des cellules à l'iodure de propidium et au hoechst (femelles) ou au Syto9 (mâles). D'après nos résultats, les gamètes peuvent être traités jusqu'à 2h après leur émission. La taille des ovocytes a présenté un souci majeur, que ce soit à l'échelle micro- ou nanométrique. L'effet du milieu environnant a donc été testé uniquement chez les mâles. Afin de déterminer une concentration toxique pour les études en AFM (2ème partie), une gamme de Li a été réalisée préalablement. Une diminution significative de la viabilité des spermatozoïdes a été observée après 24h d'exposition à 1 mg.L-1 de Li. Pour les analyses en AFM, les spermatozoïdes sont fixés sur une lame de verre déposée dans un milieu liquide (PBS) à pH neutre. L'évolution des propriétés morphologiques et nanomécaniques a été suivie en mode Peak Force Tapping permettant un contact intermittent de la pointe du microscope avec les cellules lors du balayage. Pour la nanomécanique, les mesures consistent à évaluer les modifications de l'élasticité membranaire (module d'Young) de la cellule mâle en présence ou non de lithium.

Les cellules non exposées ont une élasticité d'environ 14MPa, valeur médiane obtenue sur une dizaine de cellules. Un spermatozoïde a été directement exposé au Li (1<[Li]< 5 mg.L-1) et montre une diminution de l'élasticité jusqu'à atteindre 5 MPa après deux heures d'exposition. La présence du Li tend donc à diminuer l'élasticité membranaire engendrant ainsi la lyse des cellules. Néanmoins, les gamètes présentent une forte fragilité se traduisant par une perte rapide du flagelle au cours du balayage même sans la présence de Li. En ce qui concerne leur morphologie, une perte progressive de l'intégrité de la forme, notamment une dégradation de la tête de la cellule a été observée après exposition au Li. Ces résultats ont permis de mettre en avant deux paramètres fondamentaux à considérer pour étudier l'effet du milieu environnant sur les cellules reproductrices du bivalve : la concentration critique induisant des changements et le temps d'apparition de l'effet entraînant des modifications des propriétés des cellules.

**Autre subvention obtenue :**

Projet OTELo Jeune chercheur : Effets du lithium sur les compromis énergétiques sur un filtreur modèle d'eau douce, Dreissena polymorpha

Projet en cours de réflexion (ANR JCJC).

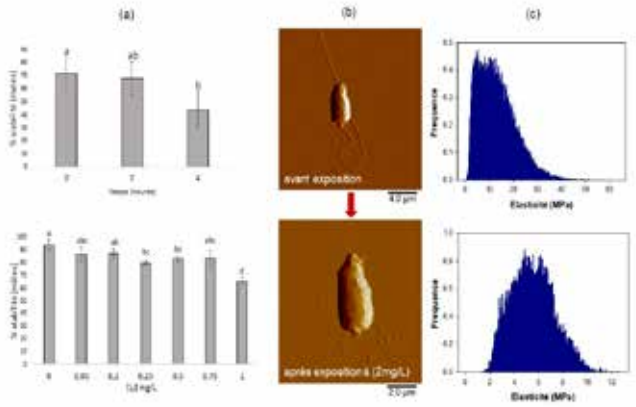



**Illustration : Développement méthodologique pour l'évaluation de la qualité des gamètes à l'échelle nanométrique chez Dreissena polymorpha en fonction du milieu environnant. (a) Viabilité des spermatozoïdes en fonction de temps et après 24h d'exposition à une gamme de Li. (b) Morphologie d'un gamète mâle avant et après exposition à 2 mg.L-1 de Li et la distribution de l'élasticité membranaire correspondante (c).**

# COREENDOSEED : UN CORTÈGE D'ESPÈCES MICROBIENNES ENDOPHYTES COMMUNES DANS LES GRAINES DE BRASSICALES ET D'ASTERALES HYPERACCUMULATRICES DU NICKEL ?

**Porteurs** : Émile BENIZRI (LSE)
Damien BLAUDEZ (LIEC)
**Financement OTELo** : 12 162 €

**Résumé** :

La phytoextraction est basée sur l'utilisation de plantes hyperaccumulatrices (HA) pour restaurer des milieux pollués ou naturellement riches en métaux. Ces plantes absorbent les métaux biodisponibles et les accumulent dans leurs parties aériennes récoltables. L'un des inconvénients de ce processus est sa lenteur. L'utilisation de microorganismes endophytes capables de stimuler le développement de ces plantes et qualifiés de « Plant Growth Promoting Endophytes » (PGPE), pourrait être un levier améliorant la phytoextraction. De récents travaux, concernant des populations d'HA appartenant aux Brassicacées, ont montré l'existence d'un consortium commun de bactéries endophytes dans leurs graines, dont certaines PGPE, malgré des sols différents et des différences génétiques entre végétaux.

L'objectif de cette recherche est d'étendre ces travaux à d'autres plantes HA, appartenant ou non aux Brassicacées, ainsi qu'à des non-HA, afin de confirmer le caractère constant d'un consortium d'endophytes PGPE dans les graines d'HA.

Quatre-vingt-treize échantillons de graines dont 56 HA et 37 non-HA, incluant 17 genres et 45 espèces, appartenant aux ordres des Astérales et Brassicales ont été récoltés dans différentes régions du monde. Après désinfection des graines, l'ADN génomique a été extrait et amplifié par PCR en ciblant des régions hypervariables du gène de l'ARNr 16S ou de la région ITS2 fongique, et séquencé (MiSeq). La diversité des bactéries endophytes des graines a été caractérisée et des analyses de similarité ont été réalisées pour cerner l'existence éventuelle d'un consortium commun de bactéries aux graines d'HA. Les souches fongiques isolées en culture pure ont été identifiées taxonomiquement par séquençage Sanger de la région ITS. Des tests phénotypiques PGP et de tolérance au nickel (Ni) ont été réalisés en milieu gélosé.

**Résultats scientifiques obtenus :**

Concernant la diversité bactérienne, une majorité des OTUs identifiées, qu'il s'agisse de graines d'HA ou non, appartient aux classes des Gamma-Proteobacteria, Actinobacteria et Bacteroidia. Les bactéries endophytes affiliées à ces classes constitueraient un « core » commun aux graines des végétaux HA ou non-HA. Afin de cerner une éventuelle similarité entre les communautés de bactéries endophytes des graines de plantes appartenant aux Astérales et Brassicales HA et/ou non-HA, un diagramme de Venn (Figure ) a été construit. Pour ces 4 modalités, 1 932 OTUs ont été identifiées appartenant à 17 phyla. Seules 12 OTUs sont partagées uniquement entre Brassicales et Astérales HA. Ainsi, nous montrons l'existence d'un « core commun stable » aux HA, indépendamment de l'appartenance taxinomique de ces plantes, constitué de 12 OTUs, qui pour la plupart sont connues pour posséder des traits d'intérêt PGP. Ces genres pourraient être à l'origine d'un avantage adaptatif des HA face aux stress abiotiques, tels les métaux.

**Illustration : Diagramme de Venn illustrant les OTUs partagées et uniques à 97 % d'identité, selon les quatre modalités (graines de plantes hyperaccumulatrices et non-hyperaccumulatrices appartenant aux Astérales et aux Brassicales).**

L'analyse de la diversité fongique totale des graines des HA a été entravée par l'amplification prépondérante d'ADN végétal. Par contre, l'étude de la diversité cultivable a permis de mettre en évidence 27 souches fongiques appartenant très majoritairement au phylum des Ascomycètes. Ces endophytes pourraient représenter un avantage pour les plantules après germination des graines. En effet, ces endophytes fongiques pourraient permettre, au niveau du sol, une meilleure nutrition phosphatée et ferrique des plantules, comme suggéré par les résultats positifs issus des souches possédant des activités de solubilisation du phosphate de calcium et/ou de production de sidérophores. Enfin, certaines souches ont un niveau de tolérance au Ni particulièrement élevé, et seront testées dans le futur pour leur potentiel d'amélioration de la phytoextraction de Ni.

**Valorisation du projet** :

**Publication** :

Julien Ancousture, Alexis Durand, Damien Blaudez, Emile Benizri. 2023. A reduced but stable core microbiome found in seeds of Hyperaccumulators. Science of the Total Environment, 887, 164131. http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164131

**Conférences** :

Midi-conférence de la Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité novembre 2022

International Conference of Serpentine Ecology (ICSE). 12-16 June 2023. Nancy, France

International Workshop on Contaminated Soil Remediation. 13-15 septembre 2023. Nancy, France

11ème congrès de l'Association Francophone d'Écologie Microbienne (AFEM). 17 –20 octobre 2023. Carqueiranne, France

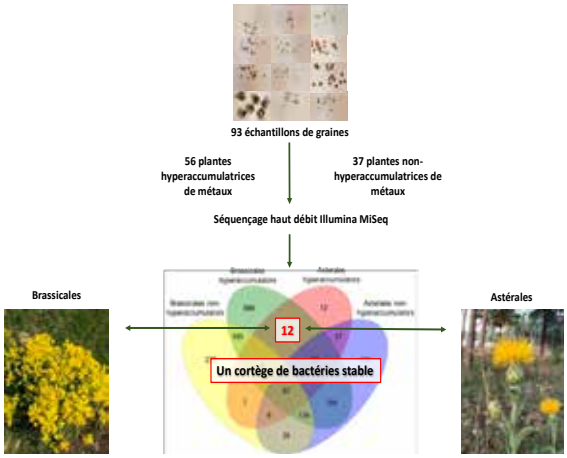
**Autres productions :**

Ancousture Julien (2022) A core of endophytic bacteria common to nickel hyperaccumulator seeds for phytoextraction and phytoaugmentation optimization. Stage de master 2, Université de Lorraine / Université de Oviedo / Université de Pau et des Pays de l'Adour

Cueto Gaëtan (2023) Caractérisation de champignons endophytes de graines de plantes hyperaccumulatrices de nickel. Stage de master 1, Université de Lorraine.

**Autre subvention obtenue** :

Projet Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité (FRB) (2021-2022). Etude de bactéries endophytes communes aux graines de plantes hyperaccumulatrices de nickel pour l'optimisation de la phytoaugmentation et de la phytoextraction. Budget 3600€.



# CONDITIONS PHYSICO-CHIMIQUES DES CIRCULATIONS DE FLUIDE SUR MARS

**Porteurs** : Isabella PIGNATELLI (GeoRessources)
Yves MARROCCHI (CRPG)
**Financement OTELo** : 9067 €

**Résumé :**

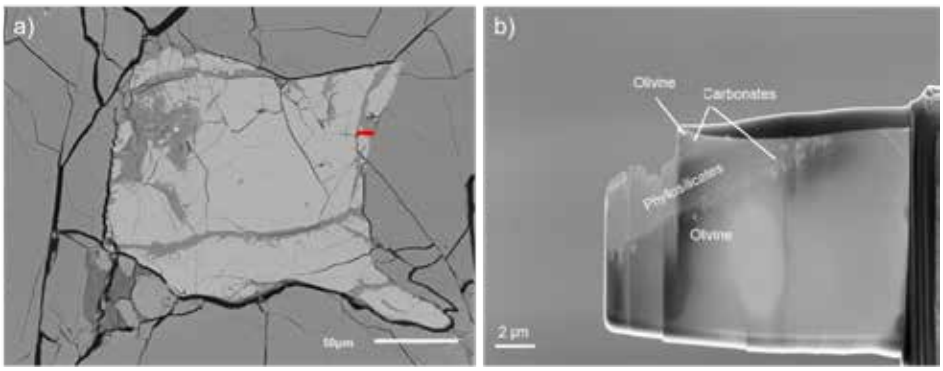
Les météorites martiennes sont divisées en trois groupes (Shergottites, Nakhlites et Chassignites = SNC). Ces basaltes ou roches ultramafiques sont caractérisées par la présence de minéraux d'altération qui résultent de processus hydrothermaux postérieurs, s'étant déroulés en surface (ou sub-surface) de la planète. Notre connaissance des interactions fluide-roche sur Mars est très parcellaire et principalement limitée aux données des missions spatiales (Ming et al., 2003). Dans cette étude nous avons analysé une Nakhlite avec une approche multi-échelle qui nous a permis d'avoir une vision plus précise des minéraux d'altération. Le but était de reconstruire les différentes étapes de l'altération aqueuse sur Mars.

**Résultats scientifiques obtenus** :

Les minéraux primaires identifiés sont les pyroxènes et les olivines dans une mésostase riche en feldspaths. La composition chimique et les données de diffractions électronique (ADT/PED) sur des coupes FIB indiquent qu'il s'agit d'augite. L'olivine est fayalitique avec un rapport Fe:Mg d'environ 2.2. Les veines remplies de minéraux d'altération ont été observées seulement dans les olivines. Les données HRTEM indiquent qu'à proximité des bords des veines il y a une triplication de la périodicité de l'olivine. Cela est dû au fait que l'olivine s'est transformée dans son polymorphe de haute pression, appelée wasdleyite. La wasdleytite confirme que les veines se forment à cause de chocs suite à des impacts. La wasdelyite a déjà été rapportée dans d'autres météorites martiennes (Shergotty et Chassigny), indiçant une pression de 15-30 GPa (Hu & Sharp, 2022 ; Malavergne et al., 2001). Les bords des veines sont remplis de carbonates dont la composition chimique tombe dans les champs de l'ankerite, dolomite et kutnohorite. La formation des carbonates est due à la dissolution du CO2 atmosphérique dans le fluide aqueux qui circulait dans les veines (Thomas-Keptra et al., 2022). Au centre des veines il y a des phyllosilicates riches en fer, sans Al et pauvres en Mg. Ils sont mal cristallisés et leur composition est entre celle, de l'hisingerite et de la ferripyrophyllite. Ces phyllosilicates contiennent souvent du Cl. Cela est compatible avec le fait que la ferrihydrite sur Terre se forme dans des environnements marins hypersalins à T entre 55-65° C. La circulation de fluides riches en Cl et F est confirmée par la présence d'apatite riche en Cl et F dans la mésostase, ainsi que de sels tels que la halite et la sylvite. Ces résultats sont en accord avec ceux de Forni et al. (2015) qui mettent en évidence l'importance du rôle du F et Cl dans les processus d'altération martienne. L'originalité de cette étude par rapport aux précédentes consiste dans l'identification des phyllosilicates et dans leur utilité pour reconstruire les étapes d'altération. Nous pensons que l'olivine fayalitique est d'abord altérée en carbonates, en libérant de la silice pour former l'hisingerite. Puis la ferripyrophyllite s'est formée suite à un changement compositionnel du fluide progressivement enrichi en Fe3+ et Si aqueux (dissolution d'olivines et pyroxènes ? ou système ouvert ?). Ces évolutions minéralogiques permettent d'écrire les équations expliquant les étapes de l'altération dans cette météorite.

**Valorisation du projet :** Une publication est en préparation. Les résultats seront probablement présentés au prochain congrès de minéralogie ou planétologie.

**Illustration : Images MEB d'une olivine avec des veines (a). Le tiret rouge correspond à l'endroit où nous avons réalisé la section FIB (b). Cette section montre la formation des carbonates aux bords d'une veine remplie par des phyllosilicates riches en fer.**



# PLOMBERIE HYDROTHERMALE DANS LES ZONES DE DÉTACHEMENT

**Porteurs** : Antonin RICHARD (GeoRessources)
Johan VILLENEUVE (CRPG)
**Financement OTELo** 11 249 €

**Résumé :**

L'interaction entre l'océan et le manteau par le biais de l'hydrothermalisme exerce un contrôle clé sur la chimie de ces deux réservoirs planétaires majeurs. Les structures fossiles de détachement, permettant l'accès aux géométries tri-dimensionnelles propres aux circulations hydrothermales, sont bien exposées dans des affleurements plurikilométriques dans les Alpes suisses. Deux sites remarquables ont été étudiés récemment : la nappe de Platta, correspondant à la paléo-marge adriatique, et le système de Tasna, affleurant dans la fenêtre de l'Engadine, correspondant à la paléo-marge européenne. Les interactions fluides-roches synchrones du fonctionnement des détachements y sont remarquables : serpentinisation et carbonatation des péridotites exhumées, minéralisations métalliques (notamment à Platta).

Notre stratégie a consisté à se concentrer sur les carbonates hydrothermaux syn-cinématiques de la déformation extensive accommodant l'exhumation et la serpentinisation des roches du manteau (jeu de grands détachements). Après une analyse microtexturale et pétrographique détaillée des échantillons, la priorité est donnée aux microanalyses in situ d'inclusions fluides (mesure de la salinité et détection des gaz par spectrométrie Raman à GeoRessources) et sur carbonates (mesure de la composition isotopique en O et C par SIMS au CRPG et mesure de la composition en éléments trace par LAICPMS à GeoRessources).

Ces travaux ont été réalisés dans le cadre du stage de Master 2 STPE (parcours Terre & Planètes) de Cloé Falc'hun à GeoRessources en 2023. Parallèlement, un projet a été soumis mais non retenu à l'ANR (Ocean-Mantle interactions : tracing volatile and metal fluxes), porté par A. Richard (375 k€). Faute de financement ANR obtenu, à la suite de son Master 2, Chloé Falc'hun a été recrutée en thèse au CRPG.

**Résultats scientifiques obtenus** :

Les premiers résultats pétrographiques sur l'étude des macles et la cathodoluminescence indiquent que les carbonates néoformés enregistrent des conditions de cristallisation variables. La salinité des inclusions fluides, supérieure à celle de l'eau de mer, indique que celle-ci est significativement modifiée par les réactions de serpentinisation. Les inclusions fluides indiquent également des processus de mélange entre eau de mer et fluides hydrothermaux dérivés de l'eau de mer et équilibrés avec la serpentinite. Les réactions de type Fisher-Tropsch sont mises en évidence via les traces de CH4 dans les inclusions fluides et le fractionnement isotopique du carbone. La mobilité des métaux (notamment Mn, Fe, Co, Ni, Cr, Ba, Cu, Pb, Terres Rares) est indiquée par leur incorporation dans les carbonates.

La caractérisation multi-méthodes des carbonates syn-tectoniques s'avère ainsi un outil prometteur de traçage des mobilités de volatils et de métaux dans les contextes d'exhumation du manteau.

**Valorisation du projet :**

PFalc'hun C., Richard A., Tarantola A., Mahlé T., Fidalgo J.C., Coltat R., Boulvais P., Branquet Y., Manatschal G., Ulrich M., Villeneuve J. (2023). Tracing fluid and metal flux during serpentinite carbonation in an fossil ocean-continent transition (Tasna and Platta nappes, central Alps, Switzerland). En préparation pour International Journal of Earth Sciences.

Richard A., Falc'hun C., Tarantola A., Mahlé T., Fidalgo J.C., Coltat R., Boulvais P., Branquet Y., Manatschal G., Ulrich M, Villeneuve J. (2023). Transferts de fluides, volatils et métaux à la transition océan-continent. RST, Rennes (oral).

Falc'hun C., Richard A., Tarantola A., Mahlé T., Fidalgo J.C., Coltat R., Boulvais P., Branquet Y., Manatschal G., Ulrich M., Villeneuve J. (2023). Tracing hydrothermal fluids related to mantle carbonation at an ocean-continent transition. Resources of the oceanic crust seminar, Karlsruhe (poster).

