



Natural Resources  
Canada

Ressources naturelles  
Canada

# Innovation mines vertes

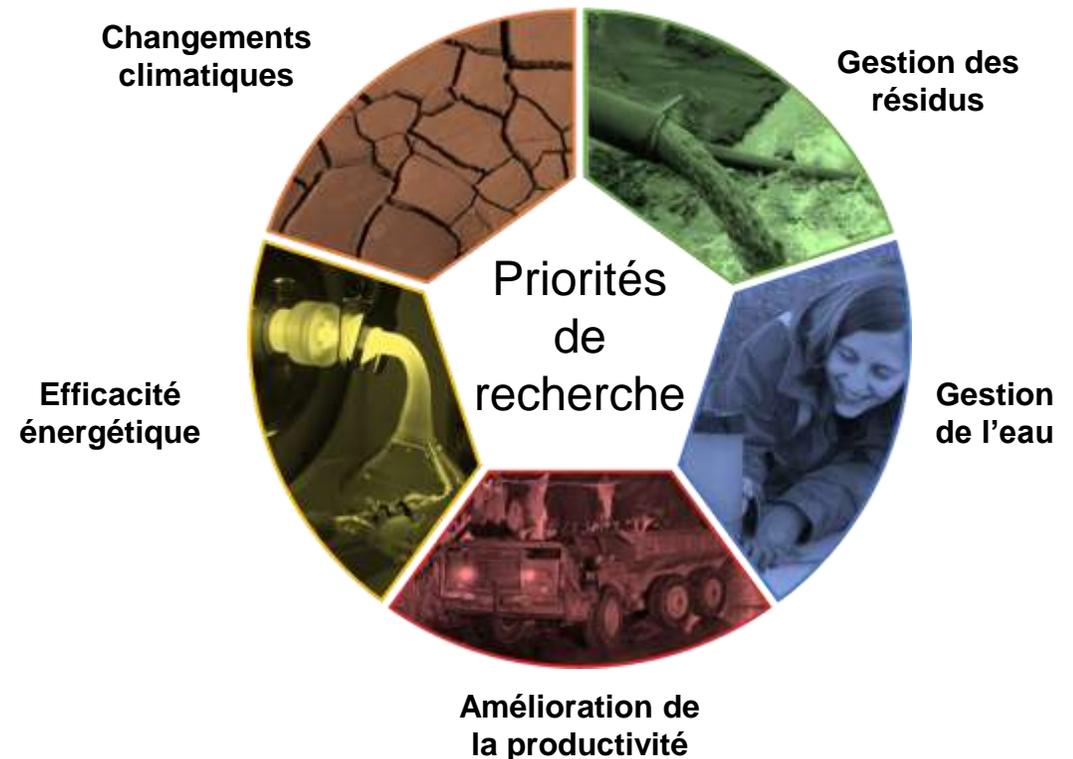
Atelier du Comité consultatif de l'Initiative des mines vertes – 17 mars 2021

Janice Zinck

Canada

# Mandat d'Innovation mines vertes

- La Division de l'innovation des mines vertes mène des activités de recherche et de développement scientifiques pour **réduire l'impact environnemental** des exploitations minières tout en **augmentant leur compétitivité économique**
- Réaliser cinq priorités de recherche dans trois domaines d'intérêt :
  - Mines carboneutres
  - Minéraux essentiels et minéraux pour les batteries
  - Changements climatiques



# Tendances et moteurs

- Priorités durables
  - Coûts et productivité
  - ESG – environnement, société et gouvernance
  - Extraction de valeur
- Nouvelles tendances
  - Approvisionnement responsable
  - Nouvelles chaînes de valeur
  - Minéraux essentiels
  - Batteries pour VE/de stockage pour les réseaux
  - Circularité



# Priorités de recherche d'Innovation mines vertes

## Changements climatiques

- Évaluation des répercussions sur l'eau grâce aux mégadonnées
  - Atténuation des effets de la poussière

## Efficacité énergétique

- Fragmentation écoénergétique
  - Flottation des particules grossières

## Examens des évaluations environnementales



## Gestion des déchets et résidus

- Utilisation de la génomique pour la valorisation des résidus
- Gestion des déchets radioactifs
- Biolixiviation

## Gestion de l'eau

- Recyclage de l'eau à la mine et à l'usine de traitement
- Définition de l'écotoxicité aux fins réglementaires
- Traitement par membrane

