

# Portrait des chaînes de valeur des minéraux critiques et stratégiques - *Volet 1*

Cartographie des chaînes de valeur des minéraux critiques et stratégiques  
Novembre 2021

# Table des matières

Sommaire	1
Introduction	4
Portrait des chaînes de valeur des 22 minerais critiques	8
Analyse de la chaîne de valeur – étapes 1 à 3	8
Antimoine	8
Bismuth	13
Cadmium	16
Césium	20
Cuivre	23
Étain	29
Gallium	34
Indium	38
Tellure	41
Zinc	44
Cobalt	49
Éléments des terres rares (ETR)	54
Éléments du groupe platine (EGP)	58
Graphite (naturel)	63
Lithium	69
Nickel	75
Magnésium	80
Niobium	85
Scandium	90
Tantale	94
Titane	99
Vanadium	104
Analyse de la chaîne de valeur – étapes 4 et 5	108
Étape 4 : Recyclage	108
Étape 5 : Restauration et sécurité de territoire	112
Annexe A : Limites d'utilisation	116

# Sommaire

Minéraux (taille estimée du marché mondial en milliards de dollars US de revenus) <sup>1</sup>	Évaluation de la valeur stratégique des minerais sur l'ensemble de la chaîne de valeur au Québec <sup>2</sup>					
	Importance du produit final au Québec	Difficulté de substitution	Risque – chaîne d'approvisionnement au Québec	Croissance de la demande	Implication dans la chaîne de valeur	Potentiel d'exploitation de nouveaux gisements et maillons au Québec
1. Antimoine (2,0 G\$)	Faible	Modérée	Faible	Modérée	Modérée	<b>Modéré</b>
2. Bismuth (0,3 G\$)	Modérée	Faible	Faible	Faible	Élevée	Faible
3. Cadmium (0,2 G\$)	Élevée	Modérée	Faible	Faible	Modérée	<b>Modéré</b>
4. Césium (N.D.)	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible
5. Cuivre (200,0 G\$)	Élevée	Faible	Modéré	Faible	Modérée	<b>Modéré</b>
6. Étain (10,0 G\$)	Modérée	Modérée	Modéré	Faible	Modérée	<b>Modéré</b>
7. Gallium (< 0,1 G\$)	Modérée	Modérée	Faible	Modérée	Faible	<b>Modéré</b>
8. Indium (< 0,1 G\$)	Faible	Modérée	Faible	Modérée	Faible	Faible
9. Tellure (< 0,1 G\$)	Faible	Faible	Faible	Faible	Élevée	Faible
10. Zinc (40,0 G\$)	Modérée	Modérée	Modéré	Faible	Modérée	<b>Modéré</b>
11. Cobalt (7,0 G\$)	Élevée	Modérée	Élevé	Élevée	Modérée	<b>Élevé</b>
12. Terres rares (N.D.)	Modérée	Élevée	Modéré	Élevée	Modérée	<b>Modéré</b>
13. Groupe platine (32,0 G\$)	Modérée	Élevée	Faible	Modérée	Modérée	<b>Modéré</b>
14. Graphite (20,0 G\$)	Élevée	Modérée	Modéré	Élevée	Élevée	<b>Élevé</b>
15. Lithium (5,0 G\$)	Élevée	Élevée	Modéré	Élevée	Élevée	<b>Élevé</b>
16. Nickel (40,0 G\$)	Élevée	Modérée	Élevé	Faible <sup>3</sup>	Élevée	<b>Élevé</b>
17. Magnésium (5,0 G\$)	Élevée	Modérée	Élevé	Modérée	Élevée	<b>Élevé</b>
18. Niobium (1,5 G\$)	Modérée	Modérée	Modéré	Modérée	Modérée	<b>Modéré</b>
19. Scandium (< 0,1 G\$)	Élevée	Modérée	Modéré	Élevée	Élevée	<b>Élevé</b>
20. Tantale (0,6 G\$)	Modérée	Modérée	Modéré	Modérée	Faible	<b>Modéré</b>
21. Titane (19,0 G\$)	Élevée	Modérée	Faible	Modérée	Élevée	<b>Modéré</b>
22. Vanadium (35 G\$)	Modérée	Modérée	Modéré	Modérée	Faible	<b>Modéré</b>

<sup>1</sup> Estimations de PwC à partir des données publiées par USGS.

<sup>2</sup> Voir la définition des différentes classifications aux pages 3 et 4.

<sup>3</sup> Bien que la demande générale de nickel soit jugée comme faible, celle spécifique au sulfate de nickel de grade batterie sera élevée dans les prochaines années soutenue par la filière du véhicule électrique.

L'évaluation des cinq critères présentés dans le tableau précédent a été faite à la lumière d'une revue de la littérature existante, des entrevues réalisées dans le cadre de ce projet ainsi que des résultats du sondage. En nous basant sur ces critères, nous avons pu évaluer le potentiel d'exploitation de nouveaux gisements ou de maillons au Québec, soit la dernière colonne présente au tableau précédent, dont en voici les principaux constats :

**Constat clé 1 : Six minéraux critiques et stratégiques présentent un fort potentiel de développement de nouveaux gisements et maillons au Québec**

Nous avons considéré que les minéraux affichant minimalement trois mentions « Élevé(e)s » ou plus dans les cinq critères d'évaluation ont un fort potentiel de développement minier et de développement d'une chaîne de valeur. Le tableau suivant présente la liste des minéraux retenus ainsi qu'une explication justifiant cette catégorisation.

Minéraux	Explication
Lithium	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beaucoup d'efforts ont été investis dans les dernières années dans l'exploration et le développement de projets (sept projets recensés). Le Québec présente des avantages considérables pour devenir un important producteur de lithium notamment grâce à la compétitivité de son énergie renouvelable et de la disponibilité d'une main-d'œuvre qualifiée et spécialisée.</li> <li>À court terme, le développement des capacités de recyclage permettra au Québec de développer une expertise sur ce maillon.</li> <li>Une forte croissance de la demande soutenue par le secteur des énergies renouvelables et des semi-conducteurs est prévue.</li> <li>Le lithium est un minerai important pour soutenir les objectifs d'électrification des transports et de décarbonisation.</li> </ul>
Graphite	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le Québec présente plusieurs projets miniers à différentes phases de développement : en production (1), en construction (1) et en exploration (7).</li> <li>Une forte croissance de la demande soutenue par l'essor des véhicules électriques et des batteries lithium-ion est prévue.</li> <li>Le Québec a le potentiel de devenir le seul exportateur de graphite naturel de haute qualité produit selon des normes rigoureuses respectant l'environnement et les conditions de travail.</li> </ul>
Nickel	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le Québec présente plusieurs projets en activité ou en cours de développement dans le volet minier de la chaîne de valeur.</li> <li>Une forte croissance de la demande soutenue par la production d'acier inoxydable et par son utilisation croissante dans la batterie est prévue.</li> <li>Le Québec détient d'importantes réserves de nickel de classe 1 pour des utilisations liées aux batteries.</li> </ul>
Cobalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le Québec présente plusieurs projets d'exploration.</li> <li>Une forte croissance prévue de la demande soutenue par l'essor des véhicules électriques et des batteries lithium-ion.</li> <li>Dans l'optique du développement d'une filière des batteries au Québec, il s'agit d'un minerai clé.</li> <li>La production de cobalt au Québec est en mesure de devenir une alternative à celle de la République démocratique du Congo, considérée comme non éthique.</li> </ul>
Magnésium	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le Québec présente plusieurs acteurs dans le volet minier ainsi que des entreprises actives dans la récupération du magnésium à partir de résidus miniers. La province a le potentiel de devenir le seul producteur de magnésium propre, c'est-à-dire issu d'un processus de récupération et à partir de l'énergie propre.</li> <li>Le magnésium est un intrant important dans la production d'aluminium, un secteur important de l'économie du Québec.</li> <li>Les prédictions de croissance de la demande sont favorables étant donné ses propriétés fonctionnelles dans différents alliages.</li> </ul>
Scandium	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les prévisions quant à la croissance de la demande sont favorables pour le scandium, notamment en raison de l'accélération de l'utilisation des piles à combustible à oxyde solide (SOFC) et des alliages d'aluminium-scandium.</li> <li>Avec le développement d'un nouveau procédé d'extraction d'oxyde de scandium, Rio Tinto Fer et Titane pourrait fournir jusqu'à trois tonnes par année d'oxyde de scandium fournissant environ 20 % de la demande mondiale<sup>4</sup>.</li> </ul>

<sup>4</sup> Rio Tinto, 2021. *Rio Tinto opens new scandium plant in Canada*. Lien : <https://www.riotinto.com/en/news/releases/2021/Rio-Tinto-opens-new-scandium-plant-in-Canada>

**Constat clé 2 : 12 minéraux critiques et stratégiques sont considérés comme ayant un potentiel modéré de développement de nouveaux gisements et maillons au Québec**

12 des minéraux compris dans cette étude sont considérés comme ayant un potentiel modéré de développement minier et de développement d'une chaîne de valeur. Notre évaluation repose sur une vue d'ensemble des cinq critères d'évaluation, soit lorsque ceux-ci affichent trois mentions « Modéré(e)s ou Élevé(e)s » ou plus dans les cinq critères d'évaluation, combinée à notre compréhension globale du segment. Ainsi, les minéraux considérés comme ayant un potentiel modéré sont les suivants :

- l'antimoine;
- le cadmium;
- le cuivre;
- l'étain;
- le gallium;
- le zinc;
- les éléments des terres rares;
- les éléments du groupe platine;
- le tantale
- le niobium;
- le titane;
- le vanadium.

**Constat clé 3 : Quatre minéraux critiques et stratégiques sont considérés comme ayant un potentiel faible de développement de nouveaux gisements et maillons au Québec**

Encore une fois, l'étude des cinq critères retenus nous a permis d'identifier quatre minéraux dont le potentiel est considéré comme faible autant pour le développement du segment minier de la chaîne de valeur que pour les maillons subséquents dans la chaîne de valeur, soit parce qu'il y a peu de gisement potentiel, soit parce que ceux-ci sont déjà à un bon niveau de maturité (tellure). Parmi ceux-ci on retrouve:

- le bismuth;
- le césium;
- l'indium;
- la tellure.

Bien que la valeur stratégique de ces minéraux soit reconnue, notamment pour leurs propriétés qui en font des composantes de choix pour le secteur technologique et celui de l'électrification des transports, il demeure que la chaîne de valeur est très peu développée au Québec. Dans le cas du bismuth, on observe une certaine activité au niveau du recyclage des résidus miniers, mais l'ensemble de la production est exportée. Il importe de noter que ces métaux sont exploités en sous-produits d'autres métaux et qu'il n'y a pas vraiment de gisement primaire. Il en résulte que très peu de projets d'exploration pour ces minéraux ont été dénombrés dans le cadre de cette étude.

# Introduction

## Contexte du rapport

Le 29 octobre 2020, le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN) a mis en place le **Plan québécois pour la valorisation des minéraux critiques et stratégiques 2020-2025 (PQVMCS)**. Les objectifs principaux de ce plan sont :

- d'implanter des mesures concrètes pour alimenter la transition énergétique et technologique;
- de faire briller le Québec à l'échelle nationale et sur le plan international;
- de rendre l'approvisionnement du Québec en termes de minéraux critiques et stratégiques autonome;
- d'assurer le développement économique des régions (incluant les communautés locales et autochtones) et de leurs infrastructures;
- d'attirer des investissements étrangers;
- de créer des emplois;
- de stimuler l'innovation.

Le PQVMCS vise à dynamiser l'exploration et l'extraction minière des minéraux critiques et stratégiques (MCS), leur transformation ainsi que leur recyclage. Une liste de 22 MCS a été dressée. La liste complète de ces 22 minéraux est présentée dans le tableau ci-dessous :

Critiques	Stratégiques (orientation énergies renouvelables)	Stratégiques (potentiel)
Nécessaires à l'approvisionnement d'usines québécoises de transformation	Liés aux politiques publiques et aux énergies renouvelables	Produits ou minéraux ayant un bon potentiel de mise en valeur au Québec
1. Antimoine	11. Cobalt	17. Magnésium
2. Bismuth	12. Éléments des terres rares (ETR)	18. Niobium
3. Cadmium	13. Éléments du groupe platine (EGP)	19. Scandium
4. Césium	14. Graphite	20. Tantale
5. Cuivre	15. Lithium	21. Titane
6. Étain	16. Nickel	22. Vanadium
7. Gallium		
8. Indium		
9. Tellure		
10. Zinc		

Le PQVMCS comporte 4 orientations, qui sont elles-mêmes structurées en 11 objectifs et en 22 actions, visant à assurer la mise en valeur à court, moyen et long terme des MCS au Québec.

Le ministère de l'Économie et de l'Innovation (MEI) est responsable de la mise en œuvre de certaines de ses actions, notamment celles qui visent la transformation et le recyclage. De plus, il est responsable de la réalisation de l'action 2.2.1 du PQVMCS, qui est de réaliser un portrait des chaînes de valeur québécoises actuelles et futures utilisant les MCS. À l'issue de l'appel d'offres AOP MEI-P256, PwC a été sélectionné par le MEI afin de réaliser un portrait des chaînes de valeur actuelles et futures au Québec.

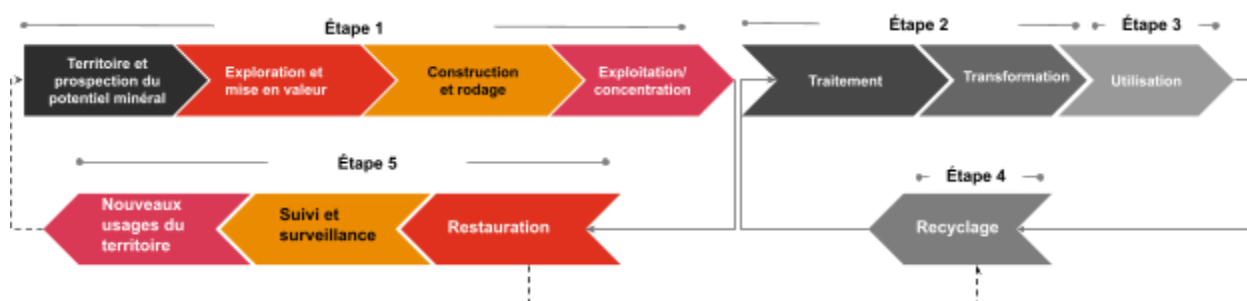
## Méthodologie

Afin d'analyser les chaînes de valeur des 22 MCS identifiés, nous avons examiné séparément toutes les étapes de la chaîne de valeur pour chacun des minéraux. Il y a généralement cinq étapes principales dans les chaînes de valeur en minerais, notamment :

- (1) La prospection, l'exploration, la construction, l'exploitation, et la concentration minière, qui doivent se faire dans la volonté de créer des retombées économiques positives pour les communautés et de la valeur pour les acteurs économiques, dans le respect de l'environnement et des communautés.
- (2) La transformation, y compris la fusion, l'affinage et l'alliage des métaux, suivis de la coulée, du laminage, de l'étréage et de l'extrusion des métaux pour les mettre dans un format dans lequel ils sont plus faciles à expédier et à utiliser ultérieurement dans la fabrication du produit final.
- (3) L'utilisation des produits finis qui peuvent soit encore être utilisés comme intrants dans des produits plus avancés, soit être des produits finis de consommation à part entière. Il est également important de s'intéresser aux agents intermédiaires mais néanmoins clés de la chaîne de valeur, tels que les fournisseurs d'équipements miniers et d'électricité, ainsi que la logistique et le transport qui soutiennent l'industrie vers les marchés.
- (4) Le recyclage consiste à réutiliser ou à valoriser les résidus miniers ou les composantes de biens en leur donnant une deuxième vie, dans une optique d'utilisation optimale des minéraux à toutes les étapes du cycle de vie d'une chaîne de valeur. Il s'agit d'une étape importante du concept de logique circulaire qui vise, tout en réduisant l'empreinte environnementale, à créer de la valeur additionnelle aux résidus/rebuts tout en contribuant au bien-être des individus et des collectivités.
- (5) Le Québec s'est doté de politiques et de lois claires encadrant la restauration des sites, leur suivi et leur surveillance, ainsi que le renouvellement et la préparation pour de nouveaux usages du territoire, qui sont importants à considérer dans l'évaluation des bénéfices des chaînes de valeur auprès des communautés concernées.

De façon générale, le Québec souhaite poursuivre sa transition vers une économie circulaire et continuer de se positionner comme un acteur d'importance en Amérique du Nord dans la création d'une économie circulaire. Ainsi, chacune des étapes de la chaîne devra intégrer des éléments de circularité pour soutenir les orientations du gouvernement.

**Figure 1 : Description des cinq étapes de la chaîne de valeur**



Source : Adapté du PQVMCS du Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles.

Pour chacun des 22 MCS, nous avons identifié les joueurs présents pour chacune des étapes et les maillons en activités aujourd'hui au Québec. Une prise de contact a été faite avec les joueurs principaux de chacune des chaînes de valeur.

Afin d'évaluer la valeur stratégique de chacun de ses minéraux pour le Québec, nous avons évalué cinq critères<sup>5</sup> :

- 1. Importance du produit final pour le secteur manufacturier au Québec :** Évaluation de l'importance stratégique des produits finaux générés dans la chaîne de valeur, qu'ils soient nouveaux, émergents ou importants pour les intérêts du Québec. L'importance stratégique serait évaluée selon l'alignement avec les priorités économiques et sociétales (ex. : la sécurité nationale, l'économie, l'environnement) ainsi que l'alignement avec les politiques publiques récentes telles que le Plan pour une économie verte 2030, la Politique énergétique 2030, la Politique de mobilité durable 2030, le PQVMCS et le Plan d'action nordique.
  - *Élevée : importante dépendance du secteur manufacturier au Québec.*
  - *Modérée : utilisation modérée dans le secteur manufacturier au Québec.*
  - *Faible : peu d'utilité dans le secteur manufacturier au Québec.*
- 2. Difficulté de substitution :** Degré selon lequel les minéraux figurant dans la chaîne de valeur peuvent être substitués en raison de la disponibilité, des performances et du coût d'autres minéraux essentiels figurant dans la chaîne de valeur.
  - *Élevée : peu ou pas de substitut.*
  - *Modérée : peut être substitué, mais avec un impact négatif sur la performance et le coût.*
  - *Faible : forte interchangeabilité.*
- 3. Risque de la chaîne de valeur au Québec :** Degré selon lequel les minéraux ou toute étape de la chaîne de valeur sont susceptibles de faire l'objet de pénuries ou de perturbations. Cela pourrait se traduire par des déséquilibres futurs entre l'offre et la demande, des niveaux élevés de concentration géographique ou de tensions politiques, de catastrophes naturelles ou d'impacts du changement climatique. **L'étude part du principe que tous les minéraux considérés comme stratégiques et/ou critiques sont considérés comme à haut risque en termes d'approvisionnement local, national et international.**
  - *Élevée : la perturbation de la chaîne de valeur au Québec est très probable.*
  - *Modérée : la perturbation de la chaîne de valeur au Québec est peu probable.*
  - *Faible : la perturbation de la chaîne de valeur au Québec est plutôt improbable.*
- 4. Croissance annuelle de la demande :** Évaluation de la demande prévue justifiant l'intérêt économique local pour le développement d'une chaîne de valeur complète au Québec.
  - *Élevée : 7 % et plus.*
  - *Modérée : 4 à 6 %.*
  - *Faible : 0 à 3 %.*
- 5. Implication dans la chaîne de valeur :** Évaluation de la capacité du Québec à accroître sa capacité actuelle de production des minéraux faisant partie de la chaîne de valeur et/ou à participer aux activités de transformation de la phase 2 (raffinage/fusion) et de la phase 3 (fabrication du produit final). Cette capacité dépend de plusieurs facteurs dont la faisabilité économique, le temps de

---

<sup>5</sup> Plus de détails sur les sources utilisées pour l'évaluation des minéraux selon les cinq critères sont présentés dans chacune des sous-sections.



développement/ capacités d'accélération, l'expertise locale et les ressources de l'économie canadienne.

- *Élevée : beaucoup d'acteurs actifs dans la majorité des maillons de la chaîne.*
- *Modérée : quelques acteurs dispersés à travers un ou plusieurs maillons.*
- *Faible : aucun ou très peu d'acteurs.*

#### **Ressources versus réserves mondiales**

Une ressource minérale est une concentration ou une occurrence de substance solide présentant un intérêt économique dans ou sur la croûte terrestre dont la forme, la teneur (ou qualité) et la quantité sont **telles qu'elles présentent des perspectives raisonnables d'extraction rentable à terme.**

Les réserves minérales désignent **la partie économiquement exploitable des ressources minérales** mesurées ou indiquées, démontrée par au moins une étude préliminaire de faisabilité.

Sauf indication, ce rapport présente les réserves minérales pour chacun des minéraux à l'étude.

### **Structure du rapport**

Ce premier rapport comprend la cartographie complète des maillons actifs au Québec aujourd'hui pour chacune des chaînes de valeur des 22 MCS, ainsi que les acteurs actifs dans chacun des maillons, organisé par :

- minéraux critiques nécessaires à l'approvisionnement d'usines québécoises en transformation;
- minéraux stratégiques liés aux politiques publiques et aux énergies renouvelables;
- minéraux stratégiques produits ou ayant un bon potentiel de mise en valeur au Québec.

Ce rapport fait aussi état du potentiel d'exploitation de nouveaux gisements/maillons pour le Québec relativement à chacun des MCS.

Les retombées économiques actuelles et futures ainsi que l'identification des chaînes de valeur prometteuses pour le futur seront présentées dans notre rapport suivant.

Tel que décrit dans notre méthodologie à la page 5, notre rapport est structuré comme suit :

- Par minerai pour les étapes 1, 2 et 3 de la chaîne de valeur;
- Par produit fini pour les étapes 4 et 5 de la chaîne de valeur.

### **Limitations**

Il faut lire ce rapport en gardant à l'esprit que le travail quantitatif et qualitatif est basé sur des données publiques et en partie sur les données de sondage. Pour certains minéraux ainsi que pour certains maillons de la chaîne de valeur, le marché est encore émergent. Ainsi, les données et faits mentionnés dans le rapport sont à mettre en perspective: les informations ne sont pas disponibles publiquement et dans certains cas il s'agit d'informations hautement stratégiques pour les entreprises nous empêchant de les publier dans le présent rapport. Plus de détails sur les limitations liées à ce rapport sont présentés dans l'Annexe A.

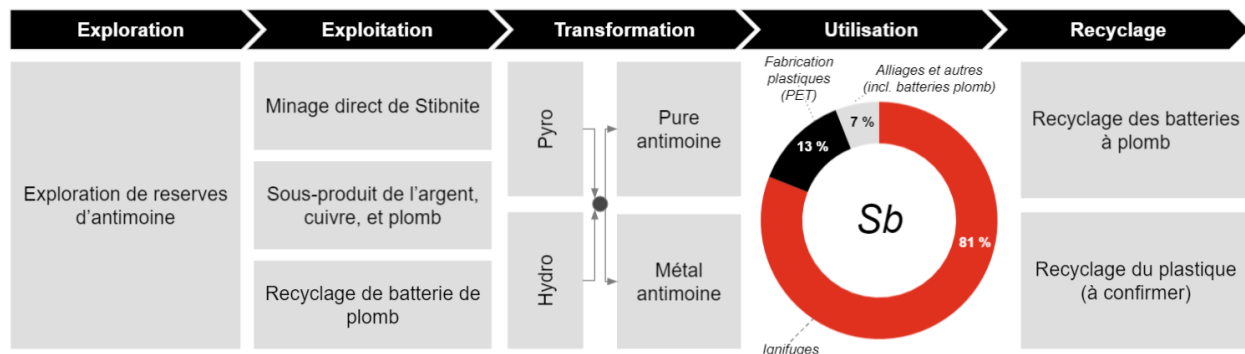
Bien que ce rapport présente une cartographie du secteur des minéraux critiques et stratégiques, il se peut que l'ensemble des entreprises impliquées dans le secteur ne soient pas répertoriées dans le rapport. Le rapport s'est concentré sur ceux qui semblaient les mieux adaptés au contexte de l'étude considérant le temps imparti.

# Portrait des chaînes de valeur des 22 minerais critiques

## Analyse de la chaîne de valeur – étapes 1 à 3

### Antimoine

Figure 2 : Aperçu de la chaîne de valeur de l'antimoine



Sources : Grand View Research, 2020. Analyse PwC.

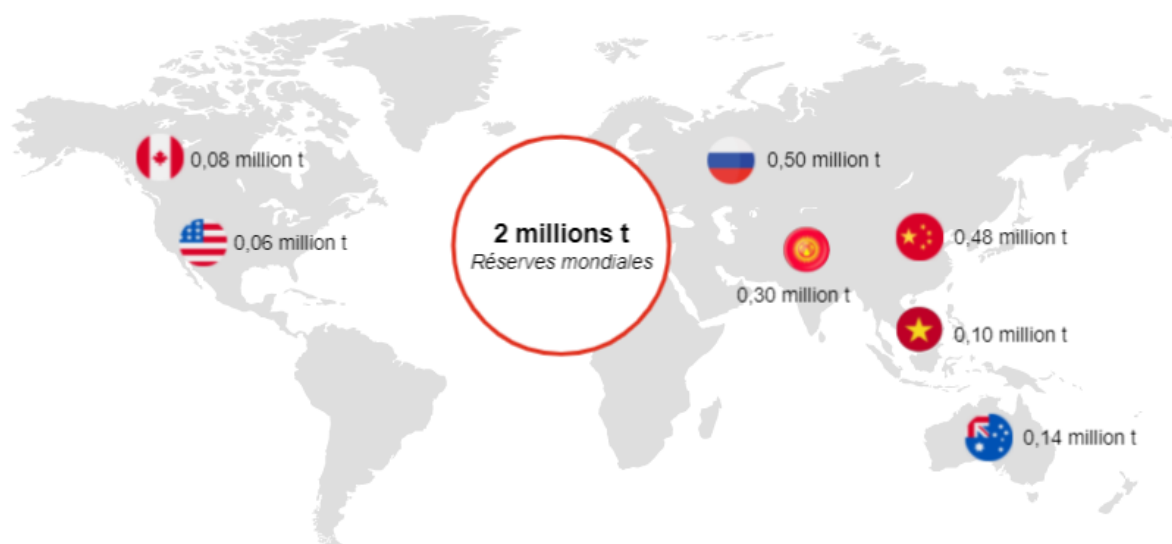
### Présentation générale

L'antimoine est un métalloïde gris lustré que l'on trouve dans la nature principalement sous forme de stibnite, un minéral sulfuré. Connu pour sa capacité à résister à la chaleur et à la corrosion, l'antimoine est présent dans un large éventail de biens de consommation – des peintures et des plastiques aux batteries et aux éoliennes. Ce minéral essentiel est également utilisé pour fabriquer du verre plus transparent pour les téléphones intelligents, les écrans d'ordinateur et les panneaux solaires. Le métal est également essentiel pour l'industrie de la défense puisqu'il est élément clé dans la composition des équipements de communication, des lunettes de vision nocturne, des explosifs, des munitions, des armes nucléaires, des sous-marins, des navires de guerre, de l'optique, de la visée laser, et bien plus encore. Les méthodes industrielles de raffinage de l'antimoine sont le grillage et la réduction avec du carbone ou la réduction directe de la stibnite avec du fer. La Chine est le plus grand producteur d'antimoine et de ses composés.

### Réserves mondiales

La présence de l'antimoine dans la croûte terrestre est estimée à 0,2 à 0,5 partie par million (ppm), et est comparable à celle du thallium estimée à 0,5 partie par million.

**Figure 3 : Réserves d'antimoine mondiales (millions de tonnes)**



Sources : The United States Geological Survey, 2021. Analyse PwC.

La Chine possède les plus grandes réserves enregistrées d'antimoine (environ 25 %), suivie par la Russie (environ 18 %), la Bolivie (environ 16 %), le Kirghizistan (environ 14 %). Le Canada a des réserves très limitées (4 %) et une production annuelle quasi nulle, tandis que la Chine est responsable à elle seule de 52 % de la production mondiale en 2020. Au Québec, on retrouve des traces d'antimoine dans certains gisements dans la région de la Gaspésie, souvent liées à des mines d'or, mais celui-ci n'est pas exploité de façon substantielle<sup>6</sup>.

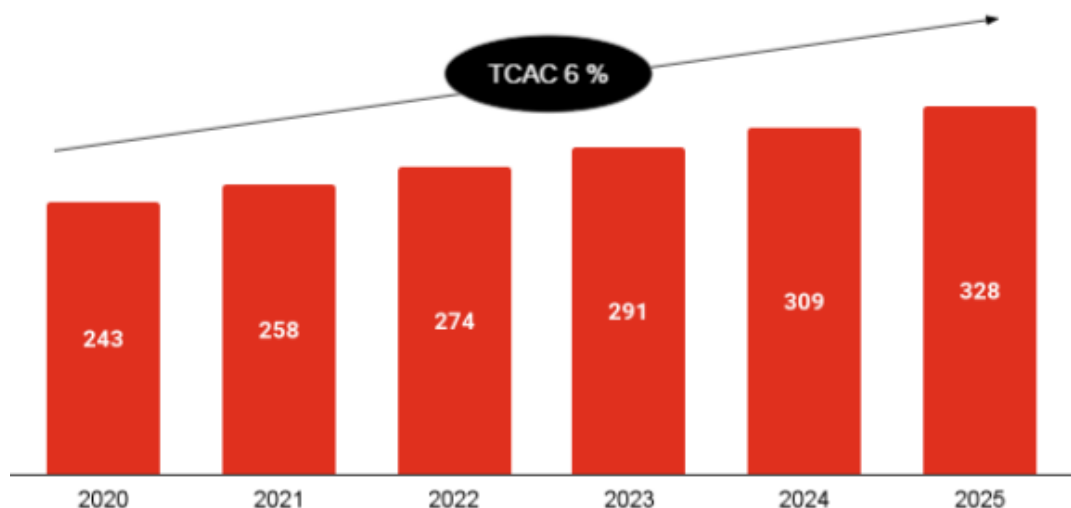
### **Demande mondiale**

Le principal facteur de croissance du marché de l'antimoine est la réglementation croissante en matière de sécurité incendie dans les espaces commerciaux et privés, l'antimoine étant utilisé pour la sécurité incendie. Entre 2016 et 2019, l'antimoine se vendait à un prix annuel moyen oscillant entre 3,35 \$ US et 3,98 \$ US la livre<sup>7</sup>.

<sup>6</sup> Énergie et Ressources naturelles du Québec, Système d'information géominière du Québec. Lien: <https://gq.mines.gouv.qc.ca/portail-substances-minerales/>

<sup>7</sup> *New York dealer price*, métal pur à 99,65 %, USGS 2021.

**Figure 4 : Demande mondiale d'antimoine (kilotonnes, 2020-2025p)**



Sources : Data Bridge, Market Research, USGS 2021. Analyse PwC

TCAC : Taux de croissance annuel composé. Il s'agit de la variation annuelle comme si la croissance avait été constante tout au long de la période.

P : prévisions

### Chaîne de valeur et cartographie des acteurs

#### *Étapes 1 et 2 : Prospection, exploration, exploitation, traitement, concentration et première transformation*

Il n'y a actuellement aucune mine d'antimoine au Québec. Cela dit, 5N Plus participe actuellement aux premières transformations des minéraux à partir de résidus miniers récupérés.

Les exploitations québécoises produisent environ 5 tonnes d'antimoine par an, soit l'équivalent de 55 000 \$, ce qui est relativement insignifiant à l'échelle mondiale (part de marché < 0,1 %)⁸.

**Tableau 1 : Cartographie des acteurs confirmés de l'étape 2 au Québec**

Compagnie	Activités	Taille des réserves
5N Plus	Production – première transformation	Non applicable
Casmatec	Production – première transformation	Non applicable

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC

#### *Étape 3 : Utilisation*

La production mondiale d'antimoine est actuellement utilisée comme suit : 81 % pour les retardateurs de feu, 13 % pour la production de plastique PET et le reste pour les alliages et autres applications⁹.

L'antimoine est également utilisé pour les écrans, le papier, la peinture, les produits électriques, les turbines à vent, les panneaux solaires et de multiples applications de défense (militaire).

⁸ Statistiques annuelles de la production minière, gouvernement du Canada, 2019.

⁹ Technavio, 2020 Marché mondial de l'antimoine.

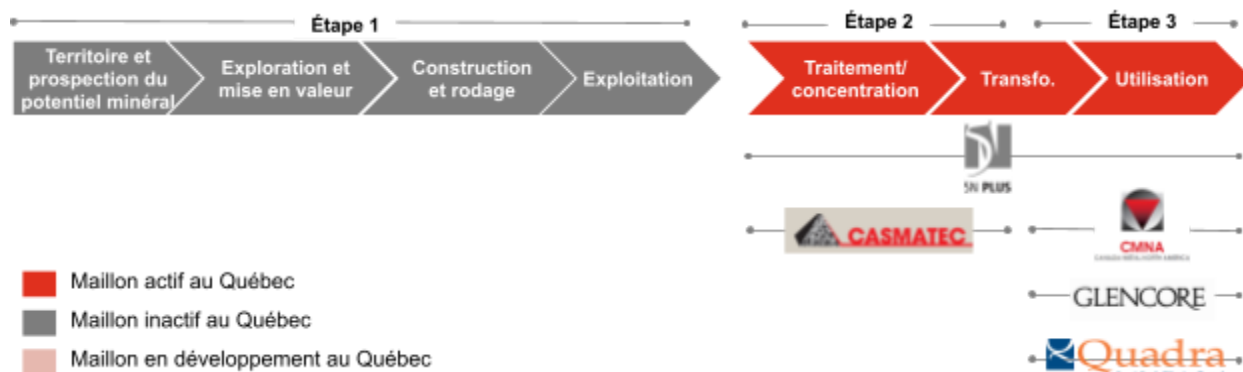
**Tableau 2 : Cartographie des acteurs confirmés de l'étape 3 au Québec selon le secteur d'activité visé**

Secteur d'activité visé	Compagnie	Description des applications
Alliages spéciaux	5N Plus	Fabrication des diodes, des détecteurs à infrarouge et des dispositifs à effet Hall
	Canada Metal NA	Alliages industriels
	Fonderie générale du Canada (Glencore)	Fabrique des alliages de plomb contenant de l'antimoine, du cuivre, de l'étain et d'autres métaux non ferreux
	Casmatec	Alliages industriels
Produits chimiques	Quadra Chemicals	Produits chimiques pour diverses industries

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC

## Valeur stratégique pour le Québec

Figure 5 : État d'avancement des étapes 1 à 3 de la chaîne de valeur



### Importance du produit final : faible

L'antimoine est considéré comme important pour les applications de défense. Ainsi, bien qu'il soit important au niveau national, il n'est pas nécessairement essentiel pour la province et il semble être peu utilisé. Bien que le minéral soit utilisé pour la production d'écrans, de batteries à plomb et d'éoliennes, le Québec n'est pas très actif dans ces secteurs.

### Difficulté de substitution du minerai : modérée

Certains composés organiques et l'oxyde d'aluminium hydraté sont des substituts des produits ignifuges. Les composés de chrome, d'étain, de titane, de zinc et de zirconium remplacent les produits chimiques à base d'antimoine dans les émaux, les peintures et les pigments. Des combinaisons de calcium, de cuivre, de sélénium, de soufre et d'étain remplacent les alliages dans les batteries au plomb<sup>10</sup>.

### Risque de la chaîne de valeur : faible

Comme la chaîne de valeur est actuellement incomplète et sous-développée au Québec, aucun risque existant ne semblerait pouvoir la perturber d'une manière substantielle.

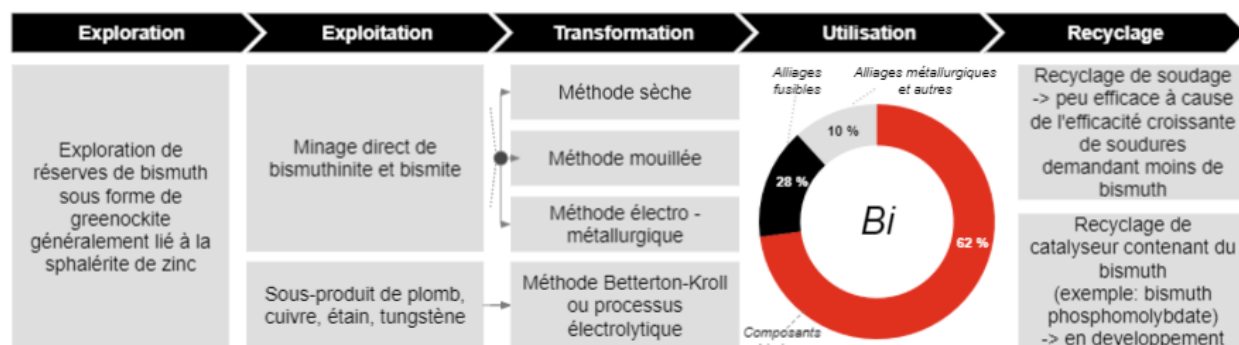
### Implication dans la chaîne de valeur : modérée

Un nombre limité d'acteurs transforme l'antimoine au Québec. Aucune mine d'antimoine n'est actuellement exploitée au Québec et aucun projet de production n'a été relevé. Les réserves canadiennes semblent globalement limitées. La Chine, la Russie et le Tadjikistan sont responsables de 90 % de la production mondiale annuelle.

<sup>10</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>.

## Bismuth

Figure 6 : Aperçu de la chaîne de valeur du bismuth



Source : Technavio, 2020. Analyse PwC

### Présentation générale

Le bismuth est un métal blanc cassant et cristallin avec une légère teinte rosée. Il a une variété d'utilisations, notamment pour les cosmétiques, les alliages, les extincteurs et les munitions. Il est aussi utilisé comme ingrédient principal des médicaments contre les maux d'estomac tels que le Pepto-Bismol. Le bismuth naturel se trouve en petites quantités dans la croûte terrestre, à la fois sous forme de métal pur et de métal combiné avec d'autres éléments dans divers composés. La plus grande source de bismuth se trouve dans le minéral bismuthinite, ou sulfure de bismuth. Le bismuth est généralement obtenu comme sous-produit du raffinage des minerais de plomb, de cuivre, d'étain, d'argent et d'or.

### Réserves mondiales

Les réserves mondiales de bismuth sont généralement estimées en fonction de la teneur en bismuth des ressources en plomb, car la production de bismuth est le plus souvent un sous-produit du traitement des minerais de plomb. La Chine et le Vietnam détiennent à eux seuls environ 80 % des réserves mondiales de bismuth, et la Chine détient près de 82 % de la production mondiale annuelle de ce minerai. Dans ces deux pays, le bismuth est un sous-produit ou un coproduit du traitement du tungstène et d'autres minerais métalliques. Les minéraux de bismuth sont rarement présents dans des quantités suffisantes à extraire comme produits principaux. La mine de Tasna en Bolivie et une mine en Chine sont les seules mines où le bismuth a été extrait comme minerai principal. La mine de Tasna est inactive depuis 1996.

Figure 7 : Réserves mondiales de bismuth (kilotonnes)

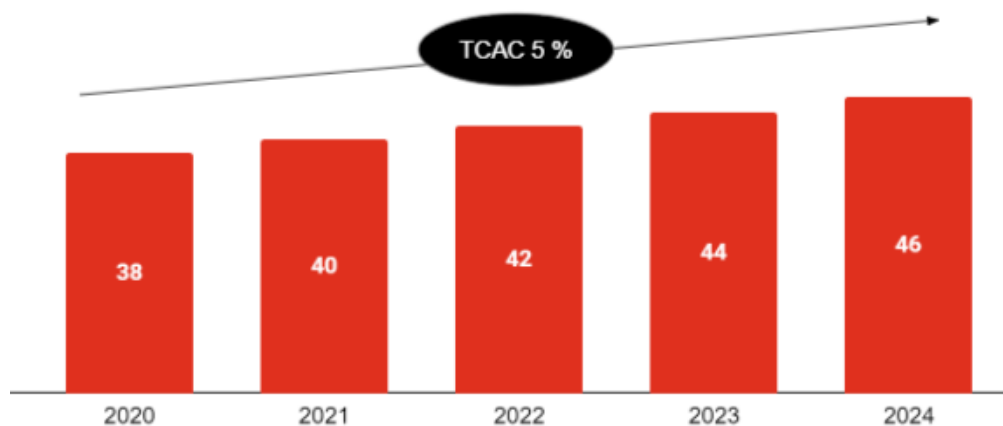


Source : The United States Geological Survey, 2021. Analyse PwC

### Demande mondiale

Le marché mondial du bismuth est estimé à 38 kilotonnes en 2020, et il devrait atteindre environ 46 kilotonnes en 2025, avec un TCAC de 5,3 %. La croissance de la demande de bismuth est principalement induite par la croissance de l'industrie des cosmétiques. Enfin, le prix annuel moyen du bismuth oscillait entre 3,19 \$ US et 4,93 \$ US la livre pour la période de 2016 à 2019<sup>11</sup>.

**Figure 8 : Demande mondiale de bismuth (kilotonnes, 2020-2024p)**



Sources : Research and Markets, Bismuth – Global Market Trajectory & Analytics July 2020, USGS 2021. Analyse PwC.

### Chaîne de valeur et cartographie des acteurs

#### Étapes 1 et 2 : Prospection, exploration, exploitation, traitement, concentration et première transformation

Il n'y a actuellement aucune mine de bismuth au Québec. 5N Plus, une entreprise québécoise, détient 50 % des parts du marché mondial de bismuth, mais ne produit pas et n'exploite pas le minerai dans la province<sup>12</sup>.

#### Étape 3 : Utilisation

La production mondiale de bismuth est actuellement utilisée comme suit : 62 % dans des composants chimiques principalement utilisés dans les médicaments et les cosmétiques, 28 % dans la production d'alliage de fusibles et le reste dans des alliages métallurgiques et autres.

Au Québec, la production de bismuth sert principalement à produire des composants chimiques qui seront exportés et utilisés dans les médicaments et les cosmétiques.

**Tableau 4 : Cartographie des acteurs confirmés de l'étape 3 au Québec selon le secteur d'activité visé**

Secteur d'activité visé	Compagnie	Description des applications
Composants chimiques	5N Plus	Médicaments et cosmétiques
Alliages industriels	Fondrémy	Équipements industriels

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC

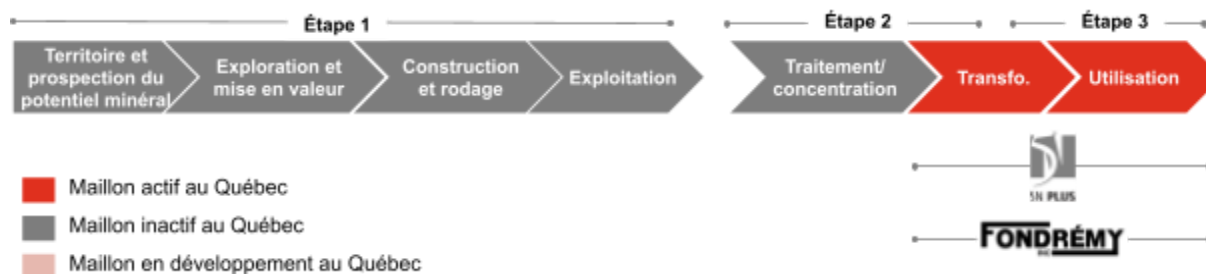
<sup>11</sup> New York dealer price, métal pur à 99,99 %, USGS 2021.

<sup>12</sup> 5N Plus, site Web.



## Valeur stratégique pour le Québec

Figure 9 : État d'avancement des étapes 1 à 3 de la chaîne de valeur



### Importance du produit final : modérée

Le bismuth est important pour la production de cosmétiques et de médicaments. Il est également utile pour remplacer les métaux plus nocifs (en particulier le plomb) dans les soudures.

### Difficulté de substituabilité du minerai : faible

Les composés de bismuth peuvent être remplacés dans les applications pharmaceutiques par l'alumine, les antibiotiques, le carbonate de calcium et la magnésie. Les paillettes de mica recouvertes de dioxyde de titane et les extraits d'écaillés de poisson sont des substituts dans les utilisations de pigments. Le cadmium, l'indium, le plomb et l'étain peuvent remplacer partiellement le bismuth dans les soudures à basse température. Les résines peuvent remplacer les alliages de bismuth pour maintenir les formes métalliques pendant l'usinage, et les ampoules de verre remplies de glycérine peuvent remplacer les alliages de bismuth dans les dispositifs de déclenchement des extincteurs automatiques d'incendie. Les alliages d'usinage libre peuvent contenir du plomb, du sélénium ou du tellure pour remplacer le bismuth<sup>13</sup>.

### Risque de la chaîne de valeur : faible

Il y a seulement un seul acteur au Québec qui produit du bismuth à partir de résidus miniers, et la Chine est le principal pays producteur de bismuth. La production de bismuth est en grande partie exportée à l'extérieur du Québec. L'impact d'un enjeu d'approvisionnement de résidus miniers sur la chaîne de valeur demeure donc limité et le risque, faible.

### Implication dans la chaîne de valeur : élevée

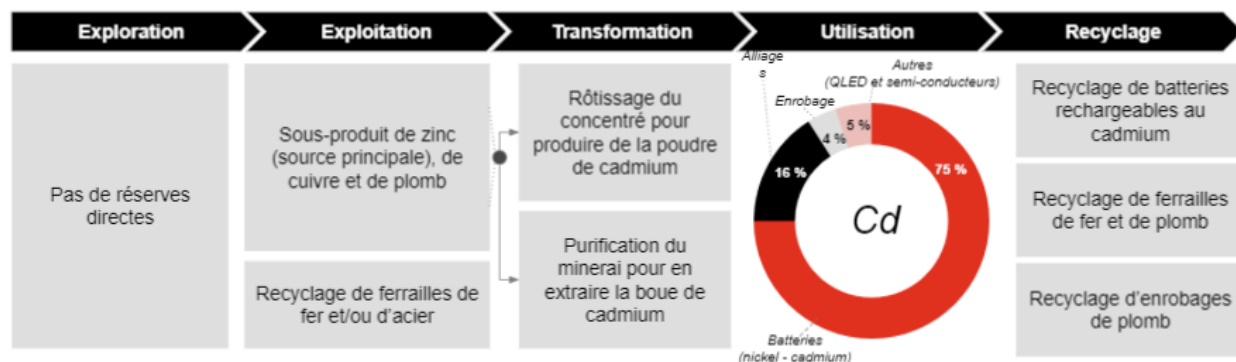
5N Plus semble être le seul acteur au Québec qui extrait le minerai de résidus miniers pour le transformer en bismuth et représente une des seules options à l'extérieur de l'Asie, avec une production annuelle de près de 50 % du marché mondial<sup>14</sup>.

