



LabCom
CREGU

CNRS - Orano - Université de Lorraine

**LA NOUVELLE INTERFACE NANCÉIENNE DE
RECHERCHE PARTENARIALE SUR L'URANIUM**

Un laboratoire commun co-construit par
le CNRS, Orano Mining et l'Université de Lorraine.



L'Accord de Paris sur le Climat signé en 2015 a scellé l'objectif mondial d'une lutte absolue et déterminée contre le réchauffement climatique. Pour atteindre les objectifs climatiques qu'ils se sont fixés, les pays signataires doivent drastiquement diminuer leur empreinte carbone par une réduction forte et rapide de leurs émissions de gaz à effet de serre. La production d'électricité est aujourd'hui la première source d'émission de CO₂ dans le monde en raison de l'utilisation d'énergies fossiles carbonées. L'objectif de parvenir à la neutralité carbone d'ici à 2050 passe pour le secteur de l'énergie par un changement majeur des usages de l'énergie, via une diminution substantielle de notre consommation d'énergie, et par sa décarbonation complète.

L'énergie nucléaire a toute sa place au sein d'un bouquet énergétique bas carbone, avec les énergies renouvelables. La France dispose d'une position stratégique dans la production d'énergie nucléaire grâce notamment au savoir-faire d'Orano et à sa maîtrise de l'ensemble des étapes du cycle de l'uranium, couplé d'un écosystème unique constitué d'industriels d'envergure internationale interagissant avec des centres de recherche fondamentale ou appliquée reconnus pour leurs compétences. L'innovation et la recherche ont toujours été au cœur des activités d'Orano Mining pour poursuivre son développement industriel et améliorer le niveau de sûreté et de performance de ses activités.

Partenaire historique d'un des premiers producteurs mondiaux d'uranium, avec plus de 75 ans d'activité de recherche collaborative sur la géologie de l'uranium, GeoRessources, laboratoire de l'Université de Lorraine et du CNRS, jouit d'une réputation internationale dans l'étude des ressources du sous-sol et de leurs usages. GeoRessources couvre le champ des ressources géologiques, de leur exploration à leur exploitation, en passant par les étapes du traitement et de la valorisation, et de ses impacts sur la société et l'environnement.

Par cette collaboration entre le CNRS et Orano associant l'Université de Lorraine, sous la forme renouvelée d'un laboratoire commun particulièrement adapté aux enjeux industriels et scientifiques d'aujourd'hui, le Centre de recherche et d'étude sur les gisements d'uranium (CREGU) contribuera à améliorer la performance d'Orano pour la découverte et l'exploitation de nouvelles ressources en uranium, matière première du nucléaire. Son objectif est ainsi de relever des enjeux climatiques et énergétiques en France et à l'international. Il intervient en vue de poursuivre une histoire commune de plus de quarante années et d'en dessiner les nouvelles perspectives.

Situé au carrefour entre les géoressources et l'énergie, enjeux de l'I-SITE Lorraine Université d'Excellence, CREGU renforcera une recherche partenariale fondamentale au plus haut niveau international dépassant les thématiques partagées au-delà de la géologie en y intégrant les technologies numériques ou l'hydrometallurgie. Il permettra de lever les verrous présents sur toute la chaîne d'expertise d'Orano Mining grâce aux compétences scientifiques des chercheurs et bâtira une stratégie de développement commune notamment au niveau des cursus des formations de l'Université de Lorraine.



Nicolas ARNAUD

// Directeur de l'Institut National des Sciences de l'Univers (INSU), CNRS



Hervé TOUBON

// Directeur innovation et R&D, Orano Mining

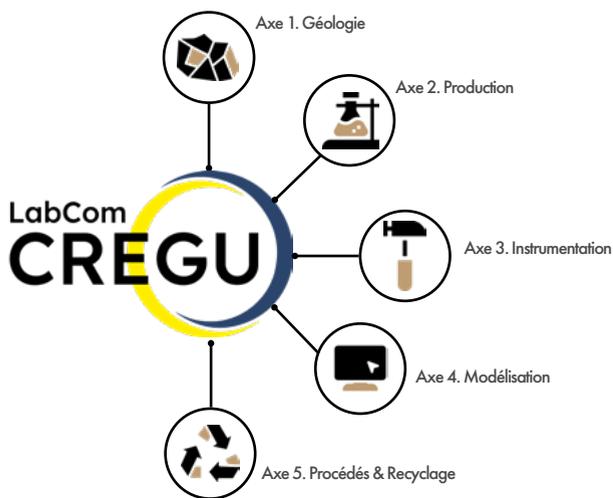


xxx XXXX

// Vice-Président recherche, Université de Lorraine

LE LABORATOIRE COMMUN CREGU

Le futur de la recherche sur l'uranium à Nancy



Les cinq axes du Laboratoire Commun CREGU.

Ces axes ont été définis entre chercheurs du CNRS et de l'Université de Lorraine et ingénieurs d'Orano Mining pour répondre aux problématiques scientifiques et industrielles prioritaires des acteurs impliqués.

Le Laboratoire Commun CREGU, Centre de Recherche et d'Étude des Gisements d'Uranium, est la nouvelle interface de recherche partenariale sur l'uranium à Nancy. Ce laboratoire commun est la poursuite d'une collaboration scientifique fructueuse depuis plus de 40 ans entre chercheurs du CNRS et de l'Université de Lorraine basés à Nancy et l'entreprise Orano Mining, leader international dans le cycle du combustible nucléaire. L'objectif est le développement conjoint de résultats scientifiques fondamentaux transférables en innovation de pointe dans les domaines industriels d'expertise d'Orano Mining sur ses sites industriels.

Ce nouveau LabCom a été défini pour être à la pointe des enjeux industriels et de la recherche fondamentale. Pour ce faire, le LabCom CREGU s'appuiera sur 5 axes de recherche structurants, dont la définition est le fruit d'une expertise et connaissance commune exceptionnelle. Ces axes visent à améliorer notre connaissance du cycle géologique de l'uranium, à développer des procédés, approches et méthodes plus efficaces pour sa localisation dans le sous-sol et son extraction des gisements, ainsi qu'au développement de nouveaux procédés industriels pour traiter les ressources minérales du sous-sol ou issues du recyclage et ainsi optimiser la production tout en limitant les impacts.

Le labCom CREGU est positionné au cœur de l'écosystème nancéien de recherche et de formation en géosciences, lieu de référence international sur les ressources du sous-sol. Les activités sur l'uranium s'appuieront sur des savoir-faire historiques, des collections d'échantillons et de données uniques et des plateformes analytiques parmi les plus performantes au niveau français dans le domaine.

Le LabCom CREGU sera un outil de formation par la recherche, avec l'implication de nombreux doctorants et étudiants en master. Pour réaliser les objectifs ambitieux visés, le LabCom CREGU s'appuiera sur une équipe de près de 30 personnes réparties entre les trois partenaires : le CNRS, Orano et l'Université de Lorraine.



Julien MERCADIER

// Chargé de recherche CNRS, GeoRessources, directeur du Labcom CREGU



Anthony LE BEUX

// Directeur groupe technique géosciences, Orano, directeur adjoint du LabCom CREGU

La création du Laboratoire Commun CREGU entre Orano Mining et le CNRS, soutenue par l'Université de Lorraine, est l'opportunité de poursuivre dans les meilleures conditions à Nancy une recherche partenariale du plus haut niveau sur l'uranium. Héritier d'une tradition scientifique reconnue mondialement par sa longévité et son expertise, ce LabCom se veut un creuset multidisciplinaire pour l'émergence de nouvelles thématiques de recherche appliquées aux ressources du sous-sol.

ORANO, CNRS, UNIVERSITÉ DE LORRAINE

Un partenariat recherche - industrie unique appliqué aux gisements d'uranium



Opérateur international reconnu dans le domaine des matières nucléaires, Orano apporte des solutions aux défis actuels et futurs, dans l'énergie et la santé. Son expertise ainsi que sa maîtrise des technologies de pointe permettent à Orano de proposer à ses clients des produits et services à forte valeur ajoutée sur l'ensemble du cycle du combustible.

Les équipes d'Orano Mining prospectent, développent, opèrent et réaménagent des gisements d'uranium rentables et diversifiés géographiquement, pour assurer la sécurité d'approvisionnement de ses clients électriciens. Orano Mining se positionne parmi les premiers producteurs mondiaux d'uranium, avec des coûts de production compétitifs et des techniques d'extraction innovantes mises en œuvre dans des mines en opération au Canada, au Kazakhstan et au Niger. Engagées dans une démarche d'amélioration continue de la sécurité et de la performance opérationnelle, les équipes exercent leurs activités dans le respect de l'environnement et des hommes et contribuent au développement économique des territoires et de leurs populations.

Le Centre national de la recherche scientifique est une institution de recherche parmi les plus importantes au monde, placée sous tutelle du Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche. Créée il y a plus de 80 ans pour relever les grands défis présents et à venir, ses scientifiques explorent le vivant, la matière, l'univers et le fonctionnement des sociétés humaines. Internationalement reconnu pour l'excellence de ses travaux scientifiques, le CNRS est une référence aussi bien dans la communauté scientifique, que dans le monde économique et pour le grand public, gage de qualité des travaux scientifiques.

Avec plus de 1 100 laboratoires dont près de cinquante unités mixtes avec l'Université de Lorraine, le CNRS est un acteur clé de l'innovation par le lien qu'il tisse entre ses missions de recherche et le monde industriel. De nombreux dispositifs de transfert et de valorisation sont mis en place, notamment avec les partenaires industriels pour accompagner plus de 1200 personnels chercheurs, ingénieurs, techniciens et administratifs du CNRS en Centre-Est.



TROUVER LES GISEMENTS

Axe 1. Systèmes métallogéniques des gisements d'uranium

Découvrir un gisement de métal dans le sous-sol est une opération techniquement complexe et temporellement longue pour les compagnies minières. Le risque d'échec lors d'une campagne d'exploration, caractérisé par des forages stériles, est directement lié aux incertitudes de connaissance de la zone géographique cible. Ces incertitudes peuvent être diminuées par l'établissement d'un modèle géologique dédié, appelé modèle métallogénique.

L'objectif du modèle métallogénique est de guider le choix d'implantation des forages lors de la campagne d'exploration par la définition de carte de prédictivité de présence de métal. Pour ce faire, il faut comprendre par quels mécanismes et circonstances, les métaux comme l'uranium peuvent être concentrés en certains endroits spécifiques du sous-sol jusqu'à des teneurs formant un gisement économiquement exploitable. Les gisements sont en effet des anomalies exceptionnelles, formés grâce à la conjonction spatiale de processus mécaniques, physiques ou chimiques spécifiques actifs à des périodes clés de l'évolution de la Terre. La compréhension de ces mécanismes permet de proposer une approche quantifiée de la formation des gisements de métaux, de leur représentation spatiale et de leurs empreintes associées, qui améliore les probabilités de découverte.

PRÉDIRE LA PRÉSENCE D'URANIUM

L'objectif de l'axe 1 du LabCom CREGU est de proposer, pour chaque gisement, un cadre de compréhension global qui considère tous les processus géologiques qui ont contrôlé sa formation et sa préservation, puis de le transformer en outil d'aide à la décision pour les campagnes de forages. Ces données concernant par exemple l'âge et la nature des roches, les minéraux en présence, la géométrie des failles ou les fluides associés seront acquises à la pointe de la connaissance et de l'instrumentation, puis directement utilisées par les autres axes du LabCom.



Raymond MICHELS

// Chargé de recherche CNRS, GeoRessources, co-responsable de l'axe 1

Pour comprendre la métallogénie de l'uranium il est fondamental de poursuivre une recherche qui intègre les informations à toutes les échelles, depuis celle du continent jusqu'au micrométrique applicable au minéral. La relation avec Orano Mining à travers le LabCom est donc nécessaire aux chercheurs de GeoRessources pour assurer le lien entre la connaissance de terrain maîtrisée par les géologues d'Orano Mining et les analyses de laboratoire.



