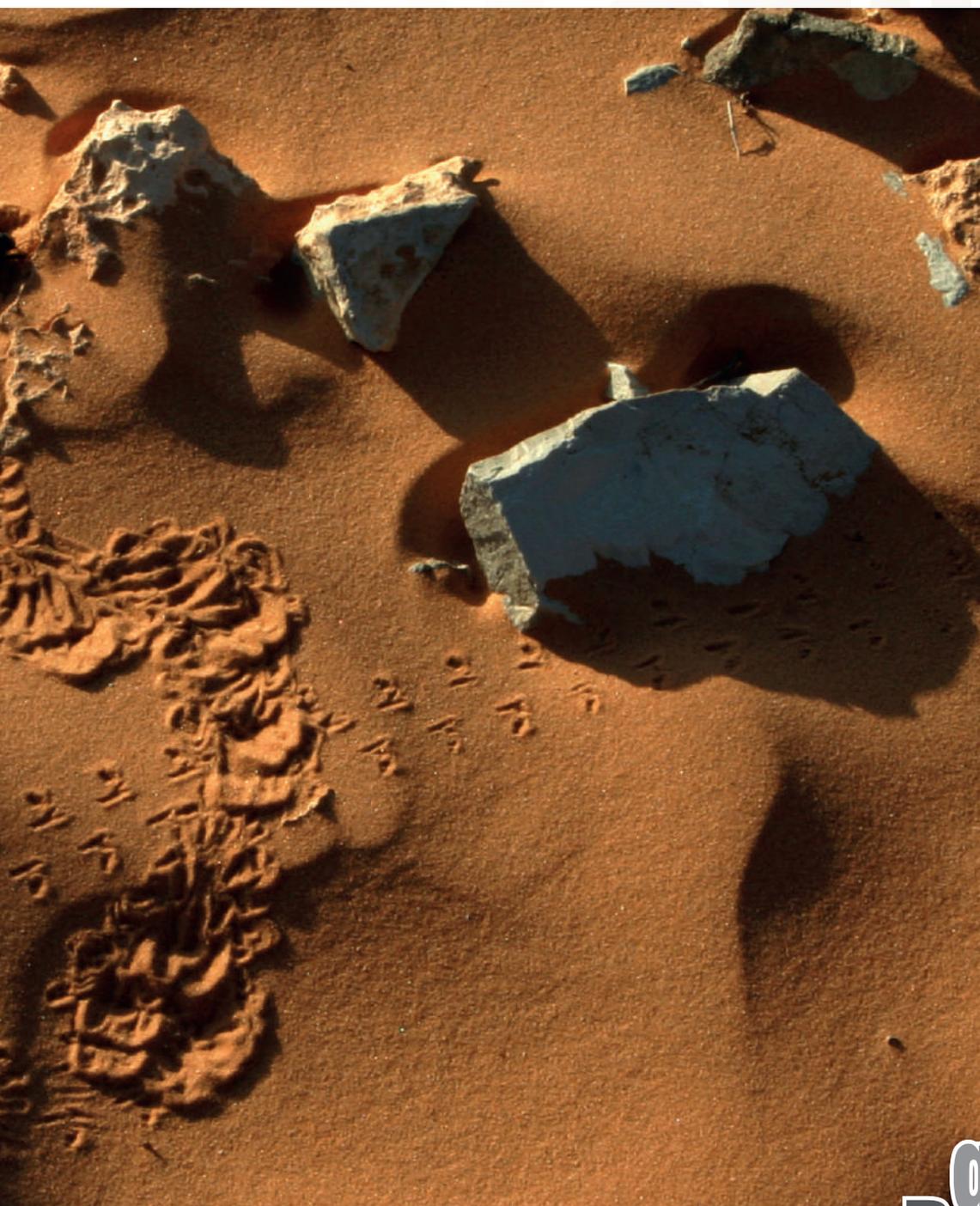


RAPPORT D'ACTIVITÉ 2021



SOMMAIRE

| | |
|--|-----------------|
| ÉDITORIAL | p. // 04 |
| LES CHIFFRES CLEFS | p. // 06 |
| LA GOUVERNANCE | p. // 08 |
| LES AXES DE RECHERCHE | p. // 10 |
| LES FAITS MARQUANTS | p. // 12 |
| LES PLATEFORMES | p. // 14 |
| UN NOUVEL ÉQUIPEMENT | p. // 18 |
| UNE RICHESSE PARTENARIALE | p. // 19 |
| LES PROJETS SCIENTIFIQUES | p. // 22 |
| UN PROJET EXTRATERRESTRE | p. // 34 |
| LES SOUTENANCES DE THÈSES | p. // 36 |
| LES SOUTENANCES HDR | p. // 37 |
| UNE PUBLIMÉTRIE OPTIMISÉE | p. // 38 |
| UN RAYONNEMENT INTERNATIONAL | p. // 40 |
| À LA RENCONTRE DU GRAND PUBLIC | p. // 44 |
| LES FEMMES ET LES HOMMES DE GEORESSOURCES | p. // 47 |
| LE PROJET IMMOBILIER | p. // 50 |
| ENGAGÉS VERS L'ÉCORESPONSABILITÉ | p. // 52 |



UMR 7359

Laboratoire de recherche de l'Université de Lorraine et du CNRS

 www.georessources.univ-lorraine.fr

 georessources-contact@univ-lorraine.fr



CAP SUR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE !



© Cédric Carpentier /// Stromato et gypse messinien

GeoRessources est ravi de vous proposer son rapport annuel d'activités pour 2021. Il s'agit d'une première pour notre jeune laboratoire créé en 2013 qui développe une recherche multidisciplinaire fondée sur ses compétences historiques en géomécanique, métallogénie, géomodélisation, minéralurgie, géochimie, processus de transferts, en s'appuyant sur ses nombreux partenariats académiques et industriels et sur ses plateformes analytiques, expérimentales et de calcul.

Dans une société en transition vers un modèle de production plus sobre et plus écologique, le mix énergétique représente déjà une réalité pour les équipes de GeoRessources. Tirant profit des connaissances acquises sur le cycle des ressources carbonées et fossiles, le laboratoire se tourne maintenant vers les métaux stratégiques (nickel, lithium, terres rares, tungstène) indispensables au développement des technologies bas carbone, vers l'utilisation du sous-sol pour le stockage du carbone et des nouveaux vecteurs énergétiques (stockage CO₂, H₂), vers l'exploitation des nouvelles sources d'énergie (géothermie, hydrogène naturel, hélium) ou encore vers le développement de nouveaux procédés de recyclage plus efficaces.

Ce rapport ne présentera pas de manière exhaustive l'ensemble de l'activité recherche de GeoRessources mais vous permettra de découvrir, au fil des pages, notre ADN de recherche, illustré par une sélection de grands projets collaboratifs, par le déploiement de nouveaux dispositifs de partenariats industriels, par la découverte des travaux de nos doctorants, et par les innovations mises au point au sein de nos plateformes techniques.

GeoRessources est un laboratoire multi-sites dont les racines sont communes avec les acteurs de la formation initiale de l'Université de Lorraine : l'École des Mines, l'École Nationale Supérieure de Géologie, le département Géosciences et l'école Doctorale SIRENa. Le projet bâtiment qui a mobilisé tous les acteurs du laboratoire en 2021 vise au travers d'un regroupement sur le site Roubault-Brabois à renforcer nos actions de recherche entre équipes du laboratoire, mais également à optimiser la visibilité des acteurs en Géosciences de Nancy.

Enfin, GeoRessources participe à l'excellent positionnement de l'Université dans le classement de Shanghai dans la catégorie Mining & Mineral Engineering (13^e mondial, 1^{re} université européenne) ; ce rapport vous permettra d'en avoir un aperçu.

Anne-Sylvie André-Mayer

Directrice



BONNE LECTURE À TOUS !

LES CHIFFRES CLEFS

LE LABORATOIRE EN QUELQUES CHIFFRES

2 Tutelles
// Université de Lorraine & CNRS

2 Centres de transfert
// ASGA & CREGU

1 Label
// Carnot ICÉEL

7 Équipes de recherche

3 Axes scientifiques

14 Plateformes techniques

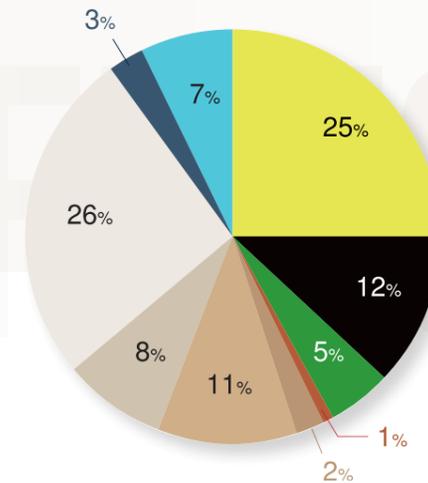
3 Chaires partenariales

150 Contrats de recherche

EFFECTIFS DU LABORATOIRE

175 personnes

Chercheurs & enseignants-chercheurs // 49
Personnels d'appui // 43
& administratif permanents
Personnes d'appui technique // 14
& administratif non-permanents
Personnes post-doc, ATER // 20
ou chercheurs contractuels
Doctorants dont 4 CIFRE // 45
Professeurs // 04
et Directeurs de recherche émérites



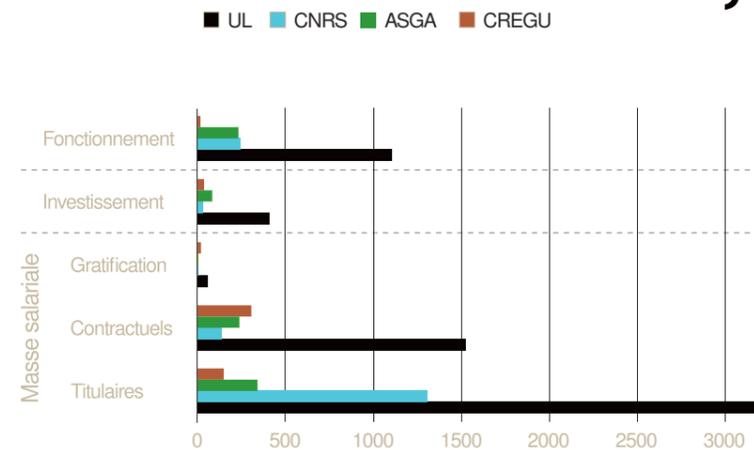
PERMANENTS

- CNRS chercheurs
- CNRS appui
- UL enseignants chercheurs & chercheurs
- UL appui
- ASGA appui
- CREGU appui
- Directeurs et professeurs émérites
- Post-doc, ATER, chercheurs contractuels
- Appui
- Doctorants

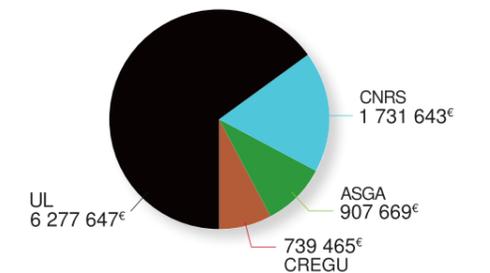
BUDGET ET FINANCES

9,7 M€ de budget *

* Budget 2020 basé sur les dépenses effectives incluant salaires permanents et contractuels.
Hors investissements CPER et FEDER



Dépenses par tutelles & centres de transfert (en k€)



Dépenses par typologie & par tutelle (en k€)

LA GOUVERNANCE

GOUVERNANCE

LA GOUVERNANCE SE DÉCLINE EN 3 ORGANES :

Un comité de direction

qui analyse et oriente les choix stratégiques du laboratoire qu'ils soient scientifiques, techniques ou politiques

Un conseil de laboratoire

où siègent les représentants des différentes catégories de personnels

Un comité local d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail

DIRECTION DU LABORATOIRE



Anne-Sylvie ANDRÉ-MAYER
Directrice



Fabrice GOLFIER
Directeur adjoint

Stéphanie TROMBINI
Secrétaire de direction

Camille GAGNY
Responsable administrative



COMME UNE ENVIE DE SE RETROUVER !

© Eric Lefevre /// Rassemblement convivial GeoResources

LES AXES DE RECHERCHE

LE LABORATOIRE SE DÉCLINE EN 3 AXES DE RECHERCHE

AXE MATIÈRES PREMIÈRES

Lieu d'interaction et d'échanges entre les spécialistes des ressources carbonées et minérales pour leur exploration, exploitation et valorisation. Ici se mêlent des géologues, géochimistes, métallogénistes et minéralurgistes. Ils ont pour mission de développer des modèles, voire des pilotes, couvrant l'amont et l'aval du cycle des ressources.

AXE GÉOMODÈLES

Lieu de rencontre des spécialistes des modèles géométriques, géostatistiques et de processus physiques. L'objectif est de créer des interactions fortes entre spécialistes de la simulation numérique et de la simulation expérimentale, de coupler les approches géométriques, inverses, hydrogéochimiques et mécaniques.

AXE GÉOSYSTÈMES

Lieu de synergie où se retrouvent les spécialistes de l'exploitation du sous-sol à des fins de stockage d'effluents ou déchets ultimes et de géothermie, et les spécialistes des aléas et des risques générés par les activités anthropiques, comme les excavations et les mines.

