



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

**COMMISSION GÉOLOGIQUE DU CANADA
DOSSIER PUBLIC 9153**

**Géosciences et données sur les minéraux critiques :
liste des sous-activités proposées pour 2023-2024**

B. Trerice, E.G. Potter, G. Buller, B. Koné et S. Cotroneo

2024

Canada 

**COMMISSION GÉOLOGIQUE DU CANADA
DOSSIER PUBLIC 9153**

**Géosciences et données sur les minéraux critiques : liste des
sous-activités proposées pour 2023-2024**

B. Trerice, E.G. Potter, G. Buller, B. Koné et S. Cotroneo

2024

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre des Ressources naturelles, 2024

Le contenu de cette publication ou de ce produit peut être reproduit en tout ou en partie, et par quelque moyen que ce soit, sous réserve que la reproduction soit effectuée uniquement à des fins personnelles ou publiques mais non commerciales, sans frais ni autre permission, à moins d'avis contraire.

On demande seulement :

- de faire preuve de diligence raisonnable en assurant l'exactitude du matériel reproduit;
- d'indiquer le titre complet du matériel reproduit et le nom de l'organisation qui en est l'auteur;
- d'indiquer que la reproduction est une copie d'un document officiel publié par Ressources naturelles Canada (RNCAN) et que la reproduction n'a pas été faite en association avec RNCAN ni avec l'appui de celui-ci.

La reproduction et la distribution à des fins commerciales sont interdites, sauf avec la permission écrite de RNCAN. Pour de plus amples renseignements, veuillez communiquer avec RNCAN à copyright-droitdauteur@rncan-rncan.gc.ca.

Lien permanent : <https://doi.org/10.4095/332395>

On peut télécharger cette publication gratuitement à partir de GEOSCAN (<https://geoscan.rncan.gc.ca/>).

Notation bibliographique conseillée

Trerice, B., Potter, E.G., Buller, G., Koné, B. et Cotroneo, S., 2024. Géosciences et données sur les minéraux critiques : liste des sous-activités proposées pour 2023-2024; Commission géologique du Canada, Dossier public 9153, 11 p. <https://doi.org/10.4095/332395>

Les publications dans cette série ne sont pas révisées, elles sont publiées telles que soumises par les auteurs.

ISSN 2816-7163
ISBN 978-0-660-69397-2
Catalogue No. M183-2/9153F-PDF

Table des matières

Contenu

Géosciences et données sur les minéraux critiques.....	1
Objectifs du programme de l’initiative GDMC.....	1
Description des projets et des activités de l’initiative GDMC (2023-2028).....	2
Modèle logique GDMC.....	4
Sous-activités proposées de l’initiative GDMC (2023 – 2024).....	5
Activité 1.1 : Ressources minérales critiques	5
Activité 1.2 : Méthodes d’analyse des minéraux critiques	6
Activité 2.1 : Sources classiques	6
Activité 2.2 : Sources non classiques	7
Activité 3.1 : Intelligence artificielle et apprentissage profond	9
Activité 3.2 : Principes environnementaux, sociaux et de gouvernance (ESG)	11

Géosciences et données sur les minéraux critiques

L'initiative Géosciences et données sur les minéraux critiques (GDMC) de la Commission géologique du Canada s'inscrit dans la stratégie du gouvernement canadien visant à renforcer les chaînes d'approvisionnement en minéraux critiques nécessaires à l'économie verte et numérique. L'initiative se concentrera sur 14 minéraux critiques figurant sur la liste des minéraux critiques du Canada (cobalt, cuivre, germanium, graphite, indium, lithium, nickel, niobium, éléments des terres rares, scandium, tellure, tungstène, vanadium et zinc) qui sont essentiels au développement économique durable, mais sont, dans certains cas, soumis à un approvisionnement national limité et/ou à des perturbations de la chaîne d'approvisionnement à l'échelle mondiale.. Ces minéraux sont vitaux pour un vaste éventail d'industries, notamment celles de la technologie, de l'énergie, de la défense et des infrastructures, et sont indispensables à la fabrication d'une vaste gamme de produits, dont les batteries, l'électronique et les matériaux d'infrastructure. Les résultats de l'initiative fourniront des informations de base pour les décisions relatives au développement des ressources et aux investissements, tout en soutenant la croissance des industries canadiennes qui dépendent de ces ressources minérales essentielles.

Objectifs du programme de l'initiative GDMC

Objectif global du programme :

- fournir des données géoscientifiques de calibre mondial dans l'intérêt du bien public afin de réduire les risques pour les décisions d'investissement des secteurs public et privé et d'accroître la compétitivité du Canada dans l'exploitation de ses ressources minérales essentielles.

Objectifs détaillés du programme :

- améliorer les actifs de données et de modélisation des ressources minérales essentielles du Canada afin de délimiter les trajectoires et les chaînes de valeur ESG;
- accroître les avantages économiques pour les communautés nordiques et isolées grâce à l'accès à des données exactes et de pointe appuyant la prise de décisions concernant les projets d'exploration des minéraux critiques et d'infrastructure minière;
- effectuer la caractérisation géoenvironnementale complète des ressources minérales critiques guidée par les principes ESG;
- accroître la sensibilisation des minéralurgistes aux possibilités offertes par les minéraux critiques;
- améliorer la compréhension de la valeur des minéraux critiques dans les déchets miniers en tant que source potentielle de minéraux critiques.