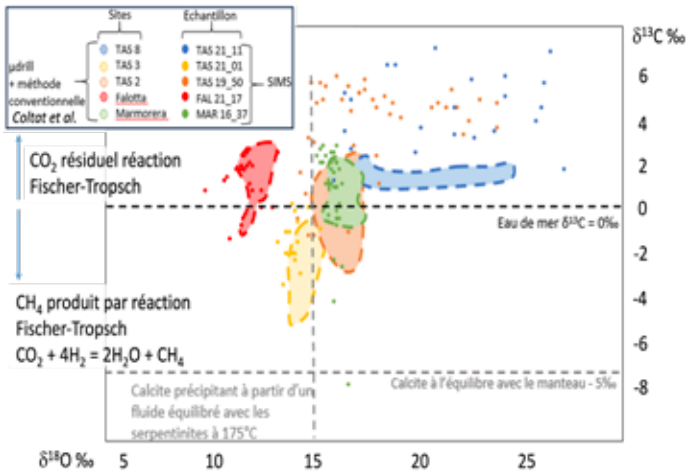



**Illustration : Composition isotopique en O et C sur carbonates mesurée par SIMS au CRPG. Les tendances mesurées par prélèvement par microdrilling et analyse bulk conventionnelle de Coltat et al. sont globalement reproduites sauf pour échantillons montrant des valeurs de $\delta^{13}C$ très élevés (> 3 ‰). Les valeurs de $\delta^{13}C$ sont globalement contrôlées par les réactions type Fischer-Tropsch. Les valeurs de $\delta^{18}O$ sont globalement marquées par les variations de température et les mélanges de fluides**

# LE RAPPORT ISOTOPIQUE DU NÉODYME $^{143}$ND/$^{144}$ND COMME TRACEUR BIOGÉOCHIMIQUE DANS LES ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS DE L'EST DE LA FRANCE ?

**Porteurs** : : Anne POSZWA (LIEC)
Guillaume PARIS (CRPG)

**Financement OTELo** : 11 162 €

**Résumé :**

Alors que les isotopes du strontium (Sr, $^{87}$Sr/$^{86}$Sr) sont maintenant largement utilisés comme traceurs dans les études environnementales, ceux du néodyme (Nd, $^{143}$Nd/$^{144}$Nd) restent très peu utilisés malgré leur complémentarité potentielle avec ceux du Sr. Notre projet vise ainsi à comparer les variations des rapports $^{143}$Nd/$^{144}$Nd et $^{87}$Sr/$^{86}$Sr dans les sols forestiers sur substrat géologiques variés. Différentes forêts de chênes ont été sélectionnées et les sols ont été décrits, prélevés et analysés (pH, teneurs en carbone, azote…).

Sur trois horizons de sols contrastés en termes de pH, minéralogie et teneurs en matière organique, ont été réalisées des extractions chimiques séquentielles pour séparer les fractions (1) échangeable, (2) liée aux carbonates, (3) liée aux oxydes, respectivement avec de l'acétate d'ammonium ($NH_4$-Ac), de l'acide acétique et du HCl 1M. Les extraits préparés et analysés (concentrations élémentaires dont Sr, Nd) au LIEC ont ensuite été traités et les rapports $^{87}$Sr/$^{86}$Sr et $^{143}$Nd/$^{144}$Nd analysés au CRPG au sein des salles blanches du plateau STEHLo. En se basant sur les teneurs en Sr et Nd des extraits, la quantité nécessaire aux analyses de Sr a été introduite et purifiée selon les protocoles en vigueur avant analyses par TIMS. Pour le Nd, les échantillons ont été purifiés par passage sur colonne ionique et analysés par MC-ICPMS. Les résidus ont également été minéralisés et analysés au CRPG. Les rapports sont reportés en utilisant la notation $\varepsilon_{Nd}$, où $\varepsilon_{Nd}$=[$^{143}$Nd/$^{144}$Nd$_{échantillon}$/$^{143}$Nd/$^{144}$NCHUR-1]*10$^4$, ($^{143}$Nd/$^{144}$Nd$_{CHUR}$=0.512638).

**Résultats scientifiques obtenus** :

Les protocoles utilisés ont permis l'analyse isotopique des différents extraits, à l'exception de l'extrait à l'acétate d'ammonium (fraction échangeable). Afin de comprendre pourquoi le rendement semblait plus faible pour cette phase, nous avons conçu des tests qui ne sont pas encore achevés, et cet imprévu nous a retardé dans l'acquisition de l'ensemble des données. Néanmoins, les premiers résultats fournissent un certain nombre d'enseignements (Figure ) :

- Comparés aux extraits de sol sur granite, les extraits du sol sur calcaire contiennent globalement plus de Sr et de Nd. Sur calcaire et sur granite, le Sr est plus concentré dans la fraction échangeable (extrait $NH_4$-Ac), le Nd est beaucoup plus lié aux oxydes (extraits HCl) et les deux éléments semblent moins liés à la fraction carbonates (extraits acide acétique).

- Comparés aux fractions sur granite, les rapports $^{87}$Sr/$^{86}$Sr sont beaucoup moins radiogéniques dans toutes les fractions de sols et le bois de chênes sur calcaire. Par ailleurs, les fractions carbonates et oxydes (respectivement extraits acide acétique et HCl) ont la même signature sur calcaire mais sont distinctes sur granite.

- Les fractions liées aux carbonates et aux oxydes possèdent une signature $\varepsilon_{Nd}$ identique et peu différente sur granite et sur calcaire. Par contre, les signatures des résidus sont plus élevées que celles des autres fractions, mais là aussi non significativement différentes entre granite et calcaire.

- De manière systématique, les signatures Sr des arbres sont bien plus en accord avec les fractions liées aux carbonates et oxydes des sols qu'avec les résidus. Cette tendance est moins claire avec les isotopes du Nd.

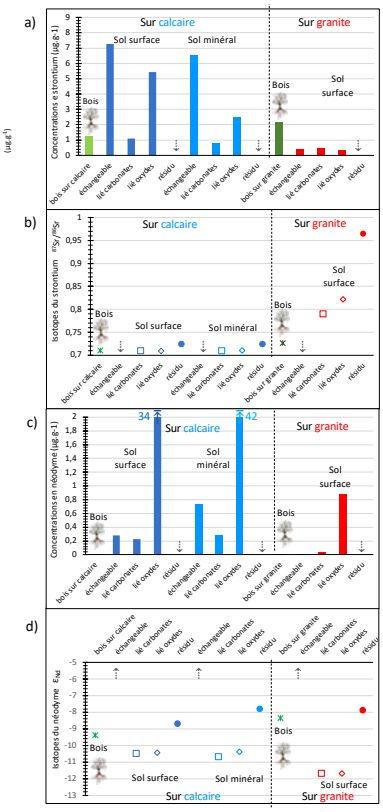
Les variations isotopiques du Nd dans les fractions de sols étudiées à ce jour semblent peu spécifiques à la nature calcaire ou granitique des roches, tout comme les signatures mesurées dans les bois sur ces types de roches. Les prochains résultats sur les signatures (i) des fractions échangeables sur calcaire et granite et (ii) dans les fractions de sols sur limons, permettront de compléter ces premières conclusions.

**Valorisation du projet** :

Dès que l'ensemble des résultats seront disponibles, nous prévoyons la rédaction d'au moins un article. Nos données complètes permettront de discuter du potentiel des isotopes du Nd en tant que (i) traceur de sources d'éléments dans les écosystèmes forestiers et (ii) pour les bilans d'altération, indispensables à la caractérisation du cycle moderne global du carbone.

**Autre subvention obtenue :**

Les concentrations et signatures isotopiques du Sr et du Nd dans les bois de chênes ont été mesurées dans le cadre du projet ANR « Casimodo » et du doctorat de A. Imbert Stulc. (MNHN / LIEC).




**Illustrations : Comparaison des concentrations en strontium (a), rapports isotopiques $^{87}$Sr/$^{86}$Sr (b), concentrations en néodyme (c) et rapports isotopiques $^{143}$Nd/1$^{44}$Nd (d, exprimés en εNd) dans différents compartiments de sols et bois de chênes associés, sur calcaire (Clairvaux, Aube) et granite (Au-Duc, Yonne). Les valeurs moyennes sont représentées, avec n=3 pour les extraits de sols et résidus et n=10 pour les bois. Les flèches correspondent à des résultats en cours d'acquisition.**

# RÔLE DE L'HOMÉOSTASIE DU FER DANS LA RÉPONSE CELLULAIRE AU CHROME HEXAVALENT (CR(VI)) ET TRIVALENT (CR(III)) CHEZ L'ALGUE CHLAMYDOMONAS REINHARDTII

**Porteur** : Vincent NORMANT (LIEC)
**Financement OTELo :** 15 000 €

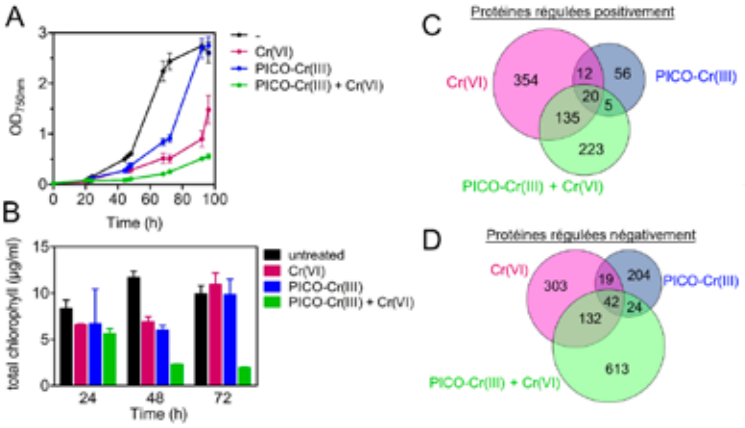
**Résumé** :
Les rejets de chrome dans l'environnement ont un impact délétère sur les organismes vivants. Les effets cellulaires du chrome ont été historiquement plus étudiés sous sa forme hexavalente Cr(VI) que sous sa forme trivalente Cr(III), considérée comme moins toxique car moins soluble. Or, plusieurs groupes de recherche se penchent de plus en plus sur les possibles effets toxiques associés au chrome trivalent. Le fer est un oligo-élément essentiel, impliqué de nombreux processus cellulaires incluant les réponses à des agents toxiques. Plusieurs études ont montré un déséquilibre homéostatique du fer en présence de différents métaux toxiques, dont le chrome. Cependant, très peu d'entre elles se sont penchées sur les mécanismes cellulaires sous-jacents. Dans ce projet nous proposons de caractériser le rôle de l'homéostasie du fer dans la réponse au chrome sous sa forme hexavalente et trivalente chez l'algue unicellulaire modèle Chlamydomonas reinhardtii. Une analyse protéomique à haut débit permettra de caractériser la réponse globale au chrome chez C. reinhardtii.

**Résultats scientifiques obtenus :**

Dans les environnements aquatiques, le Cr(III) très peu soluble peut se complexer à des acides organiques comme l'acide picolinique (PICO). Nous avons montré que la complexation du Cr(III) à l'acide picolinique (complexe 3 :1 PICO-Cr(III)) a un impact significatif sur la croissance cellulaire comparativement à une exposition au Cr(III) qui n'altère pas la croissance de C. reinhardtii. L'exposition des algues à un mélange de PICO-Cr(III) et de Cr(VI) amplifie l'altération de la croissance cellulaire.

Nous avons également montré que l'exposition au PICO-Cr(III), au Cr(VI) et au mélange Cr(VI) et PICO-Cr(III) diminue significativement la concentration en chlorophylle dans les cellules. La régulation négative de certains gènes codant pour des protéines impliquées dans la biosynthèse de la chlorophylle est également observée en présence de chrome (GUN4, CTH1 et CAO1). Les protéines Cth1 et Cao1 ont besoin de fer pour être fonctionnelles. L'expression de gènes codant pour des protéines des photosystème I et II (LHCA, PSAA, PSAE, LHCB, PSBA et PSBD) est également affectée dans nos conditions.

Une analyse du protéome total a été réalisée après exposition au Cr(VI), au PICO-Cr(III) ou au Cr(VI) et PICO-Cr(III) et comparée à une condition témoin. L'analyse des données a montré une modulation des protéines impliquées dans la réparation de l'ADN, des protéines chaperonnes, des protéines de stress et des protéines associées aux flagelles en présence de chrome.




**Illustrations : A. courbes de croissance de C. reinhardtii dans du milieu TAP (courbe noire), du milieu TAP contenant du Cr(VI) 10 µM (courbe rose), du milieu TAP contenant du PICO-Cr(III) [3 :1] 500 µM (courbe bleue) ou du milieu TAP contenant du Cr(VI) 10 µM et du PICO-Cr(III) [3 :1] 500 µM (courbe verte). B. Dosage de la chlorophylle totale après 24, 48 et 72h d'exposition au Cr(VI), au PICO-Cr(III) [3 :1] ou au Cr(VI) + PICO-Cr(III) [3 :1]. C et D. Diagrammes de Venn représentant les protéines régulées positivement (C) ou négativement (D) (log2 fold change > 1) en présence de Cr(VI), de PICO-Cr(III) [3 :1] ou de Cr(VI) + PICO-Cr(III) [3 :1] par rapport à la condition témoin.**

**Valorisation du projet :**

Présentation des résultats sous la forme d'un poster au 8th European Phycological Congress (20-26 Août 2023, Brest)

# RHÉOLOGIE DES COULÉES ANDINES COMME ANALOGUES DU VOLCANISME MARTIEN

**Porteur** : Jessica FLAHAUT (CRPG
**Financement OTELo** : 13 000 €

**Résumé :**

L'activité volcanique sur Terre se manifeste par une diversité de structures volcaniques (stratovolcans, volcans boucliers, cônes, dômes, …), des coulées de laves, et des dépôts pyroclastiques, entre autres. La géomorphologie de ces structures résulte de l'interaction complexe entre de nombreux paramètres interdépendants, tels que les propriétés physico-chimiques du magma, le style d'éruption, et de variables propres au contexte géodynamique planétaire, qui jouent un rôle fondamental (ex. gravité ou présence d'une atmosphère ; Whitford-Stark, 1982). La planète Mars aurait connu une activité volcanique intense, probablement dominée par des éruptions mafiques à ultramafiques, bien que de possibles coulées felsiques et des dépôts pyroclastiques aient été identifiés localement (e.g., Gregg et al., 1996 ; Christensen et al., 2005; Lucchitta et al, 1999). Le style, le volume, la source et la durée de l'activité volcanique sur Mars sont cependant encore largement méconnus, alors que ces informations sont fondamentales pour la compréhension de la dynamique et de la structure interne de la planète, et de son habitabilité. De grandes quantités de données de missions spatiales permettant l'étude des propriétés physiques et chimiques des surfaces planétaires comme celle de Mars ont été récoltées cette dernière décennie. La plupart de ces données n'ont pas encore été exploitées, et devraient permettre d'en apprendre plus sur les processus magmatiques qui ont façonné la surface de Mars. Pour aller plus loin dans l'interprétation des données martiennes, il est crucial de mener des études analogues sur Terre, là où les prédictions faites depuis l'orbite peuvent être vérifiées (et calibrées, voire améliorées) par la vérité terrain. Le désert d'Atacama, désert le plus aride sur Terre (en dehors des pôles) représente un excellent analogue pour cette étude de par son climat sec (Hartley and Chong, 2002), mais aussi par la diversité des structures volcaniques et compositions présentes (Wörner et al., 2018). Cette diversité inclut des coulées mafiques et volcans monogénétiques relativement jeunes (Quaternaires), concentrés sur la bordure Ouest de l'Altiplano-Puna Volcanic Complex (APVC) dans les Andes Centrales, au Nord du Chile, qui représentent d'excellent analogues pour le volcanisme mafique martien, mais aussi des laves diverses et plus évoluées au cœur de l'APVC.

Dans le cadre de la thèse de Belen Muñoz-Rojas, étudiante en cotutelle entre l'Universidad de Chile à Santiago et le CRPG (co-encadrement J. Flahaut, M. Ford, P. Larrea), nous nous sommes particulièrement intéressées à la morphologie des coulées volcaniques de l'APVC afin de pouvoir 1) tester et affiner les relations existantes entre géométrie des édifices et propriétés physico-chimiques des magmas (par des modèles rhéologiques) et 2) déterminer la nature des coulées martiennes, et identifier, s'il en existe, des coulées plus différenciées, ou des produits volcaniques plus atypiques, que la surface martienne globalement basaltique.

NB : Une étude parallèle menée par J. Flahaut et centrée sur les dômes rhyolitiques est aussi en cours pour améliorer l'identification des dômes potentiellement siliceux sur Mars et sur la Lune

**Résultats scientifiques obtenus** :

L'étude des données de télédétection disponibles sur l'APVC (14°S-28°S, 74°W-64°W), en particulier des modèles numériques de terrain TerraX et Alos Palsar à 12.5 m/px, a permis de mesurer précisément la géométrie des coulées de laves (volume, pente, longueur, hauteur, épaisseur, …) et d'estimer leurs viscosités apparentes et contraintes seuils (modèle d'écoulement plastique de Hulme, 1974). En parallèle, l'analyse chimique des échantillons récoltés sur le terrain, réalisée au SARM, a permis d'appliquer un modèle de viscosité géochimique (Giordano et al., 2008), après estimation des températures et teneurs en $H_2O$ à l'aide du logiciel Rhyolite-MELTS. Enfin, la pétrologie des échantillons, notamment leurs teneurs en phénocristaux, déterminées au microscope, a été utilisée pour calculer une troisième grandeur, la viscosité pétrologique (Shaw, 1966). Les viscosités apparentes obtenues ($10^9$ à $10^{12}$ Pa.s) dépassent très largement le produit des viscosités géochimiques ($10^1$ à $10^3$ Pa.s) et pétrologiques ($10^1$ à $10^4$ Pa.s). Ces résultats démontrent que les relations basées sur la géométrie des coulées, très utilisées par les planétologues, ne sont pas appropriées pour remonter à la viscosité des magmas, même en prenant en compte l'influence des cristaux à travers le terme de viscosité pétrologique. Si ces modèles avaient été appliqués avec plus de succès pour des coulées plus mafiques (e.g., Chevrel et al., 2019), la présence de verre, de gaz et les proportions très élevées de phénocristaux (5-65%) dans nos laves de compositions majoritairement intermédiaires (52-66 wt% $SiO_2$) pourraient expliquer les écarts observés. Les viscosités apparentes calculées ne semblent pas corrélées à la teneur en silice, contrairement au volume des laves et au ratio largeur/épaisseur. Nous concluons donc qu'il serait préférable d'utiliser ces grandeurs pour l'identification de coulées plus différenciées sur Mars, dont la composition pourra être confirmée par d'autres approches (par exemple, à l'aide de données de spectroscopie dans l'infrarouge).

**Valorisation du projet** :

**Conférences** :

Muñoz-Rojas B., J. Flahaut et al. (October 2023) 'The Atacama Desert volcanism as analogue for Mars: perspectives from lava flow rheology in the Altiplano Puna volcanic Complex, northern Chile', Volcanism, Plate Tectonics, Hydrothermal Vents and Life" EAI Summer School Participation, Angra do Heroismo, Azores, Portugal.

