

Portrait des chaînes de valeur des minéraux critiques et stratégiques - *Volet 2*

Retombées économiques et analyse des maillons à fort potentiel
Novembre 2021

Table des matières

Sommaire	1
Approche méthodologique	4
Retombées économiques actuelles	9
Analyse des maillons à fort potentiel	21
1. Électrification des transports et énergies renouvelables	23
2. Alliages et matériaux avancés	53
3. Technologies, télécommunications et défense	64
Annexes	73

Note aux lecteurs

Ce rapport est le deuxième volet d'une étude produite par PwC pour le ministère de l'Économie et de l'Innovation du Québec dont l'objectif est de dresser un portrait ainsi que de développer une meilleure compréhension des chaînes de valeur actuelles et futures liées aux minéraux critiques et stratégiques au Québec. Le lecture de ce rapport devrait se faire dans une compréhension générale des constats présentés dans le volet 1 de l'étude *Cartographie des chaînes de valeur des minéraux critiques et stratégiques*.

© PricewaterhouseCoopers LLP/s.r.l./s.e.n.c.r.l., une société à responsabilité limitée de l'Ontario, 2021. Tous droits réservés.
PwC s'entend du cabinet canadien, et quelquefois du réseau mondial de PwC. Chaque société membre est une entité distincte sur le plan juridique. Pour obtenir de plus amples renseignements, visitez notre site Web à l'adresse : www.pwc.com/structure.

Ces renseignements sont fournis à titre d'information seulement et n'ont pas pour objet de remplacer les conseils d'un professionnel.

Sommaire

Le Québec possède une fenêtre d'opportunité de se positionner comme un joueur important en Amérique du Nord, dans les domaines de l'électrification des transports et la décarbonisation de l'économie au travers des chaînes de valeur des minéraux requis, autant par l'extraction primaire que par le recyclage. De plus, l'établissement et l'augmentation des capacités de transformation permettraient le développement d'une filière de batteries électriques, une augmentation de la production d'alliages et de métaux avancés ainsi qu'une croissance de production dans les applications liées aux technologies et à la défense.

Groupe	Minéraux	Étape 1	Étape 2	Étapes 3 et 4
1. Électrification des transports et énergies renouvelables	Lithium	2020 : Aucune production 2025 : 1 163 000 t de spodumène de grade batterie (5 opérations)	2020 : Aucune production 2025 : 68 054 t ciblées (2 opérations) et parts de marché de 8 % ¹	2020 : Aucune prod. de batteries ou recyclage 2020 : Transfo. de CU à l'affinerie CCR
	Graphite	2020 : Production de 11 800 t de concentré de graphite 2025 : 257 615 t de concentré de graphite (6 opérations)	2020 : Production de graphène 2025 : Usine de transformation du graphite de grade batterie et : • 40 000 tonnes ciblées et parts de marché de 2,1 % ^{3,4}	2023 : Usine d'assemblage de batteries (Lion Électrique). Capacité de production prévue de 14 000 batteries/an 2023 : Usine de recyclage des batteries Li-ion ²
	Nickel Cobalt Cuivre	2020 : • Nickel : 148 500 t • Cobalt : N. D. ⁵ • Cuivre : 67 000 t 2025 : • Nickel : 187 500 t • Cobalt : 2 000 t • Cuivre : 75 800 t	2020 : • Nickel et cobalt : 0 • Cuivre : 182 000 t 2025 : • Nickel : Potentiel de transformation au Québec lié au nickel de «classe 1» de Dumont Nickel à plus de 40 000 t par an ⁶ . • Cobalt : 3 000 t , parts de marché de 1,5 % • Cuivre : 182 000 t , parts de marché de 0,7 %	2025+ : Étude pour usine de production de cellules par British Volt. Potentiel au Québec d'industrialisation de solutions de stockage Potentiel dans les composantes de batteries Augmentation de production du graphène à 10 000 t
2: Alliages et matériaux avancés	Magnésium Titane Scandium Vanadium	2020 : • Magnésium : 0 • Titane (ilménite) : 1 986 082 t • Scandium : 0 • Vanadium : 0 2025 : • Magnésium : 0 • Titane (ilménite) : 1 986 082 t • Scandium : 0 • Vanadium (ferrovanadium) : 830 000 t	2020 : • Magnésium : 0 • Oxyde de magnésium : 0 • Dioxyde de titane : 302 000 t • Scandium : 0 • Vanadium : 0 2025 : • Magnésium : 65 000 t , parts de marché de 6,5 % ⁷ . • Oxyde de magnésium : 93 000 t , parts de marché: 0,8 %	Utilisation de résidus miniers contenant de l'oxyde de magnésium comme matière première, pour produire des fertilisants (KSM) Recyclage des alliages de magnésium pour produire des lingots de magnésium (MTR) Recyclage des serpentines de Val-des-Sources pour produire du Magnésium

¹ Étant donné l'annonce de projets à venir, PwC estime un potentiel additionnel qui pourrait atteindre 124 500 tonnes de lithium transformé, ce qui permettrait d'atteindre des parts de marché de 22 %.

² Capacité de 7 500 t de matériaux de batteries pour une transformation équivalente à 20 000 batteries/an.

³ Marché mondial estimé à 1 900 000 tonnes en 2025.

⁴ PwC estime un potentiel additionnel compte tenu de l'état d'avancement des quatre projets d'exploration.

⁵ Le cobalt est actuellement exploité au Québec en tant que sous-produit de l'extraction du nickel. Les données quant aux volumes ne sont pas disponibles.

⁶ Basé sur une production de 39 000 de concentré à une teneur de 29 % de nickel vs. un teneur de 22 % dans le sulfate de nickel selon un entretien avec le Nickel Institute

⁷ Étant donné la disponibilité d'un stock important de résidus miniers contenant du magnésium et de la capacité technique à l'extraire, PwC estime un potentiel additionnel de production en fonction de la demande de magnésium.

			<ul style="list-style-type: none"> • Dioxyde de titane : 457 000 t, parts de marché de 6,0 %⁸ • Scandium : 3 t, parts de marché de 15 %⁹ • Vanadium : 5 500 t, parts de marché de 6,4 % 	Utilisation du titane et du vanadium dans les applications industrielles
3. Technologies, télécommunications et défense	Éléments de terres rares (ETR) Tellure	2020 : <ul style="list-style-type: none"> • ETR : 0 • Tellure : 0 2025 : <ul style="list-style-type: none"> • ETR : 29 450 t, parts de marché de 10,1 % • Tellure : 0 	2020 : <ul style="list-style-type: none"> • ETR : 0 • Tellure : parts de marché estimées à 50 % 2025 : <ul style="list-style-type: none"> • ETR : 500 t d'aimants transformés • Tellure : parts de marché estimées à 50 % 	Aimants recyclés et transformés en ETR Tellure extrait des résidus miniers

Impact économique total

Dans le cadre de ce rapport, nous avons développé une approche nous permettant d'estimer les retombées économiques actuelles (2016-2020) et futures (2021-2025) des chaînes de valeur identifiées sur l'économie du Québec.

Les retombées économiques portent sur les activités d'exploration, de construction de mines ou d'usines de première transformation, d'extraction et de traitement des minéraux (soit l'exploitation des mines) et la première transformation. L'ensemble de cette analyse se base sur les dépenses encourues telles que rapportées par les entreprises sondées ou par l'entreprise de publications disponibles publiquement. Ainsi, les retombées économiques présentées dans ce rapport se basent uniquement sur les projets pour lesquels nous disposons d'assez d'informations pour en estimer l'impact actuel et futur sur l'économie du Québec.

Ainsi, les projets inclus dans notre analyse de retombées économiques représentent un investissement total correspondant aux étapes de l'exploration et de la construction de 1,1 G\$ sur la période 2016-2020 et de 8,3 G\$ sur la période 2021-2025. Dans le cas des étapes de l'exploitation minière et de la première transformation, correspondant à des dépenses d'opérations récurrentes d'année en année, notre analyse considère 3,3 G\$ de dépenses actuelles (2020 étant l'année de référence) ainsi que 5,4 G\$ de dépenses futures (2025 étant l'année de référence).

Le tableau suivant présente la synthèse des retombées économiques totales (c.-à-d. la somme des impacts directs et indirects) pour l'ensemble des minéraux et projets considérés dans notre analyse.

	Exploration et construction (retombées totales sur la période)		Exploitation minière et première transformation (retombées annuelles)		
Ensemble du Québec	2016-2020	2021-2025	2020	2025	Augmentation (%)
Valeur ajoutée (en M\$)	693,3	5 101,2	1 978,6	3 362,4	+70 %
Emplois (années-personnes)	6 520	48 290	7 670	12 740	+66 %
Revenus gouvernement provincial (en M\$)	54,2	381,9	89,2	149,1	+67 %
Revenus gouvernement fédéral (en M\$)	52,7	753,8	83,1	287,7	+246 %

Source : Simulation ISQ à partir des résultats de sondage et des recherches secondaires, analyse PwC

Note : Les chiffres ayant été arrondis, la somme des éléments peut ne pas correspondre au total.

⁸ Étant donné le succès de l'usine pilote de Rio Tinto Fer et Titane qui a démontré la possibilité de récupérer l'oxyde de scandium à partir des sous-produits générés lors de la production de dioxyde de titane au complexe métallurgique de RTFT à Sorel-Tracy de façon économique, PwC estime qu'il y a un potentiel additionnel pour la transformation du titane et scandium au Québec.

⁹ Étant donné la disponibilité d'un stock important de résidus miniers contenant du scandium et de la capacité technique à l'extraire, PwC estime un potentiel additionnel de production en fonction de la demande de scandium.

Sur la période 2021-2025, nous estimons que les investissements en exploration et en construction des projets inclus dans notre analyse, s'ils sont effectivement réalisés, pourraient générer et supporter un total de 48 290 emplois non récurrents, ou près de 9 660 emplois par année. Ces dépenses sont également associées à une contribution au PIB de la province de l'ordre de 5,1 G\$ au cours de la même période. Cette contribution à l'économie québécoise est non négligeable et va bien au-delà de celle associée à la période 2016-2020. Notons que les retombées actuelles ont déjà été réalisées, alors que les retombées futures reposent sur des dépenses prévues sujettes à un nombre considérable de facteurs affectant la probabilité qu'elles se réalisent.

Si les projets inclus dans notre analyse sont bel et bien menés à terme, les étapes de l'exploitation minière et de la première transformation pourraient générer et supporter 12 740 emplois et contribuer au PIB de la province à la hauteur de 3,4 G\$ par année. Cela représente une hausse de l'emploi de 66 % et une hausse du PIB de 70 % comparativement au niveau actuel. Enfin, nous notons que ces impacts seront récurrents tout au long de la durée des projets miniers qui, dans la majorité des cas, va au-delà de 20 ans.

Approche méthodologique

Cette section présente les grandes lignes de l'approche méthodologique utilisée lors de l'élaboration du présent rapport. Cette approche, tout comme l'ensemble de ce rapport, se base essentiellement sur les résultats des travaux effectués dans le cadre du Rapport 1 ainsi que les grands constats qui en découlent, notamment la cartographie de l'écosystème des minéraux critiques et stratégiques (MCS) au Québec. Pour plus de détails sur l'approche méthodologique, veuillez vous référer aux annexes de ce rapport.

Résumé de notre approche

L'étude présente les retombées économiques liées aux étapes 1 et 2 de la chaîne de valeur des MCS. Quant aux étapes 3, 4 et 5, la nature même de ces activités ne nous permet pas d'isoler la fraction des opérations liée aux MCS. Par exemple, bien que le secteur de l'aérospatiale puisse être utilisateur des MCS pour la fabrication de certaines composantes (c'est-à-dire l'étape utilisateur), l'estimation des retombées économiques liées à l'utilisation des MCS demande l'élaboration d'un nombre d'hypothèses qui dépasse la portée de ce mandat. Un constat similaire peut être fait pour le volet du recyclage où aucune entreprise au Québec, au moment d'écrire ce rapport, ne concentre ses activités dans le recyclage des MCS. Ainsi, la majorité des activités économiques liées aux recyclages ne sont pas spécifiques aux MCS.