Apprentissages visés par le programme :

- développer et améliorer l'expertise dans les minéraux critiques au Canada afin de réduire la dépendance de l'approvisionnement à l'égard d'autres pays;

- accélérer l'accès aux marchés nationaux et étrangers pour les principaux minéraux critiques canadiens;
- améliorer l'accès aux marchés grâce à des scénarios d'approvisionnement modélisés qui relieront les données sur les ressources minérales critiques et l'exploitation minière à l'analyse du marché afin d'optimiser la réactivité aux changements du marché;
- réduire les risques liés aux décisions d'investissement des secteurs public et privé et accroître la compétitivité du Canada dans le développement de ses ressources minérales critiques en mettant à la disposition du public des connaissances géoscientifiques de calibre international.

Description des projets et des activités de l'initiative GDMC (2023-2028)

SOLUTION 1 : BASE DE CONNAISSANCES SUR LES MINÉRAUX CRITIQUES

Description : Programme complet d'échantillonnage et d'analyse servant à déterminer les teneurs et les associations des minéraux critiques dans les gisements minéraux du Canada et les produits dérivés (minerais, concentrés, minéraux, résidus miniers et déchets). Ces informations clés sont nécessaires pour estimer les ressources minérales critiques, obtenir des informations sur la valeur potentielle et les options d'approvisionnement, fournir des données géoscientifiques pour tracer les minéraux critiques à travers les chaînes d'approvisionnement et réaliser une modélisation économique solide. Toutes les données générées seront librement accessibles au public.

Activités :

Ressources minérales critiques (responsable d'activité : Michael Parsons, CGC-Atlantique)

Description : Programme complet d'échantillonnage et d'analyse servant à déterminer les teneurs et les associations des minéraux critiques dans les gisements minéraux du Canada et les produits dérivés (minerais, concentrés, minéraux, résidus miniers et déchets).

Méthodes d'analyse des minéraux critiques (responsable d'activité : Duane Petts, CGC-Ottawa)

Description : Élaboration d'outils analytiques ou de méthodologies de pointe pour quantifier avec précision les associations et les contenus de minéraux critiques dans les gisements minéraux du Canada et les produits dérivés (minerais, concentrés, minéraux, résidus et déchets).

SOLUTION 2 : ÉTUDES DES SYSTÈMES RELATIFS AUX MINÉRAUX CRITIQUES

Description : Recherche géoscientifique thématique axée sur les sources classiques, ainsi que sur les sources nouvelles, émergentes ou non classiques des 14 minéraux critiques prioritaires (annexe 2). Les données serviront à orienter la modélisation du potentiel minéral et seront prises en compte dans l'évaluation environnementale et les informations ESG (voir la solution 3). Cette recherche est nécessaire à la compréhension complète du potentiel des ressources minérales critiques dans l'ensemble du Canada afin de maximiser la production de minéraux critiques à partir de ressources autant nouvelles qu'existantes pour répondre à la demande prévue. La recherche proposée se concentrera sur les nouvelles sources qui ont le plus grand potentiel de mise en production rapide à

faibles répercussions sur l'environnement. Le Canada pourra ainsi se positionner à titre de leader mondial dans la découverte, le développement et la production de gisements de minéraux critiques.

Activités

Sources classiques (responsable d'activité : Anne-Aurélié Sappin, CGC-Québec)

Description : Recherche géoscientifique thématique axée sur les sources classiques des 14 minéraux critiques prioritaires du CMDG (annexe 2).

Sources non classiques (responsables d'activité : Wouter Bleeker et Jan Peter, CGC-Ottawa)

Description : Recherche géoscientifique thématique axée sur les sources nouvelles, émergentes ou non classiques des 14 minéraux critiques prioritaires du CMGD (annexe 2), comme les saumures, les argiles, les boues, l'eau de mer, les roches stériles, les évaporites, les phosphates, les champs gazeux (hydrogène et hélium), la cendre de charbon, les argiles de charbon, etc.

SOLUTION 3 : GÉOSCIENCE PRÉDICTIVE AVANCÉE

Description : Analyses avancées qui favorisent une prise de décisions solide et respectueuse de l'environnement en matière d'exploration, de production et de commercialisation des minéraux critiques. Le but est de fournir des évaluations du potentiel géologique, ainsi que des facteurs ESG et de faisabilité économique au début du cycle d'exploration, afin de réduire les risques liés à l'exploration minérale et d'accélérer le développement des projets. Les renseignements sur les minéraux reposeront sur des données géologiques, géochimiques et géophysiques, ainsi que sur les informations relatives à production, les coûts d'investissement et d'exploitation, et l'accès aux infrastructures (routes, chemins de fer, électricité, transport maritime, etc.). À l'heure actuelle, les données nécessaires à une prise de décisions éclairée sont fragmentées et hébergées par de multiples ministères et organismes gouvernementaux, ainsi que par d'autres fournisseurs de données, le tout dans une myriade de formats. Les ensembles de données seront complétés ou créés, au besoin. Les ensembles de données et les nouvelles connaissances découlant des solutions 1 et 2, par exemple, fourniront des informations essentielles sur les éventuels coproduits et sous-produits de minéraux critiques qui pourraient avoir une incidence positive sur la faisabilité d'un gisement particulier et accélérer la production. Ces ensembles de données seront fiables, faciles à trouver, interopérables et mis à la disposition du public pour des fins de recherche et d'analyse.