Muñoz-Rojas B., J. Flahaut et al. (March 2023) 'Topographic Data, Petrography, and Sample Geochemistry as Proxies to Constrain Lava Flow Rheology: «The Case of the Altiplano-Puna Volcanic Complex Mars Analogue Site', 54th LPSC, Houston, TX, abstract #1515

Muñoz-Rojas B., J. Flahaut et al. (September 2022) 'Testing rheological models on Central Andean volcanic geoforms as analogues for Mars', EuroPlanet Science Congress 2022, abstract EPSC2022-276, Granada, Spain.

**Autre subvention obtenue :**

Bourse doctorale CNES : thèse d'Hugo Watine débutée le 01/11/2023

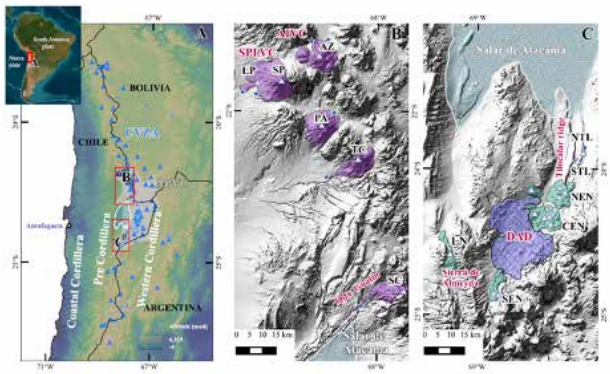



**Illustration : Localisation de la région d'étude au Chili (A). L'Altiplano Puna Volcanic Complex (APVC) est indiqué en gris, et les stratovolcans sont représentés par des triangles bleus. Situé dans le désert d'Atacama, l'APVC présente une diversité de volcans et de coulées, ayant des compositions basaltiques-andésites à dacitiques, et des dômes rhyolitiques, que nous avons étudiés dans 2 zones (Zooms présentés en B et C).**

# FRACTIONNEMENT ISOTOPIQUE DU CARBONE PENDANT LA DIFFÉRENCIATION DES PLANÈTES TELLURIQUES

**Porteur** : Célia DALOU (CRPG)
**Financement OTELo** : 9 400 €

**Résumé :**

La composition isotopique (non radiogénique) du C ($\delta^{13}C$) dans les réservoirs planétaires est une source d'information exceptionnelle utilisée en cosmochimie et en géochimie pour retracer l'origine (ou les origines) du carbone sur Terre et sur Mars. Le $\delta^{13}C$ des échantillons du manteau terrestre est très différente du $\delta^{13}C$ des blocs précurseurs qui ont formés la Terre, ainsi que du $\delta^{13}C$ des météorites martiennes (Wood et al. 2013 ; Broadley et al. 2022). Le $\delta^{13}C$ de la proto-Terre a sans doute été fractionné durant la formation du noyau, l'évaporation et le dégazage de l'océan magmatique.

Le financement OTELo obtenu en 2022 pour mener à bien ce projet a été complété par une ANR JCJC, qui a démarré en février 2023 et, qui a étendu les buts de ce projet au S et à des conditions expérimentales plus larges que celles présentées dans le projet OTELo initial.

Pour quantifier les fractionnements isotopiques du C, nous développons des outils expérimentaux et analytiques. Les échantillons pour la formation du noyau ont été synthétisés et ont partiellement été analysés (figure jointe). Les échantillons permettant de simuler l'évaporation et le dégazage sont en cours de synthèse par une étudiante en thèse, financée par l'ANR JCJC.

L'analyse de ces échantillons expérimentaux doivent être effectuées par SIMS. Or, les mesures SIMS nécessitent des matériaux de référence de composition proche de celles des échantillons à mesurer. Nous avons développé des matériaux de référence :

- silicatés réduits contenant du C (8) en ampoules scellées au CRPG.
- métalliques (26) par «trempe sur roue», à l'Institut Jean Lamour.

Quatre premiers alliages métalliques ont été l'analyse des concentrations absolues et leurs compositions isotopiques par spectrométrie de masse gazeuse au CRPG.

**Résultats scientifiques obtenus** :

Les résultats préliminaires ont révélé peu ou pas de perte en C pendant la synthèse des alliages métalliques en trempe sur roue. Cependant, les analyses isotopiques montrent une variation des $\delta^{13}C$ de -13.3 ±0.1 ‰ à -28.7 ±0.3 ‰, suggérant un fractionnement isotopique durant la synthèse de ces alliages.

Cette méthode d'analyse directe par chauffage des alliages métalliques endommageant le réacteur de l'instrument à chaque extraction, nous développons donc une méthode d'oxydation chimique. Le traitement chimique sera effectué en Juin et les analyses par spectrométrie de masse gazeuse en août 2024. Après ces analyses, les échantillons les plus homogènes seront sélectionnés comme matériaux de références pour les analyses SIMS.

La partie expérimentale de ce projet a été complétée.

Certains retards dans l'analyse des échantillons expérimentaux ont été pris dus à des développements analytiques complexes et des contraintes de planning sur des instruments très sollicités

**Valorisation du projet** :

Dalou, C., Villeneuve, J., Tissandier, L., Riguet, L., & Paris, G. New C and S metallic reference materials for SIMS analysis. In EMPG, Milano (2023, June) + In Goldschmidt 2023 Conference. GOLDSCHMIDT.

Dalou, C., Villeneuve, J., Tissandier, L., Riguet, L., & Paris, G. (2024) Metallic (Fe-Ni, Fe-Ni-Si) Reference Materials for SIMS 34S/32S Analyses. Under review at Geostandard and geoanalytical research

**Autres subventions obtenues :**

Ce projet avait été co-financé à hauteur de 15000 € par un financement Programme National de Planétologie (PNP) de l'INSU AA 2022.

En 2022, ce projet a été étendu dans le cadre du ANR JCJC (CSI Planet) qui a démarré en février 2023.

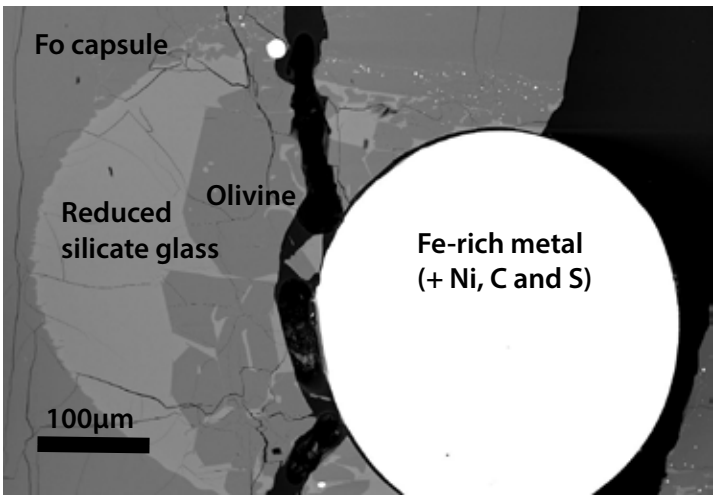



**Illustration : Image prise au MEB en mode d'électrons rétrodiffusés, d'un échantillon réduit synthétisé en piston-cylindre à 1600°C et 1,5 GPa. Cette expérience vise à simuler l'équilibration d'une goutte de métal analogue d'un noyau en formation et d'un océan magmatique.**

# SUIVI INSAR DES PHÉNOMÈNES DE SOLIFLUXION DU PLATEAU TIBÉTAIN ET MODÉLISATION DE SON INCIDENCE SUR LA STABILITÉ DES VERSANTS

**Porteur** : Simon DAOUT (CRPG)
**Financement OTELo** : 15 000 €

**Résumé :**

Le plateau tibétain se caractérise par un paysage périglaciaire de haute altitude. La température de surface annuelle moyenne est inférieure à 0°C sur la majeure partie du plateau, de sorte que le pergélisol (sol gelé en permanence) est présent sur la plupart de son étendue. L'excès de glace dans les matériaux sensibles au gel de la couche active, au-dessus du pergélisol, fond pendant les mois d'été et d'automne et gèle pendant les mois d'hiver et de printemps. Ces phénomènes de gel et de dégel entraînent des mouvements verticaux cycliques de la surface. Sur les versants, l'eau est drainée et la couverture de sol et régolithe est remaniée par des processus de solifluxion dus à la reptation et la gélifluxion du sol. Ces mouvements cycliques et horizontaux peuvent être mesurés par des techniques géodésiques spatiales telles que l'Interférométrie Radar à Synthèse d'Ouverture (InSAR). Le plateau tibétain, tout comme les régions arctiques, est particulièrement sensible au réchauffement climatique, et des études récentes ont documenté une accélération apparente des processus de solifluxion ainsi qu'un affaissement permanent du sol probablement dû à la fonte de la glace dans le sol. Dans ce projet, nous avons développé une méthodologie pour analyser les processus de versant à partir de produits InSAR multi-temporelles afin de documenter et d'analyser ces tendances, et de confirmer leur lien avec les augmentations de températures du plateau tibétain.

Des séries temporelles InSAR de déformation de surface provenant des satellites Sentinel-1 de la mission Copernicus ont été construites à grande échelle sur le plateau tibétain. Nous avons analysé une partie de ces données dans le nord-est du plateau pour étudier l'évolution du pergélisol. Les séries temporelles montrent trois tendances, (1) une tendance linéaire de déformation continue, (2) une déformation cyclique annuelle dont l'amplitude semble (3) augmenter avec le temps. Nous avons mené une analyse de la déformation cyclique annuelle et cumulative à partir des séries temporelles InSAR de déformations mesurées dans la ligne de visée des satellites ascendants ou descendants (orbites quasi-polaire nord-sud ou sud-nord). Nous avons projeté ces trois tendances, mesurées dans les lignes de visées des satellites, parallèlement et normalement à la ligne de plus grande pente. Les zones avec des contraintes faibles ont été masquées en fonction de l'aspect du versant à partir de tests synthétiques. Les mesures (cycles saisonniers et déformation cumulative dans la pente et normalement) ont été corrélées à la lithologie, à la nature des formations de surface (moraines, cônes de déjection, etc.), à l'altitude, à la pente, à la courbure et à l'orientation des pentes, afin de caractériser la distribution de ces processus et leur mécanisme.

**Résultats scientifiques obtenus** :

Notre stratégie de changement de référentiel s'est avérée efficace pour extraire automatiquement à grande échelle les processus de versant à partir de mesures InSAR et quantifier leur dynamique (Fig. A, zones rouges sur la carte du haut). Les mouvements de pente affectent presque tous les terrains, avec des vitesses proportionnelles à la pente (Fig. B) comprises entre 2 et 12 mm/an. Des mouvements de solifluxion plus prononcés pour des pentes faibles sont cependant observés dans les sédiments non consolidés et poreux (Fig. B, points noirs), en lien avec leur sensibilité aux cycles de gel-dégel et au contenu en eau dans la couche active (Fig. C, points noirs). En revanche, pour les roches sédimentaires consolidées, qui présentent des amplitudes de cycles saisonniers plus faibles dues à leur faible porosité et teneur en eau (Fig. C, points jaunes), la gélifluxion, qui est proportionnelle à la cohésion du matériel et à la pente (Fig. B, points jaunes), semble être le principal mécanisme des mouvements de pente. La dégradation du pergélisol (affaissement permanent, zones rouges de la Fig. A en bas) en lien avec soit une pénétration plus profonde du front chaud en été dans le pergélisol ou soit à une perte d'eau dans la couche active, est plus prononcée pour les sédiments non-cohésifs et poreux. Nous illustrons également des augmentations significatives des amplitudes saisonnières, parfois doublées en 5 ans dans les bassins non drainés, ainsi que des délais de plus de 2 mois entre les maximums de température en surface et les maximums de déformations en profondeur, en lien avec une pénétration plus profonde du front chaud dans les couches riches en glace du pergélisol à la base de la couche active. Le tassement permanent du sol en relation avec cette dégradation est corrélé avec l'augmentation des cycles de gel et dégel pour les sédiments non-cohésifs (Fig. F, points noirs, de l'ordre de 6-8 mm/an). Les sédiments consolidés s'affaissent quant à eux avec des vitesses plus faibles (2-4 mm/an) et sans corrélation avec les augmentations d'amplitudes saisonnières (Fig. F, points jaunes), en relation, ici encore, des faibles teneurs en glace dans ces pergélisols. Les mouvements de pente sont aussi corrélés avec les zones en affaissement permanent du fait de leur corrélation avec l'amplitude des cycles de gel et dégel et donc des augmentations de teneur en eau dans la couche active. L'ensemble de ces résultats suggèrent une dégradation récente du pergélisol et un approfondissement de la couche active, déclenchant des instabilités de pentes sur tout le nord-est du plateau tibétain avec des amplitudes bien supérieurs aux taux d'érosion long-termes.

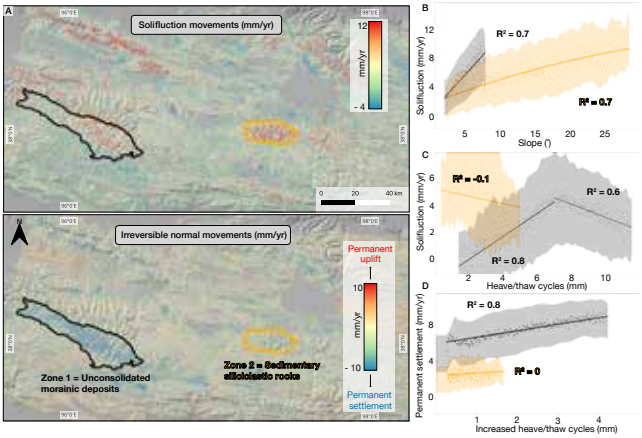
Nous prévoyons, par la suite, d'appliquer notre méthodologie à grande échelle sur l'ensemble du plateau tibétain afin d'explorer les adéquations de ces lois empiriques multifactorielles à différentes zones du Tibet et de construire les bases de la modélisation numérique.

**Valorisation du projet** :

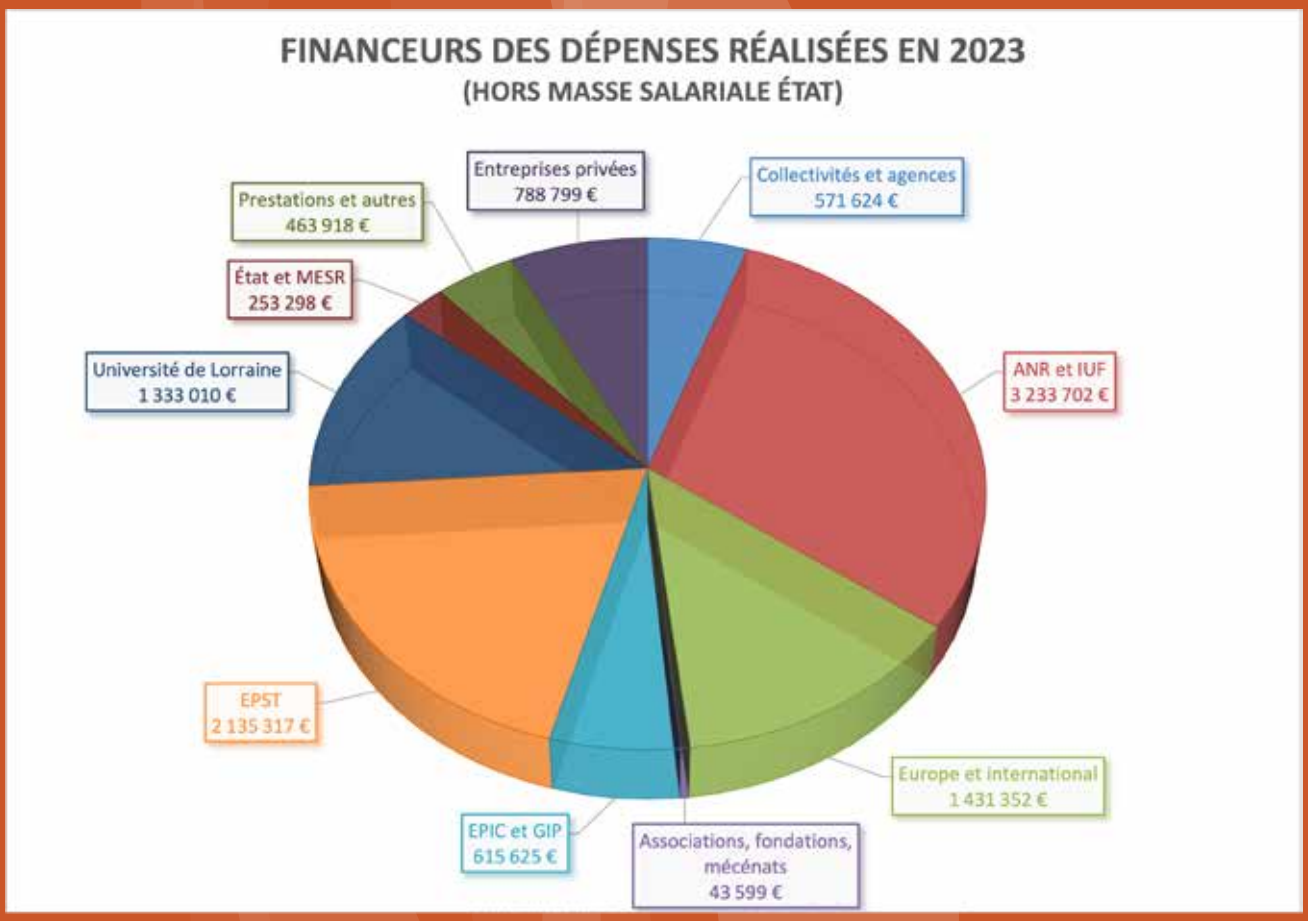
Watine, H., Daout, S., Lavé, J., & Doin, M. P. (2024). InSAR monitoring of solifluction and permafrost evolution in the Northeastern Tibetan Plateau (No. EGU24-11592). Copernicus Meetings.