## Amélioration de la productivité

- Exploitation des ressources, réduction des coûts et hausse des recouvrements

# Éléments des terres rares – Du minerai à l'oxyde

*Se concentrer sur les gisements canadiens pour produire des schémas de traitement viables pour chacun des minerais*

## Gisements

Torngat  
Search  
Avalon  
Commerce  
Géoméga  
Matamec  
Imperial

## Traitement physique

Récupération accrue,  
flottation, séparation  
magnétique/  
gravimétrique,  
calcination

## Traitement chimique

Cuisson, fracturation,  
lixiviation

## Élimination des impuretés

Fe, Ce, U-Th

## Oxalate d'ÉTR mélangés

## Oxyde de terres rares mélangées de qualité affinerie

Sciences fondamentales : caractérisation, chimie des procédés

Environnement : géochimie, écotoxicité, gestion des résidus



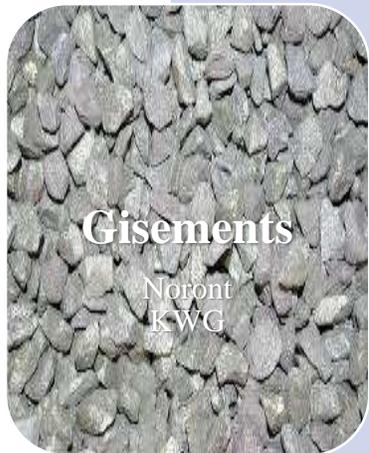
Natural Resources  
Canada

Ressources naturelles  
Canada

Canada

# Chromite du Cercle de feu

Approche « Fait au Canada »



**Environnement : Formation et atténuation du Cr(VI), utilisation des scories et réduction des GES**



Natural Resources  
Canada

Ressources naturelles  
Canada

Canada

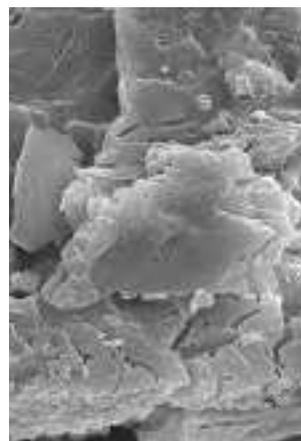
# Programme de R et D sur les minéraux pour les batteries

Collaborer avec les autres ministères fédéraux pour transformer les minéraux en énergie



## Sources :

classiques, nouvelles et secondaires



## Minéral :

caractérisation, géométallurgie



## Valorisation :

enrichissement, séparation physique par flottation



## Produits chimiques pour batteries :

hydrométallurgie, pyrométallurgie, électrométallurgie



## Recyclage :

métallurgie

Gestion de l'environnement, méthodes, essais et certification

Li	Lithium *	V	Vanadium
Co	Cobalt *	Mg	Magnesium *
C	Graphene	Mn	Manganese
Ni	Nickel *	Na	Sodium