Activités

Intelligence artificielle et apprentissage profond (responsable d'activité : Mohammad Parsasadr, CGC-Ottawa)

Description : Élaboration d'outils et de méthodes d'intelligence artificielle pour tenir compte de la prospectivité géologique, de la faisabilité économique et du rendement du capital investi (prise en compte notamment des prix des produits de base et des coûts d'exploitation, à diverses tailles et teneurs, redevances variées, etc.), ainsi que des aspects environnementaux, sociaux et de gouvernance (espèces en péril, ressources en eau douce, stockage du carbone, risques climatiques, etc.) afin de concentrer les efforts d'exploration, de réduire les risques et de soutenir le développement durable.

Principes environnementaux, sociaux et de gouvernance (ESG) (responsable d'activité : Christopher Lawley, CGC-Ottawa)

Description : Élaboration d'outils et de méthodologies pour tenir compte des principes environnementaux, sociaux et de gouvernance (ESG) dans un contexte de minéraux critiques. Les propositions de recherche qui intègrent les connaissances des systèmes minéraux pour améliorer le rendement ESG sont particulièrement encouragées. De nouvelles méthodes de validation sont également nécessaires à la mesure du rendement en matière de critères ESG conformément à de multiples normes internationales.

SOLUTION 4 : ÉVALUATIONS DE MARCHÉ

Description : Évaluations de la criticité des minéraux pour les consommateurs et les fournisseurs au Canada. Ces évaluations de produits critiques compileront la production, l'exportation, l'importation, la consommation et la dépendance à l'égard des sources extérieures de minéraux critiques. Les évaluations seront robustes, actualisables et menées du point de vue des consommateurs et des fournisseurs canadiens. Elles amélioreront la capacité du Canada à maximiser son potentiel futur dans l'économie mondiale des minéraux critiques. Les évaluations de la criticité s'appuieront sur les résultats des solutions 1 à 3 et intégreront des informations sur le marché et des prévisions sur les produits de base.

Activités

Évaluations des produits (dirigées par les directions générales des politiques et de l'économie et des risques, de l'adaptation et des opérations)

Description : Sans objet

Collaborations internationales (responsable d'activité : Michael Gadd, CGC-Calgary)

Description : Collaborations dans le cadre de l'Initiative de cartographie des minéraux critiques (CCMI), y compris l'élaboration de nouvelles collaborations géoscientifiques liées aux 14 minéraux critiques prioritaires avec les commissions géologiques nationales.

Modèle logique GDMC

Résultats à court terme :

- Développement d'un programme axé sur les géosciences des minéraux critiques de sources classiques (dépôts de métaux communs et précieux hébergés dans le socle rocheux qui ont joué un rôle important dans le développement économique du Canada) et non classiques (roches stériles, résidus miniers, saumures de champs pétrolifères, etc.) au Canada, en mettant l'accent sur l'offre de données publiques et les applications de l'intelligence artificielle et de l'apprentissage profond.

Résultats à moyen terme :

- Amélioration des données et de la modélisation des ressources minérales essentielles du Canada afin de délimiter les trajectoires et les chaînes de valeur ESG.
- Amélioration des avantages économiques pour les communautés nordiques et isolées grâce à l'accès à des données exactes et à jour pour la prise de décisions concernant les projets d'exploration minérale et d'infrastructure minière relativement aux minéraux critiques.

- Caractérisation géoenvironnementale et ESG complète des ressources minérales critiques.
- Sensibilisation accrue des minéralurgistes aux possibilités offertes par les minéraux critiques.
- Meilleure compréhension de la valeur des minéraux critiques dans les déchets miniers en tant que source potentielle de minéraux critiques.

Résultats à long terme :

- Solide expertise dans les minéraux critiques au Canada afin de réduire la dépendance de l’approvisionnement à l’égard d’autres pays.
- Accélération de l’accès aux marchés nationaux et étrangers pour les principaux minéraux critiques canadiens.
- Amélioration de l’accès aux marchés grâce à des scénarios d’approvisionnement modélisés qui relieront les données sur les ressources minérales critiques et l’exploitation minière à l’analyse du marché afin d’optimiser la réactivité aux changements du marché.
- Atteinte de l’objectif par la génération de données géoscientifiques de calibre mondial dans l’intérêt du public qui permettra de réduire les risques pour les décisions d’investissement des secteurs public et privé et d’accroître la compétitivité du Canada dans l’exploitation de ses ressources minérales essentielles.

Extrants :

- Élaboration et diffusion publique de produits de connaissances géoscientifiques comprenant des conseils d’experts, des synthèses, des données, de l’information, des articles évalués par des pairs, des cartes nationales du potentiel minéral, des modèles prédictifs, des bases de données, des atlas et des outils.
- Formation et encadrement de la prochaine génération de professionnels hautement qualifiés dans le domaine des géosciences.