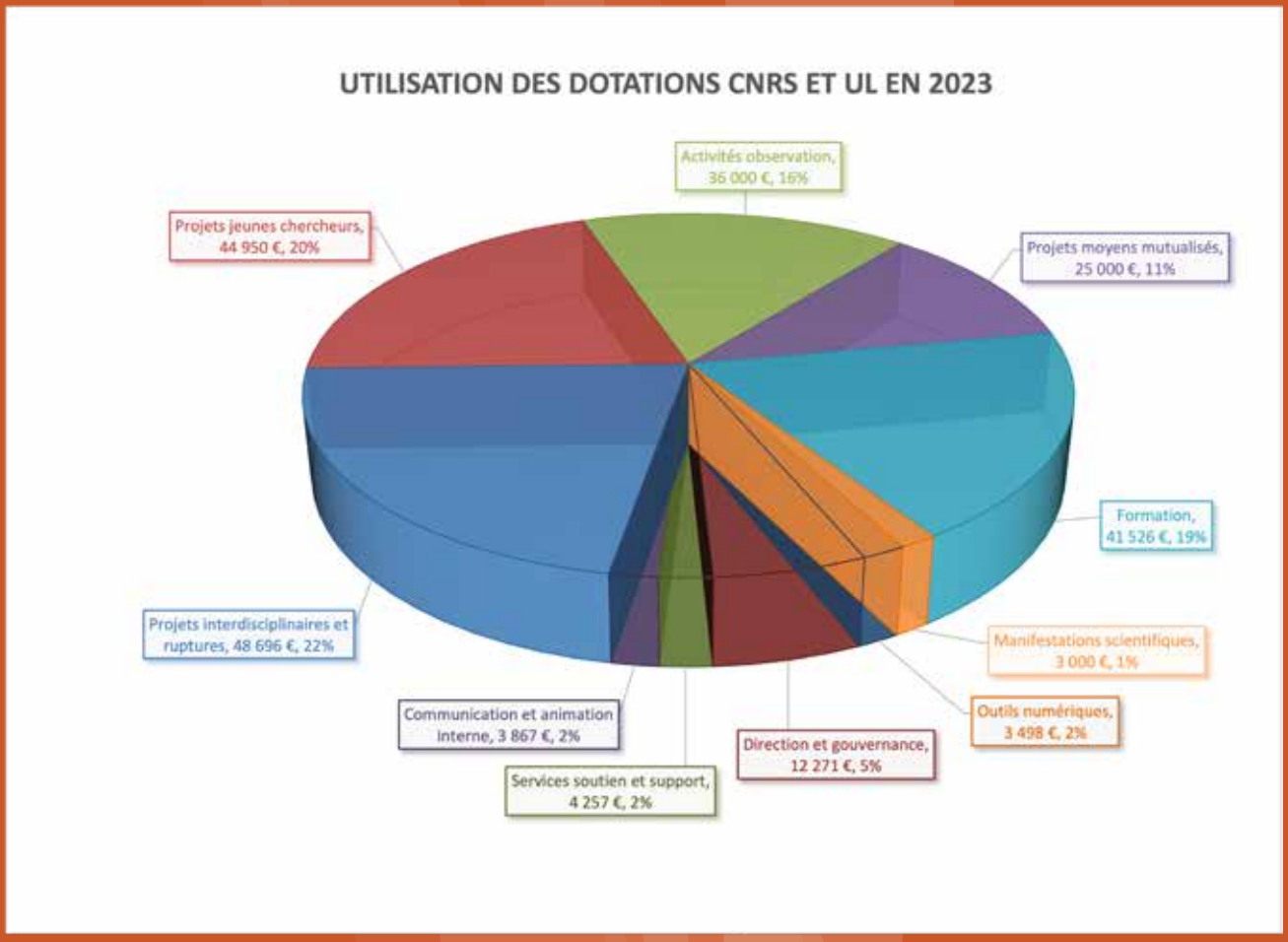
**Autres subventions obtenues :**

Bourse doctorale CNES: thèse d'Hugo Watine débutée le 01/11/2023




**Illustrations : A) Données de déformation du sol dans la ligne de plus grande pente (en haut, mouvements de solifluxion) et dans la normale à la pente (en bas, tassement ou soulèvement permanent du sol). B) Vitesses des mouvements de pente en fonction de la pente pour les 2 zones d'étude surlignées en noir et jaune en A. C) Vitesses des mouvements de pente en fonction des amplitudes saisonnières normales à la pente. D) Vitesses d'affaissement du sol en fonction des augmentations des amplitudes saisonnières au cours du temps normales à la pente.**


FINANCEURS DES DÉPENSES RÉALISÉES EN 2023
(HORS MASSE SALARIALE ÉTAT)
Entreprises privées 788 799 €
Collectivités et agences 571 624 €
Prestations et autres 463 918 €
État et MESR 253 298 €
Université de Lorraine 1 333 010 €
ANR et IUF 3 233 702 €
EPST 2 135 317 €
Europe et international 1 431 352 €
EPIC et GIP 615 625 €
Associations, fondations, mécénats 43 599 €


UTILISATION DES DOTATIONS CNRS ET UL EN 2023
Activités observation, 36 000 €, 16%
Projets jeunes chercheurs, 44 950 €, 20%
Projets moyens mutualisés, 25 000 €, 11%
Formation, 41 526 €, 19%
Projets interdisciplinaires et ruptures, 48 696 €, 22%
Manifestations scientifiques, 3 000 €, 1%
Outils numériques, 3 498 €, 2%
Communication et animation interne, 3 867 €, 2%
Direction et gouvernance, 12 271 €, 5%
Services soutien et support, 4 257 €, 2%

# BILAN SCIENTIFIQUE OTELO

## 1. RESSOURCES HUMAINES

### Personnels permanents recrutés

**Christophe BALLOUARD,** Chargé de recherche CNRS, GeoRessources, concours

**Aurélie CHAPÉ**, Technicienne Université de Lorraine, LIEC, Gestionnaire administrative et financière, mobilité interne depuis FST

**Margaux CLESSE**, Chargée de recherche INRAE, LSE, concours externe

**Guillaume GROSJEAN**, Ingénieur d'études CNRS, LIEC - Pôle de compétences Physico-chimie de l'environnement, concours externe

**Sandra KENZARI**, Assistante ingénieure Université de Lorraine, GeoRessources, Responsable administrative, mobilité interne depuis le collégium ST

**Behshad KOOHBOR,** Maître de conférences Université de Lorraine, ENSG - GeoRessources, concours

**Marjorie LAMBERT**, Assistante ingénieure Université de Lorraine, OTELo, Chargée de la gestion financière, concours externe

**Virginie MOINEAU,** Assistante ingénieure CNRS, CRPG - Service commun Traitement des échantillons et minéraux, mobilité

**Marine PAQUET**, Chargée de recherche CNRS, CRPG - Thématiques Cosmochimie Planétologie et Magmas & Fluides Profonds, concours

**Charlotte PRUD'HOMME**, Chargée de recherche CNRS, CRPG - Thématiques Cycles, Atmosphère & Climats, concours

**Gérard SIMONIN**, Assistant ingénieur INRAE, LSE, Chargé de communication et de la gestion des collections (pédothèque), mobilité depuis Clermont-Ferrand

**Fabrice TELETCHEA**, Maître de conférences HDR Université de Lorraine, IUT Nancy-Brabois - LIEC, mobilité interne depuis URAFPA

### Départs de personnels permanents

**Audrey BEAUSSAR**T, Chargée de recherche CNRS, LIEC, mobilité vers l'institut CBMN à Bordeaux

**Gilles BESSAQUE**, Technicien Université de Lorraine, GeoRessources, retraite

**Baba Issa CAMARA**, Maître de conférences Université de Lorraine, UFR SciFA - LIEC, mobilité interne UL vers le LCOMS

**Véronique ERNEST**, Ingénieure d'études, Université de Lorraine, GeoRessources, retraite

**Jaïro FALLA-ANGEL**, Professeur Université de Lorraine, IUT Thionville-Yutz - LSE, retraite et éméritat

**Élise GUÉRIN**, Technicienne CNRS, CRPG - SARM, démission pour reconversion professionnelle

**François GUÉROLD**, Professeur Université de Lorraine, UFR SciFA - LIEC, retraite et éméritat

**Bernard LATHUILIÈRE**, Professeur Université de Lorraine, FST - GeoRessources, retraite et éméritat

**Aline MARCHETTI**, Ingénieure d'études Université de Lorraine, GeoRessources, mutation interne UL vers la DGS

**Bruno PORCU**, Assistant ingénieur CNRS, CRPG - Service général, détachement au CROUS

**Régine RUCK-MOSSER**, Maître de conférences Université de Lorraine, FST - GeoRessources, retraite

**Yves WALDVOGEL**, Technicien Université de Lorraine, LIEC, retraite

### Mouvements internes

**Christelle FORTINI**, Technicienne CNRS, CRPG - Service Administration, Assistante en gestion administrative et Adjointe de la Secrétaire générale, mobilité depuis UAR

**Isabella PIGNATELLI**, Maître de conférences Université de Lorraine, CRPG - Thématiques Cosmochimie/Planétologie et Magmas & Fluides Profonds, mobilité depuis GeoRessources

### Distinctions

**Guillaume CAUMON**, professeur des universités à l'École Nationale Supérieure de Géologie et au laboratoire GeoRessources, fait partie de la promotion senior 2023 de l'Institut Universitaire de France (IUF) dans la catégorie chaire innovation.

**Christian FRANCE-LANORD**, directeur de recherche CNRS au CRPG, est lauréat de la médaille Ralph Alger Bagnold de l'Union Européenne des Géosciences (EGU) remise lors de l'assemblée générale en avril 2024 à Vienne.

**Jean-Louis MOREL**, professeur émérite à l'Université de Lorraine, a reçu le 13 mars 2023 le prix de l'amitié du Guangdong, la plus grande province chinoise. Jean-Louis Morel s'est vu remettre le prix de la coopération scientifique et technologique internationale pour les experts étrangers dans les établissements d'enseignement supérieur par la Province du Guangdong le 6 mai 2023.

**Laurette PIANI**, chargée de recherche CNRS au CRPG, est lauréate du prix Irène-Joliot Curie 2023 dans la catégorie jeune femme scientifique. Laurette Piani est chercheuse en géologie et cosmochimie, responsable scientifique de la plateforme analytique « sonde ionique LG-SIMS-Nancy », labélisée Instrument National de l'INSU et responsable du pôle nancéien de l'association Les P'tits Cueilleurs d'Étoiles.

**Laurie REISBERG**, directrice de recherche CNRS au CRPG, est élue « fellow » de l'American Geophysical Union (AGU) pour ses contributions majeures à l'application du système isotopique Re-Os et à l'avancement des connaissances sur l'évolution chimique du manteau supérieur

**Manuel PELLETIER**, ingénieur de recherche CNRS et directeur technique du Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux (LIEC), a reçu la médaille de cristal du CNRS 2023. Manuel Pelletier dirige le comité de pilotage du réseau MAnagement de Projets INSU (MAPI).

**Marie BARTHEZ**, qui a mené sa thèse au CRPG, a reçu le prix « LPI career development award » lors de la 54ème édition de la Conférence sur les Sciences Lunaires et Planétaires (LPSC) 2023 pour son poster intitulé « Petrological, Geochemical and Spectral Laboratory Studies of Terrestrial Feldspathic Rocks: Understanding Plagioclase Signatures in the VNIR Domain as an Analog to Mars ».

**Maxime PIRALLA** est lauréat du prix de thèse 2023 de l'Académie Lorraine des Sciences (ALS) et du prix de thèse 2023 École doctorale SIReNa de l'Université de Lorraine pour sa thèse intitulée « Origine et chronologie des premiers solides du Système Solaire » et menée sous la direction d'Yves Marrocchi et Johan Villeneuve.

**Nicolas LACHAUX** est lauréat du prix de thèse OTELo 2023 et a reçu le premier prix du jury de Ma Thèse en 180 secondes.

### Thèses soutenues

**Emilio ABI AAD** - Caractérisation expérimentale et numérique du massif rocheux imprimé en 3D pour la modélisation physique à grande échelle - Olivier DECK, Marianne CONIN (GeoRessources) - 20/09/2023

**Carolina DANTAS CARDOSO** - Traçage isotopique des sources de fluides et de leur transfert dans la croûte - Raphaël PIK (CRPG) - 17/07/2023

**Eva DELATOUR** - Biosenseurs bactériens bioluminescents pour la détection de métaux en solution : mesurer et formaliser les relations entre réponse temporelle des biosenseurs, métabolisme cellulaire et biodisponibilité/spéciation des métaux - Jérôme DUVAL, Christophe PAGNOUT (LIEC) - 20/12/2023

**Emmeline D'INCAU** - Évaluation de l'efficacité des biosurfactants pour la bioremédiation d'hydrocarbures - Sonia HENRY, Stéphanie OUVRARD (LSE) - 30/08/2023

**Sylvain FAVIER** - Approches couplées d'analyse structurale et de modélisation des transferts en milieu fracturé : application à la redistribution du nickel dans les réseaux de fractures - Michel CATHELINEAU, Fabrice GOLFIER (GeoRessources) - 26/04/2023

**Allen Yushark FOSU** - Développement d'une voie chlorure pour la récupération du lithium contenu dans les minerais de spodumene - Alexandre CHAGNES (GeoRessources), James VAUGHAN (Université de Queensland, Australie) - 01/06/2023

**Coffi GBEWADE** - Caractérisation expérimentale de l'endommagement thermo-hydro-mécanique dans les argilites - Dragan GRGIC, Albert GIRAUD (GeoRessources) - 14/12/2023

**Lilian GRÉAU** - Réponse du peuplier et de ses communautés microbiennes rhizosphériques et endophytes exposés au phénanthrène - Aurélie CÉBRON, Damien BLAUDEZ (LIEC) - 28/03/2023

**Merzouk HAOUCHINE** - Développement d'outils de Chimiométrie pour le suivi de contamination aux composés aromatiques polycycliques dans des matrices environnementales complexes - Pierre FAURE-CATTELOIN, Marc OFFROY (LIEC) - 04/10/2023

**Toho HIEN** - Contributions à une approche interdisciplinaire d'évaluation du capital naturel et des services écosystémiques rendus par les sols - Serge GARCIA (BETA), Christophe SCHWARTZ (LSE) - 16/11/2023

**Julien JACQUET** - Co-culture de Noccaea caerulescens et Sedum plumbizincicola, comme levier agroécologique pour la phytoextraction du plomb, du zinc et du cadmium - Catherine SIRGUEY, Emile BENIZRI (LSE) - 12/12/2023

**Arbia JOUINI** - Perturbations biogéochimiques à la limite Crétacé-Paléogène : apport des isotopes du Soufre et du Calcium - Raphaël PIK, Guillaume PARIS (CRPG) - 22/03/2023

**Ayoub KHELILI** - Combinaison de traceurs géochimiques pour reconstruire les trajectoires de contaminants dans un bassin versant industrialisé et anthropisé - Emmanuelle MONTARGÈS-PELLETIER (LIEC), Christophe CLOQUET (CRPG) - 16/11/2023

**Capucine LEGENTIL** - Insertion d'interfaces dans des géomodèles 3D : des maillages aux simulations numériques - Guillaume CAUMON, Paul CUPILLARD (GeoRessources) - 09/01/2023

**Nicolas LESNIEWSKA-CHOQUET** - Hétérogénéités multi-échelles et déterminants des propriétés électrostatiques d'interfaces molles : évaluation expérimentale pour Chlorella vulgaris et formalisation théorique - Jérôme DUVAL, Audrey BEAUSSART (LIEC) - 11/12/2023

**Émeline LHOUMAUD** - Relations entre sismicité et déformations asismiques dans une mine profonde. Exemple de la mine de Garpenberg, Suède. - Yann GUNZBURGER (GeoRessources) et Jannes KINSCHER (INERIS) - 29/09/2023

**Sandhya MALLADI** - Évaluation de l'impact de cocktails de néonicotinoïdes sur la qualité de la réponse immunitaire chez Apis mellifera, Bombus terrestris et Drosophila melanogaster en utilisant un plan multifactoriel : une étude cytomique - Philippe LAVAL-GILLY, Jaïro FALLA-ANGEL (LSE) - 19/12/2023

**Ahmad MOSTAFA** - Modélisation hydro-mécanique multi-échelle de la récupération du gaz de charbon - Fabrice GOLFIER (GeoRessources), Luc SCHOLTÈS (Université de Clermont-Ferrand, LMV) - 19/12/2023

**Gabriel PINTO** - Conditions de formation et d'agglomération des poussières dans le système solaire primitif - Yves MARROCCHI (CRPG), Felipe OLIVARES (Université d'Atacama, Chili) - 17/03/2023

**Maxime PIRALLA** - Origine et chronologie des premiers solides du Système Solaire - Yves MARROCCHI, Johan VILLENEUVE (CRPG) - 29/03/2023

**Olivier PODDA** - Solubilité et spéciation de l'uranium dans les liquides aluminosilicatés - Étienne DELOULE, Laurent TISSANDIER (CRPG) - 26/05/2023

**Kateryna POLIAKOVSKA** - Analyse géologique et géophysique intégrée de la minéralisation en ETR de deux zones sélectionnées dans les boucliers précambriens canadien et ukrainien - Irvine ANNESLEY (GeoRessources), Olena IVANIK (Université de Kiev, Ukraine) - 14/12/2023

**Zoé RENAT** - Vers la caractérisation des séismes par renversement temporel : interprétation de la tache focale et impact de l'échantillonnage du miroir - Guillaume CAUMON, Paul CUPILLARD (GeoRessources) - 09/01/2023

**Xiaobai RUAN** - Géochimie des rivières du bassin de Chayu (Sud-Est du Tibet) et altération du batholithe du Trans-Himalaya - Albert GALY (CRPG) - 30/03/2023

**Khouloud SAADALLAH** - Comportement thermodynamique des systèmes soufrés à haute pression et haute température. Approche expérimentale et numérique - Jérôme STERPENICH, Marie-Camille CAUMON (GeoRessources) - 19/12/2023

**Nicolas SCHNURIGER** - Conditions redox de formation des chondres et de leurs précurseurs - Yves MARROCCHI, Camille CARTIER (CRPG) - 14/03/2023

**Mohammad Chafik SHERRI** - Gestion de la réponse antioxydante de la plante hyperaccumulatrice Noccaea caerulescens face à des stress abiotiques - Catherine SIRGUEY, Stéphanie OUVRARD (LSE) et Ali KANSO, Kassem HAMZE (Université Libanaise) - 21/12/2023

**Dani SUKKAR** - Rôle de Nosema cerana et des pesticides dans le déclin des abeilles : études utilisant une approche multifactorielle - Jaïro FALLA-ANGEL (LSE), Ali KANSO (Université Libanaise) - 06/07/2023

**Aswin TACHAMBALATH** - Érosion, Altération et paléo-altération en Himalaya - Christian FRANCE-LANORD, Julien CHARREAU (CRPG) - 18/12/2023

**Laurie TCHANG-TCHONG** - Caractérisation expérimentale de l'endommagement thermo-hydro-mécanique dans les argilites - Raymond MICHELS (GeoRessources), Pierre FAURE (LIEC) - 27/10/2023

**Dorian THOMASSIN** - Hydrogène des phases de hautes températures des chondrites : origine et contribution aux budgets en hydrogène des corps du Système Solaire interne - Yves MARROCCHI, Laurette PIANI (CRPG) - 08/12/2023

**Aishwarya VENKATARAMANAN** - Identification automatique des diatomées par apprentissage profond pour l'amélioration du diagnostic écologique des milieux aquatiques - Philippe USSEGLIO-POLATERA, Martin LAVIALE (LIEC) - 13/12/2023

**Ziming WANG** - Les traits stœchiométriques microbiens : des outils pour comprendre et prédire les réponses des décomposeurs microbiens aux changements globaux - Michaël DANGER, Aurélie CÉBRON (LIEC) - 13/07/2023

**Xiaodong ZHANG** - Approche variationnelle pour l'endommagement à gradient couplé avec la poroélasticité de milieux saturé et application à la modélisation en champ de phases - Albert GIRAUD, Long CHENG (GeoRessources) - 18/12/2023

### HDR soutenues

**Elise BILLOIR** (LIEC) - La modélisation pour comprendre les mécanismes d'effet de stress environnementaux - 07/12/2023
**Jean CAUZID** (GeoRessources) - Analyses spectroscopiques des échantillons géologiques : du laboratoire au terrain - 08/09/2023
**Guillaume PARIS** (CRPG) - Cycle du soufre, carbone et oxygène à travers les âges, des rivières aux carbonates sédimentaires - 11/12/2023
**Anne POSZWA** (LIEC) - Cycles biogéochimiques et héritages dans les écosystèmes forestiers - 10/05/2023
**Antonin RICHARD** (GeoRessources) - Tracer les fluides lithosphériques - 28/06/2023

## 3. NOUVEAUX EQUIPEMENTS MAJEURS

**Module de pression automatique piston - CRPG**

Ce module permet de contrôler la pression automatiquement sur le piston cylindre et ce jusqu'à 4 GPa. La montée en pression s'effectuait jusqu'à présent manuellement. Cette montée en pression automatique offre plusieurs avantages (i) une montée en pression plus rapide et plus précise, (ii) effectuer des expériences plus longues et (iii) effectuer des expériences de décompression contrôlées. Cela évite également de devoir surveiller régulièrement l'évolution de la pression lors des expériences.