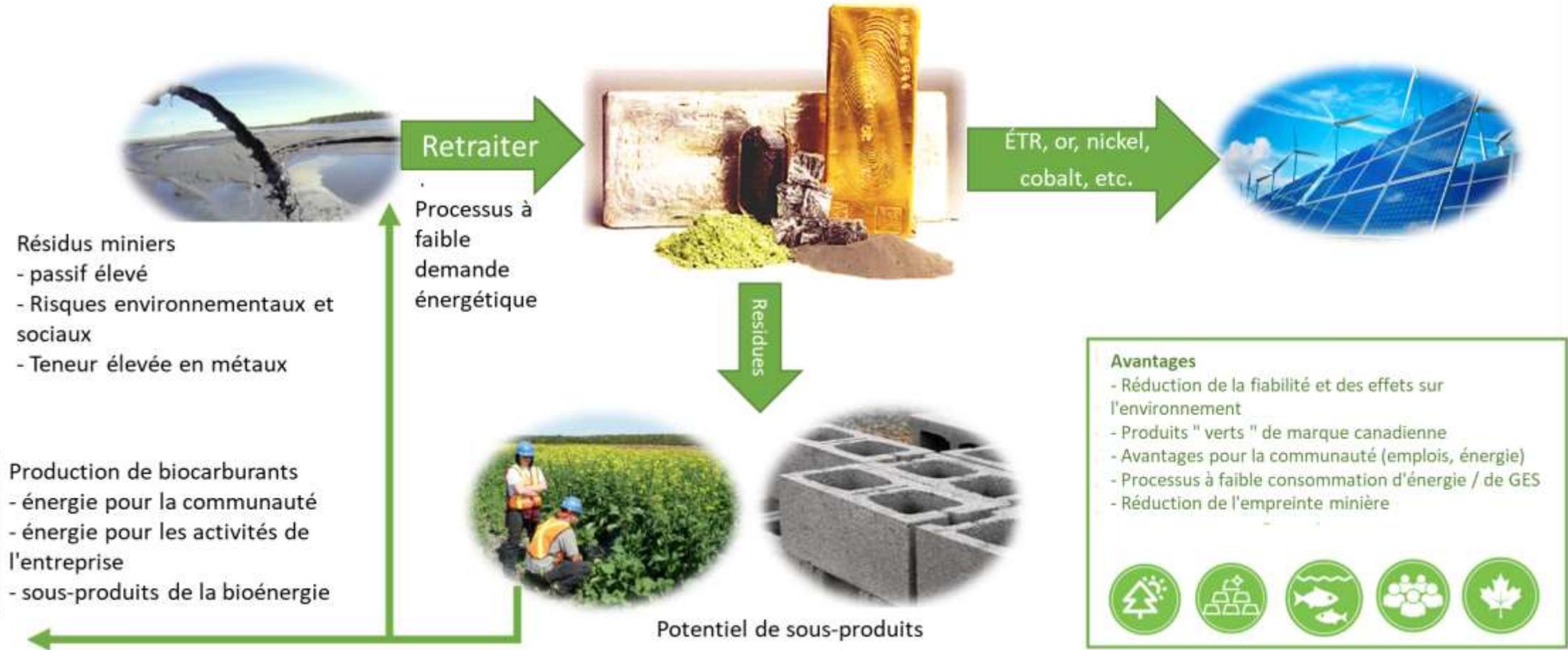
Natural Resources  
Canada

Ressources naturelles  
Canada

Canada

# Valorisation des résidus miniers

*Promouvoir une économie circulaire et faible à émissions de carbone*



# Contexte de la pandémie de COVID-19

- Adaptation rapide de la direction et du personnel, utilisation de plateformes de discussion sociale afin de réduire les problèmes liés à la gestion à distance du personnel, en particulier certains membres du personnel technique et scientifique
- Interruption du travail expérimental au profit de l'analyse de données, de la rédaction de rapports et publications; planification de la recherche et nouvelles collaborations pour maintenir un niveau élevé de production
- Manque de rapprochements personnels, de discussions informelles et de subtilités dans les communications virtuelles, mais une amélioration s'observe à mesure que le personnel s'habitue à ces nouvelles méthodes de travail
- Retour du personnel essentiel des laboratoires en septembre 2020, à capacité réduite
- Aucun cas, protocoles stricts en milieu de travail
- Renforcement des relations avec les intervenants et des relations internationales
- Report des échéances pour la recherche et les programmes au 30 septembre



# Dialogue avec d'autres intervenants

- Ateliers et webinaires de CanmetMINES
  - Valorisation des résidus miniers (avril)
  - Recherche et développement sur la chromite (mai)
  - Éléments des terres rares
    - Atelier (mai)
    - Webinaires (juillet [EIE], novembre, décembre, mars)
  - Changements climatiques (janvier)
- Nombreuses réunions et présentations nationales et internationales
- Divers exposés pour des conférences
- Sensibilisation de nombreuses entreprises au début de la pandémie, dialogue continu



# Avancement technique



# Études d'impact sur l'environnement

- Examen des lignes directrices sur l'EIE terminé
  - Projet aurifère Wasamac (Qc), projet de mine de fer du lac Bending (Ont.)
- Demande d'information sur l'EIE envoyée
  - Projet aurifère Lynn Lake (Man.), projet aurifère de Valentine (T.-N.-L.), Galaxy Lithium
- Examen de l'EIE terminé
  - Projet aurifère Coffee (Yn), projet Rose lithium-tantale (Qc), Marathon Gold (Ont.)
- Examen des lignes directrices sur l'EIE (modèle de lignes directrices adaptées) et du plan de travail du promoteur
  - Routes d'accès au Cercle de feu pour la communauté (Webequie et Marten Falls)



## Programme de R et D sur les éléments de terres rares

Développer de nouvelles technologies pour « réduire les risques » associés aux difficultés techniques