Sous-activités proposées de l’initiative GDMC (2023 – 2024)

Solution 1 : Base de connaissances sur les minéraux critiques

Activité 1.1 : Ressources minérales critiques

Titre de la sous-activité	Chercheur principal	Description de la sous-activité
Ressources minérales critiques dans les résidus de l’ancienne mine Saint-Lawrence Columbiun, Oka (Québec)	Desbarats, Alexandre	La sous-activité fournira un rapport et des ensembles de données sous forme de dossier public qui caractérisent la minéralogie, la géochimie et la granulométrie des ressources minérales critiques dans les résidus de l’ancienne mine Saint-Lawrence Columbiun (SLC) à Oka, au Québec. Les minéraux critiques d’intérêt sont le niobium (Nb), que l’on retrouve dans le pyrochlore non récupéré, et les éléments des terres rares (ETR) et le P retrouvés dans l’apatite. L’étude fournira également des estimations des ressources (non conformes à la norme AI 43-101) et une caractérisation des minéraux nocifs (sulfures et argiles) qui pourraient avoir une incidence sur la récupération des minéraux critiques pendant le retraitement des résidus.
Interface API du système de gestion des échantillons	Quat, Marianne	Le Système de gestion des échantillons doit être modernisé afin de transmettre adéquatement les données avec d’autres applications et enquêtes de l’initiative GDMC. La première étape essentielle consiste à créer une interface API entre l’application Web et la base de données Oracle. Cette interface API permettra à de nombreux autres systèmes d’utiliser les données et permettra au SGS d’accroître la fonctionnalité et la migration éventuelle d’Oracle et d’un serveur physique vieillissant vers une solution infonuagique.

		D'autres améliorations (dictionnaires et interface) peuvent également être apportées pour intégrer le flux de travail des études sur le terrain de l'initiative GDMC, l'intelligence artificielle et les activités d'apprentissage profond.
L'apatite, le minéral critique oublié : une manne potentielle de résidus de P et de ETR	Kjarsgaard, Bruce	La sous-activité sera principalement axée sur la caractérisation de la teneur en ETR et en P de l'apatite, ainsi que sur la teneur en pyrochlore (de même que, possiblement en perovskite du Nouveau-Brunswick et en fersmite) dans les résidus de l'ancienne mine Saint-Lawrence Columbian (SLC) à Oka, au Québec. À titre de validation de principe, il est proposé de prélever un échantillon de résidus miniers de 200 kg, qui sera envoyé au Conseil de recherche de la Saskatchewan (CRS) pour la séparation et le rétablissement de l'apatite (et du pyrochlore). L'apatite récupérée subira une hydrométallurgie au CRS pour produire un carbonate d'ETR mélangé de haute pureté (< 1 ppm Th, U), qui peut ensuite être utilisé dans le traitement en aval pour produire des séparations individuelles d'éléments des terres rares.

Activité 1.2 : Méthodes d'analyse des minéraux critiques

Titre de la sous-activité	Chercheur principal	Description de la sous-activité
s.o.	s.o.	s.o.

Solution 2 : Études des systèmes relatifs aux minéraux critiques

Activité 2.1 : Sources classiques

Titre de la sous-activité	Chercheur principal	Description de la sous-activité
Contrôles de la distribution et de la morphologie des pegmatites à métaux rares	Cawood, Tarryn	<p>Les pegmatites à métaux rares contiennent trois des 14 minéraux critiques prioritaires (lithium, niobium et éléments des terres rares), ainsi que d'autres minéraux critiques (césium, tantale, bismuth, fluor, étain, titane et uranium). Cependant, l'exploration des pegmatites à métaux rares est entravée par l'absence d'un modèle robuste du système minéral qui est nécessaire pour estimer leur distribution à l'échelle régionale et évaluer si une zone peut accueillir un groupe de pegmatites ou de pegmatites à métaux rares d'après une taille et géométrie (morphologie) qui permettraient leur exploitation et leur traitement de façon économique.</p> <p>Le projet permettra donc d'étudier les contrôles géologiques à l'échelle régionale de la distribution de la pegmatite à métaux rares, ainsi que les contrôles à l'échelle régionale et des gisements visant la taille et la géométrie des pegmatites à métaux rares, par 1) la création et l'interrogation d'un inventaire à jour des pegmatites à métaux rares au Canada, 2) des études de cas détaillées sur les principaux groupes de pegmatites et 3) la poussée mondiale actuelle de la recherche sur les pegmatites porteuses de Li en intégrant des études publiées de partout dans le monde.</p>
Minéraux encaissés dans des carbonatites	Kjarsgaard, Bruce	Les carbonatites abritent des mines et des gisements de minéraux critiques (ETR, Nb, P, etc.). À l'heure actuelle, les modèles d'exploration consistent à « trouver une carbonatite » ou en « voici comment on trouve une carbonatite ». De multiples modèles distincts de gisements critiques de minerais hébergés par carbonatite sont requis pour 1) les ETR, 2) le Nb, 3) le P, et le projet traitera de ces enjeux grâce à une géochronologie moderne et des recherches isotopiques sur les mines et les gisements