**Micro tomographie phase gazeuse - CRPG**

Ce nouvel appareil offre la possibilité de déterminer les concentrations et les compositions isotopiques de différentes espèces gazeuses dans un mélange de gaz complexes et dans des fluides. De nombreuses applications scientifiques sont possibles grâce à cet appareil dans des domaines très variés : (i) cosmochimie (expériences d'irradiation de mélange de gaz) et (ii) paléoclimatologie (mesures de la concentration et de la compositions isotopiques de gaz dissous dans des eaux).

**ICP-OES (Inductively Coupled plasma-optical emission spectrometry) à double visée - LIEC**

C'est un instrument de mesure destiné à réaliser des analyses élémentaires par spectrométrie d'émission atomique. Cet appareil se caractérise par une grande souplesse, tant en ce qui concerne le type d'échantillon analysé (liquide aqueux ou solvants organiques, solutions chargées en sels dissous, sols sédiments) que des éléments analysés (plus de 70), et cela à plusieurs longueurs d'onde. Technique multi-élémentaire, elle peut être qualitative mais est surtout employée pour effectuer des analyses quantitatives.

## 4. FAITS MARQUANTS DES LABORATOIRES

**Inauguration de l'exposition permanente du CRPG**
intitulée « La coupe lithostratigraphique synthétique de Lorraine ». Sous l'impulsion de Gaston Giuliani et Pierre Barbey et avec l'aide précieuse de Pierre Baillot, le CRPG poursuit son effort sur les collections géologiques. Grâce à Bernard Lathuillière, une exposition permanente de roches sédimentaires de Lorraine a été installée entre le 3ème et le 4ème étage du laboratoire. L'inauguration de cette collection a été effectuée le 15 décembre. Cette après-midi a été également le cadre de plusieurs présentations scientifiques sur le patrimoine géologique lorrain.

**De l'hydrogène dans le bassin houiller lorrain**
Avec une sonde, descendue jusqu'à plus de 1 000 mètres de profodeur dans le sous-sol de Folschviller (département de la Moselle), des chercheurs de GeoRessources, Jacques Pironon (CNRS) et Philippe De Donato (CNRS), qui étaient en quête de méthane dans le cadre du projet REGALOR, ont en fait découvert d'importantes quantités d'hydrogène blanc, gaz qui se forme naturellement dans les sous-sols. Si les concentrations de cet hydrogène natif, observées dans un unique forage, se confirment à l'échelle du bassin houiller, la découverte représenterait « 60 millions de tonnes » d'hydrogène, générée naturellement par la Terre, soit potentiellement « la plus grande réserve mondiale ».
REGALOR, Ressources gazières de Lorraine, est un projet de recherche universitaire porté par le laboratoire GeoRessources de l'Université de Lorraine et du CNRS. Il est mené en partenariat avec une entreprise mosellane, la Française de l'Énergie. A l'initiative de la région Lorraine, il est soutenu par le Fonds Européen de Développement Régional (FEDER) et la Région Grand Est. Le projet « REGALOR » est cofinancé par l'Union Européenne dans le cadre du Programme opérationnel FEDER-FSE Lorraine et Massif des Vosges 2014-2020.

Ensemble du dispositif de monitoring des gaz du sous sol. Les mesures se font jusqu'à 1100 m de profondeur. GeoRessources L. Vançon

**60ème anniversaire de l'usine pilote STEVAL**

En parallèle de la fête des 10 ans de GeoRessources, la journée du 7 décembre 2023 a également marqué le 60ème anniversaire de l'usine pilote STEVAL, une STation Expérimentale dédiée à la VALorisation des matières premières et des substances résiduaires, au cœur de la recherche et du développement dans le traitement des minerais, soutenant activement des projets industriels français. Le rôle central joué par STEVAL dans les transitions est inhérent à la diminution continuelle des teneurs en métal des minerais métalliques, à l'augmentation de la complexité de ces minerais et à la demande croissante de notre société en ressources minérales. Les développements scientifiques et techniques réalisés au sein de STEVAL permettent d'améliorer l'efficacité des procédés et de les appliquer sur des minerais toujours plus complexes, tout en réduisant leur impact environnemental (eau, réactifs…). Ces développements permettent ainsi de valoriser des minerais jugés trop complexes, de valoriser des co-produits d'intérêt présents en infimes traces, et de recycler au mieux les déchets que nous produisons au quotidien.

Usine pilote STEVAL

**Lancement de la phase 2 du Laboratoire International Associé ECOLAND**

Le renouvellement du Laboratoire International Associé (LIA) Ecoland fait suite aux collaborations fructueuses menées depuis 2015 par INRAE, l'Université de Lorraine et l'Université Sun-Yat Sen, dans la première phase du projet. Ecoland 2 se voit étendu à un nouveau partenaire : l'Université Agricole de Chine du Sud (SCAU). Le renouvellement du LIA s'inscrit également dans le renforcement des relations franco-chinoises faisant suite à la visite du Président Macron en Chine avec un accent porté sur la neutralisation carbone, la biodiversité et le contrôle de la dégradation des terres qui apparaissent comme des priorités communes dans la déclaration conjointe du 7 avril 2023.

Le vendredi 27 octobre 2023 a eu lieu à Guangdong en Chine la signature de la prolongation du LIA ECOLAND pour une durée de 5 ans. Un travail important a été accompli depuis une vingtaine d'années dans le domaine de la science des sols et de la remédiation des sols pollués, tant sur le plan des recherches fondamentales que des recherches appliquées. Les thématiques travaillées au sein du LIA Ecoland sont au cœur des stratégies des deux pays en matière de développement durable et d'engagement pour le climat. Le LIA consacre ses recherches à mieux connaître les potentialités des sols contaminés et à mettre au point des approches et procédés pour leur redonner de la valeur. Les problématiques scientifiques étudiées concernent la dynamique des pollutions, le fonctionnement des sols contaminés, les relations sols-plantes-microorganismes, la biodiversité des sols, et les stratégies de remédiation fondées sur la nature.

Membres du LIA Ecoland 2 avec les représentants du Consulat de France à Canton

Signature de la convention de LIA Ecoland par les représentants des partenaires (de gauche à droite Zhubiao Ni pour SCAU, Yetao Tang pour SYSU, Zheng Li pour INRAE et Marie-Odile Simonnot pour l'UL) de France à Canton

**Des séances ciné pédagogiques : « La vie des intra-terrestres »**

Erosion de la biodiversité, îlots de chaleur urbains, techniques de non-labour, pratique du zéro pesticides, artificialisation des sols, trame brune… Autant de termes couramment entendus dans les médias. Mais que veulent-ils dire ? La médiation scientifique, dans ses formes immersives et pédagogiques, permettent à un public varié d'être touché par la présentation de la vie de la planète, sous toutes ses formes et des problématiques liées aux activités ou aux empreintes excessives de l'Homme. L'exercice a été mené avec succès au printemps dans le cinéma de la ville de Thionville, en Lorraine, sur la thématique des sols et de la vie qu'ils abritent. Lors de l'événement « Nature en fête », organisé chaque année à Thionville (57), Apolline Auclerc, écologue des sols, maître de conférences à l'Université de Lorraine (Laboratoire Sols et Environnement), a partagé ses connaissances des sols et de leur biodiversité, lors d'une projection de la vidéo « La vie des intra-terrestres » au cinéma « La Scala ». Cette vidéo, élaborée par Apolline Auclerc et le service numérique de l'Université de Lorraine en 2019, a été transformée en haute définition pour la projection en grand format. Depuis 2019, elle a été utilisée 5 à 6 fois par an devant des publics variés allant de scolaires (classes de primaire) à des étudiants (élèves ingénieurs (e.g., ENSAIA, ENSG) et Masters) et au grand public. Ce format cinéma donne un bel effet et une belle vision naturaliste au public sensible à cette thématique. « Pour les chercheurs, pouvoir partager ce qu'ils connaissent de la biodiversité des sols en développant l'observation et l'écoute est toujours une belle expérience - avec des discussions autour du sol et des services écosystémiques essentiels qu'il peut rendre, ses habitants et leurs fonctions, que ce soit en forêt, en milieu agricole, ou en ville », témoigne Apolline Auclerc. Une manière de voir les sols d'un autre œil !

Affiche de l'événement

Apolline Auclerc lors d'une séance de présentation de « La vie des intra-terrestres » Crédit photographique : Véronique Bronner, CNRS.

**Campagne de biosurveillance Moselle et Sarre**

Cette année, l'équipe Écologie du Stress du LIEC a été impliquée dans une vaste campagne de biosurveillance menée sous l'égide de la Commission International pour la Protection de la Moselle et de la Sarre (CIPMS). L'objectif de cette campagne était de mesurer l'imprégnation du biote par les contaminants suivis par l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse (AERM) et ses homologues luxembourgeois et allemands. L'organisme modèle choisi pour cette étude est la dreissène, une moule d'eau douce couramment étudiée au LIEC. Au-delà de la contamination, des mesures de biomarqueurs réalisées sur les organismes prélevés permettront de fournir des indications sur leur état de santé. Les échanges scientifiques avec le chargé de mission AERM délégué sur cette campagne ont donné naissance au projet ChiBiPop (Bioaccumulation : de l'imprégnation chimique à la dynamique des populations ou comment affiner l'interprétation des données de suivi de contaminants dans le biote (dreissènes)) qui finance la thèse de Chloé De Vernisy. Cette opération a été largement couverte par la presse et les chaines de télévision des trois pays concernés

Échantillonnage au grapin de dreissènes depuis le bateau-laboratoire Max Prüss, mis à disposition par les ministères de l'environnement de Rhénanie du Nord-Westphalie et de Rhénanie-Palatinat. Copyright : https://www.lesfrontaliers.lu

Traitement des organismes par Sandrine Pain-Devin et Chloé De Vernisy à bord du Max Prüss.
© Jean-Christophe Dupuis-Rémond / France3 Lorraine

**Inauguration et présentation des activités de la plateforme Bio-Géo-Chimie minérale**

Le Pôle de compétences Chimie Analytique Environnementale du LIEC (David BILLET, Responsable) est composé de cinq personnels techniques en support à la recherche, dont deux sont localisés sur le site Bridoux à Metz. Annuellement, près de 8 000 échantillons prélevés localement et à l'international ont été analysés sur le site messin du pôle de compétences. Les outils analytiques et de préparation du pôle offrent à la recherche interdisciplinaire du laboratoire une richesse et une complémentarité parfaitement adaptées au suivi du devenir et de l'impact des contaminants dans les écosystèmes anthropisés.

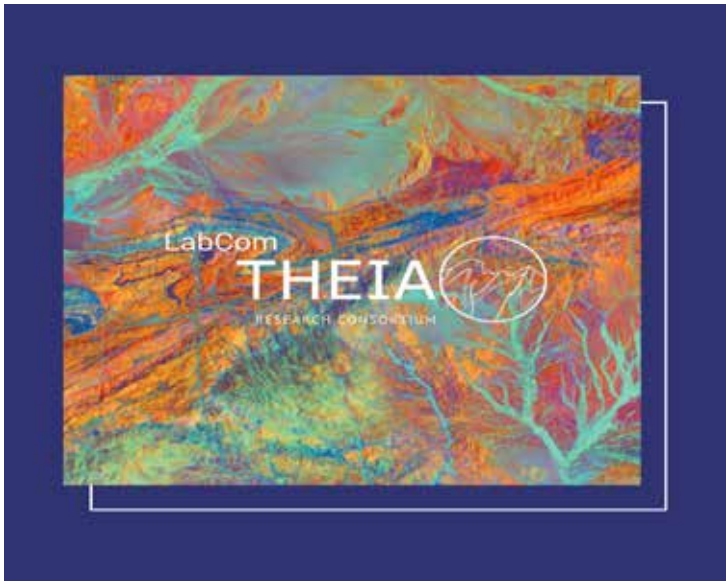
Pour fournir des résultats de qualité, les équipements de haute sensibilité du LIEC utilisés en particulier pour l'analyse élémentaire des éléments traces métalliques doivent être installés dans des locaux présentant certaines caractéristiques techniques (salle grise, régulation aéraulique, climatisation). Dans le cadre d'une redistribution des espaces au sein du bâtiment hébergeant le LIEC à Bridoux, le laboratoire a récupéré 150 m² pour y installer le pôle de compétences en chimie analytique de l'environnement. Toutefois, ces espaces n'avaient pas connu de remise aux normes depuis 20 ans, et ne répondaient de ce fait plus aux exigences réglementaires en termes d'hygiène et sécurité. Il était nécessaire de revoir l'ensemble des réseaux de fluide (électrique, eau et gaz) et tout le système aéraulique (extraction de l'air vicié et des fumées toxiques, surpression, compensation d'air, régulation en température).

Le réaménagement de ces locaux permet au LIEC de rapatrier sur le site de Metz (obligation contractuelle avec les financeurs CD57 et Metz Métropole) un équipement de haute technologie, ICP-MS-MS, très rare dans la région du Grand Est, basé actuellement sur le site Nancy et l'optimisation de l'organisation de travail.

Ces locaux ont été inauguré lors de la fête organisée pour les 10 ans du LIEC au Campus Bridoux le 24 mai 2023.

## Inauguration du LabCom THEIA le 7 décembre 2023

Avec le soutien financier de l'ANR et l'appui du pôle de compétitivité Avenia, l'inauguration du LabCom ANR THEIA le 7 décembre 2023 marque une étape importante dans la coopération entre GeoRessources (Université de Lorraine, CNRS) et Arethuse Geology, PME basée à côté d'Aix-en-Provence. Le LabCom THEIA est porté par Rémi Bosc (Arethuse GEology) et Anne-Sylvie André-Mayer (Université de Lorraine, GeoRessources). Il porte sur les systèmes métallogéniques précambriens, notamment sur le territoire africain.




Face aux enjeux actuels d'approvisionnement en ressources métalliques, le LabCom ANR THEIA (2024-2028) - du nom de la déesse de la mythologie grecque qui aurait créé tous les métaux précieux - a été inauguré en décembre 2023. Ce Laboratoire Commun, soutenu par le pôle de compétitivité Avenia, a l'ambition d'un dialogue fertile entre monde industriel tourné vers l'exploration minérale (la PME Arethuse Geology) et GeoRessources Université de Lorraine-CNRS, labellisé CARNOT. La création de ce LabCom THEIA sur une durée de 5 ans permet de stabiliser une trajectoire commune d'innovation à une échelle pertinente pour la recherche scientifique.

L'objectif de ce LabCom THEIA est double : (1) mieux comprendre la genèse des gisements précambriens d'Afrique et d'Arabie pour mieux prédire leur existence, et (2) préparer les outils de l'exploration minérale de demain, afin de rester prédictif et de permettre à l'industrie de conserver une avancée géoscientifique et technologique.
Les expériences de recherche partenariale témoignent de la nécessité de s'appuyer sur des dispositifs engageants et structurants, pérennes dans le temps, entre partenaires académiques et industriels, permettant de développer une trajectoire scientifique compatible avec le temps recherche mais également, dans le cadre du LabCom Theia, de lisser les cycles économiques et décisionnels autour des ressources minérales. La création de ce LabCom avec Arethuse Geology, PME support à l'exploration minière, illustre pour GeoRessources la richesse de son tissu partenarial dans le domaine des ressources minérales avec des interactions à tout niveau de la chaîne de valeur industrielle et avec tout statut d'acteurs industriels, ici une PME.

Dans la mythologie grecque et romaine, Théia est une Titanide, fille d'Ouranos (le Ciel) et de Gaïa (la Terre), elle aurait créé tous les métaux précieux…

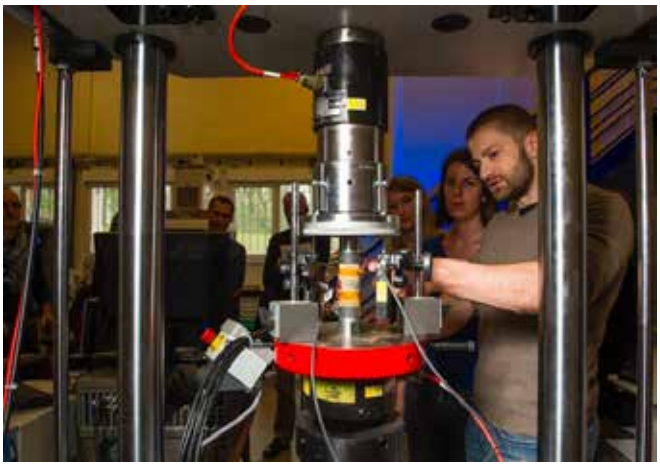
# La plateforme HydroGéoMécanique labellisée StAR-LUE

La plateforme expérimentale HydroGéoMécanique - HGM du laboratoire GeoRessources a été labellisée StAR-LUE en 2023 dans le cadre du programme INFRA+ de l'Initiative Lorraine Université d'Excellence.

Cette plateforme propose des équipements pour la caractérisation des propriétés mécaniques (micro et macro), pétrophysiques (porosité, perméabilité) et thermiques des géomatériaux, tels que les roches ainsi que les mécanismes de transfert et les processus biologiques en milieux poreux.
Localisée dans le bâtiment E de l'ENSG sur le site Brabois-Roubault, la plateforme HGM résulte du regroupement de deux plateformes appelées « Mécanique des Roches » et « Transferts en milieux poreux » de l'ancien Laboratoire Environnement, Géomécanique et Ouvrages (LAEGO).

Le responsable scientifique de la plateforme HGM est Dragan GRGIC, professeur des universités à l'École Nationale Supérieure de Géologie, et le responsable technique et métrologique est Laurent SCHOUMACKER, ingénieur d'études, qui est en charge de la maintenance des équipements. Les deux autres personnes qui composent l'équipe technique assurent la réalisation des prestations, les développements d'instrumentation, ainsi que la formation auprès des stagiaires de niveau master, des doctorants et d'autres utilisateurs extérieurs.
L'objectif de la plateforme HGM est de caractériser le comportement hydromécanique des roches à l'aide d'essais de laboratoire et d'appliquer les résultats à l'étude des ouvrages et réservoirs souterrains. Le principe consiste à appliquer à un échantillon de roche tout type de contrainte mécanique, thermique, hydrique et chimique afin de reproduire les conditions complexes du milieu souterrain. Des modèles de comportement et des simulations numériques sont réalisés sur la base des résultats expérimentaux acquis.
Pour cela, elle dispose de presses hydrauliques et mécaniques, de cellules de compression triaxiale, de nano et micro indenteurs, d'outils de caractérisation pétrophysique, et de milieux artificiels pour l'étude des écoulements de fluides en milieu poreux. Ces moyens expérimentaux sont associés à des ressources de calcul haute performance qui sont mis à disposition de projets de recherche académiques ou industriels.
La plateforme expérimentale HGM est l'une des plus importantes de France dans le domaine de la caractérisation mécanique des milieux poreux et fissurés. Sa grande spécificité réside dans la caractérisation fine des processus couplés Thermo-Hydro-Mécano-BioChimiques (THMBC) de l'échelle micro à l'échelle de l'ouvrage souterrain et dans la grande variété des équipements disponibles, ce qui lui confère un net avantage national.