Comblent les lacunes en matière de R et D pour commercialiser les ressources minérales essentielles

- ✓ Catalyser l'industrie canadienne des ÉTR en galvanisant les intervenants et les experts
- ✓ Innover : 14 procédés nouveaux ou améliorés (maturité technologique 3-5) utilisables par les projets canadiens et ayant le potentiel de réduire les dépenses en capital de plus de 50 M\$
- ✓ Développer une expertise fédérale en ÉTR

- Perfectionnement de 16 chercheurs et étudiants au postdoctorat à RNCan
- Formation de 13 étudiants en ÉTR (~ 0,8 M\$ en emploi étudiant)
- Ateliers et réunions techniques rassemblant 210 intervenants canadiens
- Participation de 63 chercheurs et experts en ÉTR aux 46 contrats financés (~ 3,5 M\$)



PHQ formé et réseau canadien des ÉTR bien établi

Amélioration de la compétitivité des projets canadiens



- 33 publications évaluées par des pairs dans des revues et des conférences
- 63 rapports de recherche disponibles sur le site Web REEChromite.ca
- Avancées scientifiques diffusées lors de 8 ateliers techniques
- 3 documents de référence canadiens et certifiés (ventes de 132 k\$ à ce jour)



Science avancée en ÉTR

Positionnement du Canada dans l'industrie des ÉTR



- Production de données sur les tests de toxicité pour établir les lignes directrices fédérales sur la qualité de l'eau
- Documents d'orientation sur la gestion des matières radioactives naturelles et des déchets pour l'industrie des ÉTR
- Analyse du cycle de vie du traitement
- Détermination des moyens pour récupérer les ÉTR à partir de sources secondaires



Amélioration du rendement en ESG

Solutions technologiques canadiennes



- Flottation présentant une récupération accrue sur les 6 échantillons de minerai étudiés
- Réduction des dépenses en capital de 46 M\$ et des coûts d'exploitation de 3,5 M\$ pour un projet canadien
- Réduction de plus de 50 % de l'utilisation de réactifs de flottation pour un projet canadien
- 7 évaluations économiques des options de traitement

- Groupe de travail sur les minéraux essentiels
- Plan d'action mixte avec les États-Unis
- Association mondiale de l'industrie des terres rares
- Participation active à l'élaboration de normes ISO sur les ÉTR
- Dialogue continu avec des intervenants américains, européens et australiens

- 14 procédés nouveaux ou améliorés ayant le potentiel de réduire les dépenses en capital de plus de 50 M\$ par rapport aux procédés classiques
- 6 technologies de traitement brevetées ou en instance de brevet
- 1 installation pilote

# R et D sur les ÉTR



- Récupération du Sc et des ÉTR du projet du lac Crater d'Imperial Mining Group Ltd.
- Réduction des coûts pour la lixiviation des ÉTR/nouvelle méthode de trempage
- Optimisation de la cuisson à l'acide et de la lixiviation des ÉTR à Nechalacho
- Utilisation de l'électrodialyse avec agent chélateur pour la séparation des ÉTR
- Mécanismes de décomposition des silicates d'ÉTR
- Optimisation de l'élimination des radionucléides par échange d'ions