Par conséquent, seules les étapes 1 et 2 de la chaîne de valeur sont incluses dans l'analyse de retombées économiques de ce rapport. Afin de calculer les retombées économiques actuelles et futures de ces deux étapes sur l'économie du Québec, nous avons développé une approche en trois étapes. Notons que cette approche se limite au calcul quantitatif des retombées économiques des MCS, alors qu'une partie de ce rapport inclut une analyse qualitative du potentiel économique de ces MCS pour l'économie québécoise de demain. Dans le cas des analyses qualitatives, les détails de l'approche seront présentés dans le rapport.

1. Collecte de données

Pour chacune des entreprises identifiées dans la cartographie du Rapport 1, nous avons procédé à une collecte de données afin de recueillir des informations nécessaires à l'analyse des retombées économiques, notamment quant aux dépenses d'opérations et d'investissement liées aux MCS. Ces données ont été recueillies au moyen d'un sondage administré auprès des acteurs ciblés au cours de la période allant de février à mai 2021. Au total, ce sont 28 entreprises actives dans les étapes 1 et 2 qui ont répondu à notre sondage sur un total de 59 entreprises ciblées. Lorsque l'information était disponible, nous avons complété les données manquantes avec les données disponibles publiquement, ce qui porte le nombre total d'entreprises incluses dans notre rapport à 36.

Pour plus de détails sur notre collecte de données, incluant les entreprises incluses dans notre analyse, veuillez vous référer à l'Annexe D.

2. Analyse des retombées économiques quantitatives

À l'aide des informations recueillies lors des étapes précédentes, nous avons développé une approche nous permettant d'estimer les retombées économiques actuelles et futures des chaînes de valeur identifiées sur l'économie du Québec. Comme mentionné précédemment, cette méthodologie s'applique uniquement aux maillons 1 et 2 des chaînes de valeur, et ce, selon deux horizons temporels :

- **Retombées économiques actuelles** : Ces retombées incluent les dépenses effectuées au Québec liées à l'exploration minière et à la construction de mines et d'usines des entreprises ciblées au cours de la période 2016 à 2020. Ces retombées incluent également les dépenses d'opérations annuelles des entreprises qui opèrent dans les maillons de l'exploitation (extraction et traitement des minéraux) et de la première transformation pour une année représentative (2020). Ainsi, les dépenses incluses dans ces retombées sont des estimations de sommes déjà injectées dans l'économie du Québec au moment d'écrire ce rapport.
- **Retombées économiques futures** : Ces retombées reposent sur des estimations de dépenses à venir pour les entreprises ciblées au cours des cinq prochaines années, c'est-à-dire les sommes prévues pour l'exploration et la construction sur l'horizon 2021-2025. Pour les dépenses d'opérations, les retombées incluent les estimations de dépenses d'opérations annuelles des entreprises qui opèrent dans les maillons de l'exploitation et de la première transformation pour l'année 2025.

Les types de retombées analysées

L'étude se concentre sur les impacts économiques au Québec des diverses dépenses liées au développement et à l'exploitation des projets liés aux MCS. Ces impacts, dits « statiques », mesurent l'effet de cascade que produit l'injection d'une nouvelle dépense sur un territoire donné. Plus une économie sera intégrée, plus les retombées captées sur le territoire seront grandes.

Les impacts économiques sont segmentés en deux grands groupes, soit les effets directs et les effets indirects des dépenses réalisées :

- Les effets directs sont ceux qui résultent directement de la production de l'industrie en main-d'œuvre et en capital ainsi que des bénéfices bruts d'exploitation;
- Les effets indirects découlent des activités des entreprises fournissant des intrants aux fournisseurs de l'entreprise (en d'autres termes, les fournisseurs de ses fournisseurs).

Les impacts économiques directs et indirects ont été calculés à l'aide du modèle intersectoriel du Québec (MISQ) de l'Institut de la statistique du Québec (ISQ). Ce modèle est conçu pour simuler l'activité économique générée par un projet, une entreprise ou une industrie, et en mesurer les impacts directs et indirects sur le produit intérieur brut (PIB), les emplois et les revenus fiscaux.

Modélisation des impacts

Nous avons associé chaque maillon des étapes 1 et 2, plus précisément l'exploration, la construction d'une mine ou d'une usine de transformation, l'extraction du minerai et la première transformation, à une industrie ainsi qu'à un code SCIAN¹⁰, tel que nous le présentons dans le tableau ci-dessous.

Il faut noter que le caractère exhaustif lié à l'estimation des retombées économiques pour l'ensemble d'une industrie ne nous permettait pas de récolter des données détaillées sur les types de dépenses encourues (salaires, machineries, matériels, etc.) pour chaque projet individuellement, dans les temps impartis. Ainsi, nous avons distribué les montants totaux selon les structures de dépenses moyennes des industries telles qu'elles sont présentées dans les tableaux des ressources et des emplois publiés par Statistique Canada¹¹.

Tableau 1 : Méthodologie utilisée en fonction du maillon de la chaîne de valeur

Étape	Maillon	Nomenclature dans le rapport et code SCIAN associé
1	Territoire et prospection du potentiel minéral	Ces deux maillons sont regroupés pour former la catégorie « Exploration » pour les sections portant sur les retombées économiques. Cette catégorie englobe l'ensemble des activités d'exploration engendrées par les projets miniers ou les entreprises minières actives. Cette catégorie correspond à l'industrie des « Autres activités de soutien à l'extraction minière » (SCIAN 213119) ¹² .
	Exploration et mise en valeur	
	Construction et rodage	Ce maillon englobe les dépenses engendrées pour la construction d'une mine ou d'une usine dans le but d'exploiter un minerai ou de le transformer. Cette catégorie correspond aux dépenses moyennes de l'industrie minière en construction et en matériel et outillage. Aux fins de notre analyse, seules les dépenses de construction d'une nouvelle usine ou mine sont considérées, ainsi, les dépenses en capital que ferait un opérateur de mine ou d'usine afin d'améliorer les processus ne sont pas incluses.
	Exploitation et concentration	Les activités d'exploitation, de traitement et de concentration du minerai sont regroupées pour former la catégorie « Exploitation minière ». En fonction du MCS considéré, cette catégorie inclut les industries de l'« Extraction de minerais métalliques » (SCIAN 2122) et, dans le cas du graphite, non métalliques (SCIAN 2123). Ces industries incluent les activités d'extraction de minéraux ainsi que les opérations de traitement et d'enrichissement du minerai.
2	Traitement	

¹⁰ Le Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN) est un système de classification des industries qui a été conçu par les organismes statistiques du Canada, du Mexique et des États-Unis. Il est à la base de notre approche entrées-sorties.

¹¹ Les tableaux des ressources et des emplois retracent la production intérieure des biens et services par industrie, de pair avec les importations, jusqu'à leur utilisation par d'autres industries, ou de consommation finale, d'investissements ou d'exportations.

¹² Il est à noter que les retombées économiques liées à l'exploration minière ne tiennent pas compte des nombreuses allocations et mesures fiscales incitatives, offertes aux entreprises minières qui sont actives à l'étape de l'exploration des MCS.

Première transformation	La première transformation comprend les activités liées à la fonte et au raffinage des minéraux. Elle correspond à l'industrie de la « Première transformation des métaux » (SCIAN 331), qui inclut également la production d'alliages de métaux en utilisant divers produits chimiques. Comme cette industrie consomme des produits issus de l'étape précédente (exploitation), nous avons apporté les modifications nécessaires au modèle du MISQ afin d'éviter le double comptage et la surestimation de l'impact de cette industrie sur l'économie du Québec ¹³ .
-------------------------	--

Plus de détails sur le modèle entrées-sorties sont présentés aux Annexes B et C.

3. Regroupement des minéraux et présentation des résultats

Pour des raisons de protection de la confidentialité des données recueillies ainsi que par souci méthodologique, nous avons regroupé les MCS en fonction de leurs propriétés et applications communes. De plus, certains projets miniers sont associés à plus d'un MCS, ce qui rend difficile l'attribution des impacts économiques du projet à un seul MCS.

Ainsi, nous avons créé trois regroupements de minéraux afin de structurer la présentation des résultats de l'analyse de retombées économiques. Le tableau suivant présente les groupes que nous avons formés ainsi que leur justification :

1. **Le groupe des minéraux supportant la transition énergétique et l'électrification des transports.** Ce groupe contient les principaux minéraux critiques et stratégiques impliqués dans la production de batteries pour les véhicules électriques, permettant d'accélérer la décarbonisation de l'économie et de supporter la transition énergétique :
 - a. Le lithium : Le Québec dispose de plusieurs dépôts de type « roche dure » facilitant la transformation en hydroxyde ayant les meilleures propriétés de lithium de grade batterie, avec des projets en études avancées, en mode d'exécution ou de relance;
 - b. Le graphite : Une seule entreprise est en opération au Québec (Imerys Graphite and Carbon). L'entreprise exploite une mine à ciel ouvert à Lac-des-Îles et une usine de traitement à Terrebonne. De plus, il existe sur le territoire québécois plusieurs sites au stade de l'exploration ou à l'étude, avec des projets en mode pré-exécution et exécution, avec un potentiel de transformation dans le graphite de grade batterie;
 - c. Un groupe de minéraux dont les activités d'extraction sont interreliées (nickel, cobalt, cuivre, zinc, éléments du groupe platine, cadmium et indium) : Pour les usages traditionnels, le Québec compte actuellement quelques sites en opération dans l'extraction du nickel et de la transformation du zinc. La province compte également quelques projets d'extraction en étude avancée du nickel et du cobalt de grade batterie.
2. **Le groupe des alliages et matériaux avancés.** L'émergence de ces minéraux s'explique principalement par leur capacité à améliorer les propriétés des minéraux de base (aluminium, acier, fer). Ce groupe a également un potentiel dans le recyclage des résidus miniers et des métaux en circulation ainsi que la transformation de ceux-ci pour les revaloriser, entre autres, en magnésium et en scandium.
3. **Le groupe technologies et défense visant des applications spécifiques.** Le potentiel de ce groupe réside dans le recyclage des résidus miniers et des métaux en circulation ainsi que la transformation de ceux-ci pour les revaloriser, entre autres, le tellure et les éléments de terres rares.

¹³ Pour le calcul des retombées économiques, nous utilisons l'industrie de la première transformation des métaux afin de traduire l'ensemble des activités de transformation des entreprises en retombées économiques. Nous notons que certaines applications, notamment les matériaux de batteries, incluent des activités de transformation qui ne font pas partie de l'industrie que nous utilisons dans le cadre de cette méthodologie.