Les applications se situent dans le secteur de l'exploitation, de l'aménagement et de la protection du sol et du sous-sol dans une perspective de transition énergétique (stockage souterrain de gaz, de chaleur et de déchets radioactifs, exploitation des ressources stratégiques par des méthodes de production plus respectueuses de l'environnement), de l'impact de l'activité anthropique et du changement climatique (dépollution des eaux et des sols, évolution des eaux souterraines).
La plateforme expérimentale HGM offre ses compétences aux partenaires industriels et académiques dans le cadre de projets de recherche nationaux et européens et elle réalise également des prestations de service. Elle réalise des expérimentations dans le domaine de la recherche fondamentale et sur des sujets relativement avals. Compte tenu des applications de ses activités notamment les ouvrages souterrains soumis à des sollicitations THMBC complexes et diverses, les projets de recherche sont le plus souvent pluridisciplinaires.



# Le LiecOscope labellisé StAR-LUE

Inauguré en 2016, le LiecOscope est une plateforme du LIEC située sur le campus Bridoux à Metz, qui a obtenu en 2023 la labellisation StAR-LUE issue de la démarche INFRA+ de Lorraine Université d'Excellence.

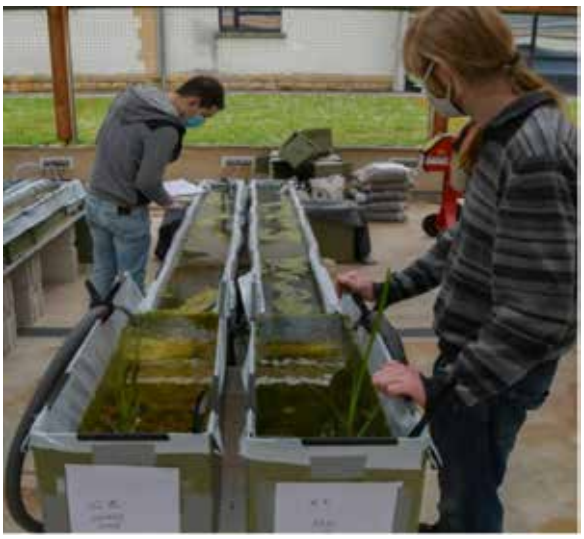
Le LiecOscope regroupe des outils permettant de recréer des systèmes naturels plus ou moins complexes et contrôlés, afin de conduire des études sur l'impact des activités humaines sur les écosystèmes aquatiques. Cette plateforme se compose de quatre salles, dont deux climatisées, et d'une halle extérieure de 200 m$^2$.
Cette plateforme est dirigée par Simon DEVIN, professeur des universités à l'UFR SciFA, et elle est sous la responsabilité technique de Vincent DUTREUIL, ingénieur de recherche CNRS. En fonction des projets, des équipes associant personnels techniques et chercheurs/enseignants-chercheurs interviennent dans les différentes phases (installations, test et validation des prototypes, et mise en production et conduite des expériences).

Le LiecOscope a pour objectif de mieux comprendre les effets des activités humaines sur les écosystèmes naturels, et plus particulièrement aquatiques, en complément des observations faites dans les milieux naturels. Il permet de reproduire, de manière plus ou moins simple, un écosystème et de lui faire subir un ou plusieurs stress, tel que la présence d'un polluant organique ou inorganique, et/ou une variation des conditions physicochimiques du milieu.

Le LiecOscope offre ainsi la possibilité de travailler avec des systèmes très simplifiés comme un seul organisme dans un bécher, placé dans des conditions contrôlées de luminosité et de température, en multipliant le nombre d'essais et les conditions d'exposition. Il est également possible de mettre en œuvre des rivières artificielles, c'est-à-dire des canaux dans lesquels des milieux naturels plus complexes sont reconstruits avec de l'eau, des sédiments, des plantes et des organismes vivants. Dans ce cas, le nombre d'essais et de conditions est plus limité, car la plateforme dispose actuellement de 18 canaux de 3 mètres de long. Les conditions ambiantes ne sont pas contrôlées et les systèmes sont alors soumis aux mêmes aléas climatiques que les systèmes naturels. Les facteurs pouvant être contrôlés sont moins nombreux, mais les résultats produits sont plus facilement extrapolables aux écosystèmes.
En plus de la grande modularité des équipements disponibles, la plateforme bénéficie de la proximité immédiate des pôles de compétences Biologie Environnementale, Instrumentation/Terrain et Chimie Analytique Environnementale du LIEC. Cet environnement permet de répondre aussi bien à des demandes classiques qu'à des montages d'expériences « sur mesure », avec des développements aussi bien dans les installations que dans les méthodes d'analyses associées ou les instruments mis en œuvre.

Le LiecOscope est ouvert aux personnels du LIEC et aux différents collaborateurs extérieurs associés dans les projets scientifiques et techniques du laboratoire prioritairement, ainsi qu'à des collaborateurs d'autres composantes de l'université et plus généralement de l'enseignement supérieur et de la recherche. Si le volet prestation de service n'est pas encore développé, la plateforme a déjà été utilisée comme support pour des cours ou des travaux pratiques. Les canaux sont également tous les ans au cœur d'un atelier de la Fête de la Science appelé « La vie dans les Rivières » intégré au dispositif du Jardin des Enfants de la Science sur le Campus Bridoux.

Mésocosmes avec plusieurs organismes (microalgues, moules et crustacés d'eau douce, poisson zèbre)



Rivières artificielles mises en place pour étudier l'influence du réchauffement climatique sur des écosystèmes soumis à un stress de type agricole (engrais, produits phytosanitaire

# 10ème Conférence Internationale sur l'Ecologie des Serpentines (ICSE) à Nancy

La conférence ICSE organisée par l'ISES (International Serpentine Ecology Society) se tient tous les trois ans depuis 1991. Elle était organisée du 12 au 13 juin 2023 à Nancy par plusieurs partenaires dont le Laboratoire Sols et Environnement. Plus de 120 chercheurs de tous les continents ont participé à cet événement qui représente l'un des principaux colloques scientifiques internationaux dans le domaine de l'écologie des serpentines. ICSE réunit des chercheurs appartenant à une grande variété de disciplines qui étudient l'écologie des roches et des sols ultramafiques qui représentent environ 3% des terres de la planète. Ces sols sont riches en fer, magnésium, et en métaux lourds tels que le chrome, le nickel et le cobalt qui sont des éléments essentiels aux activités humaines mais potentiellement toxiques pour la majorité des plantes. Malgré ces conditions limitantes, de nombreuses espèces poussent naturellement dans ces régions parmi lesquelles des plantes candidates pour la restauration des environnements dégradés par l'extraction minière du Ni. Les conférences ICSE fournissent alors un forum international pour discuter et synthétiser des travaux de recherche en donnant l'occasion à des scientifiques de domaines complémentaires et de différentes régions du monde de mener des recherches collaboratives et interdisciplinaires pour mieux comprendre ces milieux, protéger la diversité biologique qu'ils hébergent et trouver des solutions basées sur la nature pour restaurer les sites dégradés

# Séminaire annuel du Groupement de Recherche (GDR) en Écotoxicologie Aquatique à Metz

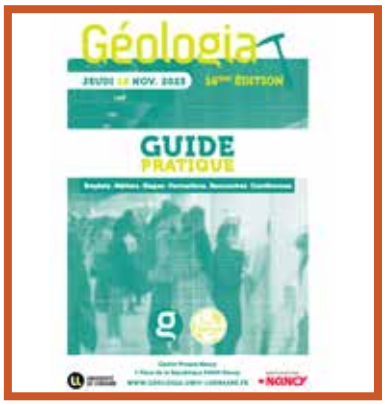
Une soixantaine de chercheurs, doctorants et post-doctorants se sont réunis sur le Campus Bridoux à Metz du 5 au 7 décembre 2023, à l'occasion du séminaire annuel du Groupement De Recherche (GDR) en Écotoxicologie Aquatique, organisé au sein du LIEC, Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux, à Metz.
Ce GDR fédère la communauté scientifique évoluant dans tous les milieux aquatiques, qu'ils soient marins, d'eau douce ou de transition (estuaires, lagunes…), en structurant les travaux autour de quatre thématiques :

1. Approches omiques chez les espèces non modèles pour comprendre les mécanismes et effets des contaminants.
2. Intégration biologique, vulnérabilité des espèces pour mieux évaluer la qualité des milieux.
3. Les effets différés, effets multigénérations et transgénérationnels.
4. Les mécanismes d'accumulation, devenir et transfert des contaminants le long des chaînes trophiques.

Au cours de ce séminaire, deux sessions de formation ont également été proposées le premier jour :
- L'imagerie en écotoxicologie : présentation des possibilités ouvertes en écotoxicologie par des outils d'imagerie comme la microscopie à force atomique (AFM), l'holotomographie, la microscopie numérique…
- DRomics : prise en main du package R dédiée à l'analyse des données omiques générées selon des designs doses-réponses.

Lors des deux journées suivantes, les quatre thématiques du GDR ont été abordées autour de présentations orales et de posters, mais aussi de moments de discussions plus ouvertes sur les verrous et perspectives de ce champ disciplinaire.

# Géologia 2023




Organisé par l'École Nationale Supérieure de Géologie de Nancy (ENSG), le forum Géologia est le 1er forum national de rencontres entre étudiants et entreprises des géosciences.

Le salon Géologia est un lieu d'information, de discussion et de recrutement. Il réunit chaque année des centaines d'étudiants issus de toutes les formations en géosciences (écoles d'ingénieurs, BUT, BTS, licences, masters). C'est pour eux l'occasion de découvrir des entreprises spécialisées dans divers secteurs : Eau, Environnement, Énergies, Mines, Géotechnique et Géologie numérique.
Géologia est le plus grand forum des métiers en géosciences.

En 2023, il a rassemblé plus de 75 entreprises et start-ups nationales et internationales, écoles d'ingénieurs, universités, et plus de 800 visiteurs.
Cet événement unique en France favorise les rencontres entre des étudiants de niveau bac+2 à bac+8 (du BTS au doctorat) venant de toute la France et les entreprises.

Comme chaque année, OTELo réserve un stand afin que les 4 unités qu'il fédère se retrouvent sur un stand unique permettant aux étudiants de découvrir les formations de niveau Master et de rencontrer les chercheur(e)s de ces laboratoires qui proposent des sujets de stages aux niveaux Master 1 et 2 et ingénieur, ainsi que des sujets de thèse. En termes d'enseignement, OTELo est associé à 3 écoles d'ingénieur (ENSG, Mines Nancy et ENSAIA) à Nancy, aux départements Géosciences à la FST Nancy et Sciences et Vie de la Terre à l'UFR SciFA à Metz, et à l'IUT de Thionville-Yutz, et donc à 3 collégiums de l'Université de Lorraine (Lorraine INP, Sciences et Technologies et Technologie).
Le périmètre de la formation associée aux 4 laboratoires correspond au secteur géoscience en Lorraine avec la géologie, la géotechnique, la géomécanique, les sciences du sol, une partie des sciences de l'eau (hydrologie, hydrogéologie, physicochimie des eaux naturelles, hydrobiologie) et une partie des sciences des écosystèmes et de l'environnement, jusqu'à l'écologie et l'écotoxicologie.

CRPG
Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques

## 70 ans du CRPG

Le 23 juin 2023, le CRPG a fêté ses 70 ans. La matinée a débuté par les présentations des projets de recherche des derniers chercheurs recrutés, puis s'est poursuivie par une table ronde sur l'avenir de la recherche académique vis-à-vis des enjeux sociétaux et par des interventions officielles. Après le déjeuner s'est tenue l'inauguration de l'amphithéâtre nommé Hubert de la Roche, la présentation technique et scientifique du CRPG depuis sa création, et un débat sur les années futures. Cette journée s'est terminée par le traditionnel repas de fin d'année du CRPG. Tout le personnel du laboratoire et les représentants des tutelles étaient présents ce jour-là, ainsi que de nombreux anciens membres du laboratoire. Cet anniversaire a également été l'occasion de réunir les six derniers directeurs d'unité en photo.

GeoRessources

## 10 ans de GeoRessources

Le 7 décembre 2023, le laboratoire de recherche GeoRessources a fêté ses 10 ans en réunissant dans les locaux de l'INIST-CNRS ses personnels et ses nombreux partenaires. Les invités ont assisté à une série de présentations retraçant l'ADN du laboratoire qui a été suivie de la signature officielle marquant la création du LabCom THEIA avec la PME Arethuse Geology. Après un déjeuner convivial, les convives ont eu l'opportunité de découvrir plusieurs équipements du laboratoire sur différents sites avec un « arrêt obligatoire » sur l'usine pilote STEVAL qui a fêté ses 60 ans le même jour.

LIEC
LABORATOIRE INTERDISCIPLINAIRE DES ENVIRONNEMENTS CONTINENTAUX

## 10 ans du LIEC

Le 24 mai 2023, le LIEC a fêté ses 10 ans sur le campus Bridoux à Metz. Cette journée s'est déroulée en trois temps avec :
- des présentations et échanges sur les capacités analytiques du LIEC par les membres du Pôle de compétence de Chimie analytique environnementale en huis-clos LIEC ;
- l'inauguration de la plateforme bio-géo-chimie minérale avec un mot d'introduction de la directrice d'unité, une conférence grand public, une présentation de la plateforme et de ses activités, ainsi que la visite de la plateforme en présence des représentants des tutelles Université de Lorraine et CNRS ;
- un séminaire sur la géochimie analytique et environnementale.

# REVUE DE PRESSE

**Découvrir** l'actualité de la quinzaine

ÉNERGIE

DANS LES LABOS

## LA LORRAINE PASSE DU NOIR AU BLANC

Le bassin lorrain abriterait la plus grande réserve mondiale d'hydrogène blanc. Si l'annonce a suscité une vague d'enthousiasme justifiée, elle doit néanmoins être nuancée.

En France, on n'a pas de pétrole, mais on a de l'hydrogène ! D'après Philippe de Donato, directeur de recherche au laboratoire GeoRessources de l'université de Lorraine, à Nancy, cité par le *Journal* du CNRS : « *Les données indiquent que le sous-sol du bassin minier lorrain est très riche en hydrogène blanc. Si elle est validée, cette découverte pourrait grandement aider à assurer la transition vers des sources d'énergie propre.* » Et pour cause, aujourd'hui, 96 % de l'hydrogène (en fait du dihydrogène – $H_2$), utilisé notamment pour la production d'engrais chimiques, est fabriqué à l'aide de combustibles fossiles. Et la production de 1 kg de $H_2$ « gris » libère 10 kg de $CO_2$ !

**Énergie renouvelable**

Pour mettre fin à ce désastre, on compte beaucoup sur l'hydrogène vert produit par électrolyse de l'eau. Mais ce processus consomme beaucoup d'énergie, même si elle provient en France de sources faiblement émettrices en $CO_2$. L'hydrogène blanc, au contraire, est naturellement présent dans le sol, dissous dans l'eau ou sous forme de gaz, piégé dans les roches poreuses. La concentration peut être impressionnante comme à Bourakébougou, au Mali, où un puits fournit du $H_2$ pur à 98 %, utilisé pour produire de l'électricité… et sans aucune baisse de pression en dix ans d'exploitation ! Car l'hydrogène blanc est dans de nombreux cas une énergie renouvelable à l'échelle humaine. Il se forme notamment par oxydoréduction, lorsque des roches riches en fer entrent en contact avec de l'eau ou de l'oxygène. Le $H_2$ natif n'est pas une découverte récente. Des gisements ont été mis au jour au XXe siècle, notamment lors de forages prospectifs d'hydrocarbures. Mais comme on ne savait pas quoi en faire, les trous étaient, jusque-là, rebouchés.

**Des coûts très attractifs**

En Australie ou en Espagne, de nouveaux puits vont bientôt être forés dans ces lieux délaissés, où la concentration en $H_2$ pourrait atteindre 80 %. Car les coûts de production apparaissent minuscules : 50 cents le kilo pour l'hydrogène de Bourakébougou ; un euro annoncé pour le futur gaz espagnol. À comparer aux deux euros du $H_2$ gris et presque huit euros pour le vert. De quoi booster la transition énergétique de la mobilité lourde, camions, trains, avions. Autant dire que le gisement lorrain, le plus important jamais découvert, avec un volume de 46 millions de tonnes de $H_2$, arrive à point nommé. Isabelle Moretti, chercheuse à l'université de Pau et spécialiste des sources naturelles d'hydrogène, tempère cependant l'enthousiasme général. « *Pour le moment, on n'a pas trouvé de gisement d'hydrogène en Lorraine. Ce qu'ont trouvé les chercheurs, c'est du $H_2$ dissous dans l'eau, dont la concentration augmente avec la profondeur.* » Alors, s'il y a sans doute de l'hydrogène, des campagnes de prospection sismique seront nécessaires pour déterminer où forer pour obtenir le gaz le plus pur. Car, comme le souligne Mme Moretti, les 46 millions de tonnes d'hydrogène sont une estimation de la ressource. Ce qui intéresse les industriels, c'est la réserve, la part de la ressource économiquement exploitable. ● **Philippe Fontaine**

18 du 06 au 19.09.2023 - 01NET 1005

---

L'Est républicain, 10 décembre 2023 (édition Pont-à-Mousson/Toul)

Blénod-lès-Pont-à-Mousson

## Le club d'astronomie a accueilli les passionnés du Nord Est

**A l'occasion du 50e anniversaire de la section Astro Blénod de l'association Blénod Animation Loisirs, la ville a accueilli les RCANEs 2023, les Rencontres des clubs d'Astronomie du Nord Est.**

Depuis 1994, les RCANEs se déroulent tous les deux ans et réunissent les clubs astronomiques du Nord Est de la France. En raison de la période de Covid, le club Astro Blénod n'avait pas pu fêter ses 50 ans et cette action commune ayant lieu sur la commune offrait l'opportunité de célébrer cet anniversaire marquant.

**Durant un week-end à l'occasion des RCANEs, le club Astro de Blénod a célébré son 50e anniversaire.**

Cette édition 2023 a vu la participation de 15 clubs de tout le Grand Est et de Belgique, et a mobilisé une dizaine de bénévoles. Cet événement a nécessité six mois de préparation pour le club Astro de Blénod qui compte 16 adhérents.