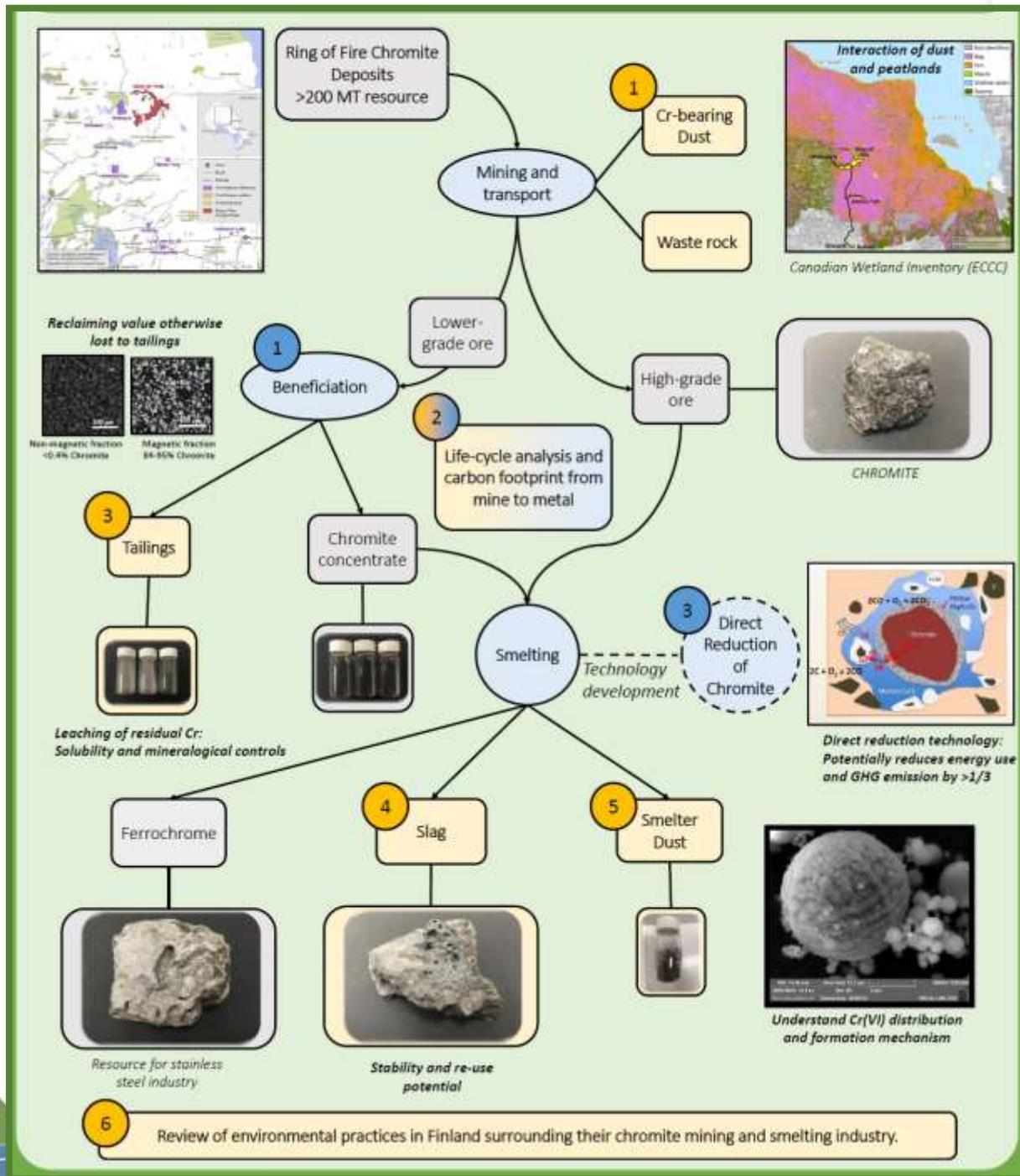
## • Études supplémentaires

- Examen de la production de métaux à partir de Nd-Pr
- Étude sur l'extraction électrolytique du Nd-Pr
- Évaluation techno-économique de l'extraction électrolytique des ÉTR
- Facteurs de séparation de l'extraction par solvant
- Examen des matériaux de construction des fours rotatifs
- Examen de la corrosion due aux gaz d'échappement de la cuisson à l'acide
- Examen de la corrosion généralisée
- ACV du traitement des ÉTR
- Étude de triage du minerai au gisement Ashram



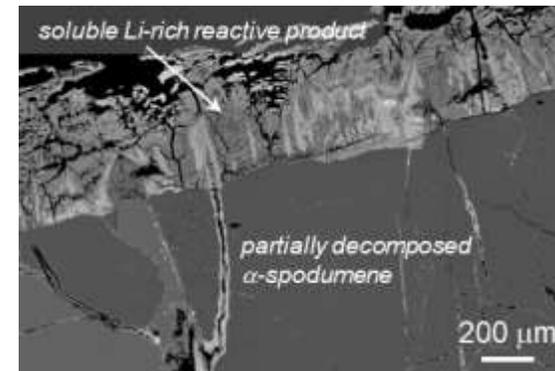
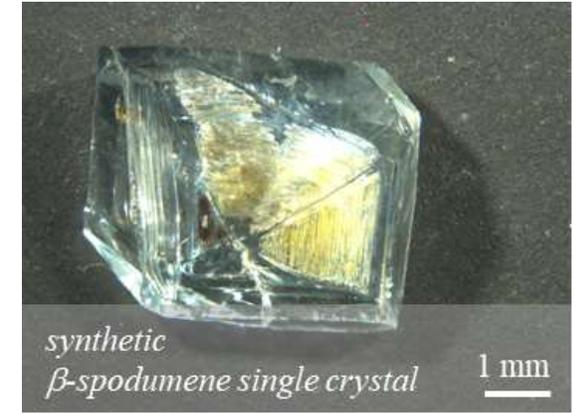
# Programme de R et D sur la chromite