Rémy CHEMILLAC

// Directeur technique exploration Orano Canada, co-responsable de l'axe 1

Pour Orano Mining, une meilleure compréhension des modèles métallogéniques et leur transcription auprès des équipes opérationnelles sont des enjeux cruciaux. Les développements scientifiques doivent bénéficier du retour d'expérience des explorateurs et s'intégrer au plus près des opérations de terrain qui sont de formidables accélérateurs de découverte. Tout ceci n'est possible que grâce à une proche collaboration entre les acteurs académiques et opérationnels.

FOCUS SUR LA CHAIRE GEOMIN 3D

Booster la découverte des gisements d'uranium à haute teneur du bassin d'Athabasca au Canada

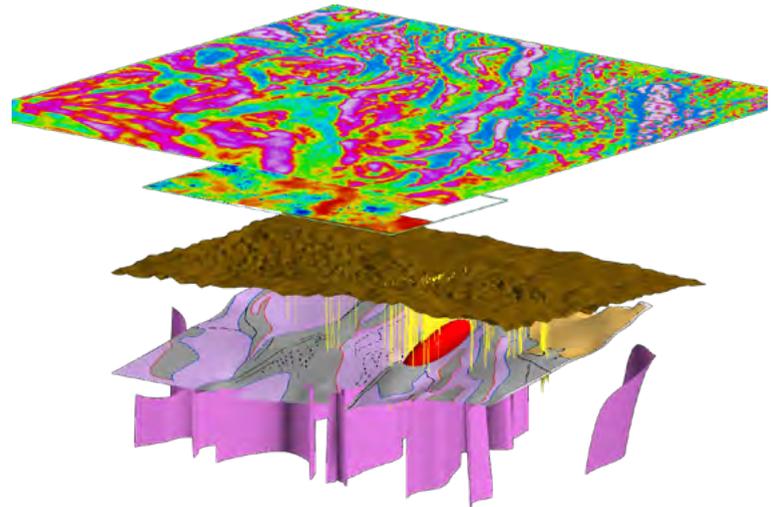


La chaire industrielle ANR GeomIn3D est un consortium de recherche industriel-académique regroupant Orano Mining, le CNRS, les Universités de Lorraine et de Strasbourg. Pilier de l'axe 1 du LabCom CREGU et centrée autour d'une équipe de doctorants, master et post-doctorants, elle est au carrefour des expertises scientifiques et techniques de la métallurgie, de la géophysique, de la géologie numérique et de la modélisation 3D.

La chaire industrielle GeomIn3D, Géomodèle Intégré 3D d'aide à l'exploration des gisements, est un projet de recherche dans le domaine des ressources du sous-sol soutenu par Orano Mining et l'Agence Nationale de la Recherche (ANR). Dotée de 1,5 million d'euros et débuté en novembre 2021, GeomIn3D vise le développement et l'implémentation de pratiques innovantes dans l'exploration des gisements d'uranium de haute teneur du bassin d'Athabasca au Canada, qui contribuent à 20 % de la production mondiale. Le but est d'augmenter le taux de découverte de ces gisements, enjeu industriel majeur pour Orano dans un contexte où leur exploration est plus difficile et coûteuse.

Avec GeomIn3D, les chercheurs nancéiens et les collaborateurs d'Orano Mining ont voulu renforcer un partenariat historique de plus de 50 ans sur ces gisements en proposant un projet de recherche novateur reposant sur des ruptures conceptuelles et méthodologiques appliquées aux deux outils d'exploration traditionnellement utilisés sur ces cibles : la géologie (thèse de recherche 1) et la géophysique (thème de recherche 2).

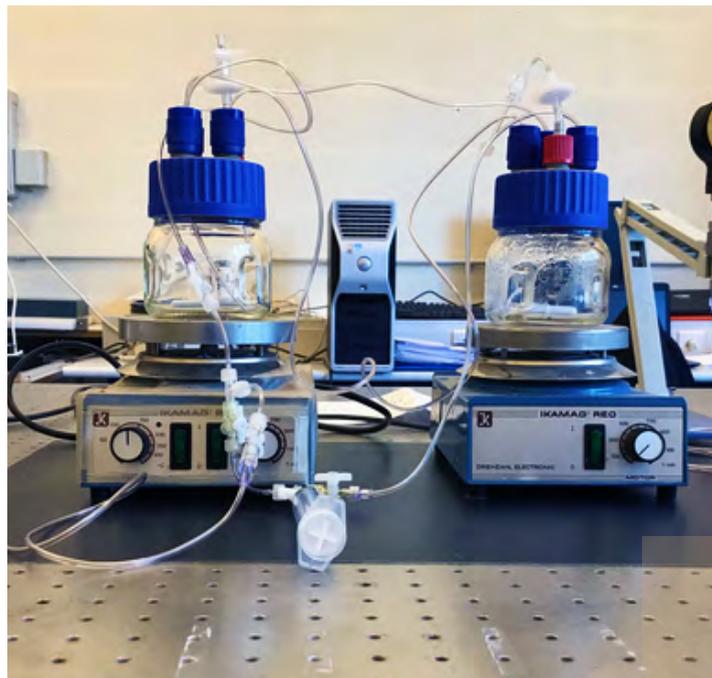
Le premier thème est centré sur le modèle géologique des gisements et la définition de leurs empreintes de formation comparativement aux zones stériles ou peu minéralisées du bassin d'Athabasca. Le but est de comprendre les mécanismes spécifiques de formation de ces gisements, de définir leurs empreintes chimiques, physiques ou minéralogiques et de les transformer en critères quantitatifs de ciblage à distance. Le second thème est dédié à l'imagerie géophysique du sous-sol et au développement de modes opératoires réduisant l'incertitude des modèles géophysiques de les zones explorées. L'association de ces deux axes débouchera sur un géomodèle 3D Intégré d'aide à l'exploration, dans lequel les données géologiques et géophysiques seront réconciliées pour mieux cibler les zones prospectives en uranium et diminuer l'incertitude dans l'implantation des forages. Le but est donc de pouvoir évaluer plus rapidement et plus économiquement le potentiel d'une zone du bassin d'Athabasca à abriter un gisement d'uranium.



Modèle 3D de la zone du gisement de Cigar Lake dans le bassin d'Athabasca au Canada. Ce modèle couple informations géophysiques, topographiques, géologiques et structurales obtenues par différentes instrumentations : satellite, avion, au sol et par forage. Cet outil et les potentiels de visualisation qu'il fournit favorisent la compréhension de la zone pour un ciblage optimisé des zones à potentiel. L'objectif de la chaire GeomIn3D est d'améliorer l'intégration des données géologiques et géophysiques dans ce type de modèle pour le rendre plus prédictif.

EXPLOITER LES GISEMENTS

Axe 2. Géologie pour la production minière



Essai de récupération d'uranium à partir d'un échantillon faiblement minéralisé. L'objectif de ce dispositif expérimental réalisé au laboratoire GeoRessources est de tester à l'échelle de quelques grammes de roches minéralisées la capacité de divers types de solutions à libérer l'uranium qu'elles contiennent. Ces paramètres serviront à optimiser les procédés industriels à l'échelle du gisement.

La réconciliation entre les réserves d'uranium estimées dans un gisement à l'issue des campagnes d'exploration et la production réalisée lors de son exploitation est un élément critique, car elle conditionne la viabilité économique des compagnies minières. L'exploitation d'un gisement est, en effet, confrontée à la variabilité de ses caractéristiques propres, dont l'échelle de variation est souvent plus petite que celle appliquée en exploration. Ces caractéristiques sont la morphologie et la continuité des zones minéralisées, la nature et le comportement des minéraux porteurs d'uranium, les propriétés physico-chimiques du milieu (perméabilité, porosité) ou la présence de pénalisants (éléments chimiques inhibiteurs du procédé industriel de récupération de l'uranium ou polluants potentiels) par exemple. Leur variabilité spatiale impacte directement les taux de récupération de l'uranium, quel que soit le procédé industriel utilisé (lixiviation in-situ ou mine souterraine).

L'identification et l'estimation des propriétés minéralogiques, physiques, chimiques et hydrogéologiques des gisements aux différentes échelles (du km au μm) est ainsi une étape indispensable pour une exploitation économiquement et environnementalement optimisée.

OPTIMISER LA PRODUCTION

L'Axe 2 du LabCom CREGU va répondre à ces problématiques par une démarche scientifique innovante reposant sur l'expérimentation en laboratoire, couplée au suivi de paramètres clés (chimie des solutions et des roches, pression et température du milieu, assemblage minéralogique ou perméabilité par exemple). Les résultats seront utilisés pour paramétrer des modélisations numériques permettant de définir le comportement multi-échelle et à long terme des gisements lors de leur exploitation. L'objectif est d'anticiper les processus de mobilisation de l'uranium en fonction des caractéristiques du gisement et d'optimiser les techniques d'exploitation en limitant l'impact sur l'environnement



Fabrice GOLFIER

// Professeur Université de Lorraine, GeoRessources, co-responsable de l'axe 2

Comprendre le rôle des différents mécanismes engagés dans le stockage d'uranium au sein d'un gisement, définir les processus les plus efficaces pour sa mobilisation et sa récupération à partir des études de laboratoire, pour enfin établir la relation entre les propriétés mesurées en laboratoire et celles à l'échelle du gisement sont des enjeux majeurs pour une exploitation optimisée et raisonnée des ressources.



Sébastien HOCQUET

// Géologue en charge des projets de recherche et développement, Orano Châtillon, co-responsable de l'axe 2

L'intégration de multiples paramètres dans les estimations des gisements afin de prédire et d'optimiser la production est un champ de développement relativement récent qui permet une amélioration significative de la production. La collaboration avec un laboratoire de pointe sur les thématiques de l'ingénierie de réservoirs et des essais paramétriques est essentielle afin de mettre au point des innovations techniques pour optimiser l'extraction sur ses opérations minières.

DÉVELOPPER DES OUTILS DE DEMAIN

Axe 3. Outils, instrumentation et innovation technologique appliqués aux gisements d'uranium



Test d'utilisation d'un spectromètre LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) portable dans une galerie minière en Espagne. L'objectif est de définir les capacités des outils portables à mesurer les compositions chimiques ou minéralogiques des roches directement sur le terrain, que ce soit en mine, sur affleurement ou sur une carotte de forage. Cela nécessite la validation de protocole d'utilisation des instruments et de calibration de la mesure qui sont le cœur de l'Axe 3 du LabCom CREGU.



Jean CAUZID

// Maître de conférence Université de Lorraine, GeoRessources, co-responsable de l'axe 3

L'exploration minière se base sur des variations ténues des paramètres ciblés (minéraux, chimie ou propriétés physiques par exemple), qui ne peuvent être détectées qu'avec une exploitation maximale des moyens analytiques. Réussir là, c'est développer des méthodes qui pourront être redéployées sur les terrains de la recherche fondamentale. Les gisements sont donc des objets d'étude de choix pour les scientifiques académiques.

Améliorer les procédures d'exploration (évaluer le potentiel d'une zone cible à moindre coût et plus rapidement) et d'exploitation (adapter les procédés d'extraction et de purification des métaux en fonction des variabilités géologiques) des gisements est un objectif prioritaire des compagnies minières pour faciliter la prise de décision, rationaliser les actions et diminuer leurs coûts et impacts. Ces compagnies sont aujourd'hui confrontées à des freins techniques dans la validation de leurs opérations industrielles liés aux limitations des dispositifs instrumentaux utilisés. La définition du potentiel d'une zone en cours d'exploration peut ainsi prendre plusieurs mois entre la réalisation de forages et la connaissance des caractéristiques des roches extraites du sous-sol, car de nombreuses analyses sont effectuées dans des laboratoires localisés au cœur des villes. L'absence de techniques adaptées au terrain ou aux usines, leur difficulté d'application ou leur coût excessif entraîne de même une acquisition discontinue pour de nombreux paramètres à l'origine d'une possible perte de représentativité des mesures et donc d'interprétations erronées.

Les géologues d'exploration ou ingénieurs de production doivent donc disposer d'outils et de méthodes qui fournissent des données fiables, adaptées aux lieux et aux échelles, rapides et applicables en temps quasi-réel sur le terrain ou en usine dès la réception des échantillons.