		carbonatites canadiens bien caractérisés, de même qu'à des études expérimentales des ETR, du Nb, du P soluble et des minéraux critiques (p. ex. bastnésite, pyrochlore, apatite) dans les fondants et les fluides. Il en résultera de solides modèles de gisements de minerai pour les minéraux critiques dans les carbonatites, afin d'améliorer le succès de l'exploration.
Potentiel des éléments des terres rares et à forte intensité de champ et contrôles dans les dépôts de magnétite-apatite	Kjarsgaard, Bruce	Le projet explorera les concentrations de plusieurs minéraux critiques pour le Canada, y compris les éléments des terres rares (ETR) et le phosphore (P) dans l'apatite des minerais de magnétite-apatite de la zone magmatique du Grand Ours (Territoires du Nord-Ouest), ainsi que la minéralisation de niobium (Nb) et uranifère (U). Les contrôles géologiques clés sur la façon dont ces éléments peuvent être concentrés dans ces roches seront déterminés. Des études préliminaires d'autres minerais semblables de magnétite-apatite ont montré que ces roches ont un potentiel inexploité d'héberger ces minéraux critiques, et cette recherche fournira une base pour comprendre les processus et les facteurs clés qui génèrent des concentrations anormales de ces éléments qui sont essentiels aux nouvelles technologies d'énergie verte et d'infrastructure.
Réévaluation de la minéralisation du cuivre stratoïde dans des roches sédimentaires au Nouveau-Brunswick et en Nouvelle-Écosse après 30 ans de latence scientifique	Pinet, Nicolas	Au cours des 30 dernières années, très peu d'études ont porté sur les nombreuses occurrences de cuivre stratoïde dans des roches sédimentaires au Nouveau-Brunswick et en Nouvelle-Écosse. Ce projet mettra à jour nos connaissances sur ce type de minéralisation en comblant les lacunes dans les connaissances dans le contexte des récents modèles géologiques de l'évolution du bassin et des nouvelles approches et méthodes.

Activité 2.2 : Sources non classiques

Titre de la sous-activité	Chercheur principal	Description de la sous-activité
Mécanismes non classiques pour l'enrichissement en zinc et vanadium après la dégradation des matières organiques	Cesar Colmenares, Jaime	La sous-activité étudiera les mécanismes à l'origine de l'enrichissement en zinc et vanadium après la biodégradation de molécules organiques dans la subsurface. Le mécanisme est entièrement nouveau et pourrait être unique au bassin sédimentaire de l'Ouest canadien. Le projet tire parti des connaissances sur les systèmes pétroliers et les transfère à la prospection minérale essentielle.
Ressources et sources de lithium dans les saumures des champs pétrolifères de l'Ouest canadien	Jiang, Chunqing	La sous-activité proposée consiste à évaluer les ressources et les origines ou la genèse du lithium dans les saumures de champs pétrolifères associées aux productions passées et actuelles de pétrole et de gaz dans l'Ouest canadien. L'évaluation des ressources sera effectuée 1) en cartographiant les répartitions géographiques et stratigraphiques des saumures de champs pétrolifères actuellement produites à l'aide de données provenant de divers organismes de réglementation, 2) en établissant des modèles pour estimer les ressources potentielles en saumure par l'intégration de diagraphies géophysiques des puits, ainsi que les abondantes données sur la chimie de l'eau obtenues précédemment sur des échantillons d'eau de formation prélevés à partir d'essais aux tiges de forage et de production de pétrole et de gaz, 3) en obtenant de nouveaux échantillons de saumure de champs pétrolifères auprès des exploitants et en mesurant leurs propriétés chimiques, y compris la teneur en lithium, afin d'élargir la base de données géochimiques sur la saumure de lithium, 4) en déterminant des substituts pour la teneur en lithium en fonction des données disponibles sur la composition chimique de l'eau et, enfin, 5) en cartographiant la distribution des ressources en saumure de lithium. La recherche des sources de lithium dans les saumures sera effectuée 1) en interprétant la géochimie de l'eau et des roches dans des cadres géologiques pour élucider les sources de lithium et d'autres minéraux critiques et 2) en