LES ÉQUIPES DE RECHERCHE

// Ressources carbonées



ANIMATEURS
Raymond MICHELS



&
Yves GÉRAUD

// Ressources minérales



ANIMATEUR
Michel CATHELINÉAU

// Valorisation des ressources et des résidus



ANIMATEUR
Lev FILIPPOV

// Géologie numérique et intégrative



ANIMATEUR
Guillaume CAUMON

// Hydrogéomécanique multi-échelles



ANIMATEURS
Dragan GRGIC



&
Anne-Julie TINET

// Stockages géologiques et géothermie



ANIMATEUR
-

// Géomatériaux, ouvrages et risques



ANIMATEUR
Yann GUNZBURGER

LES FAITS MARQUANTS

FÉVRIER
18 // 02 Atterrissage de PERSEVERANCE sur Mars

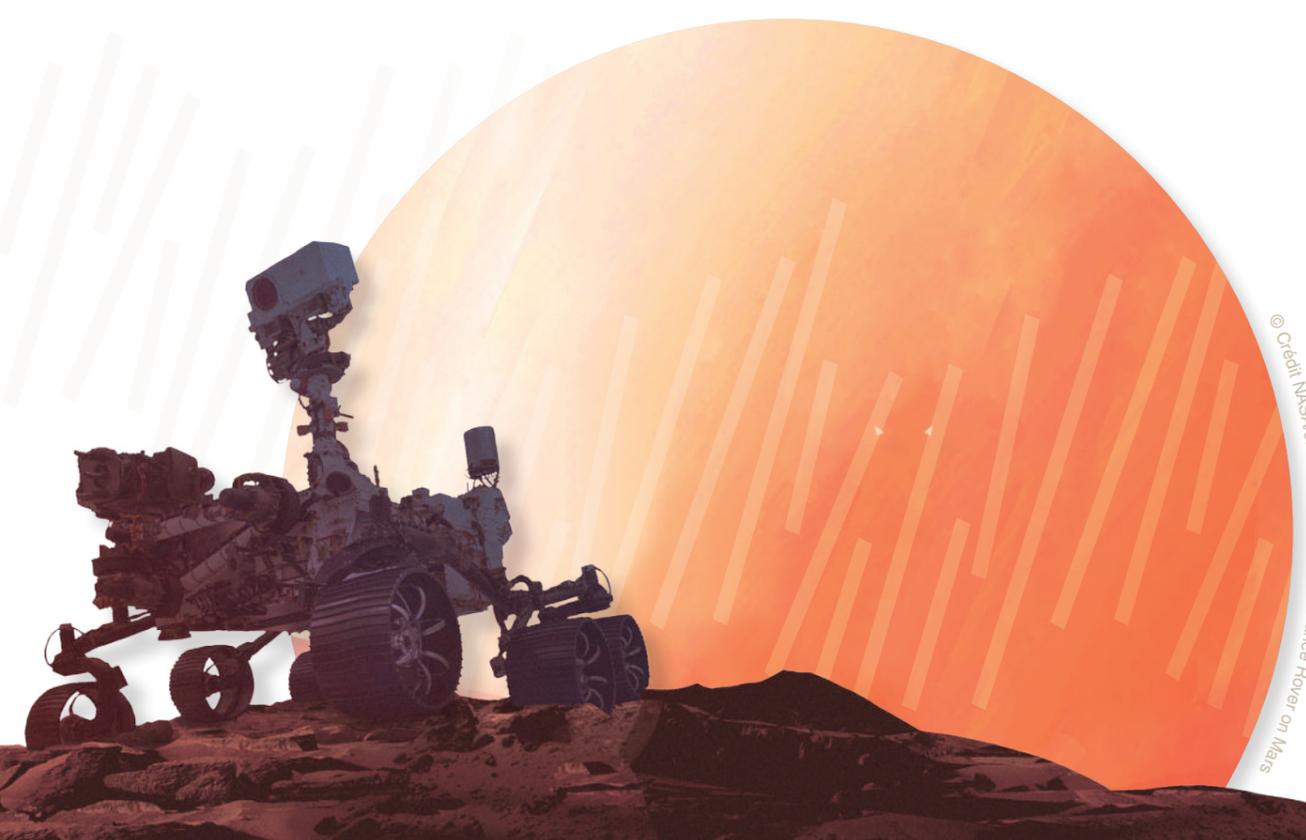
MARS
12 // 03 Soutenance HDR de Julien MERCADIER
31 // 03 Soutenance HDR d'Isabella PIGNATELLI

JUILLET
du 28 // 06 au 02 // 07 Congrès international E-CROFI sur les inclusions fluides
07 // 07 Geomind 3D Obtention d'une Chaire ANR industrielle Geomin 3D avec ORANO, portant sur les gisements d'uranium les plus riches au monde.
01 // 07 Colloque sur le stockage souterrain de l'hydrogène
06 // 07 Soutenance HDR de Cédric CARPENTIER

SEPTEMBRE
du 06 // 09 au 10 // 09 Congrès international RING sur la géologie numérique et intégrative
15 & 16 // 09 Séminaire final du projet 2020 Next

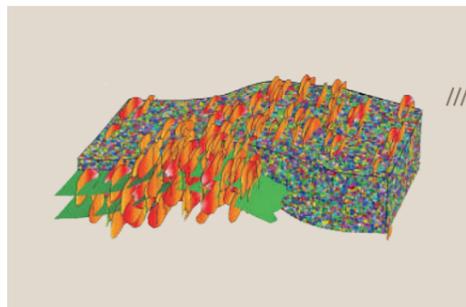
OCTOBRE
// 10 Prix jeunes de la SIM pour Ottone SCAMMACCA
// 10 Titre Docteur Honoris Causa pour Ndue KANARI
// 10 Prix des Sciences du Risque pour Corentin GOUACHE
du 12 // 10 au 14 // 10 Congrès international DEEPSURF sur les échanges sous-sol/sol/atmosphère

NOVEMBRE
// 15 // 11 Symposium final du projet ERA-MIN-LIGHTS sur le lithium
DÉCEMBRE
07 // 12 Arrivée du nouveau tomographe



© Credit NASA/JPL-Caltech // Perseverance Rover on Mars

DES PLATEFORMES RECHERCHÉES



Modélisation numérique

// RESPONSABLE : Paul CUPILLARD

Forte de plus de 30 ans d'expertise en génie logiciel et en recherche méthodologique sur la représentation numérique du sous-sol, la plateforme Géomodélisation et Calcul propose aux entreprises des moyens humains et informatiques pour la modélisation avancée de la subsurface et de ses propriétés en trois dimensions.

STEVAL

RESPONSABLE TECHNIQUE : Frédéric DIOT //

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE STEVAL : Lev FILIPPOV

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE HYDROVAL : Alexandre CHAGNES

La SStation Expérimentale de VALorisation des matières premières et des substances résiduelles est un plateau technique de 2 000 m² avec plus de 150 équipements permettant d'étudier les opérations unitaires de la séparation solide-solide ou solide-liquide du laboratoire, à l'échelle du pilote semi-industriel. Ses objectifs sont de valoriser, protéger les ressources et développer des procédés propres et sûrs de génie minéral semi-industriel.



Expérimentation hydrothermale

// RESPONSABLE TECHNIQUE : Aurélien RANDI

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE : Jérôme STERPENICH

La plateforme d'expérimentation hydrothermale permet l'étude de la réactivité et de la stabilité des phases dans les systèmes fluides-minéraux-solutions-gaz-matières organiques.

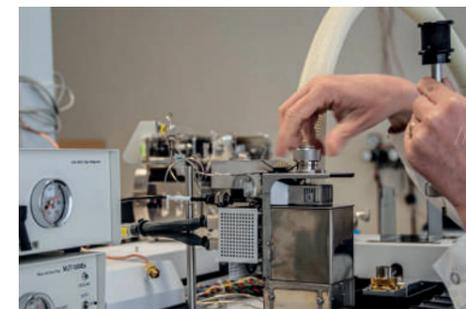
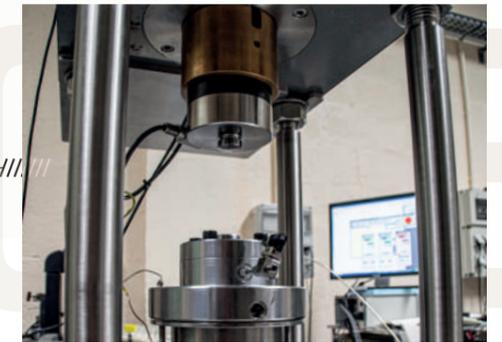
Hydrogéomécanique

RESPONSABLE TECHNIQUE : Éric LEFEVRE //

RESPONSABLE TECHNIQUE : Laurent SCHOUMACKER

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE : Dragan GRGIC

La plateforme hydrogéomécanique multi-échelles permet de déterminer les propriétés hydrogéomécaniques des différents constituants des géomatériaux allant de l'échelle d'un grain (micromètre) à celle d'un site (pluri-métrique).



Géochimie organique

// RESPONSABLE TECHNIQUE : Catherine LORGEUX

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE : Raymond MICHELS

La plateforme de Géochimie Organique regroupe des moyens expérimentaux permettant d'étudier l'évolution et la réactivité des matières organiques dans les contextes géologiques et environnementaux.

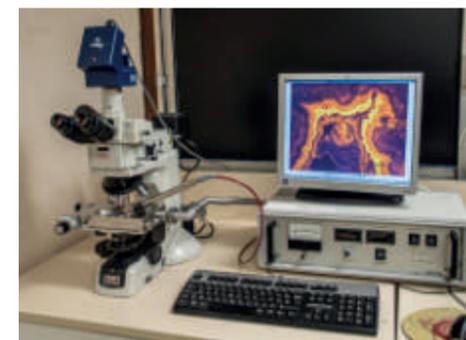
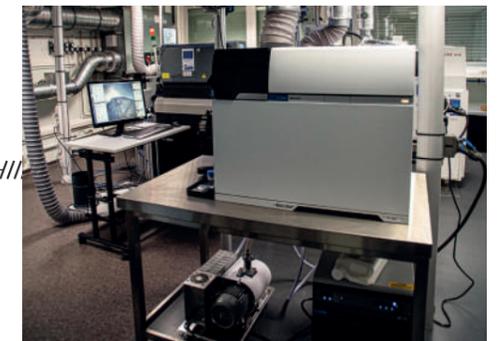
LA-ICPMS

RESPONSABLE TECHNIQUE : Chantal PEIFFERT //

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE : Marie-Christine BOIRON

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE : Julien MERCADIER

La plateforme d'ablation laser permet de mesurer de façon précise et à petite échelle les compositions chimiques et isotopiques dans les phases solides et liquides via l'utilisation de lasers couplés à des spectromètres de masse.

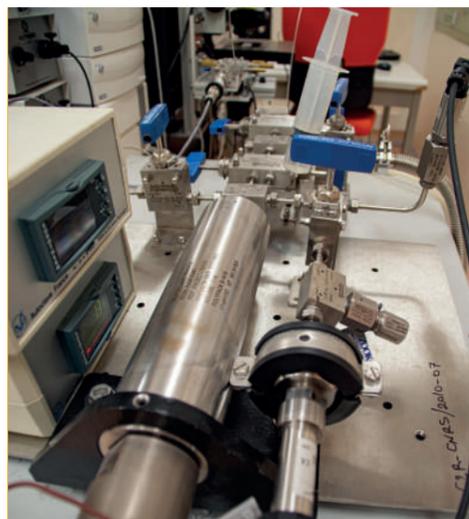


Microscopie optique et microthermométrie

// RESPONSABLE TECHNIQUE : Karine PISTRE

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE : Alexandre TARANTOLA

La plateforme offre une grande diversité de techniques d'observation (lumière transmise et réfléchi, fluorescence UV, luminescence, thermométrie) permettant une caractérisation minéralogique de qualité et une reconstitution efficace des conditions de formation des roches et des minéraux.



Spectroscopies moléculaires

// RESPONSABLE TECHNIQUE INFRAROUGE : Odile BARRES
 RESPONSABLE TECHNIQUE RAMAN : Marie-Camille CAUMON
 RESPONSABLE SCIENTIFIQUE : Jacques PIRONON

La plateforme combine les spectroscopies infrarouge et Raman. Ces techniques sont complémentaires et permettent des mesures microscopiques ponctuelles sur lames minces et capillaires, mais également des cartographies et/ou imageries sur minéraux, des analyses macroscopiques à travers des cellules pour les gaz et les liquides, des mesures en réflexion spéculaire et réflexion diffuse sur solides, des analyses et reconstructions 3D de gaz atmosphériques par émission infrarouge. Les Raman fibrés permettent le couplage à des bancs expérimentaux.



Géochimie minérale

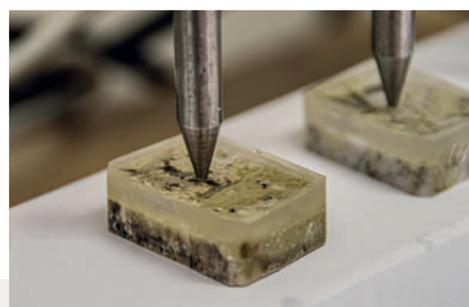
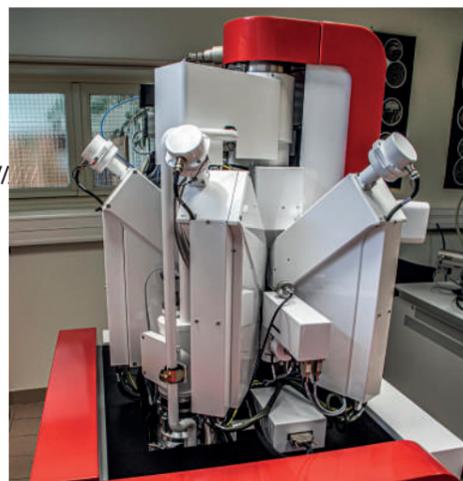
// RESPONSABLE TECHNIQUE : Jérôme MARIN
 RESPONSABLE SCIENTIFIQUE : Alexandre CHAGNES

La plateforme de Géochimie minérale est dédiée au développement de méthodes d'analyses et à l'analyse d'échantillons solides ou liquides dans le cadre de grands projets dans les domaines de l'hydrométallurgie, la géométallurgie, la métallogénie, les interactions fluides-roches, la diagenèse expérimentale, la corrosion des matériaux (puits, colis)...

SCMEM - Service Commun de Microscopie Électronique et de Micro-analyse X

RESPONSABLE TECHNIQUE : Andréï LECOMTE //
 RESPONSABLE SCIENTIFIQUE : Jean CAUZID

Le Service Commun de Microscopie Électronique et de Microanalyse X fournit les moyens matériels et humains nécessaires à l'observation et la caractérisation d'échantillons solides aux forts grossissements. Les équipements permettent de produire des images 2D de topographie, de contraste chimique, de répartition chimique ainsi que des images 3D de la morphologie interne des échantillons. L'imagerie est complétée par des analyses quantitatives de points, transects et surfaces.