Tableau 2 : Regroupement des MCS

Groupe	Sous-groupe	Minerai	Justification
Groupe 1 : Transition énergétique et électrification des transports	A : Lithium	Lithium	Ressource de grade « batteries » au Québec
	B : Graphite	Graphite	Ressource de grade « batteries » au Québec
	C : Autres minéraux liés à la transition énergétique et à l'électrification des transports	Nickel, cobalt	Ressource de grade « batteries » au Québec
		Cuivre, zinc, éléments du groupe platine	Sous-produit du nickel ou de l'or
		Cadmium, indium	Sous-produit du zinc ou du cuivre
Groupe 2 : Alliages et matériaux avancés		Magnésium	Allègement du ratio force-poids
		Niobium	Renforce les alliages en acier inoxydable
		Scandium	Résistance à la traction et propriétés
		Tantale	Résistance à la fatigue et à la corrosion
		Titane	Résistance à la corrosion et densité
		Vanadium	Résistance aux chocs et à la corrosion
Groupe 3 : Technologies, télécommunication et défense		Antimoine	Inflammabilité des matériaux combustibles
		Bismuth	Composant écologique et non toxique
		Césium	Utilisé dans la technologie infrarouge
		Éléments des terres rares	Utilisés comme aimants permanents
		Étain	Soudure dans les semi-conducteurs
		Gallium	Utilisé dans les amplificateurs pour mobiles
		Tellure	Composant dans les cellules photovoltaïques

Hypothèses et limites de notre approche

Hypothèses de base

L'évaluation des retombées économiques présentée dans ce document s'appuie sur un certain nombre d'hypothèses de base. Les principales sont les suivantes :

- L'analyse est effectuée sur la base des coûts d'investissement des projets et des dépenses d'opérations fournis par les sociétés, soit par l'entremise du sondage soit par l'information disponible publiquement. PwC n'a pas audité ni validé les valeurs fournies par les répondants ou celles trouvées lors de nos recherches secondaires;
- L'analyse est effectuée à partir de la version la plus à jour du modèle intersectoriel de l'ISQ, basé sur les tableaux des ressources et des emplois de 2017. Les fonctions de production des secteurs productifs, les structures de dépenses des secteurs de la demande finale et les parts de marché représentent la réalité économique de 2017. Ainsi, les retombées économiques pourraient varier si la structure moyenne de l'économie changeait pendant la période analysée;
- Les salaires moyens des secteurs touchés sont ceux de l'année 2021 étant donné que les dépenses dans cette étude ont été prises en compte comme si elles se produisaient entièrement en 2021. La charge de main-d'œuvre comptabilisée dans cette étude correspond aux salaires moyens de l'année 2021, ce qui signifie que l'évaluation a été faite comme si les injections des dépenses avaient été faites entièrement en 2021;
- La matrice de taxation indirecte, utilisée pour la simulation de la présente étude, tient compte du régime fiscal de l'année 2021 avec la taxe sur les produits et services (TPS) à 5 % et la taxe de vente du Québec (TVQ) à 9,975 %;
- Les retombées calculées en ce qui a trait aux recettes fiscales sont brutes. Aucun appui gouvernemental n'est postulé. Les impacts nets pourraient différer selon l'existence ou non d'un appui financier de la part d'un palier de gouvernement.

Limites de notre approche

Le mandat confié à PwC comporte quatre grands défis qui doivent être soulignés d'emblée, notamment concernant les données utilisées pour l'analyse des retombées économiques :

- **Limites des données** : PwC s'est appuyé sur l'exhaustivité, l'exactitude et la présentation fidèle de toutes les informations et données obtenues auprès des entreprises consultées et des diverses sources de données, qui n'ont pas été auditées ou autrement vérifiées.
- **Limites de la collecte de données** : Étant donné les temps impartis pour la réalisation de cette étude, nous avons utilisé des vecteurs moyens de dépenses des secteurs d'activité pour distribuer les dépenses totales plutôt que de réaliser une collecte de données plus exhaustive.
- **Limites de la portée des résultats** : Les retombées économiques présentées dans ce rapport se basent uniquement sur les projets pour lesquels nous disposons d'une information suffisante pour en estimer l'impact actuel et futur sur l'économie du Québec.
- **Limites des retombées économiques futures** : Les retombées économiques futures se basent sur les estimations de dépenses d'opérations et d'investissement telles qu'elles ont été fournies par les entreprises via notre sondage ou des documents publics. PwC n'a pas audité la validité de ces données ni la probabilité que celles-ci soient réellement injectées dans l'économie au cours de l'horizon à l'étude.

Plus de détails sur les limites de cette étude sont présentés à l'Annexe A.

Retombées économiques actuelles

Dans cette section, nous présentons les résultats de notre analyse de retombées économiques liées aux dépenses des entreprises actives des étapes 1 et 2 de la chaîne de valeur des MCS au Québec. Plus précisément, les retombées économiques portent sur les activités d'exploration, de construction de mines ou d'usines de première transformation, d'extraction et de traitement des minéraux (soit l'exploitation des mines) et la première transformation. Ces retombées portent sur les dépenses encourues au cours de la période 2016 à 2020 pour les projets ciblés dans la cartographie.

Tout au long de cette section, nous présentons nos résultats selon le regroupement de minéraux présenté dans la section précédente et que nous représentons dans la figure suivante :

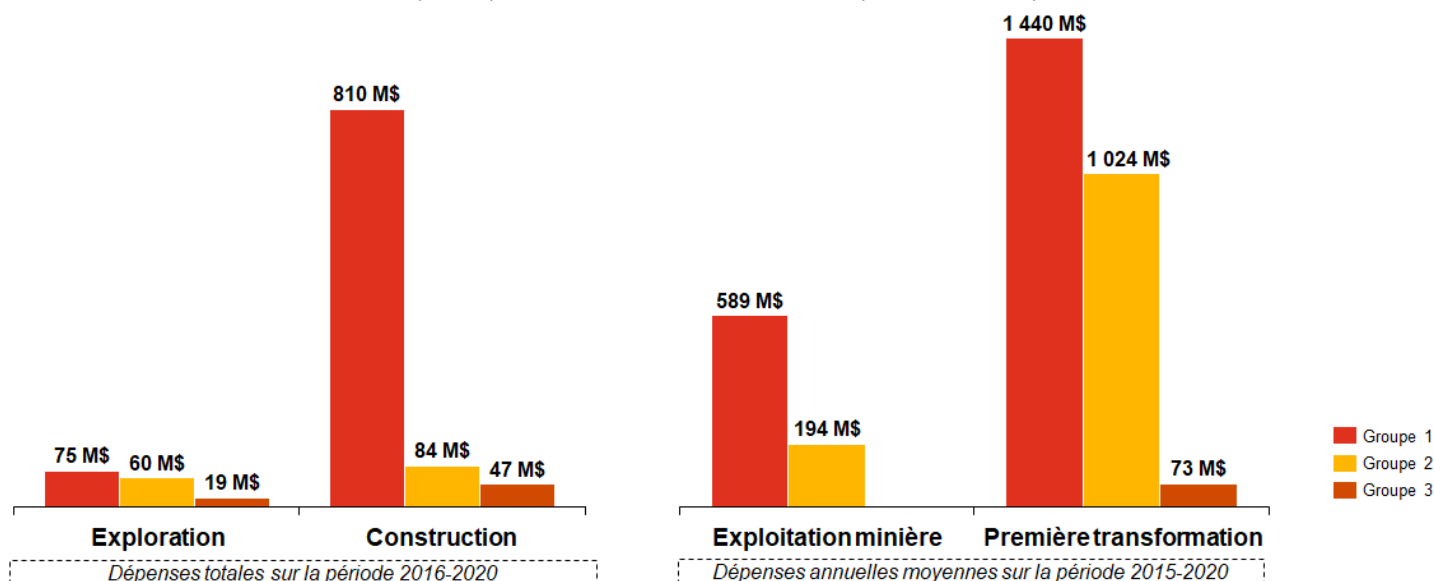
Groupe 1	Électrification des transports et énergies renouvelables	(A) Lithium
		(B) Graphite
		(C) Nickel, cobalt, cuivre, zinc, éléments du groupe platine, cadmium, indium
Groupe 2		Magnésium, niobium, scandium, tantale, titane vanadium
Groupe 3	Technologies, télécommunications et défense	Antimoine, bismuth, césium, éléments des terres rares, étain, gallium, tellure

Dépenses considérées dans notre analyse

La figure suivante présente les dépenses d'exploration, de construction et d'exploitation considérées dans nos estimations des retombées économiques selon le groupe de minéraux.

Figure 1 : Distribution des dépenses d'exploration, de construction, d'exploitation minière et de première transformation liées aux maillons 1 et 2 de la chaîne de valeur des MCS

En dollars de 2021, total entre 2016 et 2020 pour exploration et construction et total annuel pour extraction et première transformation



Source : Sondage réalisé par PwC auprès des compagnies minières et recherche secondaire, analyse PwC

Note : Les données ne sont pas à l'échelle pour les volets Exploration/Construction et Exploitation minière/Première transformation

Comme mentionné précédemment, les retombées économiques liées aux étapes 1 et 2 sont estimées à partir du modèle intersectoriel de l'ISQ. Nous présentons dans les sections suivantes les estimations des retombées directes et indirectes pour les étapes 1 et 2, selon le groupe de minéraux.

Retombées économiques liées aux dépenses d'exploration entre 2016 et 2020

Les données recueillies dans le cadre de cette étude indiquent qu'entre 2016 et 2020, plus de 150 M\$ ont été dépensés pour des projets d'exploration liés aux MCS au Québec¹⁴. Les prochaines sections présentent la structure moyenne des dépenses de ce secteur ainsi que l'estimation des retombées économiques et fiscales qui y sont associées.

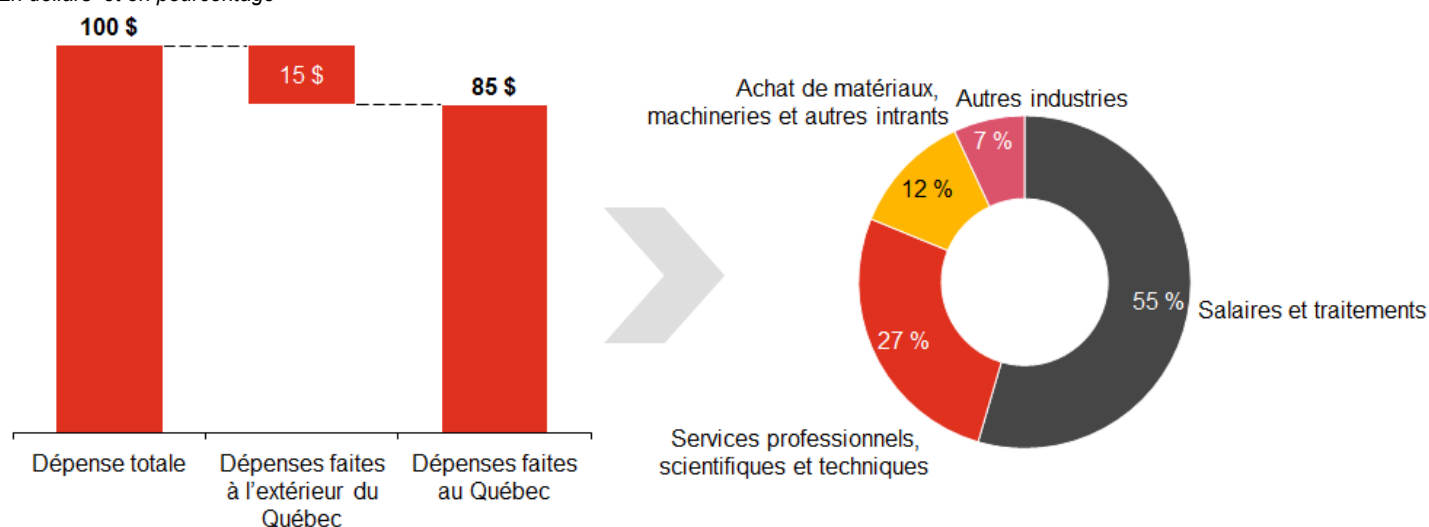
Portrait de dépenses liées à l'exploration

Les dépenses d'exploration sont engagées pour déterminer l'existence, l'emplacement, l'étendue ou la qualité d'une ressource minérale, et comprennent la prospection, le forage initial, les levés géologiques, géophysiques ou géochimiques de conduction, la construction de fosses d'essai et l'échantillonnage préliminaire. Les principaux facteurs de coûts pertinents pour la phase d'exploration sont la main-d'œuvre, l'accès aux terres, les taxes et la réglementation.