<sup>13</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>.

<sup>14</sup> 5N Plus, site Web.

## Cadmium

Figure 10 : Aperçu de la chaîne de valeur de cadmium



Source : Technavio, 2020. Analyse PwC.

### Présentation générale

Le cadmium est un métal blanc bleuté, mou et malléable, qui se trouve dans le minerai de zinc. La majeure partie du cadmium produit aujourd'hui est obtenue à partir de sous-produits du zinc et est récupérée dans les batteries nickel-cadmium usagées. Le cadmium est devenu un métal important dans la production des batteries rechargeables nickel-cadmium et comme revêtement anticorrosion pour le fer et l'acier. Les utilisations industrielles courantes du cadmium sont aujourd'hui les piles, les alliages, les revêtements (galvanoplastie), les cellules solaires, les stabilisateurs de plastique et les pigments. Le cadmium est également utilisé dans les réacteurs nucléaires, où il agit comme un absorbeur de neutrons. Le cadmium et ses composés sont hautement toxiques et l'exposition à ce métal est connue pour provoquer des cancers et cibler les systèmes cardiovasculaire, rénal, gastro-intestinal, neurologique, reproducteur et respiratoire de l'organisme<sup>15</sup>.

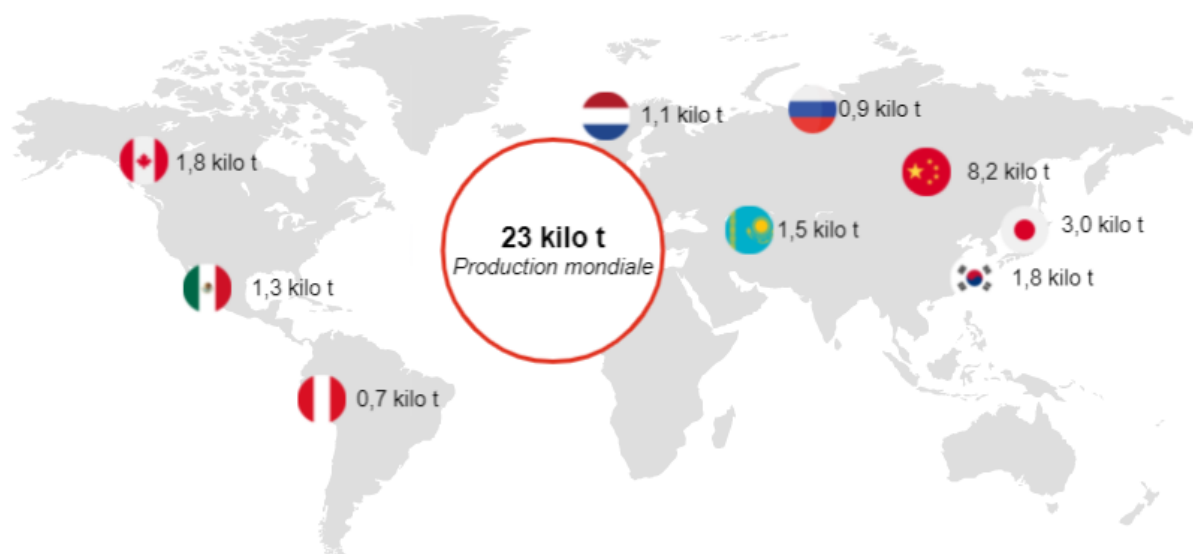
### Réserves mondiales

Le cadmium constitue environ 0,1 ppm de la croûte terrestre. Il est beaucoup plus rare que le zinc, qui représente environ 65 ppm. On ne connaît aucun gisement important de minerai contenant du cadmium. Le seul minéral cadmie d'importance, la greenockite, est presque toujours associé à la sphalérite. Cette association s'explique par la similitude géochimique entre le zinc et le cadmium, aucun processus géologique n'étant susceptible de les séparer. Ainsi, le cadmium est principalement produit comme sous-produit de l'extraction, de la fusion et du raffinage des minerais sulfurés de zinc et, dans une moindre mesure, de plomb et de cuivre. De petites quantités de cadmium, environ 10 % de la consommation, sont produites à partir de sources secondaires, principalement à partir de la poussière générée par le recyclage des déchets de fer et d'acier<sup>16</sup>. Dans ce sens, nous présenterons ici la production plutôt que les réserves.

<sup>15</sup> United States Department of Labor, Cadmium.

<sup>16</sup> La composition de la croûte continentale, Geochimica et Cosmochimica Acta.

**Figure 11 : Production annuelle mondiale de cadmium (kilotonnes)**



Source : The United States Geological Survey, 2021. Analyse PwC.

Le Canada est en fait le quatrième producteur de cadmium, avec 8 % de la production mondiale annuelle. Le plus grand acteur actuel est la Chine, qui est responsable d'environ 36 % de la production mondiale annuelle.

### **Demande mondiale**

Le cadmium est principalement consommé pour la production de batteries rechargeables nickel-cadmium; les autres utilisations finales comprennent les pigments, les revêtements et le placage ainsi que les stabilisateurs pour les plastiques. La fabrication de cellules solaires pourrait devenir un autre marché important pour le cadmium dans l'avenir. Les cellules photovoltaïques à couche mince de tellure de cadmium constituent une alternative aux cellules solaires traditionnelles à base de silicium et sont une technologie photovoltaïque privilégiée pour les applications commerciales sur les toits et les systèmes de services publics à grande échelle montés au sol. Entre 2016 et 2019, le cadmium s'est vendu à un prix annuel moyen oscillant entre 1,34 \$ US et 2,89 \$ US le kilo<sup>17</sup>.

### **Chaîne de valeur et cartographie des acteurs**

#### *Étapes 1 et 2 : Prospection, exploration, exploitation, traitement, concentration et première transformation*

La production de cadmium au Québec est limitée, soutenue par quelques mines de zinc actives dans la province (traitées dans une autre section du rapport). Le cadmium est extrait comme sous-produit au Nouveau-Brunswick, au Québec et en Ontario et raffiné dans les quatre fonderies de zinc canadiennes (situées à Valleyfield, au Québec, à Trail, en Colombie-Britannique, à Timmins, en Ontario, et à Flin Flon, au Manitoba). Les entreprises québécoises produisent environ 164 tonnes de cadmium par an<sup>18</sup>.

**Tableau 5 : Cartographie des acteurs confirmés des étapes 1 à 2 au Québec**

Compagnie	Activités	Taille des réserves
5N Plus	Production – première transformation	Non applicable
CEZinc (Glencore)	Production – première transformation	Non applicable

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

<sup>17</sup> New York dealer price, métal pur à 99,95 %, USGS 2021.

<sup>18</sup> Ressources naturelles Canada : statistiques annuelles de la production minière, gouvernement du Canada, 2019.

### Étape 3 : Utilisation

La production mondiale de cadmium est actuellement utilisée comme suit : 75 % pour les batteries (nickel-cadmium), 16 % pour des alliages, 4 % pour l'enrobage et 5 % pour d'autres utilisateurs, incluant le QLED et les semi-conducteurs, et le reste pour les alliages et autres applications<sup>19</sup>.

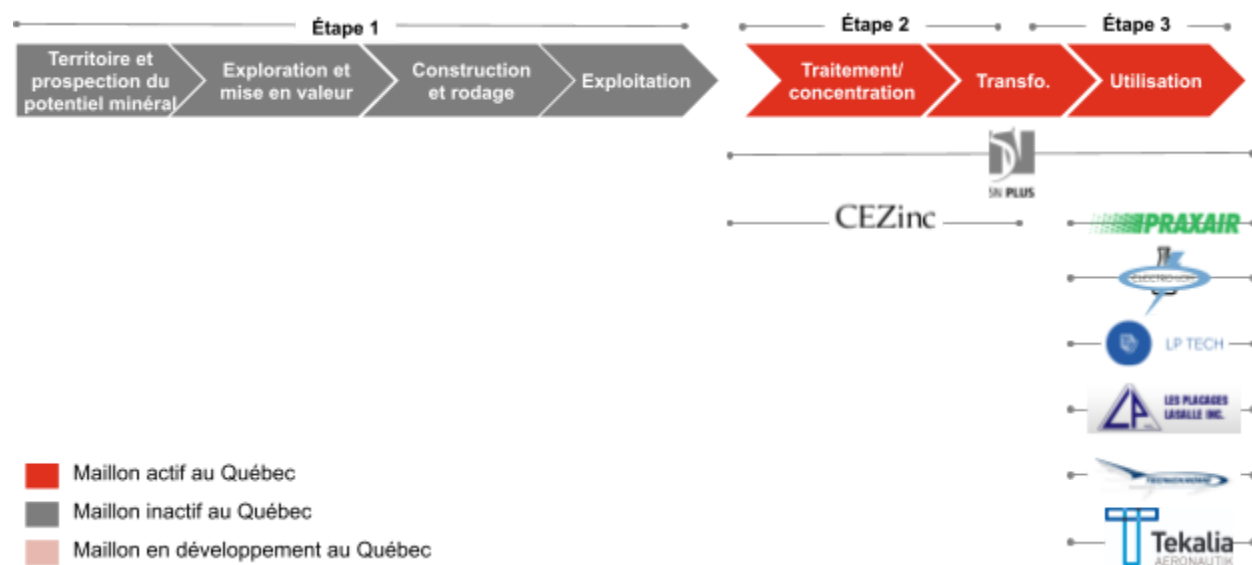
**Tableau 6 : Cartographie des acteurs confirmés de l'étape 3 au Québec selon le secteur d'activité visé**

Secteur d'activité visé	Compagnie	Description des applications
Alliages spéciaux	5N Plus	Applications solaires, détecteurs de rayonnement nucléaire
Cadmiage	Praxair	Application de cadmium sur l'acier
	Electro Loh Ltée	
	LP Tech Inc	
	Placage Lasalle Inc	
	Technichrome Aéronautique	
	Tékalia Aéronautik Inc	

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises et base de données de l'ICRIQ. Analyse PwC.

### Valeur stratégique pour le Québec

**Figure 12 : État d'avancement des étapes 1 à 3 de la chaîne de valeur**



<sup>19</sup> International Cadmium Association, 2020. Lien: cadmium.org.

*Importance du produit final : élevée*

Le cadmium est essentiel pour la production de batteries nickel-cadmium et de cellules solaires au cadmium. Aucune confirmation n'a pu être obtenue relativement à l'existence d'une production de ces produits au Québec.

*Difficulté de substituabilité du minerai : modérée*

Les batteries lithium-ion et nickel-métal-hydrure peuvent remplacer les batteries NiCd dans de nombreuses applications. Sauf lorsque les caractéristiques de surface d'un revêtement sont critiques (ex. : les fixations pour les avions), les revêtements de zinc, de zinc-nickel, d'aluminium ou d'étain peuvent remplacer le cadmium dans de nombreuses applications de placage. Le sulfure de cérium est utilisé pour remplacer les pigments de cadmium, principalement dans les plastiques. Les cellules photovoltaïques au silicium amorphe et au séléniure de cuivre-indium-gallium concurrencent le tellure de cadmium sur le marché des cellules solaires à couche mince. Les chercheurs poursuivent leur travail afin de faire progresser une nouvelle technologie à couche mince basée sur un matériau pérovskite comme substitut potentiel.

*Risque de la chaîne de valeur : faible*

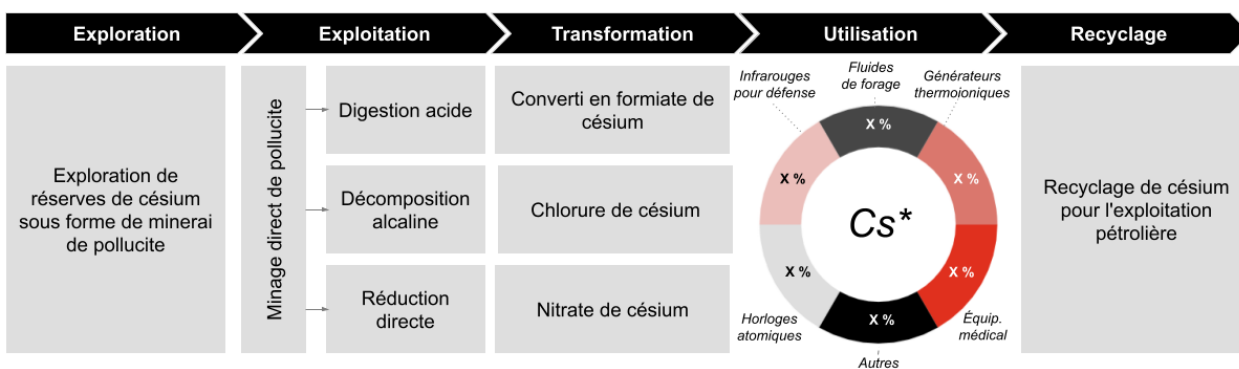
Comme la chaîne de valeur est limitée au traitement de résidus miniers pour le convertir en Cadmium, puis l'exporter, l'impact sur la chaîne de valeur au Québec est faible.

*Implication dans la chaîne de valeur : modérée*

L'activité de production au Québec réside dans le traitement de résidus miniers pour en extraire le cadmium. L'activité de fabrication est également limitée du côté des applications et la grande majorité de la production est actuellement exportée, principalement parce que le Québec ne produit pas de cellules de batterie, qui représentent 75 % de la demande pour le cadmium.

## Césium

Figure 13 : Aperçu de la chaîne de valeur du césium



Source : Technavio, 2020 . Analyse PwC.

Note : \*Marché en développement. Aucune donnée sur la part de marché par application.

### Présentation générale

Le césium est un élément métallique argenté-or. C'est un composé inorganique connu sous le nom de composés de métaux alcalins homogènes. Il se trouve naturellement avec d'autres éléments tels que les roches, la terre et la poussière. Le césium naturellement trouvé n'est pas radioactif et est connu sous le nom de césium stable. Les minéraux de césium sont utilisés comme matière première pour fabriquer une large gamme de métaux et de composés de césium, tels que les saumures de formiate de césium, le nitrate de césium et le chlorure de césium. La saumure de formiate de césium a des applications dans la production pétrolière et gazière et dans l'industrie de l'exploration pendant le processus de forage à haute température. Le nitrate de césium est utilisé comme réfrigérant et oxydant dans des industries telles que la pyrotechnie. Le chlorure de césium est utilisé comme réactif chimique dans le réactif de chimie analytique. D'autres composés de césium comprennent le carbonate de césium, l'hydroxyde de césium et le bromure de césium. L'augmentation de la demande de composés de césium pour traiter le cancer devrait stimuler la demande au cours des prochaines années<sup>20</sup>.

### Réserves mondiales

Il n'y a pas de source officielle pour les données de production de césium en 2020. Les réserves de césium sont rares et elles sont donc estimées en fonction de la présence de pollucite, un minéral primaire de lithium-césium-rubidium. La plupart des pollucites contiennent de 5 % à 32 % d'oxyde de césium. Aucune donnée fiable n'est disponible pour déterminer les réserves par pays. Cependant, l'Australie, le Canada, la Chine, la Namibie et le Zimbabwe auraient des réserves totalisant moins de 200 000 tonnes<sup>21</sup>.

### Demande mondiale

On estime que la demande mondiale de césium pourrait croître à un rythme annuel moyen de 3 % entre 2019 et 2024. Cette croissance s'explique principalement par l'augmentation de l'utilisation du minerai dans les traitements pour le cancer. L'Amérique du Nord générera 52 % de la demande en césium au cours des cinq prochaines années<sup>22, 23</sup>.

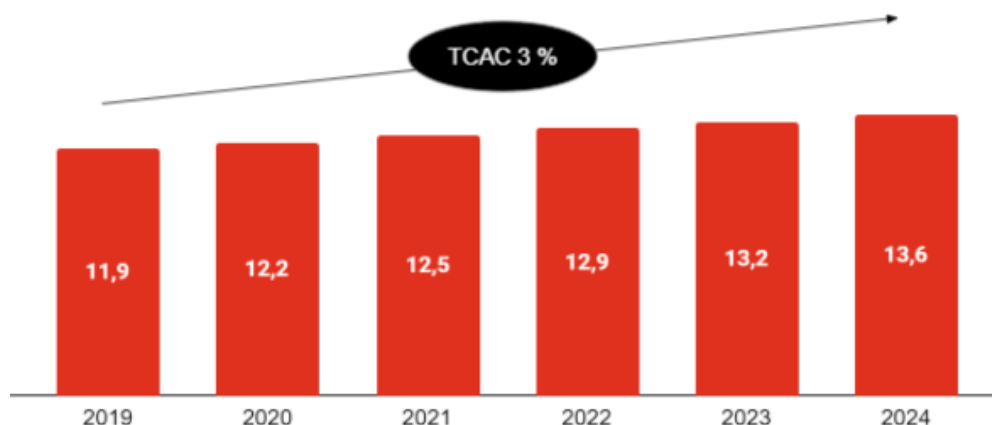
<sup>20</sup> Bloomberg, 2020. COVID-19 Impact and Recovery Analysis - Cesium Market 2020-2024 | Growing Importance of Cesium in Cancer Treatment to Boost. Lien: <https://www.bloomberg.com/press-releases/2020-07-08/covid-19-impact-and-recovery-analysis-cesium-market-2020-2024-growing-importance-of-cesium-in-cancer-treatment-to-boost>.

<sup>21</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>.

<sup>22</sup> Technavio, 2020.

<sup>23</sup> Il est à noter que le prix au marché n'est pas disponible pour le césium, car il n'est pas vendu en quantité suffisante sur les marchés.

**Figure 14 : Demande mondiale de césium (kilotonnes, 2019-2024p)**



Source : Technavio, 2020. Analyse PwC

### **Chaîne de valeur et cartographie des acteurs**

Le césium est extrêmement rare. Il n'y a que trois mines de pegmatite dans le monde qui produisent du césium :

- Tanco, Manitoba, Canada (production arrêtée);
- Bitika, Zimbabwe (actuellement à l'arrêt);
- Sinclair, Australie (minerai stocké).

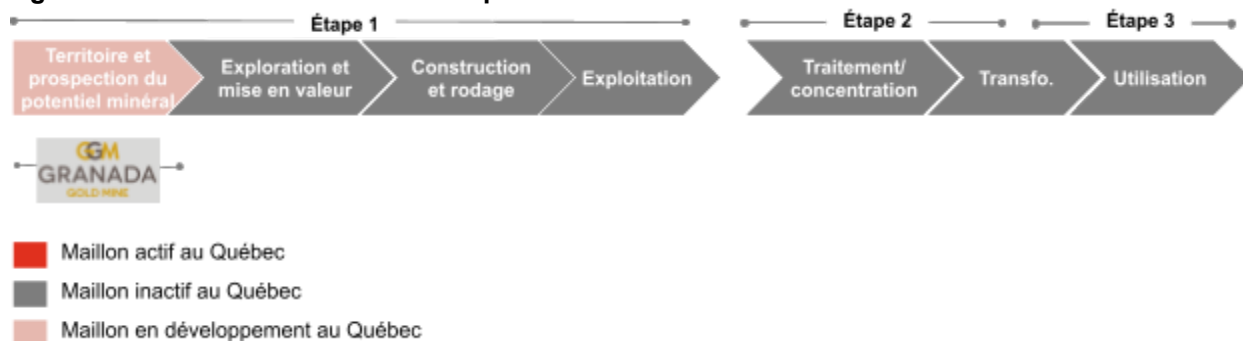
Il existe un nombre limité d'entreprises dans le monde dans cette chaîne de valeur. La mine Tanco et les stocks de minerai de Sinclair appartiennent tous deux à Sinomine Resource Group Co., Ltd, implantée en Chine. Pioneer Resources Limited a conclu un accord de prélèvement avec Cabot Specialty Fluids Ltd pour vendre 100 % du minerai de césium extrait du gisement de césium de la zone Sinclair à Cabot (communiqué de presse de Pioneer, daté du 20 juin 2018). L'activité « fluides de spécialité » de Cabot Corporation, y compris la mine Tanco, a été vendue à Sinomine Resource Group Co., Ltd. À la suite de la vente de l'activité « fluides de spécialité » de Cabot à Sinomine, Pioneer Resources a expédié ses stocks de pollucite (minerai de Cs) à Sinomine Specialty Fluids Limited (communiqués de presse de Pioneer, datés du 15 août 2019 et du 11 septembre 2019). La Chine possède donc les stocks de césium de ces trois mines. L'une des seules entreprises avec un potentiel commercial d'approvisionnement en césium en Amérique du Nord est la compagnie minière canadienne Power Metals, qui espère prouver qu'elle se trouve sur le quatrième gisement exploitable au monde en Ontario. Par contre, le Québec renferme un potentiel pour la découverte de pegmatites à spodumène (minéral de lithium), dont certaines pourraient contenir de la pollucite (minéral de césium-rubidium)<sup>24</sup>.

<sup>24</sup> Énergie et Ressources naturelles Québec. Lien :

<http://gq.mines.gouv.qc.ca/lexique-stratigraphique/province-du-superieur/suite-de-spodumene/#~:text=La%20Suite%20de%20spodum%C3%A8ne%20est,La%20Grande%20et%20de%20Nemiscau.>

## Valeur stratégique pour le Québec

Figure 15 : État d'avancement des étapes 1 à 3 de la chaîne de valeur



### Importance du produit final : faible

L'utilisation la plus courante des composés de césium est celle de fluides de forage pour l'exploitation du pétrole et du gaz. Les besoins en fluides de forage au Québec sont faibles à cet égard.

### Difficulté de substituabilité du minerai : modérée

Le césium et le rubidium peuvent être utilisés de manière interchangeable dans de nombreuses applications, car ils ont des propriétés physiques et des rayons atomiques similaires. Cependant, le césium est plus électropositif que le rubidium, ce qui en fait un matériau privilégié pour certaines applications. Cependant, le rubidium est extrait de gisements similaires, en quantités relativement plus faibles, en tant que sous-produit de la production de césium dans les pegmatites et sous-produit de la production de lithium à partir de lépidolite (roche dure). Il n'est donc pas plus disponible que le césium.<sup>25</sup>

### Risque de la chaîne de valeur : faible

Comme la chaîne de valeur est actuellement inexistante au Québec, aucun risque existant ne pourrait la perturber. Cependant, 52 % de la demande en césium viendra de l'Amérique du Nord dans les cinq prochaines années. Comme la Chine possède la totalité des stocks de césium existant aujourd'hui, l'Amérique du Nord risque d'être dépendante de la Chine pour s'approvisionner en césium.

### Implication dans la chaîne de valeur : faible

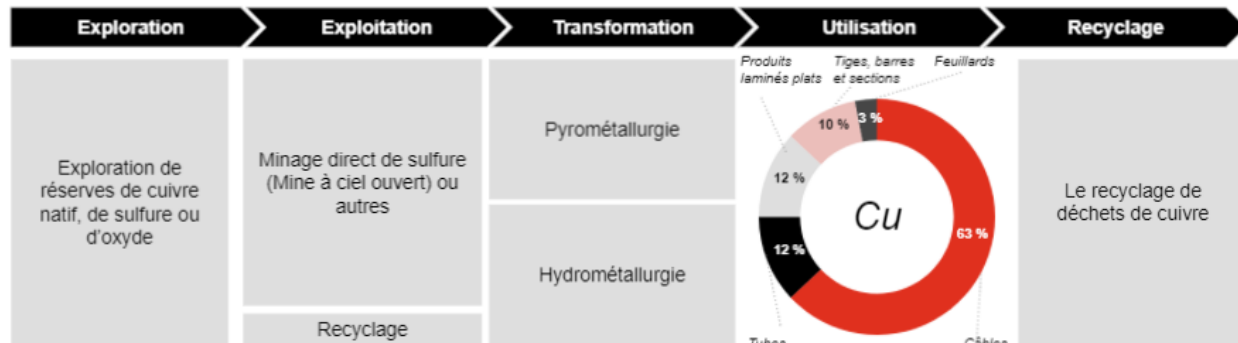
Le césium n'est pas actuellement exploité ou transformé au Québec. Il y a seulement une entreprise qui a peut-être trouvé un gisement de césium, mais les résultats sont encore préliminaires.

<sup>25</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>.



## Cuivre

Figure 16 : Aperçu de la chaîne de valeur de cuivre



Sources : Mordor Intelligence, 2021. Analyse PwC.

### Présentation générale

Le cuivre est un minéral et un élément essentiel à notre vie quotidienne. C'est un métal industriel majeur en raison de sa grande ductilité, de sa malléabilité, de sa conductivité thermique et électrique et de sa résistance à la corrosion. Le cuivre est essentiel dans le câblage électrique et les transports et joue un rôle de plus en plus important dans les énergies propres, car il est un composant crucial des éoliennes, des panneaux solaires et des véhicules électriques, qui nécessitent quatre fois plus de cuivre que les véhicules à essence classiques.<sup>26</sup>

### Réserves mondiales

On retrouve d'importantes réserves de cuivre à l'échelle mondiale, soit environ 870 millions de tonnes. Au rythme actuel de l'extraction de ce minerai, les réserves pourraient suffire aux besoins sur une période d'environ 5 millions d'années. Cependant, seule une infime partie de ces réserves est économiquement viable compte tenu des prix et des technologies actuels.

Figure 17 : Réserves mondiales de cuivre (millions de tonnes)



Source : The United States Geological Survey, 2021. Analyse PwC.

<sup>26</sup> Copper Development Association Inc. Lien : Copper.org.

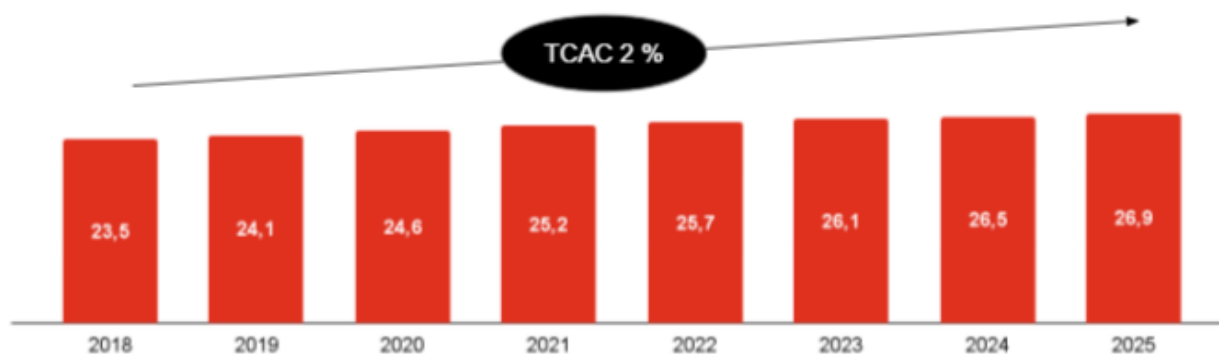
Le Canada détient moins de 1 % des réserves mondiales. Le pays qui détient la plus grande part des réserves est le Chili (23 %), suivi du Pérou (11 %). En termes de production annuelle, le Canada est également un acteur relativement petit, responsable de 1 % de l’approvisionnement annuel mondial. Le plus grand fournisseur est la Chine, responsable de près de 40 % de la production annuelle mondiale, bien qu’elle ne dispose que de trois fois plus de réserves que le Canada.

### Demande mondiale

L’augmentation prévue de la demande de cuivre est en partie le résultat du programme de production et de consommation d’énergie durable, qui s’inscrit dans le cadre de la campagne des gouvernements en faveur de l’énergie verte.<sup>27</sup> La Chine continuera à jouer un rôle important sur le marché du cuivre. Le pays représente environ la moitié de la consommation primaire mondiale, qui est ensuite utilisée pour fabriquer des biens d’exportation.

Dépendamment du marché sur lequel il est vendu, le cuivre affichait un prix annuel moyen oscillant entre 2,21 \$ US et 2,99 \$ US la livre au cours de la période allant de 2016 à 2019<sup>28</sup>.

**Figure 18 : Demande mondiale de cuivre (millions de tonnes, 2018-2025p)**



Source : Government of South Australia, 2020. Analyse PwC.

### Chaîne de valeur et cartographie des acteurs

#### *Étapes 1 et 2 : Prospection, exploration, exploitation, traitement, concentration et première transformation*

Si, historiquement, le cuivre a toujours été exploité au Canada, dans les dernières années, l’activité a considérablement ralenti. Au Québec, on recense 23 gisements ayant le cuivre comme substance principale ou secondaire et qui pourraient répondre à l’augmentation prévue de la demande pour ce minéral maintenant jugé critique. Cependant, trois projets sont actuellement à l’étape de la mise en valeur et seulement deux mines ont été identifiées comme des exploitations actives au Québec et dont l’activité principale porte sur l’extraction du cuivre. D’autres projets exploitent le cuivre à titre de sous-produit. C’est le cas des mines de nickel Raglan et Nunavik nickel, de la mine de zinc Bracemac-McLeod et de la mine d’or LaRonde. En date de 2019, le Québec produisait environ 36 000 tonnes de cuivre par an, soit une part du marché mondial d’environ 0,1 %<sup>29</sup>.

<sup>27</sup> S&P Global, Le prix du cuivre va augmenter en 2021.

<sup>28</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>.

<sup>29</sup> Statistiques annuelles de la production minière, gouvernement du Canada, 2019.

**Tableau 7 : Cartographie des acteurs confirmés des étapes 1 et 2 au Québec**

Compagnie	Activités	Taille des réserves
Doré Copper Mining	Gîtes – Plusieurs projets près de Chibougamau	Non disponible
QC Copper and Gold	Gîtes – Opemiska	Non disponible
Agnico-Eagle	Mise en valeur – Akasaba West	5,4 millions de tonnes, teneur de 0.48% cuivre
Ressources Falco	Mise en valeur – Horne 5	80,9 millions de tonnes, teneur de 0.17% de cuivre
Ressources Yorbeau	Mise en valeur – Lac Scott	Non disponible
Agnico-Eagle	Mine – LaRonde (or avec sous-produit cuivre)	39 117 tonnes de cuivre
Ressources Breakwater	Mine en maintenance – Langlois (Grevet)	Sans objet
Glencore	Mine – Raglan (nickel, sous-produit de cuivre)	Non disponible, production annuelle de 10 000 tonnes
Canadian Royalties	Mine – Nunavik Nickel (nickel, sous-produit de cuivre)	Non disponible
Sandstorm Gold Royalties (Glencore)	Mine – Bracemac-McLeod (zinc avec sous-produit de cuivre)	2,1 millions de tonnes, teneur de 6,0 % de zinc, 0,9 % de cuivre
Glencore	Première transformation – Horne	Non applicable
Affinerie CCR (Glencore)	Première transformation – Montréal	Non applicable

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises.

\* Estimation historique, non conforme à la norme NI 43-101.

### Étape 3 : Utilisation

La production mondiale de cuivre est actuellement destinée aux utilisateurs suivants : 75 % pour la production de câbles et de tubes, 12 % pour des produits laminés plats, 10 % pour des tiges, barres et sections et 3 % pour les feuillards.<sup>30</sup> On retrouve sur le répertoire de l'ICRIQ près de 60 entreprises au Québec associées à la fabrication de produits nécessitant du cuivre.<sup>31</sup>

**Tableau 8 : Cartographie des acteurs confirmés de l'étape 3 au Québec selon le secteur d'activité visé**

Secteur d'activité visé	Compagnie	Description des applications
Alliages spéciaux	5N Plus	Composantes électroniques et aéronautiques
	Fondrémy	Équipements industriels
	Tekna	Poudre de métal
Soudure	American Iron & Metal	Soudure et recyclage
Électricité	Nexan	Câbles électriques pour fins industriels
Placage	Electro Loh	Galvanoplastie et placage de pièces
Anode de cuivre	Fonderie Horne (Glencore)	Production d'anodes de cuivre

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

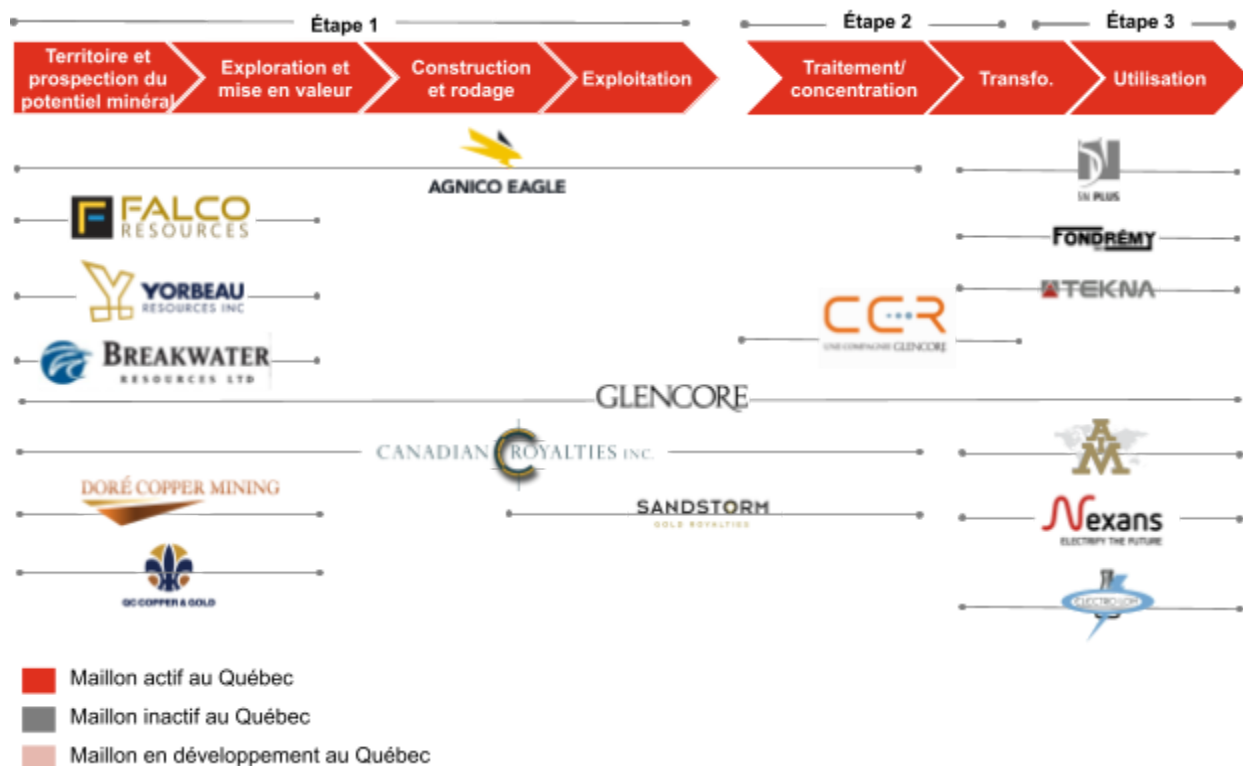
Note: le tableau suivant ne présente qu'un échantillon des entreprises utilisatrices de cuivre au Québec

<sup>30</sup> International Copper Study Group. Lien: <https://www.icsg.org/>

<sup>31</sup> Ceci inclut la fabrication des produits suivants: moulures architecturales en cuivre, laiton ou bronze, anodes, revêtements extérieurs, polissage des métaux, cuivrage, cuivre recyclé sous forme brute, plaques murales décoratives, câbles tressés, câbles de puissance, tiges, articles décoratifs et utilitaires, pièces moulées, gouttières, granules de cuivre récupéré, médaillons pour monuments, feuilles de cuivre pour circuits imprimés, barres de connexion électriques, en aluminium ou cuivre et fils de cuivre

## Valeur stratégique pour le Québec

Figure 19 : État d'avancement des étapes 1 à 3 de la chaîne de valeur



### Importance du produit final : élevée

Le cuivre est considéré comme essentiel pour de nombreuses applications et alliages, dont beaucoup sont produits au Québec. Cela indique que le minéral est très important pour la province. Le cuivre est un produit largement répandu à l'échelle mondiale et relativement mature relativement aux applications.

### Difficulté de substituabilité du minerai : faible

L'aluminium peut remplacer le cuivre dans les radiateurs automobiles, les tubes de refroidissement et de réfrigération, les équipements électriques et les câbles électriques. Le titane et l'acier sont utilisés dans les échangeurs de chaleur. La fibre optique remplace le cuivre dans les applications de télécommunications, et le plastique remplace le cuivre dans les tuyaux d'évacuation, les appareils de plomberie et les conduites d'eau.

### Risque de la chaîne de valeur : modéré

Il existe un potentiel intéressant pour développer des sources de production de minerai additionnelle dans la chaîne de valeur du cuivre au Québec, car les acteurs sont actuellement actifs à chaque étape. Les projets à l'étude pourraient venir renforcer l'exploitation du minerai au Québec, cependant, ils devront évaluer la possibilité d'extraire le minerai à un coût concurrentiel sur le marché mondial, car le cuivre se vend sur des marchés où les transactions s'effectuent rapidement et à haut volume (marché liquide) et identifié comme transparents (où l'information liée aux transactions est disponible). Certaines projections montrent un déficit de cuivre dans quelques années par rapport à la demande mondiale.

*Implication dans la chaîne de valeur : modérée*

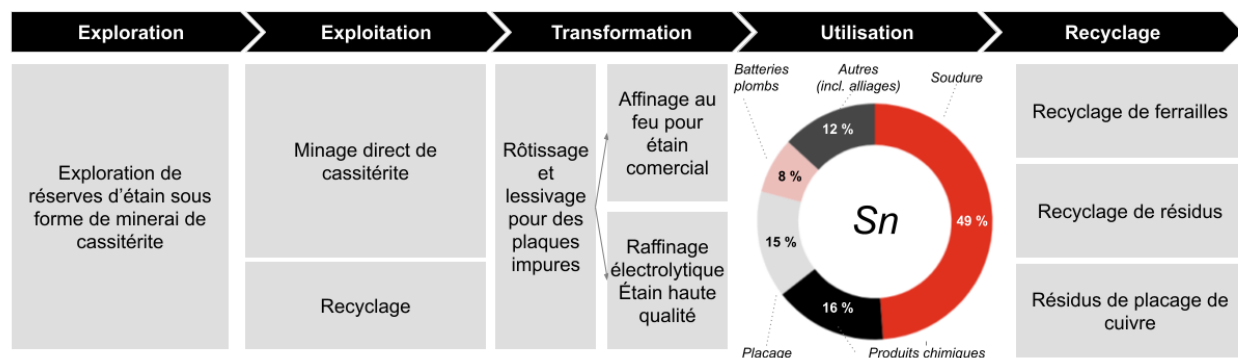
Il existe un certain potentiel pour développer des actifs dans le domaine du cuivre au Québec en ce qui concerne l'exploitation/concentration et le traitement. Ce potentiel est particulièrement intéressant si le gisement détient d'autres minéraux critiques exploitables en produits secondaires, ou que le cuivre est un sous-produit d'un processus minier. À cet effet, la compétitivité en termes de coût des projets est un facteur important puisque le cuivre est un segment mature et qu'il affiche un taux de croissance de la demande de 2 %, ce qui ne favorise pas l'ajout de capacités importantes sur le marché. De plus, notons que d'autres actifs sont actuellement en développement (ex. : l'expansion d'Oyu Tolgoi en Mongolie)<sup>32</sup>.

---

<sup>32</sup> Rio Tinto, 2021. Lien: <https://www.riotinto.com/en/operations/mongolia/oyu-tolgoi>.

## Étain

Figure 20 : Aperçu de la chaîne de valeur de l'étain



Sources : Mordor Intelligence, 2020. Analyse PwC.

### Présentation générale

L'étain est un métal gris-argent reconnu pour pouvoir être mélangé à d'autres métaux afin de former différents alliages (ex. : le bronze) ou pour ses caractéristiques anti-corrosives. En effet, l'étain est utilisé dans les revêtements de récipients en acier (ex. : les boîtes de conserve), les soudures pour assembler des tuyaux ou des circuits électriques et électroniques, la fabrication du verre et dans plusieurs procédés chimiques. La principale source d'étain d'importance commerciale est la cassitérite ( $\text{SnO}_2$ ), mais certaines quantités peuvent être extraites à partir de différents sulfures complexes. Enfin, le recyclage de l'étain est une composante importante de l'approvisionnement mondial de ce minerai : on estime qu'environ 18 000 tonnes d'étain ont été recyclées en 2020<sup>33</sup>.

### Réserves mondiales

L'étain est un métal relativement rare sur la planète, et sa présence sur la croûte terrestre est estimée à 2 ppm. En 2020, on estime les réserves mondiales d'étain à 4,3 millions de tonnes métriques. La Chine en détient une quantité considérable, avec plus du quart (26 %) des réserves sur son territoire, suivie de près par l'Indonésie, qui en détient un peu moins de 19 %. À eux seuls, ces deux pays produisent plus de 45 % de la production annuelle mondiale d'étain. Il est à noter qu'aucun pays d'Amérique du Nord n'est doté de ressources considérables.

<sup>33</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>.

**Figure 21 : Réserves mondiales d'étain (millions de tonnes)**

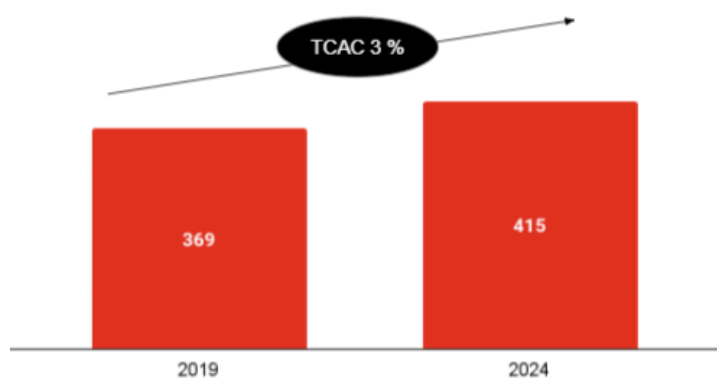


Source : The United States Geological Survey, 2021. Analyse PwC.

### **Demande mondiale**

De 2016 à 2019, la demande mondiale pour l'étain oscillait autour des 365 000 tonnes métriques. Près de la moitié de cette demande est destinée aux applications de soudure alors que l'étain est principalement utilisé pour souder des circuits électroniques. La demande mondiale d'étain est influencée par les applications électroniques, comme les téléphones cellulaires, les télévisions et les ordinateurs, des produits dont la demande ne risque pas de diminuer dans les prochaines années. Ainsi, l'étain joue un rôle important dans l'industrie de la fabrication de pointe, les technologies vertes (incluant les véhicules électriques), l'élaboration du réseau 5G et les applications associées à l'Internet des objets (« Internet of Things (IOT) »)<sup>34</sup>. Pour ces raisons, la demande mondiale pour ce minerai pourrait augmenter considérablement pour dépasser les 415 000 tonnes métriques en 2024. Sur les marchés, le prix annuel moyen de l'étain oscillait entre 8,15 \$ US et 9,37 \$ US la livre de 2016 à 2019<sup>35</sup>.

**Figure 22 : Demande mondiale d'étain (kilotonnes, 2019-2024p)**



Sources : Mordor Intelligence, 2020. Analyse PwC.

<sup>34</sup> Reuters (2020), Column: Bigger things predicted for tiny tin market, <https://www.reuters.com/article/us-metals-tin-at-home-idUKKBN28K1TN>.

<sup>35</sup> New York dealer price et London Metal Exchange, USGS 2021.



## Chaîne de valeur et cartographie des acteurs

### Étapes 1 et 2 : Prospection, exploration, exploitation, traitement, concentration et première transformation

Lors de la rédaction de ce rapport, aucun projet d'exploration d'étain n'était en cours d'évaluation et aucun site d'exploitation du minerai n'était actif. Deux entreprises transforment actuellement le minerai d'étain dans la province de Québec.

**Tableau 9 : Cartographie des acteurs confirmés des étapes 1 et 2 au Québec**

Compagnie	Activités	Taille des réserves
Casmatec Canada	Première transformation	Non applicable
5N Plus	Première transformation	Non applicable

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

### Étape 3 : Utilisation

Comme mentionné précédemment, l'étain est essentiellement utilisé pour souder les circuits électriques et électroniques. À ce titre, l'étain est actuellement utilisé en Colombie-Britannique dans la production de batteries et est appelé à être consommé davantage dans la province si la filière des batteries se développe dans les années à venir.