Lithopréparation

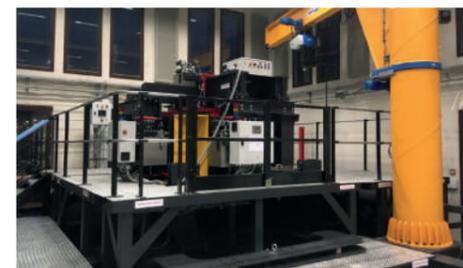
// RESPONSABLE TECHNIQUE : Alexandre FLAMMANG
 RESPONSABLE SCIENTIFIQUE : Alexandre TARANTOLA

L'activité de la plateforme est consacrée à la réalisation de lames de roche destinées à l'observation au microscope, à partir de matériaux consolidés ou non, en lumière transmise comme en lumière réfléchie. Environ 2 000 lames polies par an sont réalisées.

Tomographie à rayons X

RESPONSABLE TECHNIQUE : Christophe MORLOT //
 RESPONSABLE SCIENTIFIQUE : Jérôme STERPENICH

La plateforme Tomographe à rayons X permet de délivrer une étude non destructive qui révèle les caractéristiques de la structure interne de l'échantillon : dimensions, forme, répartition spatiale des éléments les uns par rapport aux autres, hétérogénéités et défauts. L'objet reconstruit peut ensuite être manipulé dans toutes les directions de l'espace et des coupes virtuelles peuvent être réalisées dans n'importe quelle partie de l'échantillon grâce à une imagerie 3D de haute qualité.



DiMiTri

// RESPONSABLE SCIENTIFIQUE : Olivier DECK

Dispositif expérimental novateur conçu pour réaliser des essais mécaniques sur des modèles réduits d'ouvrages souterrains : tunnels, puits, galeries, DiMiTri est une nouvelle plateforme de simulation analogique évolutive permettant la simulation physique à une échelle métrique.

Pétrophysique des réservoirs

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE : Yves GÉRAUD //

La plateforme met en oeuvre des outils de caractérisation au laboratoire de la porosité, des propriétés élastiques et des propriétés de transferts de fluides et chaleur. Elle dispose d'outils géophysiques de subsurface, sismique, électrique, magnétique, radar, lidar pour l'étude de réservoirs à hydrocarbures, géothermique et à co-produits (H, He, Li). Les données sont intégrées dans la BDD "Petrophysics".



LE NOUVEAU TOMOGAPHE

TOMOGAPHE X

Pour compléter son parc instrumental, GeoRessources s'est doté d'un tomographe X de grandes dimensions, spécifique aux géosciences et aux sciences des matériaux, permettant de reconstituer une image tridimensionnelle d'un objet de taille variable (de moins de 1 mm à 1 m environ), de poids important (jusque 80 kg), avec une résolution micrométrique. Il offre la possibilité de réaliser des expériences (mécaniques, percolations...) résolues en temps réel sous le faisceau de rayons X.

L'arrivée de ce nouveau tomographe a favorisé la mise en place d'une plateforme commune de tomographie GeoRessources-IJL donnant ainsi plus de visibilité à l'échelle nationale, permettant un transfert d'expertise et ouvrant



des opportunités d'interaction entre les communautés scientifiques Géosciences-Matériaux.

Cette nouvelle plateforme est localisée sur le site ARTEM, laboratoire IJL.

LA PLATEFORME COMMUNE EST MAINTENANT COMPOSÉE DE 3 TOMOGAPHES :

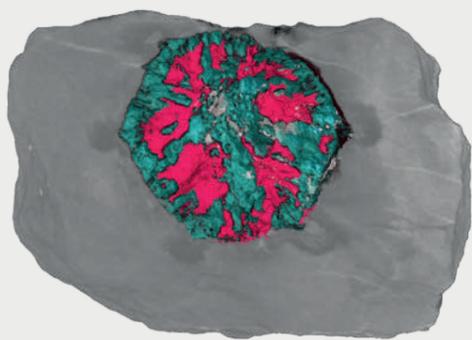
// 2 Phoenix Nanotom M 180 KV

// 1 Easytom XL équipé de 2 tubes 160kV et 230kV et 2 détecteurs dont un détecteur plan Variant Paxscan et une caméra CCD.

La cabine est équipée d'une table en granite montée sur coussin d'air et le grand volume disponible permet l'insertion de dispositifs *in situ*. Nous avons également à disposition une machine d'essais mécaniques de type Deben (traction-compression 5kN-180°C).

© Christophe Morlot ///

Rendu d'une émeraude calcite au tomographe RX

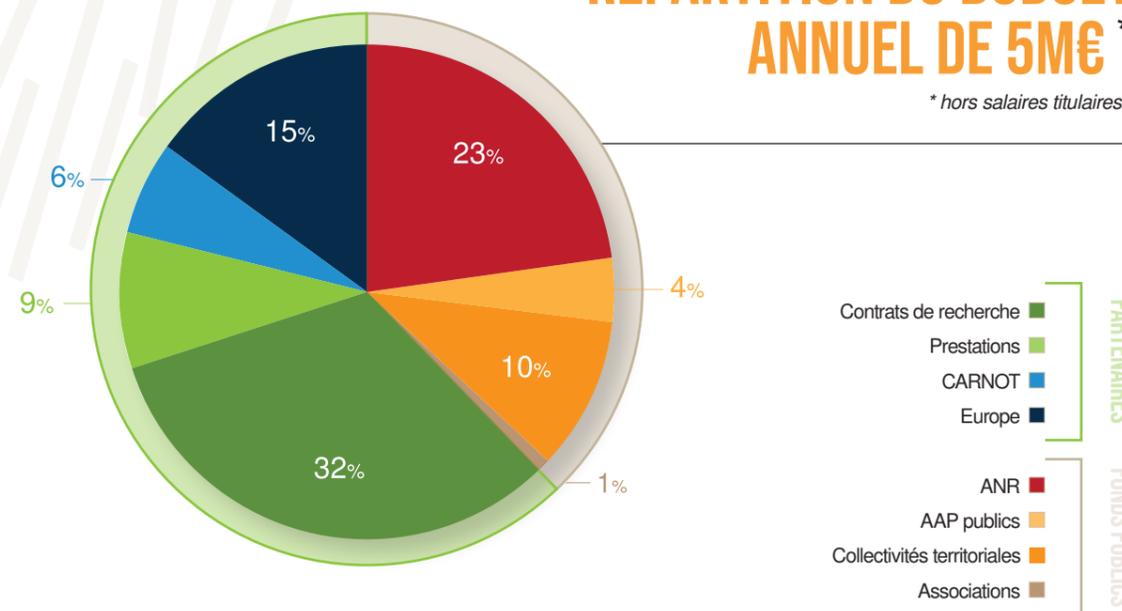


UNE RICHESSE PARTENARIALE

Projets européens, centres de transferts historiques (CREGU, RING, ASGA), thèses CIFRE, chaires ANR-industriels-mécénales, projets Carnot, les recherches partenariales de GeoRessources sont très diversifiées, contribuant à 60% de son budget annuel de 5 M€ hors salaires titulaires.

RÉPARTITION DU BUDGET ANNUEL DE 5M€*

* hors salaires titulaires



GRÂCE À SES MULTIPLES PARTENAIRES, GEORESSOURCES EST LABELLISÉ CARNOT ICÉEL.



ZOOM SUR DES PARTENARIATS

DU CREGU AU LABCOM CREGU

En passant par des chaires industrielles

Le CREGU a été créé par les pouvoirs publics (le CEA et le CNRS) afin de développer les recherches scientifiques indispensables au développement de l'exploration de l'uranium. Dès 1987, les programmes du CREGU ont été étendus à d'autres substances dont l'or, le pétrole, le gaz ou le charbon notamment, et aux problématiques de l'aval du cycle des matières premières. Son activité est maintenant tournée vers ses deux actionnaires actuels, ORANO et TOTAL. Dès 1979, le CREGU a été associé au CNRS. Il représente depuis 2013 un centre de transfert privilégié pour GeoRessources.



// 2019

// Le CREGU fête ses 40 ans



40 ans de recherche en faveur de l'activité minière et pétrolière, pilotage scientifique de Michel Cathelineau.

// 2020

// Création de la chaire industrielle UL-CNRS-ORANO



Création de la chaire industrielle UL-CNRS-ORANO "Georessources, exploration et traitement", portée par Patrick Ledru.

// 2021

// Le projet Geomin 3D est sélectionné par l'ANR



Création d'une nouvelle chaire industrielle avec ORANO, portée par Julien Mercadier, qui va durer 4 ans, avec un budget de 1,6 million €.

// 2022

// Création d'un labcom CNRS-ORANO



Rendez-vous le 22 Juin 2022 pour l'inauguration du Labcom CNRS-ORANO

Pour développer ses activités de recherche, notamment pour les projets DEEPSURF ou ceux se rapportant à l'hélium ou à l'hydrogène, GeoRessources développe un partenariat spécifique avec des PME.

45-8 ENERGY

Un partenariat PME/R&D productif



45-8 ENERGY est une entreprise française spécialisée dans l'exploration et la production éco-responsable de gaz industriels respectueux de l'environnement, l'hélium et l'hydrogène natif notamment, valorisés en circuit court. Une approche unique en Europe !

DES PARTENAIRES MULTIPLES

"L'exploration d'hélium et de ses potentielles ressources connexes étant une activité innovante aux nombreuses spécificités, 45-8 Energy conduit en parallèle plusieurs travaux de Recherche et Développement visant à mettre au point, en collaboration avec des partenaires académiques et industriels, des outils efficaces et adaptés à la détection d'hélium et d'hydrogène dans le sous-sol."

Nicolas Pelissier - Président de 45-8 ENERGY

2019 // 45-8 devient partenaire I-SITE / DEEPSURF //

Thèse I-SITE / DEEPSURF //



2020 //

AMI Économie Numérique // Grand Est / FEDER & UL, 45-8 Energy, Solexperts, Institut Lafayette

Post-doc / DEEPSURF // UL, 45-8 Energy et Institut Lafayette

Thèse CIFRE //

Utilisation du dispositif GISFI //

Participation au projet national GEFISS // 45-8, GeoRessources...

Accord cadre de développement // UL, 45-8 Energy, Solexperts et Institut Lafayette

2021 //

Contrat spécifique H₂ // 45-8 Energy, Solexperts, Institut Lafayette

Thèse CIFRE // 45-8 Energy, GeoRessources

LES PROJETS SCIENTIFIQUES

LE MIX ÉNERGÉTIQUE, UNE RÉALITÉ POUR LES ÉQUIPES DE GEORESSOURCES

Le développement du mix énergétique que tous les états souhaitent mettre en place pour diminuer la dépendance aux énergies fossiles, les hydrocarbures et l'uranium notamment, passe par la prospection de nouvelles ressources. Certaines de ces ressources sont contenues dans le sous-sol, comme les ressources géothermiques de différentes températures, l'hydrogène natif, l'hélium ou le lithium.

L'exploration, l'exploitation et l'utilisation conjointes de notre sous-sol pour des ressources, qu'elles soient géothermiques, de lithium, d'hydrogène, d'hélium ou pour du stockage (CO₂, hydrogène,...), sont des objectifs de plus en plus couramment affichés et nécessitent une approche globale et intégrée des différents systèmes géologiques associés à tous ces usages du sous-sol. L'exploration et l'exploitation des ressources hydrocarbonées, depuis plus d'un siècle, ont permis de construire des modèles de systèmes pétroliers, comprenant une roche mère, une roche réservoir, un système de transfert et une roche couverture, qui sont assez efficaces. En revanche, les systèmes géologiques géothermiques de haute température, du lithium, de l'hélium et de l'hydrogène sont actuellement mal contraints aussi bien individuellement que conjointement. Le développement d'une approche globale et intégrée des différents systèmes géologiques associés à ces nouvelles ressources est un concept novateur qui permettra des avancées majeures dans la compréhension des systèmes hydro et géothermaux.

LES THÉMATIQUES ÉNERGÉTIQUES

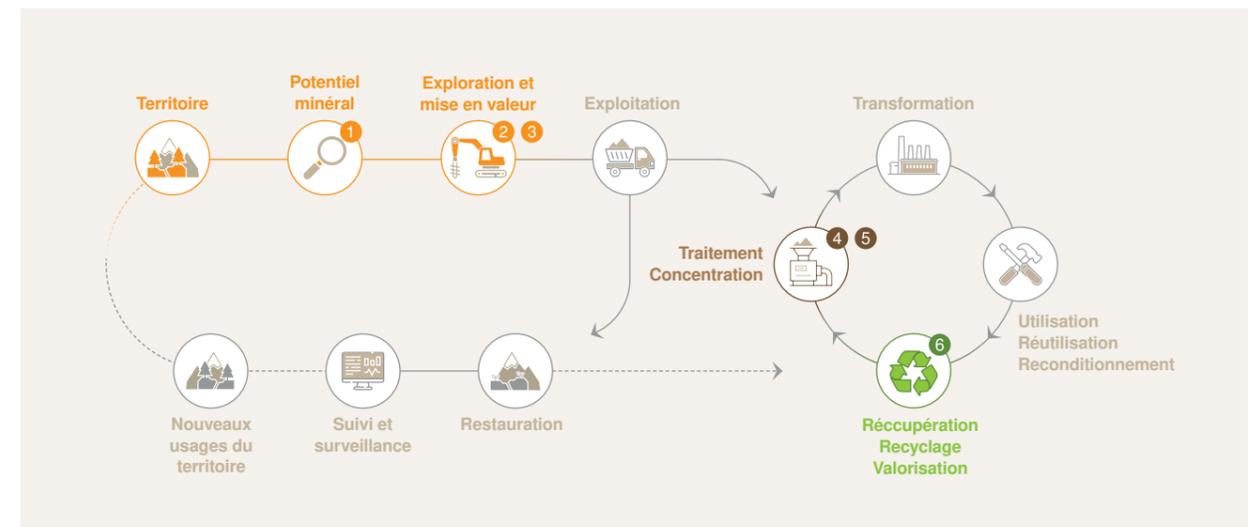
La compréhension intégrée des systèmes géologiques autorisant un « Mix » de notre usage du sous-sol pour la production d'énergie, en effectuant des études croisées sur des sites géologiques, permet une co-génération et une co-exploitation de ressources géologiques de différentes natures.



