Proposition de thèse d'Université – Cadre géochronologique de la formation des gisements d'uranium à haute teneur du bassin de l'Athabasca (Canada)

Le Laboratoire GeoRessources, l'Institut Terre et Environnement de Strasbourg et Orano Mining collaborent dans le cadre de la Chaire Industrielle GEOMIN3D, sponsorisée par Orano et l'Agence Nationale de la Recherche, afin de développer de nouveaux outils pour l'exploration des gisements d'uranium à haute teneur du bassin de l'Athabasca. La thèse proposée se déroulera dans le cadre de cette Chaire Industrielle d'un budget de 1,4 millions d'euros qui a débuté fin 2021 pour une durée de 4 ans.

Contexte: Le bassin de l'Athabasca est considéré comme la référence mondiale pour les gisements d'uranium à haute teneur de type discordance. La formation de ces gisements exceptionnels a nécessité la conjonction de processus de très forte efficacité et le modèle couramment admis considère qu'ils résultent de circulations massives de fluides dans des pièges structuraux et physico-chimiques situés à l'intersection entre des structures riches en graphite s'enracinant dans le socle (appelées conducteurs graphiteux) et la surface de discordance du bassin de l'Athabasca. Ces gisements hydrothermaux sont ainsi tous spatialement associés à la discordance entre le bassin et le socle cristallin, et localisés le long des conducteurs graphiteux. La réactivation structurale de ces conducteurs après le dépôt du bassin est le processus clé pour la mobilisation des fluides depuis leurs réservoirs (bassin et/ou socle) puis leur circulation le long de drains (conducteurs graphiteux et autres structures secondaires associées). Cette réactivation permet la réaction des fluides avec les roches encaissantes favorables à la formation des fluides minéralisateurs et des enveloppes d'altération. L'uranium précipite ensuite massivement à partir de ces fluides minéralisateurs suivant différents mécanismes proposés : interaction des fluides hydrothermaux avec les agents réducteurs de type solides (roches), liquides et/ou gaz présents dans ou à proximité des conducteurs graphiteux.

Malgré les nombreuses recherches jusqu'ici entreprises sur ces objets et des décennies d'exploration, **plusieurs inconnues limitent notre compréhension scientifique des mécanismes de formation de ces gisements, et donc notre capacité à définir les critères de favorabilité utilisables en exploration pour les découvrir.** Par exemple, seule une fraction restreinte des conducteurs graphiteux abrite des minéralisations uranifères économiques, qui sont elles-mêmes distribuées sur des portions limitées de ces conducteurs : **quelles sont les spécificités de ces zones fertiles par rapport aux zones stériles?**

Les travaux de recherche jusqu'ici entrepris démontrent que les notions de temps et de durée sont un point clé pour comprendre ces gisements :

- Les données géochronologiques connues semblent indiquer que les circulations fluides dans les conducteurs graphiteux hydrothermalisés n'ont pas été synchrones à l'échelle du bassin, avec des âges couvrant une période de temps potentielle de plusieurs centaines de millions d'années. Dans ce laps de temps extrêmement large, y-a-t-il eu des périodes géologiques spécifiques pour la formation de gisements à haute teneur, et sont-elles par exemple différentes de celles générant des zones hydrothermalisées stériles en uranium?

- Les conducteurs graphiteux ont-ils été réactivés et minéralisés à des périodes géologiques différentes en fonction de leurs propriétés propres (orientation, pendage, longueur,…) ?

- Quels sont les moteurs géologiques de la réactivation de ces structures localisées au cœur du bouclier canadien et formées il y a environ 1,8 milliard d'années ? Y-a-t-il eu un ou des évènement(s) géodynamique(s) de grande échelle actif(s) aux marges de ce bouclier spécifiquement favorables à la formation des gisements d'uranium ?

- Les minéralisations et les altérations associées découlent de circulations de fluides hydrothermaux dont les durées et les périodicités sont très mal contraintes. Les gisements de haute teneur sont-ils liés à des circulations fluides plus longues que les zones peu à pas minéralisées (et si oui sur quelle(s) durée(s)), ou seulement à des débits de fluides minéralisateurs plus importants (plomberie plus efficace)?

- La formation des gisements géants débutée il y a 1,6 milliard d'années dans le bassin d'Athabasca peut-elle être comparable aux processus de réactivation des failles actuelles actives, et si oui sur quelle durée ?

Plan de recherche: **Ce projet a pour objectif d'apporter de nouvelles données sur le cadre géochronologique de formation des gisements d'uranium de type discordance du bassin de l'Athabasca**. Ce doctorat apportera des informations clés permettant d'aboutir à une compréhension fine et exhaustive des processus à l'origine de ces gisements. **Plusieurs objectifs sont visés** :

- *Etablissement d'une base de données regroupant l'ensemble des âges disponibles sur le bassin de l'Athabasca*. Plusieurs méthodes de datation isotopique (U-Pb, Rb-Sr, K-Ar, Ar-Ar…) ont été appliquées depuis 50 ans sur différents minéraux (oxydes

d'uranium, argiles,…) présents dans le bassin de l'Athabasca. Le premier objectif de ce doctorat est d'en faire la compilation puis l'évaluation critique (qualité analytique, représentativité spatiale et en fonction du contexte [absence ou présence de minéralisations]). Cette compilation s'appuiera sur les données publiées dans la littérature ainsi que sur les données non publiées disponibles au laboratoire GeoRessources et chez le partenaire Orano.