**Tableau 10 : Cartographie des acteurs confirmés de l'étape 3 au Québec selon le secteur d'activité visé**

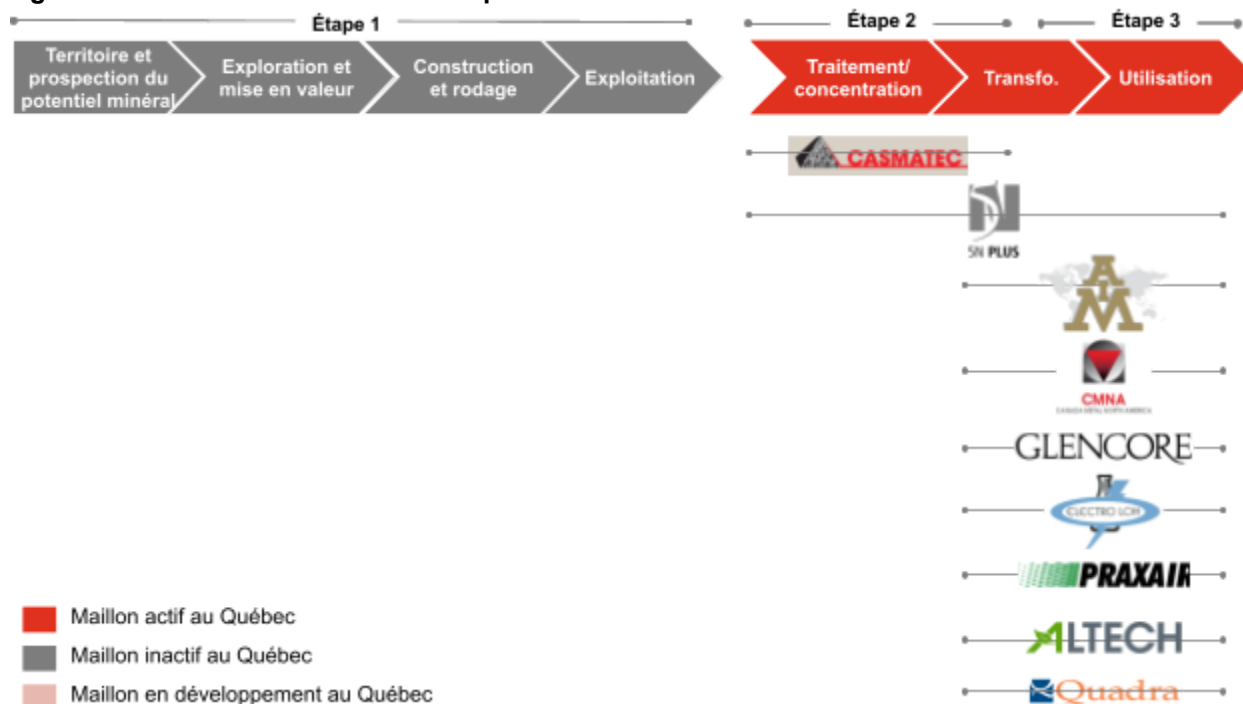
Secteur d'activité visé	Compagnie	Description des applications
Alliages spéciaux	American Iron & Metal Company inc	Alliages d'étain
	Canada Metal NA	Diverses applications
	Fonderie générale du Canada (Glencore)	Diverses applications
Solaire	5N Plus	Applications solaires
Placage	Electro LoH	Placage d'étain
	Praxair surface technologies	Placage d'étain
	American Iron & Metal Company inc	Placage d'étain
	Group Altech	Placage d'étain
Produits chimiques	Quadra Chemicals	Ignifuges

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

Note : liste non-exhaustive

## Valeur stratégique pour le Québec

Figure 23 : État d'avancement des étapes 1 à 3 de la chaîne de valeur



### Importance du produit final : modérée

Le ralentissement de l'utilisation de l'étain sur le plan mondial a commencé en 2019 et s'est poursuivi en 2020, probablement exacerbé par la pandémie mondiale de COVID-19, qui a provoqué des perturbations dans les industries minière et manufacturière. La soudure reste l'activité qui fait la plus grande utilisation de l'étain sur le plan mondial. En raison de la consommation d'aliments en conserve liée à la pandémie<sup>36</sup>, l'utilisation du fer blanc devrait augmenter malgré des années de stagnation. L'utilisation de l'étain dans les produits chimiques et les alliages d'étain devrait diminuer par rapport à celle de 2019, ce qui correspond à la baisse globale de la demande de nombreux biens durables en 2020.

### Difficulté de substituabilité du minerai : modérée

L'aluminium, le verre, le papier, le plastique et l'acier sans étain remplacent l'étain contenu dans les boîtes de conserve et les conteneurs. Les autres matériaux qui remplacent l'étain sont les résines époxydes pour la soudure, les alliages d'aluminium, les alliages de remplacement à base de cuivre, le plastique pour le bronze et les métaux de roulement qui contiennent de l'étain, et les composés de plomb et de sodium pour certains produits chimiques à base d'étain.<sup>37</sup>

### Risque de la chaîne de valeur : faible

Comme l'activité de transformation manufacturière pour différentes utilisations est assez limitée au Québec et que l'étain n'est pas extrait directement au Québec le risque relatif à la chaîne de valeur nous apparaît assez faible.

<sup>36</sup> GlobalNewsWire, Le marché mondial des aliments en conserve atteindra 124,83 milliards de dollars d'ici 2026.

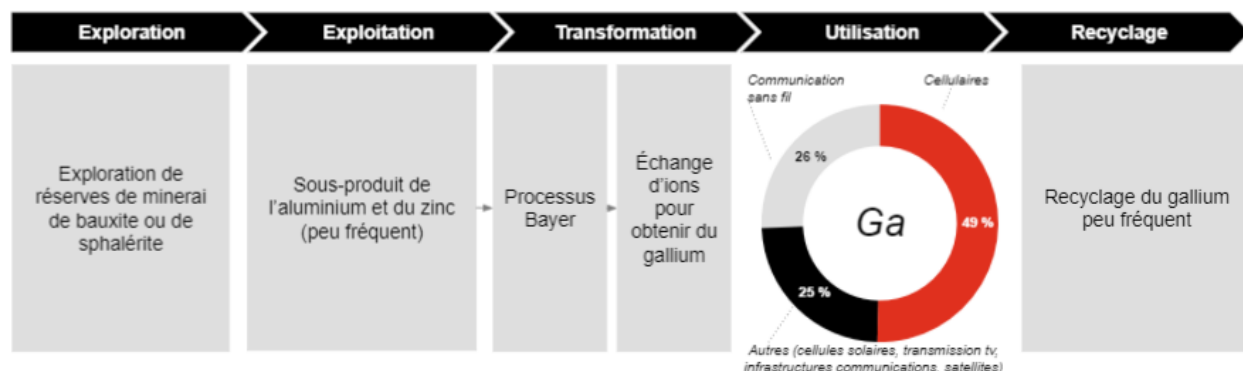
<sup>37</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>.

*Implication dans la chaîne de valeur : modérée*

Peu d'acteurs du domaine de l'étain sont actuellement actifs au Québec. L'étain est transformé par 5N Plus pour des usages commerciaux, mais ceux-ci sont principalement à l'extérieur du Québec, et ont un faible potentiel de développement.

## Gallium

Figure 24 : Aperçu de la chaîne de valeur du gallium



Sources : The United State Geological Survey, 2021. Analyse PwC.

### Présentation générale

Le gallium est un métal doux et argenté utilisé principalement dans les circuits électroniques, les semi-conducteurs et les diodes électroluminescentes (LED). Il est également utilisé dans les thermomètres à haute température, les baromètres, les produits pharmaceutiques et les tests de médecine nucléaire. Dans la nature, le gallium n'est jamais trouvé en tant qu'élément libre et ne peut être trouvé en quantité substantielle dans aucun minéral. Au contraire, il existe à l'état de traces dans divers composés, y compris les minerais de zinc et de bauxite. En termes de poids, le gallium représente environ 0,0019 % de la croûte terrestre<sup>38</sup>. Cependant, il est facilement obtenu par fusion et la majeure partie du gallium commercial est extraite comme sous-produit de la production d'aluminium et de zinc.

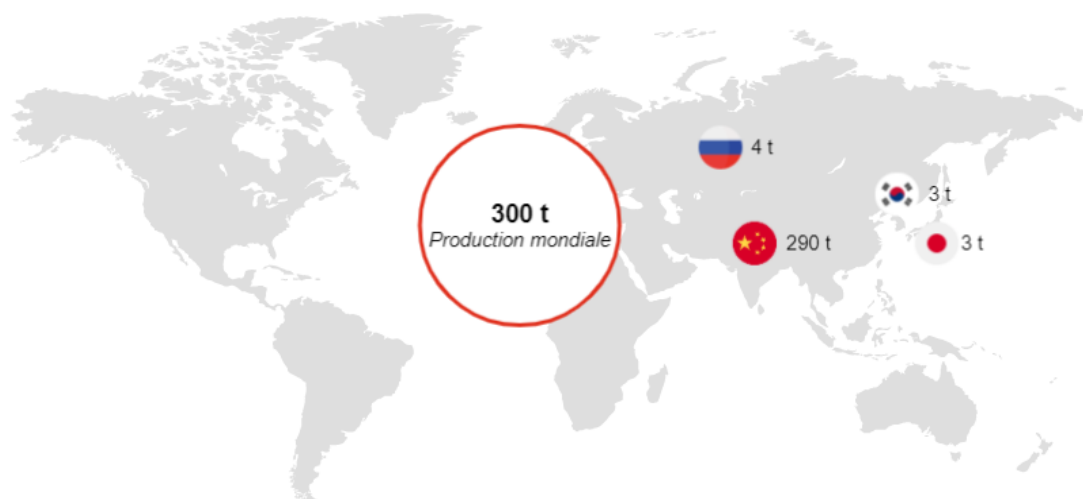
### Production mondiale

Ce minéral est présent en très petites concentrations dans les minerais d'autres métaux. La majeure partie du gallium est produite sous forme de sous-produit de la transformation de la bauxite, et le reste est produit à partir de résidus de traitement du zinc. On estime que le gallium contenu dans les ressources mondiales de bauxite dépasse un million de tonnes, et une quantité considérable pourrait être contenue dans les ressources mondiales de zinc. Cependant, moins de 10 % du gallium dans la bauxite et le zinc serait récupérable<sup>39</sup>. Les réserves mondiales de gallium sont donc difficiles à estimer et peu d'informations fiables existent en ce qui concerne les réserves par pays. Cependant, les données de production annuelle sont disponibles. La Chine représente à elle seule 96 % de la production annuelle mondiale de gallium, et le reste de la production se répartit presque également entre la Russie, le Japon et la Corée du Sud.

<sup>38</sup> Livescience, Faits concernant le gallium.

<sup>39</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>

**Figure 25 : Production annuelle mondiale de gallium (tonnes)**



Source : The United States Geological Survey, 2021. Analyse PwC.

### **Demande mondiale**

La demande mondiale de gallium va croître à un TCAC de 5 % entre 2020 et 2024, et 81 % de la croissance de la demande viendra de la région Asie-Pacifique<sup>40</sup>. Le principal moteur de croissance de la demande de gallium est la forte demande de composants GaAs<sup>41</sup> pour la fabrication d'appareils de communication tels que les téléphones intelligents. En outre, l'augmentation de la consommation de données a également contribué à l'augmentation de l'utilisation des composants GaAs. Cette adoption croissante des composants GaAs sur le marché des appareils mobiles s'explique principalement par sa meilleure efficacité et à sa durée de vie plus longue pour les téléphones intelligents et les tablettes par rapport à un amplificateur de puissance CMOS (« complementary metal-oxide-semiconductor »). De plus, la demande croissante de données sera l'un des principaux facteurs de croissance du marché. La consommation de données des consommateurs et la consommation de données via les téléphones mobiles augmentent considérablement dans de nombreux pays. Lorsque les consommateurs accèdent à des données en grandes quantités en déplacement, les batteries de leurs appareils mobiles se déchargent plus rapidement. Par conséquent, les fabricants de combinés mobiles ont besoin d'amplificateurs de puissance efficaces contenant du GaAs. De plus, pour garantir une qualité de service adéquate, les opérateurs de réseau développent une infrastructure, une architecture et des dispositifs câblés et sans fil sophistiqués. Un nombre croissant de téléphones mobiles, associé à l'adoption croissante de composants GaAs pour l'infrastructure réseau, propulsera la croissance du marché des composants GaAs au cours des quatre prochaines années.

De 2016 à 2019, le prix annuel moyen du gallium de faible pureté (99,99 % pur gallium) oscillait entre 124 \$ US et 185 \$ US le kilo, alors que le gallium de haute pureté (99,9999 % pur gallium et plus) oscillait entre 477 \$ US et 690 \$ US<sup>42</sup>.

<sup>40</sup> Technavio, 2021.

<sup>41</sup> Arséniure de gallium (GaAs).

<sup>42</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>

## Chaîne de valeur et cartographie des acteurs

### Étapes 1 et 2 : Prospection, exploration, exploitation, traitement, concentration et première transformation

Au moment d'écrire ce rapport, il n'y avait pas d'acteur identifié au Québec qui transformait de la bauxite ou du zinc pour en extraire du gallium en tant que sous-produit.

### Étape 3 : Utilisation

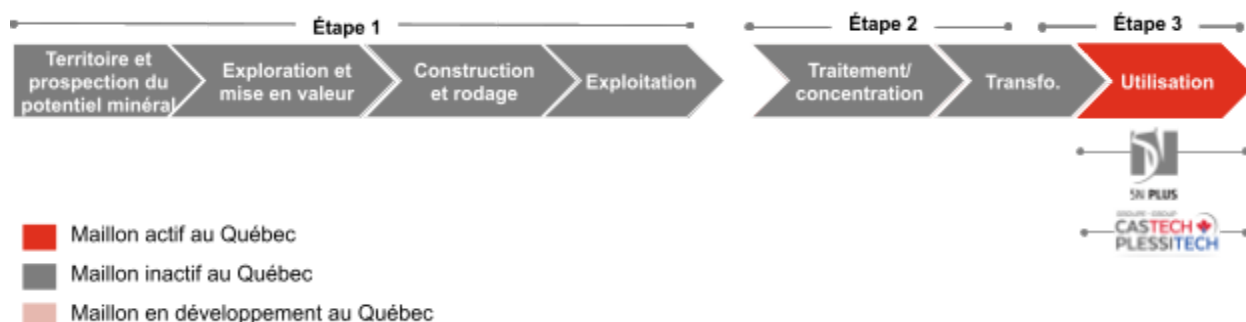
Le gallium est principalement utilisé dans des composantes électroniques. En fait, environ 95 % de tout le gallium produit est utilisé pour fabriquer de l'arséniure de gallium (GaAs), un composé utilisé dans les circuits micro-ondes et infrarouges, les semi-conducteurs et les LED bleues et violettes.<sup>43</sup> L'arséniure de gallium peut produire de la lumière directement à partir de l'électricité ou, inversement, convertir la lumière en électricité (par exemple, dans les panneaux solaires). Le composé de nitrure de gallium (GaN) est utilisé comme semi-conducteur dans la technologie Blu-ray, les téléphones portables et les capteurs de pression pour les interrupteurs tactiles. Le gallium se lie facilement à la plupart des métaux et est couramment utilisé pour fabriquer des alliages à bas point de fusion. C'est l'un des quatre métaux (y compris le mercure, le rubidium et le césium) qui sont liquides à la température ambiante ou près de celle-ci. De ces quatre métaux, le gallium est le moins réactif et le moins toxique, ce qui en fait le choix le plus sûr et le plus écologique pour les thermomètres à haute température, les baromètres, les systèmes de transfert de chaleur et les appareils de refroidissement et de chauffage. Le gallium est également utilisé dans certains produits pharmaceutiques et radiopharmaceutiques. Par exemple, l'isotope radioactif Ga-67 est utilisé comme test de médecine nucléaire pour rechercher une inflammation, une infection ou un cancer dans le corps.

**Tableau 11 : Cartographie des acteurs confirmés de l'étape 3 au Québec selon le secteur d'activité visé**

Secteur d'activité visé	Compagnie	Description des applications
Produits chimiques de gallium	5N Plus	Diodes électroluminescentes (DEL), produits électroniques à haute fréquence et applications à commutation rapide
Appareils Faraday	Gestion Métallurgie Castech	Cristaux magnéto-optiques – Terbium Gallium Garnet (TGG)

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC

**Figure 26 : État d'avancement des étapes 1 à 3 de la chaîne de valeur**



<sup>43</sup> Livescience, 2017. Faits concernant le gallium. Lien: <https://www.livescience.com/29476-gallium.html>

## Valeur stratégique pour le Québec

### *Importance du produit final : modérée*

Le gallium est utilisé dans les circuits électroniques qui se retrouvent dans plusieurs produits finaux (notamment les téléphones intelligents). La demande pour ces circuits électroniques connaît une croissance forte et soutenue entre autres en raison de la demande pour les téléphones intelligents. Il n'existe pas d'entreprise au Québec aujourd'hui qui fabrique ces produits.

### *Difficulté de substituabilité du minéral : faible*

Les cristaux liquides fabriqués à partir de composés organiques sont utilisés dans les affichages visuels comme substituts des LED. Les amplificateurs de puissance à semi-conducteurs à oxyde métallique complémentaires à base de silicium sont en concurrence avec les amplificateurs de puissance GaAs dans les combinés cellulaires 3G. Les composants de phosphore d'indium peuvent être remplacés par des diodes laser infrarouges à base de GaAs dans certaines applications à longueur d'onde spécifique. Le silicium est le principal concurrent du GaAs dans les applications des cellules solaires. Dans de nombreuses applications, les circuits intégrés à base de GaAs sont utilisés en raison de leurs propriétés uniques, et aucun substitut de GaAs efficace n'existe pour ces applications. Dans les transistors bipolaires à hétérojonction, le GaAs est remplacé dans certaines applications par du silicium germanium.

### *Risque de la chaîne de valeur : faible*

Il y a peu ou pas d'acteurs au Québec qui utilisent du gallium dans leurs applications. Il n'y a donc pas beaucoup de risque dans cette chaîne de valeur aujourd'hui. Cependant, étant donné que la Chine produit près de 96 % du gallium à l'échelle mondiale, le Québec pourrait être dépendant d'importations afin de combler la demande en gallium. De plus, la Chine a récemment imposé des tarifs sur le gallium, ce qui a fait augmenter les prix d'environ 32 % en 2020<sup>44</sup>.

### *Implication dans la chaîne de valeur : faible*

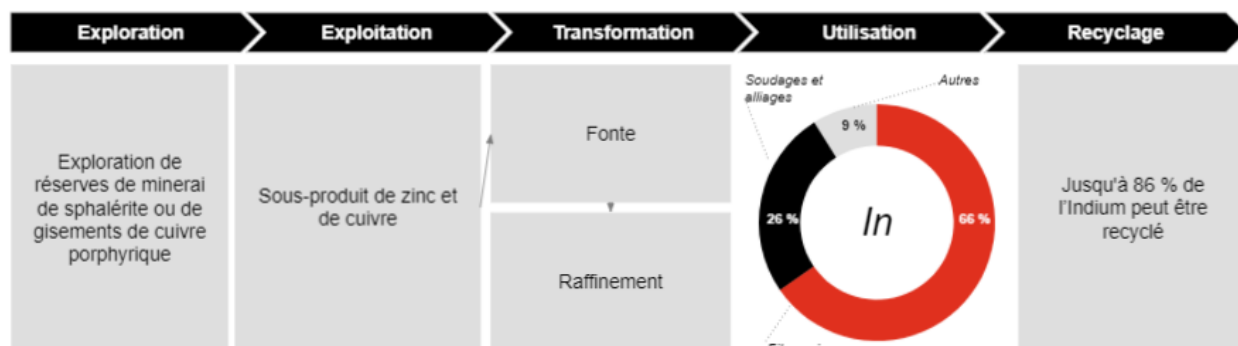
La participation à la chaîne de valeur est limitée à l'utilisation du gallium dans la production de produits chimiques de gallium utilisés dans les diodes électroluminescentes (DEL), les produits électroniques à haute fréquence, les applications à commutation rapide ainsi que les fonderies pour certains alliages avec d'autres métaux. Un potentiel reste à explorer quant à la possibilité technique et économique de récupérer le gallium présent dans les résidus de bauxite à l'usine Vaudreuil de Rio Tinto au Saguenay ou par ceux de l'affinerie CCR sur l'île de Montréal.

---

<sup>44</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>

## Indium

Figure 27 : Aperçu de la chaîne de valeur de l'indium



Source : Technavio, 2020. Analyse PwC.

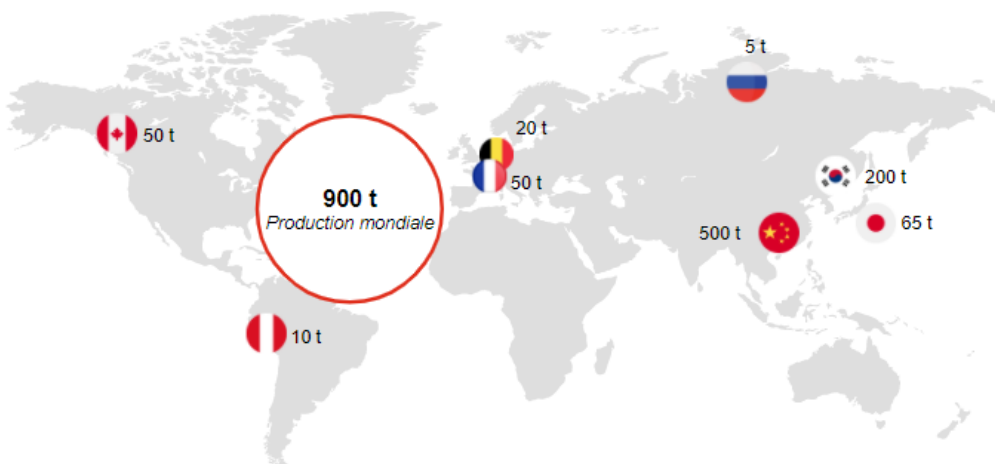
### Présentation générale

L'indium est un métal blanc argenté doux qui se produit naturellement en association avec le zinc et certains autres métaux comme le cuivre. La combinaison d'oxyde d'indium et d'étain (ITO) est généralement utilisée en raison de ses propriétés conductrices. Les films conducteurs ITO sont déposés sur des substrats en verre ou en plastique pour fabriquer des panneaux transparents et sont largement utilisés pour des applications antistatiques telles que les écrans à plasma, les écrans LCD et d'autres technologies d'affichage. ITO propose également un blindage par induction électromagnétique pour minimiser les interférences de radiofréquence sur les écrans tactiles, les portes et fenêtres en verre blindé et les écrans plats en verre. De plus, il élimine la génération d'électricité statique à la surface des différents substrats. Ces avantages de l'élément par rapport aux substituts en font un choix parfait pour ses fabricants de produits d'utilisation finale.

### Production mondiale

L'indium est le plus souvent récupéré à partir de la sphalérite minérale du minerai de sulfure de zinc. La teneur en indium des gisements de zinc dont il est récupéré varie de moins de 1 ppm à 100 ppm. Bien que les propriétés géochimiques de l'indium soient telles qu'il se trouve à l'état de traces dans d'autres sulfures de métaux communs, en particulier la chalcopirite et la stannite, la plupart des gisements de ces minéraux ne sont pas rentables pour la récupération de l'indium. Les réserves mondiales d'indium sont donc difficiles à estimer et peu d'informations fiables existent en ce qui concerne les réserves par pays. Cependant, les données de production annuelle sont disponibles.

Figure 28 : Production mondiale d'indium annuelle (tonnes)



Source : The United States Geological Survey, 2021. Analyse PwC.

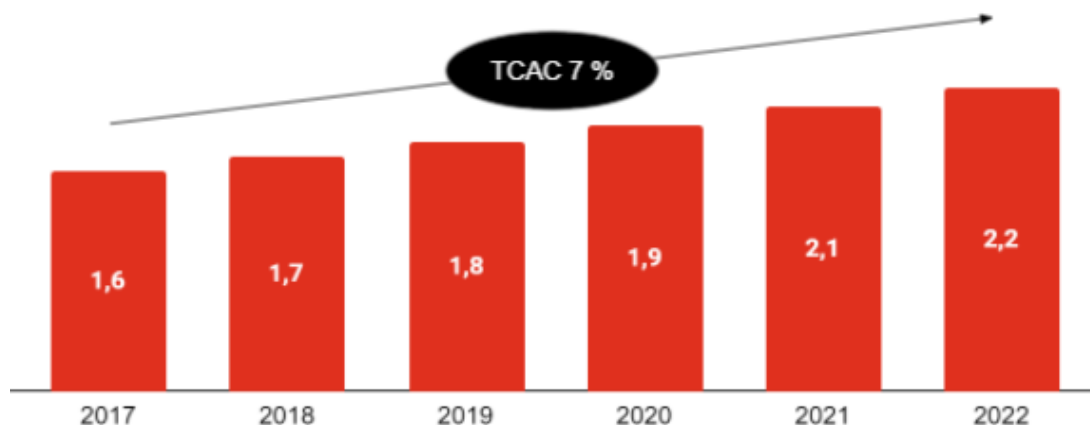


## Demande mondiale

Les principaux inducteurs du marché de l'indium sont l'utilisation d'ITO dans des électrodes transparentes pour écrans LCD. La demande a aussi augmenté pour les moniteurs à écran plat, les téléviseurs ainsi que les écrans pour téléphones portables, tablettes et autres appareils électroniques portables. En outre, l'utilisation d'indium dans les lampes électroluminescentes et dans les moteurs d'avion stimule la croissance du marché. Il trouve également son utilisation dans les cellules photovoltaïques. Cependant, l'énorme écart entre l'offre et la demande et la volatilité des prix entravent la croissance du marché.

Comme la croissance de la demande, le prix annuel moyen de l'indium a augmenté au cours des dernières années, passant de 345 \$ US le kilo en 2016 à 390 \$ US le kilo en 2019<sup>45</sup>.

**Figure 29 : Demande mondiale d'indium (kilotonnes, 2017-2022p)**



Sources : Technavio, 2020. Analyse PwC.

La demande d'indium va augmenter de 6,7 % entre 2017 et 2022 et 44,0 % de la demande viendra de la région Asie-Pacifique<sup>46</sup>.

## Chaîne de valeur et cartographie des acteurs

### *Étapes 1 et 2 : Prospection, exploration, exploitation, traitement, concentration et première transformation*

À l'heure de la rédaction de ce rapport, il n'y a pas d'acteur identifié au Québec qui récupère l'indium comme sous-produit de l'extraction du cuivre ou du zinc.

### *Étape 3 : Utilisation*

La majeure partie de l'indium est utilisée pour fabriquer de l'oxyde d'indium et d'étain (ITO), qui est une partie importante des écrans tactiles, des téléviseurs à écran plat et des panneaux solaires. En effet, il conduit l'électricité, adhère fortement au verre et est transparent. Le nitrure d'indium, le phosphore et l'antimoniure sont des semi-conducteurs utilisés dans les transistors et les microprocesseurs. Le métal indium adhère au verre et peut être utilisé pour donner une finition miroir aux fenêtres des immeubles de grande hauteur et agir comme film protecteur pour les lunettes de soudeur. Il a également été utilisé pour revêtir les roulements à billes des voitures de course de Formule 1 en raison de sa faible friction. Un alliage d'indium a été utilisé pour les systèmes d'extinction d'incendie dans les magasins et les entrepôts en raison de son point de fusion bas.

<sup>45</sup> New York dealer price, métal pur à 99,99 %, USGS 2021.

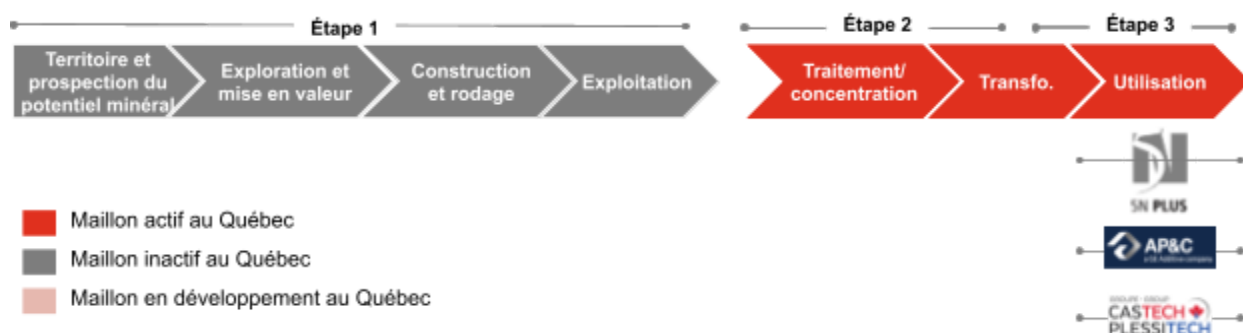
<sup>46</sup> Technavio, 2020.

**Tableau 12 : Cartographie des acteurs confirmés de l'étape 3 au Québec selon le secteur d'activité visé**

Secteur d'activité visé	Compagnie	Description des applications
Produits chimiques	5N Plus	Matériaux d'ingénierie
Alliages	AP&C Revêtements et Poudres Avancées	Matériaux d'ingénierie
	Gestion Métallurgie Castech	Matériaux d'ingénierie

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

**Figure 30 : État d'avancement des étapes 1 à 3 de la chaîne de valeur**



### Valeur stratégique pour le Québec

#### Importance du produit final : faible

Les produits finaux principaux de l'indium sont les écrans de téléphone et de télévision ainsi que les panneaux solaires. La demande pour ces produits est en forte augmentation, mais il n'existe pas d'entreprise au Québec aujourd'hui qui fabrique ces produits.

#### Difficulté de substituabilité du minerai : modérée

Les revêtements d'oxyde d'étain et d'antimoine ont été développés comme une alternative aux revêtements ITO pour les écrans LCD et ont été intégrés avec succès au verre LCD. De plus, les chercheurs ont développé une nanopoudre d'oxyde de zinc plus adhésive pour remplacer l'ITO dans les écrans LCD. Le graphène a été développé pour remplacer les électrodes ITO dans les cellules solaires et a également été exploré en remplacement de l'ITO dans les écrans tactiles flexibles.<sup>47</sup>

#### Risque de la chaîne de valeur : faible

Le Canada représente seulement 6 % de la production annuelle mondiale d'indium, comparativement à 55 % pour la Chine et 22 % pour la Corée du Sud. Cependant, la majorité de la demande en indium viendra de l'Asie au cours des prochaines années. Il y a donc peu de risques pour le Québec dans cette chaîne de valeur. Il convient tout de même de noter que si la demande augmente au Québec, la province devra importer de l'indium produit en Europe ou en Asie.

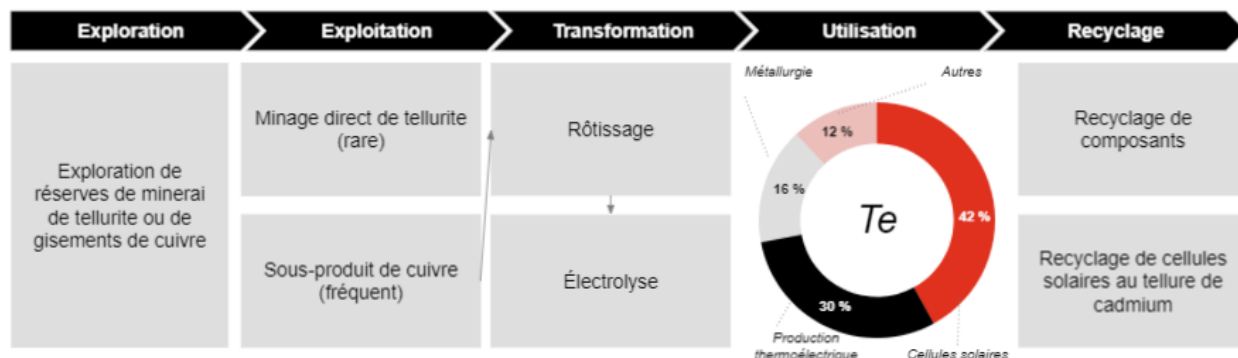
#### Implication dans la chaîne de valeur : faible

Le Québec ne participe pas à la chaîne de valeur de l'indium. Le seul acteur au Canada qui produit de l'indium à partir du zinc est Teck Resources, en Colombie-Britannique. Lors de la rédaction de ce rapport, nous n'avons pas pu confirmer que des acteurs achètent de l'indium afin de le transformer.

<sup>47</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>

## Tellure

Figure 31 : Aperçu de la chaîne de valeur du tellure



Source : Technavio, 2020. Analyse PwC.

### Présentation générale

Le tellure est un minéral argenté reconnu pour être un semi-conducteur dont la conductivité électrique s'intensifie lorsqu'il est exposé à la lumière. Cette propriété fait du tellure un minéral largement utilisé dans la production de cellules photovoltaïques à couches minces, notamment sous sa forme de tellure de cadmium (CdTe) ainsi que dans des applications électroniques telles que l'imagerie thermique et les capteurs de rayons X. De plus, le tellure est utilisé dans la production thermoélectrique pour ses caractéristiques de refroidissement et de génération d'énergie. Enfin, il est utilisé dans certains alliages, notamment avec le plomb et l'étain, afin d'améliorer les caractéristiques de l'acier utilisé dans diverses industries, notamment l'industrie de l'automobile.

### Réserves mondiales

En 2020, les réserves mondiales de tellure sont estimées à 31 000 tonnes métriques<sup>48</sup>. La Chine possède la plus importante quantité de tellure avec 21,2 % des réserves mondiales et occupe une position dominante sur le marché mondial en détenant 61,2 % de la production totale de 2020. Les États-Unis font également bonne figure, avec une réserve estimée à 11,3 % des réserves mondiales. Quant au Canada, il détient une proportion minime des réserves mondiales de tellure (2,6 %), mais produit une quantité totalisant 7,1 % de la production annuelle mondiale.

Figure 32 : Réserves mondiales de tellure (kilotonnes)



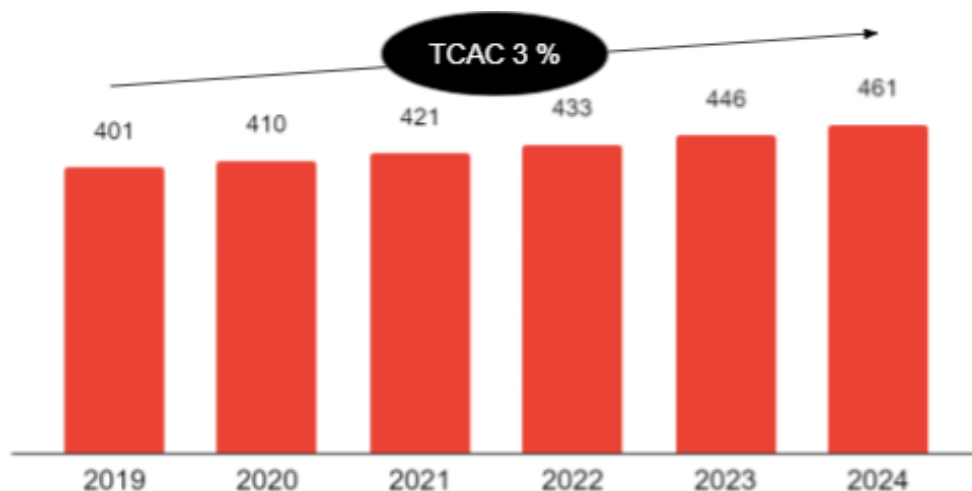
Source : The United States Geological Survey, 2021. Analyse PwC.

<sup>48</sup> Ces données ne comprennent que les réserves de tellurium contenues dans les réserves de cuivre.

### Demande mondiale

En 2019, la consommation mondiale de tellure s'est élevée à 401 tonnes métriques. Sur l'horizon 2020-2024, on estime que la demande pourrait croître à un rythme annuel moyen de 2,8 %. La demande de tellure est généralement associée à la fabrication d'appareils électroniques et la production d'énergie solaire. En 2016 et 2017, le tellure se vendait à un prix annuel moyen de 36 \$ US et de 38 \$ US le kilo, respectivement. Le prix du minerai a connu une forte croissance dans les années subséquentes pour se situer respectivement à 73 \$ US et à 60 \$US en 2018 et en 2019<sup>49</sup>.

Figure 33 : Demande mondiale de tellure (tonnes, 2019-2024p)



Sources : Technavio, 2020. Analyse PwC.

### Chaîne de valeur et cartographie des acteurs

#### Étapes 1 et 2 : Prospection, exploration, exploitation, traitement, concentration et première transformation

Au Québec, deux entreprises transforment le tellure : la compagnie 5N Plus se spécialise dans le raffinage de métaux et d'alliages de tellure de haute pureté et l'affinerie CCR de Glencore produit du dioxyde de tellure.

Tableau 13 : Cartographie des acteurs confirmés des étapes 1 et 2 au Québec

Compagnie	Activités	Taille des réserves
5N Plus	Première transformation	Non applicable
CCR (Glencore)	Sous-produit de tellure	Non applicable

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

#### Étape 3 : Utilisation

5N Plus est également présente dans l'utilisation du tellure alors qu'elle fabrique différents alliages, comme le tellure de cadmium et le tellure de zinc. Le tellure est également utilisé dans la fabrication de panneaux solaires à GMA Solar.

<sup>49</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>

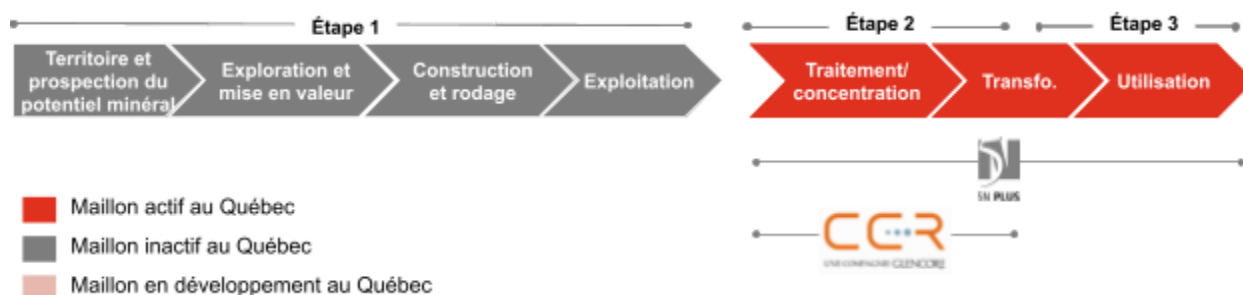
**Tableau 14 : Cartographie des acteurs confirmés de l'étape 3 au Québec selon le secteur d'activité visé**

Secteur d'activité visé	Compagnie	Description des applications
Métallurgie	5N Plus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Panneaux solaires à couches minces à base de CdTe</li> <li>• Imagerie médicale</li> <li>• Dispositifs thermoélectriques</li> <li>• Caméras d'imagerie thermique</li> <li>• Stockage optique</li> </ul>

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

## Valeur stratégique pour le Québec

**Figure 34 : État d'avancement des étapes 1 à 3 de la chaîne de valeur**



Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

### Importance du produit final : faible

Les applications nécessitant du tellure (ex. : les cellules solaires) ne sont généralement pas fabriquées en grande quantité au Québec, ce qui indique une importance limitée pour l'ensemble de la province.

### Difficulté de substituabilité du minerai : faible

Plusieurs matériaux peuvent remplacer le tellure dans la plupart de ses utilisations, mais généralement avec des pertes d'efficacité ou des pertes quant aux caractéristiques du produit.

### Risque de la chaîne de valeur : faible

Comme la chaîne de valeur est actuellement incomplète au Québec, aucun risque lié à une rupture d'approvisionnement ne pourrait la perturber<sup>50</sup>.

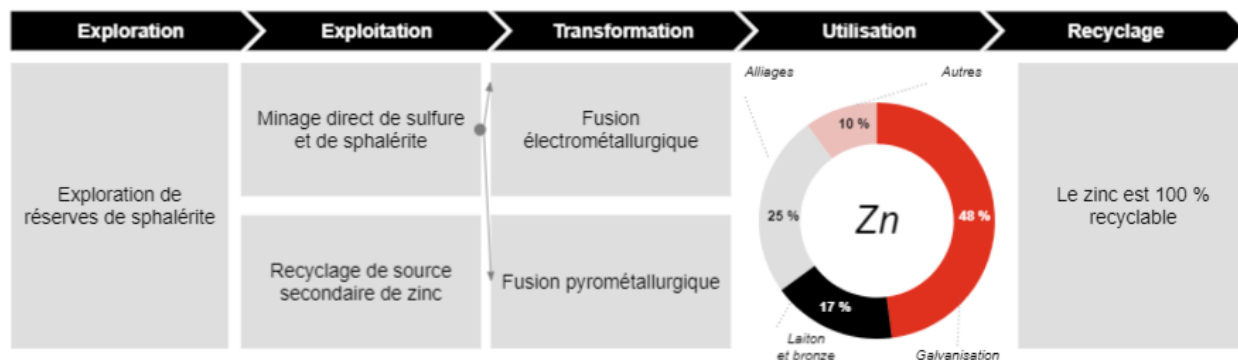
### Implication dans la chaîne de valeur : élevée

Il n'y a actuellement aucun projet d'exploitation du tellure au Québec. Dans le reste du Canada, une entreprise de la Colombie-Britannique est en train d'accroître sa production pour fabriquer du tellure de haute pureté (Fenix Advanced Materials). Le nombre d'acteurs transformant le minerai au Québec est limité, mais 5N Plus représentera sous peu 50 % de la production mondiale annuelle, ce qui en fera la plaque tournante pour ce minerai et les applications industrielles. Cependant, le Québec montre un faible potentiel pour une chaîne de valeur pleinement développée, car le volume transformé au Québec est important par rapport au marché mondial.

<sup>50</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>

## Zinc

Figure 35 : Aperçu de la chaîne de valeur de zinc



Source : Technavio, 2020. Analyse PwC.

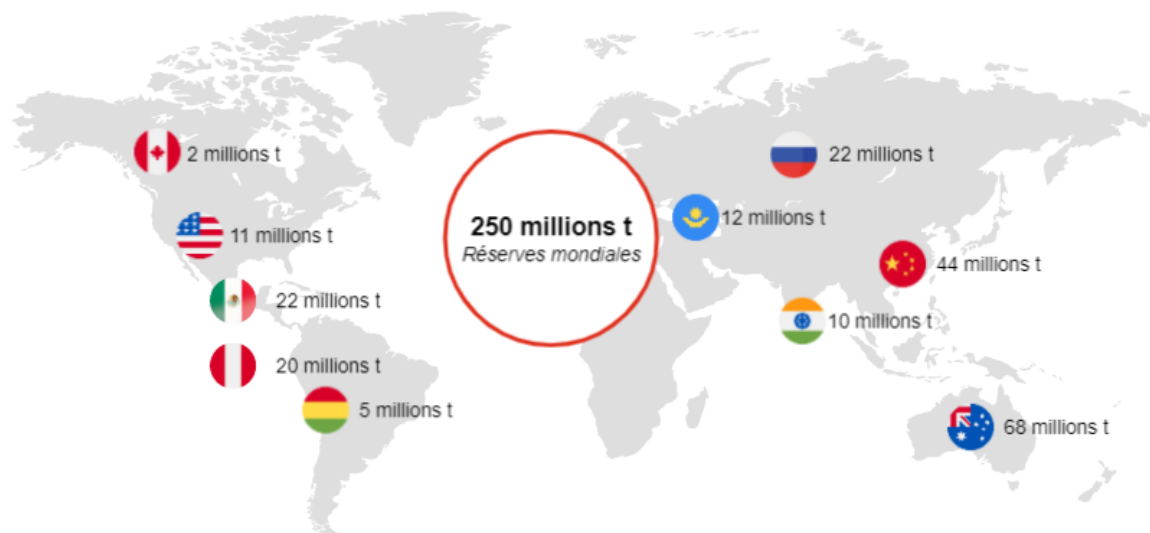
### Présentation générale

Le zinc est un métal légèrement cassant à température ambiante et présente un aspect gris argenté lorsque l'oxydation est éliminée. Le zinc est un ingrédient important des désinfectants tels que le savon, et joue donc un rôle important dans la prévention de la propagation de la COVID-19. L'extraction de ce métal est importante pour la capacité d'un pays à faire face à la pandémie à partir des ressources locales. Outre le savon, le zinc est utilisé pour galvaniser l'acier afin de le protéger de la corrosion. Le zinc est également un élément essentiel à la santé humaine, puisque plus de 200 enzymes du corps humain ont besoin de zinc pour fonctionner. Le zinc est raffiné par flottation du minerai, rôti et extraction finale à l'électricité.

### Réserves mondiales

Le zinc constitue environ 75 ppm de la croûte terrestre, ce qui en fait le 24<sup>e</sup> élément le plus abondant. Le minerai de zinc le plus courant est la sphalérite, un minéral sulfuré de zinc. Les plus grands filons exploitables se trouvent en Australie, en Asie et aux États-Unis. Les autres minéraux sources de zinc sont la smithsonite, l'hémimorphite (silicate de zinc), la wurtzite (un autre sulfure de zinc) et parfois l'hydrozincite (carbonate de zinc basique).<sup>51</sup>

Figure 36 : Réserves de zinc mondiales (millions de tonnes)



Source : The United States Geological Survey, 2021. Analyse PwC.

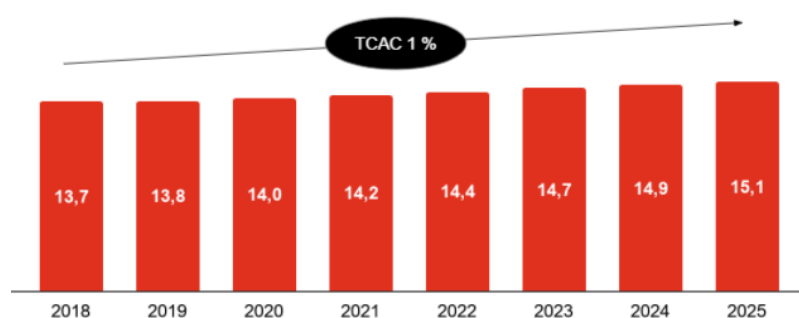
<sup>51</sup> Nature's building blocks: an A-Z guide to the elements, John Emsley.

Le Canada est un important producteur de zinc et a été à un certain moment le plus grand fournisseur de zinc au monde, avec des mines en Colombie-Britannique, en Saskatchewan, au Manitoba, en Ontario, au Québec, dans les Territoires du Nord-Ouest, au Yukon et au Nunavut. Cependant, la Chine est maintenant le premier producteur mondial de zinc et détient près de 35 % de la production mondiale totale. En 2020, la Chine a produit environ 4,2 millions de tonnes de zinc. Le Canada est tombé au neuvième rang de la production annuelle mondiale, avec environ 2,3 % des parts de marché.

### Demande mondiale

Selon Fitch Solutions, la croissance de la demande a atteint 2,2 % de 2010 à 2019 et devrait diminuer à 1,4 % en glissement annuel sur la période de 2018 à 2025. Ce ralentissement de la croissance de la consommation maintiendra le marché dans une situation d'excédent de l'offre. Sur le marché nord-américain, le zinc de qualité supérieure se vendait à un prix annuel moyen oscillant entre 1,01 \$ US et 1,41 \$ US la livre pour la période allant de 2016 à 2019.<sup>52</sup>

**Figure 37 : Demande mondiale de zinc (millions de tonnes, 2018-2025p)**



Source : Technavio, 2020. Analyse PwC.