DÉPLACER LE LABORATOIRE SUR LE TERRAIN

Le but de l'Axe 3 du LabCom CREGU est de favoriser le déploiement sur le terrain ou en usine d'instruments et d'approches innovants en ciblant l'exploitation maximale des signaux, l'automatisation du traitement des données et la réconciliation des informations obtenues avec des techniques complémentaires.



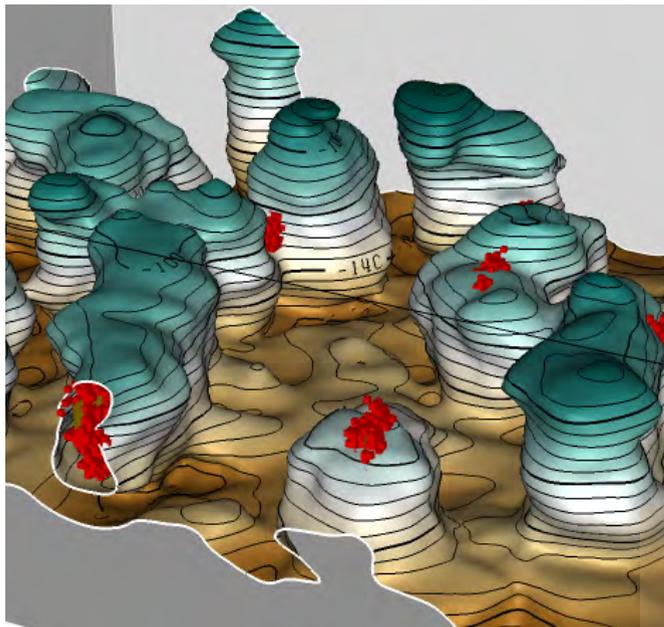
Elodie WILLIARD

// Responsable service géophysique, Orano Châtillon, co-responsable de l'axe 3

Identifier rapidement les indicateurs de favorabilité, ou a contrario, les pénalisants associés à nos gisements est un levier de performance important pour l'exploration et l'exploitation minière. Agir sur ce levier grâce à l'utilisation d'instruments sur le terrain ou par l'amélioration des performances des approches utilisées, c'est trouver le parfait équilibre entre nos contraintes géologiques, opérationnelles et l'utilisation de nouveaux outils à la pointe technologique.

MODÉLISER LE SOUS-SOL

Axe 4. Data science : gestion et intégration des données, modélisation numérique et mine digitale



Modèle numérique illustrant les relations entre minéralisations en métaux (en rouge) et zone d'altération hydrothermale. Il a été généré par la méthode ODSIM à partir d'un modèle structural faillé (non visible). Un des enjeux du LabCom est de comprendre et caractériser les relations entre données d'observation et ce type de modèle mathématique pour répondre à des problèmes d'interprétation et de prédiction pour les gisements d'uranium

La production et le traitement de données numériques interviennent à tous les stades de l'activité minière depuis la définition de cibles d'exploration jusqu'à l'optimisation de l'exploitation des gisements et la gestion de l'après-mine. Ces actions génèrent des quantités massives de données multi-sources, multi-paramètres, multi-échelles, et multi-physiques. L'interprétation de ces données produit également des données secondaires pouvant correspondre à plusieurs scénarii possibles que le géologue ou l'exploitant minier doit pouvoir évaluer et hiérarchiser. L'archivage et la gestion des données puis leur intégration et utilisation dans un cadre de connaissances hétérogènes constituent un véritable défi scientifique et industriel à l'échelle mondiale.

L'enjeu des données, de leur interprétation et de leur utilisation est un dénominateur commun stratégique aux actions de R&D qui seront menées au sein du Labcom CREGU. La définition des empreintes des gisements (axe 1), l'évaluation de leur variabilité pour l'exploitation minière (axe 2) et le développement de nouvelles approches instrumentales (axe 3) n'ont de sens que si les données sur lesquelles ils s'appuient sont gérées, interopérables et intégrables par des nouvelles approches intégratives de modélisation s'appuyant en partie sur les progrès récents en apprentissage machine et en intelligence artificielle.

CONSTRUIRE DES MODÈLES RÉALISTES

L'axe 4 du Labcom s'appuie sur les compétences en géologie numérique intégrative du laboratoire GeoRessources et bénéficie des synergies avec les consortia internationaux RING et Loop3D pour développer des nouvelles actions de recherche appliquées à l'uranium à partir de jeux de données industriels et académiques. Ces actions viseront la construction de représentations numériques 3D originales et innovantes formalisant les connaissances géologiques associées et intégrant les notions d'incertitudes. Ces modèles concerneront des cadres géologiques variés, depuis des minéralisations uranifères contrôlées par des réseaux de failles (Canada, Niger) à celles dispersées au sein de zones perméables de bassins sédimentaires (Kazakhstan, Ouzbekistan, Mongolie).



Guillaume CAUMON

// Professeur Université de Lorraine, GeoRessources, co-responsable de l'axe 4

La recherche des paramètres numériques pertinents pour représenter le sous-sol fait appel à des considérations géologiques et demande par ailleurs de considérer le but de la modélisation. La constitution du labcom CREGU fournit à ce titre un cadre fécond pour développer et tester de nouvelles approches mathématiques et numériques mettant en relations les nouvelles connaissances conceptuelles sur les gisements miniers, les données et problématiques industrielles répondant aux enjeux de la transition



Olivier CARDON

// Responsable innovation mine digitale, Orano Châtillon, co-responsable de l'axe 4

La valorisation des données depuis les phases d'exploration de nouveaux gisements, leur exploitation, jusqu'à leur remédiation, est un enjeu majeur pour Orano. Cela s'exprime par l'utilisation de l'intelligence artificielle et du machine learning pour les programmes d'exploration, la création de jumeaux numériques en 3D des minéralisations et leur encaissant pour anticiper leur exploitation et leur évolution future, en les combinant à des simulations dynamiques. Les évolutions technologiques sont si rapides dans ce domaine, qu'il est important qu'Orano puisse s'appuyer sur les dernières évolutions menées par les organismes de recherche.

INVENTER L'INDUSTRIE DU FUTUR

Procédés innovants, recyclage et mine urbaine pour la transition écologique



Banc expérimental de mélangeurs-décanteurs en série installé à GeoRessources pour le développement de procédés hydrométallurgiques visant l'extraction de métaux contenus dans des matrices complexes. Ces procédés ont été historiquement appliqués à des concentrés minéraux en provenance de gisements. L'objectif est maintenant de les optimiser pour les appliquer au recyclage de matériaux manufacturés de haute technologie, comme les batteries électriques lithium-ion, afin d'y récupérer les nombreux métaux stratégiques qu'ils contiennent.



Alexandre CHAGNES

// Professeur Université de Lorraine, GeoRessources, co-responsable de l'axe 5

Le Laboratoire GeoRessources apporte son savoir-faire dans le domaine de la physicochimie des procédés métallurgiques et hydrométallurgiques afin de comprendre, modéliser, améliorer ces procédés, et imaginer les méthodes de demain qui pourront être mis en œuvre par Orano à l'échelle du pilote puis du démonstrateur.

Les compagnies minières ont toujours dû adapter leurs procédés industriels à la nature des ressources minérales qu'elles exploitent. Ces capacités d'adaptation sont aujourd'hui un atout majeur pour répondre aux objectifs fixés par la transition écologique. Ces procédés, initialement développés pour traiter des minerais en provenance de gisements, sont en effet un levier majeur au cœur de l'économie circulaire puisqu'ils peuvent être utilisés pour traiter les nouveaux types de déchets que représentent les récents produits technologiques tels que les batteries lithium-ion, les cartes électroniques, les panneaux photovoltaïques ou les aimants permanents par exemple. Ces procédés doivent néanmoins être adaptés à des matériaux contenant des associations de métaux à des teneurs souvent bien supérieures à celles rencontrées dans les mines, et inclus dans des matrices manufacturées bien plus complexes à traiter que des minéraux naturels.

Fort de son expertise minière, Orano s'investit de façon déterminée dans le développement de nouvelles filières nécessaires à la transition énergétique comme les filières de recyclage des aimants permanents et des batteries lithium-ion de l'industrie du véhicule électrique. Pour ce faire, Orano s'appuie sur le Labex nancéien Ressources21, dont le laboratoire GeoRessources est membre fondateur, qui se focalise depuis 2011 sur le cycle des métaux dits stratégiques pour les transitions écologique et énergétique avec le développement d'approches novatrices pour leur exploitation et recyclage.

RÉPONDRE AUX ENJEUX DE DEMAIN

L'axe 5 du labcom CREGU vise la mise en commun des compétences d'Orano et de GeoRessources pour développer de nouveaux procédés industriels de récupération des métaux, ou pour améliorer des procédés existants afin qu'ils soient les plus efficaces et les plus flexibles possibles pour traiter des ressources minérales primaires (issues des mines) ou secondaires (issues du recyclage) dans un contexte de réduction de l'impact environnemental et des coûts opératoires.



Alexandre MICHAUT

// Directeur des opérations, Orano Châtillon, co-responsable de l'axe 5

Orano maîtrise de nombreux procédés de séparation, actuellement en exploitation dans ses usines. Le développement de nouveaux procédés adaptés aux enjeux d'aujourd'hui et de demain ne peut se faire sans combiner le pragmatisme de l'expérience du terrain à la créativité de la recherche menée en laboratoire.

DES ZONES STRATÉGIQUES CIBLÉES

Des provinces métallogéniques réparties sur trois continents

Comme les autres métaux, l'uranium n'est pas distribué de façon homogène à la surface de la Terre. Certaines zones du globe sont particulièrement riches jusqu'à abriter des gisements d'uranium exploités par les compagnies minières : ces zones sont appelées des provinces métallogéniques.

L'Agence Internationale de L'Énergie Atomique dénombre plus de **XXX provinces** uranifères réparties sur 20 pays, qui abritent plus de 1 500 gisements* (base de données UDEPO : <https://infcis.iaea.org/UDEPO/Deposits>). Le coût d'exploration et d'exploitation de l'uranium dans ces différentes provinces est très variable, car directement dépendant de critères géologiques, mais aussi géographiques (zones isolées ou difficiles d'accès) ou géopolitiques (stabilité politique et acceptabilité sociétale des populations) par exemple.

Les actions du LabCom CREGU vont cibler trois provinces métallogéniques : le Canada, le Niger et la zone Kazakhstan-Mongolie-Ouzbékistan. Ces provinces sont, en effet, industriellement prioritaires pour Orano Mining puisqu'elles représentent la totalité de sa production actuelle d'uranium, qu'elles ont des ressources importantes exploitables à faibles coûts et qu'elles ont un très fort potentiel pour la découverte de nouveaux gisements. Du fait de l'importance stratégique à l'échelle mondiale de ces trois provinces, Orano Mining y est en concurrence avec d'autres compagnies minières.

L'objectif du LabCom CREGU est d'y réaliser des actions de recherche novatrices permettant aux scientifiques de les comprendre, qu'Orano Mining utilisera pour y conserver une longueur d'avance technologique. Le LabCom s'appuiera en cela sur les percées scientifiques que réalisent et publient les chercheurs de Nancy, et dont trois exemples emblématiques de provinces sont présentés dans les pages suivantes.