MIX ÉNERGÉTIQUE LE LITHIUM

UN CHALLENGE pour l'accès aux ressources primaires et son recyclage dans les batteries Li-Ion

L'accès au lithium, métal critique pour l'Europe, constitue un réel enjeu politique. En effet, le lithium représente un élément stratégique pour assurer l'essor des technologies électriques, notamment pour manifester les batteries de type Li-Ion. Le stockage d'énergie joue un rôle essentiel dans la transition énergétique où les ressources énergétiques intermittentes (éolienne et solaire) occupent une place de plus en plus importante. GeoRessources développe actuellement des activités de recherche sur l'ensemble du cycle du lithium, depuis l'exploration et la caractérisation des ressources primaires jusqu'au recyclage des batteries.



1. Projet LIGHTS (Lightweight Integrated Ground and Airborne Hyperspectral Topological Solution) vise à simplifier l'exploration de ces gisements lithinifères, en combinant différentes techniques utilisées en temps quasi-réel. Une innovation européenne portée par GeoRessources.
2. LabEx Ressources21. Le lithium est ciblé comme métal stratégique dans le volet 2 du LabEx Ressources21 avec un centrage sur le site de Beauvoir exploité par Imerys.
3. Projet CREGU-Total Énergie. Les saumures de bassins, les minerais de lithium de demain. Thèse E. Dugamin.
4. LabEx Ressources21. Évaluation métallurgique de récupération Li par flottation à partir des granites à métaux rares.
5. LabEx Ressources21. Développement d'un procédé d'extraction du lithium contenu dans les saumures : Cas du salar de Hombre Muerto (Argentine).
6. GeoRessources partenaire du European Lithium Institute, un projet de la Kic Raw Materials regroupant les centres de recherche européens qui travaillent sur la chaîne de valeur complète des technologies basées sur le Li, incluant les batteries Li-ion et leur recyclage.

<http://lights.univ-lorraine.fr>

<https://ressources21.univ-lorraine.fr/content/research-projects>



LA FILIÈRE HYDROGÈNE

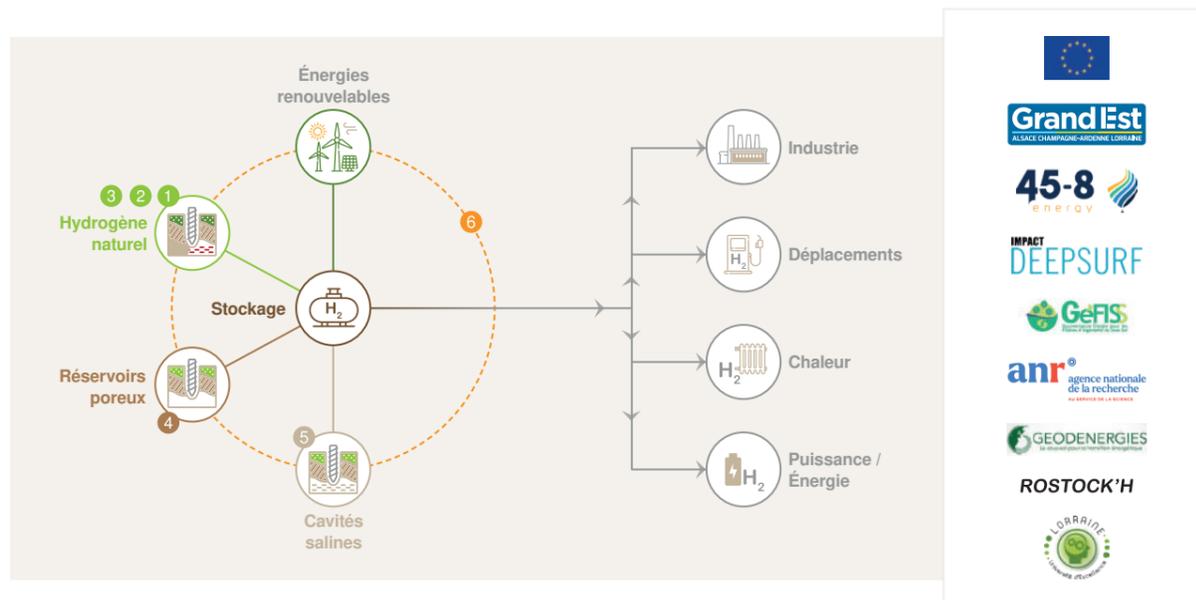
VERS UNE FILIÈRE HYDROGÈNE DÉCARBONÉE COMPÉTITIVE

/////

La demande croissante d'énergie décarbonée a suscité un intérêt sans précédent pour l'hydrogène, soit en tant que vecteur énergétique produit par électrolyse de l'eau en vue d'un stockage géologique permettant de répondre à la production intermittente des énergies renouvelables, soit pour l'hydrogène natif et la valorisation de cette ressource naturellement décarbonée.

Les axes de recherche portés par GeoRessources concernent :

- // Les conditions de stockage (comportement thermo-hydro-mécanique) et de migration du gaz en parois
- // Le développement d'équipements et de méthodes de surveillance adaptés (capteur H₂ in situ, méthode de monitoring)
- // Le développement de modèles numériques multi-échelles
- // L'intégration de ces projets dans le territoire et une réflexion sur les dispositifs de gouvernance associés
- // Le comportement thermodynamique de l'H₂ en subsurface
- // Les interactions fluides-roches susceptibles de générer de l'H₂ et ses interactions avec le milieu environnant (roches, équipements de puits)
- // Le rôle et les impacts des microorganismes sur le devenir de l'H₂



- 1 Projet Hy-O-T (AMI Économie Numérique - Grand Est / Feder) visant à développer des capteurs robustes et compacts capables de mesurer dans le sous-sol les flux d'hydrogène naturel et de transmettre les données en temps réel - 45-8 Énergie, GeoRessources, Solexperts, Institut Lafayette.
- 2 Projet Geo-Li-H portant sur l'exploration et l'exploitation conjointe de l'hydrogène et du lithium des ressources géothermiques - Contrat doctoral Loris Piolat.
- 3 Contrat spécifique H₂ - 45-8 Energy, GeoRessources, Solexperts, Institut Lafayette.
- 4 Cofinancement Région Grand Est - Impact des bactéries hydrogénéotrophes sur le stockage d'H₂ en réservoirs poreux - Thèse F. Al Sahyouni.
- 5 Projet ROSTOCK-H (Risques et Opportunités du STOCKage géologique d'Hydrogène en cavités salines en France et en Europe, financé sur la période 2016-2021 dans le cadre du GIS liquide (porteur industriel), Armines/Mines Paris Tech, INERIS, Geostock, LCPME et Interpsy.
- 6 Projet GeFiss (financement Géodénergies) visant à étudier et améliorer les dispositifs de gouvernance dans le domaine de l'ingénierie du sous-sol (dont les projets autour de l'H₂).

LA FILIÈRE GÉOTHERMIE

La géothermie de haute température électrogène est un axe de recherche développé à GeoRessources depuis environ dix ans. Après des travaux conduits sur les réservoirs de socle dans le fossé Rhénan ou en Ouganda, GeoRessources développe une nouvelle thématique sur ce type de réservoir en contexte volcanique avec deux chantiers supportés par deux grands programmes de recherche.

LE PREMIER CHANTIER en Guadeloupe dans le cadre du consortium GEOTREF

/////



Ce projet regroupe différentes universités nationales et des industriels dans le cadre d'un programme financé par le PIA et piloté par l'ADEME.

LE SECOND CHANTIER en Afrique de l'Est dans le cadre du programme "Geothermal Village"

/////



Ce projet, porté par GeoRessources, est financé conjointement par l'Union Européenne et l'Union Africaine (LEAP-RE : Long-Term joint EU-AU research and innovation partnership on renewable energy). Les partenaires africains sont la République de Djibouti, le Rwanda, le Kenya, l'Éthiopie et les partenaires européens sont la France, l'Italie, la Norvège, l'Allemagne. L'objectif de ce programme est de développer, pour des usages locaux, des réseaux autonomes de production d'énergie, électrique et thermique, pour des zones non connectées aux grands réseaux de distribution d'énergie.



Dans le cadre de ces deux programmes, les ressources naturelles associées de types H₂, He, Li sont également recherchées.

La démarche proposée est intégrative 3G (Géologie, Géophysique et Géochimie) et s'appuie en partie sur les résultats du programme Donuts (Développement d'Outils Numériques d'intégration et de Traitement des Signaux géophysiques pour les réservoirs). Une des étapes de la démarche comprend l'identification d'analogues et leurs caractérisations géophysique, pétrologique et pétrophysique afin de réaliser des modèles 3D de circulation de fluides.



© R. Pik /// Les cheminées (résurgences hydrothermales) du Lac Ahbé - République de Djibouti, mission LEAP-RE novembre 2021

Cette année, une sonde a été introduite dans le forage à 800 mètres de profondeur : **une première mondiale !**
Ce dispositif, couplé à des capteurs et des préleveurs, permet de mesurer et d'analyser en continu les gaz présents à plusieurs profondeurs (de 0 à -1000 m), notamment dans les veines de charbon.

LE GAZ DE CHARBON, UNE SOLUTION POUR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE ?

UN ENJEU

Dans le contexte actuel de la transition énergétique, le gaz naturel a été classé par l'Union Européenne comme énergie de transition vers une société neutre en carbone. Le gaz de charbon constitue une piste pour remplacer le gaz d'importation ou initier la révolution « hydrogène ». Le rôle des chercheurs consiste à évaluer ces pistes et à en dessiner peut-être d'autres...

Initié par la région Lorraine en 2012, financé par l'Union Européenne (FEDER), l'État (Pacte Lorraine) et la région Grand Est, Regalor est un projet de recherche scientifique porté par GeoRessources en partenariat avec la Française de l'Énergie et les chercheurs des laboratoires d'histoire (CRULH), de géographie (LOTERR), de psychologie sociale (PErSEUs), et de l'IUT de Saint-Avold.

L'EXPLOITATION DU GAZ DE CHARBON LORRAIN À L'ÉTUDE

//////



Les ressources en charbon du sous-sol lorrain sont inexploitées depuis la fermeture de la mine de La Houve en 2004. Néanmoins, les fractures naturellement présentes dans les veines de charbon contiennent aussi des ressources significatives de gaz naturel : le gaz de charbon ou coal bed methane (CBM).

L'expertise des chercheurs permet de juger de la faisabilité d'une exploitation de gaz de charbon en Lorraine et de se prononcer, à la fin du projet, sur son impact du point de vue géologique, environnemental, économique et social. Les conclusions de ce projet feront la part entre les quantités de gaz enfouies sous nos pieds (ressources) et celles exploitables (réserves) et contribueront à une meilleure compréhension du bassin houiller.

Situé sur la commune de Folschviller en Moselle, un site de forage, non-exploité depuis 2013, a été réhabilité fin 2019 afin d'y déployer des systèmes de mesure et de surveillance environnementaux du sous-sol, du sol et de l'atmosphère. Mis à disposition de la communauté scientifique par le partenaire industriel, la Française de l'Énergie, il permet aux équipes de recherche d'acquies des données géochimiques nouvelles, d'avoir accès à des bases de données sismiques, pétrophysiques ainsi qu'à des forages carottés.



© Laëtitia Vançon // Échantillon de charbon

- Reconstitution de l'histoire d'enfouissement et de la paléo-thermicité du bassin houiller lorrain : contribution à l'estimation de la distribution des ressources en gaz // Évaluation de la sismicité induite par une exploitation afin d'évaluer les risques grâce à la modélisation numérique géo-mécanique 3D des zones concernées
- Organisation structurale aux différentes échelles d'un bassin intra-montagneux : application au bassin lorrain // Revue bibliographique comparative des conséquences socio-économiques et territoriales d'une exploitation de gaz non-conventionnel
- Étude expérimentale des échanges gazeux dans le charbon dans le contexte d'injection de CO₂ et de récupération assistée de CH₄ // Comparaison des expériences de ré-industrialisation / reconversion industrielle de la Lorraine du fer et de la Lorraine du charbon (1963-2018)
- Modélisation hydromécanique multi échelle de la récupération du gaz de charbon // Étude des représentations de différents groupes sociaux quant à l'exploitation des ressources gazières de Lorraine

DIFFÉRENTS SUJETS

LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE DU SOUS-SOL À L'ATMOSPHÈRE

//////

Le projet DEEPSURF a pour but d'étudier et de mieux comprendre les échanges de chaleur, d'eau, d'hydrocarbures, de composés dissous et gazeux entre les différents compartiments que sont le sous-sol, le proche sous-sol, le sol, la biosphère et l'atmosphère. De plus, l'impact des risques sur l'écosystème et la perception de la société vis-à-vis de l'exploitation des ressources doivent être mieux compris et font partie intégrante de DEEPSURF. L'ambition du projet est de combiner d'une part la surveillance de la géosphère, de la biosphère et de l'atmosphère, et d'autre part la modélisation des incertitudes et des risques associés à l'utilisation du sous-sol, du sol et de la biosphère, en incluant en particulier les mécanismes de compensation et de remédiation.

Le projet DEEPSURF s'intéresse donc aux implications de la biosphère, du sol et du sous-sol dans les transitions énergétique et écologique. Cela englobe par exemple l'utilisation de biomasse à des fins énergétiques, le stockage géologique de gaz, d'énergie ou de déchets nucléaires, ou l'exploitation de ressources fossiles à faible empreinte carbone.

DEEPSURF est un projet de recherche pluridisciplinaire et interdisciplinaire qui regroupe des acteurs académiques et industriels dans les domaines des géosciences, des sciences du sol, des sciences forestières, de la biologie, des mathématiques, de l'économie, de la géographie, de l'histoire, de la psychologie sociale et du droit public.