Ce déclin structurel sera alimenté par la croissance atone de la production mondiale d'acier, la galvanisation de l'acier étant la principale utilisation finale du zinc. Fitch Solutions prévoit qu'après un rebond en 2021, la croissance annuelle de la production d'acier va ralentir graduellement au cours des prochaines années à venir en raison de la faible croissance des capacités en Chine et en Europe.

### Chaîne de valeur et cartographie des acteurs

#### *Étapes 1 et 2 : Prospection, exploration, exploitation, traitement, concentration et première transformation*

En 2019, le Québec était responsable de 24 % du poids total du zinc extrait au Canada. Cela représente environ 72 000 tonnes et une part de marché mondial d'environ 0,5 %.<sup>53</sup> De plus, le Québec compte plus d'une dizaine de gîtes avec des ressources en zinc comme substance principale ou secondaire.

<sup>52</sup> North American Special High Grade (SHG), USGS 2021.

<sup>53</sup> Statistiques annuelles de la production minière, gouvernement du Canada, 2019.

**Tableau 15 : Cartographie des acteurs confirmés des étapes 1 à 2 au Québec**

Compagnie	Activités	Taille des réserves
Abcourt	Mise en valeur – Abitibi	208 750 tonnes
Ressources Falco	Mise en valeur – Horne 5 (exploitation du zinc en sous-produit de l'or)	80,9 millions de tonnes, teneur de 0.78% de zinc
Ressources Yorbeau	Mise en valeur – Joutel	Non disponible
Ressources Yorbeau	Mise en valeur – Lac Scott	Non disponible
Agnico-Eagle	Mine – LaRonde	115 454 tonnes de zinc
Glencore	Mine – Bracemac-McLeod	69 600 tonnes
Resources Breakwater	Mine en maintenance – Langlois (Grevet)	Sans objet
5N Plus	Première transformation	Non applicable
CEZinc (Glencore)	Première transformation	Non applicable

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

### *Étape 3 : Utilisation*

La production mondiale de zinc est actuellement destinée aux utilisations suivantes : 48 % pour la galvanisation (d'acier ou de fer) pour ses propriétés anticorrosives, 25 % pour la fabrication d'alliages, 17 % pour la production de laiton et de bronze, et 10 % pour d'autres applications diverses.

**Tableau 16 : Cartographie des acteurs confirmés de l'étape 3 au Québec selon le secteur d'activité visé**

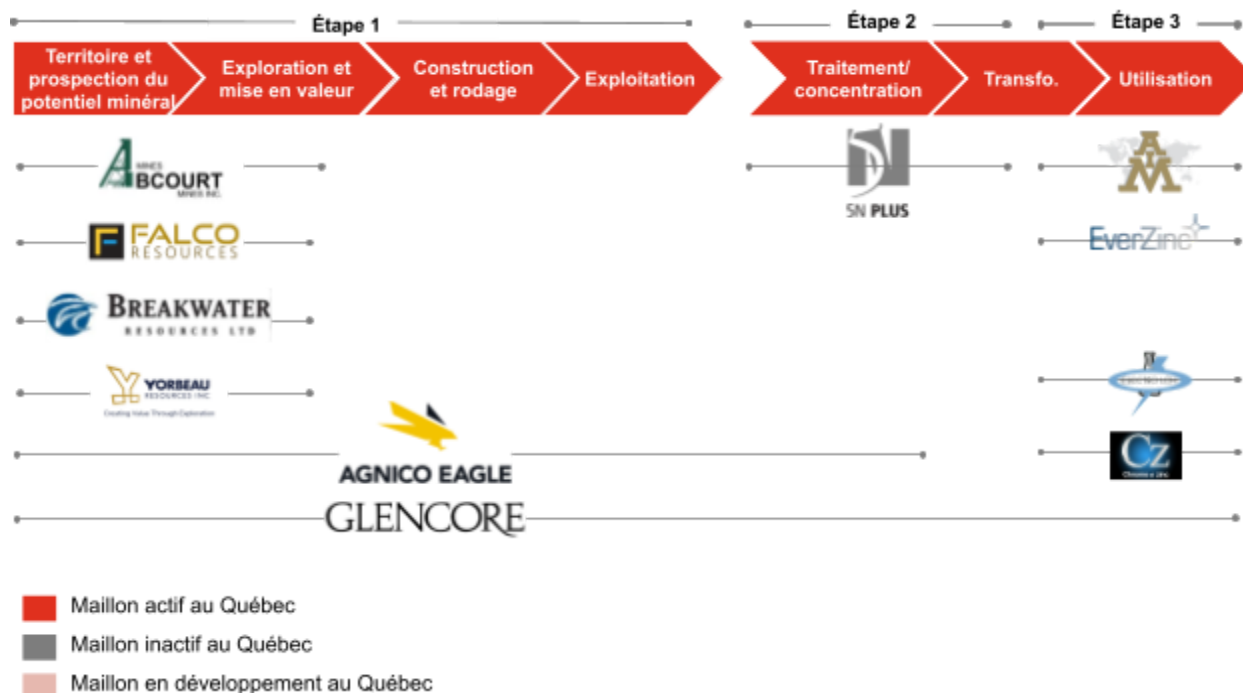
Secteur d'activité visé	Compagnie	Description des applications
Alliages spéciaux	AIM Metals and Alloys	Produits industriels alliés
	Everzinc	Oxyde de zinc pour composés de caoutchouc et de plastique, produits chimiques spéciaux, peinture et revêtement, céramique et verre
	CEZinc (Glencore)	Transformation primaire de zinc
Placage	Electro Loh	Galvanoplastie et placage de pièces
	Service Chrome et Zinc	Galvanoplastie et placage de pièces

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.



## Valeur stratégique pour le Québec

Figure 38 : État d'avancement des étapes 1 à 3 de la chaîne de valeur



### Importance du produit final : modérée

Le zinc est important pour la galvanisation de l'acier produit au Québec. Il est également utilisé dans d'autres alliages fabriqués dans la province.

### Difficulté de substituabilité du minerai : modérée

Il y a quelques substituts pour le zinc :

- l'aluminium et les plastiques remplacent les tôles galvanisées dans les automobiles;
- le cadmium peut remplacer le zinc pour certaines applications;
- la peinture et les revêtements en plastique remplacent les revêtements en zinc dans d'autres applications;
- les alliages à base d'aluminium et de magnésium sont des substituts à ceux coulés sous pression à base de zinc<sup>54</sup>.

### Risque de la chaîne de valeur : modéré

La demande de zinc devrait rester relativement stable. Comme son utilisation est directement liée à la production d'acier, une récession aura un impact important sur sa demande en cas de ralentissement de la construction et de la fabrication automobile. De plus, la Chine possède un avantage considérable en matière de volume de zinc (tant en termes de réserves que de production), ce qui rend difficile, pour le Québec, d'être compétitif sur la scène mondiale.

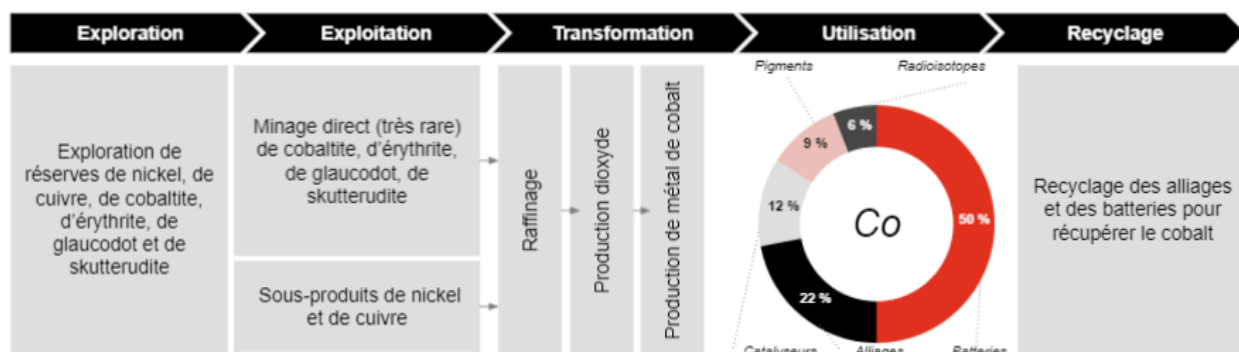
<sup>54</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>

*Implication dans la chaîne de valeur : modérée*

Avec des acteurs actifs dans l'ensemble de la chaîne de valeur, le Québec présente un certain potentiel pour devenir un producteur un peu plus important dans l'exploitation et la transformation du zinc. Les mines en activité sont toutefois limitées aujourd'hui, ce qui indique un réel besoin de voir les projets en cours se réaliser.

## Cobalt

Figure 39 : Aperçu de la chaîne de valeur du cobalt



Source : Technavio, 2020. Analyse PwC.

### Présentation générale

Le cobalt est principalement utilisé dans les batteries lithium-ion et dans la fabrication d'alliages magnétiques, résistants à l'usure et à haute résistance. Le cobalt occupe le 33<sup>e</sup> rang en termes d'abondance et est largement dispersé dans la croûte terrestre. On ne le trouve en quantités potentiellement exploitables que dans quelques pays, principalement en Afrique centrale, mais aussi au Canada, à Cuba, en Australie et en Russie. Il est normalement associé à la production de cuivre et de nickel. Environ 50 % des réserves mondiales de cobalt se trouvent en République démocratique du Congo et environ 53 % du cobalt mondial provient de ce pays. La concentration de cobalt dans cette région politiquement sensible place le cobalt sur la liste des minerais critiques, notamment parce que le cobalt a de nombreuses utilisations industrielles stratégiques et irremplaçables. De plus, les opérations minières en République démocratique du Congo ont été reconnues par plusieurs organisations internationales pour des enfreintes aux droits humains et des enjeux de sécurité<sup>55</sup>.

### Réserves mondiales

Le cobalt sous forme de composé est présent dans les minéraux tels que le cuivre et le nickel. Les principales sources de minerais permettant de produire du cobalt sont la cobaltite, l'érythrite, le glaucodot et la skutterudite, mais la majorité de la production de cobalt est obtenue par réduction des sous-produits cobaltifères de l'extraction et de la fusion du nickel et du cuivre.

Figure 40 : Réserves de cobalt mondiales (millions de tonnes)



Source : The United States Geological Survey, 2021. Analyse PwC.

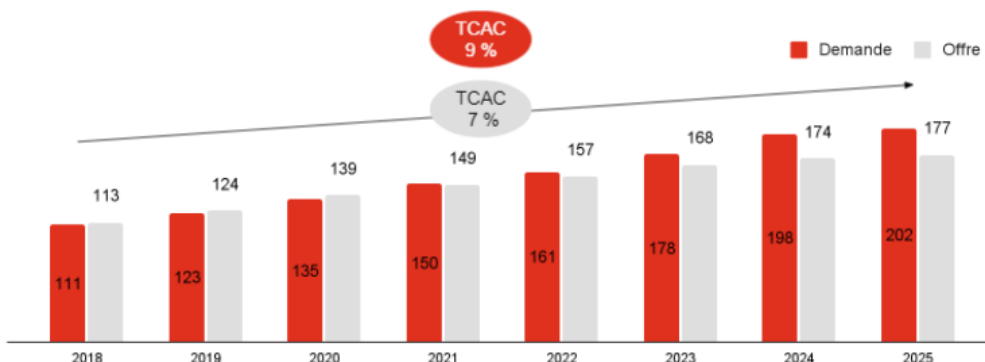
<sup>55</sup> Council on foreign relations, 2020. Why Cobalt Mining in the DRC Needs Urgent Attention. Lien: <https://www.cfr.org/blog/why-cobalt-mining-drc-needs-urgent-attention>.

Le Canada occupe le sixième rang parmi les pays possédant le plus de réserves de cobalt au monde. Des grandes entreprises, dans leur tentative de se procurer du cobalt de source éthique pour échapper aux poursuites judiciaires, recherchent des modes de production responsables. Apple, Alphabet, la société mère de Google, Microsoft, Dell et Tesla ont toutes été poursuivies pour le cobalt extrait par des enfants au Congo, en Afrique. Certaines entreprises tentent également de développer des projets de cobalt en Amérique du Nord, notamment au Canada, afin de créer une chaîne d'approvisionnement alternative. Par exemple, First Cobalt Corp. développe trois projets de cobalt au Canada et aux États-Unis, dont le projet Iron Creek de 727 hectares dans l'Idaho, qui compte 9 100 mètres de forage historique effectué par la grande société minière Noranda.

### Demande mondiale

La croissance rapide de la demande pour les véhicules électriques devrait stimuler la demande de batteries au lithium pour lesquelles le cobalt est utilisé comme composant majeur. La demande mondiale de cobalt devrait augmenter à un taux de croissance annuel de 9 % entre 2018 et 2025. Près de 50 % du cobalt produit, une proportion appelée à croître, est incorporé dans les cathodes des batteries lithium-ion, dont beaucoup sont utilisées dans le matériel électronique, dans les biens de consommation et sur le marché en forte croissance des véhicules électriques. Le prix annuel moyen du cobalt oscillait entre 11,57 \$ US et 37,43 \$ US la livre entre 2016 et 2019<sup>56</sup>.

**Figure 41 : Demande et offre mondiales de cobalt (kilotonnes, 2018-2025p)**



Source : Investor Intel (referenced from Bloomberg NEF), 2021. Analyse PwC.

Il existe de réelles inquiétudes quant à une éventuelle pénurie dans les années à venir, car l'offre pourrait ne pas être en mesure de répondre à la demande, d'où la décision de considérer le cobalt comme un élément critique et stratégique. Il est prévu que l'augmentation de la demande de cobalt de la part de l'industrie des batteries entraînera une hausse spectaculaire du prix du métal au cours des cinq prochaines années (de 16,5 \$ US en 2020 à 31,5 \$ US en 2025 par livre). Toutefois, le recyclage et la substitution (les entreprises développent des batteries lithium-ion qui contiennent plus de nickel et moins de cobalt) pourraient atténuer en partie la pression sur les prix.

### Chaîne de valeur et cartographie des acteurs

#### Étapes 1 et 2 : Prospection, exploration, exploitation, traitement, concentration et première transformation

Bien que plusieurs projets au stade d'exploration et de mise en valeur de gisements de cobalt soient en cours au Québec, on ne retrouve qu'un seul site en activité. En effet, la mine Raglan, propriété de Glencore, produit du cobalt à titre de sous-produit de l'exploitation et du traitement (par broyage) du nickel. Cette mine est un grand complexe minier de nickel situé dans la région du Nunavik, dans le nord du Québec, près de la péninsule d'Ungava. Une fois que le minerai atteint la surface, il est traité sur place (broyage, flottation, déshydratation et filtration, et séchage). Le concentré de nickel produit au Québec est transporté vers Sudbury pour un traitement pyrométallurgique. Par la suite, le concentré est transporté au

<sup>56</sup> US spot cathode et London Metal Exchange, USGS 2021.

port de Québec (sous forme de matte) et expédié vers la Norvège. Il est à noter que le minerai sur le site de la mine de Canadian Royalties contient entre 0,03 % à 0,1 % de cobalt.

**Tableau 17 : Cartographie des acteurs confirmés des étapes 1 à 2 au Québec**

Compagnie	Activités	Taille des réserves
Glencore Canada Corporation	Mine – Raglan	6 180 tonnes
Canadian Royalties	Nunavik Nickel	Non disponible <sup>57</sup>
Magneto Investments	Mise en valeur – Dumont Nickel	110 000 tonnes
Jien Nunavik Mining Exploration	Gîtes – Bravo	Non disponible
Nickel North Exploration	Gîtes – Hawk Ridge	4 840 tonnes*
Harfang Exploration	Gîtes – Lac Menarik	Non disponible
Victory Nickel	Gîtes – Lac Rocher	Non disponible
Critical Elements Corporation	Exploration avancée – Nisk	Non disponible
Wallbridge Mining Company	Exploration avancée – Grasset	Non disponible

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

\* Estimation historique, non conforme à la norme NI 43-101.

### *Étape 3 : Utilisation*

Environ 50 % de tout le cobalt consommé est utilisé dans les batteries. On estime que 22 % sont utilisés dans les alliages à haute performance. D'autres applications comprennent l'utilisation du cobalt, comme les ordinateurs, les téléphones cellulaires, les catalyseurs, les pigments et la coloration (bleu) ainsi que dans les radio-isotopes.<sup>58</sup>

**Tableau 18 : Cartographie des acteurs confirmés de l'étape 3 au Québec selon le secteur d'activité visé**

Secteur d'activité visé	Compagnie	Description des applications
Alliages	Titanium Industries	Alliages d'acier
Batteries	Blue Solutions (Bolloré)	Production de cellules de batteries

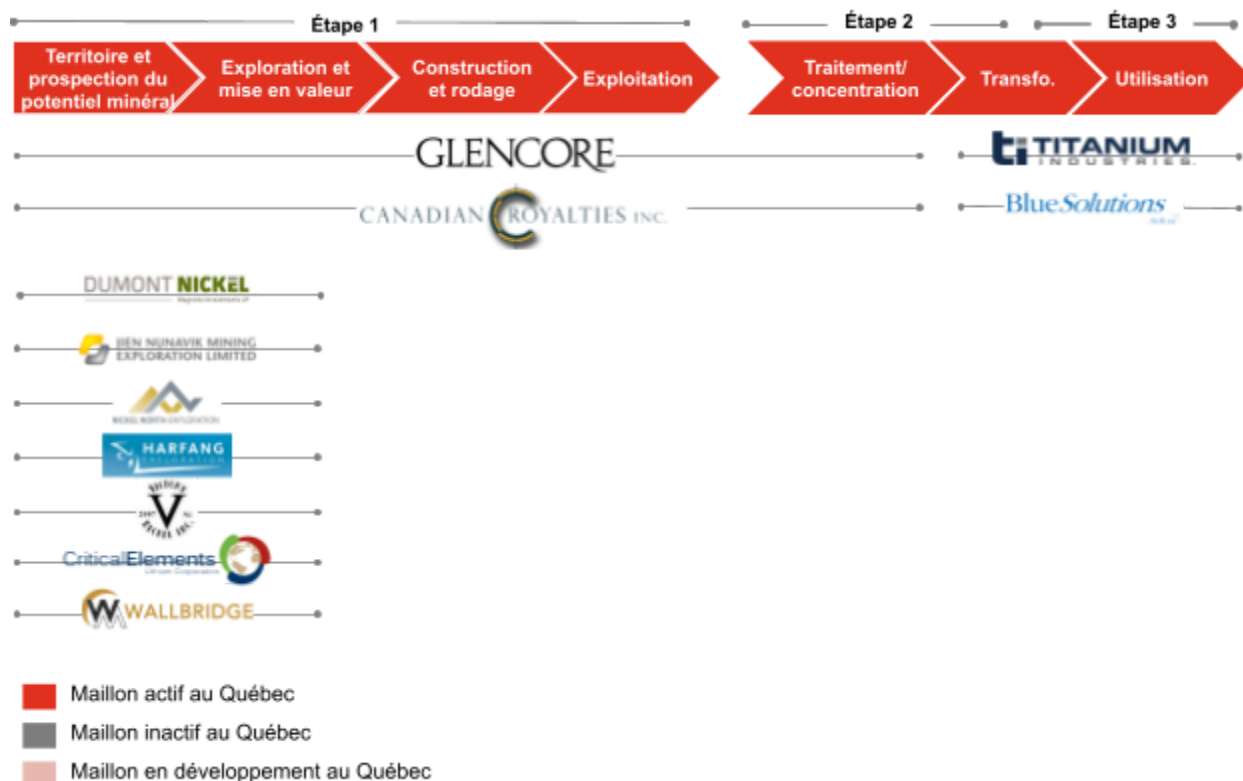
Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

<sup>57</sup> Le cobalt est extrait de la mine Nunavik Nickel, cependant les données de production ne sont pas disponibles puisque les volumes sont amalgamés à ceux du cuivre.

<sup>58</sup> Technavio, 2020.

## Valeur stratégique pour le Québec

Figure 42 : État d'avancement des étapes 1 à 3 de la chaîne de valeur



### Importance du produit final : élevée

Le cobalt est essentiel à la production des batteries utilisées dans de nombreux produits de haute technologie, notamment les téléphones cellulaires, les ordinateurs portables, les véhicules électroniques, etc. Bien que des acteurs assemblent ce type de produits au Québec, le nombre de fabricants qui achètent du cobalt non ouvré pour la production est limité. Dans l'optique du développement d'une filière des batteries au Québec, le cobalt est un minéral qui revêt d'une importance élevée dans le développement de cette filière.

### Difficulté de substituabilité du minerai : modérée

Selon l'application, le remplacement du cobalt pourrait entraîner une perte de performance du produit ou une augmentation de son coût. La teneur en cobalt des batteries au lithium-ion, principale utilisation mondiale du cobalt, est en train d'être réduite. Selon les applications, des substituts potentiels au cobalt sont disponibles<sup>59</sup>, tels que :

- le fer et le phosphore, les ferrites de baryum ou de strontium, le néodyme-fer-bore ou les alliages nickel-fer dans les aimants;
- le cérium, le fer, le plomb, le manganèse ou le vanadium dans les peintures;
- le cobalt-fer-cuivre ou le fer-cuivre dans les outils diamantés;
- le cuivre-fer-manganèse pour le durcissement des résines de polyester insaturé, le fer, le fer-cobalt-nickel, le nickel, les composites céramo-métalliques (cermets) ou les céramiques dans les matériaux de coupe et de résistance à l'usure;

<sup>59</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>

- les alliages à base de nickel ou les céramiques dans les moteurs à réaction;
- le nickel dans les catalyseurs pétroliers;
- le rhodium dans les catalyseurs d'hydroformylation;
- et les alliages à base de titane dans les prothèses.

*Risque de la chaîne de valeur : élevé*

Quatre risques majeurs pourraient avoir un impact sur la chaîne de valeur du cobalt au Québec, en particulier, compte tenu des aspirations à développer une filière batterie au Québec :

1. Les entreprises continuent d'acheter du cobalt non éthique au Congo pour des raisons économiques.
2. La dépendance des batteries au cobalt est fortement réduite par la R-D (des projets sont actuellement en cours pour y parvenir). Les entreprises visent à réduire leur dépendance à l'égard d'un minerai qui provient actuellement d'un pays où l'application des lois sur le travail est limitée.
3. Le cobalt extrait au Québec est actuellement raffiné à l'extérieur, ce qui pourrait créer un manque de disponibilité si les fabricants veulent l'utiliser localement (ex. : fabriquer des batteries).

*Implication dans la chaîne de valeur : élevée*

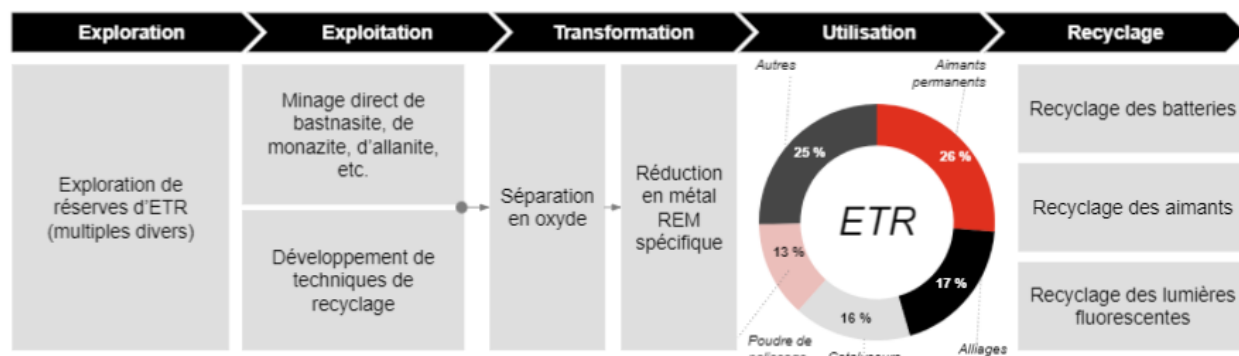
De nombreuses entreprises utilisant du cobalt ont été poursuivies en justice et sanctionnées en raison des opérations non éthiques de leurs fournisseurs au Congo<sup>60</sup>. Si la plupart des gisements de cobalt sont situés en Ontario, le Québec est l'une des rares régions du monde occidental à bénéficier de ressources de cobalt qui sont à explorer pour les qualifier en réserves. Plusieurs projets sont actuellement en cours de développement et il semble que le maillon faible de la chaîne de valeur du cobalt au Québec est le raffinage et l'utilisation de ce minerai pour des applications industrielles. Compte tenu des ambitions du Québec de développer une filière des batteries et des enjeux de droits humains au Congo, cette chaîne de valeur présente un potentiel intéressant au Québec et en Ontario si des mines et des usines de raffinage et de transformation peuvent être développées et exploitées à un coût concurrentiel.

---

<sup>60</sup> The Guardian, 2019. Apple and Google named in US lawsuit over Congolese child cobalt mining deaths. Lien: <https://www.theguardian.com/global-development/2019/dec/16/apple-and-google-named-in-us-lawsuit-over-congolese-child-cobalt-mining-deaths>

## Éléments des terres rares (ETR)

Figure 43 : Aperçu de la chaîne de valeur des ETR



Source : Technavio, 2020. Analyse PwC.

## Présentation générale

Les éléments de terres rares (ETR), également appelés métaux de terres rares, ou les lanthanides (bien que l'yttrium et le scandium soient généralement inclus dans les terres rares), sont un ensemble de 17 métaux lourds mous, blancs argentés et brillants, presque indiscernables. Les ETR sont des composants nécessaires dans un large éventail d'applications, en particulier les produits de consommation de haute technologie, tels que les téléphones cellulaires, les disques durs d'ordinateur, les véhicules électriques et hybrides, et les moniteurs et téléviseurs à écran plat. Les applications importantes dans le domaine de la défense comprennent les écrans électroniques, les systèmes de guidage, les lasers et les systèmes radar et sonar. Bien que la quantité d'ETR utilisée dans un produit puisse ne pas représenter une part importante de ce produit en termes de poids, de valeur ou de volume, les ETR peuvent être nécessaires au fonctionnement de l'appareil. Par exemple, les aimants composés d'ETR ne représentent souvent qu'une petite fraction du poids total, mais sans eux, les moteurs à broche et les bobines vocales des ordinateurs de bureau et des ordinateurs portables ne seraient pas possibles.

## Réserves mondiales

Les éléments de terres rares se trouvent souvent ensemble. Malgré leur nom, les métaux des terres rares sont relativement abondants dans la croûte terrestre. Le cérium, par exemple, est au 25<sup>e</sup> rang des éléments les plus abondants. Cependant, les gisements de minerai économiquement exploitables sont rares.<sup>61</sup>

Figure 44 : Réserves d'ETR mondiales (millions de tonnes)



Source : The United States Geological Survey, 2021. Analyse PwC.

<sup>61</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>



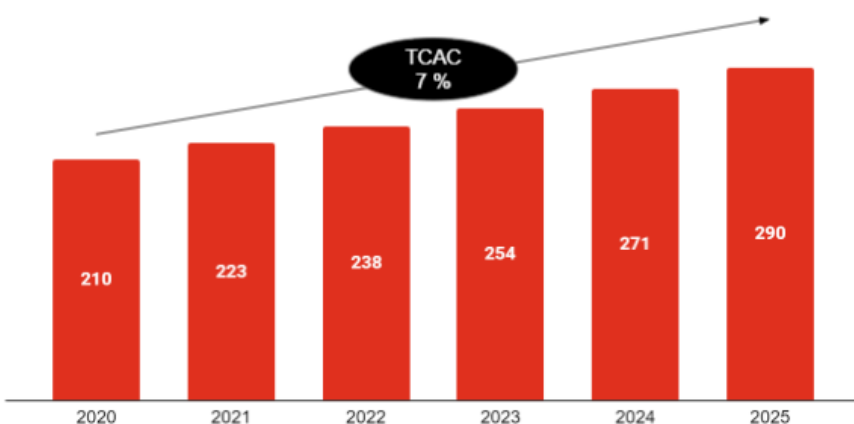
Selon USGS, le Canada possède moins de 1 % des réserves mondiales (0,8 million de tonnes). La Chine est de loin le plus grand exploitant, détenant 37 % des réserves mondiales, et elle est responsable de 58 % de la production annuelle mondiale d'ETR. Son plus proche rival est les États-Unis, qui ne détiennent « que » 16 % de la production annuelle mondiale.

Cependant, d'après Ressources Naturelles Canada, le Canada posséderait une quantité plus substantielle de réserves et ressources connues (mesurées et indiquées) de terres rares au monde, estimées à plus de 15 millions de tonnes d'oxydes de terres rares (y compris le scandium)<sup>62</sup>.

### Demande mondiale

La demande de terres rares de l'Asie-Pacifique (APAC) est fortement dominée par la Chine, qui a augmenté les droits d'exportation sur les terres rares pour maintenir son autosuffisance et garantir ses besoins futurs. Les aimants permanents (44,1 % en 2019) dominent la consommation de terres rares de la Chine. La croissance des industries manufacturières et électroniques dans les économies émergentes telles que l'Inde et la Chine, associée à l'essor du marché mondial des véhicules électriques et des véhicules autonomes, stimule davantage la demande d'aimants dans toutes les régions. L'Amérique du Nord devrait assister à une croissance de la demande d'environ 9,0 % chaque année pour la période de 2019 à 2025, grâce à l'expansion de l'industrie automobile couplée à des investissements dans les secteurs de l'électronique et de l'énergie nucléaire.

**Figure 45 : Demande d'ETR (kilotonnes, 2020-2025p)**



Sources : Bloomberg NEF, Statista (2021). Analyse PwC.

L'APAC (menée par la Chine) continue d'être le plus grand consommateur de métaux de terres rares grâce à la croissance des industries automobile et électronique. L'APAC revendique environ 55 % de la consommation mondiale (en valeur et en volume) à partir de 2019 (tendance qui devrait se maintenir jusqu'en 2030). La Chine maintient son influence sur le marché mondial en monopolisant le traitement des terres rares (presque toutes les terres rares extraites sont traitées en Chine).

### Chaîne de valeur et cartographie des acteurs

#### *Étapes 1 et 2 : Prospection, exploration, exploitation, traitement, concentration et première transformation*

Aucune mine d'ETR n'est actuellement exploitée au Québec. Cela dit, quelques projets sont à l'étape de la mise en valeur. Le gisement de terres rares de Torngat (Strange Lake) contient des quantités importantes de plusieurs éléments de terres rares (ETR) et, de manière distinctive, un pourcentage élevé de dysprosium, l'ETR lourd connaissant une des plus fortes croissances de la demande (critique pour les aimants permanents). De son côté, Geomega Resources a obtenu un financement de dette en 2020

<sup>62</sup> Gouvernement du Canada, 2021. Faits sur les éléments des terres rares. Lien: <https://www.mcan.gc.ca/nos-ressources-naturelles/mines-materiaux/faits-mineraux-metiaux/faits-sur-les-elements-des-terres-rares/20631>

d'Investissement Québec pour construire une usine de démonstration de recyclage d'aimants en terres rares au Québec (en plus de son projet de mine).

**Tableau 19 : Cartographie des acteurs confirmés des étapes 1 à 2 au Québec (excluant le scandium)**

Compagnie	Activités	Taille des réserves
Torngat Metals	Mise en valeur – Strange Lake	Non disponible, plusieurs éléments de terres rares
SOQUEM	Mise en valeur – Kwyjibo	Non disponible
Commerce Resource Corp.	Gîtes – Ashram	Non disponible
Niobec inc.	Gîtes – REE Zone	Non disponible
Geomega (Innord)	Gîtes – Montviel	Non disponible
Corporation métaux précieux du Québec et Investissement Québec	Gîtes – Kipawa	Non disponible
Imperial Mining Group Ltd	Gîtes – Crater Lake	Non disponible

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

### Étape 3 : Utilisation

Tous les ETR utilisés au Québec doivent actuellement être importés dans la province, car aucune mine locale n'est exploitée. Il est fort probable que les éléments de terres rares les moins chers resteront ceux qui proviennent de l'APAC (plus précisément de la Chine). La production mondiale des ETR est actuellement utilisée comme suit : 48 % pour la galvanisation (d'acier ou de fer) pour ses propriétés anti-corrosives, 25 % pour la fabrication d'alliages, 17 % pour la production de laiton et de bronze et 10 % pour d'autres applications diverses, dont les aimants permanents utilisés notamment dans les éoliennes.<sup>63</sup>

En 2021, l'annonce de la construction d'une nouvelle usine de fibres optiques dans la région de Québec au coût de 34 millions de dollars. Cette entreprise fabrique des fibres optiques dopées aux terres rares pour une variété d'applications industrielles (p.ex. la découpe et le soudage, le marquage, la fabrication additive et le nettoyage au laser, les technologies de télédétection)<sup>64</sup>.

**Tableau 20 : Cartographie des acteurs confirmés de l'étape 3 au Québec selon le secteur d'activité visé**

Secteur d'activité visé	Compagnie	Description des applications
Alliages spéciaux	Rio Tinto Aluminium	Alliage avec l'aluminium
	Rio Tinto Fer et Titane	Alliages avec le titane
Ignifuges	Quadra Chemicals	Produits chimiques
Fibres optiques	Coractive	Fibres optiques spéciales, dopées à l'Erbium et à l'Ytterbium

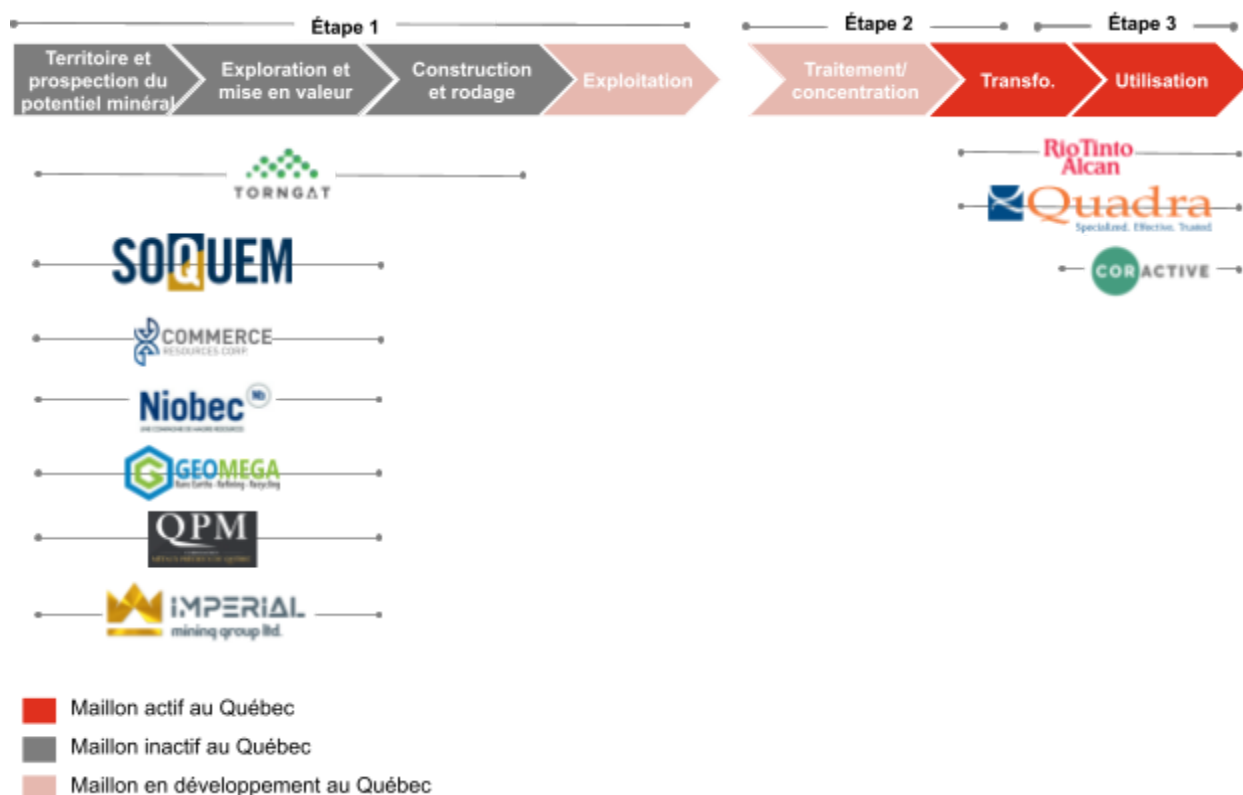
Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

<sup>63</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien : <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>

<sup>64</sup> Radio-Canada, 2021. Une nouvelle usine de fibre optique à Québec. Lien : <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1787081/coractive-optique-photonique-usine-pret-investissement>

## Valeur stratégique pour le Québec

Figure 46 : État d'avancement des étapes 1 à 3 de la chaîne de valeur



## Valeur stratégique pour le Québec

### Importance du produit final : modérée

Les terres rares sont utilisées dans les aimants permanents qui sont essentiels pour de nombreux produits de haute technologie que nous utilisons tous les jours (téléphones portables, ordinateurs portables, etc.). Elles sont donc extrêmement importantes au niveau mondial. Cependant, le Québec n'en produit pas actuellement, et très peu de fabricants locaux les utilisent.

### Difficulté de substitution des minéraux : élevée

Des substituts sont disponibles pour de nombreuses applications mais sont généralement moins efficaces<sup>65</sup>.

### Risque de la chaîne de valeur : modéré

La Chine possède près de la moitié des réserves mondiales enregistrées d'ETR et produit plus de la moitié de l'offre annuelle mondiale. Elle a le pouvoir d'influencer les prix du marché, ce qui pourrait faire pression sur la viabilité économique des projets locaux en cours de développement.

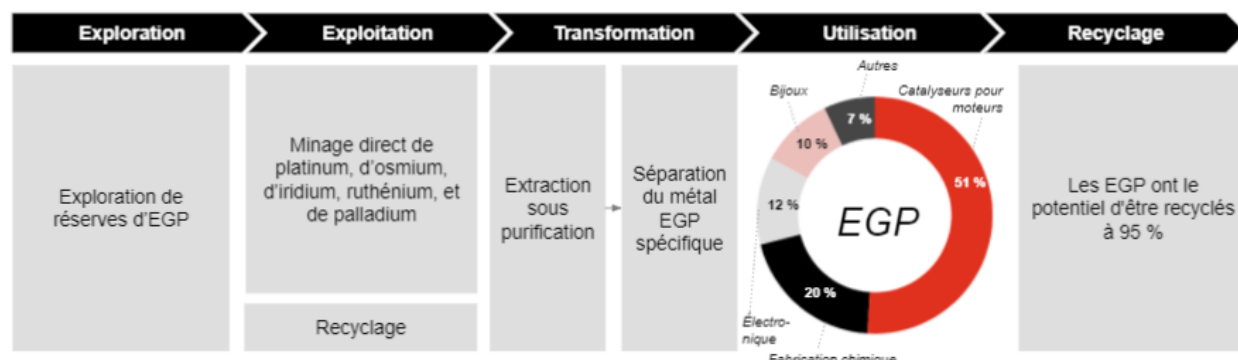
### Implication dans la chaîne de valeur : modérée

Aucune production locale et peu d'acteurs au Québec utilisent actuellement ETR. De plus, comme les réserves enregistrées sont faibles, le potentiel global de la chaîne de valeur est limité malgré une croissance modérée de la demande mondiale prévue pour ce minéral.

<sup>65</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>

## Éléments du groupe platine (EGP)

Figure 47 : Aperçu de la chaîne de valeur des éléments du groupe platine



Source : Technavio, 2020. Analyse PwC.

### Présentation générale

Les éléments du groupe du platine possèdent de nombreuses propriétés catalytiques utiles. Ils sont très résistants à l'usure et au ternissement, ce qui rend le platine bien adapté à la bijouterie fine. D'autres propriétés distinctives comprennent la résistance aux attaques chimiques, d'excellentes caractéristiques à haute température, une résistance mécanique élevée, une bonne ductilité et des propriétés électriques stables<sup>66</sup>. Outre leur application en bijouterie, les métaux de platine sont utilisés dans les médicaments anticancéreux, la dentisterie, l'électronique et les catalyseurs d'échappement des véhicules (CVE)<sup>67</sup>. Les CVE contiennent du platine, du palladium et du rhodium solide et sont installés dans le système d'échappement des véhicules pour réduire les émissions nocives, telles que le monoxyde de carbone, en les transformant en émissions moins nocives<sup>68</sup>.

Les six métaux du groupe du platine sont le ruthénium, le rhodium, le palladium, l'osmium, l'iridium et le platine. Ils ont des propriétés physiques et chimiques similaires et ont tendance à se trouver ensemble dans les mêmes gisements minéraux, mais ils peuvent être subdivisés en éléments du groupe du platine du groupe de l'iridium et en éléments du groupe du platine du groupe du palladium en fonction de leur comportement dans les systèmes géologiques.

### Réserves mondiales

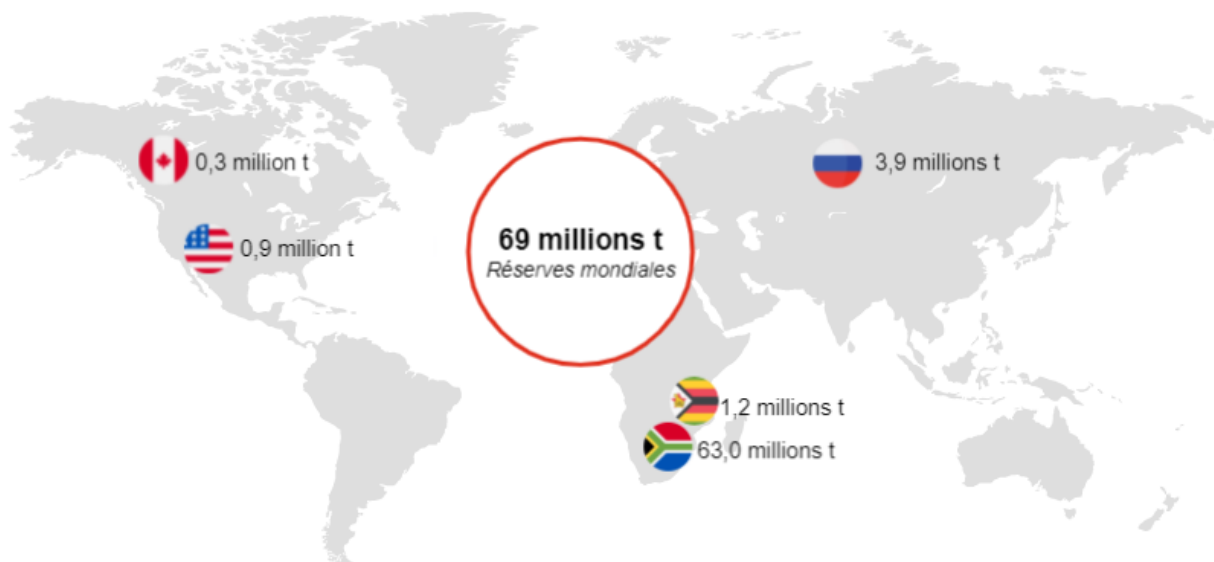
En général, les roches ignées ultramafiques et mafiques ont une teneur en traces d'EGP relativement élevée, et les granites, une teneur faible. Les traces géochimiquement anormales se trouvent principalement dans les spinelles chromifères et les sulfures. Les roches ignées mafiques et ultramafiques abritent pratiquement tous les minerais primaires d'EGP du monde. Les intrusions mafiques stratifiées, dont le complexe de Bushveld en Afrique du Sud, dépassent de loin tous les autres contextes géologiques de gisements d'EGP dans le monde. Parmi les autres gisements d'EGP économiquement importants, il faut noter les intrusions mafiques liées aux basaltes d'inondation et les complexes ultramafiques de type Alaska ou les montagnes de l'Oural.

<sup>66</sup> Platinum Metals Review.

<sup>67</sup> Science of the Total Environment.

<sup>68</sup> Chemosphere.

**Figure 48 : Réserves d'éléments du groupe du platine mondiales (millions de tonnes)**



Source : The United States Geological Survey, 2021. Analyse PwC.

Plus de 90 % des réserves mondiales de EGP se trouvent en Afrique du Sud, notamment dans le complexe de Bushveld.

En 2020, le plus grand producteur de platine était l'Afrique du Sud avec 120 000 tonnes produites, soit près de 70 % de la production annuelle mondiale. L'Afrique du Sud est suivie par la Russie (24 000 tonnes), le Zimbabwe (13 500 tonnes), le Canada (7 800 tonnes) et les États-Unis (4 150 tonnes). Malgré que le Canada détient moins de 1 % des réserves mondiales d'EGP, il a produit près de 5 % de la production mondiale en 2020<sup>69</sup>.

Le Canada produit également une part plus importante de palladium par rapport à ses réserves mondiales. En 2020, il en a produit 20 000 tonnes, soit près de 10 % de la production annuelle globale. La Russie est le producteur le plus important avec 91 000 tonnes, suivi par l'Afrique du Sud (70 000 tonnes), le Canada (20 000 tonnes), les États-Unis (14 000 tonnes) et le Zimbabwe (12 000 tonnes)<sup>70</sup>.

La production annuelle d'EGP en Afrique du Sud a diminué de 11 % par rapport à celle de 2019 en raison des fermetures temporaires liées à la pandémie de COVID-19 ainsi que de l'augmentation des coûts de la main-d'œuvre et de l'électricité, d'un approvisionnement peu fiable en électricité et des défis liés à l'exploitation minière en profondeur.

Au Canada, la majorité de la production a eu lieu en Ontario (75 %), et le reste provient de Terre-Neuve-et-Labrador, du Québec et du Manitoba. Le Canada possède une mine d'EGP spécialisée, située dans l'ouest de l'Ontario, près de Thunder Bay. Cependant, les EGP sont également récupérés comme sous-produits dans de nombreuses mines de nickel primaire canadiennes<sup>71</sup>.