		intégrant des expériences de lixiviation et de digestion en laboratoire sur le lithium-roches riche avec modélisation géochimique pour comprendre les interactions eau-roche et le transport et l'accumulation de fluides aqueux et minéraux dans la subsurface.
Distribution des minéraux critiques et potentiel des ressources dans les déchets miniers historiques des provinces maritimes	Parsons, Michael	Le projet examinera les minéraux critiques présents dans les résidus historiques de mines de métaux communs dans les provinces maritimes, en mettant l'accent sur les produits primaires (p. ex. cuivre, nickel, zinc) et les éléments de sous-produits (p. ex. germanium, indium, tellurium). L'objectif principal est de caractériser les effets de l'altération à long terme sur la répartition spatiale et les hôtes minéraux de ces éléments dans les déchets miniers et d'étudier les méthodes les plus efficaces de retraitement pour la récupération des minéraux critiques. Ces connaissances sont essentielles pour évaluer la valeur potentielle des minéraux critiques dans les déchets miniers et les répercussions environnementales des futures activités de retraitement.
Distribution, précipitation et abondance de minéraux critiques dans la province de Grenville et leur lien avec les systèmes magmatiques alcalins potassiques et ultrapotassiques	Soltanmohammadi, Azam	Le projet vise à évaluer la distribution de minéraux critiques, comme le Li et les ETR, dans les systèmes magmatiques potassiques et ultrapotassiques de la province de Grenville en tant que nouveau réservoir potentiel de minéraux critiques inexploré dans le pays. L'équipe définira la distribution spatiale et temporelle des minéraux critiques dans les intrusions et les roches encaissantes connexes, ainsi que la manière dont ils se forment par rapport à l'architecture et à la composition chimique de la lithosphère et de la croûte. Grâce à une approche multidisciplinaire approfondie, l'équipe évaluera les paramètres physiques et chimiques critiques contrôlant l'enrichissement en Li et en ETR de magmas primaires, depuis leur source de manteau jusqu'à leur emplacement. Elle abordera également la façon dont ces minéraux critiques peuvent être enrichis davantage lors de la différenciation et de la mobilisation hydrothermale lorsque les systèmes de fluide/fusion riches en potasse interagissent et se redistribuent dans les roches métasédimentaires et métaignées encaissantes.
Caractérisation de la teneur en métaux critiques et de leur minéralogie dans les dépôts de résidus au Canada.	Smith, Jennifer	Les résidus historiques au Canada représentent une source importante possible de métaux non récupérés. À l'heure actuelle, toutefois, la teneur en métaux et le potentiel futur des déchets miniers ne sont pas bien définis. Ce projet commencera à évaluer le potentiel en minéraux critiques des résidus de la mine d'or Hemlo en Ontario. Cette mine, avec sa minéralogie complexe, abrite une gamme diversifiée de métaux prioritaires, y compris V, W, Te, Mo et Sb. L'objectif principal est de caractériser les métaux critiques présents et d'évaluer quels métaux sont potentiellement importants sur le plan économique. Ce projet cernera également la façon dont ces métaux résident (c.-à-d. la minéralogie hôte) dans les résidus et leur répartition spatiale dans ceux-ci.
Étude de faisabilité de l'enrichissement en métaux critiques par fractionnement des métaux sur différentes tailles de particules dans l'eau	Zheng, James	En utilisant le fractionnement des métaux critiques de différentes tailles de particules colloïdales dispersées dans l'eau par les activités minières et les résidus miniers, ces métaux présents dans les effluents des mines pourraient y être récupérés, ce qui réduirait leur quantité dans l'eau traitée au moyen d'une méthode de filtration par écoulement tangentiel. La mise à l'essai de cette technique sur certains sites miniers vise à évaluer la récupération de métaux critiques dispersés dans l'eau traitée et non traitée provenant des activités minières et de traitement. L'objectif final de cette étude est de produire des métaux critiques à partir des eaux provenant des activités minières et de traitement.