CANADA

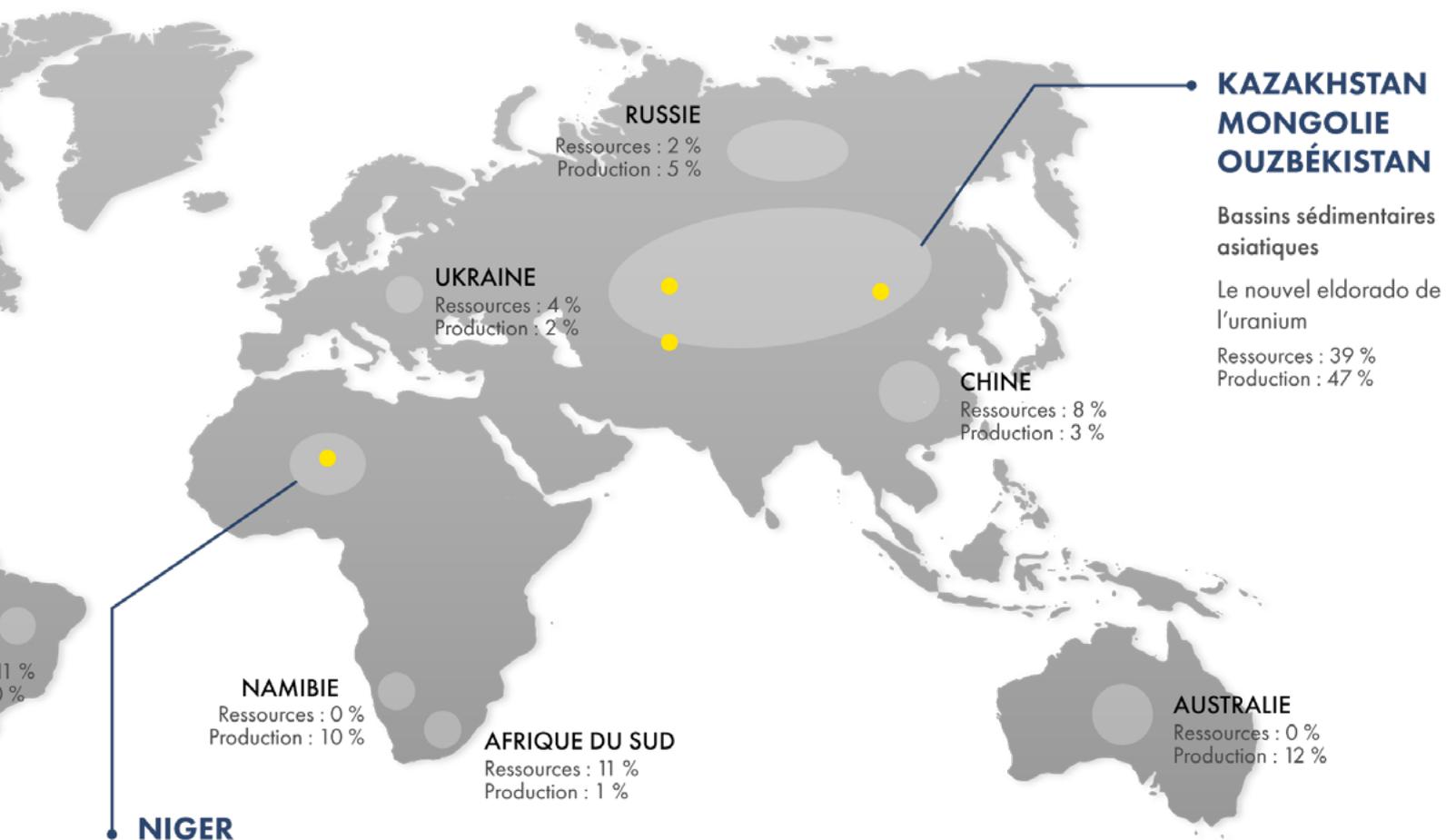
Bassin d'Athabasca

Les gisements les plus riches au monde au cœur du continent américain.

Ressources : 13 %
Production : 13 %

BRÉSIL

Ressources : 1 %
Production : 0 %



**KAZAKHSTAN
MONGOLIE
OUBÉKISTAN**

Bassins sédimentaires asiatiques
Le nouvel eldorado de l'uranium
Ressources : 39 %
Production : 47 %

RUSSIE
Ressources : 2 %
Production : 5 %

UKRAINE
Ressources : 4 %
Production : 2 %

CHINE
Ressources : 8 %
Production : 3 %

NAMIBIE
Ressources : 0 %
Production : 10 %

AFRIQUE DU SUD
Ressources : 11 %
Production : 1 %

AUSTRALIE
Ressources : 0 %
Production : 12 %

NIGER

Bassin de Tom Mersoï
Une province uranifère exploitée depuis plus de 50 ans
Ressources : 0,5 %
Production : 5 %

- Sites pilotes du LabCom CREGU
- Implantations d'Orano

Ressources identifiées en 2019, pour un coût d'exploitation inférieur à 80 USD/kg d'uranium (IAEA 2020)
Production d'uranium en 2018 (IAEA 2020)

BASSIN DE L'ATHABASCA, CANADA

il y a 1,5 milliards d'années, une crise salifère mondiale forme les gisements d'uranium les plus riches au monde



Exploration au Canada, Orano

CONTEXTE

Le bassin sédimentaire d'Athabasca, localisé au Nord de la Province de la Saskatchewan (Canada), abrite les gisements d'uranium les plus riches au monde, connus sous le nom de gisements de type discordance.

Ces gisements sont des anomalies chimiques exceptionnelles comparables aux plus grands gisements mondiaux d'or ou de cuivre par exemple. Les gisements de Cigar Lake ou McArthur River abritent ainsi plusieurs centaines de milliers de tonnes d'uranium à des teneurs moyennes de 20 %. Ces monstres géochimiques sont le résultat d'une conjonction de processus géologiques ayant permis de concentrer l'uranium dans ces gisements de 100 000 fois sa teneur moyenne dans la croûte terrestre. Malgré des caractéristiques géologiques (localisation à plusieurs centaines de mètres sous la surface) et des teneurs extrêmes nécessitant des procédés industriels spécifiques et coûteux (congélation du minerai, exploitation robotisée), les gisements de type discordance font partie des rares types de gisements d'uranium économiquement exploitables en période de prix bas du fait de leur concentration exceptionnelle en uranium. Ils représentent aujourd'hui près de 20 % de la production mondiale et sont recherchés activement par de nombreuses compagnies sur l'ensemble du bassin d'Athabasca.

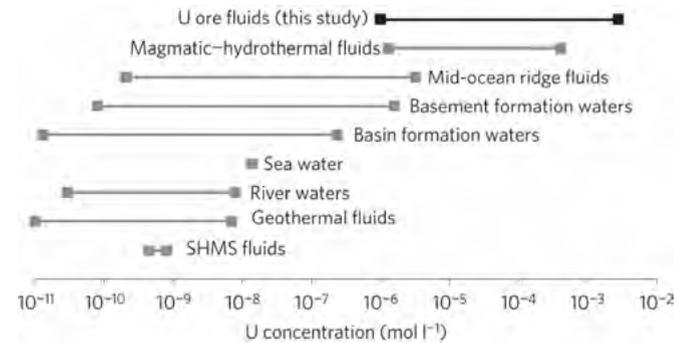
Géologiquement parlant, ces gisements sont principalement localisés à la base du bassin sédimentaire d'Athabasca, dont le dépôt s'est déroulé sur une période comprise entre 1,75 et 1,4 milliard d'années. Les anomalies en uranium, appelées minéralisations, sont spatialement associées avec des failles riches en graphite qui ont contrôlé la circulation de fluides hydrothermaux qui ont formé ces minéralisations il y a environ 1,5 milliard d'années. Ces gisements hydrothermaux sont marqués par des enveloppes d'altération entourant les minéralisations et formés par l'interaction entre les fluides et les roches environnantes. Ces enveloppes sont caractérisées par une association minérale originale composée d'argiles, de quartz, de carbonates et de tourmalines.

PROBLÉMATIQUE SCIENTIFIQUE

Quels sont les fluides responsables de la formation des gisements géants ?

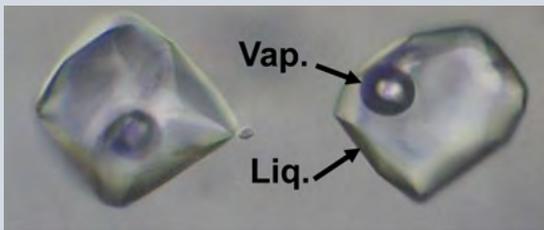
NOTRE DÉMARCHE SCIENTIFIQUE ET RÉSULTATS ASSOCIÉS

Les équipes nancéiennes ont ciblé les inclusions fluides présentes dans les quartz et les carbonates associées aux minéralisations uranifères (photo). Ces inclusions correspondent à de petites poches de fluides hydrothermaux de quelques dizaines de micromètres de diamètre préservées dans les minéraux. Grâce à une approche unique au monde couplant l'expérimentation et de multiples capacités analytiques appliquées aux inclusions fluides, les chercheurs de GeoRessources ont déterminé que les fluides minéralisateurs des gisements de type discordance ont été formés au cours d'un épisode d'évaporation intensive de l'eau de mer actif à l'échelle du continent formé il y a 1,5 milliard d'années par la réunion de l'Amérique du Nord, de l'Australie et de la Chine actuels. Ce processus d'évaporation poussé a favorisé la formation à très grande échelle de saumures résiduelles très salées et acides qui ont ensuite pénétré dans le bassin d'Athabasca jusqu'à sa base pour y être stockées. L'activation périodique de certaines failles riches en graphite au cours d'activités sismiques a favorisé la mise en circulation brutale de ces fluides dans un environnement aux propriétés physico-chimiques (pression, température) localement perturbées, qui ont abouti à un déséquilibre entre fluides et roches à l'origine de la formation des enveloppes d'altération. Ce phénomène de courte durée (quelques millions d'années au maximum) a favorisé un lessivage des métaux des roches et son enrichissement dans les saumures modifiées dont les analyses montrent qu'elles sont les fluides géologiques connus les plus riches en uranium. Ces concentrations extrêmes en uranium sont un des facteurs clés expliquant les teneurs exceptionnelles observées dans ces gisements.



Richard et al. 2010 (Richard, A., Rozsypal, C., Mercadier, J., Banks, D. A., Cuney, M., Boiron, M. C., & Cathelineau, M. (2012). Giant uranium deposits formed from exceptionally uranium-rich acidic brines. *Nature Geoscience*, 5(2), 142-146)

NOTRE APPROCHE ANALYTIQUE



Richard et al. 2012 (Richard, A., Pettke, T., Cathelineau, M., Boiron, M. C., Mercadier, J., Cuney, M., & Derome, D. (2010). Brine-rock interaction in the Athabasca basement (McArthur River U deposit, Canada): consequences for fluid chemistry and uranium uptake. *Terra Nova*, 22(4), 303-308)

Déterminer les propriétés des fluides géologiques par l'étude des inclusions fluides

Les chercheurs du laboratoire GeoRessources sont mondialement connus pour leur expertise sur l'analyse des inclusions fluides. Cette expertise est le fruit d'un travail de plusieurs dizaines dédié aux développements d'instruments, de méthodes, de modélisations et d'approches permettant de définir les différentes propriétés des fluides géologiques à partir des inclusions fluides. Les équipes de GeoRessources ont ainsi été pionnières dans le développement et l'utilisation de la microthermométrie, de la spectroscopie Raman, de la LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) et de l'ablation laser couplée à un spectromètre de masse à plasma induit (LA-ICP-MS). Le couplage de ces différents instruments appliqué aux inclusions fluides permet une caractérisation géochimique et thermodynamique complète des propriétés des fluides géologiques : origine, salinité, température, pression, composition chimique.

NIGER

L'ouverture de l'océan Atlantique à l'origine des minéralisations en uranium

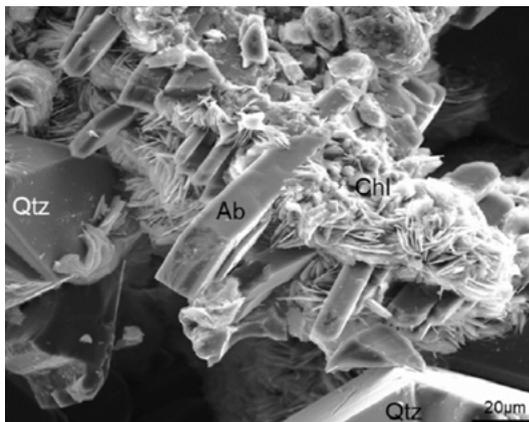


Mine de Somair, Niger, Ascani, Orano

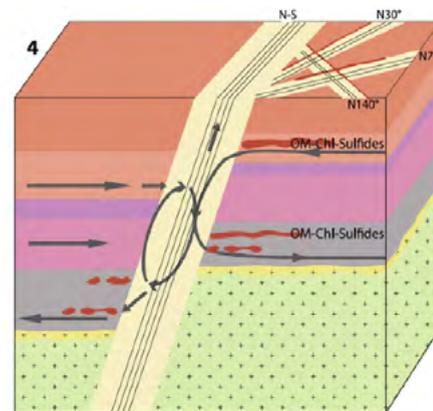
Le Niger est le quatrième producteur mondial d'uranium. Les gisements d'Arlit, Akouta et Imouraren sont situés au sein du bassin de Tim Mersoï qui s'étend sur une superficie de 114 000 km².