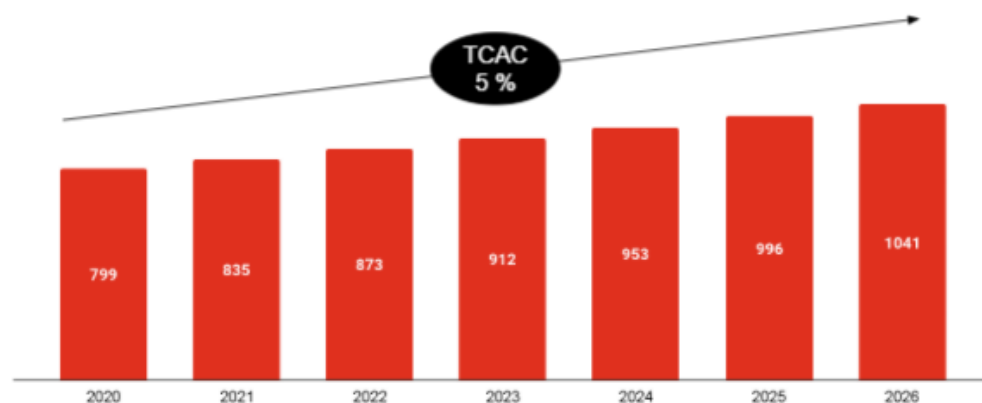
<sup>69</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>

<sup>70</sup> Idem.

<sup>71</sup> Ressources naturelles Canada.

## Demande mondiale

Figure 49 : Demande mondiale d'éléments du groupe du platine (tonnes, 2020-2026p)



Source : Technavio, 2020. Analyse PwC.

Le marché mondial des EGP devrait connaître une croissance d'environ 5 % par an jusqu'en 2026. Cette croissance peut être attribuée à la demande croissante de catalyseurs, de fabrication de produits chimiques, d'appareils électriques et électroniques, de bijoux et d'autres applications. En outre, les EGP sont considérés comme une option d'investissement, ce qui stimule également la consommation.

L'utilisation croissante des EGP dans les industries est attribuable à leurs propriétés physiques, chimiques et électriques, qui ne sont pas offertes par les autres métaux. L'utilisation croissante d'EGP dans le secteur de l'automobile s'explique par leurs propriétés distinctives, notamment la durabilité, la résistance et la conductivité, ainsi que par l'évolution des modes de vie et l'augmentation des revenus disponibles des particuliers, qui stimulent les ventes d'automobiles.

Les EGP jouent un rôle crucial en rendant les voitures modernes plus efficaces et plus respectueuses de l'environnement. Des innovations telles que les piles à combustible et les convertisseurs catalytiques ne seraient pas possibles sans l'utilisation de ces métaux. Le volume de production de platine et de palladium devrait être inférieur à la demande dans les prochaines années en raison de l'écart entre l'offre et la demande et de la hausse des coûts de main-d'œuvre et d'exploration.

Les coûts d'exploitation, les pénuries d'eau et d'électricité et les risques environnementaux liés à l'exploitation minière en Afrique du Sud sont les principaux défis auxquels sont confrontés les vendeurs sur le marché. L'extraction de certains EGP à partir des produits de la réaction nucléaire et les progrès des technologies nécessitant des EGP représentent les tendances prévues quant à la demande sur le marché<sup>72</sup>.

<sup>72</sup> Technavio, 2020.

## Chaîne de valeur et cartographie des acteurs

### *Étapes 1 et 2 : Prospection, exploration, exploitation, traitement, concentration et première transformation*

Au Québec, trois projets ayant comme sous-produit des EGP (Dumont Nickel, Nisk et Grasset) sont actuellement à l'étape de l'étude de faisabilité environnementale ou économique et un seul site produit des EGP, soit celui de la mine Raglan de Glencore. Au même titre que le cobalt, les EGP sont extraits à titre de sous-produits de l'exploitation du nickel.

Comme mentionné précédemment, la mine Raglan est un grand complexe minier de nickel situé dans la région du Nunavik, dans le nord du Québec, près de la péninsule d'Ungava. Une fois que le minerai atteint la surface, il est traité sur place (broyage, flottation, déshydratation et filtration, et séchage). Le concentré est ensuite expédié à l'affinerie CCR pour être transformé en concentré de platine et palladium.

Les deux projets, à l'étape d'exploration avancée, sont présentement en cours d'évaluation au Québec soit le Projet Nisk de Corporation Éléments Critiques et le Projet Grasset de Wallbridge Mining Company.

**Tableau 21 : Cartographie des acteurs confirmés des étapes 1 à 2 au Québec**

Compagnie	Activités	Taille des réserves
Glencore Canada Corporation	Mine – Raglan Première Transformation - CCR	8,343 tonnes Pt 20,29 tonnes Pd
Magneto Investments	Mise en valeur – Dumont Nickel	19,53 tonnes Pd 9,25 tonnes Pt
Corporation Éléments Critiques	Exploration avancée – Nisk	Non disponible
Wallbridge Mining Company	Exploration avancée – Grasset	Non disponible
Canadian Royalties	Nunavik Nickel	Non disponible <sup>73</sup>

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

### *Étape 3 : Utilisation*

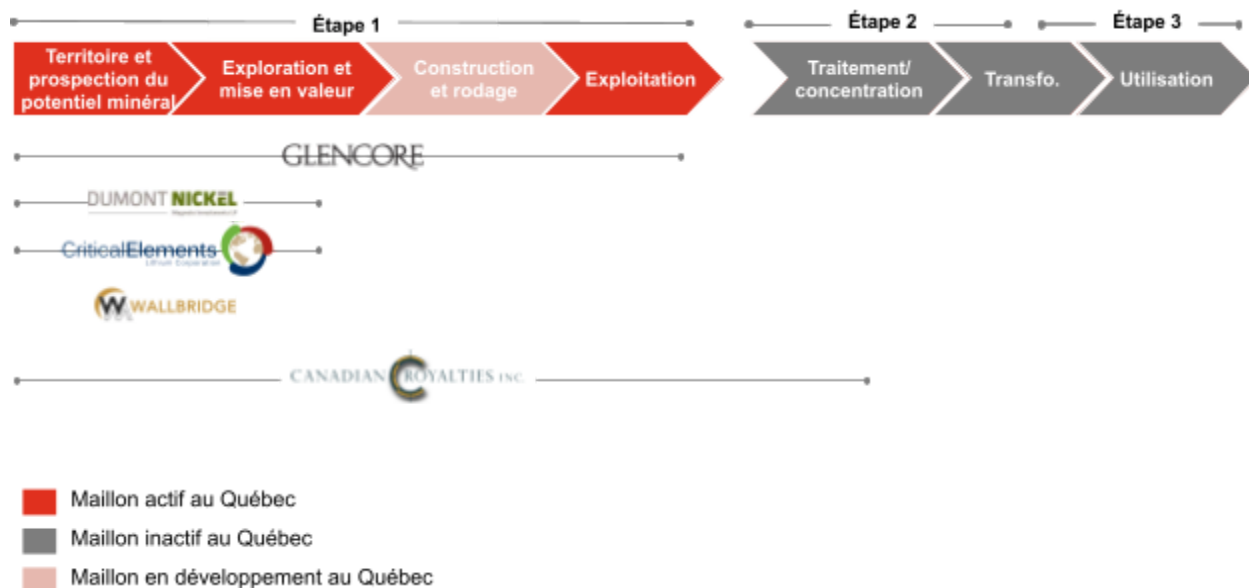
L'utilisation prévue d'EGP exigera un approvisionnement plus important de ce minerai à moyen terme. Les limites liées à l'offre de certains éléments du groupe tels que le platine et le palladium sont une préoccupation majeure auprès des acteurs du marché. L'offre de platine et de palladium ne devrait augmenter que marginalement au cours de la période de prévision, alors que la demande devrait augmenter de 5 % sur la période 2020 à 2026.

Les EGP sont utilisés dans les applications suivantes : catalyseurs pour les moteurs (environ 51 % des EGP utilisés), la fabrication de produits chimiques (environ 20 % des EGP utilisés), l'électronique (environ 12 % des EGP utilisés), les bijoux (environ 10 % des EGP utilisés), les produits pharmaceutiques, la dentisterie et la détention en vue d'investissements.

<sup>73</sup> Le platine et le palladium sont extraits de la mine Nunavik Nickel, cependant les données de production ne sont pas disponibles puisque les volumes sont amalgamés à ceux du cuivre.

## Valeur stratégique pour le Québec

Figure 50 : État d'avancement des étapes 1 à 3 de la chaîne de valeur



### Importance du produit final : modérée

Des innovations telles que les piles à combustible et les convertisseurs catalytiques ne seraient pas possibles sans l'utilisation de ces métaux. Les EGP jouent un rôle crucial en rendant les voitures modernes plus efficaces et plus respectueuses de l'environnement. Avec la réglementation gouvernementale liée aux émissions de véhicules devenant de plus en plus stricte, les EGP seront importants dans l'atteinte de ces objectifs.

### Difficulté de substitution des minéraux : élevée

Le palladium a remplacé le platine dans la plupart des convertisseurs catalytiques des moteurs à essence en raison du prix historiquement bas du palladium par rapport au platine. Environ 25 % du palladium peut être systématiquement substitué au platine dans les convertisseurs catalytiques des moteurs diesel; cette proportion peut atteindre 50 % dans certaines applications. Pour certaines utilisations finales industrielles, un EGP peut se substituer à un autre, mais avec des pertes d'efficacité dans son utilisation<sup>74</sup>.

### Risque de la chaîne de valeur : faible

Comme la chaîne de valeur est peu développée au Québec, il existe peu de risques actuellement. Il est à noter tout de même qu'il sera important de rester à l'affût de l'exploration en cours au Québec même si ce sont seulement des projets liés aux EGP comme sous-produits d'une production minière.

### Implication dans la chaîne de valeur : modérée

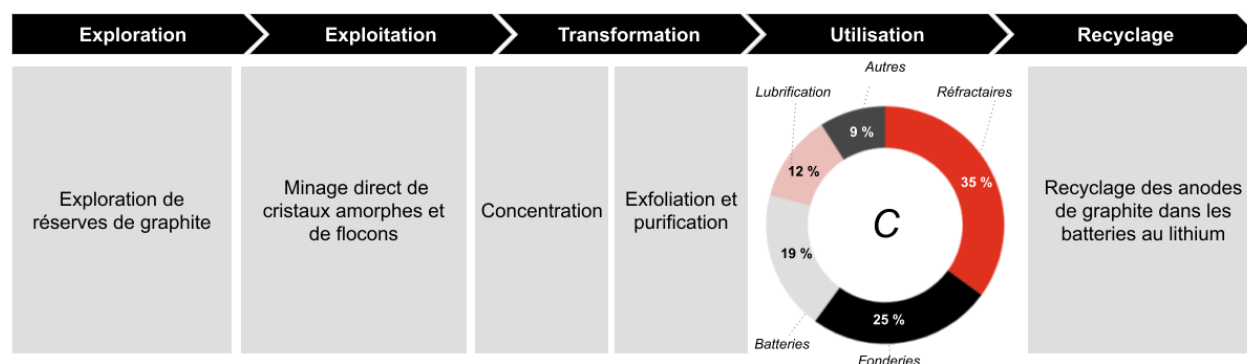
Bien qu'à un stade précoce, les acteurs sont actifs principalement au stade de l'exploration (avec l'EGP comme sous-produit). Le seul site minier en exploitation au Québec est le site Raglan, détenu par Glencore. Le maillon de transformation n'est actuellement pas en activité. Compte tenu de ces réserves limitées, le Québec n'est pas bien positionné pour devenir un acteur important dans la chaîne de valeur des EGP.

<sup>74</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>



## Graphite (naturel)

Figure 51 : Aperçu de la chaîne de valeur du graphite



Sources : Technavio, Superior Graphite (2020). Analyse PwC.

### Présentation générale

Le graphite est un matériau essentiel pour les secteurs des énergies renouvelables et des batteries pour véhicules électriques ainsi que pour la fabrication avancée de semi-conducteurs. Le graphite est une forme cristalline du carbone dont les atomes sont disposés selon une structure hexagonale. Il est présent à l'état naturel sous cette forme et constitue la forme la plus stable du carbone (dans des conditions normales). Le graphite est un bon conducteur de chaleur et d'électricité. Sa haute conductivité le rend utile dans les produits électroniques tels que les électrodes, les batteries et les panneaux solaires. Le graphite est présent dans les roches métamorphiques, les roches ignées et les météorites.

### Réserves mondiales

La forme la plus rare et la plus précieuse est le graphite filonien (morceau). Le graphite filonien, tel qu'on le trouve au Sri Lanka, se trouve généralement dans des gisements à haute teneur et est très recherché par les producteurs et les clients. Pour les producteurs, plus la teneur est élevée, plus les coûts de broyage et de raffinage sont faibles. Pour les clients, elle permet d'offrir une plus grande flexibilité dans les applications des produits. Le graphite en flocons, quant à lui, est plus courant et représente environ 40 % du marché du graphite. Il présente une gamme de carbone graphitique de 80 % à 98 %. Le graphite amorphe est la forme la moins précieuse mais la plus abondante de graphite et représente environ 60 % du marché du graphite. Comme il est souvent associé à des filons de charbon qui ne sont pas graphitiques et qu'il s'y forme, il est difficile de le séparer du charbon, ce qui donne généralement un produit de qualité et de prix inférieurs. Le graphite amorphe contient 70 % à 75 % de carbone et est utilisé dans de nombreux produits lubrifiants, notamment les graisses, les lubrifiants de forgeage, etc.

**Figure 52 : Réserves de graphite mondiales (millions de tonnes)**



Source : The United States Geological Survey, 2021. Analyse PwC.

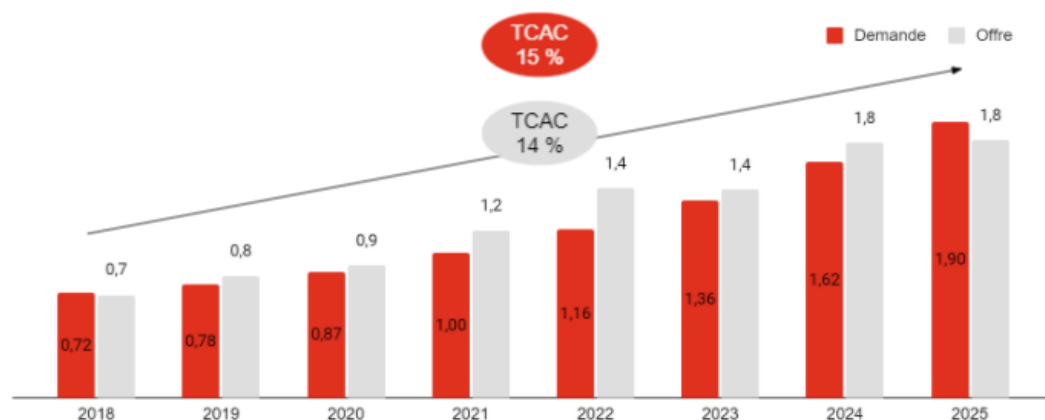
En 2019, le plus grand exploitant de graphite naturel était la Chine, avec 700 000 tonnes de graphite produit, suivie du Mozambique (100 000 tonnes), de l'Autriche (96 000 tonnes), de Madagascar (47 000 tonnes) et du Canada (40 000 tonnes).

Bien qu'elle soit la plus grande exportatrice, la Chine a suscité de graves inquiétudes quant à l'approvisionnement du reste du monde. La Chine a fermé 180 entreprises d'État, a imposé un droit d'exportation de 20 % plus une TVA de 17 %, et a instauré une obligation de licence d'exportation.

Il n'y a actuellement que deux propriétés exploitées au Canada, l'une en Colombie-Britannique et l'autre au Québec, et elles comprennent des gisements de graphite en flocons et de graphite amorphe. La province géologique de Grenville, dans le sud-est de l'Ontario et le sud-ouest du Québec, a été historiquement la source de nombreuses mines de graphite. Elle connaît actuellement une renaissance, car l'offre chinoise est de plus en plus restreinte et la demande augmente.

## Demande mondiale

**Figure 53 : Demande et offre mondiales de graphite naturel et synthétique (millions de tonnes, 2018-2025p)**



Sources : Graphite Market, Allied Market Research (2021). Analyse PwC.

La demande de graphite a presque doublé au cours de la dernière décennie, car les pays en développement rapide comme la Chine et l'Inde ont besoin de plus grandes quantités de produits à base de graphite. Ainsi, on estime que la demande pourrait augmenter de 15 % au cours des cinq prochaines années, en raison de la popularité croissante des nouvelles applications liées aux énergies renouvelables et aux semi-conducteurs avancés. La demande devrait dépasser l'offre d'ici 2025.

Malgré l'avantage du graphite synthétique dans l'amélioration du cycle de vie des piles en raison de sa forme beaucoup plus pure, le coût de production élevé et les facteurs environnementaux ont orienté la demande vers le graphite naturel. En effet, le temps de production requis est assez élevé pour le graphite synthétique (plus de trois mois) par rapport à celui du graphite naturel, qui prend moins d'une semaine. Le processus de fabrication du graphite sphérique naturel a également une empreinte carbone minimale, ce qui en fait une option intéressante pour les batteries lithium-ion.

Sur les marchés, le graphite naturel se vendait à un prix annuel moyen oscillant entre 1 350 \$ US et 1 920 \$ US la tonne, de 2016 à 2019<sup>75</sup>.

## Chaîne de valeur et cartographie des acteurs

*Étapes 1 et 2 : Prospection, exploration, exploitation, traitement, concentration et première transformation*  
L'exploitation du graphite au Québec a été mineure dans le passé – cependant, celle-ci gagne en popularité grâce à la croissance de l'écosystème des batteries lithium-ion au Québec.

Nouveau Monde Graphite a récemment reçu l'autorisation du gouvernement du Québec de construire ce qui est appelé à devenir la plus grande mine de graphite du monde en Occident. Ce projet de production de 100 000 tonnes par an de concentré de graphite de haute pureté est situé à environ 150 kilomètres au nord de Montréal. Développement économique Canada pour les régions du Québec (DEC) a versé 1,5 M\$ à Nouveau Monde Graphite pour la mise en œuvre de procédés de transformation secondaire permettant de fabriquer du graphite sphérique purifié. De plus, plusieurs tranches de financement ont été octroyées par le gouvernement du Québec alors qu'Investissement Québec, par une participation dans les capitaux propres, et Transition énergétique Québec, par l'entremise d'un financement non remboursable, ont participé au soutien de ce projet.

<sup>75</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>

Le projet d'extension du lac Guéret se trouve sur le territoire visé par la mise en œuvre du Plan d'action nordique mis en œuvre par la Société du Plan Nord, dont la mission est, dans une perspective de développement durable, de contribuer au développement intégré et cohérent du territoire au nord du 49<sup>e</sup> parallèle, en conformité avec les orientations définies par le gouvernement et en concertation avec les représentants des régions et des nations autochtones concernées ainsi que du secteur privé. Ce projet a fait l'objet d'une estimation, avec des ressources minérales mesurées et indiquées de 67,5 millions de tonnes titrant 17,2 % de Cgr (carbone sous forme de graphite), dont 9,7 millions de tonnes titrant 31,2 % de Cgr.

Le graphite en morceaux (le plus rare et recherché) n'est actuellement exploité qu'au Sri Lanka. Toutefois, un récent échantillonnage effectué sur la propriété Miller de Canada Carbon a révélé des teneurs extrêmement élevées, similaires à celles des propriétés en grumeaux ou en veines du Sri Lanka.

Les gouvernements du Canada et du Québec ont annoncé qu'ils allaient financer à hauteur de 3,6 M\$ la mise au point d'un système de recharge électrique rapide pour les véhicules des mines à ciel ouvert, qui permettra non seulement de réduire les émissions de gaz à effet de serre, mais aussi les coûts d'exploitation des mineurs. Ce prototype devrait d'abord être utilisé dans une mine de graphite par Nouveau Monde Graphite.

**Tableau 22 : Cartographie des acteurs confirmés de l'étape 1 à 2 au Québec**

Compagnie	Activités	Taille des réserves
Imerys Graphite and Carbon	Mine – Lac-des-Îles	386 000 tonnes
Nouveau Monde Graphite	Construction – Matawinie et Bécancour	2 601 000 tonnes
Mousseau West	Gîtes – Mousseau Ouest	Non disponible
Lomiko Metals	Gîtes – La Loutre	Non disponible
Berkwood Ressources	Gîtes – lac Guéret Sud	Non disponible
Mason Graphite	Gîtes – lac Guéret	1 317 000 tonnes
Metals Australia Limited	Gîtes – Metals Australia	Non disponible
Canada Carbon	Gîtes – Miller	Non disponible
Focus Graphite	Gîtes – lac Knife	1 188 750 tonnes
Saint Jean Carbon	Gîtes – Bell Graphite	Non disponible

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

### *Étape 3 : Utilisation*

Le graphite naturel est utilisé dans les applications conventionnelles : les réfractaires (environ 35 %), les lubrifiants (environ 12 %), les creusets (environ 25 %), les batteries au lithium (environ 19 %), les revêtements, les joints, l'électronique grand public, les crayons et les systèmes polymères avancés. Par contre, on note également une demande plus soutenue pour des applications émergentes et pour des initiatives écologiques dans les technologies de l'énergie nucléaire, des piles à combustible et des batteries lithium-ion. Ainsi, les perspectives sont bonnes pour ce minerai et exigent un approvisionnement plus substantiel à court terme.<sup>76</sup>

Le graphène est l'une application émergente prometteuse pour le graphite malgré que la réalisation de son plein potentiel se fait toujours attendre. La capacité de fournir un volume industriel de graphène à un coût abordable est la clé qui ouvre la voie au développement du marché du graphène. Au Québec, la

<sup>76</sup> Technavio, 2021.

compagnie NanoXplore a construit une ligne de production de graphène de 4 000 tonnes par an dans la région de Montréal en 2020.

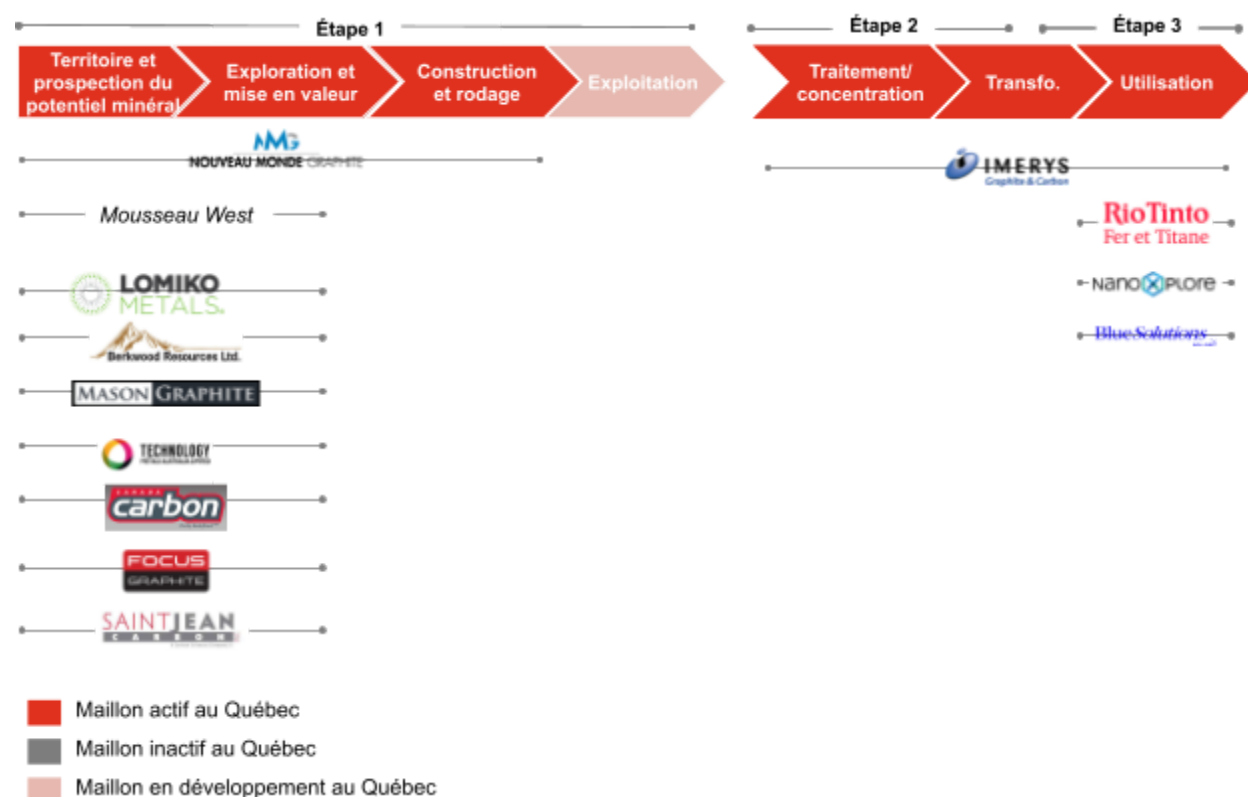
**Tableau 23 : Cartographie des acteurs confirmés de l'étape 3 au Québec selon le secteur d'activité visé**

Secteur d'activité visé	Compagnie	Description des applications
Creusets	Rio Tinto Fer et Titane	Alliages d'aluminium
Graphène	Nanoxplore	Production de graphène à partir de graphite
Batteries	Blue Solutions (Bolloré)	Production de cellules de batteries

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

### Valeur stratégique pour le Québec

**Figure 54 : État d'avancement des étapes 1 à 3 de la chaîne de valeur**



### Importance du produit final : élevée

Le graphite est un minéral très important pour faciliter l'électrification des transports et la décarbonisation de nos économies. Il est un des minéraux essentiels dans la production de batteries au lithium, secteur qui représente d'ailleurs près de 20 % de sa demande à l'échelle mondiale aujourd'hui, mais qui est appelé à croître rapidement. Aujourd'hui, il est en surcapacité de production à l'échelle mondiale, mais on lui prédit un taux de croissance annuel composé de 15 %, et on prévoit un déficit entre l'offre et la demande d'ici 2024-2025.

*Difficulté de substituabilité du minerai : modérée*

Il y a quelques substituts pour le graphite, selon les applications et les grades. La poudre de graphite synthétique, les rebuts de formes usinées et le coke de pétrole calciné se font concurrence dans la production de fer et d'acier. La poudre de graphite synthétique et le graphite synthétique secondaire provenant de l'usinage de formes de graphite se font concurrence pour une utilisation dans les applications de batteries. Le coke finement moulu avec de l'olivine est un concurrent potentiel dans les applications de fonderie. Le disulfure de molybdène entre en compétition comme lubrifiant sec, mais est plus sensible aux conditions oxydantes<sup>77</sup>.

*Risque de la chaîne de valeur : modéré*

La Chine possède près de 30 % des réserves mondiales enregistrées et produit plus de 60 % de l'offre annuelle mondiale. Elle a le pouvoir d'influencer les prix du marché et de limiter les exportations (mesures en place) pour prioriser la production locale en Chine, ce qui fait pression sur la viabilité économique des projets industriels en cours de développement à travers le monde.

*Implication dans la chaîne de valeur : élevée*

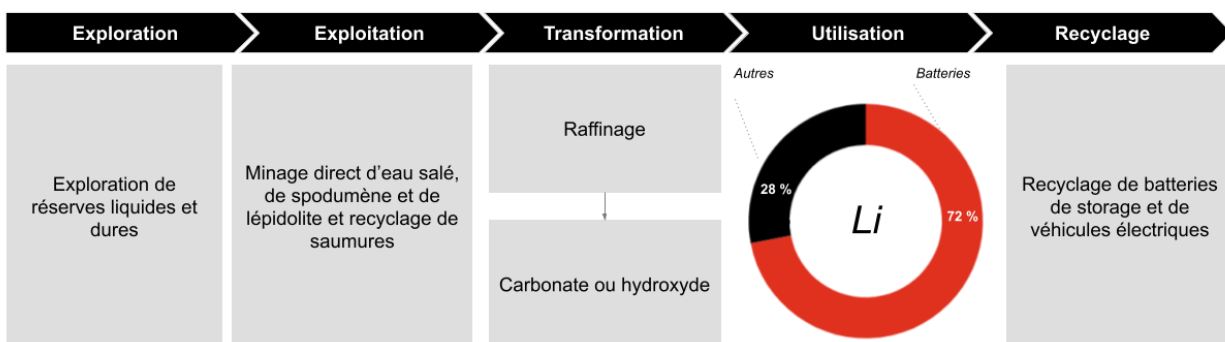
Bien qu'il soit un producteur relativement petit, le Québec a le potentiel de devenir le seul exportateur de graphite naturel de haute qualité disposant d'un système politique et économique stable. Le projet de Nouveau Monde Graphite consiste à construire ce qui est appelé à devenir la plus grande mine de graphite du monde occidental. En plus du projet de Nouveau Monde Graphite, plusieurs projets sont actuellement en cours de développement au Québec. Il semble actuellement que le maillon faible de la chaîne de valeur du graphite au Québec soit l'utilisation dans des applications industrielles. Compte tenu des ambitions du Québec de développer une filière des batteries, pour laquelle le graphite est un des principaux métaux, et des enjeux pour se procurer du graphite de qualité « batterie » de la Chine, la chaîne de valeur présentera un potentiel très intéressant au Québec si les mines et les usines de raffinage et de transformation ciblées peuvent être développées et exploitées à un coût concurrentiel.

---

<sup>77</sup>U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, 2021. Lien: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021-graphite.pdf>.

## Lithium

Figure 55 : Aperçu de la chaîne de valeur du lithium



Source : Grand View Research, 2020. Analyse PwC.

### Présentation générale

Le lithium, un matériau essentiel pour le passage à une économie plus verte, est un élément clé de la fabrication des batteries qui alimentent les véhicules électriques (VE) et les systèmes de stockage d'énergie (SSE). Le lithium est un métal alcalin doux, blanc argenté. Il est considéré comme le métal le plus léger et l'élément le plus solide (dans des conditions normales). Le lithium est très réactif et inflammable et doit être stocké dans de l'huile minérale. L'exposition à l'air humide corrode le lithium et provoque un ternissement noir. En raison de sa réactivité à l'air et à l'eau, le lithium n'est pas présent librement dans la nature, mais seulement dans des composés, comme les minéraux pegmatitiques, qui étaient autrefois la principale source de lithium. En raison de sa solubilité en tant qu'ion, il est présent dans l'eau de mer et est couramment obtenu à partir de saumure. Le lithium métal est isolé par électrolyse à partir d'un mélange de chlorure de lithium et de chlorure de potassium.

### Réserves mondiales

La teneur totale en lithium de l'eau de mer est importante (estimée à 230 milliards de tonnes), avec une concentration relativement constante de 0,14 à 0,25 ppm. On trouve des concentrations plus élevées, proches de 7 ppm, près des cheminées hydrothermales (fissure du plancher océanique d'où s'échappe de l'eau chauffée par la géothermie). On les trouve couramment près des lieux d'activité volcanique, des bassins océaniques et des autres points chauds<sup>78</sup>. Certains procédés, dont des nouvelles technologies membranaires, permettent d'extraire le lithium de l'eau de mer. Cependant, ce type de production demeure relativement marginal. De façon générale, le lithium commercial provient de deux sources : les gisements de saumure souterrains et les gisements de minerai à partir duquel le spodumène est extrait<sup>79</sup>. Les gisements d'importance au niveau mondial contiennent typiquement plus de 10 millions de tonnes de minerai avec une concentration de plus de 1 % de lithium<sup>80</sup>.

Les estimations de la teneur de la croûte terrestre varient entre 20 et 70 ppm en poids. Il constitue une partie mineure des roches ignées, avec les plus grandes concentrations dans les granites. Les pegmatites granitiques fournissent également la plus grande abondance de minéraux contenant du lithium, mais le spodumène et la pétalite sont les sources les plus viables commercialement.

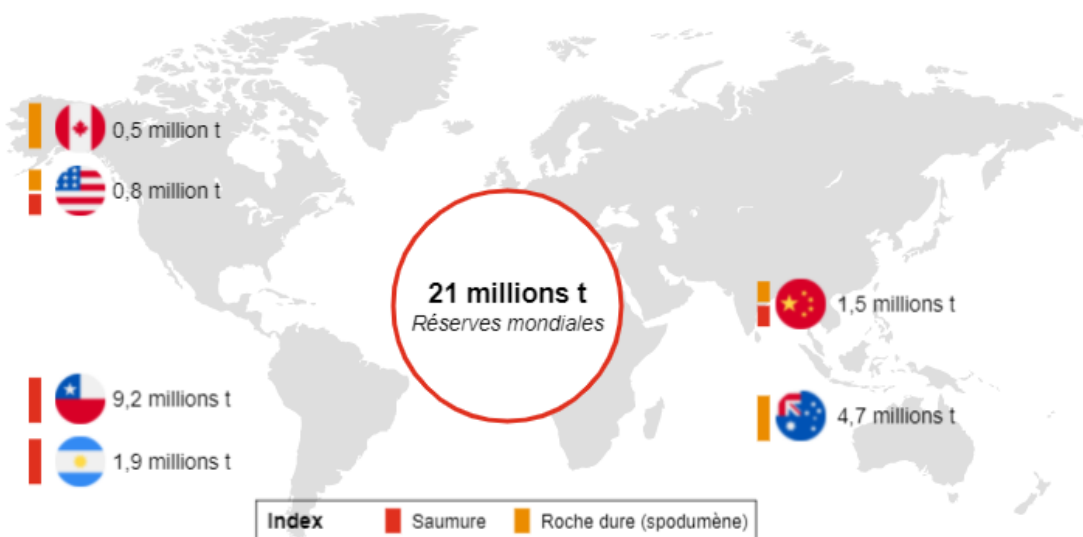
Bien qu'il existe un nombre assez important de gisements de minéraux et de saumure de lithium, seuls quelques-uns d'entre eux ont une valeur commerciale réelle ou potentielle. Beaucoup de ces gisements sont soit trop petits, soit de trop faible teneur.

<sup>78</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien : <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>

<sup>79</sup> Samco, 2018. What is lithium extraction and how does it work? Lien : <https://www.samcotech.com/what-is-lithium-extraction-and-how-does-it-work/>

<sup>80</sup> Analyse PwC

**Figure 56 : Réserves de lithium mondiales (millions de tonnes)**



Sources : The United States Geological Survey (2021), Ressources naturelles Canada (Bulletin d'information sur la production minérale canadienne, mai 2019). Analyse PwC.

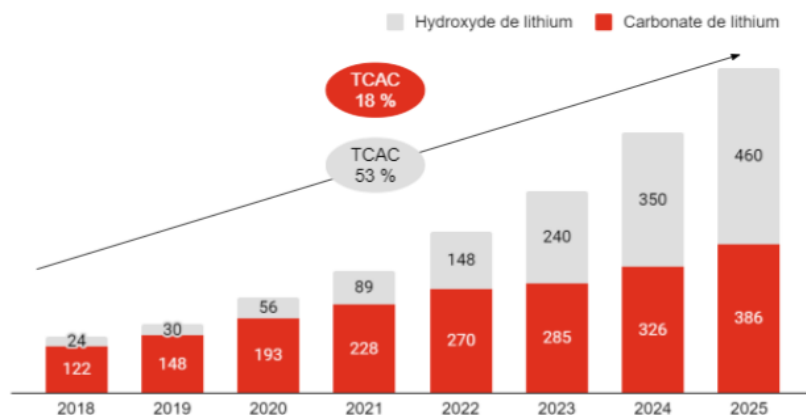
L'Amérique du Sud détient plus de 50 % des réserves mondiales de lithium.

Le Canada se situe au septième rang parmi les pays possédant le plus de lithium au monde. Les réserves de lithium du Canada s'élèvent à 0,5 million de tonnes en 2021 (environ 3,0 % des réserves mondiales). Le pays détient 6,6 % des réserves mondiales de lithium en roche dure (source privilégiée de matériaux de qualité « batterie »). Quant au potentiel des saumures associées aux champs d'hydrocarbures, il est à évaluer, autant au Québec que dans le reste du Canada.<sup>81</sup>

L'exploration des ressources en lithium se poursuit activement au Canada et dans le monde, compte tenu de la forte augmentation prévue de la demande.

## Demande mondiale

**Figure 57 : Demande mondiale de lithium pour batteries par type (kilotonnes, 2018-2025p)**



Sources : Seeking Alpha (2020), Roskill: New Age Metals (2021), Mckinsey : Lithium and Cobalt – A Tale of Two Commodities (2018). Analyse PwC.

<sup>81</sup> Gouvernement du Canada – Bulletin d'information sur la production minérale canadienne, mai 2019.



Une croissance annuelle consécutive de 15 % démontre l'intérêt et l'importance pour le Québec de bien se positionner dans la chaîne de valeur du lithium. En 2018, 64 % du lithium extrait a été utilisé pour les batteries. Ce chiffre devrait atteindre plus de 82 % en 2025. Les producteurs de batteries voudront, lorsque possible, se rapprocher de leur source de matière première, surtout dans l'optique où la réduction des coûts de production est marquée au cours des prochaines années tout en maintenant une bonne proximité des clients finaux.

La Chine représente 50 % à 60 % de la demande de lithium (notamment pour la production de batteries). Au cours des 10 prochaines années, l'Europe et les États-Unis verront leur demande de lithium croître à un TCAC de près de 30 %.<sup>82</sup>

L'hydroxyde de lithium est mieux adapté à la production de batteries que le carbonate de lithium. Le spodumène peut être directement transformé en hydroxyde de lithium. Le spodumène présente des avantages stratégiques sur les marchés du lithium par rapport aux gisements de saumure en raison d'une qualité supérieure, d'une meilleure flexibilité de production et de délais de traitement plus rapides.

La tendance mondiale des producteurs de piles à exiger des quantités plus importantes d'hydroxyde de lithium entraîne un déclin de l'utilisation du carbonate de lithium. Si, en termes réels, l'utilisation du carbonate de lithium peut augmenter, en termes de part de marché pour l'industrie des batteries, elle devrait diminuer.

L'évolution vers l'adoption de l'hydroxyde de lithium dans les batteries place le Canada en bonne position pour répondre à cette demande. Avec 6,6 % des réserves mondiales de roche dure, le Canada peut espérer se positionner de plus en plus comme un fournisseur clé d'hydroxyde de lithium dérivé du spodumène. De plus, de nombreux projets sont en cours pour venir qualifier d'autres réserves de lithium au Québec. Une concurrence importante est attendue de l'Australie, du Brésil et de la Russie.

Sur les marchés, le lithium de grade « batterie » s'est vendu à un prix annuel moyen oscillant entre 8 650 \$ US et 17 000 \$ US la tonne métrique de 2016 à 2019<sup>83</sup>.

### **Chaîne de valeur et cartographie des acteurs**

#### *Étapes 1 et 2 : Prospection, exploration, exploitation, traitement, concentration et première transformation*

L'exploitation du lithium au Québec est une industrie relativement récente. Ainsi, tous les efforts actuels consistent en des projets sans production réelle pour le moment. Cela dit, le Québec présente des avantages considérables pour devenir un important exploitant de lithium, notamment grâce à l'accès à une énergie renouvelable et peu coûteuse, à une main-d'œuvre qualifiée et spécialisée, à des infrastructures de transport ferroviaire et des infrastructures portuaires efficaces et à la proximité des marchés nord-américains.

---

<sup>82</sup> SQM Lithium Market Outlook, 2021. Lien:

<https://investingnews.com/daily/resource-investing/battery-metals-investing/lithium-investing/lithium-market-update/>

<sup>83</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien:

<https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>

**Tableau 24 : Cartographie des acteurs confirmés des étapes 1 à 2 au Québec**

Compagnie	Activités	Taille des réserves
North American Lithium	Mine en maintenance – Abitibi	160 364 tonnes
Galaxy Lithium	Mise en valeur – James Bay	Non disponible
Nemaska Lithium	Mise en valeur – Whabouchi	475 800 tonnes
Sayona Québec	Mise en valeur – Authier et Tansim	121 590 tonnes
Critical Elements Lithium Corp	Mise en valeur – Rose	227 800 tonnes
Lithium Guo Ao Ltée/Neotec Lithium et SOQUEM	Mise en valeur – Moblan	Non disponible

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

### Étape 3 : Utilisation

En 2020, on estime que 72 % de tout le lithium a été utilisé pour produire des batteries, principalement pour les véhicules électriques. En 2025, les batteries devraient représenter plus de 80 % de tout le lithium utilisé. Le lithium est également utilisé en métallurgie, pour produire des graisses lubrifiantes, des céramiques et du verre. Actuellement, les entreprises qui utilisent du lithium non transformé au Québec sont obligées de l'importer, car il n'y a pas d'exploitation actuellement.<sup>84</sup>

**Tableau 25 : Cartographie des acteurs confirmés de l'étape 3 au Québec selon le secteur d'activité visé**

Secteur d'activité visé	Compagnie	Description des applications
Batteries pour véhicules électriques	Johnson Matthey Matériaux pour Batteries	Production de cathode
	Blue Solutions (Bolloré)	Production de cellules de batterie
Alliages et autres	Rio Tinto Aluminium	Alliages d'aluminium
	Mapei	Traitement de surface
Assemblage de blocs batteries et intégration dans le véhicule <sup>85</sup>	Batteries Mustang Technologies	Assemblage de blocs de batteries
	UgoWork	Batteries pour véhicules industriels
	Boivin Evolution	Camions
	BRP	Motoneiges
	Lion Électrique	Autobus
	Concept GEEBEE	Scooters
	Ecotuned	Camions
	Groupe Volvo/ Novabus	Autobus
	Kargo	Véhicules utilitaires
	Letenda	Autobus

<sup>84</sup> SQM Lithium Market Outlook, 2021. Lien:

<https://investingnews.com/daily/resource-investing/battery-metals-investing/lithium-investing/lithium-market-update/>

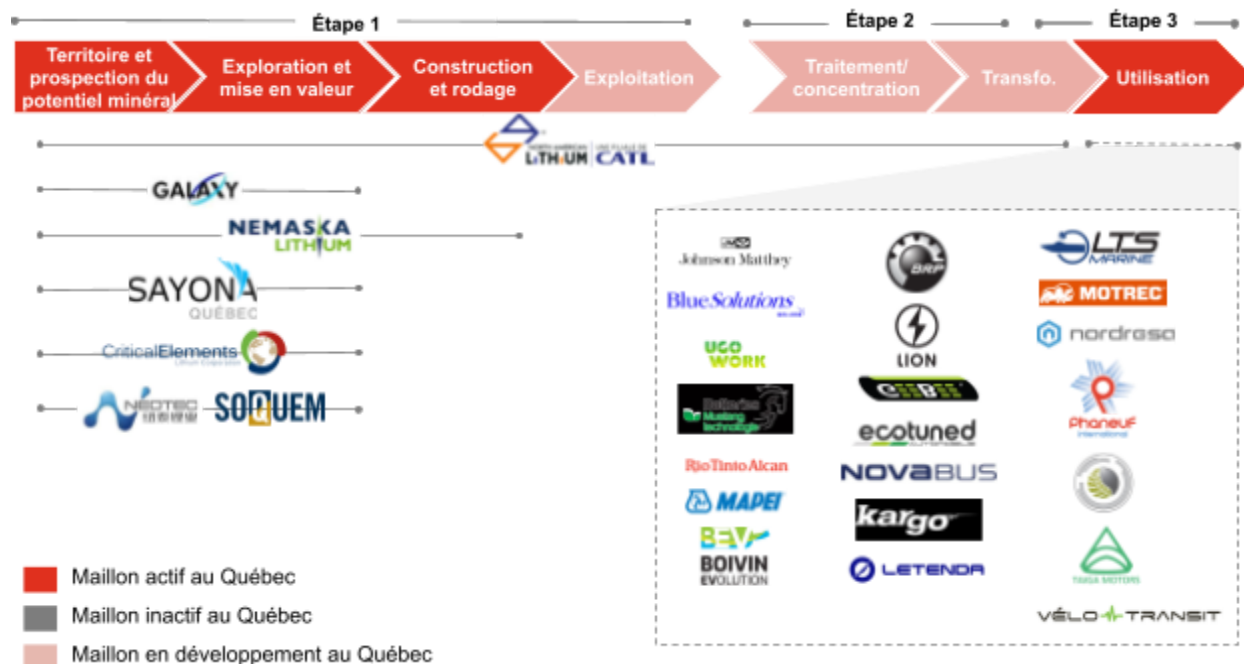
<sup>85</sup> Utilisateurs indirects de lithium par l'achat de bloc ou de cellules de batteries provenant actuellement de l'extérieur du Québec

	LTS Marine	Bateaux
	Motrec	Véhicules utilitaires
	Nordresa	Camions
	Phaneuf international	Surfaceuse
	SORA Electric Superbike	Motocyclettes
	Taiga Motors	Motoneiges
	Vélotransit	Vélo

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises, Propulsion Québec. Analyse PwC.

## Valeur stratégique pour le Québec

Figure 58 : État d'avancement des étapes 1 à 3 de la chaîne de valeur



### Importance du produit final : élevée

Le lithium est un minéral très important pour faciliter l'électrification des transports et la décarbonisation de nos économies. Il est un des minéraux essentiels dans la production de batteries, secteur qui représente d'ailleurs près de 75 % de sa demande à l'échelle mondiale. Aujourd'hui, il est en surcapacité de production à l'échelle mondiale, mais on lui prédit un taux de croissance annuel composé de 15 %, et on prévoit un déficit entre l'offre et la demande d'ici 2023-2024.

### Difficulté de substituabilité du minéral<sup>86</sup> : élevée

Le zinc et le sodium-sulfure sont des sources de minéraux alternatifs qui ont été utilisées, à faible échelle, comme substitut au lithium dans certaines applications de batteries. Cependant, leur application n'est pas répandue et comporte plusieurs risques auxquels les clients actuels des batteries au lithium ne voudront

<sup>86</sup> Power Technology, 2019. Beyond lithium: alternative materials for the battery boom. Lien: <https://www.power-technology.com/features/lithium-battery-alternatives/>.

pas s'exposer. L'hydrogène comme combustible dans le transport devient graduellement une option. Néanmoins, son développement reste au stade embryonnaire dans l'électrification du transport et exige de mettre en place un réseau de production, de transport et de distribution de l'hydrogène qui n'existe pas aujourd'hui.