L'essence même du projet DEEPSURF est d'allier des recherches appliquées sur de nouvelles solutions pour la transition énergétique et l'atténuation du changement climatique (i.e. optimisation de la production de biomasse énergétique sur des friches industrielles, potentiel des puits de gaz à effet de serre des sols et forêts, évaluation des modalités hydrogéomécaniques et des risques du stockage géologique, etc.) avec des études sur la gestion durable des ressources naturelles (forêt, sous-sol, sol, ressources géologiques, etc.) et les services écosystémiques. De plus, par le développement de nouvelles technologies de capteurs biogéochimiques, le projet s'insère dans la chaîne de valeur des matériaux. Mais ces transitions technologiques n'ont pas d'avenir si elles sont déconnectées des territoires, c'est pourquoi DEEPSURF s'est engagé à accompagner, comprendre, et relativiser les transitions sociétales en fonction des contextes géographiques, historiques et socio-économiques. La transcription des transitions dans le droit public ou privé, national ou européen est une condition *sine qua non*.

IMPACT
DEEPSURF

DEEPSURF



Ce projet de recherche a été initié dans le cadre de l'I-SITE Lorraine Université d'Excellence (LUE)

Le projet DEEPSURF, piloté par GeoRessources, mobilise onze laboratoires lorrains dans des domaines scientifiques divers ainsi que de nombreux partenaires académiques et industriels, publics et privés qui sont des acteurs territoriaux importants. La dynamique DEEPSURF conduit à poursuivre des co-financements de projets par les partenaires, ce qui participe largement à l'effet levier recherché. Trois axes du programme sont dédiés aux activités de recherche :

// Nouvelles approches pour la transition énergétique (Biomasse énergétique, Ressources souterraines à faible empreinte carbone, Stockage géologique)

// Interactions profond – surface (Nouveaux outils de monitoring et de surveillance, Acquisition et gestion de base de données, Modélisation et approches mathématiques, Démonstrateurs)

// Risques et intégration territoriale (Risques accidentels et chroniques, Trajectoire socio-économique et historique des territoires, Aspects juridiques, Psychologie des populations)

UN PROJET QUI RASSEMBLE

CHIFFRES CLEFS

14 // Doctorants
8 // Post-doctorants
12 // Stagiaires
3,5 // M€ de budget
100 // Personnes impliquées (env.)
2 // Sites pilotes



© Jacques Pironon // Tour à flux de l'INRAe dans la forêt de Montiers-sur-Saulx

LES MÉTAUX STRATÉGIQUES

LIGHTS

LABEX R21

//////

Depuis sa création en 2011, le LabEx RESSOURCES21 consacre ses activités à l'étude des cycles géochimiques (concentration naturelle), anthropiques (exploitation, séparation) et environnementaux (impacts), des métaux stratégiques du 21^{ème} siècle.

Une nouvelle phase du LabEX a débuté en 2020 avec le renouvellement de son financement par l'ANR pour une durée de quatre ans.

La seconde phase du LabEX a pour objectif de renforcer ses activités sur le cycle géochimique des métaux en se focalisant plus précisément sur deux nouvelles cibles : le lithium et la potentielle activité minière en Guyane française. Pour cette nouvelle période, le LabEX a intégré le laboratoire Beta et des équipes du LRGP et de l'IJL. Le LabEX renforce également ses activités sur l'intégration territoriale et souhaite développer une expertise sur l'économie durable des ressources. Depuis le début de la phase 2 du LabEX, 17 thèses, 14 postdocs, 1 ingénieur de recherche et 35 stages de niveau Master ont été financés ainsi que 26 000 euros d'équipements et 29 050 euros d'accompagnement à la formation.



THÉMATIQUES DE RECHERCHE

LE LITHIUM

- Géo-économie du lithium //
- Phénomènes concentrateurs dans les gisements lithinifères //
- Traitement des minerais granitiques et des spodumènes //
- Traitement des saumures //
- Recyclage des batteries lithium-ion //
- Ecotoxicité du lithium //
- Développement d'outils d'analyses des minerais et de caractérisation des gisements //

L'ACTIVITÉ MINIÈRE EN GUYANE FRANÇAISE

- Phénomènes de minéralisation des gisements aurifères //
- Analyse de risques multidisciplinaire de la filière minière pour la planification territoriale //
- Plantes hyper accumulatrices de l'or et agronomie //

LABEX R21



Ce projet de recherche a été initié dans le cadre de l'I-SITE Lorraine Université d'Excellence (LUE)

LA PROSPECTION DE LITHIUM DE SURFACE ÉVOLUE

////// Lights

Après une prolongation de quelques mois et son symposium final à Freiberg le 15 novembre 2021, Lights a éteint ses lumières en décembre dernier.

De cette collaboration européenne issue d'ERAMIN, GeoRessources en interne a créé une courbe de calibration pour la détection du lithium avec les outils portables LIBS ainsi qu'une base de données spectrales, toutes deux accessibles gratuitement en ligne pour une diffusion et utilisation étendues.

Ces résultats permettent entre autres pour le laboratoire d'entamer le programme «granite de Beauvoir» avec Imerys sur de bonnes bases technico-scientifiques.

Le projet LIGHTS (Lightweight Integrated Ground and Airborne Hyperspectral Topological Solution) se fonde sur un nouveau type d'exploration par voie aéroportée en utilisant la signature spectrale spécifique des minéraux et spécifiquement du lithium dans ce cas.

Il vise à évaluer le potentiel des affleurements en scannant un espace défini grâce à un spectromètre infrarouge monté sur drone, puis en affinant au sol en vérifiant les données aéroportées à l'aide de deux spectromètres portatifs : un similaire à celui du drone et un LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy). Au départ "orienté" par des données satellitaires, le processus de recherche est contraint par les informations géologiques et piloté par intelligence artificielle qui permet d'indiquer les endroits les plus propices à vérifier.



© R. Schmitt /// Spectromètre infrarouge monté sur drone

Le positionnement de ces points au sol découle des cartes prédictives obtenues en temps réel par intelligence artificielle. Cette chaîne de vérification de la cible minéralisée, effectuée avant de décider des forages, permet d'en réduire le nombre, pour un gain environnemental et économique.

Le projet LIGHTS est un projet européen ERAMIN regroupant sept partenaires : • Beak Consultants GmbH (Allemagne) - Entreprise de service aux compagnies minières • Universidade do Porto (Portugal) – Dept. de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território • GeoForschungsZentrum (Allemagne)- Centre de recherches • Université Claude Bernard de Lyon (France) – Laboratoire de Géologie de Lyon • Université de Lorraine (Project Leader) (France) – Laboratoire GeoRessources • FELMICA (Portugal) - Compagnie minière (céramiques) • CPRM (Brésil) - Service Géologique du Brésil.

Plus d'informations sur : <http://lights.univ-lorraine.fr/>

NEXT

POUR S'Y RETROUVER DANS LA "JUNGLE EUROPÉENNE"



UN ENJEU

CORDIS est la principale source de résultats de la Commission européenne des projets financés par les programmes cadres de l'UE pour la recherche et l'innovation. Or leur nombre est si important qu'il est difficile de s'y retrouver.

NEW EXPLORATION TECHNOLOGY



Pour explorer les synergies et pouvoir mener une réflexion stratégique dans la jungle des projets européens, un nouveau module de datamining est désormais disponible pour cette base CORDIS. Créé dans le cadre du projet H2020 NExT, il résulte d'un travail collaboratif entre des chercheurs de GeoRessources, OSU OTELo (CNRS), la Délégation d'Ingénierie de Projets (Université de Lorraine) et l'équipe CORDIS de l'European Office Publication.

P2Co est une nouvelle application qui apporte une valeur ajoutée significative et un contenu d'information aux utilisateurs du portail CORDIS. Grâce à ce nouvel outil de cartographie, ou plutôt de nouveaux moyens, ce nouveau service permet de cartographier les organisations et des projets de recherche soutenus par la Commission européenne depuis 1994.

Le P2Co est un logiciel écrit en JavaScript (côté client) et en PHP (côté serveur) et intégré dans le Datalab existant développé par CORDIS.



L'APPLICATION P2CO

UN OUTIL

L'application est en production depuis le 15 septembre 2021.

Retrouvez l'application sur :
<https://cordis.europa.eu/datalab/datalab.php?lv=fr>

THYMO

RECYCLER LES TÉLÉPHONES USAGÉS

ÉTAPES



- // Fragmentation sélective des cartes électroniques et séparation physique métaux/plastiques - GeoRessources, TJFU
- // Lixiviation chimique ou électrochimique (en fonction de la composition des fractions produites à l'étape 1) en privilégiant des réactifs respectueux de l'environnement - IJL, GeoRessources
- // Purification des lixiviats par précipitation sélective des éléments indésirables (Al^{3+} , Fe^{3+} , Pb^{2+}) au moyen de l'acide phytique, réactif bio-sourcé - IJL et LRGP
- // Récupération des métaux lixiviés avec notamment l'électrolyse du cuivre - IJL
- // Récupération de l'antimoine à partir des plastiques issus de la séparation physique par un traitement thermique à des températures comprises entre 200 et 500 °C - GeoRessources - notamment l'électrolyse du cuivre - IJL

Le projet de recherche THYMO (Traitement hydrométallurgique de cartes électroniques de téléphones mobiles) a pour objectif de mettre au point un procédé de traitement et de récupération des métaux contenus dans les cartes électroniques des mobiles. Porté par l'Institut Jean Lamour et financé par l'Institut Carnot ICÉEL, il associe les compétences des laboratoires GeoRessources, Réactions et Génie des Procédés (LRGP) et du CRITT Techniques Jet Fluide et Usinage (TJFU). Ce projet, d'une durée de trois ans devrait aboutir à l'installation d'une usine de traitement dans la Région Grand Est.

Plus d'informations sur le site de l'Institut Carnot ICÉEL :
<http://iceel.eu/THYMO/>

GOSST

COMPRENDRE ET TRACER LES GISEMENTS AURIFÈRES



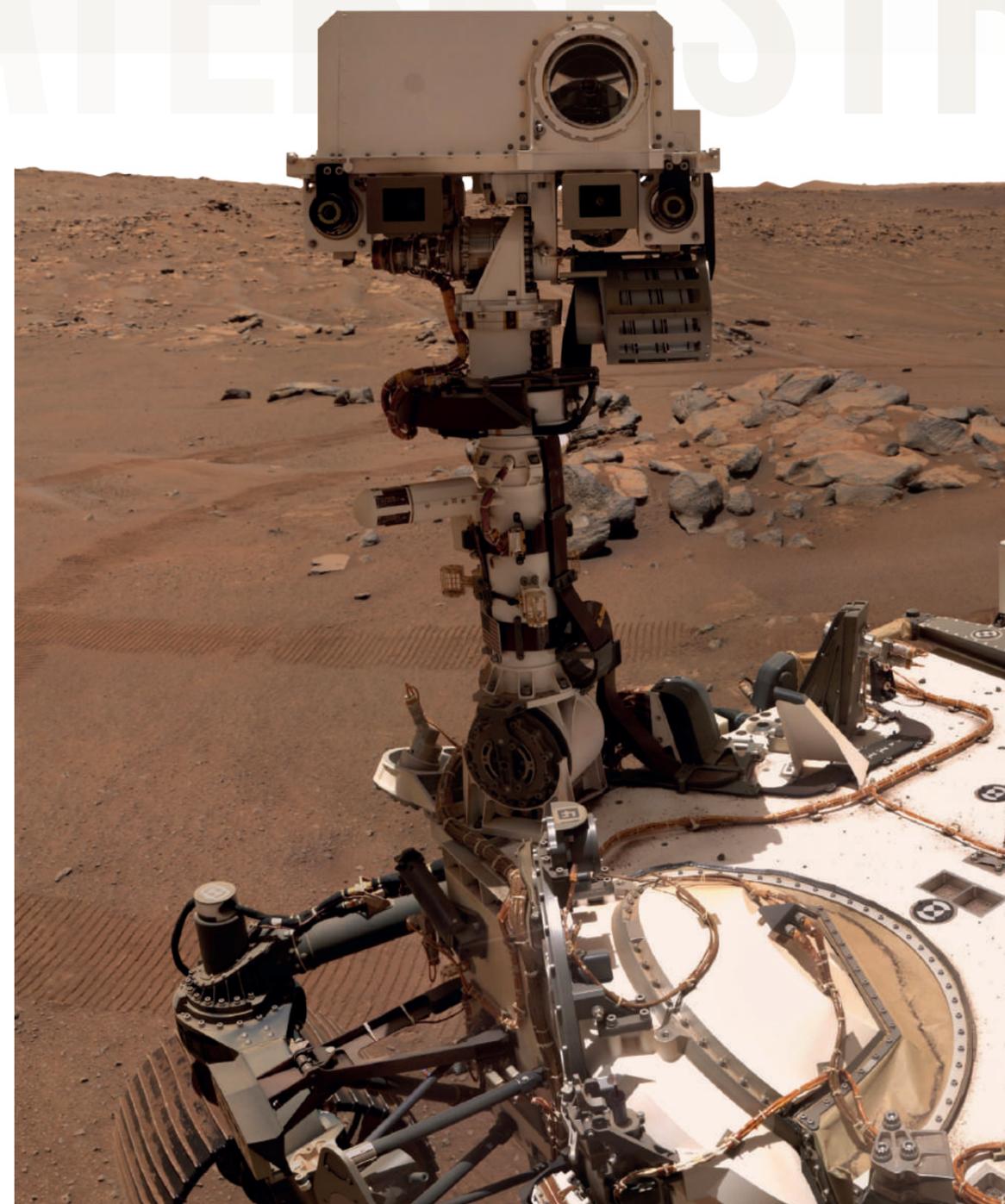
Ce projet de recherche interCARNOT, réunissant le laboratoire GeoRessources et le BRGM, vise à soutenir la caractérisation des gisements aurifères, et plus particulièrement la compréhension de la (re-)mobilisation et la précipitation de l'or et des éléments traces associés. L'analyse multi-élémentaire par LA-ICP-MS des sulfures porteurs d'or permet de préciser les différents événements minéralisateurs et de quantifier les métaux associés. Cette technique nécessite toutefois l'utilisation de standard de calibration de même matrice. Le but est donc de développer des standards à matrice sulfurée dopée en or et en éléments métalliques pour le LA-ICP-MS.