Ces gisements d'uranium ne sont pas distribués géographiquement de façon aléatoire, mais se localisent le long de la faille d'Arlit, structure régionale orientée nord-sud qui recoupe le bassin sur plusieurs dizaines de kilomètres. Cette faille et les réseaux de structures secondaires qui lui sont associés ont joué le rôle de drains principaux pour des circulations de fluides chauds et salés porteurs d'uranium et d'autres métaux (cuivre, plomb, zinc). Ces fluides ont ensuite pénétré depuis la faille d'Arlit jusque dans les différents aquifères du bassin, conduisant au dépôt de l'uranium et des métaux associés dans les formations sédimentaires perméables et riches en matières organiques et en sulfures.

En fonction des roches hôtes et de leurs conditions d'oxydo-réduction, les mécanismes de précipitation de l'uranium ont été spécifiques et expliquent la particularité des minéralisations uranifères présentes : minéralisations réduites d'oxydes d'uranium dans des formations carbonifères pour les gisements d'Arlit et d'Akouta, et minéralisations principalement oxydées de silicate et de vanadate d'uranium dans la formation jurassique abritant le gisement d'Imouraren.



Assemblage hydrothermal à albite-analcime-Fe-chlorite et uraninite (Imouraren) précipité par des saumures en déséquilibre thermique avec des réservoirs provenant de la faille d'Arlit.



Modèle de circulation fluide autour de la faille d'Arlit

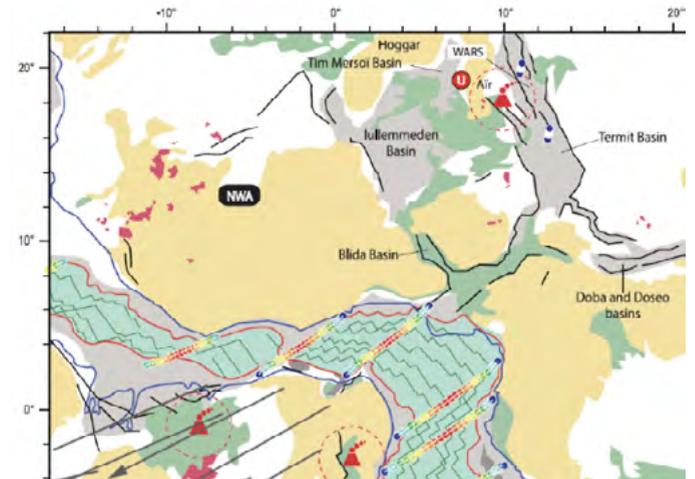
NOTRE EXPERTISE

Une question fondamentale pour comprendre la formation de ces gisements est de définir les moteurs de la circulation des fluides minéralisateurs. Les datations isotopiques sur les minéralisations uranifères et minéraux associés des gisements du Niger réalisés à Nancy établissent les liens entre événements géologiques globaux et formation des gisements dans cette province.

L'ouverture de l'océan Atlantique, entre 145 et 90 millions d'années, est responsable des premières minéralisations uranifères. Cet événement a eu des répercussions au sein du bassin de Tim Mersoï par la création de conditions mécaniques et thermiques favorables aux circulations des fluides minéralisateurs. Cet épisode géodynamique majeur à l'échelle de la Terre est à l'origine de la formation de nombreuses provinces métallifères en Europe, en Afrique et en Amérique.

Ces minéralisations primaires ont ensuite été remobilisées durant différents stades au cours de l'exhumation du bassin, correspondant aux grands stades d'oxydation et d'érosion qui ont affecté l'Afrique de l'Ouest depuis 50 millions d'années.

Les gisements d'uranium de la province de Tim Mersoï sont donc le fruit d'une histoire géologique complexe et polyphasée dans le temps que les travaux des équipes de Nancy a mis en évidence. Ces résultats constituent la base scientifique de la connaissance et du développement de ces gisements par Orano Mining.



Ouverture de l'Atlantique et répercussion jusqu'aux massifs de l'Air

Mesurer l'âge et la composition des oxydes d'uranium à l'échelle de quelques microns

Les équipes nancéennes des laboratoires CRPG et GeoRessources ont développé une approche analytique inédite pour comprendre la formation des gisements d'uranium. Elle s'appuie sur l'utilisation couplée des deux instruments les plus à la pointe pour l'analyse des matériaux géologiques à l'échelle micrométrique : la microsonde ionique et l'ablation laser couplée à un spectromètre de masse à plasma induit. Nancy est le seul site français disposant de ces capacités instrumentales permettant de mesurer en quelques minutes des paramètres clés à partir d'une analyse de quelques μg de matière prélevés d'un oxyde d'uranium. Ce progrès instrumental et analytique permet de déterminer les époques géologiques clés et les conditions physico-chimiques associées qui ont favorisé la formation de gisements d'uranium au cours de l'évolution de la Terre. Cette approche est aujourd'hui utilisée de façon routinière à Nancy pour étudier des oxydes d'uranium en provenance du monde entier et comme une méthode de datation applicable à tous les phénomènes géologiques.

KAZAKHSTAN - MONGOLIE - OUZBÉKISTAN

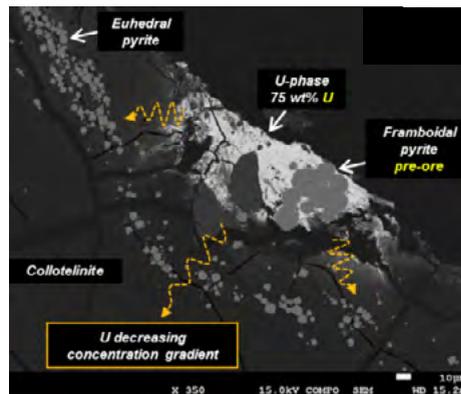
Les roll-fronts asiatiques : une province uranifère exceptionnelle formée à l'interface minéral-organique-vivant



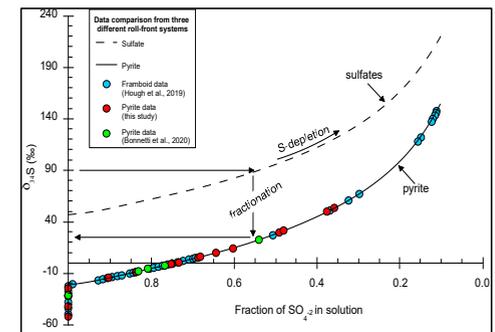
Site pilote ZuuvchOvoo, Auger, Orano

Les gisements de type fronts d'oxydo-réduction (appelés roll-front en anglais) sont aujourd'hui la source d'uranium la plus importante au monde, représentant plus de 50 % de la production mondiale et regroupant près d'un tiers de tous les gisements d'uranium référencés au niveau mondial par l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique. Ces gisements ont été découverts sur tous les continents et les plus grosses provinces les abritant sont les bassins sédimentaires jurassiques et crétacés asiatiques, localisés entre le Kazakhstan, la Mongolie, l'Ouzbékistan et la Chine.

L'uranium est concentré au sein de roll-front qui marquent la limite physico-chimique entre deux environnements contrastés : une zone rouge-orangée oxydée où l'uranium a été lessivé et une zone verte-grise réduite où l'uranium est encore présent. Ces fronts d'oxydo-réduction se développent dans les roches les plus perméables de ces bassins sédimentaires, en relation avec l'avancée des fluides circulant dans les aquifères d'origine marins, lacustres ou fluvialaux. Ces gisements se forment dans des conditions de températures assez basses (< 50 °C) et à des profondeurs limitées (quelques centaines de mètres au maximum) à partir de fluides de recharge peu salés et d'origine météorique. L'uranium est présent dans les fronts d'oxydo-réduction principalement sous forme d'oxyde d'uranium (UO_2) ou de phosphocoffinite ($Ca(U,P)SiO_4$) et généralement faiblement concentré (< 0,1 à 1 % U) comparativement aux gisements de type discordance du bassin canadien de l'Athabasca par exemple. L'exploitation de ces gisements est pourtant particulièrement économique du fait du procédé industriel mis en jeu pour les exploiter : la récupération - ou lixiviation - in-situ par injection de solution acide ou alcaline.



La collotelinite est un macérol organique qui sert de piège pour l'uranium, sous plusieurs formes : piégeage dans la matière organique ou précipitation d' UO_2 .



Les valeurs de $\delta^{34}S$ du sulfure de fer sont très diverses, fluctuant dans les cas extrêmes entre -50 à +50 ‰, avec une valeur moyenne de $\delta^{34}S$ pour la pyrite framboïdale à 2 ‰, et -20 ‰ pour la pyrite automorphe

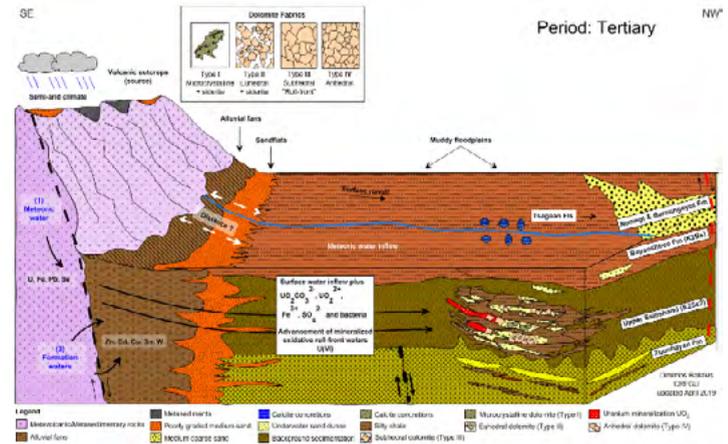
NOTRE EXPERTISE

Les travaux réalisés par les équipes nancéiennes ont décrit les mécanismes à l'origine de la formation de ces gisements stratégiques dans la province asiatique regroupant le Kazakhstan, la Mongolie, l'Ouzbékistan et la Chine. Ces équipes y ont spécifiquement démontré le rôle prédominant de l'activité bactérienne en présence de soufre concentré initialement soit dans la matière organique ou dans les sulfures.

Les mécanismes de concentration de l'uranium sont multiples et comprennent : la complexation (sous la forme de complexes uranyle-carboxyle par exemple), l'adsorption sur des minéraux riches en titane des particules de matières organiques ou argileuses et la réduction par les sulfures (dont en particulier la pyrite, un sulfure de fer) ou le sulfure d'hydrogène découlant de l'activité bactérienne.

L'activité bactérienne est néanmoins le mécanisme le plus important, comme le démontrent les rapports isotopiques du soufre mesurés dans ces systèmes. La matière organique a un rôle central dans le développement de ces minéralisations, soit en tant que piège direct de l'uranium soit en tant que nutriment pour les bactéries qui piégeront l'uranium du fait de leur activité métabolique.

Ces gisements économiquement critiques se sont donc formés à l'interface entre le monde bactérien, la matière organique et les minéraux, reposant sur quatre éléments chimiques clés : U, Fe, C et S



Le modèle métallogénique proposé pour la formation des minéralisations d'uranium de Zoovch Ovoo. La partie oxydante du front fournit des sulfates et des micro-organismes. Dans la partie suboxydante du front de roulement, trois processus complexes majeurs sont impliqués dans la formation de la minéralisation : 1. (bio)réduction des sulfates, 2. épigénèse de la pyrite par l'uraninite; 3. Réactivité de la matière organique par complexation et maintien de l'activité biologique responsable de la précipitation de l'uranium. La matière organique soutient l'activité biologique et joue donc un rôle important dans le processus biogéochimique.