- Études supplémentaires
  - Transfert des connaissances – Guide sur les pratiques exemplaires de communication avec les Premières Nations
  - Ferrochrome – Examen des pratiques environnementales finlandaises
  - Ferrochrome – Examen de l'efficacité des stratégies d'atténuation
  - Ferrochrome – Application à l'industrie canadienne
  - Caractérisation et essais géotechniques des scories de fonderie de ferrochrome

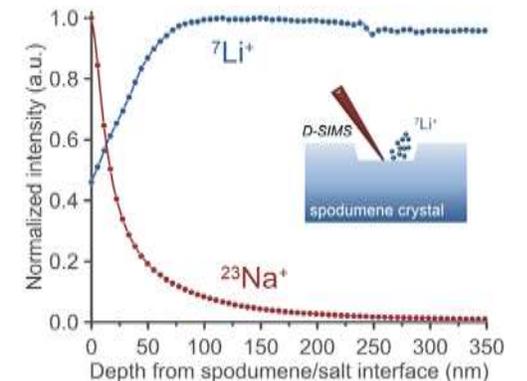


# Récupération du lithium des gisements canadiens de spodumène

- Le spodumène naturel est chimiquement stable et les procédés actuels pour en libérer le lithium consomment beaucoup d'énergie, le traitement thermique initial pouvant atteindre 1000 °C.
- **R et D actuelle** : Développement de nouveaux procédés qui réduisent considérablement la consommation d'énergie pour récupérer le lithium sous forme de monohydrate d'hydroxyde, un précurseur important pour la production de matériaux de cathode.

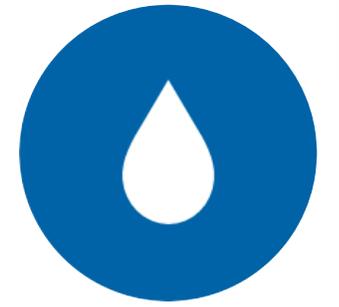


Libération du Li de la structure cristalline du spodumène



Caractérisation de l'échange de Li (mobilité)

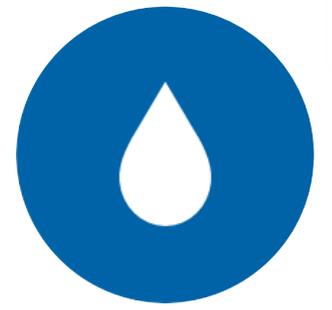




# Recherches sur l'eau

- **Technologies par plasma à la pression atmosphérique pour éliminer le cyanure des procédés d'extraction d'or – Laval**
  - Mise en service et exploitation d'un système pilote de distillation membranaire sous vide (DMV)
  - Essais pilotes préliminaires sur des échantillons synthétiques à base de thiosulfate produits par osmose inverse et DMV
  - Élaboration d'un procédé de concentration en deux étapes pour les échantillons synthétiques de l'alimentation
- **Préconcentration d'un cours d'eau pour alimenter le procédé de régénération du cyanure – COREM**
  - Détermination de la faisabilité de la concentration du cyanure dans les cours d'eau selon un facteur de 10 fois
  - Détermination de la stabilité thermique des produits de cyanure à des températures allant de 40 à 80 °C





# Recherches sur l'eau

- **Démonstration de la technologie ECOTHOR dans le traitement des effluents liquides des activités minières – E2Metrix**
  - Mise en service d'un système pilote d'électrocoagulation
  - Démonstration des capacités d'ECOTHOR en matière d'élimination des métaux lourds
  - Mise en service d'un système de filtration avec membrane céramique
- **Recyclage de l'eau des usines de traitement – usine de Strathcona, Glencore**
- **Capteur de qualité de l'eau – CNRC**
- **Document d'orientation sur la classification des dangers aquatiques chroniques**
  - Incorporation de la méthode de CanmetMINES aux directives d'Eurométaux à l'intention de l'industrie sur la classification des métaux et des composés métalliques inorganiques en matière de dangers environnementaux à long terme