#### *Risque de la chaîne de valeur : modéré*

Aujourd'hui, il n'y a pas de lithium produit au Québec (une usine, North American Lithium, a déjà produit du concentré (spodumène) qui aurait pu permettre de produire du carbonate de lithium à partir d'installations en développement, mais cette mine et le centre de concentration sont depuis 2018 en restructuration). La consommation actuelle de lithium au Québec pour produire différents produits industriels, tels que des cellules de batterie, se limite principalement aux activités de recherche et développement et à leur transformation par Blue Solution et Johnson Matthey. Le lithium est utilisé dans certains alliages avec d'autres métaux, et importé, mais en petites quantités, pour répondre à ce besoin. Le désir de développer une filière des batteries au Québec devra tenir compte de l'importance de la présence d'acteurs tout au long de la chaîne de valeur du lithium (extraction, concentration, transformation, production de cellules de batterie, assemblage des batteries, recyclage des batteries et de ses composantes en lithium). Donc, le risque lié à la chaîne de valeur se trouve principalement dans l'absence d'un des maillons de cette chaîne faisant en sorte que le maillon suivant ne peut s'approvisionner en produits de qualité à un coût concurrentiel.

#### *Implication dans la chaîne de valeur : élevée*

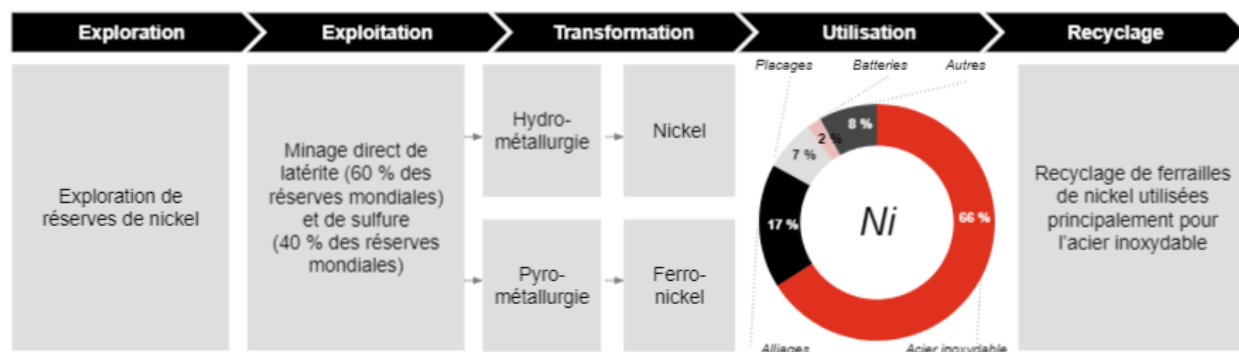
Bien qu'à un stade précoce, les acteurs sont actifs dans la chaîne de valeur principalement au stade de l'exploration, du développement de projets ou de la construction. Les maillons d'exploitation et de transformation ne sont actuellement pas en activité. Cependant, de nombreux projets sont envisagés et pourraient contribuer à faire du Québec un producteur substantiel de lithium en Amérique du Nord.

L'utilisation du lithium réside principalement dans la fabrication de différents alliages avec d'autres métaux bien que certaines compagnies l'utilisent pour la fabrication de composantes de batteries. Compagnie électrique Lion a récemment annoncé l'assemblage de systèmes de batteries pour ses camions à partir de cellules de batterie importées. De son côté, Solution Bleues Canada travaille au développement de batteries pour les véhicules électriques alors qu'Ugework s'investit dans les véhicules industriels. Concernant le recyclage, un projet en développement de Recyclage Lithion explore des technologies de recyclage du lithium.

Enfin, compte tenu de ses ressources, des réserves importantes et de son savoir-faire en extraction et en transformation minières, le Québec est en bonne position pour devenir l'une des premières plaques tournantes dans le secteur du lithium à bénéficier d'une utilisation circulaire complète du minerai.

## Nickel

Figure 59 : Aperçu de la chaîne de valeur du nickel



Source : Technavio, 2020. Analyse PwC.

### Présentation générale

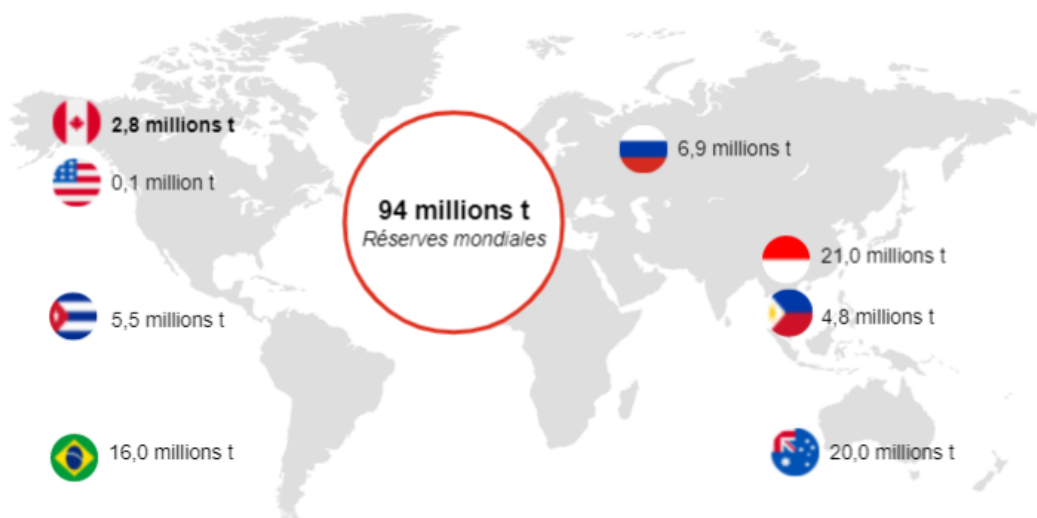
Le nickel est un métal dont l'ouvrabilité et la résistance mécanique à haute température et en milieu corrosif en font un élément d'alliage indispensable à la réalisation d'aciers inoxydables, d'aciers spéciaux, de superalliages, de batteries rechargeables et de galvanoplastie. Parce que ses principaux domaines d'application sont essentiels au développement de l'industrie, le nickel a été reconnu comme un minerai potentiellement critique, malgré ses réserves abondantes. Le nickel est un métal lustré de couleur blanc argenté avec une légère teinte dorée. Le nickel fait partie des métaux de transition et est dur et ductile. Une source économiquement importante de nickel est le minerai de fer limonite, qui contient souvent de 1 % à 2 % de nickel<sup>87</sup>. Les autres minerais importants de nickel sont la pentlandite et un mélange de silicates naturels riches en nickel appelé garniérite.

### Réserves mondiales

La majeure partie du nickel est extraite de deux types de gisements. Le premier est la latérite, où les principaux mélanges de minéraux sont la limonite nickélifère et la garniérite. La deuxième catégorie est celle des gisements de sulfures magmatiques, où le principal minéral est la pentlandite. Les ressources terrestres repérées dans le monde entier qui contiennent en moyenne 1 % de nickel ou plus représentent au moins 130 millions de tonnes de nickel (environ le double des réserves connues). Environ 60 % se trouvent dans des latérites et 40 % dans des gisements de sulfures.

<sup>87</sup> Battery Industry, 2021. Lien: <https://batteryindustry.tech/category/nickel/>

**Figure 60 : Réserves de nickel mondiales (millions de tonnes)**



Source : The United States Geological Survey. Analyse PwC.

L'Indonésie et l'Australie détiennent environ 44 % des réserves mondiales de nickel. Les réserves et la production de l'Indonésie et de l'Australie sont principalement latéritiques, ce qui n'est pas la solution préférable pour les batteries. Le Canada se classe au septième rang en termes de réserves. L'Ontario et le Québec contrôlent environ les trois quarts des réserves de nickel du pays. Les plus grands gisements mondiaux de sulfure de nickel se trouvent au Canada (Sudbury, en Ontario, Thompson, au Manitoba ainsi qu'au Québec). Le sulfate de nickel semble être privilégié pour la production de batteries.

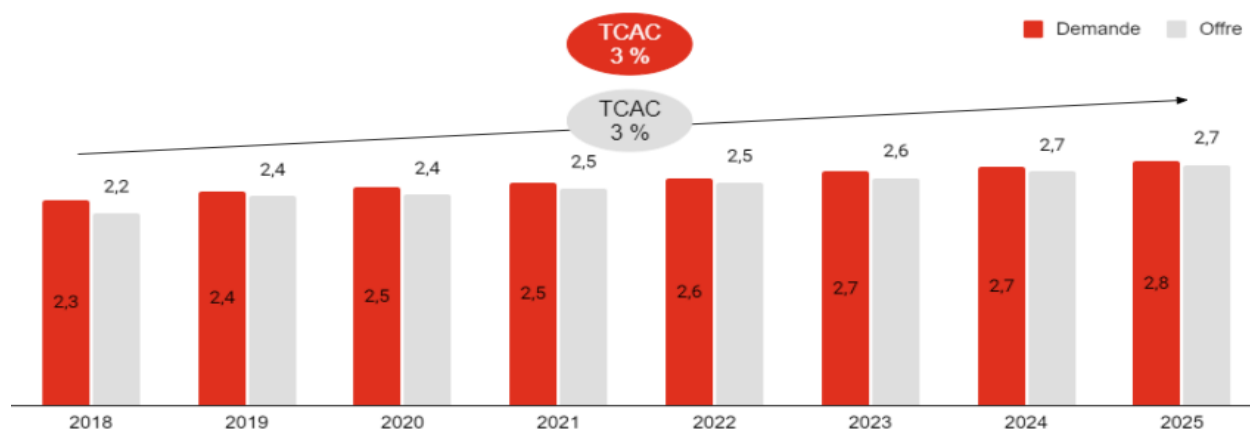
### **Demande mondiale**

La consommation de nickel s'accélère en raison de la hausse de la production d'acier inoxydable. La Chine, qui représente plus de 50 % de la consommation mondiale de nickel, devrait continuer à stimuler la demande de nickel en raison de l'augmentation de la production d'acier inoxydable et de la fabrication croissante de batteries. Toutefois, le taux de croissance prévu reste relativement faible, reflétant le ralentissement de la croissance des PIB chinois et mondial dans le contexte de la pandémie (la consommation devrait augmenter de 2,3 % par an entre 2020 et 2025).

Parallèlement à la croissance de la demande, le prix du nickel est passé de 9 594 \$ US la tonne métrique en 2016 à 13 903 \$ US en 2019<sup>88</sup>.

<sup>88</sup> London Metal Exchange, USGS 2021.

**Figure 61 : Demande et offre mondiales de nickel (millions de tonnes, 2018-2025)**



Source : Australia Department of Industry, Science, Energy and Resources (Rapport trimestriel mars 2020 et décembre 2019). Analyse PwC.

L'utilisation croissante du nickel dans les batteries devrait jouer un rôle important dans l'augmentation de la demande, tandis que la chimie des batteries, les coûts qui y sont associés et les politiques gouvernementales favorables aux véhicules électriques façonneront également la courbe de la demande pour la période de 2020 à 2025. Cependant, les batteries ne représentent que 2 % de l'utilisation du nickel aujourd'hui et requièrent une pureté du nickel de classe 1 (c'est-à-dire haute pureté). La production annuelle de VE devant atteindre 31 millions de véhicules d'ici 2025, la demande de nickel de classe 1 pourrait augmenter considérablement et passer de 33 kilotonnes en 2017 à 570 kilotonnes en 2025.<sup>89</sup>

L'utilisation du nickel dans la production de batterie lithium-ion pour véhicule a considérablement augmenté au fil des ans. Alors qu'une cathode standard utilisée dans la production de batteries lithium-ion était autrefois composée d'une quantité égale de nickel, de cobalt et de manganèse, la quantité de nickel est aujourd'hui huit fois supérieure à celle des deux autres minéraux<sup>90</sup>. Ainsi, l'approvisionnement en nickel devient un défi pour le marché des véhicules électriques.

### Chaîne de valeur et cartographie des acteurs

*Étapes 1 et 2 : Prospection, exploration, exploitation, traitement, concentration et première transformation*  
Le Québec compte deux mines actives qui produisent actuellement du nickel : le site Raglan de Glencore Canada Corporation et le site Nunavik de Canadian Royalties. Plusieurs projets relatifs au nickel sont en cours de développement dans la province. Le Québec produit environ 54 000 tonnes de nickel par an, pour une part du marché mondial d'environ 2 %<sup>91</sup>.

Le concentré de nickel produit au Québec est transporté vers Sudbury pour un traitement pyrométallurgique. Par la suite, le concentré est transporté au port de Québec (sous forme de matte) et expédié vers la Norvège.

<sup>89</sup> <https://seekingalpha.com/article/4246690-top-5-nickel-producers-and-smaller-producers-to-consider>.

<sup>90</sup> The Wall Street Journal, 2020, Nickel for Electric Vehicles Is a Dime a Dozen. Lien : <https://www.wsj.com/articles/nickel-for-electric-vehicles-is-a-dime-a-dozen-11603707182>

<sup>91</sup> Statistiques annuelles de la production minérale, gouvernement du Canada, 2019.

**Tableau 26 : Cartographie des acteurs confirmés des étapes 1 à 2 au Québec**

Compagnie	Activités	Taille des réserves
Canadian Royalties	Mine – Nunavik	Non disponible, en opération
Glencore Canada Corp	Mine – Raglan	277 070 tonnes
Magneto Investments	Mise en valeur – Dumont Nickel	2 775 000 tonnes <sup>92</sup>
Nickel North Exploration	Gîtes – Hawk Ridge	Non disponible
Victory Nickel	Gîtes – lac Rocher	Non disponible
Critical Elements Corp	Gîtes – Nisk	Non disponible
Wallbridge Mining Company	Gîtes – Grasset	Non disponible
Jien Nunavik Exploration Ltd	Gîtes – Bravo	Non disponible

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

### Étape 3 : Utilisation

La production mondiale de nickel est actuellement utilisée comme suit : 66 % dans l'acier inoxydable; 17 % dans les alliages; 7 % dans les plaquages; 2 % dans les batteries; 8 % dans d'autres utilisations. Plusieurs entreprises au Québec utilisent et transforment du nickel.<sup>93</sup>

**Tableau 27 : Cartographie des acteurs confirmés de l'étape 3 au Québec selon le secteur d'activité visé**

Secteur d'activité visé	Compagnie	Description des applications
Alliages spéciaux	5N Plus	Divers
	Rio Tinto Fer et Titane	Alliages
	AP&C Revêtements & Poudres Avancées	Poudre de métal
	Tekna	Poudre de métal
Batteries	Blue Solutions (Bolloré)	Production de cellules de batteries
Placage	Service Chrome et Zinc	Galvanoplastie et placage de pièces

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

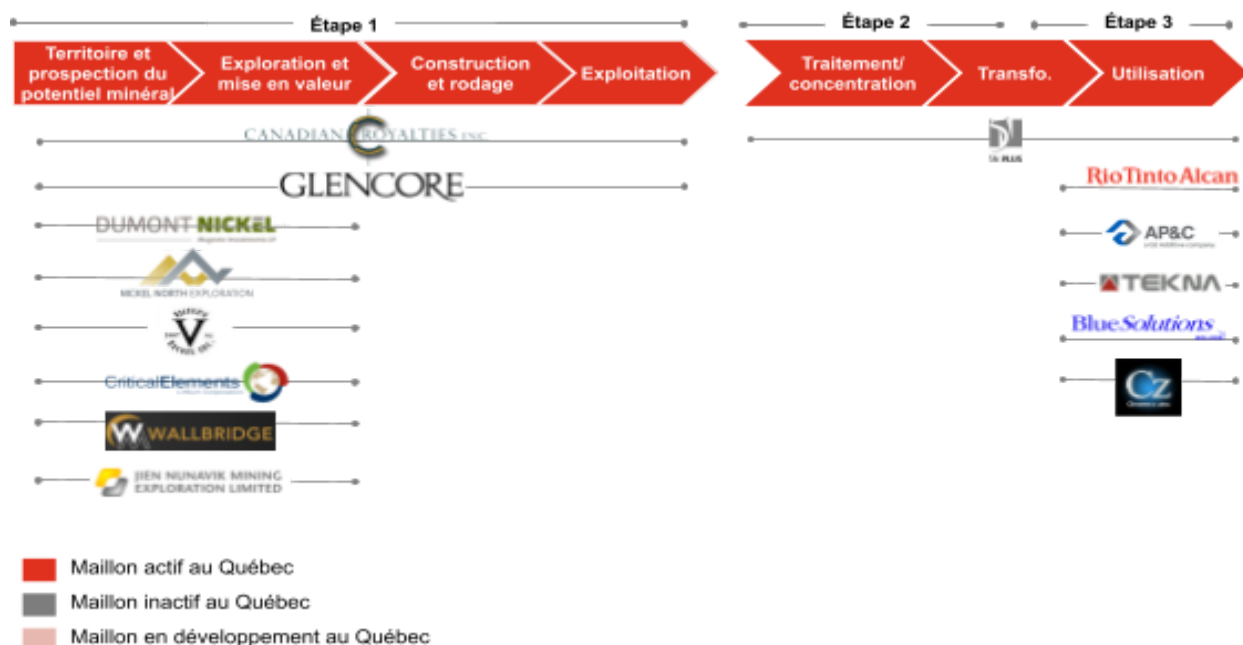
<sup>92</sup> <https://dumontnickel.com/fr/projet-dumont/>, 1 028 millions de tonnes en réserves prouvées et probables à 0,27 % nickel

<sup>93</sup> Technavio.



## Valeur stratégique pour le Québec

Figure 62 : État d'avancement des étapes 1 à 3 de la chaîne de valeur



### Importance du produit final : élevée

En raison de ses propriétés anticorrosives, l'acier inoxydable est utilisé dans diverses applications. Le nickel est également de plus en plus consommé pour les batteries utilisées dans les véhicules électriques. Les nombreuses applications pour le nickel ainsi que la forte demande qui y est associée font du nickel un minerai prometteur pour l'avenir de l'économie québécoise, notamment en raison des ressources de nickel du sol québécois. Cependant, à l'heure actuelle le nickel produit au Québec est majoritairement transformé en Ontario (Sudbury).

### Difficulté de substituabilité du minerai : modérée

Les aciers inoxydables à faible teneur en nickel, duplex ou à très haute teneur en chrome ont été substitués aux qualités austénitiques dans la construction. Les aciers spéciaux sans nickel sont parfois utilisés à la place de l'acier inoxydable dans les industries de la production d'énergie et de la pétrochimie. Les alliages de titane peuvent remplacer le nickel métallique ou les alliages à base de nickel dans les environnements chimiques corrosifs. Les batteries lithium-ion peuvent être utilisées à la place des batteries nickel-métal-hydrure dans certaines applications.<sup>94</sup>

### Risque de la chaîne de valeur : élevé

Les nouvelles technologies de batteries pourraient avoir un impact sur la demande de nickel. Cela dit, en tant que composant essentiel, il est peu probable que les batteries fonctionnent sans lui. Les grands volumes produits dans d'autres pays (comme l'Indonésie) pourraient exercer une pression sur les prix et avoir une incidence sur la viabilité économique des mines de la province.

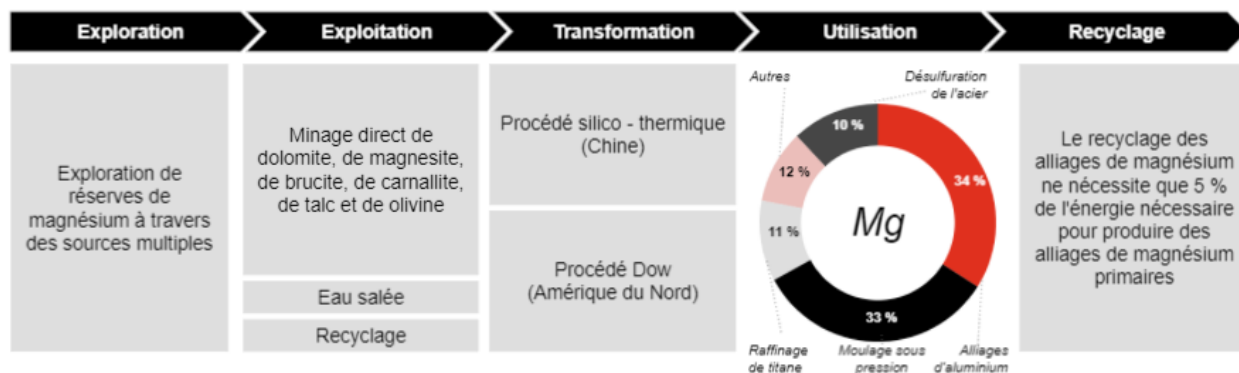
### Implication dans la chaîne de valeur : élevée

D'après les discussions avec les acteurs locaux, le Québec détient d'importantes réserves de nickel de classe 1 pour des utilisations liées aux batteries, ce qui donne à la province la possibilité de s'emparer de plus de ces 2 % de la consommation mondiale de nickel, ce qui représente une quantité considérable.

<sup>94</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>

## Magnésium

Figure 63 : Aperçu de la chaîne de valeur du magnésium



Source : Technavio, 2020. Analyse PwC.

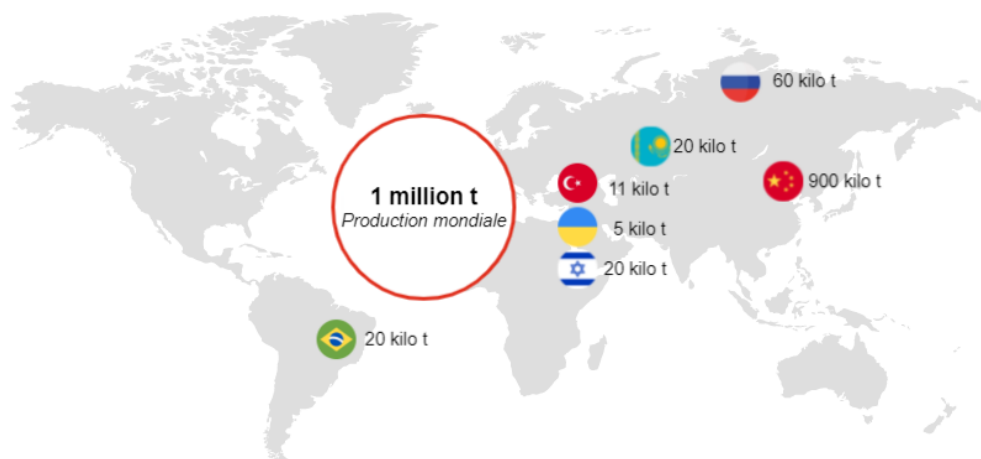
### Présentation générale

Le magnésium est un métal léger de couleur gris-blanc, dont la densité est le deux tiers de celle de l'aluminium. Avec l'utilisation croissante de technologies à faible émission de GES, notamment pour lutter contre le changement climatique et assurer la transition vers les énergies renouvelables, le magnésium est à la fois stratégique et critique. Le magnésium est le troisième métal structurel le plus couramment utilisé, après le fer et l'aluminium. Les principales applications du magnésium sont les alliages d'aluminium, le moulage sous pression, l'élimination du soufre dans la production de fer et d'acier et la production de titane dans le procédé Kroll. Le magnésium est utilisé dans des matériaux et des alliages super-résistants et légers. La consommation de magnésium dans l'Union européenne et en Amérique du Nord dépend presque entièrement des importations en provenance de Chine.

### Réserves mondiales

Les ressources à partir desquelles le magnésium peut être récupéré vont d'importantes à pratiquement illimitées et sont répandues dans le monde entier. Les ressources en dolomite, en serpentine et en minéraux évaporitiques contenant du magnésium sont énormes. On estime que les saumures contenant du magnésium constituent une ressource de plusieurs milliards de tonnes, et le magnésium pourrait être récupéré, dans le monde, de l'eau de mer le long des côtes.<sup>95</sup>

Figure 64 : Production de magnésium mondiale annuelle (millions de tonnes)



Source : The United States Geological Survey, 2021. Analyse PwC.

<sup>95</sup> Railsback.org, Abondance et forme des éléments les plus abondants dans la croûte continentale de la Terre, Lien : <http://railsback.org/Fundamentals/ElementalAbundanceTableP.pdf>.

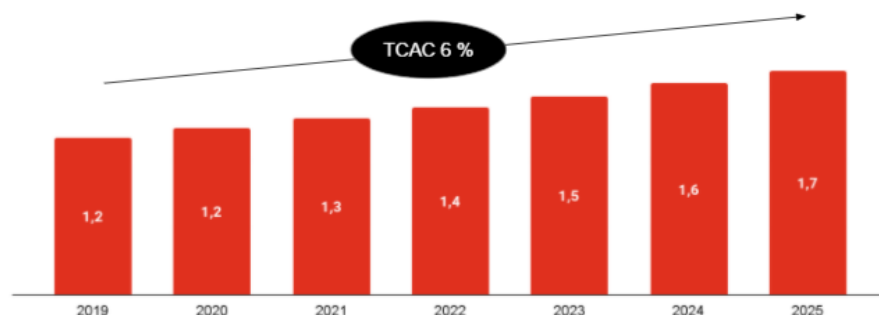
La Chine est responsable de 90 % de la production annuelle mondiale. La production canadienne a atteint un sommet au début des années 2000. Depuis, la production a diminué de façon constante jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de production de magnésium primaire. Cette diminution s'explique par plusieurs facteurs, notamment par la croissance de la production chinoise à faible coût au début des années 2000, qui a provoqué des baisses importantes dans les prix, et par l'arrivée de nouvelles technologies qui auraient nécessité d'importants investissements de modernisation pour les acteurs établis<sup>96</sup>.

### Demande mondiale

L'utilisation mondiale du magnésium et de ses alliages a considérablement augmenté au cours des dernières années. La demande mondiale dans tous les secteurs utilisant du magnésium devrait augmenter d'environ 6 % par an au cours de la prochaine décennie. Il existe une demande croissante pour ce minerai, en particulier dans les industries de l'automobile et de l'aérospatiale, car il peut être utilisé pour produire des véhicules plus légers, ce qui rend ce minerai critique pour l'électrification des transports.

Sur le marché américain, le magnésium s'est vendu à un prix annuel moyen oscillant entre 2,15 \$ US et 2,45 \$ US la livre au cours de la période allant de 2016 à 2019<sup>97</sup>.

**Figure 65 : Demande mondiale de magnésium (millions de tonnes, 2019-2025p)**



Source : Technavio, 2020. Analyse PwC.

### Chaîne de valeur et cartographie des acteurs

#### *Étapes 1 et 2 : Prospection, exploration, exploitation, traitement, concentration et première transformation*

En raison de l'exploitation minière d'amiante qui s'est échelonné par le passé, les régions de Thetford Mines et de Val-des-Sources (anciennement Asbestos) renferment une quantité de résidus miniers estimée à plus de 800 millions de tonnes, dont 25 % à teneur de magnésium métallique<sup>98</sup>. Ainsi, plusieurs entreprises ont développé, où travaillent actuellement à développer, de nouveaux procédés technologiques pour récupérer le magnésium de ces résidus. La province a la capacité unique de devenir la seule source de magnésium issue de la valorisation de résidus miniers. Actuellement, le seul magnésium produit sur le territoire québécois est celui de l'usine pilote d'Alliance Magnésium qui est produit à partir des résidus miniers mentionnés plus haut.

<sup>96</sup> Le Devoir, 2003. Chute des prix du magnésium – Noranda ferme Magnolia.

<sup>97</sup> US spot Western, USGS 2021.

<sup>98</sup> CJan media, 2019. Les résidus miniers représentent un potentiel économique important pour Asbestos et Thetford Mines. <https://cjan.media/les-residus-miniers-representent-un-potentiel-economique-important-pour-asbestos-et-thetford-mines/>

**Tableau 28 : Cartographie des acteurs confirmés des étapes 1 à 2 au Québec**

Compagnie	Activités	Taille des réserves
Magnesium Technologies Recycles (MTR)	Production	Non disponible, recyclage
Alliance Magnésium	Projet de transformation	25 000 000 de tonnes de Mg
ECO2 Magnesia	Projet de transformation (oxyde de magnésium)	20 000 000 de tonnes de Mg
Mag One Products Inc.	Production et transformation	11,6 millions de tonnes de Mg et 22,6 millions de tonnes de MgO

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

### Étape 3 : Utilisation

Le magnésium est à la fois stratégique au Canada et au Québec. Le magnésium est un élément essentiel pour le marché de l'aluminium en raison de son rôle dans les alliages. Le secteur de l'aluminium est le plus grand consommateur de magnésium au Canada. Les secteurs du fer et de l'acier doivent également être considérés, car ils ont besoin de magnésium pour la désulfuration. La fiabilité de la chaîne d'approvisionnement du Canada est un élément crucial.

La production mondiale annuelle de magnésium est actuellement utilisée comme suit : 34 % pour l'alliage d'aluminium, 33 % pour le moulage sous pression, 11 % pour le raffinage de titane, 10 % pour la désulfuration de l'acier et le reste dans diverses applications<sup>99</sup>.

**Tableau 29 : Cartographie des acteurs confirmés de l'étape 3 au Québec selon le secteur d'activité visé**

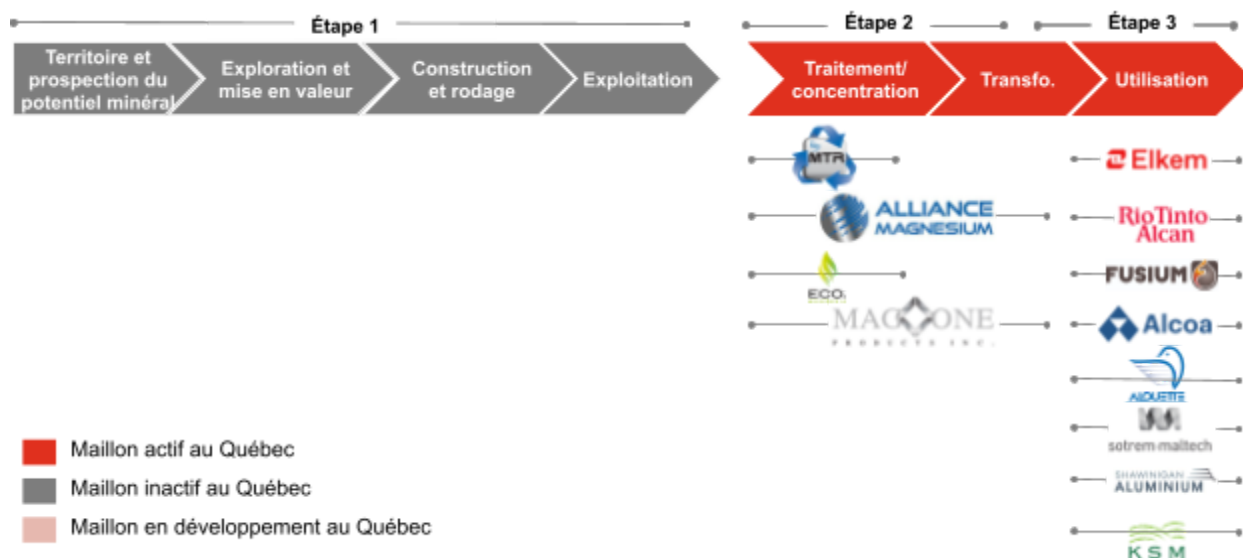
Secteur d'activité visé	Compagnie	Description des applications
Alliages spéciaux	Elkem Chicoutimi	Alliages magnésium-ferrosilicium
	Rio Tinto Aluminium	Alliage aluminium-magnésium
	Fonderie Fusium	Pièces coulées avec alliages contenant du magnésium
	Fondrémy	Équipements industriels
	Fonderie générale du Canada (Glencore)	Diverses applications
	Fonderie Horne (Glencore)	
	Alcoa	Alliages aluminium-magnésium-silicium (construction navale, transport, emballage, applications de structures)
	Alouette	
	Sotrem-Maltech	
	Shawinigan Aluminium	
Fertilisant	KSM	Fertilisants à base de sulphate de potassium et de magnésium

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

<sup>99</sup> Technavio, 2020.

## Valeur stratégique pour le Québec

Figure 66 : État d'avancement des étapes 1 à 3 de la chaîne de valeur



## Valeur stratégique pour le Québec

### Importance du produit final : élevée

Les nombreuses propriétés du magnésium en font un métal de choix dans de nombreuses industries. Les progrès technologiques et les innovations conduisent au développement de nombreuses nouvelles utilisations. Ses principales utilisations actuelles se trouvent dans les secteurs du transport et de l'aluminium. L'utilisation mondiale du magnésium et de ses alliages a augmenté considérablement au cours des dernières années. La demande mondiale dans tous les secteurs utilisant du magnésium devrait augmenter d'environ 6 % par an au cours des prochaines années.

### Difficulté de substituabilité du minerai : modérée

L'aluminium et le zinc peuvent remplacer le magnésium dans les pièces moulées et les produits ouvragés. Le poids relativement léger du magnésium est un avantage par rapport à l'aluminium et au zinc dans les pièces moulées et les produits corroyés dans la plupart des applications ; cependant, son coût élevé est un inconvénient par rapport à ces substituts. Pour la désulfuration du fer et de l'acier, le carbure de calcium peut être utilisé à la place du magnésium. Le magnésium est préféré au carbure de calcium pour la désulfuration du fer et de l'acier car le carbure de calcium produit de l'acétylène en présence d'eau.<sup>100</sup>

### Risque de la chaîne de valeur : élevé

Le plus grand risque reste la Chine, qui détient 90 % de la part de marché en termes de production annuelle de magnésium. Cela lui donne la possibilité de faire pression sur les prix du marché. Ce risque peut toutefois être atténué par l'approvisionnement en magnésium propre, dont l'extraction se fait à partir de résidus miniers amiantés et dont le cadre réglementaire est en cours de réalisation au Québec. Ce type de magnésium pourrait être vendu aux entreprises qui cherchent à réduire leur empreinte carbone.

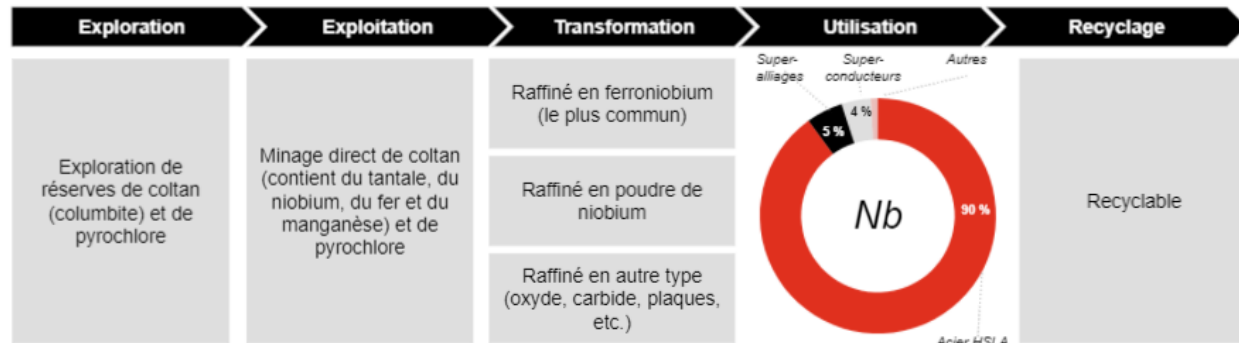
<sup>100</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>

*Implication dans la chaîne de valeur : élevée*

Les acteurs québécois seront en mesure de s'approvisionner en magnésium à partir d'une transformation des résidus miniers amiantés de la région de Val-des-Sources et de Thetford Mines. Comme mentionné plus tôt, des décennies d'exploitation de l'amiante chrysotile au Québec ont généré des millions de tonnes de résidus de serpentine. Ces résidus ont une teneur moyenne d'oxyde de magnésium de 40 %, équivalent à environ 25 % de magnésium métallique. De plus, ces résidus sont déjà déjà broyés et prêts à être traités. Le Québec a le potentiel de s'approprier 10 % de la part de marché au cours des prochaines années. Grâce à son processus de production et son accès à l'hydroélectricité, le Québec, notamment les régions de Val-des-Sources et de Thetford Mines, représente un potentiel intéressant dans la production de magnésium propre.

## Niobium

Figure 67 : Aperçu de la chaîne de valeur de niobium



Source : Technavio, 2020. Analyse PwC.

### Présentation générale

Le niobium, également connu sous le nom de columbium, est un métal de transition gris clair, cristallin et ductile. Le niobium est utilisé dans des alliages, notamment l'acier inoxydable afin d'améliorer la résistance des alliages à basse température. Il est utilisé pour produire des aciers faiblement alliés à haute résistance (HSLA). Les avantages du micro-alliage de l'acier avec du niobium sont considérables et permettent de réduire le coût des matériaux et d'améliorer les performances. Ces aciers sont utilisés dans un large éventail d'applications industrielles, d'infrastructures et de haute technologie (ex. : les moteurs à réaction et les fusées). Cet élément possède également des propriétés supraconductrices, ce qui lui permet d'être utilisé dans les aimants supraconducteurs pour les accélérateurs de particules, l'imagerie par résonance magnétique (IRM) et les équipements à résonance magnétique nucléaire (RMN). Des composés d'oxyde de niobium sont ajoutés au verre pour augmenter l'indice de réfraction, ce qui permet de fabriquer des verres correcteurs avec des lentilles plus fines.<sup>101</sup> Le niobium est principalement exploité au Brésil et au Canada.

### Réserves mondiales

On estime que le niobium est le 34<sup>e</sup> élément le plus courant dans la croûte terrestre. L'élément libre ne se trouve pas dans la nature, mais le niobium est présent en combinaison avec d'autres éléments dans les minéraux<sup>102</sup>. Les minéraux qui contiennent du niobium contiennent souvent aussi du tantale. La columbite et la columbite-tantalite en sont des exemples. Les réserves mondiales de niobium sont plus que suffisantes pour répondre aux besoins prévus. La plupart des ressources mondiales identifiées de niobium se trouvent sous forme de pyrochlore dans des gisements de carbonatite.

<sup>101</sup> Omar et Veiga, 2021. Is niobium critical for Canada? Lien: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214790X21000435>

<sup>102</sup> John Emsley, 2011., Niobium, Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements.

**Figure 68 : Réserves de niobium mondiales (millions de tonnes)**



Source : The United States Geological Survey, 2021. Analyse PwC.

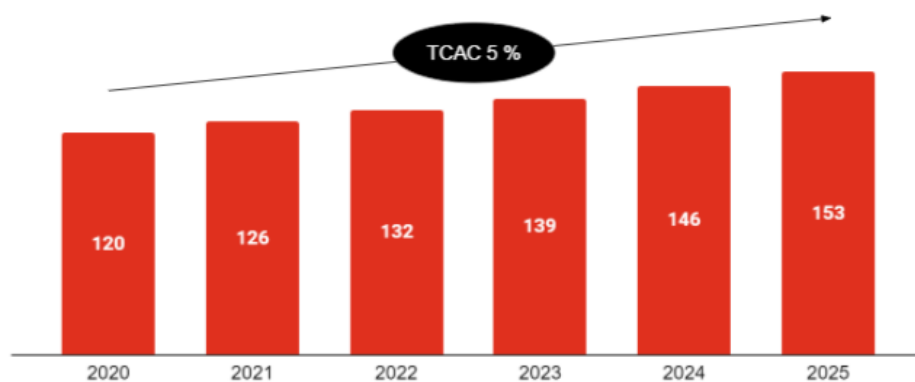
Seuls deux pays produisent actuellement du niobium. Le Brésil est à l'origine de près de 85 % de la production mondiale totale. Le Canada, plus précisément le Québec, est responsable de près de 15 %.

#### **Demande mondiale**

Le niobium est principalement consommé pour produire l'acier HSLA, un alliage léger utilisé dans la construction et la haute technologie. La région de l'Asie-Pacifique en est le plus grand consommateur (environ 50 % du niobium mondial) alors que l'Amérique (seconde région qui consomme le plus de niobium) consomme environ 28 % du niobium mondial.

Les trois acteurs responsables de la production mondiale, présentés dans la figure 68, contrôlent l'offre et ont une certaine influence sur les prix, en adaptant la production aux niveaux actuels de la capacité, de l'offre à la demande. Le prix du ferroniobium s'est avéré stable au cours des dernières années, avec un prix annuel moyen oscillant entre 20 \$ US et 23 \$ US le kilo de 2016 à 2019<sup>103</sup>.

**Figure 69 : Demande mondiale de niobium (kilotonnes, 2020-2025p)**



Source : Mordor Intelligence, 2020. Analyse PwC.

<sup>103</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>



## Chaîne de valeur et cartographie des acteurs

### Étapes 1 et 2 : Prospection, exploration, exploitation, traitement, concentration et première transformation

Une seule mine est exploitée au Québec, Niobec (Magris Resources). Elle est l'une des trois principales mines qui produisent du niobium dans le monde, dont deux sont situées au Brésil<sup>104</sup>. La part de marché mondial de Niobec est de 10 % à 15 % du marché. Elle a d'importantes réserves, mais l'augmentation des capacités n'est pas réaliste compte tenu du surplus des capacités au Brésil et du contexte concurrentiel du marché. Niobec vend seulement un petit pourcentage de sa production au Québec (le pourcentage exact n'a pas été divulgué aux fins de confidentialité).

**Tableau 30 : Cartographie des acteurs confirmés des étapes 1 à 2 au Québec**

Compagnie	Activités	Taille des réserves
Niobec (Magris Resources)	Mine Saint-Honoré	1 600 000 tonnes
Niobay	Gîtes – Crevier	Non disponible
Imperial Mining Group Ltd	Gîtes – Crater Lake	Non disponible

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

### Étape 3 : Utilisation

Le niobium est principalement consommé par la Chine dans le domaine de la construction. La production mondiale de niobium est actuellement utilisée comme suit : 90 % pour l'acier HSLA (« high strength low alloy »), 5 % pour les super-alliages, 4 % pour les supraconducteurs, et le reste dans des applications diverses.<sup>105</sup> Le potentiel d'utilisation au Québec est lié principalement aux capacités de production d'acier, qui demeurent limitées. La grande majorité du niobium est exportée, mais une petite quantité est utilisée pour des alliages spécialisés au Québec.

**Tableau 31 : Cartographie des acteurs confirmés de l'étape 3 au Québec selon le secteur d'activité visé**

Secteur d'activité visé	Compagnie	Description des applications
Alliages spéciaux	5N Plus	Acier inoxydable, Aciers à outils
	Gestion Castech	Métaux ferreux
	Global Metal	Convertisseur de ferraille
Placage	AP&C Revêtement	Matériaux d'ingénierie

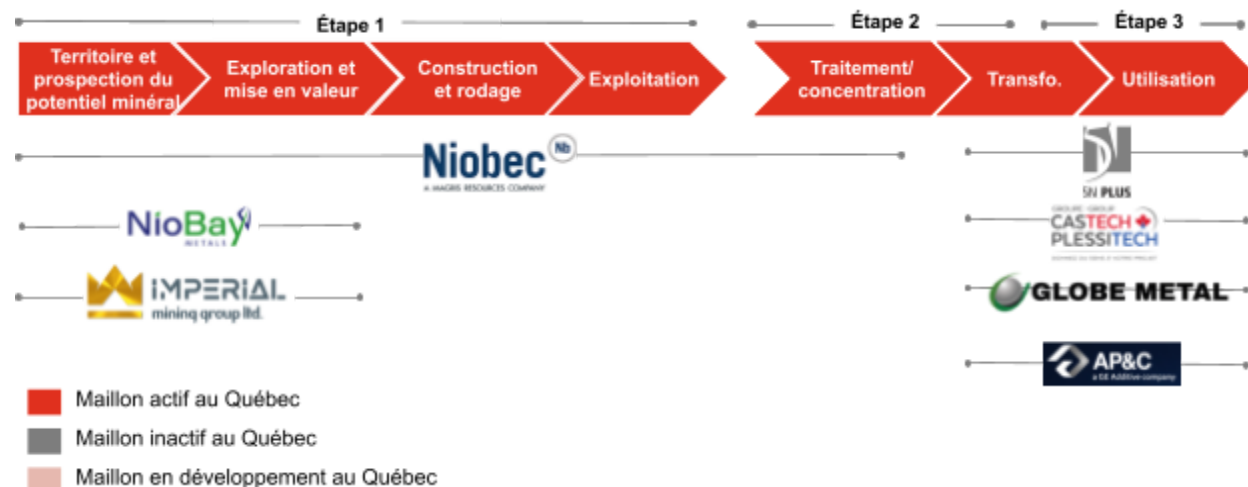
Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

<sup>104</sup> La production aux États-Unis est relativement marginale par rapport à la production mondiale.

<sup>105</sup> Technavio, 2020.

## Valeur stratégique pour le Québec

Figure 70 : État d'avancement des étapes 1 à 3 de la chaîne de valeur



## Valeur stratégique pour le Québec

### Importance du produit final : modérée

Le niobium est principalement utilisé pour renforcer l'acier (acier faiblement allié à haute résistance). L'augmentation de la production automobile mondiale est un facteur majeur de croissance du marché de l'acier à haute résistance dans le monde. L'utilisation d'aciers à haute résistance dans la fabrication de panneaux de carrosserie automobile augmente leur rendement énergétique en réduisant leur poids d'environ 60 %. L'acier à haute résistance est également utilisé dans la construction, l'aérospatiale et d'autres secteurs du transport. La région APAC est toutefois le plus grand consommateur et producteur d'acier HSLA, la plupart des fabricants étant situés en Asie.

### Difficulté de substituabilité du minerai : modérée

Les matériaux suivants peuvent remplacer le niobium, mais cela peut entraîner une perte de performance ou un coût plus élevé : 1) les composites à matrice céramique, le molybdène, le tantale et le tungstène dans les applications à haute température (superalliage); 2) le molybdène, le tantale et le titane (largement produits au Québec) comme éléments d'alliage dans les aciers inoxydables et à haute résistance; 3) le molybdène et le vanadium comme éléments d'alliage dans les aciers faiblement alliés à haute résistance.<sup>106</sup>

### Risque de la chaîne de valeur : modéré

Seuls trois acteurs contrôlent actuellement l'offre mondiale de niobium, dont l'un (Niobec) se trouve au Québec. Leurs capacités totales dépassent la demande mondiale. Les acteurs plafonnent donc intentionnellement leur production. Si d'autres acteurs entrent sur le marché (ce qui est probable étant donné les projets en cours de développement dans la seule province de Québec), celui-ci pourrait devenir surapprovisionné, ce qui ferait baisser le prix du minerai. Cela pourrait avoir un impact sur la rentabilité des acteurs du niobium, surtout pour ceux qui exploitent de plus petits volumes dans des régions du monde où les coûts de production sont plus élevés, ce qui est le cas du Québec. Le risque pour la production manufacturière est modéré, car la majorité du niobium est exportée à l'étranger.