Solution 3 : Géoscience prédictive avancée

Activité 3.1 : Intelligence artificielle et apprentissage profond

Titre de la sous-activité	Chercheur principal	Description de la sous-activité
Compilation de cartes géologiques du Canada	Lawley, Chris	Des cartes géologiques précises, fiables et à haute résolution sont essentielles pour évaluer le potentiel du Canada à découvrir de nouveaux gisements de minéraux critiques. Cependant, la plus récente compilation numérique de la géologie du substratum rocheux du Canada a été achevée en 1996 et ne tient pas compte de toutes les avancées en matière de connaissances, de techniques et de données géoscientifiques acquises au cours des quelque 30 dernières années. La Compilation de cartes géologiques du Canada (CGMC) tirera parti du traitement du langage naturel avec les meilleures cartes géologiques du socle rocheux disponibles pour fournir une couverture complète des terres et des zones extracôtières du Canada et ainsi combler cette lacune en matière de connaissances.
Plus de données, moins d'incertitude – Réduire les risques liés à l'exploration grâce à l'analyse de l'incertitude	Zhang, Steven	Des cartes de prospectivité fiables et fondées sur des données sont l'une des priorités du Comité national des commissions géologiques (CNCG) et un résultat souhaitable clé pour permettre une exploration rapide et efficace des minéraux critiques du Canada. Cependant, l'incertitude associée à la prospectivité géologique est largement inconnue, ce qui représente un obstacle technique à l'adoption de toute carte de prospectivité pour les décisions relatives à l'utilisation des terres ou à l'exploration plus poussée. Nous proposons une série d'études sur des méthodes efficaces qui pourraient définir l'incertitude associée à la prospectivité en mettant l'accent sur les produits minéraux critiques prioritaires du Canada.
Modélisation prospective à multiples échelles des minéraux critiques prioritaires du Canada	Parsasadr, Mohammad	Les modèles de prospectivité géologique à multiples échelles sont l'une des priorités du Comité national des commissions géologiques (CNCG). Ils contribuent également aux priorités géoscientifiques de la Commission géologique du Canada, à savoir la gestion de l'utilisation des terres et la réduction des risques. Les modèles de prospectivité géologique et leurs incertitudes quantifiées sont au cœur de la prise de décisions pour les campagnes d'exploration de minéraux critiques, ce qui aide à réduire les risques associés aux relevés d'exploration. Dans le document, un système de ciblage d'exploration adaptative en plusieurs étapes est proposé et appliqué à la modélisation de la prospectivité géologique et de l'incertitude à multiples échelles d'une série de minéraux critiques prioritaires du Canada.
Modernisation de nos collections et de nos données : inventaire des photographies aériennes de la Section de surface	Paulen, Roger et McMartin, Isabelle	Depuis les années 1960 jusqu'à l'heure actuelle, des photos aériennes annotées se trouvant dans de nombreuses salles de la CGC (p. ex. G70, 283, bureaux personnels) ont été utilisées par les programmes de recherche de la CGC. L'objectif de la sous-activité est de moderniser la collection en documentant et en archivant adéquatement les endroits où la CGC a cartographié la géologie de surface au Canada. L'archivage adéquat de cette précieuse collection de photos aériennes est important, car il rendra une ressource de référence précieuse accessible pour les futurs travaux de la CGC, de RNCAN, d'autres ministères (p. ex. le BGCN) et des intervenants externes.
Imagerie géophysique de la structure lithosphérique pour guider la modélisation prédictive des systèmes minéraux critiques	Lee, Ben et Tschirhart, Victoria	La recherche proposée comblera les lacunes dans les ensembles de données géophysiques à vision profonde dans la région des Quatre-coins qui comprend la frontière entre le nord de la Saskatchewan, le nord du Manitoba, le sud-est des Territoires du Nord-Ouest et le sud du Nunavut. En élargissant la couverture magnétotellurique dans cette région, qui accueille de nombreux gisements minéraux et métalliques critiques (p. ex. Cu, Ni, ETR), la recherche proposée améliorera l'exactitude de la cartographie prospective guidée par l'intelligence artificielle dans l'ensemble du Canada. Les résultats de cette étude fourniront des renseignements précieux sur la structure lithosphérique contrôlant la

		richesse minérale dans cette région et orienteront la modélisation de la structure lithosphérique à l'échelle nationale, ce qui nous permettra de mieux comprendre la prospectivité minérale 3D du Canada.
Élaboration de méthodes d'apprentissage profond pour améliorer la cartographie de la prospectivité des minéraux critiques	Bellefleur, Gilles	La sous-activité proposée vise à élaborer des approches d'apprentissage profond pour améliorer la cartographie de la prospectivité minérale en tirant parti d'ensembles de données disparates à diverses résolutions. La recherche comblera plusieurs lacunes dans les connaissances sur la cartographie de la prospectivité minérale, y compris la préservation de l'information contextuelle, en extrayant de puissantes représentations latentes des données d'entrée, en atténuant les biais, en utilisant des étiquettes positives seulement et en trouvant une mesure d'évaluation améliorée. Les travaux proposés s'appuieront sur des recherches antérieures et accueilleront favorablement la collaboration avec d'autres sous-activités axées sur la cartographie de la prospectivité minérale pour la comparaison et l'amélioration des méthodologies afin de produire de meilleures cartes des perspectives de minéraux critiques partout au Canada.
Paradigme des courants glaciaires et recherche de minéraux critiques au Canada : exploiter la puissance des techniques de cartographie géospatiale automatisée	Paulen, Roger	L'ouest de la Nouvelle-Écosse et le sud du Bouclier canadien revêtent une importance stratégique nationale pour les Canadiens en tant que source de minéraux critiques nécessaires à l'économie verte. Ces paysages ont été considérablement modifiés par l'affouillement glaciaire sous l'Inlandis laurentidien de taille continentale et obscurcis par des sédiments glaciaires et des formes topographiques complexes, créant des défis auxquels aucun autre pays n'est confronté dans la prospection et l'exploitation de ses ressources minérales critiques. L'avènement de données numériques LiDAR à très haute résolution et d'autres données topographiques a changé la donne puisqu'il a favorisé le développement de méthodes de cartographie automatisées (apprentissage machine). Il est maintenant possible de cartographier rapidement de grandes zones de terrain glaciaire à l'aide de techniques d'analyse géospatiale et de données hiérarchiques et non supervisées fondées sur l'apprentissage machine pour reconnaître les voies des anciens courants glaciaires.
Géochimie régionale lacustre pour soutenir l'exploration des minéraux critiques	McClenaghan, Beth	La CGC effectue des relevés des sédiments du fond des lacs à l'échelle régionale dans le Bouclier précambrien glaciaire du Canada depuis plus de 50 ans. Cependant, peu de ces ensembles de données de la CGC pour le nord du Canada ont été interprétés à l'aide de techniques de pointe d'apprentissage machine pour évaluer le potentiel minéral. Les facteurs qui contrôlent la géochimie des sédiments lacustres dans les lacs de l'Arctique ne sont pas entièrement compris et ils peuvent influencer sur l'interprétation des grands ensembles de données sur les sédiments lacustres. L'activité proposée mettra l'accent sur deux sous-activités : i) la réalisation d'une évaluation de la prospectivité minérale pour l'exploration minérale critique dans la région du nord et du corridor des Esclaves (160 000 km ²) à l'aide de nouvelles données géochimiques sur la réanalyse des sédiments lacustres récemment générées par le programme GEM-GéoNord et ii) la recherche en laboratoire pour répondre aux questions et aux facteurs inconnus concernant la mobilité des éléments critiques dans les sédiments des lacs nordiques, ce qui permettra de mieux comprendre et d'améliorer l'efficacité de la modélisation du potentiel minéral des sédiments lacustres et de l'évaluation environnementale.
Modélisation géologique tridimensionnelle basée sur l'intelligence artificielle pour les systèmes minéraux critiques	Hillier, Michael	Le projet consiste en l'élaboration d'une méthode de modélisation géologique tridimensionnelle fondée sur l'intelligence artificielle pour les systèmes minéraux critiques. Elle comporte de l'apprentissage profond prédictif pour l'estimation spatiale, la caractérisation des incertitudes et la représentation des connaissances, afin de générer des modèles géologiques vastes et complexes qui seront utilisés comme cadre géologique pour appuyer la cartographie tridimensionnelle pour la prospectivité minérale des matériaux critiques en aval.