La figure suivante présente une structure de coût moyenne pour le secteur de l'exploration minière, pour une dépense de 100 \$. À la lecture de cette figure, on note que pour chaque tranche de 100 \$ dans l'exploration minière, environ 15 % sont dépensés auprès de fournisseurs situés à l'extérieur de la province ou du pays. Parmi les dépenses faites au Québec, la majeure partie va en salaires et traitements (55 %) et en services professionnels (27 %), alors que seulement 12 % des dépenses sont prévues pour l'achat de matériaux, de machineries ou d'autres intrants.

Figure 2 : Répartition des dépenses d'exploration par grandes composantes par tranche de 100 M\$

En dollars et en pourcentage



Source : Institut de la statistique du Québec, d'après les Tables ressources emplois 2017. Analyse PwC

Selon les données recueillies à partir des sondages et de nos recherches secondaires, on estime que 153 M\$ ont été dépensés pour des travaux d'exploration, entre 2016 et 2020, pour l'ensemble des MCS. Ces dépenses sont réparties entre 17 projets. Les figures suivantes présentent la distribution des dépenses et du nombre de projets miniers selon le groupe de minéraux. Il est intéressant de noter que près de 40 % des dépenses d'exploitation sont associées aux MCS du Groupe 2, alors qu'ils représentaient seulement deux projets. Au total, les dépenses en exploration des MCS du Groupe 1 ont représenté 48 % des dépenses totales d'exploration des MCS au Québec entre 2016 et 2020.

¹⁴ Cette valeur est basée sur les données recueillies par PwC dans le cadre de cette étude. Ainsi, il se peut que l'on observe des écarts par rapport à d'autres études en circulation, dont celle de l'Institut de la statistique du Québec.

Figure 3 : Répartition des dépenses d'exploration selon le groupe de minéraux entre 2016 et 2020

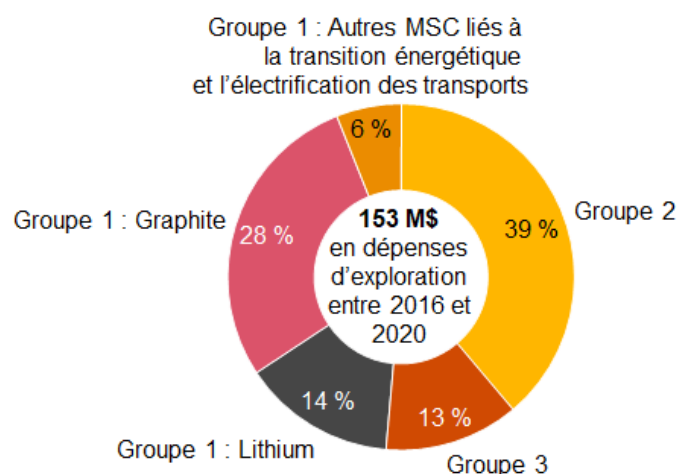
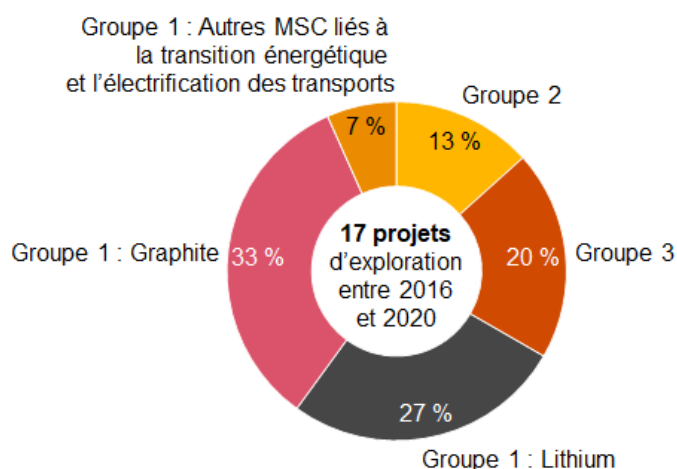


Figure 4 : Répartition du nombre de projets d'exploration selon le groupe de minéraux entre 2016 et 2020



Source : Sondage réalisé par PwC auprès des compagnies minières et recherche secondaire, analyse PwC

Retombées économiques pour le Québec

Pendant la période 2016 à 2020, on estime que les dépenses d'exploration de gisements de MCS au Québec ont contribué au PIB de la province à la hauteur de 119 M\$, soit une moyenne de 24 M\$ par année. De ce montant :

- 58 M\$ sont attribuables à l'exploration des minerais du Groupe 1, dont 58 % pour le graphite, 29 % pour le lithium et 12 % pour les autres minéraux liés à la transition énergétique et à l'électrification des transports;
- 46 M\$ pour les minéraux du Groupe 2;
- 15 M\$ pour les minéraux du Groupe 3.

De plus, les activités d'exploration ont supporté et généré un total de 1 080 emplois (en années-personnes) sur la période 2016-2020, soit une moyenne d'environ 216 emplois par année. La plus grande contribution à l'emploi provient du Groupe 1 (avec 49 % des emplois totaux), suivi du Groupe 2 (39 %) et finalement du Groupe 3 (13 %).

Le détail des retombées économiques sur le PIB et les emplois est présenté dans le tableau suivant.

Tableau 3 : Impacts économiques liés aux dépenses d'exploration pour les différents groupes de minéraux entre 2016 et 2020

En millions de dollars et en années-personnes de 2021

Ensemble du Québec	Groupe 1			Groupe 2	Groupe 3	Total
	Lithium	Graphite	Autres minéraux			
Produit intérieur brut (PIB)						
Impact direct	12,8	25,2	5,4	34,7	11,2	89,3
Impact indirect	4,3	8,4	1,8	11,6	3,7	29,8
Total	17,1	33,7	7,2	46,2	14,9	119,1
Emplois (années-personnes)						
Impact direct	110	220	50	300	100	780
Impact indirect	40	80	20	120	40	300
Total	160	310	70	420	140	1 080

Source : Simulation ISQ à partir des résultats de sondage et des recherches secondaires, analyse PwC

Note : Les chiffres ayant été arrondis, la somme des éléments peut ne pas correspondre au total.

Notes : 1. Les chiffres ayant été arrondis, la somme des éléments peut ne pas correspondre au total; 2. Un tableau détaillé des retombées économiques et des retombées fiscales est présenté à l'Annexe E.

De plus, les activités d'exploration sont associées à des recettes fiscales pour le gouvernement, notamment par le biais des impôts sur le revenu des travailleurs et des taxes indirectes. L'ensemble des recettes fiscales pour les gouvernements du Québec et du Canada a atteint une somme de 22 M\$. Un peu plus de 11 M\$ sont associés aux recettes fiscales du gouvernement du Québec alors que l'autre moitié se dirige dans les coffres du gouvernement fédéral.

Le tableau suivant présente le détail de ces recettes fiscales pour chacun des deux paliers de gouvernement ainsi que leur répartition en effets directs et indirects, selon le groupe de minéraux.

Tableau 4 : Impacts fiscaux liés aux dépenses d'exploration pour les différents groupes de minéraux entre 2016 et 2020

En millions de dollars de 2021

En millions de dollars de 2021

Ensemble du Québec	Groupe 1			Groupe 2	Groupe 3	Total
	Lithium	Graphite	Autres minéraux			
Revenus fiscaux pour le gouvernement du Québec						
Impact direct	1,4	2,7	0,5	3,7	1,2	9,5
Impact indirect	0,3	0,5	0,2	0,7	0,2	1,9
Total	1,7	3,2	0,7	4,4	1,4	11,4
Revenus fiscaux pour le gouvernement du Canada						
Impact direct	1,3	2,6	0,6	3,6	1,2	9,2
Impact indirect	0,3	0,5	0,1	0,7	0,2	1,8
Total	1,6	3,1	0,7	4,3	1,4	11,0

Source : Simulation ISQ à partir des résultats de sondage et des recherches secondaires, analyse PwC

Note : Les chiffres ayant été arrondis, la somme des éléments peut ne pas correspondre au total.

Retombées économiques liées aux dépenses de construction entre 2016 et 2020

Entre 2016 et 2020, on estime que plus de 940 M\$ ont été dépensés pour des projets de construction liés aux MCS au Québec, que ce soit pour la construction d'une usine de première transformation ou d'une mine sur le territoire québécois. Il est à noter que ces dépenses représentent des estimations basées sur notre collecte de données primaire et secondaire et qu'elles consistent en la meilleure estimation disponible au moment de réaliser cette étude. De plus, la somme des dépenses exclut toute dépense de construction qui n'a pas été effectuée sur le territoire québécois (p. ex. travaux d'ingénierie et d'architecture).

Les prochaines sections présentent la structure moyenne des dépenses de ce secteur ainsi que l'estimation des retombées économiques et fiscales qui y sont associées.

Portrait de dépenses liées à la construction

Les dépenses de construction et la mise en exploitation de la mine peuvent prendre plusieurs années et demander un investissement important, selon le contexte (de 50 M\$ à plus de 2 G\$)¹⁵. La construction inclut notamment les infrastructures suivantes :

- Les installations minières, incluant rampes d'accès, puits, galeries souterraines, chantiers d'exploitation, chevalement et autres, selon que l'exploitation soit à ciel ouvert ou souterraine;
- Les bâtiments de services;
- Les haldes (empilement) de stériles;
- Le parc à résidus miniers;
- Le concentrateur (selon le projet);
- L'usine de transformation (selon le projet);

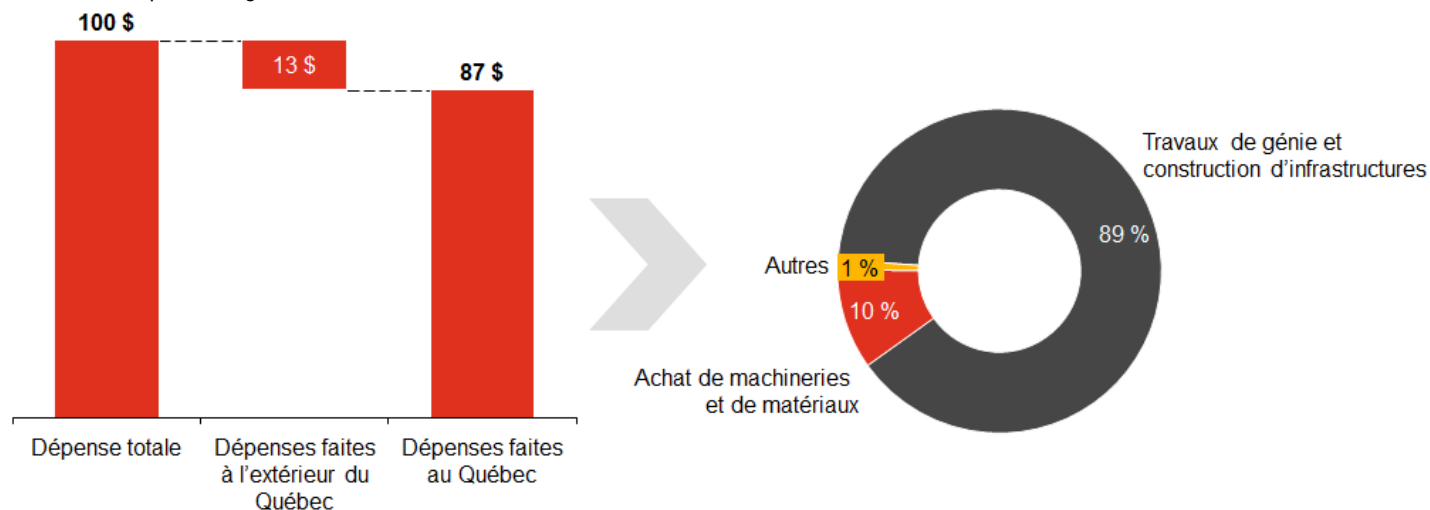
¹⁵ Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, 2016. Lien : <https://mern.gouv.qc.ca/ministere/projets-majeurs/etapes-projet-minier/>

- Les routes, chemins de fer, ports, lignes électriques, aéroports (selon le projet);
- Les camps pour les travailleurs qui opèrent sur un mode « fly-in-fly-out » (selon le projet).