NOTRE INNOVATION

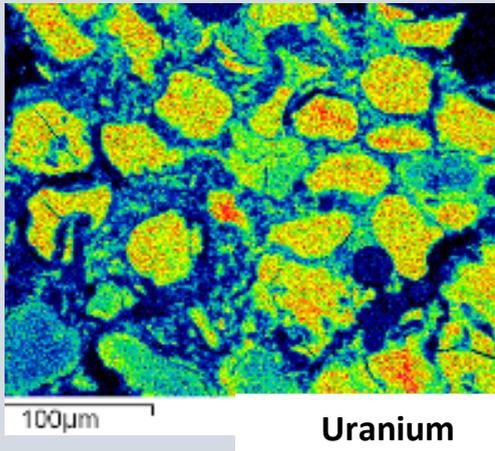


Image microXRF de la distribution de l'U dans la matière organique

Reproduire en laboratoire les mécanismes de formation des gisements

Le laboratoire GeoRessources est reconnu internationalement pour son expertise dans le domaine de l'expérimentation appliquée aux ressources du sous-sol et en particulier aux métaux. Les équipes ont en effet développé au cours des années des dispositifs expérimentaux innovants pour étudier les mécanismes de mobilisation, de transport en phases fluides ou dans les magmas et de précipitation des métaux (comme U, W, Sn ou Au). Les conditions de formation des gisements sont ainsi reproduites en laboratoire au sein d'autoclaves de différents volumes couplés à une diversité de capteurs (T, P, spectroscopie Raman, etc.). Les derniers développements ont porté sur l'utilisation de micro-capillaires de silice couplés à la spectroscopie Raman et pilotables en pression et température pour étudier en direct le comportement des métaux. Appliquées aux gisements d'uranium, ces approches définissent la spéciation de l'uranium dans les fluides géologiques minéralisateurs et les mécanismes de précipitation de l'uranium dans les gisements.

POURQUOI CE LABCOM À NANCY ?

75 ans d'étude de l'uranium en Lorraine

L'installation à Nancy d'un LabCom dédié à l'uranium est loin d'être un hasard. La place nancéienne a en effet depuis plus de 75 ans une histoire particulière avec ce métal considéré comme stratégique par l'état français à la sortie de la Seconde Guerre mondiale.

L'initiateur en est Marcel Roubault, dont l'énergie, la détermination et la réputation ont permis l'établissement à Nancy d'une tradition d'études scientifiques et de formation universitaire sur l'uranium toujours vivante aujourd'hui. Cette expertise académique a été développée dès le départ pour soutenir l'émergence de la filière industrielle nucléaire française en lui procurant l'uranium nécessaire via la prospection de gisements.

La création de l'équipe « Fluides » au CRPG puis de la société civile CREGU à l'initiative du CEA et grâce à l'action de Bernard Poty, chercheur au CNRS, sont deux tournants majeurs pour l'établissement d'une recherche scientifique au plus niveau international sur l'uranium. Le CNRS soutient dès le départ cette initiative en favorisant la création d'un groupement scientifique où sont rattachés douze de ses chercheurs.

Deux directeurs scientifiques, dont Michel Cathelineau, prendront la suite de Bernard Poty. Durant cette période, la société civile CREGU verra son actionnariat évoluer vers la présence d'un actionnaire unique pour les activités uranium : Areva puis Orano Mining. À partir de 1998, les activités de recherche seront réalisées au sein des laboratoires G2R puis GeoRessources dont la société civile CREGU sera tutelle fondatrice avec le CNRS et les universités nancéiennes successives. La nouvelle étape de cette recherche collaborative académie-industrie est le LabCom CREGU.



Marcel Roubault

// Début de l'exploration d'uranium en France

F. Joliot-Curie, Haute Commissaire du CEA, Commissariat de l'Énergie Atomique, nomme M. Roubault, professeur et directeur de l'ENSG, Ecole Nationale Supérieure de Géologie, directeur des Recherches et Exploitations Minières du CEA.



Bernard Poty

// Début de la métallurgie de l'uranium à Nancy

Création de l'équipe Fluides au CRPG par B. Poty, J. Touret et A. Weisbrod

en
// 1948

en
// 1953

Création du laboratoire CRPG, Centre de Recherche Pétrographiques et Géochimiques, dans les locaux de l'ENSG à Nancy



en
// 1956

// Aide à la prospection industrielle de l'uranium en France

Création du CRR, Centre de recherche radiogéologique

en
// 1969

en
// 1961

Inauguration du nouveau bâtiment du CRPG à Vandoeuvre-lès-Nancy





// De nouveaux axes scientifiques ciblant l'étude du cycle géochimique de l'uranium

Le CEA et cinq compagnies minières, dont la Cogema, créent la société civile CREGU, Centre de recherche sur la Géologie de l'Uranium, grâce à l'action de B. Poty.

Le CNRS y détache une partie de l'équipe Fluides du CRPG et évalue son activité scientifique (Groupement de Recherche 77)



// Un nouveau cadre de recherche et de formation sur l'uranium

Création de l'UMR G2R (Géologie et Gestion des Ressources minérales et énergétiques) suite à l'invitation de J-P. Finance, Président de l'Université Henri Poincaré

Le CREGU est co-tutelle de G2R avec le CNRS, l'UHP et l'INPL



// Élargissement des thématiques appliquées à l'uranium : procédés, instrumentation, modélisation

Création de l'UMR GeoRessources par fusion de laboratoires.

Le CREGU est co-tutelle de GeoRessources avec le CNRS et l'UL



// Le CREGU à 40 ans!

Congrès international « Basin and resources » pour les 40 ans du CREGU



// La nouvelle interface de recherche sur l'uranium

Inauguration du laboratoire commun CREGU, Centre de recherche et d'étude des gisements d'uranium, créé entre le CNRS et Orano, et soutenu par l'Université de Lorraine.

en
// 1979

en
// 1998

en
// 2013

en
// 2019

en
// 2022

en
// 1979

en
// 1999

en
// 2001

en
// 2018

en
// 2020

Construction du bâtiment CREGU et installation sur le plateau de Brabois à Vandoeuvre-lès-Nancy



Déménagement du CREGU à la Faculté des Sciences



Cogema intègre Areva, actionnaire unique du CREGU pour les activités de recherche sur l'uranium



Naissance d'Orano, regroupant les activités du cycle du combustible nucléaire d'Areva.



// Renforcement des collaborations entre GeoRessources et Orano

Création de la chaire industrielle Orano-UL « Georressources, exploration et traitement », portée par Patrick Ledru, Responsable de l'Exploration à Orano au Kazakhstan et au Canada pendant 11 ans.

LES CHIFFRES CLÉS

Un centre de recherche d'excellence sur l'uranium

Forte de son histoire, de ses chercheurs, de son parc instrumental, des thématiques scientifiques et méthodes développées, Nancy est la référence mondiale en recherche académique sur l'uranium, comme l'attestent les 9 chiffres clés présentés ci-dessous :

1er

centre
// de recherche sur la
géologie de l'uranium

110

thèses
// soutenues

280

// publications

50

ans de
// recherche

40 %

de docteurs
// en entreprise

27

citations
// par publication en
moyenne

20

millions d'euros
// de contrats de recherche

100 000

échantillons
// dans les collections

4

chercheurs CNRS
// à H index > 40

LE PÔLE DE RECHERCHE NANCÉIEN

Un écosystème dédié aux ressources du sous-sol pour la transition énergétique et sociétale



Ajouter la légende



Anne-Sylvie ANDRE MAYER

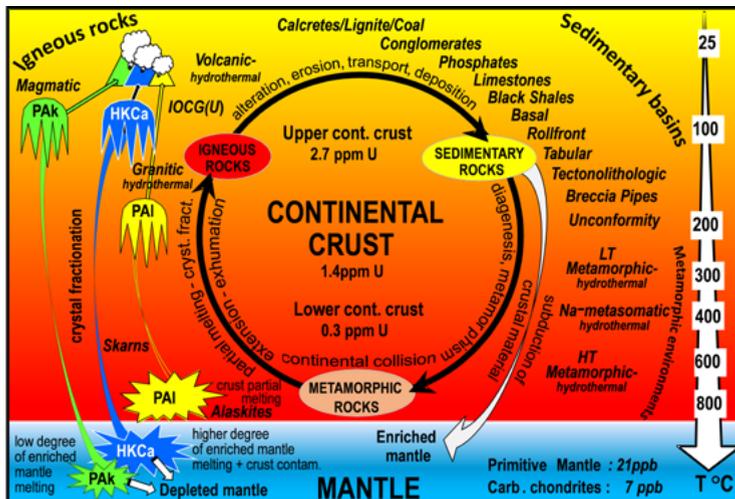
// Professeure Université de Lorraine, directrice du laboratoire GeoRessources

UNE EXPERTISE SCIENTIFIQUE

Sur tous les gisements d'uranium du monde

Les équipes nancéiennes ont travaillé sur toutes les provinces métallogéniques uranifères mondiales et sur les principaux gisements d'uranium. Cette expertise est le fruit de 50 ans d'études scientifiques et de missions à travers le monde grâce à un soutien industriel de long terme et la disponibilité de budgets, et s'est forgée en particulier avec la réalisation de dizaines de thèses présentées sur la figure ci-contre. Ces efforts ont favorisé le développement d'un réseau inégalé de collaborations internationales, toujours actives aujourd'hui, qui a permis l'étude de ces sites stratégiques. Ces travaux ont permis la construction d'une collection d'échantillons et de données unique aujourd'hui utilisée dans le cadre du LabCom CREGU.

L'accès privilégié aux laboratoires naturels que sont les gisements d'uranium et des provinces géologiques qui les abritent a permis aux chercheurs nancéiens d'appréhender le cycle géochimique de l'uranium à travers les temps géologiques et en considérant la diversité des roches connues sur Terre. A partir de ces connaissances uniques, ils ont proposé des modèles globaux de formation des gisements d'uranium qui font référence dans la communauté scientifique mondiale et sont utilisés par les compagnies minières. L'uranium est de plus un élément chimique très sensible aux variations des conditions géologiques et est de ce fait un outil de choix pour tracer les processus géologiques qui ont façonné la Terre au cours de ses grandes phases d'évolution.



Conditions géologiques de formation des tous les types de gisements d'uranium connus sur Terre (en italiques). Cette classification unique, réalisée grâce aux travaux nancéiens, intègre les grands réservoirs géologiques (manteau, croûte continentale) et les différents types d'environnement dans lesquels les gisements se forment (bassin sédimentaire, roches magmatiques et métamorphiques). Les processus de concentration de l'uranium et les mécanismes globaux associés sont décrits. Cuney (2010), Economic Geology.



 Nombre de thèses GeoRessources sur les thématiques de l'uranium

Tonnage des gisements d'uranium

-  > 200 000 tonnes
-  100 000 à 200 000 tonnes
-  20 000 à 100 000 tonnes

Principaux bassins d'uranium

- 1. Athabasca
- 2. Elliot Lake
- 3. Wyoming
- 4. New Mexico
- 5. Erzgebirge
- 6. Ukraine
- 7. Niger
- 8. Witwatersrand
- 9. Streltsovka
- 10. Pine Creek
- 11. Olympic Dam
- 12. Kazakhstan / Ouzbékistan
- 13. Rossing

LE PARTENARIAT ORANO-NANCY...