GEORESSOURCES SUR MARS AVEC PERSEVERANCE !

Perseverance est un rover dont la mission est d'explorer la planète Mars pour le compte de la NASA. Après Curiosity, GeoRessources est à nouveau impliqué dans cette mission martienne via l'aventure de l'outil SuperCam, un instrument composé d'un laser et de trois spectromètres, d'une micro-caméra et d'un microphone, pour l'analyse de la composition chimique et minéralogique des roches (collaboration franco-hispano-américaine). En effet, Cécile Fabre, enseignante-chercheuse de GeoRessources, a réalisé des «cibles de calibration», petites pastilles de silicates dopés en éléments traces, actuellement en place sur le rover, et qui servent à contrôler régulièrement les analyses LIBS, Raman et VNIR.

Après un atterrissage sur Mars, vécu en direct, le 18 février 2021, le rover Perseverance a poursuivi ses investigations et a confirmé l'intérêt de son site d'atterrissage : le cratère Jezero a bien abrité un lac, alimenté par une rivière via un delta, il y a 3,6 milliards d'années. Supercam a ainsi permis d'analyser les minéraux présents dans des strates qui présentaient de gros blocs rocheux et qui sont liés à un changement drastique de régime hydrologique de l'ancien lac. Dirigés par Nicolas Mangold, directeur de recherche au CNRS, ces travaux aideront à choisir les meilleures zones d'étude pour l'échantillonnage de roches qui seront prélevés par Perseverance. Ces petites carottes de roches devraient être renvoyées sur Terre à l'horizon 2030.



“Bonjour de Mars, où, comme d'habitude, il fait poussiéreux, froid et étrangement serein ”

Tweet du 10 décembre 2020 de Nasa'Perseverance Mars Rover

LES SOUTENANCES DE THÈSES

12
// 02 **Aurélien RANDI**
"Modélisation expérimentale de l'injection de solutions enrichies en CO₂ dans un doublet géothermique. Étude des impacts géochimiques en proche puits"
// DIRECTION : Jérôme Sterpenich et Jacques Pironon

23
// 03 **Melchior SCHUH-SENIS**
"Using Stokes flow equations for the geomechanical restoration of geological structural models"
// DIRECTION : Guillaume Caumon et Paul Cupillard

18
// 06 **Julien PERRET**
"Répartition spatio-temporelle du système métallogénique de l'or panafricain au sein du bouclier arabo-nubien : étude multi-scalaire le long de la suture de Keraf (Soudan)"
// DIRECTION : Anne-Sylvie André-Mayer, Aurélien Eglinger et Julien Feneysel

25
// 06 **Corentin GOUACHE**
"Générateur stochastique de séismes en contexte de sismicité faible à modérée : des données à l'aléa. Cas de la France métropolitaine"
// DIRECTION : Jean-Marc Montel, François Bonneau et Pierre Tinard

29
// 06 **Dalija NAMJESNIK**
"Origin of seismicity related to a flooded abandoned coal mining district at Gardanne, Provence, France"
// DIRECTION : Yann Gunzburger et Jannes Kinscher

08
// 07 **Jade DUTILLEUL**
"Étude pétrophysique et hydrogéologique des sédiments entrant dans les zones de subduction"
// DIRECTION : Yves Géraud et Sylvain Bourlange

12
// 07 **Hilaire DAKOURE**
"Le camp aurifère de Yaramoko : exemple de système faille-valve et marqueur de l'évolution crustale de ceinture de Houndé, Burkina Faso"
// DIRECTION : Anne-Sylvie André-Mayer, Seta Naba et Aurélien Eglinger

13
// 10 **Yves FRANTZ**
"Simulation stochastique des réseaux karstiques"
// DIRECTION : Pauline Collon

Kou DU
"Micromechanical Modeling of Geomaterials by Considering the Microstructural and Matrix Anisotropies"
// DIRECTION : Albert Giraud et Long Cheng

Farah AL SAHYOUNI
"Impact Thermo-Hydro-Bio-Chemio-Mécanique du stockage géologique de l'hydrogène"
// DIRECTION : Fabrice Golfier et Dragan Grgic

Didi ADISAPUTRO
"Metrology and Monitoring of the gases transfer process within the system of Biosphere and Geosphere"
// DIRECTION : Philippe de Donato et Laurent Saint-André

Florence PEGUIRON
Modélisations physique et numérique de la zone endommagée autour de galeries croisées dans l'argile de Boom
// DIRECTION : Albert Giraud et Vincent Labiouse

Élodie LACROIX
"Développements métrologiques de spectroscopies moléculaires Raman et infrarouge : application à la détection continue des fuites potentielles d'hydrogène (H₂) à l'aplomb des sites de stockage souterrain"
// DIRECTION : Philippe de Donato et Stéphane Lafortune

LES HABILITATIONS À DIRIGER LES RECHERCHES

Julien MERCADIER
"L'analyse in-situ haute résolution par LA-ICP-MS et microsonde ionique en métallogénie"

Isabella PIGNATELLI
"Étude multi-techniques des minéraux terrestres et extraterrestres"

Cédric CARPENTIER
"Les systèmes carbonatés : de la stratigraphie à la diagenèse"

UNE PUBLIMÉTRIE OPTIMISÉE

UNE ÉTROITE COLLABORATION AVEC L'INIST – CNRS



Grâce à une étroite collaboration engagée avec l'INIST – CNRS (Institut National de l'Information Scientifique et Technique) depuis plusieurs années, GeoRessources dispose d'analyses bibliométriques fiables, permettant de produire un bilan exhaustif de la production scientifique.

Pour plus de détails sur les publications de GeoRessources de 2016 à 2020, consulter l'instance Lodex « UMR GeoRessources (GR) » à l'adresse suivante :

<https://insugr-lodex111641.dboard.inist.fr/>

Nom d'utilisateur : `georessources`

Mot de passe : `publications@gr`

UN FORT TAUX DE PUBLICATIONS

157 publications // en 2020

66% publications // internationales

20% publications // co-publiées avec des laboratoires OTELO

UN OUTIL DE PILOTAGE PRÉCIEUX

“Le travail réalisé en collaboration avec les collègues de l'Inist fournit à GeoRessources un outil d'analyse et de visualisation des publications scientifiques du laboratoire. La force de l'outil Lodex est d'être un outil pérenne, consolidé par des professionnels de l'information scientifique, de permettre une communication sereine et exhaustive sur nos activités scientifiques et d'avoir un outil de pilotage scientifique efficace et “clef en main”, à la fois pour la direction mais également pour tous les acteurs de GeoRessources.”

Anne-Sylvie André-Mayer – Directrice de GeoRessources

TÉMOIGNAGE

LES CONGRÈS

du 28
// 06
au 02
// 07

CONFÉRENCE INTERNATIONALE E-CROFI 2021

European current research on fluid and melt inclusions

Grâce à une organisation de GeoRessources en partenariat avec University of Iceland de Reykjavik, Università degli Studi de Turin et Eötvös Loránd University de Budapest et le CRPG, 180 inscrits à distance et venus du monde entier ont échangé sur l'avancée des recherches sur ces microcavités dans les minéraux qui ont piégé des magmas, des liquides, des solides ou des gaz il y a des millions d'années. Des informations précieuses qui renseignent les chercheurs sur les conditions de formation des minéraux et qui les aident à mieux comprendre le fonctionnement de notre planète.

À cette occasion deux prix ont été remis à des jeunes chercheurs pour la qualité de leurs interventions.

<http://e-crofi2021.univ-lorraine.fr/>

le 01
// 07

WORKSHOP INTERNATIONAL UNDERGROUND HYDROGEN STORAGE

Ce séminaire, consacré au stockage géologique de l'hydrogène, était organisé par les partenaires du projet de recherche ROSTOCK-H, en collaboration avec Géodénergies et l'ENSG (Nancy). Les principaux résultats du projet ROSTOCK-H et le retour d'expérience des installations en exploitation et en projet dans le monde ont été présentés. Ce fut l'occasion de nombreux échanges sur l'état actuel de la technologie et des besoins de recherche pour le développement du stockage souterrain de l'hydrogène en cavités salines, mais aussi des solutions alternatives possibles telles que le stockage en aquifère, dans les réservoirs déplétés ou en cavités minées.

du 06
// 09
au 10
// 09

CONGRÈS INTERNATIONAL RING MEETING

Le rendez-vous annuel concernant la géologie numérique et intégrative, organisé par l'équipe RING de GeoRessources. Un moment privilégié d'échanges entre étudiants, chercheurs et membres du consortium Ring composé de nombreux industriels et académiques internationaux.

<https://2022ringmeeting.event.univ-lorraine.fr/>

du 06
// 09
au 10
// 09

CONFÉRENCE INTERNATIONALE DEEPSURF

La DEEPSURF Conference est un congrès international sur les usages du sol et du sous-sol pour la transition énergétique et écologique. Les thèmes abordés furent le stockage de carbone dans les écosystèmes, les stockages géologiques, la production de biomasse en forêt et friches industrielles, les transferts de matière et de chaleur entre les compartiments géologiques profonds et la surface (« zone critique »), la place de ressources fossiles à faible empreinte carbone.

À L'INTERNATIONAL

JÉRÉMIE GIRAUD,

Lauréat de la prestigieuse bourse de mobilité européenne
Actions Marie Sklodowska-Curie



Géophysicien de formation, apportant ses expériences industrielles et académiques, Jérémie Giraud vient renforcer l'équipe RING pour développer l'intégration géophysique pluridisciplinaire.

“Le projet de recherche que je porte s'intitule GeoMos (Development of a Method for the Exploration the Joint Geology-Geophysics Model-Space). Je travaille sur le développement de techniques de modélisation combinant la géophysique, la géologie, et la pétrophysique. L'objectif est de développer des algorithmes de modélisation pour retrouver les caractéristiques d'objets géologiques en profondeur tels un réservoir géothermique ou un système minier, ainsi que d'explorer l'ensemble des scénarios expliquant les données observées.”



SON PARCOURS



CLASSEMENT DE SHANGHAI

GEORESSOURCES, 13^e AU CLASSEMENT !
Le meilleur classement pour l'Université de Lorraine
grâce aux activités de recherche en Mine et Génie minéral



L'université de Lorraine maintient son rang en tête grâce à ses activités de recherche dans la catégorie Mining & Mineral Engineering.

Première des universités européennes, l'Université de Lorraine confirme sa place mondiale pour la thématique « Mine et génie minéral », axe de recherche majeur pour les chercheurs de GeoRessources.

Le classement de Shanghai est un classement des universités mondiales fondé sur des critères concernant les activités de recherche.

DISTINCTIONS

LA RECONNAISSANCE DES MEMBRES DU LABORATOIRE



Pedro Cesar PEREIRA GONÇALVES

// Prix IWWG 2021 "Waste Vision 2100"

Le prix IWWG 2021 a été décerné à Pedro Cesar Pereira Gonçalves pour son travail de master et de thèse "Recyclage des déchets de cartes de circuits imprimés : caractérisation non destructive et opérations de traitement mécanique" dirigé par Akira Otsuki.

Ottone SCAMMACCA

Prix Jeunes de la SIM - Société de l'Industrie Minière - //



Ce prix a été décerné à Ottone Scammacca pour la qualité et la pertinence de ses travaux en relation avec les industries minières. Ottone a soutenu sa thèse à GeoRessources intitulée "L'analyse des risques des projets miniers à l'échelle territoriale : développement d'un outil d'aide à la décision testé sur le cas de l'exploitation aurifère en Guyane française" en décembre 2020 sous la direction de Yann Gunzburger et Rasool Mehdizadeh.



Ndue KANARI

// Docteur Honoris Causa

L'Université Agricole de Tirana (République d'Albanie) a décerné le titre de Docteur Honoris Causa à Ndue Kanari, en reconnaissance de sa contribution exceptionnelle aux domaines de la métallurgie, des matériaux et des sciences environnementales, et en vertu de ses efforts incessants pour une coopération fructueuse entre l'Université Agricole de Tirana et l'Université de Lorraine.

Corentin GOUACHE

Prix des sciences du risque //



Mention spéciale attribuée par Risk Science Awards à Corentin Gouache pour sa thèse intitulée "Générateur stochastique de séismes en contexte de sismicité faible à modérée : des données à l'aléa. Cas de la France métropolitaine".

ON PARLE DE NOUS

07 ARTICLES OU DOSSIERS

Presse nationale

- // Mines & carrières // Industries et technologies // The Conversation
- // CNRS INSU // Les Echos // Bourse Direct

20 ARTICLES

Presse quotidienne régionale

- // Est Républicain // La Semaine // Républicain Lorrain
- // Les tablettes lorraines // Dernières Nouvelles d'Alsace

08 REPORTAGES

TV

- // France TV Grand Est // France 3 Lorraine // TV8 Moselle Est

04 PASSAGES

Radios

- // France Bleu Lorraine sud // France info // Radio Mélodie



CHIFFRES CLES

À LA RENCONTRE DU GRAND PUBLIC

JOURNÉES DU PATRIMOINE



DU GAZ DANS LE CHARBON

L'exposition « Du gaz dans le charbon », initiée dans le cadre du projet Regalor a été installée dans le hall de Mines Nancy. Des photos, des maquettes et des schémas permettent de découvrir l'histoire de la formation des gisements de charbon et des concentrations de gaz. Cette exposition fait aussi état des questions posées aux chercheurs sur les possibilités d'exploitation du gaz de charbon en Moselle, les techniques de mesure environnementale sur site, l'impact sur les habitants et sur l'environnement.