**Huit conférences**

Au programme de ces rencontres, huit conférences d'amateurs et des interventions de professionnels avec notamment l'une d'entre elles présentée par Yves Marrocchi sur la formation du système solaire (Cosmochimie), et une autre animée par Jessica Flahaut et Nicolas Beck de l'Université de Lorraine - CRPG. Soixante-dix participants ont assisté à la conférence sur la formation du système solaire donnée par Yves Marrocchi, chercheur du CNRS au CRPG de Nancy. Une soixantaine de participants étaient réunis pour la conférence « En avant Mars » donnée par Dr Jessica Flahaut et Nicolas Beck, du CRPG et de l'Université de Lorraine à Nancy, qui sont venus avec des échantillons de météorites de différentes origines, dont des météorites de Mars.

**Des interventions dans les écoles**

Le club Astro de Blénod réalise chaque année des interventions dans les écoles de la communauté de communes du bassin de Pont-à-Mousson et dans celles du bassin de Pompey.

Ces initiatives touchent, chaque année, près de 700 élèves ; les interventions ont lieu soit en classe ou lors d'observations la nuit.

**Un astéroïde baptisé PatBrandebourg nom du fondateur du club d'astronomie de Blénod**

Deux jours de rencontres signant les 50 ans du club d'astronomie, avec le fondateur du club, Patrick Brandebourg, à qui on a annoncé qu'il existe officiellement, depuis mi-octobre, l'astéroïde (48615) 1998 OJ5 officiellement baptisé « PatBrandebourg » par le département de l'Union Astronomique Internationale en charge de nommer les objets célestes.

---

AEF – Dépêche n° 684664 du 21 décembre 2022 (1/2)

**Le CNRS va lancer une mission destinée à "accompagner le déploiement des PEPR" à partir du 1er janvier 2023**

"Afin de renforcer sa responsabilité d'agence de programmes", le CNRS va lancer, à partir du 1er janvier 2023, une mission "programmes nationaux", dédiée aux PEPR, sous la responsabilité de Frédéric Villiéras, directeur de recherche au CNRS, chercheur en physicochimie environnementale au Liec (université de Lorraine-CNRS). "Nous renforçons la capacité du CNRS à initier, piloter et animer de grands programmes scientifiques pluridisciplinaires, en liaison avec les politiques publiques de soutien à la recherche et à l'innovation impulsées avec France 2030", commente Antoine Petit, PDG du CNRS.

Les PEPR (programmes et équipements prioritaires de recherche), créés dans le cadre de France 2030, "visent à construire ou consolider un leadership français dans des domaines scientifiques liés à une transformation technologique, économique, sociétale, sanitaire ou environnementale et considérés comme prioritaires au niveau national ou européen", rappelle le CNRS.

LE CNRS PILOTE OU COPILOTE 31 PEPR

Pilote ou copilote des 17 PEPR exploratoires, et de 14 (sur 20) des PEPR s'inscrivant dans des stratégies d'accélération de filières industrielles, le CNRS renforce sa responsabilité "d'agence de programmes" et crée dans cette perspective une mission "programmes nationaux" (MPN), dispositif destiné à "accompagner le déploiement des programmes en les synchronisant aux ressources, forces et atouts du CNRS dans toutes leurs dimensions, scientifique, de valorisation, de communication et de gestion", apprend AEF info.

Rattachée au directeur général délégué à la science, Alain Schuhl, la mission coordonnera :

- le suivi des programmes nationaux : suivi scientifique et évaluation, suivi financier et contractuel, suivi des opportunités de valorisation, etc.
- l'animation fonctionnelle des directeurs et directrices de programme ;
- l'animation fonctionnelle des chefs de projet ("project managers") et des fonctions de communication et de valorisation mutualisées ;
- le support nécessaire aux directeurs et directrices de programme pour la mise en œuvre et pilotage de leur programme ;
- la prospective pour la proposition éventuelle de nouveaux programmes.

---

L'Est républicain, 10 décembre 2023 (édition Nancy)

Vandœuvre-lès-Nancy

## « Apporter des conseils avant toute construction »

**Questions à ▸ Apolline Auclerc**, maître de conférences à l'Ensaia et cofondatrice de « Sol & Co »

**Dans le cadre du cycle des rencontres des jeunes chercheurs, vous êtes l'invitée de l'UP2V. En quoi consistent vos travaux ?**

Il s'agit de faire des recherches sur la qualité des sols et de l'environnement. C'est-à-dire une expertise écologique des sols urbains, des friches industrielles… et d'apporter des conseils avant d'envisager toute construction.

Nous travaillons avec les urbanistes et les collectivités sur les questions de fertilité et du vivant. Il est important de « penser à l'envers ».

Le sol est d'abord une ressource et son usage sera déterminé en fonction de sa richesse : le valoriser en espace maraîcher sera plus pertinent que d'y édifier un immeuble.

**Quel est votre lien avec Sol & Co ?**

Sol & Co est une start-up que nous avons cofondée en 2019, avec quatre autres docteurs de discipline diverses : agronomie, pédologie, écologie, écotoxicologie, géologie, aménagement du territoire et urbanisme.

Notre projet est une mission de conseil, de formation professionnelle et d'animation participative et scientifique à visée pédagogique.

C'est, pour moi, une opportunité d'avoir un pied dans la recherche et un autre dans la réalité du terrain.

**Mercredi 13 décembre, quel sera le sujet de votre intervention ?**

Nous évoquerons les questions de transition à travers la fertilité des sols, la notion de vivant, la valorisation.

J'espère surtout que le public viendra avec ses questions et que nous pourrons y répondre dans un dialogue pour enrichir la transition écologique.

Mercredi 13 décembre de 18h à 20h à la Fabrique des Possibles.

---

L'Est républicain, 6 mai 2023 (édition Nancy)

SAXON-SION

## Les étudiants en géologie prospectent le sous-sol

**Dix-sept étudiants de l'École Nationale Supérieure de Géologie, ont relevé des données géophysiques provenant du sous-sol de Sion afin de les interpréter et ainsi d'identifier un écoulement d'eau mais aussi différentes roches ou matériaux.**

**Les apprentis géologues ont étudié le sous-sol avec du matériel spécifique.**

Durant une semaine, 17 étudiants de l'École Nationale Supérieure de Géologie, l'ENSG sise à Vandœuvre-lès-Nancy, prospectent le sous-sol de Sion, notamment celui de la prairie voisine de la Maison Notre-Dame. En quête de renseignements géophysiques et archéologiques.

[illegible]

**Exposition en 2025**

[illegible]

---



Les Echos

# SPÉCIAL MOBILITÉS

ENJEUX Les immatriculations de VE décollent. Mais pour respecter le calendrier politique concernant la fin de la vente de voitures thermiques, les écosystèmes automobile et énergétique doivent accélérer la mise en œuvre de nouvelles solutions.

## Véhicule électrique : des innovations structurelles pour évoluer plus vite

*Erick Haehnsen*

Responsables de 15 % des émissions de $CO_2$, selon l'Agence européenne pour l'environnement, les voitures individuelles neuves à combustion thermique seront interdites à la vente dès 2035 en Europe. D'où l'envol des ventes de véhicules 100 % électriques (VE) : de moins de 2 % de part de marché jusqu'en 2019, elles bondissent à 7 % en 2020, 10 % en 2021 et 13 % en 2022 avec 203.121 immatriculations, estiment Avere-France et le Comité des constructeurs français d'automobiles. Reste que cette bonne nouvelle mérite d'être nuancée : sur 38,7 millions de voitures particulières, selon le ministère chargé de l'Environnement, on compte près de 400.000 VE, soit près de 1 %. Ce qui est peu.

Pour accompagner la mutation vers l'électrique, Automotive Cells Company (ACC) a inauguré le 30 mai à Billy-Berclau (62) la première gigafactory des Hauts-de-France. L'usine, détenue par ACC (dont les actionnaires sont Stellantis, TotalEnergies et Mercedes), l'Etat et des collectivités territoriales, prévoit une capacité de 13 gigawatts-heure d'ici à la fin de l'année qui pourrait, à terme, être portée à 40 GWh, afin d'électrifier 500.000 véhicules par an. A Douai, Envision AESC, filiale japonaise du groupe chinois Envision, annonce une capacité de 24 GWh d'ici à 2030. A Dunkerque, le Taïwanais ProLogium vise une capacité de 30 GWh et le Grenoblois Verkor compte atteindre 50 GWh en 2030.

**En quête d'énergies propres**

« *En 2035, si toutes les voitures roulent à l'électricité, elles consommeront jusqu'à 100 TWh, soit 20 % de la production globale* », souligne le chercheur Aurélien Bigo. Sachant que le cap des 100.000 bornes de recharge n'a été franchi que cette année, la France fournira-t-elle assez d'électricité pour relever ce défi ? Pas sûr. Selon RTE, le gestionnaire du réseau public de transport d'électricité, la production électrique française a chuté de 15 % à 445,5 TWh en 2022.

La raison ? La disponibilité nucléaire (63 % de la production) s'effondre à 54 % – contre 73 % en 2021. A 49,7 TWh, l'hydraulique plonge aussi de 20 % par rapport à la moyenne de 2014 à 2019. Et les énergies renouvelables (EnR) de peiner à compenser ces pertes : 37,5 TWh grâce au parc éolien qui s'est accru de 1,9 GW ; 18,6 TWh grâce au solaire (+2,6 GW). Résultat, le gaz est la troisième source de production d'électricité en 2022 avec 44,1 TWh, contre 32,9 en 2021…

Face à ces carences, le Français GCK décarbone les voitures âgées avec le premier kit d'hybridation homologué qui convertit les voitures Crit'Air 3 en Crit'Air 1 en leur offrant 70 kilomètres d'autonomie électrique. « *Moyennant 7.500 euros, hors aides publiques en cours de définition, ces voitures conservent l'autonomie du thermique pour les longues distances, mais accèdent en électrique aux zones à faibles émissions* », explique Rémi Berger, directeur de l'innovation du groupe.

Grande surprise, l'espoir que suscite le gisement d'hydrogène naturel, découvert à Folschviller (57) en mai dernier par une équipe du laboratoire GeoRessources (CNRS-Université de Lorraine) grâce à une sonde brevetée par Solexperts utilisée dans un puits de la PME Française de l'Energie (FDE). « *Plus l'on descend, plus la concentration d'hydrogène augmente : 1 % à 600 mètres, 15 % à 1.093 mètres. Nous l'estimons à plus de 90 % à 3.000 mètres* », détaille Jacques Pironon, directeur de recherche à GeoRessources. « *Selon nos hypothèses, cet hydrogène "blanc" se formerait par réaction de la sidérite (un carbonate ferreux), qui réduit l'eau présente dans le carbonifère lorrain à la température de 150 °C à 200 °C.* » Tant que ces conditions physicochimiques sont réunies, l'hydrogène blanc, c'est-à-dire naturel, se renouvelle !

Prochaine étape : « *Obtenir de l'Etat l'autorisation de forer jusqu'à 3, 4 ou 5 kilomètres de profondeur afin de tester les concentrations, les volumes et les débits d'hydrogène. En parallèle, un nouveau programme de recherche permettra de cartographier le gisement par des mesures dans de nouveaux forages. Ce qui prendra entre un et deux ans* », précise Antoine Forcinal, directeur général de FDE qui a déposé une demande d'octroi de permis exclusif de recherches sur 2.254 kilomètres carrés.

En fournissant au véhicule électrique un hydrogène propre, renouvelable, abondant jusqu'à quatre fois moins cher que l'hydrogène vert (produit à partir d'énergies renouvelables), constructeurs et équipementiers songeront peut-être à accélérer les innovations dans la pile à combustible. ■

**Le cap des 100.000 bornes de recharge a été franchi cette année en France.** *Photo Getty Images*

### « Il faut recourir aux alternatives à la voiture individuelle »

INTERVIEW Aurélien Bigo Chercheur indépendant

**Aurélien Bigo est chercheur indépendant sur la transition énergétique des transports. Également rattaché à la chaire « énergie et prospérité » de l'Institut Louis Bachelier et coauteur avec la journaliste Isabelle Brokman du livre « Voitures – Fake or Not ? » (éd. Tana), il décrypte l'impact en carbone de la massification du véhicule électrique.**

**Quel sera l'impact des véhicules électriques en termes de gaz à effet de serre ?**

Sur l'ensemble de son cycle de vie, le véhicule électrique (VE) en France émet deux à cinq fois moins de gaz à effet de serre (GES) que la voiture thermique. Sa fabrication et celle de sa batterie génèrent 50 % d'émissions de GES de plus qu'une voiture thermique mais, à l'usage durant toute sa vie, elle émet quinze fois moins de GES. Par conséquent, l'électrification de la voiture sera indispensable pour atteindre nos objectifs climatiques. La France est l'un des pays les plus favorables au VE en raison de son électricité décarbonée, notamment nucléaire.

**L'avenir de la voiture est donc électrique…**

Oui, mais c'est insuffisant. Tout d'abord, nous passerons d'une dépendance géopolitique au pétrole à une dépendance aux métaux et minerais (Australie et Chili pour le lithium, Indonésie pour le nickel, République démocratique du Congo pour le cobalt, Chili pour le cuivre, Chine pour le graphite), au raffinage des métaux ainsi qu'à la fabrication des batteries.

**Et ensuite ?**

La voiture électrique est largement surdimensionnée par rapport à l'immense majorité des usages du quotidien : cinq places pour un besoin moyen de 1,4 passager, une vitesse maximale de 180 km/h, alors qu'on ne dépasse souvent pas les 50 km/h ou 80 km/h, une autonomie de 400 km pour des trajets moyens de 11 km… Il faut revoir notre approche de la mobilité et recourir davantage aux alternatives à la voiture individuelle comme, notamment, les véhicules intermédiaires entre vélo et voiture : voiturettes électriques ultralégères d'une à trois places, tandems, speedelecs, vélos-cargos… Si l'on veut atteindre la neutralité carbone en 2050, il faudra passer à des mobilités plus sobres.

*— Propos recueillis par E. H.*

**14** | **ENVIRONNEMENT**

Aujourd'hui en France
Mardi 5 décembre 2023 • N° 8048

# L'hydrogène, nouvel or blanc (et vert) de nos sous-sols

Un permis d'exploration pour en extraire a été accordé dans les Pyrénées-Atlantiques. L'État compte profiter de cette énergie naturelle, moins polluante que lorsqu'elle est fabriquée artificiellement.

Aymeric Renou

**EN FRANCE,** on n'a pas de pétrole mais des idées et, peut-être, beaucoup d'hydrogène ! Comme dans le sous-sol du département des Pyrénées-Atlantiques qui sera bientôt sondé pour savoir s'il contient ce gaz dans des quantités suffisantes pour en lancer l'extraction de manière industrielle.

Comme stipulé dans l'édition de dimanche du « Journal officiel », le gouvernement vient d'accorder un « permis exclusif de recherches de mines d'hydrogène natif, hélium et substances connexes » pour les cinq années à venir à la société TBH2 Aquitaine, basée à Pau, sur une zone d'environ 225 km² couvrant le territoire de 43 communes du département.

Le sésame permet à l'entreprise de lancer dans les jours qui viennent les premiers travaux de recherches sur le terrain, dont des sondages et études sismiques, avant de pouvoir envisager de forer, une opération qui exigera, elle, de nouvelles autorisations administratives et ne pourra pas intervenir avant deux ou trois ans.

### Cinq autres projets en attente d'approbation

« Ce permis est une excellente nouvelle qui montre que le gouvernement comprend que l'hydrogène fait partie des sources d'énergie qu'il est souhaitable de développer à l'avenir », se réjouit de son côté Philipe de Donato, chercheur en géologie au CNRS et spécialiste de l'hydrogène. Le démarrage des explorations dans les Pyrénées-Atlantiques est le premier étage d'une fusée qui devrait booster une filière minière en devenir mais qui suscite de plus en plus d'appétit de la part d'investisseurs et de grands groupes industriels spécialistes en fourniture d'énergie.

Cinq autres permis d'exploration sont en attente d'approbation dans l'Hexagone, dont un centré sur la région Grand-Est. « Il devrait logiquement être accordé prochainement, dans la foulée de celui des Pyrénées », espère Philipe de Donato, dont les travaux autour d'une technique de sondage ont permis la découverte d'un gisement, potentiellement le plus important au monde !

Plusieurs zones géographiques, de la pointe du Cotentin au couloir rhodanien en passant par le Jura ou le bassin lorrain font partie des territoires candidats à l'exploration. Celui au pied de la chaîne des Pyrénées réunit de nombreuses conditions géologiques favorables au piégeage de l'hydrogène, grâce à l'action continue de l'eau contre la roche, avec des réservoirs potentiels situés entre 3 000 et 40 000 m de profondeur.

### L'Espagne se penche aussi sur la question

« Les indices de surface y sont réels et permettent d'envisager une exploitation profonde, estime Jacques Pironon, directeur du laboratoire GéoRessources de l'université de Lorraine, même s'il reste des travaux de recherche à effectuer pour valider cette hypothèse. » L'espoir de trouver des gisements importants est également de mise de l'autre côté de la frontière avec l'Espagne, où une société table sur une réserve de 1,1 million de tonnes.

Puiser de l'hydrogène naturel, que les spécialistes baptisent également « blanc », éviterait d'avoir à le fabriquer via des procédés polluants et surtout émetteurs de $CO_2$. Comme l'hydrogène dit « gris » ou même « noir », résultat d'une transformation industrielle nécessitant de grande quantité d'hydrocarbures, pétrole ou autres gaz. Cela permettrait également d'éviter de se fournir en hydrogène dit « vert », fabriqué lui à partir d'une électricité renouvelable (hydroélectrique ou issue du photovoltaïque ou de l'éolien) mais très cher à produire car très consommateur en électricité et en eau (de l'ordre de 55 kWh d'électricité et au moins 10 litres d'eau pour 1 kg d'hydrogène).

### Une industrie qui en est à ses balbutiements

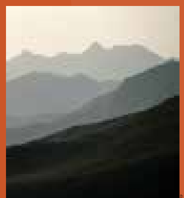
Selon de premières études, l'hydrogène naturel extrait en sous-sol, même à très grandes profondeurs, pourrait ne revenir qu'à 1 € le kilo, « soit moitié moins cher » que l'hydrogène le plus abordable actuellement – « qui lui n'est pas décarboné » –, souligne Isabelle Moretti, une chercheuse à l'université de Pau et des Pays de l'Adour citée dans une dépêche de l'AFP.

Comme pour le lithium, indispensable à la fabrication de batteries pour véhicules électriques, dont des réserves sont sur le point d'être exploitées dans le Massif central, le gouvernement compte de plus en plus sur des sources d'approvisionnement locales, idéalement décarbonées, pour assurer le développement de projets industriels tournés vers la transition énergétique sans avoir à dépendre des ressources importées.

Cet hydrogène naturel disponible sous nos pieds est donc une aubaine pour faire carburer les futures voitures à pile à combustible ou pour se substituer comme source d'énergie à d'autres gaz davantage polluants dans l'industrie.

L'extraction d'hydrogène blanc dans le monde reste encore aujourd'hui à ses balbutiements mais les projets se multiplient. Un forage est en cours dans l'État du Nebraska (États-Unis), d'autres à l'étude en Australie, au Brésil et en Islande.