Vu par les chercheurs nancéiens

FORMATION PAR LA RECHERCHE



Mehdi SERDOUN

// Doctorant, GeoRessources, chaire ANR GeomIn3D

Les dernières années ont vu croître significativement les efforts dans le sens de l'intégration d'analyses multivariées aux jeux de données géologiques. L'objectif est de maximiser les informations mesurables à partir d'échantillons dont le coût et la difficulté d'obtention sont souvent élevés. Ces domaines d'application, loin de se substituer au métier de géologues, doivent au contraire être perçus comme une opportunité pour ces derniers de conjuguer leur savoir-faire initial (l'observation) avec des outils de plus en plus diversifiés et des approches mathématiques de plus en plus perfectionnées (intelligence artificielle ou apprentissage machine par exemple) pour trouver les gisements de métaux plus rapidement à coût moindre. Pour être

efficace et maîtrisée, l'application par Orano Mining de ces nouvelles approches à l'exploration des gisements d'uranium doit être validée scientifiquement. C'est l'objectif de ma thèse réalisée dans le cadre de la chaire ANR GeomIn3D. L'Université de Lorraine représente un pôle historique de la recherche sur les gisements de métaux et spécialement d'uranium, mais aussi un centre de référence sur les approches mathématiques évoquées plus haut. C'est pourquoi il s'agit d'un endroit idéal pour mener mes travaux de doctorat sur la compréhension multivariée de ces objets géologiques exceptionnels.



EXCELLENCE SCIENTIFIQUE



Michel CUNEY

// Directeur de recherche CNRS émérite, GeoRessources, Médaille d'or SGA 2013, Prix R. Barbier SGF 2015

J'ai effectué à Nancy 50 ans de recherche au plus haut niveau scientifique afin de quantifier les mécanismes de fractionnement de l'uranium dans la lithosphère continentale et comprendre la genèse des gisements d'uranium, ceci à partir d'études de terrain et en laboratoire aussi bien au niveau analytique qu'expérimental. Ce travail s'est appuyé sur des visites sur le terrain aux quatre coins du monde, à partir desquelles des recherches scientifiques ont été entreprises sur tous les types de gisements d'uranium du monde. Ces travaux ont été possibles grâce à la souplesse de gestion et la continuité des financements au sein de la structure de la société civile

Cregu, aux facilités d'accès aux sites miniers accordées par les sociétés minières actionnaires et aux collaborations tissées avec d'autres entreprises minières et laboratoires dans le monde.

Ces travaux ont abouti à la publication de plus de 150 articles et ouvrages sur la métallogénie de l'uranium. Une reconnaissance internationale reflétée par de multiples invitations à des congrès et conférences, un statut d'expert auprès de l'IAEA, et la réception de prix internationaux et nationaux qui contribuent à la renommée internationale de Nancy sur les thématiques métallogénie.

TRANSFERT TECHNOLOGIQUE



Michel CATHELINÉAU

// Directeur de recherche CNRS, GeoRessources, directeur scientifique de la société civile CREGU (2001-2022)

La société civile Cregu a été un formidable outil facilitateur de collaborations scientifiques entre les compagnies minières et pétrolières et le monde académique, notamment en raison d'une gestion efficace, due à la création d'une société civile, choix souhaité et appuyé par la direction du CNRS dans les années 1977-1978.

Depuis sa création, la société civile Cregu n'a pas perdu ses objectifs de vue : l'innovation et l'excellence de la recherche dans la genèse des concentrations métalliques. Grâce au soutien des industriels, les chercheurs du Cregu ont ainsi participé à plusieurs aventures scientifiques : l'analyse détaillée (majeurs, traces, gaz, contenus en métaux) des paléofluides à l'échelle de quelques centaines de

microns, la reconstruction des conditions de pression et de température en fonction des événements géodynamiques, l'étude expérimentale des relations entre uranium et matières organiques, etc. Les questions posées par les industriels ont été des stimulants de l'innovation et de la recherche, mais aussi des ponts entre disciplines encore peu explorés.

La grande partie de ces travaux a permis la formation de plus de 100 doctorants qui ont essaimé le monde industriel et académique. Je suis fier d'avoir participé à l'essor et aux succès de la société civile Cregu sur plus de 20 ans en tant que directeur scientifique.



Patrick LEDRU

// Porteur de la chaire Université de Lorraine - Orano, GeoRessources

La Chaire Industrielle « Georessources, exploration et traitement » créée en 2020 constitue un acte fondateur du nouveau partenariat R&D entre Orano, l'Université de Lorraine et le CNRS. Le lancement du LabCom CREGU et le soutien de l'Agence Nationale de la Recherche à la Chaire Industrielle « Géomodèle Intégré 3D d'aide à l'exploration des georessources » concrétisent cet effort de renouvellement et témoignent pour les années à venir de l'engagement et de la confiance renouvelés dans la recherche comme moteur de découvertes et d'innovations.

Cette Chaire Industrielle m'a donné l'opportunité d'initier de nouveaux projets et des collaborations autour de thématiques en adéquation avec la stratégie industrielle d'Orano et les exigences de la recherche scientifique au sein du laboratoire GeoRessources. Les actions de formation et les échanges scientifiques entre opérateurs d'Orano et chercheurs du laboratoire ont aussi marqué une volonté de partager les savoir-faire et les pratiques. Des opportunités que LabCom saura sans aucun doute renouveler.

LE PARTENARIAT ORANO-NANCY...

Vu par les ingénieurs et scientifiques d'Orano Mining

UNE RECHERCHE RECONNUE



Christian POLAK

// Strategy and business development, Orano

Nancy est le fleuron de la recherche sur les géosciences en France, c'est aussi le cœur d'une connaissance de renommée internationale sur la géologie de l'uranium. Les organismes de référence, comme l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA), reconnaissent et respectent l'excellence scientifique développée par la société civile Cregu, et demain par le LabCom CREGU.

L'appui scientifique et technique, innovant et de qualité, ont permis de développer notre indépendance pour l'approvisionnement de l'uranium, et soutenu l'industrie nationale et internationale dans ces domaines.

L'École Nationale Supérieure de Géologie de Nancy et l'Université de Lorraine forment les professionnels dont notre industrie a besoin. Ce sont des profils reconnus et recherchés à l'international.

La recherche développée en Lorraine a également été récompensée par le classement de Shanghai 2021, qui porte Nancy comme première université européenne dans la catégorie Mining & Minerals Engineering et treizième au niveau mondial.



UNE RECHERCHE DE POINTE



Nicolas FLOTTÉ

// Vice-président exploration, Orano

La création du Laboratoire Commun permet à Orano de contribuer à la pérennité de l'excellence nancéienne dans le domaine de la métallurgie de l'uranium, tout en bénéficiant d'une plateforme de collaboration moderne. Orano continuera à avoir accès aux compétences et aux équipements scientifiques tout en faisant bénéficier en retour de l'expertise scientifique de ses ingénieurs. Le Cregu continuera à exister par son nom internationalement reconnu tout en se transformant dans sa structure.

Les thèmes de travail retenus pour le laboratoire ouvrent clairement la voie à une recherche qui s'adapte aux évolutions rapides et multiples des technologies de notre époque : modélisation numérique, datasciences, intelligence artificielle, technologies de mesures sont autant d'axes de recherche appliquée qui contribuent à améliorer la connaissance géologique des gisements d'uranium et modernisent les sujets de recherche.



UN APPUI TECHNIQUE



Patrick NARDOUX

// Directeur du centre d'innovation en métallurgie

La société civile Cregu, et maintenant le LabCom Cregu, est un partenaire historique des travaux de recherche et développement du CIME (Centre d'innovation en métallurgie d'Orano - ex-SEPA). Depuis de nombreuses années, leur expérience et l'importance des moyens et équipements analytiques ont permis une complémentarité certaine avec les outils de pointe du CIME pour répondre à des questions pratiques et

à des problématiques rencontrées lors de l'exploitation des gisements d'uranium. L'innovation et l'appui technique du Cregu ont permis de renforcer certaines compétences du CIME, notamment en géologie, qui sont pérennes aujourd'hui dans le centre de R&D de la Business Unit Mines à Bessines-sur-Gartempe.



AU CŒUR DE L'INNOVATION



Eric PACQUET

// Vice-président opération et projets

Le pôle des géosciences à Nancy, c'est une contribution historique au rayonnement international de ce domaine de recherche, qui trouve sa continuation aujourd'hui avec le lancement du LabCom Cregu.

Des générations de géologues français et étrangers formés dans l'excellence scientifique à l'École Nationale Supérieure de Géologie, à l'Université de Lorraine et dans la société civile Cregu, ainsi que des interactions avec les acteurs de la recherche sur tous

les terrains d'action d'Orano dans le monde, et bien au-delà. Cet outil et l'expertise développée par ses chercheurs ont stimulé les actions des scientifiques et géologues d'Orano, que ce soit sur les terrains d'action d'Orano ou maintenant au siège de Châtillon. C'est un gage d'innovation et d'excellence qui fait de Nancy le centre de référence national et international sur la géologie de l'uranium. Il est nécessaire de pérenniser ces compétences. C'est aujourd'hui chose faite avec la création du Laboratoire Commun CREGU.

NANCY, PÔLE PHARE DE LA FORMATION

en géosciences



Cécile FABRE

// Maîtresse de conférence Université de Lorraine, GeoRessources, Responsable du département géosciences et du master sciences de la Terre, planètes et environnement



Judith SAUSSE

// Professeure Université de Lorraine, GeoRessources, Directrice de l'École Nationale Supérieure de Géologie

DE NANCY À ORANO

Un pôle de formation adapté aux besoins des entreprises

RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT



Marc BROUAND

// Géologue expert en pétrographie et minéralogie, Orano Châtillon

Après un doctorat en sciences de la Terre à Nancy, j'ai passé 18 années en tant que chargé de recherche au sein de la société civile Cregu. J'y ai réalisé des études géologiques essentiellement destinées à Cogema puis à Areva.

J'ai ensuite intégré le groupe Areva (maintenant Orano) en 2007. Fort de l'expertise acquise à Nancy, mon travail est aujourd'hui consacré à la géologie de l'uranium dans le but de mieux caractériser la composition minéralogique des minerais et de leurs encaissements afin de mieux comprendre leurs modes de formation. Mes travaux actuels portent également sur l'étude des pénalisants pouvant freiner l'exploitation du minerai, et ainsi sur l'amélioration de la production. Ces tra-

voux se font souvent en collaboration avec Nancy, via l'accès aux plateformes analytiques et l'encadrement d'étudiants ou de post-doctorants dans le cadre de projets de recherche financés par Orano.

La transmission de la connaissance sur les gisements est un point fort développé lors de sujets de recherche et développement, en collaboration avec les chercheurs et étudiants des universités, en particulier de l'Université de Lorraine. Des contrats de recherche avec le CRPG dynamisent la recherche sur la datation des différents gisements à travers le monde, du Canada aux pays d'Asie (Kazakhstan, Mongolie, Ouzbékistan) et d'Afrique (Niger, République Centrafricaine, Namibie).



ESTIMATION DES RESSOURCES



Marie-Cécile FEBVEY

// Responsable du service ressources et réconciliations, Orano Châtillon

Après l'obtention d'un diplôme d'ingénieur à l'École Nationale de Géologie de Nancy et d'un master en Géosciences et ingénieur civil, spécialisé en ressources minérales, je débute une carrière internationale qui m'amènera à travailler au Kazakhstan, en Namibie, en Nouvelle-Calédonie, aux Philippines et en Côte d'Ivoire, sur différents métaux (uranium, nickel, or) et sur différents types d'opérations (mine souterraine, à ciel ouvert et ISR). Sur ces différents sites, j'ai été impliquée sur des sujets d'exploration et de contrôle géologique.

J'ai très rapidement été amenée à réaliser des modélisations géologiques et des estimations de ressources ce qui m'ont conduite à me spécialiser en géostatistiques à l'École des Mines de Paris.

Depuis 2021, j'ai rejoint Orano comme responsable du service Ressources et Réconciliations. L'estimation des ressources minérales est un processus majeur pour la Business Units Mines d'Orano et créatrice de valeur pour le groupe.





DE LA GÉOLOGIE A LA DIRECTION D'ÉTABLISSEMENT



Régis MATHIEU

// Directeur de l'établissement Orano de Bessines

J'ai reçu une formation d'excellence scientifique à Nancy, aboutie par la réalisation d'une thèse financée par Cogema au sein de la société civile Cregu. Cette thèse m'a permis entre autres de faire une découverte majeure sur la source de l'uranium de gisements du Gabon. Mes études à Nancy ont été les piliers pour accéder à des expériences professionnelles à responsabilités et des postes avec management de premier plan au sein d'Orano. Expatrié successivement en Mongolie, au Niger, au Canada, en Centrafrique et au Kazakhstan, je finis par poser mes valises en 2017 à Bessines sur Gartempe, au cœur des racines de l'histoire de l'uranium français où j'œuvre désormais comme directeur

d'établissement. Le centre est devenu le pôle majeur de la R&D du groupe Orano dans les domaines de la santé, de l'après-mine et de la métallurgie extractive.