Visite virtuelle :

<https://regalor.univ-lorraine.fr/du-gaz-dans-le-charbon/>

LE JARDIN ÉPHÉMÈRE

Au Jardin éphémère installé place Stanislas, cette année, sur le thème de l'eau, Jacques Pironon, spécialiste des inclusions fluides a permis au grand public d'assister à une conférence intitulée : "L'histoire d'une goutte d'eau".

Découvrir les environnements marins récifaux du Bajocien il y a 170 millions d'années fut l'objet de la visite de la carrière d'Ottange-Rumelange au Luxembourg proposée par B. Lathuilière.

Plus proche, une visite exceptionnelle des collections de paléontologie de GeoRessources et du département Géosciences, proposée au grand public, a remporté un succès tel qu'il a fallu refuser des dizaines d'inscrits.

DU 8 MARS AU 30 NOVEMBRE 2022
À L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DE GÉOLOGIE

LES MINÉRAUX ONT DU TALENT

Après l'Estonie, l'exposition «Minerals got talent» s'est installée au musée des sciences Tietomaa d'Oulu en Finlande jusqu'au 30 septembre 2021. Cette exposition vise à présenter au grand public l'omniprésence des métaux dans la vie quotidienne, mais aussi à expliquer l'origine des métaux dans l'univers et leur présence sur terre. Ce projet européen financé par l'EIT Raw Materials est dirigé par l'UL et réalisé en collaboration avec l'université de TalTech en Estonie, University of Oulu en Finlande, FCT Universidade Nova de Lisboa au Portugal, le BRGM et le Czech Geological Survey en République Tchèque.

Visite virtuelle :

www.mineralsgotalent.eu/virtualTour/tour.html



EXPOSITION EN COURS

SCIENCE & YOU

Plus de 800 congressistes pour cet événement international de culture scientifique et technique, organisé par l'Université de Lorraine, à Metz. GeoRessources proposait une rencontre sur un thème sensible : "La science prise pour cible, une stratégie d'évitement pour les antis."

"INCLUSIONS"

L'exposition de photographies d'inclusions fluides continue de tourner. En 2021, elle a pu être visitée à la Bibliothèque universitaire de Longwy et à celle du campus Santé à Vandoeuvre-lès-Nancy.



FÊTE DE LA SCIENCE

GeoRessources était présent partout !

Au Village des sciences organisé par la Faculté des sciences et technologies, pour trois animations :

- // Testez vos connaissances en géologie lorraine
- // En immersion totale dans un tunnel, grâce à une simulation 3D (avec le POCES)
- // Du CO₂ dans l'océan : un problème ou une solution ?

À la mine du Val-de-fer de Neuves-Maisons, GeoRessources proposait des animations pour mieux comprendre la formation des gisements et l'avenir des galeries souterraines.

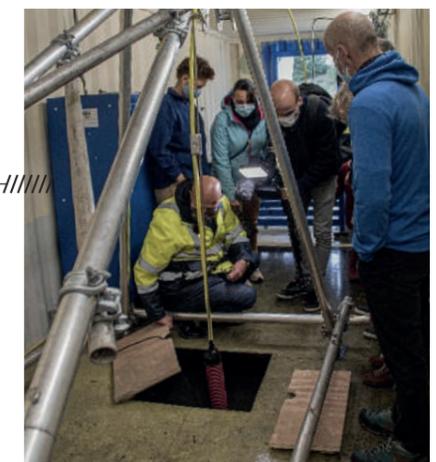
Lors des visites insolites organisées par le CNRS :

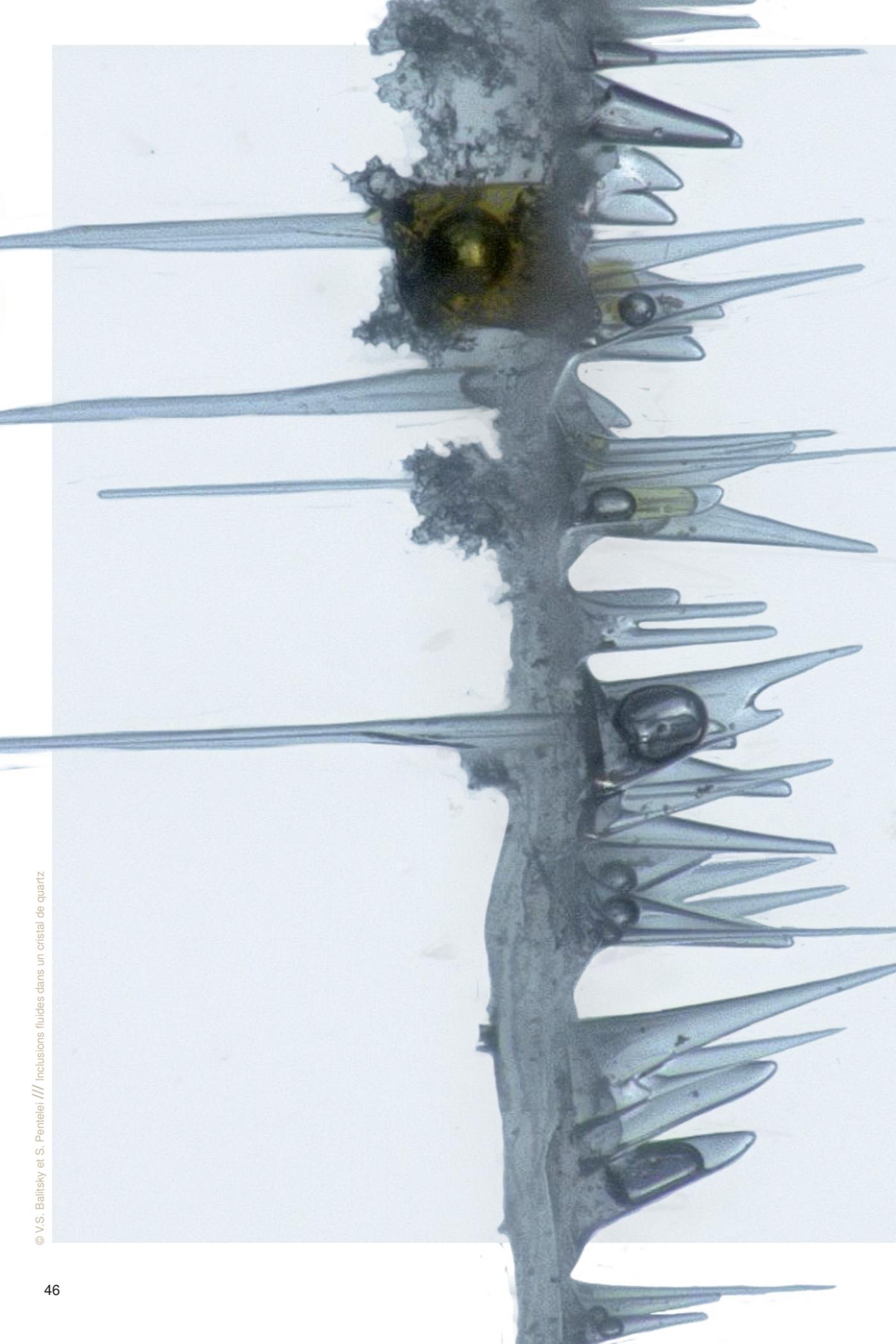
- // sur le site expérimental de mesures de gaz souterrain à Folschviller
- // sur le site de l'usine-pilote STEVAL

VISITES DU LABORATOIRE

Dans le cadre du 68^e congrès national des professeurs de physique et de chimie, accueilli à Nancy, GeoRessources a ouvert les portes des plateformes Steval, Expérimentation hydrothermale et Dimitri.

Opération Portes ouvertes du site de Folschviller en Moselle : deux journées pour comprendre les recherches menées autour de l'exploitation du gaz de charbon en Lorraine.





© V.S. Ballitsky et S. Pentelci // Inclusions fluides dans un cristal de quartz

LES DÉPARTS

Michel BUÈS

Chercheur au sein de l'équipe Hydrogéomécanique multi-échelles, Michel Buès enseignait en tant que //
Professeur à l'École Nationale Supérieure de Géologie. Ancien directeur de l'école doctorale RP2E, il a pris
une retraite bien méritée en août 2021.

Tom CAQUINEAU

Tom avait intégré GeoRessources en janvier 2019 en tant que Manager du projet DEEPSURF (LUE). //
En décembre 2021 il a rejoint la Région Grand Est pour s'intéresser à la filière bois.

Victoria FABERT

Victoria a été en charge de la prise de mesure et de l'interprétation des données acquises avec des outils //
spectroscopiques portatifs sur une carotte de forage envoyée pour étude par l'entreprise MATSA. Cette
étude, toujours en cours, se fait dans le cadre du projet NEXT et au sein de ce projet, sur la cible d'Elvira,
extension du gisement polymétallique de Sotiel-Migollas (ceinture pyriteuse ibérique).

Marie MOREL

Après avoir exercé la fonction de gestionnaire pour l'équipe Géomatériaux, ouvrages et risques, Marie a //
rejoint l'UFR Arts, Lettres et Langues de l'Université de Lorraine.

Luc SCHOLTÈS

Luc Scholtès a rejoint l'Université Clermont Auvergne et a intégré le laboratoire Magmas et Volcans. Luc faisait //
partie de l'équipe Hydrogéomécanique multi-échelles de GeoRessources et était Maître de conférences à
l'ENSG où il occupait également le poste de Directeur adjoint des relations internationales.

Sunil Kumar TRIPATHY

Sunil a achevé sa mission concernant l'évaluation du potentiel en Li et en métaux critiques des granites à //
métaux rares de Beauvoir et sur la gestion des résidus et des scories de traitement des minerais de fer. Il
a réintégré son poste de Principal Researcher dans Ferro Alloy Minerals Research Group chez TATA Steel
(India).

LES ARRIVÉES

Ahmad ABOUTAJ

Ahmed importe dans le projet LIGHTS les méthodologies développées dans le projet NEXT, notamment le //
code informatique, afin d'accroître le type de données obtenues sur les gisements de Lithium.

Rouba ALRAMMOUZ

Ingénieure et Docteure en électronique, Rouba est venue renforcer l'équipe Stockages géologiques et //
géothermie pour développer des capteurs de gaz (hélium, méthane, dioxyde de carbone) en partenariat
avec l'Institut Lafayette.

LES ARRIVÉES

Vincent BOS

// Géographe, spécialiste des questions minières et énergétiques en Amérique du sud, Vincent travaille sur les reconfigurations de la géoéconomie du lithium avec l'équipe Géomatériaux, ouvrages et risques.

Valentin CASOLA

// ATER au Département Géosciences, Valentin a soutenu sa thèse sur le thème « Manteau source et genèse des magmas permanents des carbonatites » (principaux gisements de REE sur Terre).

Narges DASHTBESH

// Narges est venue renforcer l'équipe HGM dans le cadre du projet QUASPER financé par l'ADEME. Elle travaille sur la modélisation de la dissolution des sources de pollution hydrocarbures (appelées NAPL) aux différentes échelles.

Alexiane FAVIER

// L'activité de recherche d'Alexiane porte sur l'étude pétrographique, minéralogique, géochimique et pétrophysique des faciès d'altération des formations volcaniques de l'île de St Kitts, Caraïbes. Ces travaux entrent dans le cadre de l'évaluation du potentiel géothermique de l'île.

Alexandra FERREIRA

// Alexandra a rejoint l'équipe Valorisation des ressources et des résidus en tant qu'ingénieure d'études pour s'impliquer dans le projet FINE FUTURE et travailler sur les aspects fondamentaux de la flottation des fines particules par couplage de la physico-chimie de surface et des effets hydrodynamiques.

Jérémie GIRAUD

// Jérémie Giraud a choisi GeoRessources pour développer un projet de recherche d'excellence au sein de l'équipe RING, le projet GeoMos, dont l'objectif est de développer des algorithmes de modélisation pour retrouver les caractéristiques d'objets géologiques en profondeur ainsi que d'explorer l'ensemble des scénarios expliquant les données observées.

Laura GAILLARD

// ATER Mines Nancy. Laura est l'auteur d'une thèse sur le recyclage de l'asphalte de nos routes. Elle accompagne l'équipe GOR dans le développement de l'instrumentation de la plateforme DIMITRI pour l'étude du comportement des massifs rocheux au moyen de la modélisation physique.

Romain HEMELSDAEL

// Romain effectue un post-doctorat dans le cadre de DEEPSURF, pour un travail sur un modèle structural 3D qui rendra compte des relations tectonique-sédimentation et fournira un cadre essentiel à la reconstruction de l'histoire thermique du bassin.

Zia Steven KAHOU

// Le projet sur lequel travaille Zia vise à évaluer la variabilité minéralogique et texturale du granite de Beauvoir. Ces données sont essentielles afin de développer une approche d'évaluation prédictive de la qualité des concentrés de métaux obtenus par flottation.

Nicolas LECOCCQ

// Technicien pour le projet Regalor, Nicolas travaille notamment sur les mesures (gaz) de terrain sur le site pilote de Folschviller.

Paul MARCHAL

Administrateur de bases de données dans le cadre de la chaire industrielle Université de Lorraine/Orano, Paul est en charge de l'intégration et de la valorisation de données géoscientifiques.

Guillaume MODESTE

Dans le cadre du projet Regalor et avec l'équipe Géomatériaux, ouvrages et risques, Guillaume effectue un post-doctorat sur l'évaluation des conséquences d'une éventuelle exploitation du gaz de charbon dans l'ancien bassin houiller lorrain, notamment en termes de mouvements de surface et d'activité sismique induite.

Abdessamad NAIT OUHRA

ATER à l'ENSG, Abdessamad a intégré l'équipe HydroGéomécanique Multi-échelles (HGM) de GeoRessources pour ses compétences en géotechnique et protection de l'environnement, stockage des déchets en surface et en profondeur, et processus de transfert en milieu poreux en géosciences.

Marion PARQUER

Aux côtés de Patrick Ledru et dans le cadre de la chaire industrielle Université de Lorraine/Orano, Marion travaille sur l'intégration de données du bassin de l'Athabasca et apprentissage automatique pour la caractérisation du système métallogénique de l'uranium de type discordance.