La figure suivante présente une structure de coût moyenne pour la construction d'une mine, pour une dépense de 100 M\$. À la lecture de cette figure, on note que pour chaque tranche de 100 \$ d'investissement en construction minière, environ 13 % sont dépensés auprès de fournisseurs situés à l'extérieur de la province ou du pays. Cependant, il faut noter qu'une grande partie de ces dépenses (89 %) sera effectuée auprès de firmes de génie-conseil qui entreprendront les travaux de construction. Une part importante de leurs achats en machinerie et en équipements spécialisés sera faite à l'extérieur du Québec, car la province ne dispose pas d'un secteur manufacturier de machinerie lourde développée.

Figure 5 : Répartition des dépenses de construction par grandes composantes par tranche de 100 \$

En dollars et en pourcentage



Source : Institut de la statistique du Québec, d'après les Tables ressources emplois 2017. Analyse PwC

Selon les données recueillies à partir des sondages et de nos recherches secondaires, on estime que 942 M\$ ont été dépensés pour des travaux de construction entre 2016 et 2020 pour l'ensemble des MCS. Ces dépenses sont réparties entre 7 projets. Aucune dépense pour la construction de mine de graphite n'a été enregistrée pendant la période. Les figures suivantes présentent la distribution des dépenses et du nombre de projets miniers selon le groupe de minéraux.

Figure 6 : Répartition des dépenses de construction selon le groupe de minéraux entre 2016 et 2020

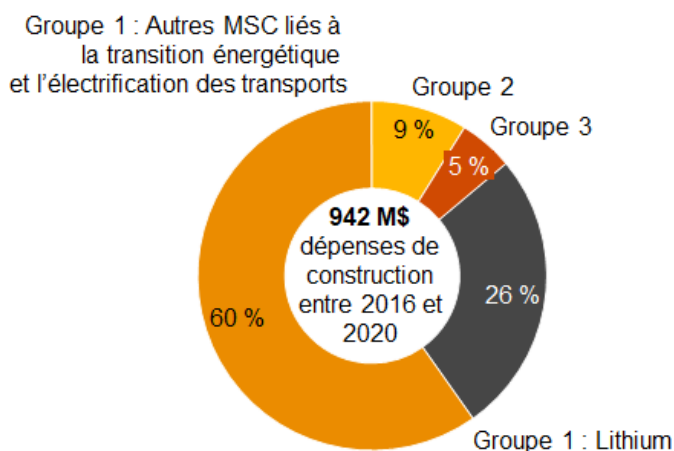
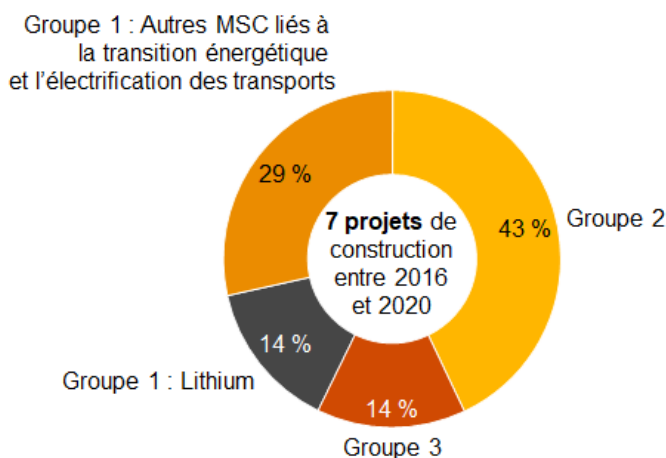


Figure 7 : Répartition du nombre de projets de construction selon le groupe de minéraux entre 2016 et 2020



Source : Sondage réalisé par PwC auprès des compagnies minières et recherche secondaire, analyse PwC

Retombées économiques pour le Québec

Sur la période 2016 à 2020, on estime que les dépenses de construction de mines et d'usines de première transformation de MCS au Québec ont contribué au PIB de la province à la hauteur de 574 M\$, soit une moyenne de 115 M\$ par année. De ce montant :

- 494 M\$ sont générés par les dépenses liées à la construction de mines du Groupe 1, dont 31 % pour le lithium, et 69 % pour les autres minéraux liés à la transition énergétique et à l'électrification des transports;
- 51 M\$ pour les minéraux du Groupe 2;
- 29 M\$ pour les minéraux du Groupe 3.

De plus, les activités de construction ont supporté et généré un total de 5 440 emplois (en années-personnes) sur la période 2016-2020, soit une moyenne d'environ 1 088 emplois par année. La plus grande contribution à l'emploi provient du Groupe 1 (avec 86 % des emplois totaux), suivi du Groupe 2 (9 %) et finalement du Groupe 3 (5 %).

Le détail des retombées économiques sur le PIB et les emplois est présenté dans le tableau suivant.

Tableau 5 : Impacts économiques liés aux dépenses de construction pour les différents groupes de minéraux entre 2016 et 2020

En millions de dollars et en années-personnes de 2021

En millions de dollars et en années-personnes de 2021

Ensemble du Québec	Groupe 1			Groupe 2	Groupe 3	Total
	Lithium	Graphite	Autres minéraux			
Produit intérieur brut (PIB)						
Impact direct	102,9	-	233,6	34,9	19,6	391,1
Impact indirect	48,2	-	109,4	16,4	9,2	183,2
Total	151,1	-	343,0	51,3	28,8	574,3
Emplois (années-personnes)						
Impact direct	950	-	2 160	320	180	3 620
Impact indirect	480	-	1 090	160	90	1 820
Total	1 430	-	3 250	490	270	5 440

Source : Simulation ISQ à partir des résultats de sondage et des recherches secondaires, analyse PwC

Note : Les chiffres ayant été arrondis, la somme des éléments peut ne pas correspondre au total.

De plus, les activités de construction ont également contribué aux recettes fiscales pour les différents paliers de gouvernement, notamment par le biais des impôts sur le revenu des travailleurs et des taxes indirectes. L'ensemble des recettes fiscales pour les gouvernements du Québec et du Canada a atteint une somme de 84,6 M\$, soit 42,8 M\$ pour la province et 41,7 M\$ pour le fédéral.

Le tableau suivant présente le détail de ces recettes fiscales pour chacun des deux paliers de gouvernement ainsi que leur répartition en effets directs et indirects selon le groupe de minéraux.

Tableau 6 : Impacts fiscaux liés aux dépenses de construction pour les différents groupes de minéraux entre 2016 et 2020

En millions de dollars de 2021

Ensemble du Québec	Groupe 1			Groupe 2	Groupe 3	Total
	Lithium	Graphite	Autres minéraux			
Revenus fiscaux pour le gouvernement du Québec						
Impact direct	8,2	-	18,6	2,8	1,6	31,1
Impact indirect	3,1	-	7,0	1,0	0,6	11,7
Total	11,3	-	25,6	3,8	2,1	42,8
Revenus fiscaux pour le gouvernement du Canada						
Impact direct	8,1	-	18,3	2,7	1,5	30,7
Impact indirect	2,9	-	6,6	1,0	0,6	11,0
Total	11,0	-	24,9	3,7	2,1	41,7

Source : Simulation ISQ à partir des résultats de sondage et des recherches secondaires, analyse PwC

Note : Les chiffres ayant été arrondis, la somme des éléments peut ne pas correspondre au total.

Retombées économiques liées aux dépenses annuelles d'exploitation minière de 2020

En 2020, on estime que plus de 783 M\$ ont été injectés dans l'économie québécoise afin d'exploiter différents sites miniers liés aux MCS au Québec. L'exploitation des mines inclut les activités d'extraction, de traitement des minéraux et de leur transport. Ces sommes représentent des dépenses annuelles, c'est-à-dire qu'en moyenne, sur la durée de vie de la mine, la compagnie minière devrait dépenser ces montants pour opérer son site¹⁶. Ainsi, contrairement aux retombées liées à l'exploration et à la construction, celles générées par les dépenses d'opération seront récurrentes pour toute la durée de vie de la mine.

Portrait de dépenses liées à l'exploitation minière

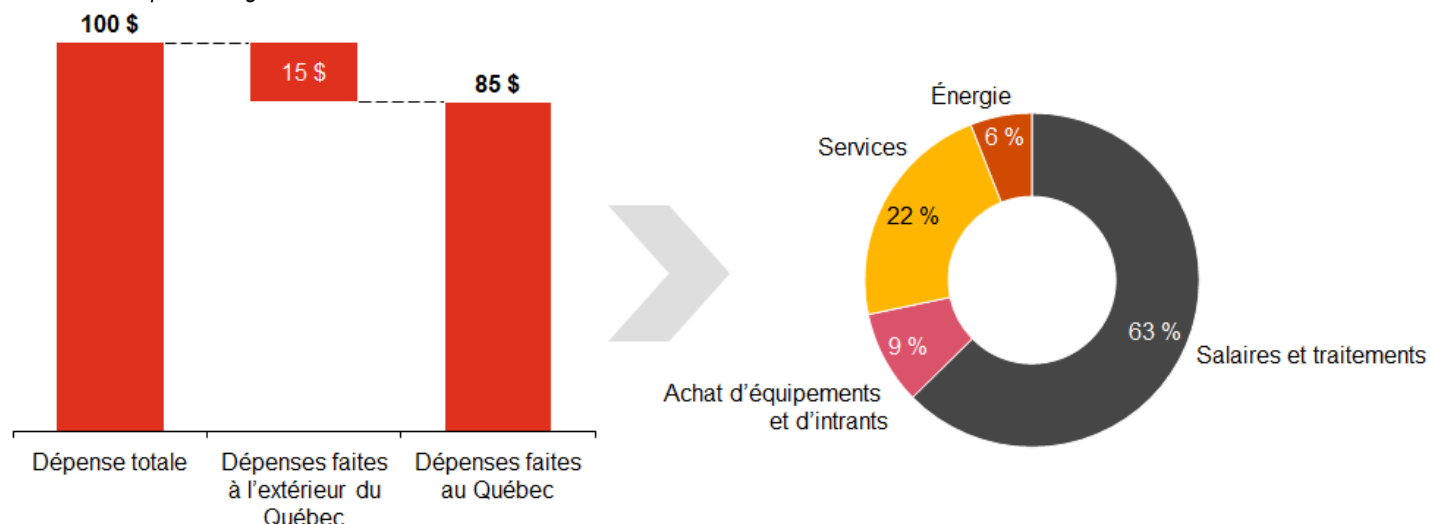
Les dépenses d'exploitation sont engagées durant la production et leur niveau peut varier considérablement en fonction du minerai extrait et des conditions d'exploitation. Par exemple, la structure des coûts d'une mine souterraine en profondeur est bien différente de celle d'une mine à ciel ouvert hautement mécanisée. Les facteurs déterminants du coût de production pour la phase d'exploitation sont la main-d'œuvre, l'accès aux terres, la qualité des ressources, l'énergie, les fluctuations des devises, les niveaux d'imposition et de redevances, la réglementation et le financement.

La figure suivante présente une structure de coût moyenne pour les opérations minières, pour une dépense de 100 M\$. À la lecture de cette figure, on note que pour chaque tranche de 100 M\$ dans l'exploration minière, environ 15 % sont dépensés auprès de fournisseurs situés à l'extérieur de la province ou du pays. Parmi les dépenses faites au Québec, la majeure partie va en salaires et traitements (63 %) et en services (22 %), en achat d'équipements et d'intrants (9 %) et en énergie (6 %). La portion des dépenses vouées à l'achat d'équipements et d'intrants peut paraître faible, mais rappelons qu'il s'agit de dépenses effectuées au Québec, et les industries qui fournissent les intrants au secteur minier sont peu développées dans la province, notamment en ce qui concerne la machinerie et l'équipement spécialisés.