Le seul et unique gisement d'hydrogène exploité pour l'instant dans le monde se situe au Mali, à proximité du village de Bourakébougou à une soixantaine de kilomètres au nord-ouest de la capitale Bamako. Découvert par hasard lors du forage d'un puits pour trouver de l'eau potable, il produit depuis onze ans un gaz constitué à 98 % d'hydrogène en flux continu qui, brûlé dans une turbine, fournit localement une électricité renouvelable et décarbonée.



Iraty (Pyrénées-Atlantiques). Pour les cinq années à venir, la société TBH2 Aquitaine devrait pouvoir exploiter une zone d'environ 225 km² couvrant 43 communes.

**Les principaux types d'hydrogène**

La couleur associée à l'hydrogène dépend de sa méthode de production

| | Hydrogène blanc | Hydrogène gris/noir/brun | Hydrogène vert |
|---|---|---|---|
| Caractéristique | **Naturellement présent dans le sous-sol** grâce aux interactions entre l'eau et les roches | À partir **de combustibles fossiles.** C'est le type d'hydrogène le plus produit à l'échelle mondiale | Produit à partir **d'énergies renouvelables** |
| Avantage | Possible production naturelle (régénération sous terre) | Le plus économique | Bilan carbone faible |
| Inconvénient | Difficulté d'obtenir un permis de forage en France | Bilan carbone très élevé | Cher à produire |

Note : On parle aussi d'hydrogène jaune (obtenu par l'électrolyse, via des source d'énergie nucléaire), d'hydrogène bleu (obtenu par vaporeformage du méthane, avec captage de CO2)

Le Parisien-Infographie.

> **Les indices de surface y sont réels et permettent d'envisager une exploitation profonde**
>
> **Jacques Pironon,** directeur du laboratoire GéoRessources de l'université de Lorraine

---

L'Est républicain, 13 février 2023 (édition Nancy)

CHALIGNY

## Nouveau cycle de la Filoche : une soirée d'ouverture intersidérale

C'est une soirée multisensorielle, dépaysante et résolument spatiale qui a ouvert le nouveau cycle de la Filoche, sur le thème du cosmos. Un nombreux public s'est inscrit pour ce voyage. La directrice Camille Soulier et Filipe Pinho, président de la communauté de communes, ont remercié les artistes, les scientifiques et les musiciens présents, pendant que les enfants testaient des jeux en bois de la ludothèque. Les adultes, coiffés d'un casque de réalité virtuelle, ont bondi sur Mars en apesanteur, atterrissant effrayés au bord d'un précipice ou découvrant une station fictive plus vraie que nature.

Les photos et affiches du CRPG (Centre de recherches pétrographiques et géologiques) et l'exposition de météorites entraînent les visiteurs dans un bond spatio-temporel de 4,5 millions d'années en arrière, à l'origine du système solaire ou, plus récemment, à la conquête de l'espace. Clou de la soirée, le très attendu Aalehx, musicien, chanteur, auteur de bandes dessinées, et son groupe, en combinaisons de cosmonautes. Ils « parlent du cosmos en sons et en images », embarquent le public dans un concert électro-pop planant, avec chœurs et instruments, sur fond d'images intersidérales et d'illustrations de la dernière BD de l'artiste.

Plus vraie que vraie, la réalité martienne virtuelle que l'on voit avec le casque peut aussi être suivie à l'écran.

---

L'Est républicain, 20 mars 2023 (édition Nancy)

NANCY

## Quatre géologues parlent de la place des femmes dans la science

**À l'occasion de la journée internationale des droits des femmes, le ciné-club du lycée Chopin a projeté Les figures de l'ombre, un film sur la place de trois femmes dans la conquête spatiale américaine. Après la diffusion, quatre invitées ont pris la parole sur ce thème.**

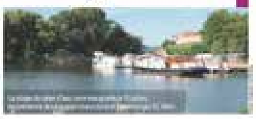
Le débat était animé par une maîtresse de conférences, une doctorante et deux élèves ingénieurs de l'ENSG.

---

LA QUESTION QUI PIQUE — METZ

## Pourra-t-on se baigner dans le plan d'eau ?

L'association **METZ VILLE D'EAU** a mis en évidence la présence de **MÉTAUX LOURDS** dans les sédiments de la **MOSELLE**. Sollicitée par « La Semaine », l'**UNIVERSITÉ DE LORRAINE** a tenu à mettre fin à la **POLÉMIQUE**.



« Données décontextualisées »

---

18 / LA SEMAINE DU 20 JUILLET 2023

Une Semaine à…

*Nancy* / INNOVATION

## Sol &co élève le sol à son juste niveau

Spécialisée dans l'étude des sols, la société nancéienne Sol &co participe par ses **DIAGNOSTICS** et ses **CONSEILS** à une **GESTION RESPECTUEUSE DE L'ENVIRONNEMENT**. La start-up issue de l'Université de Lorraine vient de décrocher un prix national, **PÉPITE DES PÉPITES**, qui couronne sa réussite et sa **CROISSANCE**.

C'est le parent pauvre en matière de construction ou d'aménagement. Quand un projet se monte, une usine, une zone d'activité, la vigilance concerne souvent le devenir des eaux ou de l'air environnant. Rarement le regard descend vers nos pieds, au niveau du sol, qui représente pourtant une ressource plus fragile qu'on ne l'imagine. Après dix années de recherches en sciences du sol et aménagement du territoire, la start-up Sol &co, créée il y a quatre ans à Nancy, a voulu attirer les consciences vers cette problématique. Sa fondatrice **Anne Blanchart** rappelle une évidence : *« Aujourd'hui, il n'y a pas de prise en compte des sols dans les projets d'aménagement.* **Il faut savoir que l'air et l'eau font l'objet de réglementations, mais pas les sols.** »

Cette Bretonne d'origine a longtemps été intéressée par les questions environnementales, autant que par celles d'urbanisme. Lors de son début de carrière dans un cabinet d'architectes paysagistes à Paris, elle a une prise de conscience : *« Pour la plupart des acteurs qui m'entouraient, le sol n'était qu'une surface en deux dimensions sur laquelle on construisait. Aucun ne se souciait de ses qualités.* **On sait pourtant qu'il abrite toute une biodiversité, qu'il stocke du carbone, qu'il filtre l'eau pour régler les inondations.** *La qualité des sols est au centre de toutes les questions de transition écologique. »* Le constat posé, elle décide de s'impliquer plus encore dans la question des sols et le hasard l'aiguille vers une offre de thèse à l'Université de Lorraine au sein du laboratoire Sol et environnement. Son doctorat en poche en 2018, elle veut rendre ses travaux utiles et lance très vite son entreprise Sol &co, avec un autre doctorant, Quentin Vincent.

### De la recherche à l'entreprise

Avec dix années de recherche dans leurs bagages, les deux jeunes créateurs d'entreprise vont vite être reconnus comme des experts dans leur domaine et récolter un premier prix. Le prix Pépite, remis par le ministère de l'Enseignement supérieur de la Recherche, qui récompense les jeunes entreprises innovantes. *« Cela prouvait qu'on était sur la bonne voie, qu'on était arrivé au bon moment pour cette question. Grâce aux 10 000 euros de récompense, nous avons pu aller plus loin dans notre projet. »*

**Leur premier projet les amène à établir un diagnostic des sols du parc Sainte-Marie à Nancy.** L'objectif : analyser les qualités des sols à différents endroits du parc pour les analyser en laboratoire afin de permettre au service des Parcs et Jardins d'adapter les essences d'arbres et de plantes à ces sols, notamment pour améliorer la gestion des eaux. Une autre opération similaire les fera travailler sur le plateau de Haye pour l'aménagement d'un jardin partagé : *« Le défi était de pouvoir utiliser la terre présente sur place,* explique Anne Blanchart, *pour l'optimiser. Et surtout ne pas faire venir de la terre végétale d'ailleurs, alors qu'elle est présente, dans un but de* **préserver les ressources***. »* Outre ce travail de conseil après diagnostic, Sol &co construit et anime des formations professionnelles permettant aux participants de monter en compétences sur les sujets de la caractérisation des sols et de leur biodiversité. Le troisième volet d'action est celui de la sensibilisation, grâce à des animations pédagogiques. Sol &co est ainsi intervenue à la suite de la destruction d'un bâtiment dans un collège. Dans l'espace regagné au sein de l'établissement, il a été question d'aménager un futur jardin pédagogique. Une occasion de sensibiliser les élèves en leur apportant des éléments de connaissance sur la qualité de la terre.

### Début de prise de conscience

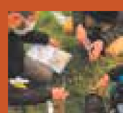
Sol &co, qui emploie aujourd'hui huit personnes, travaille partout en France. Par exemple, l'entreprise a collaboré à la réhabilitation de friches industrielles dans la métropole lyonnaise et en Île-de-France. « **Il n'y a pas d'obligation légale pour les Villes de faire analyser leurs sols, tout repose donc sur le bon vouloir de ces dernières,** explique Anne Blanchart. *Il y a une sensibilité qui commence à émerger chez certains acteurs de l'aménagement, chez les collectivités, les architectes. La récente loi Climat et résilience commence elle aussi à créer quelques obligations et une prise de conscience. Par exemple, les collectivités savent que, d'ici 2050, elles ne doivent plus artificialiser les sols, elles doivent en renaturer certains, mais elles ne connaissant rien à leur sol ! Nous arrivons alors en soutien. »*

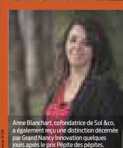
La Métropole de Dijon vient ainsi de commander un chantier de 500 points de sondages, pour cartographier les sols de son territoire : *« On voit l'importance grandissante de se doter d'une base de données très fine sur les sols,* confirme Anne Blanchart. **Depuis deux ans, on observe une explosion de la demande et une augmentation de la concurrence** *: c'est une très bonne nouvelle, car plus de personnes travailleront au final sur la question des sols. »*

Dans ce marché émergent, Sol &co peut se targuer d'avoir pris de l'avance, avec ses dix années de recherches universitaires. Fin juin, la start-up a reçu le prix Pépite des pépites qui valorise les entreprises pour leur croissance, leur capacité à créer de l'emploi et leur impact bénéfique sur l'environnement, le développement durable. Les commandes ne manquent pas : *« Le défi des prochaines années est d'arriver à se structurer pour répondre à la demande.* **Nous venons de signer un gros contrat avec le Muséum national d'Histoire naturelle de Paris** *pour un diagnostic de leurs jardins, dont le Jardin des plantes et l'Arboretum de Versailles, preuve que les choses sont en train de bouger. »*

Élise De Grave

Pour la start-up, l'idéal est d'intervenir en amont d'un projet d'aménagement pour préserver les qualités du sol.





Anne Blanchart, cofondatrice de Sol &co, a également reçu une distinction décernée par Grand Nancy Innovation quelques jours après le prix Pépite des pépites.

Photos © DR

---

2 | Meurthe-et-Moselle

L'Est républicain, 6 juillet 2023 (édition Nancy)

Nancy

## Métaux rares : un forum mondial, des enjeux locaux

300

### Total, Stellantis, Solvay, Ivanhoe Mining au rendez-vous

### Dans le Grand Nancy, une recherche active dans le domaine

Dépêche n° 693433
Habitat / Urbanisme - Urbanisme et Aménagement
Par: Arnaud Paillard - Publiée le 12/06/2023 à 10h57
Lien dépêche

3 min de lecture

## Destisol, un outil développé par l'université de Lorraine pour mesurer la qualité des sols dans les projets d'aménagement

L'université de Lorraine a annoncé avoir développé, au mois d'avril 2023, un outil capable d'analyser en détail le rôle rempli par le sol. Après l'avoir baptisé 'Destisol', les chercheurs qui l'ont mis au point promettent que cet outil permettra de mieux prendre en compte le rôle de la biomasse dans les sols au sein d'un projet d'aménagement.

Est-ce que le sol pourrait être considéré comme plus que le simple support de l'extension urbaine ? C'est le pari qu'a fait le laboratoire Sols et Environnement dans le cadre de deux projets de recherche, dont lun est financé par l'Ademe et lautre par le programme Deepsurf de Lorraine Université dexcellence, en lançant, en partenariat avec l'Ademe et le Cerema, un outil d'analyse des sols intitulé Destisol. "Nous sommes partis du constat que les études de sol utilisées préalablement aux projets d'aménagement se concentraient sur la présence ou non de polluants, mais laissaient de côté toutes les propriétés et les caractéristiques des sols, tout comme leur rôle comme producteurs de biomasse ou de stockage du carbone", explique à AEF info Geoffroy Séré, professeur à l'université de Lorraine.

### "Diagnostic élargi"

Les études de pollution sont en effet obligatoires si une pollution est suspectée lors d'un projet d'aménagement. Le rôle, pour un aménageur, est de décrire précisément le niveau de pollution des sols existants, afin d'adapter la programmation urbaine. Du logement, par exemple, ou un espace public, nécessitera des sols non pollués, alors que de faibles niveaux de contamination peuvent être compatibles avec certains usages industriels. "Notre ambition a été de créer un outil qui puisse conduire un diagnostic élargi englobant l'état des sols mais qui permette également à l'aménageur de cartographier plus précisément les potentialités de ces sols sur son opération", poursuit Geoffroy Séré.

Pour y parvenir, l'outil nécessite, tout comme un diagnostic de pollution classique, la production d'une étude documentaire du site, qui en recense les données historiques et notamment les utilisations successives qui en ont été faites. Une fois cette phase documentaire réalisée, l'utilisateur doit lancer une phase de caractérisation sur le terrain pour observer, prélever et analyser des échantillons de sols, par louverture de fosses pédologiques afin de vérifier sur le terrain comment le sol est composé. "C'est aussi la grande idée du lancement de cet outil : montrer que le sol n'est pas qu'une surface, mais qu'il est un réel écosystème en 3D, dont on peut mesurer les caractéristiques chimiques, physiques ou biologiques",

1/2

news tank
éducation & recherche

## Ressources minérales : un Labcom ANR entre le CNRS, l'Université de Lorraine et Arethuse Geology

news tank éducation & recherche — Paris - Actualité n°308914 - Publié le 08/12/2023 à 11:50

© D.R.

Le Laboratoire GeoRessources (Université de Lorraine, CNRS (Centre national de la recherche scientifique)) conclut un partenariat avec la PME (Petites et moyennes entreprises) Arethuse Geology, support à l'exploration minière basée à Aix-en-Provence, pour la création d'un Labcom ANR (Agence nationale de la recherche) sur les systèmes métallogéniques précambriens, notamment sur le territoire africain, annoncent-ils le 07/12/2023.

Baptisé « Théia », le Labcom a été sélectionné par l'ANR dans le cadre de la vague 1 de l'appel 2023 pour bénéficier d'un financement à hauteur de 363 k€ sur 54 mois (quatre ans et demi).

« La connaissance du sous-sol et l'exploitation raisonnée de ses ressources en métaux critiques et stratégiques représentent un enjeu majeur pour affronter les défis socio-économiques de notre époque. Plus spécifiquement, les défis croissants d'approvisionnement en ressources métalliques requièrent des innovations constantes de la part de l'industrie minière impulsée par les agences de recherche nationales et les pôles universitaires », déclarent Anne-Sylvie André-Mayer et Rémi Bosc, co-porteurs du Labcom respectivement pour GeoRessources et Arethuse Geology.

« La création d'un consortium français d'expertise en géologie des ressources minérales permettra de renforcer la compétitivité commune et de faire rayonner l'expertise française dans les ressources minérales et contribuer à l'approvisionnement de métaux critiques et stratégiques. »

Le laboratoire et la PME collaborent depuis dix ans autour d'activités de recherche sur la métallogénie. Deux thèses Cifre (Convention industrielle de formation par la recherche) viennent initier le Labcom. « Les deux partenaires étaient maintenant désireux de mieux structurer cette approche partenariale et de s'en servir comme hub de recherche collaborative sur la métallogénie précambrienne », indiquent-ils.

L'Est républicain, 26 septembre 2023 (édition Belfort)

Franche-Comté

## Reconstituer l'écologie du loup grâce à l'ADN d'animaux empaillés

CHALLENGES N°809 - 7 DÉCEMBRE 2023

## Des échantillons de l'astéroïde Bénou analysés en France

*Deux laboratoires ont reçu des pierres et gaz rares venant de ces briques originelles du Système solaire.*

Fin novembre, deux laboratoires français ont reçu une petite partie des précieux échantillons de l'astéroïde Bénou prélevés directement à 150 millions de kilomètres de la Terre par la mission Osiris-Rex de la Nasa. Quelque 250 grammes, préservés dans une capsule hermétique de 80 cm de diamètre, avaient été réceptionnés en septembre par l'agence spatiale américaine. Celle-ci confirmait alors en grande pompe la présence d'eau et de molécules organiques, désormais à étudier.

En France, l'Observatoire de la Côte d'Azur et le centre de recherches pétrographiques et géochimiques de l'université de Lorraine sont les heureux destinataires de ces briques originelles du Système solaire. Le premier est chargé de leur analyse minéralogique quand le second se concentre désormais sur les gaz rares que contiennent ces poussières d'astéroïde « *chimiquement pures* ». Au contraire des météorites récoltées sur terre, la composition de ces échantillons a en effet été préservée par la capsule de la Nasa.

Capsule d'échantillons. **Ils ont été prélevés par la mission Osiris-Rex de la Nasa.**

L'Est républicain, 26 juin 2023 (édition Nancy)

Pont-à-Mousson

## Ils pêchent les moules d'eau douce de la Moselle pour vérifier la qualité de l'eau

Le 12 juin, l'Agence d'eau Rhin-Meuse a profité que l'écluse soit mise à sec, dans le cadre des travaux de VNF, pour récolter des moules et de moules d'eau douce pour les analyser.

Le public captivé s'est prêté au jeu.

Une quarantaine de personnes, des parents avec leurs enfants, sont venus jouer au quiz géant que proposait l'association Com'on sciences. C'était la dernière et dernière étape de leur tournée dans les petites communes du Grand Est.

Les 3 intervenants, Thibaut Sauvagnon docteur en sciences du bois et des fibres, Elsa Riberdy docteure en biologie cellulaire et moléculaire et Anne Vicente docteure en environnement et pollution, ont fait découvrir à l'aide d'un jeu ce qu'est la recherche scientifique et, à travers des exemples, ce qu'est fait dans les laboratoires de la recherche publique de la région. C'est la troisième année que l'association propose ces événements culturels.

### Mésiouette et bactéries

Une des questions du quiz était de reconnaître une mésiouette parmi un échantillon de cailloux, pour illustrer la recherche sur le monde des planètes. Une autre question en relation avec les bactéries et la pollution des eaux à savoir pourquoi certains lieux ne sont pas autorisés à la baignade. L'intelligence artificielle fait aussi évoquée. Les intervenants ont transmis leurs connaissances en mêlant pédagogie et bonne humeur et les participants ont adhéré.

Rainville-sur-Madon

## La science s'invite pour les vacances

**CRPG**
**Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques**
**https://crpg.univ-lorraine.fr//**

**GeoRessources**
**http://georessources.univ-lorraine.fr/**

**LIEC**
**Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux**
**http://liec.univ-lorraine.fr/**

**LSE**
**Laboratoire Sols et Environnement**
**http://lse.univ-lorraine.fr/**

otelo
Observatoire Terre Environnement Lorraine

**Observatoire Terre et environnement de Lorraine**
**otelo.univ-lorraine.fr**
**otelo-contact@univ-lorraine.fr**
**03 72 74 47 13**