Aurélien REYS

Aurélien travaille sur l'analyse du risque social et des stratégies d'ancrage territorial de projets d'exploration et d'exploitation de ressources du sous-sol au sein de l'équipe Géomatériaux, ouvrages et risques.

Roberta RUBINO

Roberta effectue un post-doctorat sur les relations entre dynamiques territoriales et activités minières, avec un cas d'application aux projets d'extraction et de transport de la bauxite en Guinée. Roberta travaille en collaboration avec Mines Paris Tech et pour l'équipe Géomatériaux, ouvrages et risques.

Tristan ROUSSEAU

Tristan est venu travailler sur la plateforme de géochimie organique dans le cadre du projet ICÉEL Carnot sur la valorisation des déchets via la copyrolyse de bitumes et de plastiques (projet COPYRO)

Yoram TEITLER

La mission que Yoram effectue en tant qu'ingénieur de recherche porte sur la thématique : "Hétérogénéités et nature".

Bastien WALTER

Post-doctorant, Bastien occupe le poste de Manager du projet "Geothermal Village" du programme européen LEAP-RE, programme de développement des énergies renouvelables en dehors des grands réseaux de distribution. L'objectif de ce projet est de proposer des solutions géothermiques localisées et adaptées aux besoins, basées sur des analyses géologiques et socioéconomiques.

Luyu WANG

Luyu a rejoint l'équipe HGM et effectue son postdoctorat dans le cadre du projet européen EURAD. Il s'intéresse aux couplages hydromécaniques durant la migration de gaz dans des roches argileuses saturées et s'efforce de prendre en compte ces processus dans les modélisations à l'échelle du pore.

OBJECTIF : REGROUPER LES BÂTIMENTS ET LES ÉQUIPES



GEORESSOURCES À L'HEURE ACTUELLE

GeoRessources est un laboratoire multi-sites en lien avec les acteurs de la formation initiale de l'Université de Lorraine : Mines Nancy, Ecole Nationale Supérieure de Géologie et Département Géosciences.

ARTEM



AIGUILLETTES



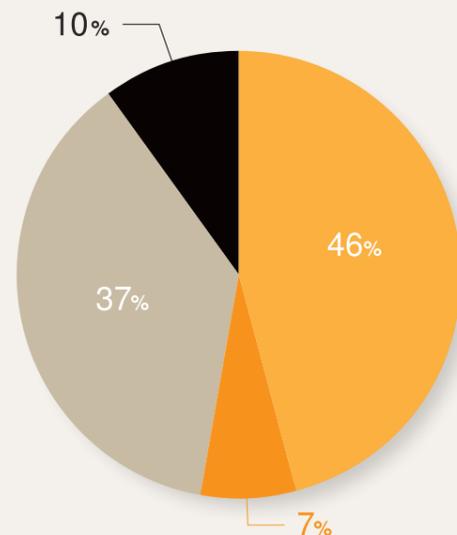
ROUBAULT

BRABOIS



RÉPARTITION DES SURFACES UTILES ENTRE LES SITES

Le laboratoire GeoRessources s'étend actuellement sur plus de **10 300 m²** de surfaces utiles.



- ARTEM
- Roubault
- Brabois-Ingénierie
- Aiguillettes

LABORATOIRE GEORESSOURCES

GEORESSOURCES DEMAIN

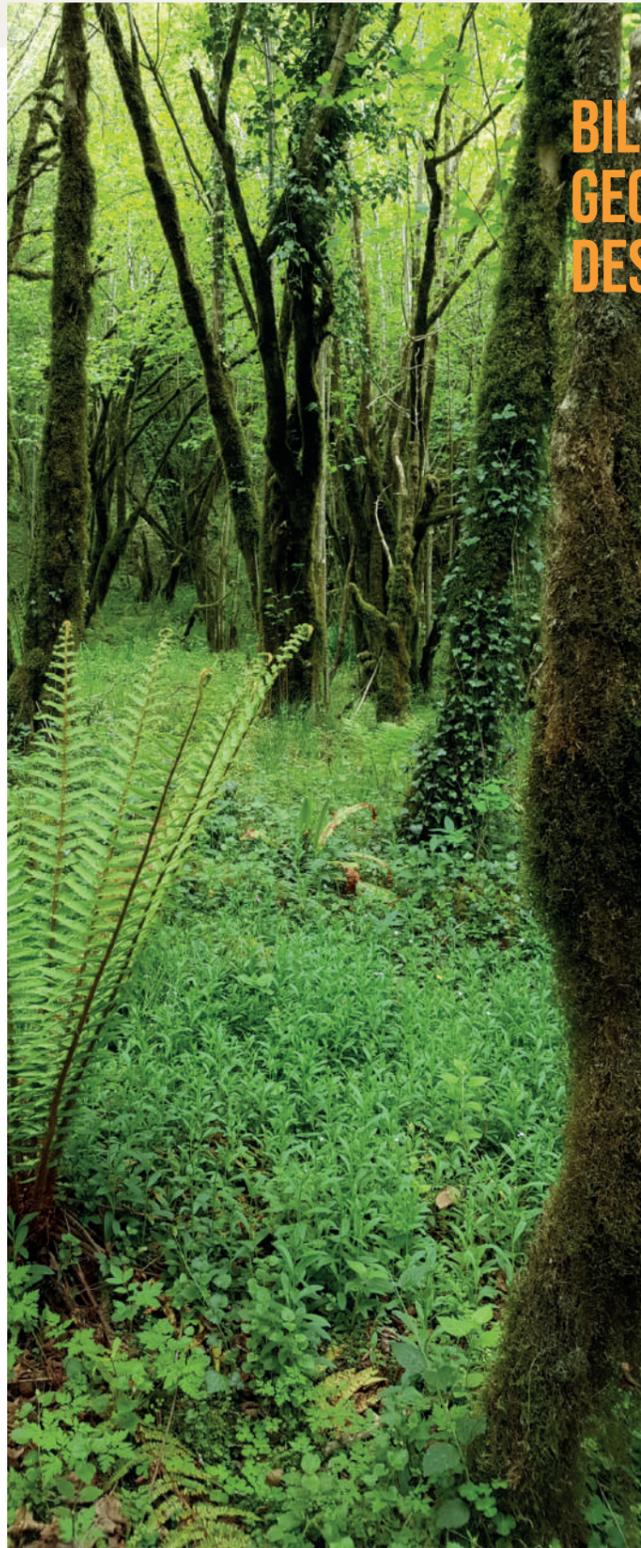


UN PROJET EN COURS

Le projet bâtiment, qui a mobilisé tous les acteurs du laboratoire en 2021, vise, au travers d'un regroupement sur le site Roubault-Brabois, à renforcer encore plus nos actions de recherche entre équipes du laboratoire mais également à optimiser la visibilité des acteurs en Géosciences de Nancy (CRPG, LIEC et LSE) déjà structurés dans un Observatoire Terre et Environnement de Lorraine (OTELo).



ENGAGÉS VERS L'ÉCORESPONSABILITÉ



BILAN CARBONE DE GEORESSOURCES : DES ÉMISSIONS RÉDUITES

Lors du Sommet des Nations unies sur le développement durable du 25 septembre 2015 à New York, 193 pays ont adopté un programme ambitieux pour un avenir plus durable à l'horizon 2030, articulé autour de 17 Objectifs de Développement Durable - ODD. La Conférence des Présidents d'Université et le CNRS accompagnent depuis plusieurs années l'engagement croissant des établissements d'enseignement supérieur et de recherche français dans l'appropriation de ces ODD.

Un groupe écoresponsabilité a ainsi été créé à OTELo en 2021 pour mettre en place, à l'échelle des laboratoires en Géosciences nancéiens - CRPG, GeoRessources, LIEC, LSE - une réflexion sur l'impact environnemental de nos activités.

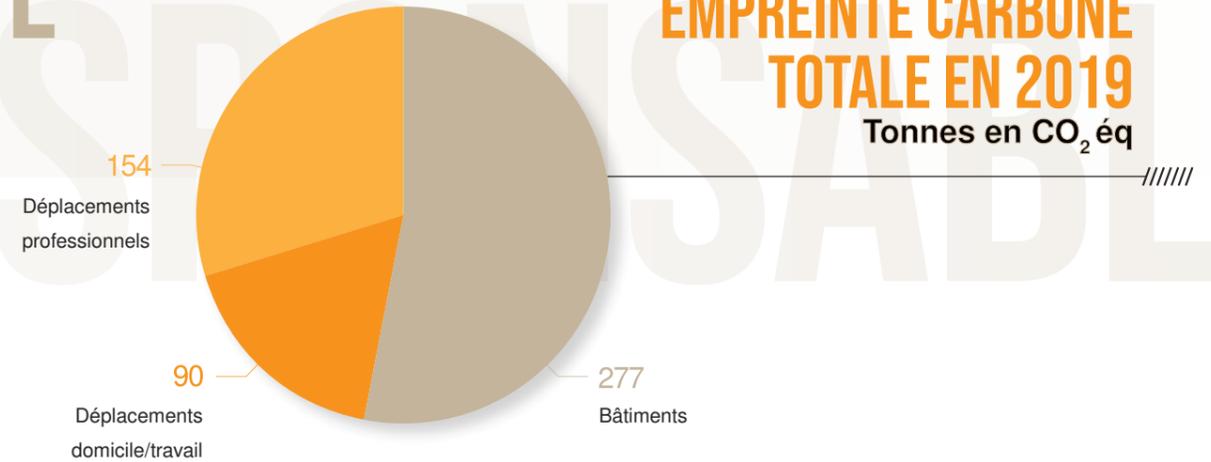
En 2021, un travail de collecte de données a ainsi été mené pour quantifier les émissions induites de gaz à effet de serre. Le collectif écoresponsabilité OTELo s'est appuyé sur l'outil GES1point5 : <https://labos1point5.org/ges-1point5>

Le travail mené a permis d'appréhender la difficulté de récolte des données nécessaires à ce bilan, de faire une première estimation de l'empreinte carbone de notre laboratoire sur quatre postes d'émission : chauffage, électricité, déplacements professionnels et domicile/travail.

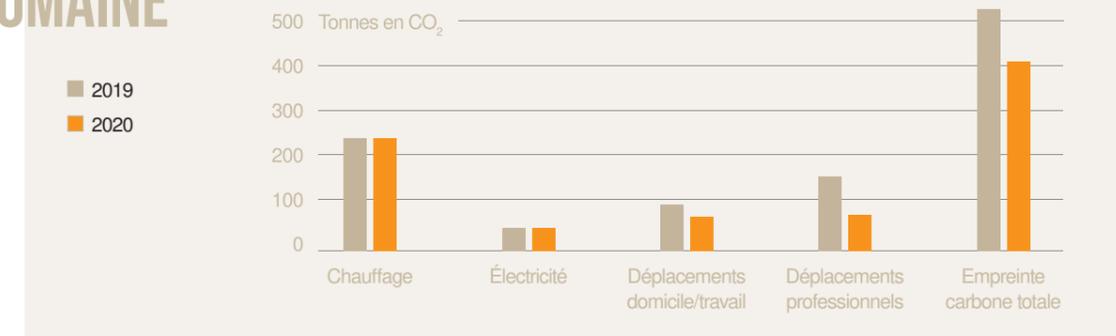


EMPREINTE CARBONE TOTALE EN 2019

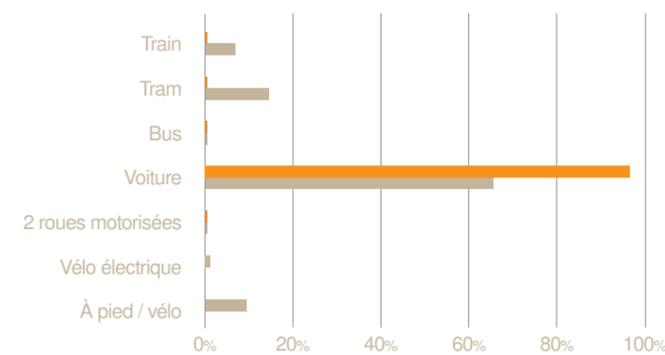
Tonnes en CO₂ éq



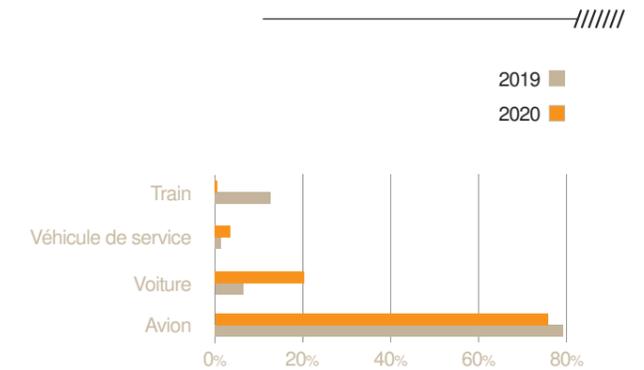
COMPARAISON DES ÉMISSIONS PAR DOMAINE



LES CHIFFRES DE 2019



Comparaison des émissions dues aux déplacements domicile-travail par moyen de transport



Comparaison des émissions dues aux moyens de transport utilisés pour les missions

RAPPORT D'ACTIVITÉ 2021

ÉDITÉ EN JUIN 2022

CRÉDITS PHOTOS

V.S. Balitsky et S. Pentelei
Marie-Hélène Le Ny
Karine Käär
NASA/JPL-Caltech/MSSS
Raphaël Pik
Rémi Schmitt
Laëtitia Vançon

GeoRessources dont :
Anne-Sylvie André-Mayer
Barbara Brenachot
Cédric Carpentier
Guillaume Caumon
Yves Géraud
Eric Lefevre
Emeline Moreira
Christophe Morlot
Jacques Pironon
Pascal Robert

CONCEPTION

GeoRessources

DIRECTRICE DE PUBLICATION

Anne-Sylvie André-Mayer

CONCEPTION GRAPHIQUE

Léa Candat
/// www.lea-candat.fr

IMPRESSION

Université de Lorraine

geo
Ressources