¹⁶ Bien qu'il existe une certaine variation dans le montant dépensé pour les opérations d'une mine d'une année à l'autre, nous posons l'hypothèse que les dépenses estimées pour l'année 2020 ou celles présentées dans les plus récents rapports techniques sont celles d'une année représentative pour les entreprises minières incluses dans l'analyse.

Figure 8 : Répartition des dépenses d'exploitation minière par grandes composantes par tranche de 100 \$

En dollars et en pourcentage



Source : Institut de la statistique du Québec, d'après les Tables ressources emplois 2017. Analyse PwC

Selon les données recueillies à partir des sondages et de nos recherches secondaires, on estime que les dépenses d'exploitation minière totalisaient 783 M\$ pour l'année 2020, et ce, pour l'ensemble des MCS. Ces dépenses sont réparties entre six projets. Les figures suivantes présentent la distribution des dépenses et du nombre de projets miniers selon le groupe de minéraux.

Figure 9 : Répartition des dépenses d'exploitation minière selon le groupe de minéraux entre 2016 et 2020

Groupe 1 : Autres MSC liés à la transition énergétique et l'électrification des transports

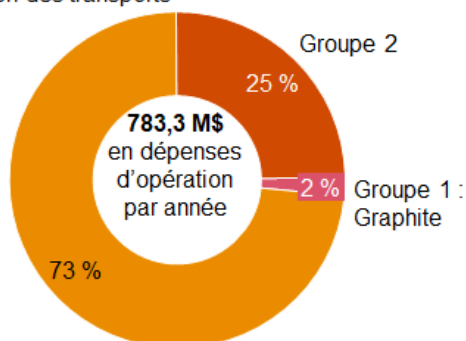
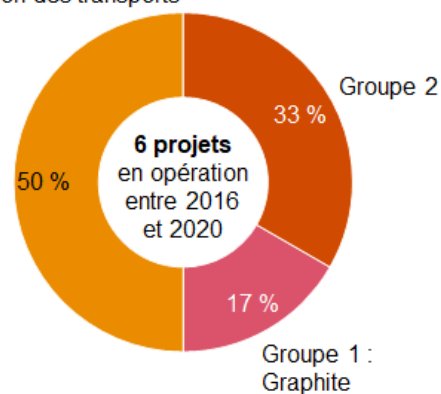


Figure 10 : Répartition du nombre de projets d'exploitation minière selon le groupe de minéraux entre 2016 et 2020

Groupe 1 : Autres MSC liés à la transition énergétique et l'électrification des transports



Source : Sondage réalisé par PwC auprès des compagnies minières et recherche secondaire, analyse PwC

Retombées économiques pour le Québec

On estime que les dépenses d'exploitation minière des MCS au Québec ont contribué annuellement au PIB de la province à la hauteur de 636 M\$ entre 2016 et 2020. De ce montant :

- 478 M\$ sont attribuables à l'exploitation liée aux minéraux du Groupe 1, dont 2 % pour le graphite et 98 % pour les autres minéraux liés à la transition énergétique et à l'électrification des transports;
- 158 M\$ pour les minéraux du Groupe 2.

Notons qu'aucune mine de MCS du Groupe 3 n'était en opération entre 2016 et 2020. Néanmoins, notons que dans le cas du lithium, la mine de North American Lithium était en opération sur cet horizon avant de se placer à l'abri de ses créanciers en 2019. Cette entreprise est exclue de l'analyse qui suit.

De plus, les activités d'exploitation minière supportent annuellement un total (direct et indirect) de 2 010 emplois (en années-personnes). La plus grande contribution à l'emploi provient du Groupe 1 (avec 76 % des emplois totaux) alors que le reste des emplois est associé au Groupe 2.

Le détail des retombées économiques sur le PIB et les emplois est présenté dans le tableau suivant.

Tableau 7 : Impacts économiques liés aux dépenses d'exploitation minière pour les différents groupes de minéraux entre 2016 et 2020

En millions de dollars et en années-personnes de 2021

En millions de dollars et en années-personnes de 2021

Ensemble du Québec	Groupe 1			Groupe 2	Groupe 3	Total
	Lithium	Graphite	Autres minéraux			
Produit intérieur brut (PIB)						
Impact direct	-	9,9	386,0	130,5	-	526,4
Impact indirect	-	2,0	80,0	27,1	-	109,1
Total	-	11,9	466,0	157,6	-	635,5
Emplois (années-personnes)						
Impact direct	-	60	760	260	-	1 080
Impact indirect	-	20	690	230	-	940
Total	-	80	1 440	490	-	2 010

Source : Simulation ISQ à partir des résultats de sondage et des recherches secondaires, analyse PwC

Note : Les chiffres ayant été arrondis, la somme des éléments peut ne pas correspondre au total.

De plus, l'exploitation minière générerait en parallèle des recettes pour les gouvernements, notamment par le biais des impôts sur le revenu des travailleurs ainsi que les taxes indirectes. L'ensemble des recettes fiscales pour les gouvernements du Québec et du Canada a atteint une somme de 48,8 M\$. Un peu plus de la moitié de cette somme est associée aux recettes fiscales du gouvernement du Québec alors que l'autre moitié se dirige dans les coffres du gouvernement fédéral. Il faut noter que ces estimations sont conservatrices puisqu'elle n'inclut pas les redevances minières ainsi que les impôts corporatifs payés par les sociétés.

Le tableau suivant présente le détail de ces recettes fiscales pour chacun des deux paliers de gouvernement ainsi que leur répartition en effets directs et indirects selon le groupe de minéraux. Il faut noter qu'il s'agit d'une estimation conservatrice puisque les impôts payés par les sociétés ainsi que les redevances minières ne sont pas estimés par le modèle.

Tableau 8 : Impacts fiscaux liés aux dépenses d'exploitation minière pour les différents groupes de minéraux entre 2016 et 2020

En millions de dollars de 2021

En millions de dollars de 2021

Ensemble du Québec	Groupe 1			Groupe 2	Groupe 3	Total
	Lithium	Graphite	Autres minéraux			
Revenus fiscaux pour le gouvernement du Québec						
Impact direct	-	0,6	13,9	4,7	-	19,2
Impact indirect	-	0,1	4,6	1,6	-	6,2
Total	-	0,7	18,5	6,3	-	25,4
Revenus fiscaux pour le gouvernement du Canada						
Impact direct	-	0,6	12,7	4,3	-	17,6
Impact indirect	-	0,1	4,2	1,4	-	5,7
Total	-	0,7	17,0	5,7	-	23,4

Source : Simulation ISQ à partir des résultats de sondage et des recherches secondaires, analyse PwC

Note : Les chiffres ayant été arrondis, la somme des éléments peut ne pas correspondre au total.

Retombées économiques liées aux dépenses annuelles de première transformation de 2020

En 2020, on estime que plus de 2 537 M\$ ont été injectés dans l'économie québécoise afin de transformer les MCS sur le territoire québécois. À l'instar des dépenses d'exploitation, il s'agit de sommes annuelles et récurrentes. Ainsi, les retombées économiques présentées dans cette section se matérialisent pour chacune des années où ces sommes sont injectées dans l'économie¹⁷.

Portrait des dépenses liées à la première transformation

La première transformation est l'étape consistant à fondre et à affiner des métaux provenant d'un minerai et à y ajouter, le cas échéant, différentes substances afin de fabriquer des alliages.

La figure suivante présente une structure de coût moyenne pour le secteur de la première transformation des métaux, pour une dépense de 100 M\$. À la lecture de cette figure, on note que pour chaque tranche de 100 M\$ dans la première transformation, environ 20 % sont dépensés auprès de fournisseurs situés à l'extérieur de la province ou du pays. Parmi les dépenses faites au Québec, la majeure partie va en achat d'intrants et d'équipements (72 %). Les salaires et traitements ainsi que les services divers représentent chacun 10 % des dépenses, et l'énergie 8 %.

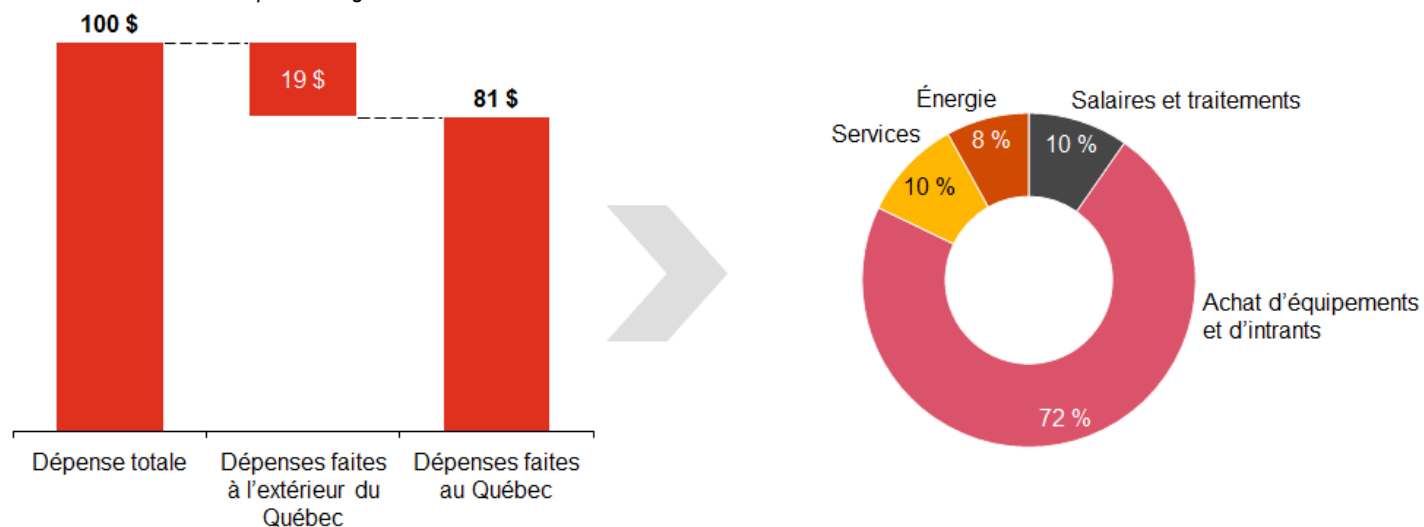
Les importations sont dues au fait que bien que les usines de transformation s'alimentent, en partie, de minéraux extraits au Québec, leur capacité de production est telle que la production québécoise ne suffit pas à les alimenter. Par exemple, il est estimé que le Québec transforme sept fois plus de cuivre qu'il n'en extrait¹⁸. Ainsi, une portion importante des importations provient de l'achat de minéraux ainsi que de l'achat de produits chimiques spécifiques.

¹⁷ Bien qu'il existe une certaine variation dans le montant dépensé pour la transformation des minéraux d'une année à l'autre, nous posons l'hypothèse que les dépenses estimées pour l'année 2020 sont celles d'une année représentative pour les entreprises minières incluses dans l'analyse.

¹⁸ CCMM, 2014. *Production primaire et première transformation : des filières qui doivent composer avec des défis particuliers*. Lien : https://www.ccmm.ca/externe/medias/publications/CCMM_etude_metal_FR.pdf

Figure 11 : Répartition des dépenses de première transformation par grandes composantes par tranche de 100 M\$

En millions de dollars et en pourcentage



Source : Institut de la statistique du Québec, d'après les Tables ressources emplois 2017. Analyse PwC

Selon les données recueillies à partir des sondages et de nos recherches secondaires, on estime que les dépenses liées à la première transformation totalisaient 2,5 G\$ pour l'année 2020, et ce, pour l'ensemble des MCS. Ces dépenses sont réparties entre neuf usines. Les figures suivantes présentent la distribution des dépenses et du nombre de projets miniers selon le groupe de minéraux.