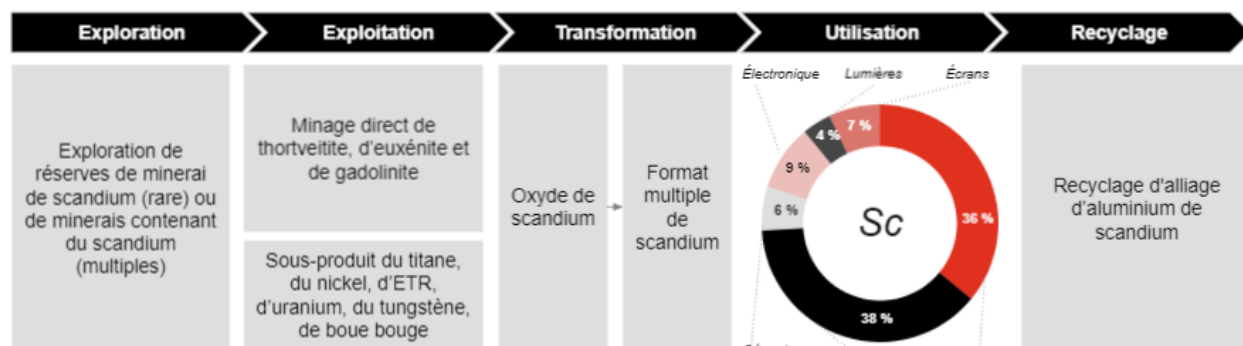
### Implication dans la chaîne de valeur : modérée

<sup>106</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>

Bien que le Québec soit l'un des seuls producteurs de niobium avec une part du marché mondial d'environ 12 %, peu de fabricants québécois l'utilisent pour produire de l'acier HSLA au Québec. Pour développer une chaîne de valeur solide, il faut accroître l'activité au niveau de la fabrication locale. Mis à part une production marginale aux États-Unis, le Québec est une des seules régions politiquement stables capable de produire du niobium, ce qui le positionne favorablement à l'échelle mondiale.

## Scandium

Figure 71 : Aperçu de la chaîne de valeur de scandium



Source : Mordor Intelligence, 2020. Analyse PwC.

\* Pile à combustible à oxyde solide.

### Présentation générale

Le scandium est un métal argenté, mou, dont la densité est environ trois fois supérieure à celle de l'eau. Le scandium est un métal de transition et est également considéré comme un élément des terres rares en raison de ses propriétés chimiques similaires. Le scandium est utilisé dans les alliages d'aluminium-scandium pour les composants de l'industrie aéronautique et pour les équipements sportifs tels que les cadres de vélo, les cannes à pêche, les bâtons de golf et de baseball.<sup>107</sup>

### Réserves mondiales

Les ressources en scandium sont abondantes. L'abondance du scandium dans la croûte terrestre est supérieure à celle du plomb. Le scandium n'a pas d'affinité pour les anions communs de formation de minerais. Par conséquent, il est largement dispersé dans la lithosphère et forme des solutions solides avec de faibles concentrations dans plus de 100 minéraux. Des ressources en scandium ont été repérées en Australie, au Canada, en Chine, en Finlande, en Guinée, au Kazakhstan, à Madagascar, en Norvège, en Afrique du Sud, aux Philippines, en Russie, en Ukraine et aux États-Unis.

En raison de sa faible concentration, le scandium est produit exclusivement comme sous-produit lors du traitement de divers minerais ou récupéré à partir de résidus ou de résidus déjà traités. Historiquement, le scandium était produit comme sous-produit en Chine (minerais de fer, éléments de terres rares, titane et zirconium), au Kazakhstan (uranium), aux Philippines (nickel), en Russie (apatite et uranium) et en Ukraine (uranium).

### Demande mondiale

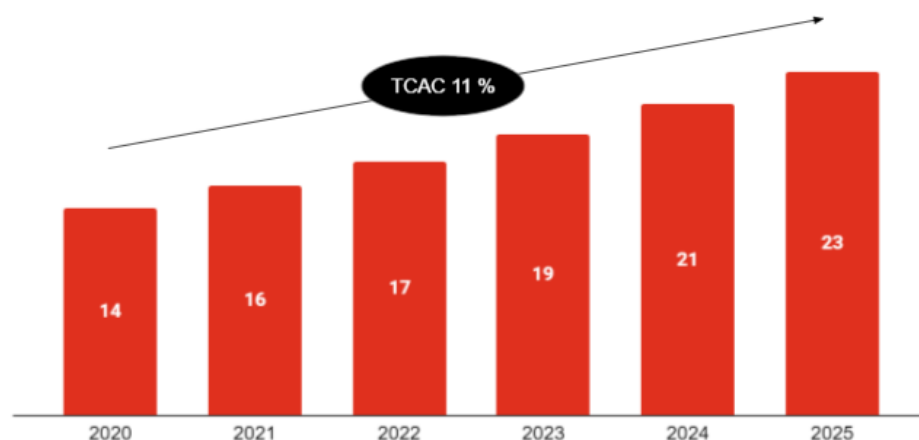
En 2019, l'offre et la consommation mondiale d'oxyde de scandium ont été estimées à environ 15 à 20 tonnes par an. Le scandium a été récupéré dans les flux de traitement du titane, du zirconium, du cobalt et du nickel. La Chine, les Philippines et la Russie en étaient les principaux producteurs. Rio Tinto Fer et Titane vient de développer un procédé d'extraction du scandium dans son traitement du titane. Les principaux facteurs de croissance du marché étudié sont l'accélération de l'utilisation des piles à combustible à oxyde solide (SOFC) et la demande croissante d'alliages d'aluminium-scandium.

De 2016 à 2019, l'oxyde de scandium se vendait à un prix annuel moyen oscillant entre 3,90 \$ US et 4,60 \$ US par gramme<sup>108</sup>.

<sup>107</sup> LiveScience, 2011. Faits concernant le scandium. Lien: <https://www.livescience.com/29071-scandium.html>

<sup>108</sup> Métal pur à 99,99 %, USGS 2021.

**Figure 72 : Demande mondiale de scandium (tonnes, 2020-2025p)**



Source : Mordor Global Industry, 2020. Analyse PwC.

La nécessité de recourir à des méthodes de production d'énergie durable, soutenue par les ambitions de transition énergétique, devrait créer des opportunités intéressantes pour le marché des SOFC, ce qui contribuerait à augmenter l'importance du scandium. À l'heure actuelle, les SOFC sont de plus en plus utilisées dans les transports, les équipements industriels, la production d'électricité, le refroidissement, les secours en cas de catastrophe et dans les zones où il n'y a pas de connexion à un réseau. La demande croissante d'énergie propre par rapport aux préoccupations environnementales liées à la production d'énergie à partir de sources conventionnelles, comme le charbon et le gaz naturel, devrait stimuler la demande de piles à combustible à oxyde solide dans les années à venir. Par conséquent, ces tendances devraient augmenter considérablement la demande de scandium pour les applications dans les SOFC.<sup>109</sup>

### Chaîne de valeur et cartographie des acteurs

#### *Étapes 1 et 2 : Prospection, exploration, exploitation, traitement, concentration et première transformation*

En mai 2020, Rio Tinto a annoncé le développement d'un nouveau procédé d'extraction d'oxyde de scandium (dans le cadre d'un projet pilote réussi) sur le site de son exploitation métallurgique Rio Tinto Fer et Titane (RTFT) à Sorel-Tracy. L'installation produit une scorie de titane à partir de son gisement de fer-titane du lac Tio, où le minerai est connu pour avoir une teneur en scandium de 30 à 50 ppm. Auparavant, les scories restantes (80 % de TiO<sub>2</sub>) après l'extraction du minerai étaient expédiées aux fabricants de pigments pour être utilisées dans le procédé de fabrication au sulfate. Cependant, le passage récent au procédé au chlorure a réduit la demande de scories comme matière première et a incité Rio Tinto à réfléchir à d'autres utilisations possibles. Par exemple, Rio Tinto teste la production de petites quantités d'alliage maître aluminium-scandium haute performance à l'aide de l'oxyde de scandium produit.

**Tableau 32 : Cartographie des acteurs confirmés des étapes 1 à 2 au Québec**

Compagnie	Activités	Taille des réserves
Rio Tinto Fer et Titane	Sous-production du titane	Non disponible, produit secondaire de la transformation du titane
Imperial Mining Group Ltd	Gîtes – Crater Lake	Non disponible

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

<sup>109</sup> Reportlinker, 2021. Scandium Market - Growth, Trends, and Forecast (2020 - 2025). Lien: [https://www.reportlinker.com/p06001583/Scandium-Market-Growth-Trends-and-Forecast.html?utm\\_source=GNW](https://www.reportlinker.com/p06001583/Scandium-Market-Growth-Trends-and-Forecast.html?utm_source=GNW)

### Étape 3 : Utilisation

La production mondiale de scandium est actuellement utilisée comme suit : 38 % en métallurgie, 36 % pour les piles à combustible à oxyde solide, 9 % pour les appareils électroniques, 7 % pour les écrans, 6 % pour les céramiques et 4 % pour les néons.<sup>110</sup>

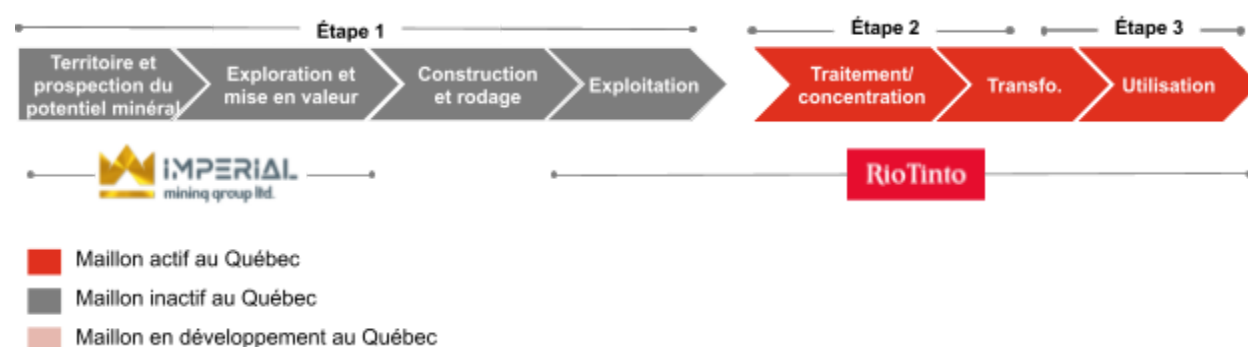
**Tableau 33 : Cartographie des acteurs confirmés de l'étape 3 au Québec selon le secteur d'activité visé**

Secteur d'activité visé	Compagnie	Description des applications
Alliages spéciaux	Rio Tinto Aluminium	Alliages aluminium-scandium
	Rio Tinto Fer et Titane	Alliages titane-scandium

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

### Valeur stratégique pour le Québec

**Figure 73 : État d'avancement des étapes 1 à 3 de la chaîne de valeur**



### Importance du produit final : élevée

Le scandium est important dans les alliages d'aluminium-scandium pour les composants de l'industrie aérospatiale et pour les équipements sportifs. De petites quantités de scandium ajoutées aux alliages d'aluminium améliorent considérablement la résistance à la traction et les propriétés physiques du produit fini. Cependant, il n'existe aucune utilisation commerciale importante connue du scandium, et la demande annuelle mondiale de ce métal est relativement faible (environ 20 tonnes). L'une des raisons de cette situation réside généralement dans la faible concentration de scandium et la difficulté de le séparer du minerai, ce qui pousse les coûts à des niveaux élevés. Ainsi, malgré l'intérêt croissant de l'industrie automobile, entre autres, le prix des alliages maîtres aluminium-scandium est encore trop élevé pour la plupart des applications commerciales. Les principaux facteurs de croissance du marché étudié sont l'accélération de l'utilisation des piles à combustible à oxyde solide (SOFC). Elles peuvent être utilisées pour un large éventail d'applications, qu'il s'agisse de produire de l'énergie pour les satellites et les capsules spatiales, d'alimenter des véhicules à pile à combustible tels que des automobiles, des autobus ou des bateaux, ou de produire de l'énergie primaire ou de secours pour les bâtiments. L'utilisation du scandium devrait s'accélérer avec un taux de croissance annuel moyen de 11 % au cours des quatre prochaines années. Rio Tinto Aluminium au Québec utilise le scandium pour la fabrication d'alliages aluminium-scandium et l'approvisionnement chinois posait des problèmes ces dernières années.<sup>111</sup>

### Difficulté de substituabilité du minerai : modérée

Les alliages à haute résistance en titane et en aluminium ainsi que les matériaux en fibre de carbone peuvent se substituer aux applications en alliages de scandium à haute performance. Dans certaines conditions, les diodes électroluminescentes peuvent remplacer les lampes à haute intensité à vapeur de

<sup>110</sup> Mordor Intelligence, 2020.

<sup>111</sup> Aluminium Insider, 2020. Les alliages d'aluminium-scandium sont-ils l'avenir ? Lien : <https://aluminiuminsider.com/tag/aluminium-scandium-alloys/>

mercure qui contiennent de l'iodure de scandium. Dans certaines applications qui dépendent des propriétés uniques du scandium, la substitution n'est pas possible.<sup>112</sup>

*Risque de la chaîne de valeur : modéré*

La Chine est responsable de 38 % de la production annuelle mondiale de scandium. Des gisements récemment découverts de thortveitite en Australie, dans l'État sud-est de New South Wales (NSW) et l'État nord-est de Queensland, possèdent une quantité importante d'oxyde de scandium (environ 30 % à 40 %). Les travaux ont commencé dans trois nouvelles mines, qui pourront produire ensemble jusqu'à 112 tonnes par an d'oxyde de scandium. Rio Tinto aurait aussi la capacité de multiplier sa production à partir de son procédé à Sorel avec certains investissements. Cela pourrait réduire encore plus la capacité du Canada à être compétitif.

*Implication dans la chaîne de valeur : élevée*

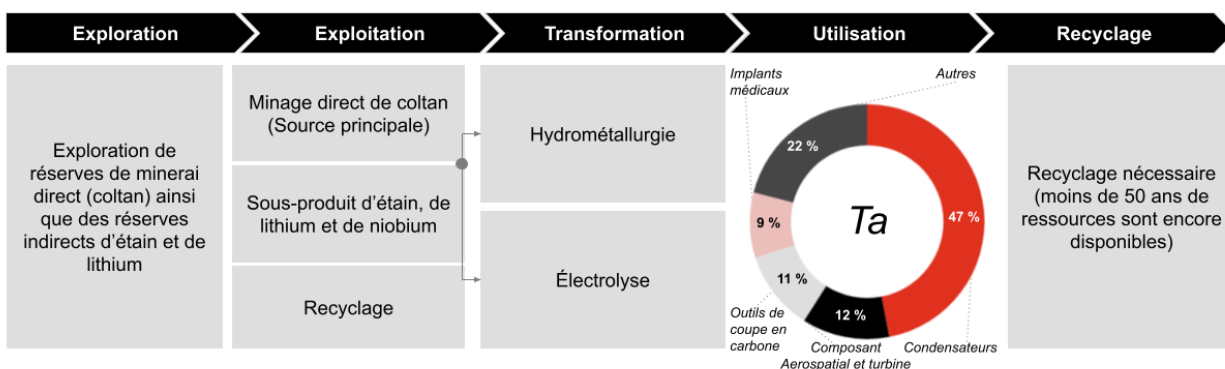
Le Québec ne produisait pas jusqu'à récemment de scandium, mais l'usine Rio Tinto Fer et Titane pourra en produire trois tonnes par année ou près de 15 % du marché mondial. Une partie de la production sera utilisée sur le territoire québécois pour la production de différents alliages.

---

<sup>112</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>.

## Tantale

Figure 74 : Aperçu de la chaîne de valeur de tantale



Sources : Technavio, 2020. Analyse PwC.

### Présentation générale

Le tantale est un minerai sombre (bleu-gris), dense, ductile, très dur et il possède de fortes propriétés conductrices (chaleur et électricité). Le métal est réputé pour sa résistance à la corrosion par les acides. Il fait partie du groupe des métaux réfractaires, qui sont largement utilisés comme composants mineurs dans les alliages. L'inertie chimique du tantale en fait une substance de choix pour les équipements de laboratoire et comme substitut du platine. Aujourd'hui, il est principalement utilisé dans les condensateurs au tantale des équipements électroniques, tels que les téléphones portables, les lecteurs de DVD, les systèmes de jeux vidéo et les ordinateurs. Le tantale, toujours associé au niobium, chimiquement similaire, est présent dans les groupes minéraux de tantalite, de columbite et de coltan<sup>113</sup>. Le tantale est considéré comme un élément technologique critique<sup>114</sup>.

### Réserves mondiales

Le tantale constitue environ 1 ppm ou 2 ppm de la croûte terrestre en poids. La densité élevée de la tantalite et des autres minéraux contenant du tantale fait de la séparation gravitationnelle la meilleure méthode. Les autres minéraux sont la samarskite et la fergusonite<sup>115</sup>.

L'exploitation primaire du tantale se fait en Australie, où le plus grand producteur, Global Advanced Metals, anciennement connu sous le nom de Talison Minerals, exploite deux mines en Australie occidentale, soit Greenbushes dans le sud-ouest et Wodgina dans la région de Pilbara. Ces deux derniers projets exploitent le lithium avec le tantale comme sous-produit.

Les grands producteurs de niobium se trouvent au Brésil et au Canada, et le minerai de ces pays (niobium) contient également un petit pourcentage de tantale. D'autres pays comme la Chine, l'Éthiopie et le Mozambique, qui exploitent des minerais contenant un pourcentage plus élevé de tantale, produisent un pourcentage important de la production annuelle mondiale de ce minerai. Le tantale est également produit en Thaïlande et en Malaisie comme sous-produit de l'exploitation de l'étain. Lors de la séparation gravitationnelle des minerais des gisements alluviaux, on trouve non seulement de la cassitérite (SnO<sub>2</sub>), mais aussi un petit pourcentage de tantalite. Les scories des fonderies d'étain contiennent alors des quantités économiquement utiles de tantale, qui est lessivé des scories. La production annuelle minière mondiale de tantale, qui provenait principalement de l'Australie et du Brésil, a subi un important changement géographique depuis le début du 21<sup>e</sup> siècle<sup>116</sup>.

À partir de 2007, les principales sources de production minière de tantale se sont déplacées vers la République démocratique du Congo, le Rwanda et d'autres pays africains. Les futures sources d'approvisionnement en tantale, par ordre de taille estimée, seront explorées en Arabie saoudite, en

<sup>113</sup> Le coltan est un mélange de columbite et de tantalite, bien qu'il ne soit pas reconnu comme une espèce minérale distincte.

<sup>114</sup> Surface and Coatings Technology.

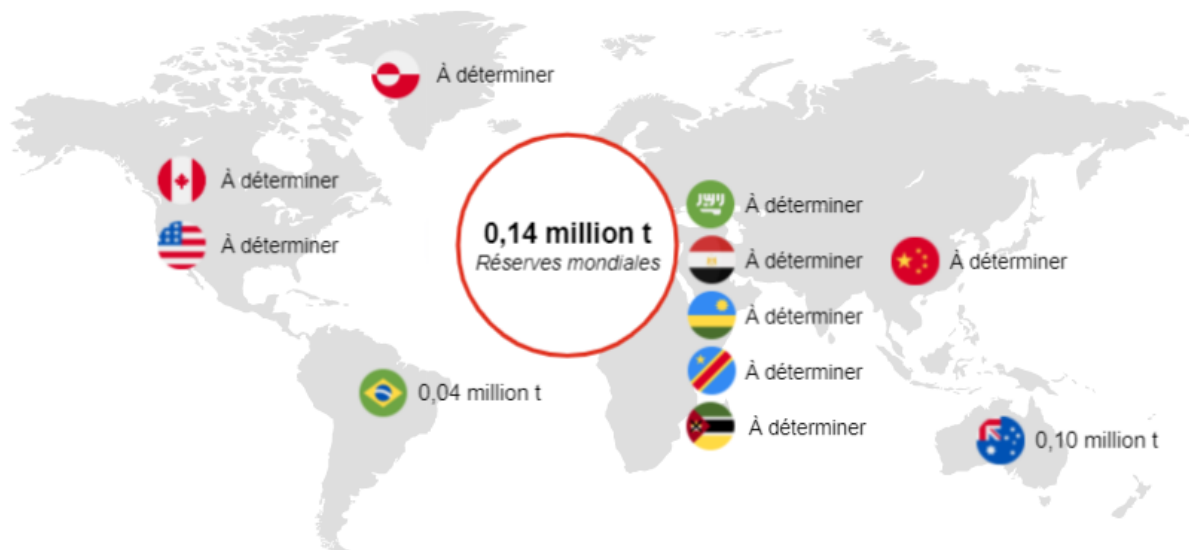
<sup>115</sup> John Emsley, *Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements*.

<sup>116</sup> The United States Geological Survey.



Égypte, au Groenland, en Chine, au Mozambique, au Canada, en Australie, aux États-Unis, en Finlande et au Brésil<sup>117</sup>. Selon certains chercheurs, il resterait des ressources en tantale pour moins de 50 ans si l'on se fie au rythme actuel de l'extraction, ce qui démontre la nécessité d'un recyclage accru<sup>118</sup>.

**Figure 75 : Réserves de tantale mondiales (millions de tonnes)**



Source : The United States Geological Survey, 2021. Analyse PwC.

### **Demande mondiale**

Les principales applications du tantale sont les anodes de condensateurs, les fixations des fils de condensateurs (fils), les additifs pour les superalliages, les revêtements et les cibles pour le traitement des composants passifs des semi-conducteurs. Le plus grand pourcentage de métal est utilisé dans les condensateurs au tantale. Dans les métaux durs, il est utilisé comme additif aux superalliages à base de nickel, et comme inhibiteur de grain et additif d'alliage dans les outils en carbure. Il est également utilisé comme revêtement, offrant une résistance à la corrosion et une durabilité sur les pièces d'usure critiques. Il est également vendu sous forme d'alliages ou mélangé à d'autres superalliages pour les implants orthopédiques.

La demande croissante de superalliages et de carbures dans l'aérospatiale et l'industrie de la défense devrait stimuler le marché mondial du tantale. Le choix des produits à base de tantale, tels que les superalliages et les carbures, se fait principalement en fonction de l'application, du coût et de la performance. Certains des avantages des produits à base de tantale sont 1) la résistance à l'usure, 2) la résistance à la corrosion, 3) le faible coefficient de dilatation thermique, 4) un bon amortissement des vibrations, et 5) la faible teneur en vide.

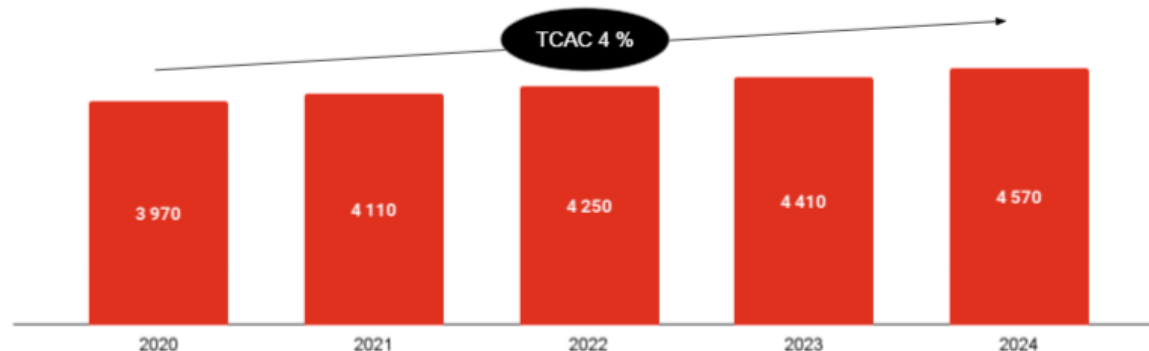
Les principaux marchés de croissance pour le tantale au cours de la période de prévision seront les superalliages pour l'industrie aéronautique, où le tantale est utilisé comme additif. Le secteur des outils de coupe connaîtra également une croissance, mais à un rythme beaucoup plus lent. La majeure partie du tantale est utilisée dans la fabrication de condensateurs employés dans l'industrie électronique, et ce segment est appelé à demeurer stable. La tendance de l'industrie électronique vers la miniaturisation des équipements a conduit à l'utilisation de condensateurs à base de tantale dans des applications sujettes à des contraintes d'espace et haut de gamme telles que les télécommunications, les dispositifs de stockage et autres gadgets électroniques. Avec l'avènement de l'ère numérique et des processus informatisés,

<sup>117</sup> The United States Geological Survey, Évolution de la production minière mondiale de tantale, 2000-2014 Lien: <https://pubs.usgs.gov/fs/2015/3079/fs20153079.pdf>.

<sup>118</sup> Scientific American, How much is left?, 2010, Michael Moyer.

l'utilisation d'équipements électroniques haut de gamme, tels que ceux intégrant la réalité augmentée et la capture vidéo numérique qui sont utilisés dans les médias de masse, stimulera la croissance du marché des condensateurs au cours de la période de prévision<sup>119</sup>.

**Figure 76 : Demande mondiale de tantale (tonnes, 2020-2024p)**



Source : Technavio. Analyse PwC.

Selon les prévisions, entre 2021 et 2024, la demande nord-américaine demeurera stable, soit environ 50 % du marché mondial de tantale, alors que celle de la région Asie-Pacifique occupera environ 30 % du marché et celle de l'Europe, environ 15 %. Le 5 % restant proviendra de l'Afrique et de l'Amérique du Sud.

Sous sa forme d'oxyde de tantale ( $Ta_2O_5$ ), le composé s'est vendu, entre 2016 et 2019, à un prix annuel moyen oscillant entre 161 \$ US et 214 \$ US le kilo<sup>120</sup>.

### Chaîne de valeur et cartographie des acteurs

#### *Étapes 1 et 2 : Prospection, exploration, exploitation, traitement, concentration et première transformation*

L'exploitation du tantale est peu développée au Québec. En fait, quelques entreprises québécoises exploitent le tantale à l'étranger, notamment au Brésil et en République démocratique du Congo, mais aucune n'est au stade d'exploitation sur sol québécois.

Le projet Rose lithium-tantale de Corporation Éléments Critiques est situé au Québec, et comprend l'accès à des infrastructures telles que : ligne électrique, routes, aéroport, accès ferroviaire et campement. Le Projet Rose lithium-tantale contient actuellement des réserves de 26,8 millions de tonnes de réserves probables à une teneur de 0,96 %  $Li_2O$  Eq. ou 0,85 %  $Li_2O$  et 133 ppm  $Ta_2O_5$ . Ce projet est à un stade avancé d'exploration.

Le site du projet Crevier est en exploration depuis plus de dix ans. Niobay a reçu en 2010 une analyse positive de l'évaluation économique préliminaire du projet Crevier. Ce projet est composé d'une ressource de niobium (Nb) et de tantale (Ta). À la suite de cette évaluation positive, Niobay a pris la décision d'entreprendre l'étude de faisabilité du projet avec l'intention de commercialiser la ressource de niobium et de tantale. Les études de faisabilité n'ont pas confirmé les résultats obtenus en laboratoire, ce qui fait qu'une troisième étude de faisabilité doit être effectuée. Niobay évalue le coût de cette étude à 1,5 M\$ et n'a pas encore reçu le financement nécessaire pour l'effectuer.

<sup>119</sup> Technavio, 2020.

<sup>120</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>

**Tableau 34 : Cartographie des acteurs confirmés des étapes 1 à 2 au Québec**

Compagnie	Activités	Taille des réserves
Corporation Éléments Critiques	Mise en valeur – Rose	3 564 tonnes
Niobay	Gîtes – Crevier	6 532 tonnes*

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

\* Estimation historique, non conforme à la norme NI 43 101.

### Étape 3 : Utilisation

La demande de tantale correspond aux usages suivants : 47 % pour des condensateurs, 12 % pour des composantes aéronautiques (telles qu'offertes par Alpha Casting), 11 % pour des outils de coupe en carbure, 9 % pour des implants médicaux (tels qu'offerts par Tekna) et 22 % pour des usages autres.<sup>121</sup>

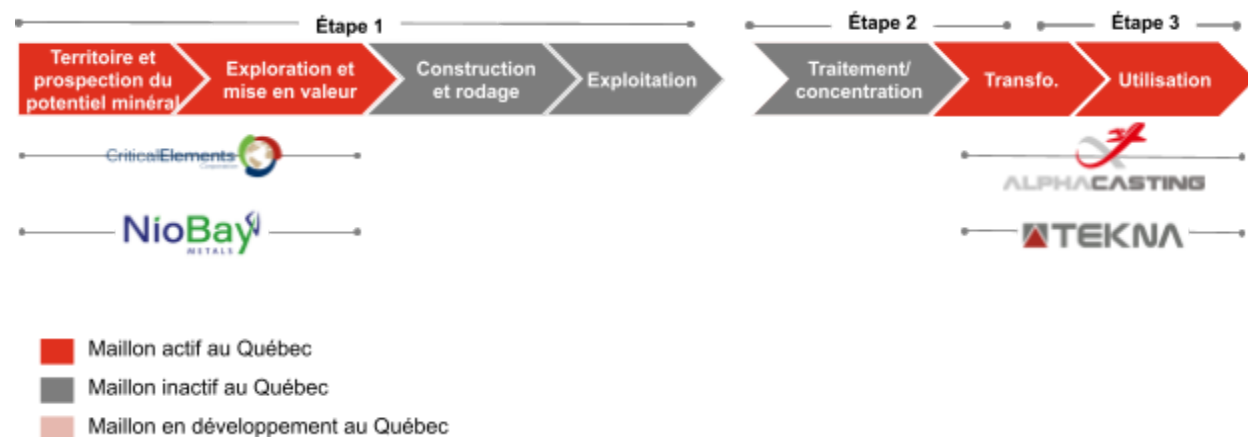
**Tableau 35 : Cartographie des acteurs confirmés de l'étape 3 au Québec selon le secteur d'activité visé**

Secteur d'activité visé	Compagnie	Description des applications
Alliage pour avion	Alpha Casting	Moulages pour l'industrie de la haute technologie
Application médicale	Tekna	Solutions plasma clés en main

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

## Valeur stratégique pour le Québec

**Figure 77 : État d'avancement des étapes 1 à 3 de la chaîne de valeur**



<sup>121</sup> Technavio, 2020.

## Valeur stratégique pour le Québec

### *Importance du produit final : modérée*

Considérant que Montréal est le troisième centre aérospatial du monde, le tantale peut s'inscrire comme minéral pertinent dans la chaîne de valeur pour toute production aéronautique. Une fois que la relance du secteur de l'aviation sera amorcée, il est prévu qu'une croissance importante aura lieu (seulement 3 % de la population mondiale voyage en avion dans une année donnée)<sup>122</sup>. Une demande plus importante des pays en développement est prévue. Le secteur de l'aéronautique demeurera un secteur stratégique et important pour le Québec.

### *Difficulté de substituabilité du minéral : modérée*

Les matériaux suivants peuvent remplacer le tantale, mais il peut en résulter une perte de performance ou des coûts plus élevés : le niobium et le tungstène pour les carbures; l'aluminium, les céramiques et le niobium pour les condensateurs électroniques; le verre, le molybdène, le nickel, le niobium, le platine, l'acier inoxydable, le titane et le zirconium pour les applications résistant à la corrosion; le hafnium, l'iridium, le molybdène, le niobium, le rhénium et le tungstène pour les applications à haute température<sup>123</sup>.

### *Risque de la chaîne de valeur : faible*

Pour l'instant, les fabricants dépendent entièrement de sources étrangères, car le tantale n'est pas produit au Québec à ce jour (la République démocratique du Congo est responsable de 39 % de la production mondiale).

### *Implication dans la chaîne de valeur : modérée*

Pour développer une chaîne de valeur complète, le Québec doit se concentrer sur la réalisation des projets actuels d'exploitation du tantale dans la province.

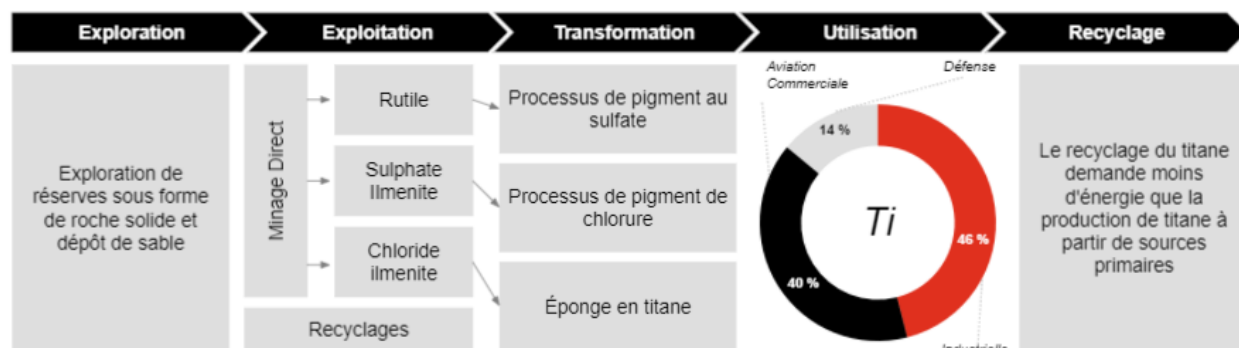
---

<sup>122</sup> BBC, Devrions-nous renoncer à prendre l'avion pour le bien du climat ?, 2020, Lien : <https://www.bbc.com/future/article/20200218-climate-change-how-to-cut-your-carbon-emissions-when-flying>.

<sup>123</sup> The United States Geological Survey.

## Titane

Figure 78 : Aperçu de la chaîne de valeur de titane



Source : Technavio, 2020. Analyse PwC.

### Présentation générale

Le titane est un métal lustré de couleur argentée, de faible densité et très résistant : il résiste à la corrosion dans l'eau de mer, l'eau régale et le chlore. Le titane peut être allié au fer, à l'aluminium, au vanadium et au molybdène pour produire des alliages solides et légers destinés aux secteurs de l'aérospatiale (moteurs à réaction, missiles et engins spatiaux), de la défense, aux processus industriels (produits chimiques et pétrochimiques, usines de dessalement, pâte à papier et papier), à l'automobile, à l'agriculture (dans les moulées destinées aux élevages), aux prothèses médicales, aux implants orthopédiques, aux instruments et limes dentaires et endodontiques, aux implants dentaires, aux articles de sport, aux bijoux, aux téléphones mobiles et à d'autres applications. Les deux propriétés les plus utiles de ce métal sont la résistance à la corrosion et le rapport résistance/densité le plus élevé de tous les éléments métalliques.<sup>124</sup> Cet élément est présent dans un certain nombre de gisements minéraux, principalement le rutile et l'ilménite, qui sont largement répartis dans la croûte terrestre. Le métal est extrait de ces principaux minerais par les procédés Kroll et Hunter.

### Réserves mondiales

Le titane est le neuvième élément le plus abondant de la croûte terrestre et le septième métal le plus abondant. Les minéraux courants contenant du titane sont l'anatase, la brookite, l'ilménite, la pérovskite, le rutile et la titanite (sphène). Parmi ces minéraux, seuls le rutile et l'ilménite ont une importance économique, bien qu'ils soient difficiles à trouver en forte concentration. L'ilménite représente environ 90 % de la consommation mondiale de minéraux de titane. D'importants gisements d'ilménite titanifère existent en Australie occidentale, au Canada, en Chine, en Inde, au Mozambique, en Nouvelle-Zélande, en Norvège, en Sierra Leone, en Afrique du Sud et en Ukraine.

<sup>124</sup> Encyclopædia Britannica, Titanium. Lien : <https://www.britannica.com/science/titanium>

**Figure 79 : Réserves mondiales de titane (millions de tonnes)**



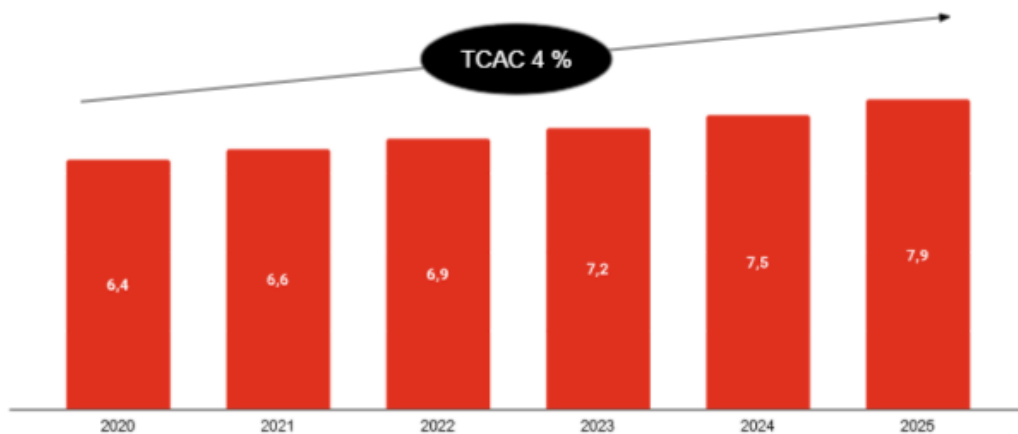
Source : The United States Geological Survey, 2021. Analyse PwC.

La Chine est responsable de 28 % de la production annuelle mondiale de titane, suivie par l'Afrique du Sud, soit 13 % et l'Australie, 10 %. Le Canada arrive en 4<sup>e</sup> position avec une production annuelle de 680 kilotonnes (8 % de la production mondiale), qui est principalement utilisée pour produire des scories titanifères.

### **Demande mondiale**

Au cours des cinq prochaines années, la croissance du marché prévue s'explique par ses excellentes propriétés mécaniques et physiques ainsi que son utilisation étendue dans une large gamme d'applications d'utilisateurs finaux. L'une des principales applications des alliages de titane est l'industrie aéronautique, pour les moteurs à réaction et autres pièces connexes. Ces alliages sont principalement utilisés dans les moteurs à turbine à gaz, les structures d'avions, comme les trains d'atterrissage, les engins spatiaux et les rotors d'hélicoptère.

**Figure 80 : Demande mondiale de dioxyde de titane (million de tonnes, 2020-2025p)**



Source : Technavio, 2020. Analyse PwC.

La demande d'alliages de titane des pays émergents devrait également augmenter, notamment en Chine et en Russie. La Chine connaît une augmentation importante des commandes d'avions commerciaux fabriqués localement, les principales entreprises étant les compagnies aériennes chinoises et d'autres sociétés de crédit-bail.

En 2020, le dioxyde de titane se vendait à un prix annuel moyen oscillant entre 2,50 \$ US et 3,00 \$ US le kilo<sup>125</sup>.

## Chaîne de valeur et cartographie des acteurs

### Étapes 1 et 2 : Prospection, exploration, exploitation, traitement, concentration et première transformation

Le Québec est la seule province canadienne à exploiter le titane dans la mine de Havre-St-Pierre, exploitée par Rio Tinto. Cette mine produit des scories titanifères qui constituent l'une des principales matières premières pour la fabrication du TiO<sub>2</sub> (dioxyde de titane). Cette mine comprend les plus importantes réserves d'ilménite au monde. De nombreux acteurs au Québec importent actuellement du titane, principalement Rio Tinto Fer et Titane et Kronos. Rio Tinto Fer et Titane transforme la totalité de l'ilménite venant de sa mine de Havre-St-Pierre, et importe en partie de l'ilménite de sa mine au Madagascar, pour ses installations de Sorel. Pour ce qui est de Kronos, celui-ci transforme de l'ilménite provenant de l'extérieur du Québec.

**Tableau 36 : Cartographie des acteurs confirmés des étapes 1 à 2 au Québec**

Compagnie	Activités	Taille des réserves
Rio Tinto Fer et Titane	Mine (Havre-St-Pierre) et transformation (Sorel)	48 200 000 tonnes <sup>126</sup>
Kronos	Transformation (grades industriel et alimentaire) – Varennes	Non applicable
Black Rock Metals	Mise en valeur – Saguenay	Non disponible
Magpie Mines Inc.	Gîtes – Magpie	Non disponible
Splendor Titanium	Gîtes – Bécancour	Non disponible

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises.

### Étape 3 : Utilisation

La production mondiale de titane est actuellement utilisée comme suit : 46 % dans des matériaux industriels, 40 % dans des matériaux pour l'aviation commerciale et 14 % dans des matériaux pour la défense.<sup>127</sup>

Certains acteurs industriels utilisent du dioxyde de titane au Québec et des poudres métalliques de titane, mais la grande majorité de la production québécoise est exportée vers l'étranger, principalement pour être intégrée dans la peinture et les composantes pour l'aviation commerciale.

<sup>125</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>.

<sup>126</sup> Mining Data Online.

<sup>127</sup> Technavio 2020.

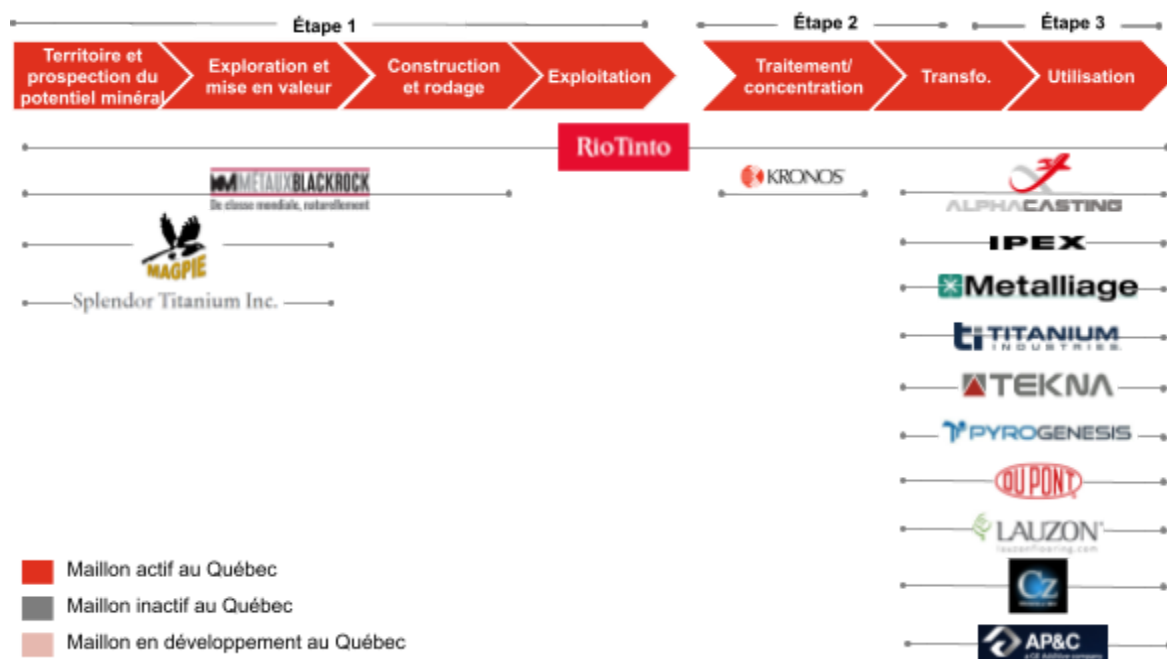
**Tableau 37 : Cartographie des acteurs confirmés de l'étape 3 au Québec selon le secteur d'activité visé**

Secteur d'activité visé	Compagnie	Description des applications
Alliages spéciaux	Alpha Casting	Alliages – aviation
	Rio Tinto Aluminium	Alliages – aviation
	Rio Tinto Fer et Titane	Poudre de métal en titane (peinture)
	Iplex Inc	Matériel industriel
	Metalliage	Processeur de titane
	Titanium Industries	Métaux spéciaux
	Tekna	Poudre de métal
	PyroGenesis Additive	Poudre de métal
	El Dupont Canada	Usages divers
Matériaux de construction	Lauzon Distinctive Hardwood	Revêtement
Placage	Service Chrome et Zinc	Galvanoplastie et placage de pièces
	AP&C Revêtement	Matériaux d'ingénierie

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

### Valeur stratégique pour le Québec

**Figure 81 : État d'avancement des étapes 1 à 3 de la chaîne de valeur**



### Importance du produit final : élevée

En raison de sa légèreté, de sa grande durabilité et de ses propriétés de texture, le titane est de plus en plus utilisé dans l'industrie des transports et le secteur de la haute technologie.



*Difficulté de substituabilité du minerai : modérée*

Peu de matériaux possèdent le rapport force/poids et la résistance à la corrosion du titane métallique. Dans les applications à haute résistance, le titane est en compétition avec l'aluminium, les composites, les intermétalliques, l'acier et les superalliages. L'aluminium, le nickel, les aciers spéciaux et les alliages de zirconium peuvent être substitués au titane pour les applications qui exigent une résistance à la corrosion. Le carbonate de calcium broyé, le carbonate de calcium précipité, le kaolin et le talc sont en concurrence avec le dioxyde de titane comme pigment blanc.<sup>128</sup>

*Risque de la chaîne de valeur : faible*

Une fois encore, la Chine est de loin le plus grand producteur de titane (responsable de 30 % de la production annuelle mondiale). Des pays amis de l'Occident comme l'Australie et l'Afrique du Sud en produisent également de grandes quantités (représentant ensemble 24 % de la production annuelle mondiale totale). L'exploitation rentable du titane peut être un défi au Québec, surtout pour les petites mines et les petits projets. Aujourd'hui, il y a peu de risques pour les utilisateurs de titane, car le Québec exporte la majorité de sa production. Cependant, les transformateurs qui importent de l'ilménite pourraient éventuellement avoir des défis d'approvisionnement.