- *Définition de l'approche analytique et des cibles géologiques*. A partir de cette base de données, des axes prioritaires de travail seront établis : choix des cibles, des minéraux à dater (oxydes, silicates, carbonates, phosphates), des méthodes isotopiques (U-Pb, K-Ar, Ar-Ar, Rb-Sr,…) et des outils (approches in-situ ou en roche totale via dissolution). Le choix des cibles géologiques sera validé avec les acteurs (doctorants, post-doctorants, géologues) travaillant sur le bassin de l'Athabasca au sein de la chaire GeomIn3D, des projets partenaires et chez Orano.

- *Mission de terrain sur les cibles :* des missions de terrain seront réalisées sur le bassin de l'Athabasca en lien avec les acteurs industriels actifs sur ce site, permettant d'étudier en détail ces cibles et de prélever les échantillons clés qui seront étudiés à Nancy.

- *Application des méthodes géochronologiques*. Les datations seront réalisées au laboratoire GeoRessources et chez des laboratoires partenaires (CRPG Nancy, ETH Zurich, GFZ Potsdam, Geosciences Montpellier, Geosciences Rennes). Ce travail pourra s'appuyer sur **le développement de nouvelles méthodes de datation isotopique** qui seront développées en association avec les chercheurs et ingénieurs. **L'objectif est d'apporter des contraintes temporelles les plus précises possibles suivant le matériel disponible** en utilisant des techniques de pointe appliquées à l'échelle de minéraux séparés (ID-TIMS) ou au sein d'un minéral (LA-ICP-MS et microsonde ionique). **La notion de durée sera aussi considérée via des tentatives de multi-datation au sein d'un gisement.** Des gisements fortement minéralisés et des zones pauvres à non minéralisées seront comparés pour définir les possibles épisodes temporels spécifiques à l'origine des minéralisations riches.

Conditions de travail*:* Le doctorant sera employé du CNRS. La thèse sera réalisée à l'Université de Lorraine, au laboratoire GeoRessources. Des missions à Orano Châtillon et Orano Canada à Saskatoon permettront une bonne coordination avec les actions en cours chez le partenaire industriel. Des missions spécifiques sur le bassin de l'Athabasca permettront l'échantillonnage nécessaire à la réalisation de ce travail, en complément des échantillons déjà disponibles à Nancy et chez Orano. Des missions dans des laboratoires partenaires seront effectuées pour compléter les instruments et méthodes disponibles à Nancy. Cette thèse s'intègre dans la Chaire Industrielle GeomIn3D qui soutient plusieurs actions de recherche (thèse, post-doctorat, ingénieur) ciblées sur le bassin de l'Athabasca. Le doctorant travaillera en étroite collaboration avec les doctorants et post-doctorants portant ces actions, et sera intégré au laboratoire commun CREGU (Centre de Recherche et d'Etude des Gisements d'Uranium) qui regroupe dans un cadre plus large l'ensemble des actions de recherche sur l'uranium à Nancy.

GeoRessources fait partie de l'Université de Lorraine (http://welcome.univ-lorraine.fr/), qui est l'une des premières institutions d'enseignement supérieur en Europe avec plus de 55 000 étudiants et 60 laboratoires de recherche. L'Université de Lorraine se classe 17ème au classement de Shanghai 2022 dans la catégorie « Mines et Génie Minéral », première université européenne dans ce domaine d'activité, grâce aux activités de GeoRessources. Nancy est l'un des centres de formation en geosciences parmi les plus importants d'Europe, avec 4 laboratoires accueillant plus de 300 chercheurs et 1000 étudiants. Georessources est le laboratoire académique français de référence sur l'étude du sous-sol, avec des activités ciblées sur les transitions énergétiques et de société (http://georessources.univ-lorraine.fr/).

Le doctorant bénéficiera d'accès à un parc analytique dédiés aux sciences de la Terre parmi les plus importants de France avec la présence de plusieurs plateformes dédiées. Le doctorant s'appuiera particulièrement sur des instruments du type microscope électronique à balayage, micro-XRF, micro-tomographie, microsonde électronique pour la sélection des minéraux à dater, et sur l'ablation laser couplée à un ICP-MS, la microsonde ionique, et l'ID-TIMS pour les datations isotopiques.

Candidature: La candidature devra être reçue avant le **1er Ocotbre 2022**, pour un début de thèse au plus tôt. Elle inclura les documents suivants: (i) une lettre de motivation mentionnant les expériences de recherche et centres d'intérêts, (ii) un curriculum vitae détaillé incluant une liste de publications, (iii) les noms, adresses et numéro de téléphone de deux référents, (iv) le rapport de Master 2. Elle devra être envoyée par messagerie électronique à : Julien Mercadier (julien.mercadier@univ-lorraine.fr)