Figure 12 : Répartition des dépenses de première transformation selon le groupe de minéraux entre 2016 et 2020

Groupe 1 : Autres MSC liés à la transition énergétique et l'électrification des transports

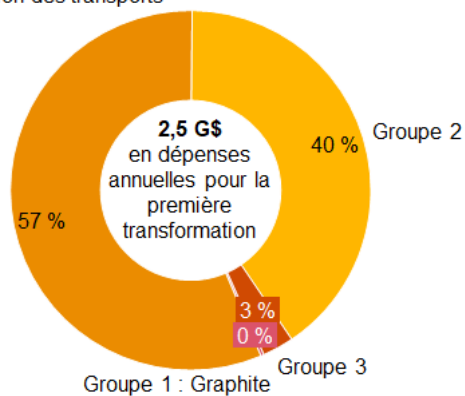
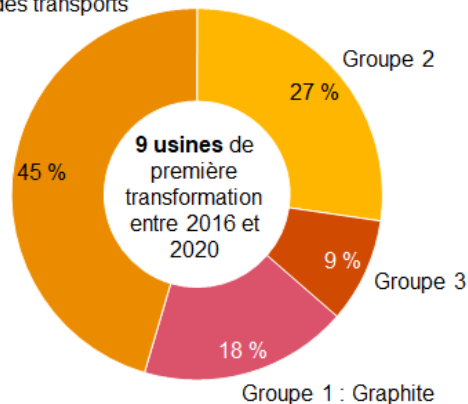


Figure 13 : Répartition du nombre de projets de première transformation selon le groupe de minéraux entre 2016 et 2020

Groupe 1 : Autres MSC liés à la transition énergétique et l'électrification des transports



Source : Sondage réalisé par PwC auprès des compagnies minières et recherche secondaire, analyse PwC

Retombées économiques pour le Québec

On estime que les dépenses de première transformation des MCS au Québec contribuent annuellement au PIB de la province à la hauteur de 1,3 G\$. De ce montant :

- 763 M\$ sont attribuables à la première transformation liée aux minéraux du Groupe 1, dont seulement 1 % pour le graphite et 99 % pour les autres minéraux liés à la transition énergétique et à l'électrification des transports;
- 542 M\$ pour les minéraux du Groupe 2;
- 38 M\$ pour les minéraux du Groupe 3.

De plus, les activités de première transformation supportent et génèrent annuellement un total de 5 660 emplois (en années-personnes de 2021). La plus grande contribution à l'emploi provient du Groupe 1 (avec 57 % des emplois totaux), suivi du Groupe 2 (40 %) et finalement du Groupe 3 (3 %). Le détail des retombées économiques sur le PIB et les emplois est présenté dans le tableau suivant.

Tableau 9 : Impacts économiques liés aux dépenses de première transformation pour les différents groupes de minéraux entre 2016 et 2020

En millions de dollars et en années-personnes de 2021

En millions de dollars et en années-personnes de 2021							
Ensemble du Québec	Groupe 1			Groupe 2	Groupe 3	Total	
	Lithium	Graphite	Autres minéraux				
Produit intérieur brut (PIB)							
Impact direct	-	\$	1,6	342,5	244,6	17,3	606,0
Impact indirect	-	\$	1,9	416,6	297,5	21,1	737,1
Total	-	\$	3,4	759,1	542,2	38,4	1 343,1
Emplois (années-personnes)							
Impact direct	-		10	1 550	1 110	80	2 750
Impact indirect	-		10	1 650	1 180	80	2 910
Total	-		20	3 200	2 290	160	5 660

Source : Simulation ISQ à partir des résultats de sondage et des recherches secondaires, analyse PwC

Note : Les chiffres ayant été arrondis, la somme des éléments peut ne pas correspondre au total.

De plus, la première transformation est associée à des recettes fiscales pour le gouvernement, notamment par le biais des impôts sur le revenu des travailleurs et des taxes indirectes. L'ensemble des recettes fiscales pour les gouvernements du Québec et du Canada a atteint une somme de 123,5 M\$, soit 63,8 M\$(Québec) et 59,7 M\$ (Canada).

Le tableau suivant présente le détail de ces recettes fiscales pour chacun des deux paliers de gouvernement ainsi que leur répartition en effets directs et indirects selon le groupe de minéraux. Il faut noter qu'il s'agit d'une estimation conservatrice puisque les impôts payés par les sociétés ne sont pas estimés par le modèle.

Tableau 10 : Impacts fiscaux liés aux dépenses de première transformation pour les différents groupes de minéraux entre 2016 et 2020

En millions de dollars de 2021

En millions de dollars de 2021

Ensemble du Québec	Groupe 1			Groupe 2	Groupe 3	Total
	Lithium	Graphite	Autres minéraux			
Revenus fiscaux pour le gouvernement du Québec						
Impact direct	- \$	0,08	16,8	12,0	0,8	29,6
Impact indirect	- \$	0,09	19,3	13,8	1,0	34,1
Total	- \$	0,2	36,0	25,7	1,8	63,8
Revenus fiscaux pour le gouvernement du Canada						
Impact direct	- \$	0,07	16,0	11,5	0,8	28,4
Impact indirect	- \$	0,08	17,7	12,7	0,9	31,3
Total	- \$	0,2	33,8	24,1	1,7	59,7

Source : Simulation ISQ à partir des résultats de sondage et des recherches secondaires, analyse PwC

Note : Les chiffres ayant été arrondis, la somme des éléments peut ne pas correspondre au total.

Analyse des maillons à fort potentiel

Introduction

Nos analyses précédentes ont permis d'identifier les minéraux présentant le plus grand potentiel économique pour la province. L'objectif de cette section est de cerner les applications les plus porteuses pour chaque minerai et d'identifier les activités industrielles de l'écosystème québécois qui sont manquantes pour développer une chaîne de valeur complète.

Comme le présente le Rapport 1, l'analyse des maillons à fort potentiel pour chacun des minerais s'articule sur plusieurs vecteurs importants, tels que :

- l'importance du produit final pour le secteur manufacturier au Québec;
- la difficulté de substitution du minerai;
- le risque de la chaîne de valeur au Québec;
- la croissance annuelle mondiale de la demande;
- l'implication actuelle au Québec des acteurs dans la chaîne de valeur.

Afin de déterminer les maillons qui renferment le potentiel le plus important pour le Québec, nous avons analysé les vecteurs susmentionnés pour chacun des 22 MCS identifiés. L'objectif de cette analyse est d'identifier le potentiel de développement et de croissance, principalement au cours des cinq prochaines années, et de prioriser les maillons les plus porteurs sur lesquels le Québec devrait concentrer ses efforts afin d'en récolter les plus grands bénéfices. En parallèle de cette analyse, nous avons identifié des tendances et applications industrielles ayant une incidence importante sur le potentiel de développement des minéraux critiques et stratégiques et qui agissent comme principaux facteurs influençant la demande dans leurs secteurs respectifs.

L'estimation des impacts économiques futurs se base sur les dépenses prévues pour les projets annoncés sur l'horizon 2021-2025, en fonction des maillons structurants prioritaires. L'impact est estimé à partir des données fournies confidentiellement et volontairement par les acteurs clés, données qui ont ensuite été agrégées pour maintenir la confidentialité des acteurs en question.

Matrice des secteurs d'applications industrielles et des principaux minerais impliqués

À la suite de l'analyse effectuée dans le cadre du Rapport 1 ainsi que des résultats des retombées économiques actuelles présentés dans la section précédente, nous avons identifié quatre secteurs d'applications industrielles ayant une incidence importante sur le potentiel économique des chaînes de valeur des MCS au Québec:

- électrification des transports et énergies renouvelables (batteries pour voitures électriques, solutions de stockage, éolien et solaire);
- équipements médicaux;
- alliages et matériaux avancés (minéraux critiques qui optimisent les propriétés des métaux de base); et
- technologies, télécommunications et défense (comprend les applications liées à l'aérospatiale, à l'informatique et aux semi-conducteurs).

Le regroupement autour des secteurs d'applications industrielles est nécessaire, car il permet d'évaluer les synergies entre les minéraux alors que peu d'entre eux sont exploités ou utilisés en vase clos. Ainsi, l'objectif de ce regroupement est de mesurer l'impact économique des chaînes de valeur en se concentrant sur les applications plutôt que sur les minéraux individuels.

La grille suivante présente les applications industrielles identifiées dans lesquelles le Québec est ou pourrait être impliqué ainsi que les MCS associés à chacune des applications. Les applications en gris foncé sont celles identifiées comme les plus prometteuses et pour lesquelles nous poursuivons l'analyse plus en détail dans les prochaines sections de ce rapport.

Notre analyse se concentre sur les MCS considérés comme ayant un fort potentiel pour le Québec, tel que le présente le Rapport 1, soit le lithium, le graphite, le cobalt, le nickel, le magnésium et les éléments de terre rares. Nous avons également inclus cinq minéraux qui sont associés aux principaux secteurs d'applications industrielles à fort potentiel, soit le cuivre (électrification des transports et énergies renouvelables), le titane (électrification des transports et énergies renouvelables, équipements médicaux et alliages et matériaux avancés), les minéraux coproduits avec le titane, soit le vanadium et le scandium (principalement pour les alliages et matériaux avancés), et le tellure, déjà bien implanté dans les chaînes de valeur (alliages et matériaux avancés, énergies renouvelables et technologies et défense).

Les trois secteurs suivants ont été priorisés, car ils représentent le plus grand potentiel de développement des minéraux critiques et stratégiques et des chaînes de valeur associées :

- électrification des transports et énergies renouvelables : lithium, graphite, cobalt, nickel, cuivre, titane, tellure et éléments de terres rares;
- alliages et matériaux avancés : lithium, magnésium, titane, vanadium, scandium et tellure;
- technologies, télécommunications et défense : lithium, cuivre, tellure et éléments de terres rares.

Tableau 52 : Secteurs d'applications industrielles et principaux MCS associés

Secteurs d'applications industrielles	Lithium	Graphite	Cobalt	Nickel	Cuivre	Magnésium	Titane	Vanadium	Scandium	Tellure	ETR
Électrification des transports et énergies renouvelables	X	X	X	X	X		X			X	X
Équipements médicaux							X			X	
Alliages et matériaux avancés	X			X		X	X	X	X	X	
Technologies, télécommunications et défense	X				X		X			X	X

 Secteurs industriels et chaînes de valeur les plus prometteurs

La figure suivante présente les trois applications retenues ainsi que les étapes de la chaîne de valeur pour lesquelles le Québec dispose d'un certain potentiel économique.

<p>1</p> <p>Électrification des transports et énergies renouvelables (batteries pour voitures électriques, solutions de stockage, éolien, solaire et autres)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Étape 1 : extraction et concentration • Étape 2 : transformation • Étape 3 : utilisation • Étape 4 : recyclage <p><i>Principaux MCS impliqués : lithium, graphite, cobalt, nickel, cuivre, titane, tellure et éléments de terres rares</i></p>	<p>2</p> <p>Alliages et matériaux avancés (minéraux critiques qui optimisent et améliorent les propriétés des métaux de base)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Étape 2 : transformation • Étape 4 : recyclage <p><i>Principaux MCS impliqués : lithium, magnésium, titane, vanadium, scandium et tellure</i></p>	<p>3</p> <p>Technologies, télécommunications et défense (comprend les secteurs tels que l'aéronautique, l'informatique, les semi-conducteurs et l'aérospatiale)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Étape 1 : extraction et concentration • Étape 2 : transformation • Étape 4 : recyclage <p><i>Principaux MCS impliqués : lithium, cuivre, tellure, ETR</i></p>
--	--	---

Pour chacun de ces trois secteurs d'applications industrielles, le reste de ce rapport détaille les activités porteuses et les impacts économiques potentiels futurs des chaînes de valeur des minéraux sélectionnés.