Inventaire national des failles pour les systèmes minéraux critiques	de Kemp, Eric	Le projet consiste à compiler, mettre à jour, harmoniser et attribuer une base de données géospatiales accessible au public sur les failles du socle rocheux, les zones de cisaillement et les corridors de déformation les plus importants au Canada. Il permettra de fournir une couche de données probantes essentielle aux études du potentiel de minéraux critiques et de servir de guide pour la modélisation structurale et stratigraphique tridimensionnelle ciblée dans les zones identifiées comme ayant une présence de minéraux critiques ou un potentiel élevé.
Caractérisation structurale tridimensionnelle et modélisation anisotropique à l'aide de données géophysiques et géologiques multidisciplinaires	de Kemp, Eric	Le projet vise à améliorer la précision des modèles terrestres tridimensionnels à l'échelle locale et nationale en dérivant les contraintes structurales pour la géologie souterraine à partir de données géophysiques et géologiques multidisciplinaires. Nous élaborerons et mettrons en œuvre cette nouvelle technologie afin d'améliorer la prévisibilité et les pratiques d'interprétation pour la cartographie des architectures lithosphériques. Ces avancées permettront de mieux soutenir le ciblage direct du minerai et offriront également une vision plus claire du fonctionnement des systèmes minéraux critiques, avec une caractérisation plus robuste des structures plus profondes et potentiellement contrôlantes.
Élaboration de techniques d'apprentissage machine pour la prévision géologique dans les régions où les affleurements sont limités	Bellefleur, Gilles	La CGC et le KIGAM établissent une collaboration sur les minéraux critiques qui vise en partie à développer des techniques d'apprentissage machine pour améliorer la prévision de la géologie à partir de données géophysiques dans les zones où les affleurements sont limités ou inexistantes. Pour ce faire, nous utiliserons des techniques d'apprentissage profond et produirons des données synthétiques afin de trouver des liens entre la géologie, les propriétés physiques des roches et les données géophysiques. Un site d'essai au Canada (complexe Flin Flon - Glennie) est proposé pour valider l'utilité des méthodologies. Un levé est également proposé pour acquérir des données de gradiomètre de gravité afin d'étayer des prévisions précises.
Cartographie de la prospectivité des minéraux critiques dans les gisements de sulfure massif volcanogène (SMV) au Canada à l'aide de l'apprentissage profond	Tirdad, Shiva	L'intelligence artificielle, en particulier les méthodes d'apprentissage profond, permet l'intégration de données géologiques, géophysiques et géochimiques pour créer des modèles complets de cartographie de la prospectivité des minéraux critiques. Les modèles peuvent être entraînés pour prédire la probabilité de trouver des minéraux critiques tels que le cuivre et le zinc dans les gisements de SMV. Nous pouvons également estimer l'incertitude stochastique associée aux prévisions du modèle et atténuer le risque dans les activités d'exploration.

Activité 3.2 : Principes environnementaux, sociaux et de gouvernance (ESG)

Titre de la sous-activité	Chercheur principal	Description de la sous-activité
Voies de l'économie verte	Lawley, Chris	Les normes de déclaration au Canada (NI-43-10), en Australie (JORC) et dans le monde entier (UNFC) prévoient d'intégrer les principes environnementaux, sociaux et de gouvernance (ESG) à la définition officielle d'une ressource minérale, ce qui améliorera la divulgation des risques et servira à orienter l'investissement. Toutefois, la production de rapports et la gestion du rendement selon les critères ESG au niveau du projet sont incomplètes, à moins que tous les risques localisés associés à l'exploitation minérale critique soient placés dans un contexte régional, national et mondial. Cette étude permettra d'élaborer et de valider de nouvelles méthodes pour combiner les ensembles de données publiques sur les critères ESG afin d'améliorer les stratégies de gestion des ressources naturelles préconcurrentielles et axées sur les données à de multiples échelles spatiales pour combler cette lacune en matière de connaissances.