*Implication dans la chaîne de valeur : élevée*

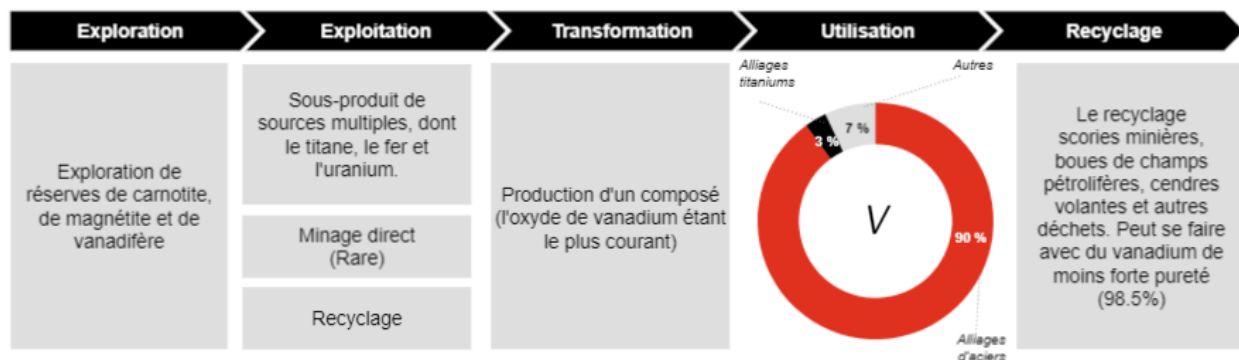
Le Québec participe à l'ensemble de la chaîne de valeur, en commençant par l'exploitation, la concentration et la transformation. Il serait avantageux pour le Québec d'explorer des idées pour augmenter sa présence dans la transformation avec de l'énergie propre à coût compétitif et augmenter l'utilisation industrielle pour créer plus de valeur au Québec à partir de cette ressource naturelle importante.

---

<sup>128</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>

## Vanadium

Figure 82 : Aperçu de la chaîne de valeur de vanadium



Source : Technavio, 2020. Analyse PwC.

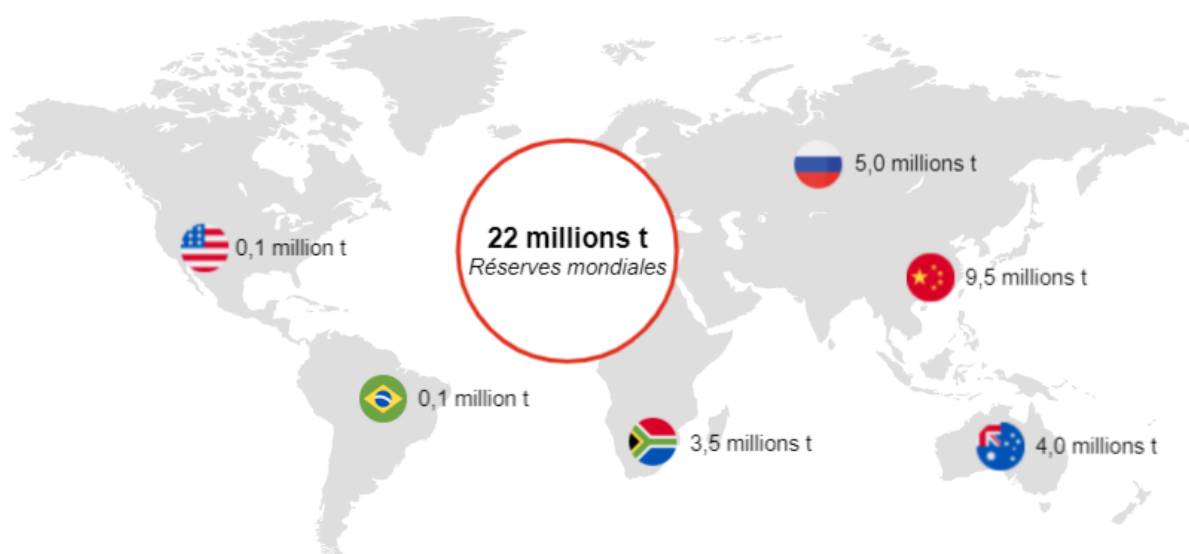
### Présentation générale

Le vanadium est un métal bleu acier, de dureté moyenne. Il est précieux dans l'industrie manufacturière parce qu'il est malléable, ductile et résistant à la corrosion. Environ 90 % du vanadium produit est allié au fer pour fabriquer un additif pour acier résistant aux chocs et à la corrosion appelé ferrovanadium. Le ferrovanadium contient entre 1 % et 6 % de vanadium.<sup>129</sup>

### Réserves mondiales

Le vanadium est présent dans des gisements de roche phosphatée, de magnétite titanifère, de grès et de siltstone uranifère, dans lesquels il constitue moins de 2 % de la roche hôte. Des quantités importantes sont également présentes dans la bauxite et les matériaux carbonifères, tels que le charbon, le pétrole brut, le schiste bitumineux et les sables bitumineux. Comme le vanadium est généralement récupéré sous forme de sous-produit ou de coproduit, les ressources mondiales démontrées de cet élément ne sont pas nécessairement une indication des réserves disponibles.

Figure 83 : Réserves de vanadium mondiales (millions de tonnes)



Source : The United States Geological Survey, 2021. Analyse PwC.

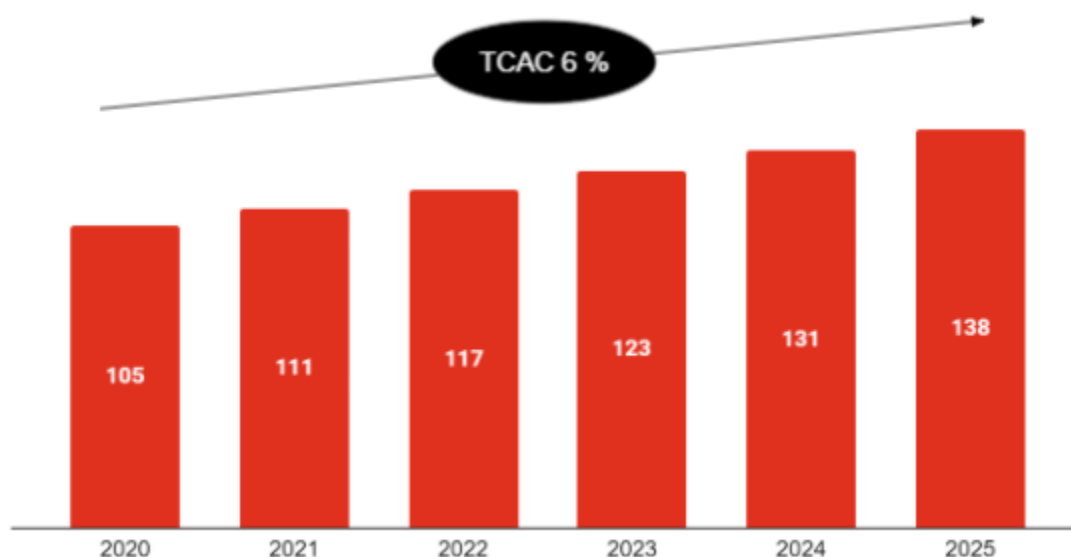
<sup>129</sup> VanadiumCorp, Faits concernant le vanadium. Lien: <https://www.vanadiumcorp.com/about/>

La demande du marché canadien de vanadium est principalement satisfaite par l'importation. Le Canada n'a pas produit de vanadium depuis le début des années 1990, période où une usine de vanadium a fermé ses portes à Fort McMurray, en Alberta. Les quantités de réserves au Canada sont actuellement indéterminées. La Chine, l'Australie, la Russie et l'Afrique du Sud détiennent la quasi-totalité des réserves mondiales enregistrées. La Chine est responsable de plus de 60 % de la production mondiale.

### **Demande mondiale**

La demande totale de vanadium est dominée par l'industrie sidérurgique (sous forme de ferrovanadium). Elle a représenté 92 % de la demande totale en 2019 et continuera de dominer le marché à court et moyen terme. La demande mondiale de vanadium a augmenté d'environ 6 % entre 2019 et 2018 pour atteindre 105 kilotonnes, soutenue par de plus grandes exigences du gouvernement chinois pour la mise aux normes de barres d'armature à haute résistance.

**Figure 84 : Demande mondiale de vanadium (kilotonnes, 2020-2025p)**



Source : Technavio, 2020. Analyse PwC.

La demande devrait continuer à croître, soutenue par l'intensité de l'utilisation du vanadium sur le marché de l'acier et dans le secteur du stockage de l'énergie. Bien que les prévisions concernant les piles à flux redox au vanadium varient, elles indiquent que la demande de ce segment pourrait accroître considérablement la demande de vanadium.

L'oxyde de vanadium, le composé de vanadium le plus courant, s'est vendu, de 2016 à 2019, à un prix annuel moyen entre 3,38 \$ US et 16,40 \$ US la livre<sup>130</sup>.

### **Chaîne de valeur et cartographie des acteurs**

#### *Étapes 1 et 2 : Prospection, exploration, exploitation, traitement, concentration et première transformation*

Bien que le Québec ne produise pas de vanadium à l'heure actuelle, quelques projets sont en cours d'élaboration pour produire du vanadium provenant d'un sous-produit ainsi que de l'extraction directe.

<sup>130</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>

**Tableau 38 : Cartographie des acteurs confirmés des étapes 1 à 2 au Québec**

Compagnie	Activités	Taille des réserves
Vanadium One Iron Corp.	Mise en valeur – Mont Sorcier	Non disponible
Blackrock Metals	Mise en valeur – Saguenay	Non disponible
Magpie Mines Inc.	Gîtes – Magpie	Non disponible
VanadiumCorp Resource inc.	Gîtes – Iron-T	14 millions de tonnes
VanadiumCorp Resource inc.	Gîtes – lac Doré	Non disponible

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

### Étape 3 : Utilisation

Bien que des entreprises du Québec utilisent le vanadium (principalement pour fabriquer des alliages), elles doivent actuellement l'importer dans la province. La majeure partie du vanadium est actuellement utilisée pour produire des alliages.<sup>131</sup>

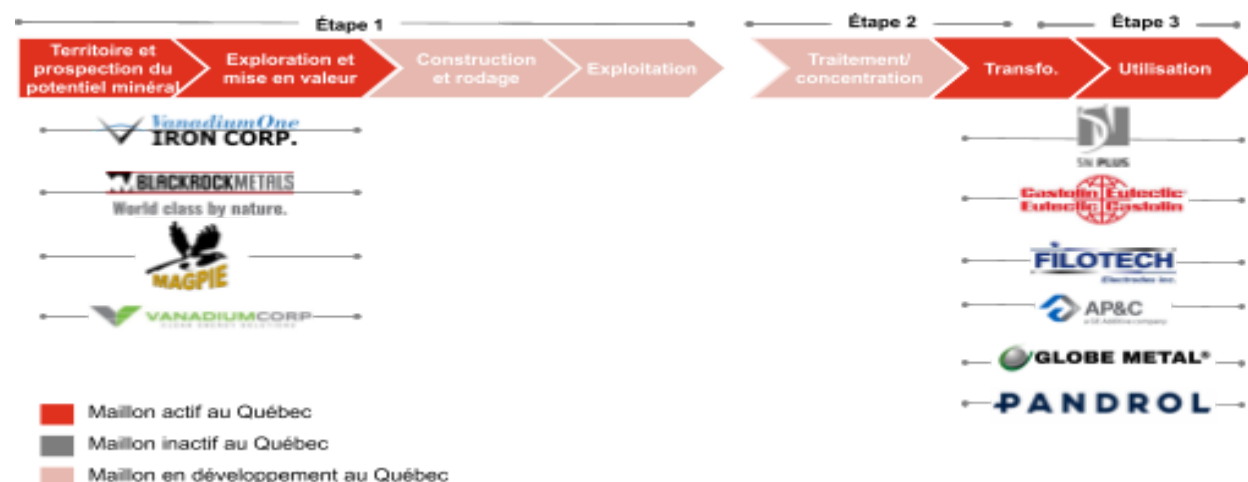
**Tableau 39 : Cartographie des acteurs confirmés de l'étape 3 au Québec selon le secteur d'activité visé**

Secteur d'activité visé	Compagnie	Description des applications
Alliages spéciaux	5N Plus	Matériaux d'ingénierie
	Eutectic Canada	Soudage
	Filotech Électrodes	Soudage
	AP&C Revêtements	Matériaux d'ingénierie
	Globe Metal	Convertisseur de ferraille
	Les Industries Pandrol	Soudage aluminothermique

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

### Valeur stratégique pour le Québec

**Figure 85 : État d'avancement des étapes 1 à 3 de la chaîne de valeur**



<sup>131</sup> Technavio 2020.

## Valeur stratégique pour le Québec

### *Importance du produit final : modérée*

Bien que les fabricants du Québec utilisent actuellement le vanadium, ce minéral n'est pas produit dans la province. Les fabricants dépendent entièrement de l'importation de ce minéral, ce qui signifie qu'il est plutôt important pour le Québec afin de produire certains alliages. La majeure partie du vanadium est utilisée sous forme de ferrovanadium. Le ferrovanadium est un durcisseur universel, un renforçateur et un additif anticorrosion pour les aciers comme l'acier faiblement allié à haute résistance, les aciers à outils, ainsi que d'autres produits à base de fer. D'autres applications du vanadium sont en développement, entre autres dans les batteries de stockage, afin d'augmenter la durée de cycle des batteries et de limiter la dégradation de performance.<sup>132</sup>

### *Difficulté de substituabilité du minerai : modérée*

Les aciers contenant diverses combinaisons d'autres éléments d'alliage peuvent être substitués aux aciers contenant du vanadium. Certains métaux, tels que le manganèse, le molybdène, le niobium (columbium), le titane et le tungstène, peuvent dans une certaine mesure se substituer au vanadium comme éléments d'alliage dans l'acier. Le platine et le nickel peuvent remplacer les composés du vanadium comme catalyseurs dans certains procédés chimiques. Actuellement, aucun substitut acceptable du vanadium n'est disponible pour une utilisation dans les alliages de titane pour l'aérospatiale.<sup>133</sup>

### *Risque de la chaîne de valeur : modéré*

Pour l'instant, les fabricants dépendent entièrement de sources étrangères (la Chine est responsable de 61 % de la production annuelle mondiale), car le vanadium n'est pas produit au Québec. Cependant, l'utilisation demeure limitée et le risque pour la production manufacturière est modéré.

### *Implication dans la chaîne de valeur : faible*

Pour développer une chaîne de valeur complète, le Québec doit se concentrer sur la réalisation des projets actuels d'exploitation du vanadium dans la province, tout en encourageant la production locale d'acier à partir de ferrovanadium. Il existe également un potentiel pour le stockage d'énergie relié à la filière batterie, notamment pour les piles à flux redox au vanadium. Ce minerai est également important pour certaines technologies de pointe notamment l'impression 3D.

---

<sup>132</sup>

<https://www.forbes.com/sites/rrapier/2020/10/24/why-vanadium-flow-batteries-may-be-the-future-of-utility-scale-energy-storage/?sh=1f1171852305>

<sup>133</sup> The United States Geological Survey, 2021. Mineral Commodity Summaries. Lien: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>

## Analyse de la chaîne de valeur – étapes 4 et 5

### Étape 4 : Recyclage

#### Introduction

Alors que la demande en minéraux critiques et stratégiques devrait augmenter de manière importante durant la prochaine décennie, animée par une augmentation de la filière des batteries et d'autres composantes technologiques, un approvisionnement suffisant, stable, éthique et de qualité deviendra un enjeu de taille pour les utilisateurs finaux. Que ce soit pour des raisons géostratégiques, économiques, environnementales ou éthiques, le recyclage des minéraux critiques deviendra une nécessité, ce qui ouvre la voie à d'importantes opportunités d'affaires.

D'abord, pour des considérations environnementales (diminution des émissions de CO<sub>2</sub> et des autres polluants), ayant notamment soutenu l'essor de l'électrification des transports, le recyclage à grande échelle des minéraux critiques et stratégiques sera nécessaire afin de réduire l'impact environnemental des industries utilisatrices. Dans le cas précis des batteries au lithium utilisées dans le secteur du transport, elles sont considérées comme des matières dangereuses lorsqu'elles atteignent la fin de leur vie qui, sans un traitement approprié et propre, peuvent causer des problèmes de santé publique et d'environnement. Dans ce contexte, l'ensemble des acteurs de la filière des batteries et du transport auront tout intérêt à assurer une gestion adéquate des batteries.

Sur le plan géostratégique, le recyclage représente une opportunité de créer son propre « gisement » afin de réduire une dépendance trop importante vis-à-vis certaines juridictions. Selon une étude réalisée par KPMG<sup>134</sup>, la croissance de la demande en matières premières pour la fabrication de batteries lithium-ion devra être comblée par l'approvisionnement issu du recyclage. Ce sera notamment le cas pour le nickel, le graphite et le lithium utilisés dans les batteries. Le recyclage et la valorisation représentent une occasion pour le Québec de devenir un fournisseur de minéraux critiques qui ne se trouvent pas nécessairement dans le sous-sol québécois.

Le recyclage du lithium devrait connaître une croissance importante, car la demande de véhicules alimentés par des batteries au lithium continue d'augmenter. La plupart des fabricants offrant une garantie de cinq à huit ans sur les batteries, le potentiel du recyclage sera libéré lorsque les stocks actuellement sur le marché seront remplacés. En 2020, le Québec comptait un peu moins de 100 000 véhicules, alors que l'objectif de la province est d'avoir 1,5 million de véhicules électriques sur les routes d'ici 2030. Parallèlement, une demande en véhicules électriques en Asie, plus forte qu'ailleurs dans le monde, a pour conséquence d'entraîner un transfert graduel des ressources minières vers ces pays pour être transformées sous forme de batteries lithium-ion. Dans le cas de la batterie, les minéraux demeurent généralement dans le pays de la dernière utilisation, à moins qu'ils soient récupérés par des acteurs étrangers. Ainsi, l'Asie pourrait contrôler une grande partie des ressources essentielles au secteur des véhicules électriques sous forme de matières recyclées.

#### Différents canaux permettant le recyclage des MCS

Dans sa stratégie sur la valorisation des minéraux critiques et stratégiques, le gouvernement du Québec a retenu le recyclage comme une avenue porteuse pour soutenir le développement de la chaîne de valeur.

On relève quatre canaux permettant le recyclage et la valorisation de minéraux critiques :

##### 1. La valorisation de résidus miniers

Les exploitations minières produisent chaque année des quantités considérables de résidus miniers sous forme de roches stériles et de résidus d'usines de traitement. Ils sont composés de particules rocheuses finement broyées de la taille du sable ou de silts, mélangées à de l'eau et aux réactifs de traitement au cours du processus de broyage. Bien souvent, ces résidus contiennent des minéraux,

<sup>134</sup>Propulsion Québec. 2019. Filière des batteries lithium-ion. Lien: <https://propulsionquebec.com/wp-content/uploads/2019/09/RAPPORT-BATTERIES-LITHIUM-ION.pdf?download=1>.

dont des MCS, qui pourraient être valorisés. Cette valorisation des résidus miniers pourrait permettre de diminuer la quantité de ces résidus entreposés à la surface et conséquemment les coûts de gestion et de restauration, l'empreinte environnementale et les risques environnementaux associés aux empilements<sup>135</sup>.

À titre d'exemple, les haldes de résidus de la région de Thetford provenant de l'exploitation des anciennes mines contiennent du magnésium métallique. On y retrouve des teneurs de plus de 25 %, alors que la moyenne contenue dans la croûte terrestre est d'environ 2 %. Ces teneurs représentent à elles seules une valeur de plus de 400 G\$ CA<sup>136</sup>.

Les difficultés liées à cette valorisation sont cependant nombreuses, l'une des principales étant que ces résidus sont généralement composés de particules très fines agglomérées ou regroupées avec d'autres particules, et qu'ils pourraient ainsi s'avérer difficiles à traiter à l'aide de techniques de production minière classiques. De plus, ces résidus contiennent souvent des éléments dangereux (ex. : le mercure ou l'arsenic) qui requièrent l'emploi d'une approche globale pour réduire le risque associé à chacun des éléments, sans compter que le volume de résidus est extrêmement élevé. Une aire de stockage de résidus miniers peut contenir jusqu'à 150 millions de tonnes de matières à traiter. Pour toutes ces raisons pratiques et d'autres encore, l'adoption des techniques de retraitement des résidus miniers s'est faite relativement lentement, jusqu'à maintenant tout au moins<sup>137</sup>. Dans les dernières années, certaines entreprises québécoises ont développé des techniques permettant de mettre en valeur les résidus afin d'en retirer des minéraux critiques. C'est le cas de 5N Plus, Alliance Magnésium de Magnésium Technologies Recyclés (MTR) et de MagOne qui sont les seuls au monde, au moment d'écrire ce rapport, à produire de du magnésium propre.

De façon générale, la valorisation des résidus des anciennes mines offre plusieurs avantages : réutilisation de substances déjà extraites, réduction du volume des résidus à restaurer et possibilité de générer de l'activité économique importante pour les régions.

## **2. La valorisation des minéraux contenus dans des composantes et des produits de consommation divers**

Les minerais critiques sont utilisés dans divers équipements électroniques. À la fin de leur vie utile, il est tout à fait pertinent d'envisager ces déchets comme une ressource stratégique. Ce dernier point est d'autant plus important puisque l'économie circulaire prend de l'ampleur, alors que plusieurs juridictions encouragent le recyclage des batteries, des véhicules et des déchets électroniques. Or, la récupération des minéraux contenus dans les produits électroniques et les alliages peut être complexe et les procédés peuvent être spécifiques à chaque application. Par exemple, les procédés de recyclage des batteries lithium-ion ne sont pas les mêmes que le recyclage des aimants permanents d'éoliennes ou de moteurs électriques.

Au Québec, on retrouve des initiatives visant à développer de nouveaux procédés ou de nouvelles technologies dans le marché du recyclage, dont le projet de Recyclage Lithion (recyclage de batteries lithium-ion par procédé hydrométallurgique) et Ressource Géoméga (recyclage des terres rares contenues dans les aimants par la technologie *ISR Innord's Separation of Rare Earths*). Ressource Géoméga est considérée comme la première usine de recyclage d'aimants de terres rares à l'extérieur de l'Asie. Selon Kiril Mugerma, président de la compagnie, chaque année, plus de 160 000 tonnes d'aimants sont utilisées sur la planète dans les moteurs électriques, éoliennes, téléphones et laveuses. Encore méconnu, le marché de l'aimant est évalué à 1,2 milliard \$ dans le monde. De plus en plus d'entreprises commencent à recycler les aimants contenus dans différents

<sup>135</sup> Canadian Science publishing, 2020. Revue de la réglementation sur la valorisation des résidus miniers hors site au Québec. <https://cdnsiencepub.com/doi/10.1139/er-2018-0116>.

<sup>136</sup> Région de Thetford, 2021. Demande d'un Plan stratégique de développement et de valorisation des résidus miniers. Lien : <https://www.regionthetford.com/fr/actualite-details/2021/01/21/demande-d-un-plan-strategique-de-developpement-et-de-valorisation-des-residus-miniers/>.

<sup>137</sup> Gouvernement du Canada, 2019. La valorisation des résidus miniers : un procédé susceptible de changer les règles. Lien : <https://www.mcan.gc.ca/la-science-simplifiee/articles/la-valorisation-des-residus-miniers-un-procede-susceptible-de-changer-les-regles/21945>.

appareils électroniques pour tirer profit de ce marché. De plus, ces deux compagnies s'inscrivent parfaitement dans une logique d'économie circulaire et constituent un atout majeur pour le Québec afin de renforcer son positionnement dans l'électrification des transports.

### **3. Le recyclage de la ferraille**

La filière de recyclage du fer au Québec est bien établie, mais consiste en plusieurs petites entreprises avec leurs canaux de collection, ce qui rend la collecte de leurs données et la documentation des activités plus difficile. Selon une étude réalisée en 2017 par l'Institut EDDEC et financée par le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec, près de 40 % du fer envoyé en fin de vie au Québec est recyclé dans la province, 53 % est exporté vers d'autres régions et 7 % terminent dans des sites d'enfouissement. De plus, l'étude rapporte que ce sont 1 140 kilotonnes de fer qui sont annuellement envoyées vers l'élimination au Québec (p.ex. enfouissement, résidus miniers entreposés). Quoique ces quantités s'avèrent faibles, leur accumulation au fil des ans représente un stock de fer considérable qui pourrait être recyclé par l'économie québécoise<sup>138</sup>.

Les freins à un recyclage local sont essentiellement liés au tri des alliages, aux distances de transport de la ferraille et à son prix de vente.

### **4. Le recyclage des retailles d'alliages industriels de produits contenant des minéraux critiques et stratégiques**

Pour les produits industriels métalliques à haut volume de production, il peut devenir concevable d'établir un circuit en boucle fermée et circulaire permettant de recycler les produits alliés. Parmi ceux-ci, on peut penser aux produits finis commercialisés sous différentes formes de production primaires, tels que le cuivre, le dioxyde de titane, le zinc, le magnésium et le nickel, entre autres. Lorsque les transformateurs de ces produits primaires en produits secondaires taillent ces produits pour en faire des produits commerciaux, des retailles non utilisées sont souvent générées. Dans plusieurs cas, ces retailles sont simplement envoyées vers une fonderie locale qui ne produit pas les mêmes alliages, donc la valeur de la recette d'alliage est perdue dans le processus de recyclage.

Dans une chaîne de valeur mature et optimisée, on pourrait entrevoir le réacheminement de ces retailles de produits alliés au producteur initial pour qu'il réintroduise le métal allié dans la production de ses recettes de production primaire. Le client pourrait ainsi mieux valoriser ces rebuts alors que le producteur pourrait venir réduire son empreinte écologique en réintroduisant le métal dans le procédé de production, économisant de 80 % à 95 % de l'énergie requise pour produire le métal.

#### **Des produits complexes à recycler**

Outre les considérations économiques, le recyclage de MCS est confronté à des obstacles techniques et physiques. Pour des raisons chimiques, les métaux ont une compatibilité plus ou moins grande les uns avec les autres. Ainsi, au sein d'une filière de recyclage, les métaux présents en faibles quantités et incompatibles avec les métaux cibles ne pourront pas tous être recyclés dans le procédé employé par l'entreprise. Cette organisation des circuits traditionnels de recyclage est caractéristique d'une approche centrée sur le matériau : ce qui importe est la quantité et la pureté du minéral cible récupéré en bout de chaîne, souvent un des métaux porteurs. Malheureusement, les produits sont de plus en plus miniaturisés et complexes : si les concentrations en métaux y sont bien plus fortes que dans les gisements naturels, le minerai secondaire est beaucoup plus hétérogène, et rarement compatible avec un recyclage direct.

Le tableau suivant présente la liste des acteurs confirmés dans le recyclage des MCS au Québec. Récemment un nouveau projet de recyclage de batterie a été annoncé par la compagnie St-Georges Eco-Mining. Cette usine se situerait dans la région de Baie-Comeau.

---

<sup>138</sup> Institut EDDEC (2017), Analyse de flux de matières du cuivre, du fer et du lithium. Lien : <https://mern.gouv.qc.ca/publications/mines/AFM-cuivre.pdf>



**Tableau 40 : Cartographie des acteurs confirmés de l'étape 4 au Québec**

Procédé principal	Compagnie	Minerais recyclés	Capacité annuelle
Recyclage de batteries par procédé mécanique/hydrométallurgique	Li-Cycle (Ontario) <sup>139</sup>	Lithium	5 000 tonnes
Recyclage de batteries par procédé hydrométallurgique	Recyclage Lithion	Cobalt, lithium	200 tonnes
Recyclage d'équipements électroniques en fin de vie contenant du cuivre	Fonderie Horne (Glencore)	Cuivre, or, argent, platine et palladium	Non disponible
Traite des résidus industriels par un procédé pyrométallurgique	Solumet	Nickel, cobalt	Non disponible
Résidus miniers	Alliance Magnésium	Magnésium	50 000 tonnes
Recyclage de différents produits contenant des métaux	Société des métaux recyclés	Cuivre	Non disponible
Recyclage de différents produits contenant des métaux	Acier Century	Cuivre	Non disponible
Recyclage de différents produits contenant des métaux	Globe Metal	Multiples	Non disponible
Recyclage des rebuts de magnésium provenant des fonderies	Magnesium Technologies Recycles (MTR)	Magnésium	10 000 tonnes (production visée)
Recyclage des produits du vanadium, du tantale et des éléments des terres rares	Electrochem Technologies & Materials	Vanadium, tantale, terres rares	Non disponible
Recyclage de différents produits contenant des métaux	Multi recyclage	Métal ferreux et non ferreux	Non disponible
Résidus miniers	5N Plus	Multiples	Non disponible
Recyclage des résidus d'aimants	Ressource Géoméga	Terres rares	Non disponible

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

Les ambitions en matière d'électrification des transports du gouvernement du Québec auront un impact majeur sur la chaîne de valeur de l'industrie et notamment sur la gestion des batteries des véhicules électriques. Selon une étude de Propulsion Québec, on estime qu'entre 3 et 7 milliers de tonnes de batteries auront atteint leur fin de vie d'ici 2025 au Québec et que ce volume pourrait atteindre entre 43 et 90 milliers de tonnes pour le Nord-Est américain. Selon la même étude, le Québec pourrait répondre à la future demande de recyclage avec des capacités d'environ 10 milliers de tonnes pour le Québec d'ici 2024 alors qu'elles atteindront 21 milliers de tonnes dans le Nord-Est américain<sup>140</sup>. Néanmoins, rien n'indique que le Québec détient un avantage par rapport aux juridictions avoisinantes (l'Ontario ou le nord-est des États-Unis). Ainsi la possibilité de mettre en place des capacités de recyclage rapidement et de développer les technologies robustes, efficaces et économiquement viables seront critiques pour

<sup>139</sup> Bien que cette entreprise soit située en Ontario, elle a été retenue étant donné son niveau d'avancement technologique et du fait qu'à court et moyen terme il pourrait s'agir d'un site important pour le recyclage des batteries québécoises.

<sup>140</sup> Propulsion Québec, 2020. Étude sur l'application d'un mécanisme de responsabilité élargie des producteurs pour les batteries au lithium-ion des véhicules électriques au Québec. Lien : <https://propulsionquebec.com/wp-content/uploads/2020/11/ETUDEREPR-FR-FINAL-WEB.pdf?download=1>

assurer un bon positionnement dans l'industrie surtout si l'objectif est de produire des matières pouvant être utilisées dans la chaîne de production de cellules.

Une autre avenue de potentiel réside dans l'établissement d'une stratégie d'extension de capacités de recyclage actuelles et de produire des minéraux recyclés qui ne soient pas nécessairement de grade batterie. Par exemple, des entreprises telles que Solumet possèdent des technologies dites de pyrométallurgie qui leur permettent de recycler le cobalt et le nickel pouvant être utilisés dans la fabrication de l'acier inoxydable. Ainsi, le Québec pourrait mettre en place une stratégie d'expansion des capacités existantes, bien établies et détenant une clientèle existante, afin de se positionner rapidement sur le marché du recyclage des batteries.

Afin de capter la valeur économique tout en limitant les risques pour l'environnement, il est nécessaire de réfléchir dès maintenant à des mécanismes de contrôle afin d'encadrer la gestion des batteries en fin de vie. Dans cet esprit, de plus en plus de pays ont recours au mécanisme de responsabilité élargie des producteurs (REP), déjà préconisé au Québec pour d'autres matières comme les piles domestiques et les déchets électroniques. Ce mécanisme permet notamment de structurer et de définir les responsabilités des principaux intéressés dans les étapes de collecte, de tri, de conditionnement et de recyclage. De plus, dans une optique d'économie circulaire, l'implantation de la REP pourrait favoriser le développement de l'expertise locale en matière de recyclage puisqu'elle favorise prioritairement le traitement local et régional au travers d'un cadre réglementaire. Toujours selon l'étude de Propulsion Québec, la mise en place de la REP permettrait au Québec de consolider son portefeuille d'expertises en matière d'électrification des transports, et il s'agirait d'un pilier pour aider la province à se positionner sur le marché nord-américain pour ce qui est du recyclage des batteries<sup>141</sup>.

## **Étape 5 : Restauration et sécurité de territoire**

### **Introduction**

Les acteurs actifs à l'étape 5 de la chaîne de valeur couvrent notamment trois grands types d'activités pour tous les types de minéraux : la sécurité liée aux accidents et aux urgences environnementales, la gestion des déchets et des eaux contaminées et la réhabilitation environnementale.

### **Sécurité**

Les urgences minières et métallurgiques peuvent être définies comme opérationnelles (ex. : les risques liés aux défaillances des pipelines ou des transports), environnementales (ex. : les catastrophes naturelles ou les affaissements de terrain) ou sociales (ex. : les conflits politiques ou les troubles communautaires)<sup>142</sup>.

Les risques environnementaux sont présents à chaque étape du processus d'exploitation minière à ciel ouvert. L'exploitation minière en roche dure expose des roches qui sont restées inexploitées pendant des ères géologiques. Lorsqu'elles sont broyées, ces roches exposent des éléments radioactifs, des minéraux semblables à l'amiante et des poussières métalliques. Lors de la séparation, des boues résiduelles de roche, qui sont des mélanges de roche pulvérisée et de liquide, sont produites en tant que résidus. Les éléments toxiques et radioactifs de ces liquides peuvent s'infiltrer dans la roche mère s'ils ne sont pas correctement contenus<sup>143</sup>.

L'exploitation minière souterraine présente un risque d'effondrement des tunnels et d'affaissement du sol. Elle implique des mouvements à grande échelle de stériles et de végétation, comme l'exploitation à ciel ouvert. De plus, comme la plupart des formes traditionnelles d'exploitation minière, l'exploitation minière souterraine peut libérer des composés toxiques dans l'air et dans l'eau.

Si les sociétés minières peuvent disposer de leur propre plan d'intervention interne pour faire face aux situations d'urgence (en fonction des exigences de l'industrie et des pouvoirs publics), des partenaires

---

<sup>141</sup> Idem

<sup>142</sup> International Council on Mining & Metals (ICMM). Lien : <https://www.icmm.com/>

<sup>143</sup> Mission 2016: Strategic Mineral Management, 2016. Lien : <http://web.mit.edu/12.000/www/m2016/finalwebsite/>

clés spécialisés dans la gestion de ce type d'incidents sont nécessaires pour mener à bien les opérations. Les partenaires spécialisés dans les incidents environnementaux peuvent aider de manière préventive les exploitants miniers à élaborer des plans d'intervention en cas d'incident et intervenir en premier lieu en cas d'urgence.

### **Gestion des eaux/déchets miniers**

L'exploitation minière produit beaucoup de déchets qui doivent être traités correctement. Une mauvaise élimination des déchets miniers entraînera une pollution de l'air, du sol et de l'eau.

Lorsque l'eau absorbe des concentrations nocives de minéraux et de métaux lourds, elle devient contaminée. L'exploitation minière peut augmenter l'acidité de l'eau dans les cours d'eau, provoquer une augmentation des charges de sédiments, dont certains peuvent être chargés de métaux, dans les bassins de drainage, provoquer la formation de poussières avec des agents pathogènes transportés par le vent et entraîner le rejet de produits chimiques toxiques, certains contenus dans les corps minéralisés exposés et les amas de stériles et d'autres dérivés des réactions de traitement du minerai. Les contaminants contenant des produits chimiques toxiques tels que le cyanure et le plomb peuvent être transportés loin d'un site minier par l'eau ou le vent, polluant les sols, les eaux souterraines, les rivières et l'atmosphère. Ces produits chimiques toxiques peuvent être exposés par intermittence (p.ex. : par des vents intenses ou des tempêtes de pluie) et finalement distribués sur de vastes régions<sup>144</sup>.

Les déchets miniers solides se présentent sous différentes formes. De grandes masses de sol et de roche initiales sont enlevées pour accéder aux gisements de minéraux. En général, il faut déplacer environ cinq tonnes de morts-terrains pour extraire une seule tonne de minerai. L'exploitation des morts-terrains n'est soumise à aucun processus chimique, mais il faut tout de même enlever les morts-terrains pour atteindre les minerais. On les gère généralement en les empilant sur la surface voisine du site minier, où ils ne gêneront pas les opérations en cours. La gangue est le déchet rocheux qui est mélangé au minéral précieux et qui doit être traité. La séparation du minéral de la gangue est connue sous le nom de traitement des minéraux. Les résidus résultant d'un traitement répété sont souvent considérés comme des déchets. Enfin, il y a les résidus miniers qui sont des roches finement broyées et des déchets minéraux résultant du traitement des minéraux. Ils peuvent contenir des concentrations de produits chimiques de traitement. Ils constituent une préoccupation environnementale, c'est pourquoi un transport et une élimination appropriés sont cruciaux.

Les autorités locales et le public surveillent de près les méthodes d'élimination des résidus des sociétés minières. Dans le passé, l'élimination inappropriée des résidus miniers a entraîné des dommages environnementaux. C'est pourquoi des partenaires locaux spécialisés dans la gestion des déchets et de l'eau sont indispensables pour l'exploitation des mines.

### **Réhabilitation environnementale**

L'exploitation minière est un processus intrinsèquement invasif qui peut causer des dommages à un paysage dans une zone beaucoup plus vaste que le site minier lui-même. Les effets de ces dommages peuvent se poursuivre des années après la fermeture d'une mine, notamment l'ajout de gaz à effet de serre, la mort de la flore et de la faune et l'érosion des terres et des habitats. La réhabilitation des mines modernes vise à minimiser et à atténuer les effets environnementaux de l'exploitation minière moderne, qui peut, dans le cas d'une exploitation à ciel ouvert, impliquer le déplacement d'importants volumes de roche<sup>145</sup>.

Ce qui se passe sur un site après sa fermeture est ce qui définit son impact à long terme sur le développement social, économique et institutionnel d'une région. Une approche intégrée de la fermeture prend en compte les considérations environnementales, économiques et sociales dès le début et tout au long de la vie d'un site minier.

---

<sup>144</sup> Canadian Mining Magazine, 2020. Understanding Mining Waste Management and Disposal Methods. Lien: <http://canadianminingmagazine.com/understanding-mining-waste-management-and-disposal-methods/>

<sup>145</sup> Mission 2016: Strategic Mineral Management, 2016. Lien: <http://web.mit.edu/12.000/www/m2016/finalwebsite/>

Les sociétés minières sont régies par plus d'une centaine de lois et de règlements environnementaux, assurant des restrictions aux activités minières au Québec. Au-delà de cet encadrement, l'environnement est au cœur des préoccupations de l'industrie minière québécoise, qui mise sur l'innovation pour développer de nouvelles techniques d'exploration et d'extraction permettant de limiter les impacts sur l'environnement, du début des opérations jusqu'à la fermeture de la mine et la réhabilitation du site. Toute entreprise minière qui effectue des travaux d'exploration et d'exploitation minière doit soumettre un plan de restauration des terrains affectés pour approbation auprès du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN). Cette approbation est conditionnelle à la réception d'un avis favorable du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC)<sup>146</sup>.

Le Conseil international des mines et métaux (ICMM) a mis au point une boîte à outils pour la fermeture des mines misant sur la planification intégrée de la fermeture, qui vise à promouvoir une approche plus disciplinée et à accroître l'uniformité des bonnes pratiques dans le secteur. La boîte à outils couvre l'ensemble du cycle de vie de la mine. Elle rassemble des outils existants (ex. : la trousse à outils de développement communautaire) et des outils pour les questions spécifiques à la fermeture. Cela dit, la disponibilité d'acteurs spécialisés dans la réhabilitation des sites miniers est essentielle pour atteindre les objectifs nationaux et provinciaux.

### Potentiel pour le Québec

Afin de bénéficier du potentiel de croissance lié aux MSC et au développement de leur chaîne de valeur, le Québec se doit de mettre en place un cadre réglementaire qui vise la protection du territoire, de l'environnement et des travailleurs. En effet, et tel que mentionné à quelques reprises dans ce rapport, le caractère éthique liée à la production des MSC est un élément hautement stratégique pour un positionnement favorable au sein de l'échiquier mondial. Les investisseurs et les utilisateurs finaux de ces minéraux sont intéressés non seulement aux rendements ou aux bas prix, mais également à limiter les dommages liés aux risques réputationnels que pourraient entraîner un approvisionnement non-éthique. Ainsi, le Québec détient un avantage grâce à son cadre réglementaire et que le caractère éthique de l'exploitation minière au Québec devrait être mis de l'avant. Plus de détails à cet effet seront présentés dans le Rapport 2.

**Tableau 41 : Cartographie des acteurs identifiés de l'étape 5 au Québec**

Activité principale	Compagnies
Sécurité	Amnor
	Environnement Rive-Nord
	Signaterre Environnement
	Northex Environnement Inc.
Gestion des eaux et des déchets miniers	Nordikeau
	Nvira
	Northex Environnement Inc.
	RSI Environment
Réhabilitation environnementale	Sanexen
	Groupe Laganière
	Valusol

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises. Analyse PwC.

<sup>146</sup> Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Restauration minière. Lien : <https://mern.gouv.qc.ca/mines/restauration-miniére/>



# ANNEXE

# Annexe A : Limites d'utilisation

1. Le Rapport est fourni uniquement pour votre usage aux fins énoncées dans l'appel d'offre AOP MEI-P256 et ne doit pas être utilisé à d'autres fins. Nous n'acceptons aucune responsabilité pour les dommages résultant d'une utilisation non autorisée ou inappropriée du Rapport.
2. Le lecteur de ce Rapport comprend que le travail effectué par PwC a été effectué conformément aux instructions que vous avez fournies et a été effectué exclusivement pour votre seul bénéfice et usage.
3. Le lecteur de ce Rapport reconnaît que ce Rapport a été préparé selon vos instructions et peut ne pas inclure toutes les procédures jugées nécessaires aux fins du lecteur.
4. Le lecteur convient que PricewaterhouseCoopers LLP, ses partenaires, directeurs, employés et agents ne doivent ni n'acceptent aucune obligation ou responsabilité envers lui, que ce soit dans le cadre du contrat ou d'un délit (y compris, sans limitation, la négligence et le manquement à l'obligation légale), et ne seront pas responsables en ce qui concerne toute perte, dommage ou dépense de quelque nature que ce soit qui est causé par toute utilisation que le lecteur peut choisir de faire de ce Rapport, ou qui est autrement consécutif à l'accès au Rapport par le lecteur. Le Rapport doit être considéré dans son intégralité par le lecteur, car la sélection et le fait de ne s'appuyer que sur des parties spécifiques des analyses ou des facteurs que nous considérons, sans la considération de tous les facteurs et les analyses dans leur ensemble, pourraient créer une vision trompeuse des processus sous-jacents à cette analyse et des conclusions qui en découlent. La préparation d'un modèle d'analyse est un processus complexe et il n'est pas approprié d'extraire des analyses partielles ou de faire des descriptions sommaires. Toute tentative en ce sens pourrait conduire à mettre indûment l'accent sur un facteur ou une analyse en particulier.
5. Nous nous réservons le droit (mais ne serons pas tenus) d'apporter des révisions au Rapport si nous avons connaissance de faits existant à la date de ce Rapport, mais dont nous ignorons l'existence lorsque nous avons préparé le Rapport.
6. Nous nous sommes appuyés sur l'exhaustivité, l'exactitude et la présentation fidèle de toutes les informations financières, données, conseils, opinions ou représentations obtenues de sources publiques et de vous. Nous n'avons effectué aucun audit ou examen, ni demandé une vérification externe des informations que vous nous avez fournies ou de celles qui ont été extraites de sources publiques. Nous n'acceptons aucune responsabilité pour toute perte occasionnée par une partie prenante en raison de notre confiance dans les informations financières et non financières qui nous ont été fournies ou trouvées dans le domaine public.
7. Aucune information contenue dans le présent Rapport ne doit être interprétée comme une interprétation juridique, une opinion sur un contrat ou un document, ou une recommandation d'investissement ou de désinvestissement.
8. Les personnes qui ont rédigé le Rapport l'ont fait au meilleur de leurs connaissances, en agissant de manière indépendante et objective.
9. La rémunération de PwC n'est subordonnée à aucune action ou événement résultant de l'utilisation du Rapport.



Agir avec  
intégrité



Faire une  
différence



Être attentif  
aux autres



Travailler  
ensemble



Réinventer  
le possible

## Qui nous sommes

Chez PwC Canada, plus de 7 850 associés et employés offrent des services de qualité en certification, en fiscalité, en conseils et en transactions à l'échelle du pays. PwC Canada est membre du réseau mondial PwC qui compte plus de 276 000 employés dans 158 pays.

Pour en apprendre davantage, consultez notre site Web à l'adresse [www.pwc.com/ca](http://www.pwc.com/ca).

## Notre mission, notre vision et nos valeurs

La culture de PwC Canada repose sur deux piliers importants : notre mission et notre vision.

Notre mission est de donner confiance au public et de résoudre des problèmes importants. Notre mission guide nos décisions et nourrit nos conversations.

Notre vision consiste à « créer des leaders, inspirer, rassembler des idées afin d'accomplir ce qui compte le plus ». Notre vision reflète qui nous sommes et ce que nous voulons être.

Pour réaliser notre mission et notre vision, nous nous appuyons sur nos valeurs : agir avec intégrité, faire une différence, être attentif aux autres, travailler ensemble et réinventer le possible. Nous partageons nos valeurs qui définissent nos comportements et notre façon de travailler avec nos clients, notre communauté et nos collègues.

## Nouveau monde. Nouvelles compétences.

La vitesse des changements technologiques et le manque de personnel qualifié créent un écart sans cesse croissant entre les compétences actuelles des travailleurs et celles requises dans ce nouveau monde. Il est urgent que les organisations, les gouvernements, les enseignants et les citoyens s'unissent pour résoudre ce problème qui s'aggrave. PwC Canada s'engage à investir 150 millions de dollars au cours des trois prochaines années pour perfectionner les 7 850 membres de son personnel afin qu'ils soient prêts pour l'avenir et qu'ils puissent partager leurs connaissances pour mieux servir les clients et les communautés. En plus de perfectionner son propre personnel, PwC Canada s'engage également à développer les compétences d'OSBL et d'un million de personnes au pays pour les aider à maximiser leur potentiel.

Pour en apprendre davantage, rendez-vous à [www.pwc.com/ca/newworldnewskills](http://www.pwc.com/ca/newworldnewskills).