Au cours des 22 années suivant ma formation, j'ai été à l'origine de réussites majeures pour le groupe : la découverte de 5 000 tonnes d'uranium supplémentaires sur le projet Midwest au Canada, la publication d'une nouvelle base de données mondiales UDEPO des gisements d'uranium en 2009, la proposition d'un nouveau modèle métallogénique pour les gites atypiques de Bakouma en Centrafrique et la certification en réserves de 36 000 tonnes d'uranium au Sud Tortkuduk au Kazakhstan.

/////

GÉOLOGIE - EXPLORATION



Marah Mamadou MAMANE

// Géologue exploration Saskatoon, Orano Canada

J'ai toujours été animé par une soif de connaissance scientifique qui a été comblée à l'occasion d'une thèse et d'un post-doctorat au laboratoire GeoRessources financés par Orano sur les gisements au Niger. Je poursuis cet apprentissage aujourd'hui pour Orano en tant qu'opérationnel de l'exploration au Canada.

Mon passage dans la société civile Cregu a été marqué par plusieurs avancées majeures sur les sites industriels d'Orano : Pour l'exploration, la proposition d'un modèle de formation du gisement d'Imouraren au Niger et la proposition d'un nouveau modèle métallogénique intégratif des gisements d'uranium du bassin de Tim Mersoï (Niger). Pour l'exploitation, ces éléments ont jeté les bases de l'étude pétrophysique et minéralogique

des grès d'Imouraren avant et après tests de récupération par lixiviation in situ (ISR).

L'expertise acquise durant mon travail académique à GeoRessources me permet aujourd'hui de l'appliquer dans les sujets de recherche en relation avec la métallogénie, les data science et l'intelligence artificielle appliquées à l'exploration de l'uranium au Canada développée à Orano. Ce parcours riche facilite la mobilité et l'insertion à des équipes pluridisciplinaires, mais également des perspectives d'évolution vers une expertise scientifique et des responsabilités dans la conduite des opérations d'exploration.

LABCOM CREGU: DES COLLECTIONS UNIQUES

Des échantillons et données à vocation scientifique uniques au monde

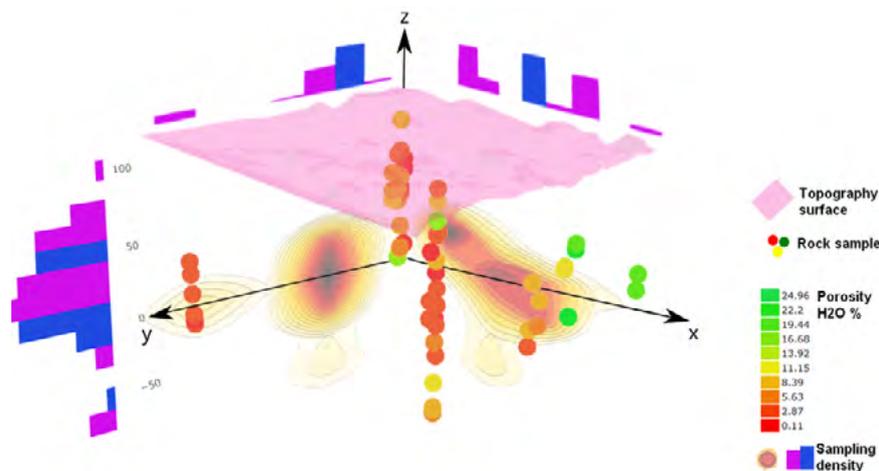
Fort de plus de 75 années d'activité de recherche sur le cycle géologique de l'uranium, le laboratoire GeoRessources dispose de la collection universitaire parmi les plus importantes au monde sur les gisements d'uranium. Cette collection est unique par son ampleur et sa diversité, provenant de quatre continents et de plus de **XX pays**. Elle regroupe aujourd'hui plus de 100 000 références, distribuées entre échantillons de roches brutes et carottages, concassées et poudres, lames minces, lames épaisses ou sections polies. Les échantillons naturels radioactifs sont conservés dans des conditions spécifiques à Nancy et sur le site de Bessines-sur-Gartempe d'Orano Mining, en parfaite conformité réglementaire avec l'Autorité de Sûreté Nucléaire.

Ce patrimoine est un outil exceptionnel pour la recherche académique, particulièrement estimé par les chercheurs nancéiens et leurs collaborateurs nationaux et internationaux, puisqu'elle présente des échantillons historiques de sites dont l'accessibilité est actuellement difficile, voire impossible (mine fermée ou site réaménagé). Orano Mining est associé à sa gestion, sa conservation et son utilisation puisqu'un nombre important d'échantillons de cette collection proviennent de sites gérés par l'entreprise. Ce catalogue est complété par des échantillons collectés par les chercheurs nancéiens au cours de missions scientifiques, financées par des contrats institutionnels ou via des collaborations avec des centres de recherche et entreprises. Cette collection, qui représente aujourd'hui **XX m³**, a donc une valeur patrimoniale inestimable et est maintenant adossée au Laboratoire Commun CREGU.

Les résultats obtenus lors de l'étude de ces collections couvrent un spectre très large d'échantillons, d'instruments et de méthodes analytiques et sont archivés et gérés dans une base de données scientifiques. La base de données scientifiques est un objectif majeur pour le laboratoire GeoRessources et Orano Mining. Par ailleurs, plusieurs initiatives visent leur valorisation dans le cadre de l'Observatoire des Sciences de l'Univers nancéien OTELo.

100 000
échantillons

< 1 million
de données



Outils de visualisation 3D des données disponibles sur les échantillons



Raphaël Pik

// Directeur de recherche CNRS, Directeur du pôle scientifique Observatoire Terre Environnement de Lorraine (OTELo)

La collection d'échantillons rattachée Labcom CREGU est associée au projet de valorisation et d'ouverture des collections d'échantillons de l'OSU OTELo lancé récemment en partenariat avec le CNRS-INSU, la Délégation Régionale Grand Est du CNRS et l'Université de Lorraine. Ce projet ambitieux de curation d'échantillons avec une très forte valeur patrimoniale s'inscrit dans une démarche de science ouverte et d'accessibilité aux collections et aux données associées, et est envisagé sur le site Jean Zay (INIST) qui présente des bâtiments adaptés.

L'ÉCOLE DE NANCY VUE DE L'ÉTRANGER

Le regard d'experts sur la recherche et la formation dédiées aux ressources du sous-sol

DES AMBASSADEURS D'UN SAVOIR FAIRE UNIQUE



Xiadong LIU

// Professeur, East China University of Technology, Nanchang, Chine

La East China University of Technology (ECUT) est l'une des plus importantes universités chinoises axée sur l'enseignement et la recherche dans le domaine du cycle du combustible nucléaire. Depuis 2000, l'ECUT et son Laboratoire National sur les Ressources Nucléaires et l'Environnement collaborent avec succès avec la société civile CREGU, le CNRS et l'Université de Lorraine dans le cadre de séminaires conjoints, sur la formation de doctorants, la publication d'articles communs et la réalisation d'études sur les gisements d'uranium et de tungstène en Chine.

Cette collaboration tire parti des méthodes et instruments innovants à Nancy, tels que la SIMS et le LA-ICP-MS. L'ECUT a également beaucoup bénéficié des missions d'experts et soutien technique des chercheurs nancéiens pour la mise en œuvre de projets avec l'AIEA. J'apprécie grandement cette collaboration au cours de ces deux dernières décennies et espère sincèrement que la coopération bilatérale s'approfondira encore à l'avenir.



DES PIONNIERS SUR LES FLUIDES GEOLOGIQUES



Larryn DIAMOND

// Professeur, Universität Bern, Suisse

La société civile Cregu, créée par B. Poty il y a plus de 40 ans, a été pionnière dans le développement de méthodes de caractérisation des fluides géologiques, depuis la création de la platine microthermométrie Chaix Mecca, la première application de la sonde Mole avec Dilor Raman sur les inclusions fluides, jusqu'au développement de l'analyse in-situ des cations par LIBS et LA-ICP-MS.

Il reste encore beaucoup à découvrir sur le rôle des fluides dans les transferts crustaux, et j'espère que le savoir-faire de la société civile Cregu sur les méthodes innovantes (technique des capillaires pour la détermination des

propriétés P-V-T-X, les modèles thermodynamiques des systèmes eau-gaz-sel) et son leadership international dans les études fluides-roches seront maintenus et renforcés.

La société civile Cregu a été un centre de formation pour de nombreux chercheurs européens dans le domaine des paléofluides et devrait continuer à l'être. Je suis ravi d'apprendre que la société civile Cregu continuera à appliquer son expertise sur les fluides géologiques aux gisements d'uranium, grâce à la création du nouveau LabCom Cregu.

DES SCIENTIFIQUES À LA POINTE



Mostafa FAYEK

// Professeur, Université of Manitoba, Winnipeg, Canada

La société civile Cregu a une longue et riche histoire de recherche sur les gisements de métaux. Au cours de 50 dernières années, ses chercheurs ont acquis une expertise exceptionnelle dans le domaine de la métallogénie de nombreux types de gisements, en particulier d'uranium.

Depuis le milieu des années 1970, la société civile Cregu a porté les recherches sur les systèmes d'uranium liés au granite et sur les gisements d'uranium liés à la discordance au Canada et en Australie. Ils disposent de laboratoires exceptionnels où les scientifiques ont été les pionniers de plusieurs techniques, notamment l'analyse des éléments traces dans les inclusions fluides et la géochronologie U-Pb des minéraux d'uranium par spectrométrie de masse à ions secondaires.

Plusieurs experts de haut niveau venus du monde entier et de nombreux jeunes scientifiques talentueux ont été formés à Nancy : Maurice Pagel, Bernard Poty, Michel Cuney, Michel Cathelineau et Philippe Holliger, entre autres. Ces scientifiques chevronnés ont formé la prochaine génération de chercheurs sur l'uranium, dont Julien Mercadier et Antonin Richard, qui travaillent maintenant à l'Université de Lorraine et au CNRS.

Ces chercheurs ont publié de nombreux articles sur le cycle géochimique de l'uranium dans des revues de haut niveau et ont dirigé plusieurs grands projets de recherche sur l'uranium. En résumé, GeoRessources grâce au nouveau LabCom Cregu restera l'un des meilleurs laboratoires au monde dans le domaine des systèmes de minerais, avec un accent particulier sur les gisements d'uranium.



DES EXPERTS HAUTEMENT QUALIFIÉS AU SERVICE DE LA SOCIÉTÉ



Adrienne HANLY

// Spécialiste de la production de l'uranium, International Atomic Energy Agency, Autriche

L'Agence Internationale de l'Énergie Atomique, l'agence de référence internationale sur l'énergie nucléaire localisée à Vienne, collabore depuis plus de deux décennies avec les chercheurs et les étudiants de l'Université de Lorraine et du CNRS basés à Nancy. Cette collaboration a été d'une valeur inestimable pour les activités liées à l'uranium et au cycle de production de la section « cycle du combustible nucléaire et des déchets » et l'AIEA.

De nombreux experts hautement qualifiés des laboratoires de l'Université de Lorraine, du CNRS et de la société civile Cregu ont apporté leur soutien à l'AIEA en participant à des réunions techniques, des symposiums, de réunions ou des ateliers de formation, mais également en coordonnant des projets de recherche ou en élaborant des documents techniques.

L'AIEA se réjouit de poursuivre et de développer de nouvelles relations avec les chercheurs de Nancy au travers du LabCom Cregu, Centre de recherche pour l'étude des gisements d'uranium, qui vient de voir le jour.

INSTRUMENTATION

Du kilomètre au micron

PUBLICATIONS MAJEURES

...

PHOTOS

...