# Recherche sur l'adaptation aux changements climatiques



- **Projet de mégadonnées**

- 12 690 lieux d'échantillonnage uniques, ~ 800 000 points de données, de 1940 à aujourd'hui
- Évaluer les tendances et éclairer la prise de décisions

- **Génomique environnementale**

- Expériences en cours pour évaluer les impacts potentiels des changements climatiques sur la biogéochimie des résidus miniers et l'efficacité des couverts végétaux

- **Devenir et effets des métaux dans le contexte des changements climatiques**

- Tests sur le terrain et en laboratoire terminés
- Évaluer les effets de diverses conditions sur la toxicité du métal

- **Évaluation du rendement des couverts saturés**



# Gestion et utilisation des déchets et résidus



- **Récupération des ÉTR et du Sc à partir de la cendre de charbon**
  - Optimisation des conditions d'élution du Sc
- **Récupération de Ni et de Co des résidus de pyrrhotite**
  - Expériences préliminaires de l'échange ionique pour récupérer le Ni et le Co directement de la solution de biolixiviation enrichie sans ajustement du pH ou élimination du fer
- **Deuxième traitement des résidus de tungstène**
  - Réduction de l'empreinte de 60 % par unité de poids
  - Désulfuration à 90 %
  - Récupération du tungstène à 80 %
- **Traitement d'anciens déchets radioactifs, phase pilote**
  - Prochaine étape : démonstration



# Gestion et utilisation des déchets et résidus



- **Base de données sur le drainage rocheux acide et la lixiviation des métaux**
  - Liste compilée d'environ 200 évaluations environnementales de projets miniers à l'échelle fédérale, provinciale et territoriale
  - Extraction des données de divers ensembles de données au moyen du code Python
- **Valorisation des résidus miniers**
  - Base de données sur les résidus miniers et outil d'évaluation pour le retraitement
  - Plan de mise en œuvre
  - Examen réglementaire en cours
  - Divers projets techniques
- **Remise en état par la géomicrobiologie et la génomique**
  - Couverts végétaux
  - Plantations de saules, ADN/génomique



# Autres recherches

- Évaluation de la gestion des résidus à la mine Mont Wright
  - Pour ECCC, clarification des attentes fédérales en matière de gestion des effluents et des déchets miniers
- Application de l'apprentissage automatique pour prévoir la taille du produit issu du circuit de broyage secondaire – dividendes canadiens
  - Des méthodes d'apprentissage automatique ont été utilisées pour élaborer des algorithmes afin de prévoir la taille du produit issu du circuit de broyage secondaire.
- Examen de la sécurité des mines à capitaux propres
- Mesurer la fragmentation de l'écosystème canadien de l'innovation minière



# Événements à venir

- Webinaire sur les technologies de séparation des ÉTR
  - 25 mars 2021
- Atelier sur la valorisation des résidus miniers
  - Printemps 2021
- Webinaire sur les technologies novatrices de traitement de l'eau dans l'industrie minière
  - Adaptation aux changements climatiques (récupération et réutilisation de l'eau)
  - Minéraux essentiels (récupération et séparation des éléments des terres rares, lithium)
  - Printemps 2021



# Planifier l'avenir

- Nouveau plan de recherche – septembre 2021
- Financement potentiel de programmes élargis
- Consultations avec des chercheurs internes, d'autres ministères et des intervenants externes
- Planification de la relève, nouveaux employés



Charbel A



Sean L



Callum M



Richard G



# Nouveaux employés 2020-2021

Sherina J



Samir S



Benny C



Justin R



Jennifer C



Graham D



Kaitlin A



Brittany R



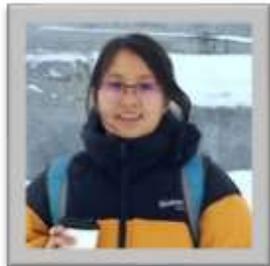
David C



Angela P



Tanya L



Alexandra K



Joanne W



Laura D



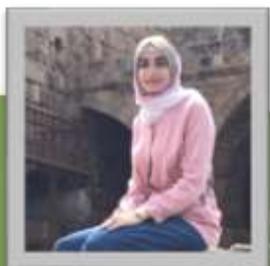
Liam R



Jason C



Razan G



Amy C



Kellie C



Bimpe A



MohammadAli B



Rebecca L



Ashley N



Syed W



*Merci* !

[janice.zinck@canada.ca](mailto:janice.zinck@canada.ca)



Natural Resources  
Canada

Ressources naturelles  
Canada

Canada