Les données présentées s'appuient sur le balisage de la cartographie des acteurs au Québec, réalisé dans le cadre du Rapport 1, les sondages réalisés auprès des acteurs clés des MCS au Québec ainsi que les interactions tenues avec ces acteurs sous forme d'entrevues ou d'échanges de courriels. Dans la mesure où nous n'avons pu recevoir d'informations de certaines entreprises, nous avons récupéré l'information disponible publiquement et l'avons intégrée à notre collecte de données.

1. Électrification des transports et énergies renouvelables

Justification

Les grands chantiers entourant l'électrification des transports et des énergies renouvelables représentent une occasion de croissance économique et de développement pour toutes les industries impliquées dans la chaîne de valeur. En 2020, le gouvernement du Québec a lancé son *Plan de mise en œuvre 2021-2026* lié au *Plan pour une économie verte 2030*, dont l'objectif principal est de réduire de 37,5 % les émissions de gaz à effet de serre d'ici 2030, par rapport au niveau de 1990. De plus, le gouvernement du Québec a fait part de son intention d'investir jusqu'à 1,4 G\$ pour mettre sur pied une industrie de l'électrification avec, en son centre, l'industrie de la batterie électrique. La filière du stockage d'énergie présente également du potentiel avec le développement de batteries généralement plus grosses que celles des véhicules électriques. La demande pourrait être soutenue pour pallier l'intermittence des sources d'énergie renouvelables (par exemple, le solaire et l'éolien).

Ainsi, nous retenons trois axes de développement dans la filière liée à l'électrification des transports et aux énergies renouvelables, qui permettraient de soutenir le développement économique du Québec tout en supportant les objectifs de décarbonisation :

- Exploiter les minéraux présents sur le territoire du Québec impliqué dans la chaîne de valeur de l'électrification du transport soit : lithium, graphite, nickel, cobalt et cuivre, titane, tellure et éléments de terres rares¹⁹ ;
- Transformer ces minéraux pour fabriquer des matériaux actifs, des composantes (anodes et cathodes) et des batteries, tout en assurant leur circularité en fin de vie. D'autres industries liées aux étapes subséquentes dans la chaîne de valeur pourraient être développées au Québec, telles que :

¹⁹ Le titane est couvert dans la section Alliages et matériaux avancés, le tellure et les éléments de terres rares, dans la section Technologies, télécommunications et défense.

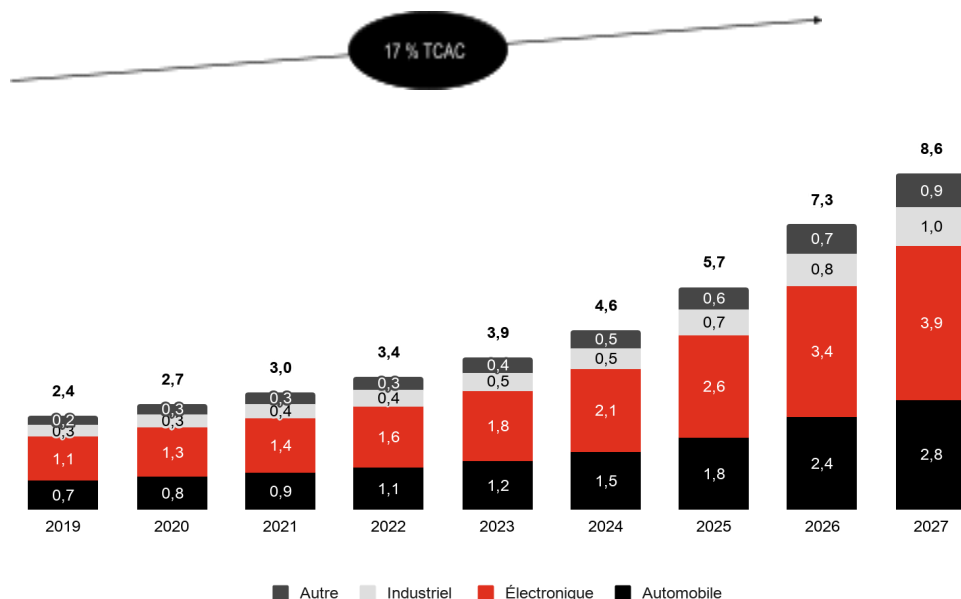
- la production de cellules et de modules de batterie ainsi que l'assemblage de blocs batterie pour l'industrie automobile permettant d'électrifier les transports;
 - la production de cellules de batteries pour les solutions de stockage d'énergie permettant d'augmenter l'utilisation d'énergies renouvelables en remplacement des énergies fossiles pour contribuer à décarboner notre économie, notamment par la commercialisation des technologies de stockage LFP développées par EVLO. Puisque certains joueurs internationaux d'importance y sont positionnés, il importe de pénétrer le marché rapidement;
 - la production de cellules et de blocs de batterie pour les véhicules commerciaux à motorisation électrique (autobus, véhicules motorisés), notamment la nouvelle usine de Lion Électrique pour l'assemblage de batteries; et
 - le développement de l'écosystème pour le recyclage de batteries, incluant les capacités de recyclage, et une stratégie sur la responsabilité de la gestion des produits en fin de vie;
- Transformer ces minéraux dans le déploiement de composantes pour le secteur des énergies renouvelables, que ce soit les cellules photovoltaïques ou les composantes pour les éoliennes.

Dans les paragraphes qui suivent, nous présentons des éléments liés à la demande justifiant un positionnement dans cette chaîne de valeur.

En 2020, le marché mondial des batteries lithium-ion était estimé à 41 G\$ US et on estime qu'il devrait croître à un taux annuel de 17 % jusqu'en 2027, pour atteindre une taille de 129 G\$ US. En Amérique du Nord, le taux de croissance annuel devrait atteindre 18 % sur la même période²⁰.

Cette croissance s'explique notamment par l'augmentation de l'adoption des véhicules électriques (VE) et des véhicules électriques hybrides (VEH), par l'augmentation croissante de la consommation de biens technologiques avec des batteries rechargeables (p. ex. ordinateurs portables, téléphones cellulaires) ainsi que par la demande croissante des centres d'hébergement de données. La figure suivante présente les prévisions de croissance pour les batteries lithium-ion sur le marché canadien. On remarque qu'une tendance similaire à celle du marché global est prévue pour le Canada.

Figure 14 : Évolution de la demande des batteries lithium-ion par application au Canada (en milliards de US\$)



Source : Allied Market Research

On note que la croissance prévue sur le marché canadien reflète les initiatives du gouvernement canadien en faveur des véhicules électriques et hybrides rechargeables ainsi que les mesures incitatives en faveur des voitures sans émissions.

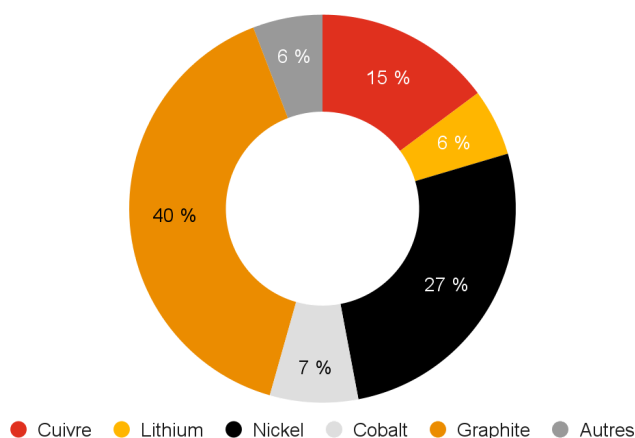
²⁰ Allied Market Research

Ces dernières sont plus adaptées à une utilisation dans les réseaux intelligents et les systèmes de stockage d'énergie renouvelable déployés en raison de leur prix abordable, de leur durée de vie et de leur faible besoin de maintenance. L'émergence de solutions de systèmes de stockage à partir de batteries lithium-ion constitue un facteur supplémentaire de croissance de la demande au Canada. 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 ses routes d'ici 2030.

Le développement de batteries à base de vanadium représente également un certain potentiel, et certains projets à l'échelle internationale sont actuellement en opération. En 2020, la California Energy Commission (CEC) a émis un appel d'offres pour financer la recherche sur les batteries à longue durée²¹. Une des hypothèses à valider est liée à la plus grande durabilité des batteries et à la capacité de compléter un plus grand nombre de cycles de charge et décharge avant que leur performance ne se détériore. À ce jour, leur déploiement est cependant limité par rapport à la batterie de type lithium-ion.

Plusieurs minéraux seront nécessaires pour répondre à la croissance de la demande de batteries de véhicules électriques. Tel qu'il est présenté à la Figure 15, ces batteries sont composées en grande partie de lithium, de nickel, de cuivre et de cobalt, mais aussi de cuivre et d'aluminium. L'ensemble de ces derniers est disponible au Québec.

Figure 15 : Composition des batteries de véhicules électriques par minéral (%)*



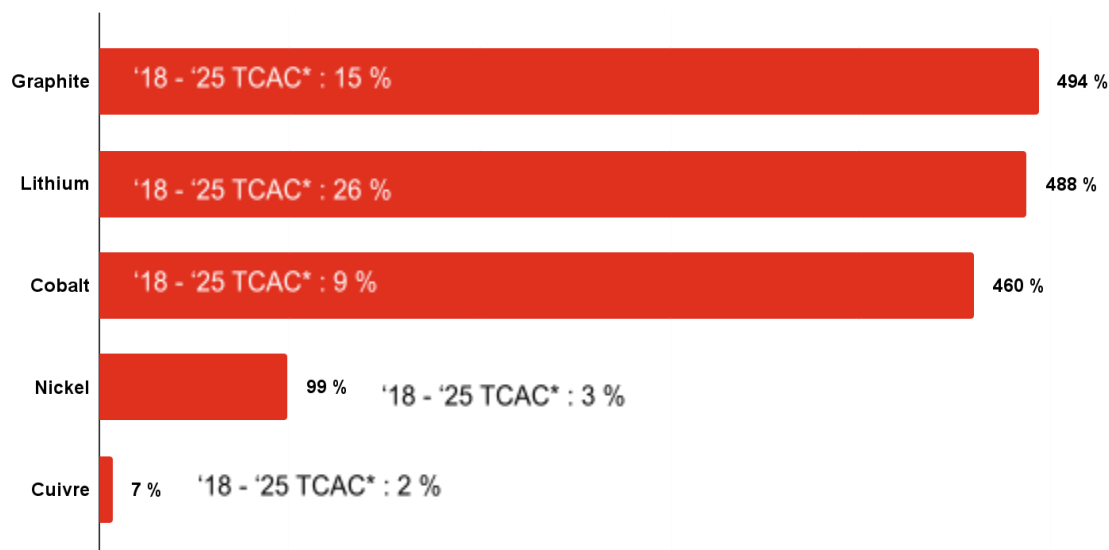
Source : International Energy Agency, Analyse PwC

*Les valeurs indiquées représentent la composition moyenne des batteries suivantes : NCA, NCA+, NMC 333, NMC 532, NMC 622 et NMC 811.

Au-delà de la demande pour les batteries lithium-ion, la Banque mondiale prévoit une forte augmentation de la demande des minéraux nécessaires à la transition énergétique. La figure suivante présente la demande estimée pour les différents minéraux liés à la transition énergétique. La figure présente l'augmentation absolue de la demande globale sur l'horizon 2018-2050 (présentée à la gauche des barres de données) ainsi que le taux de croissance annuel composé sur la période de 2018 à 2025 (présenté à l'intérieur des barres de données).

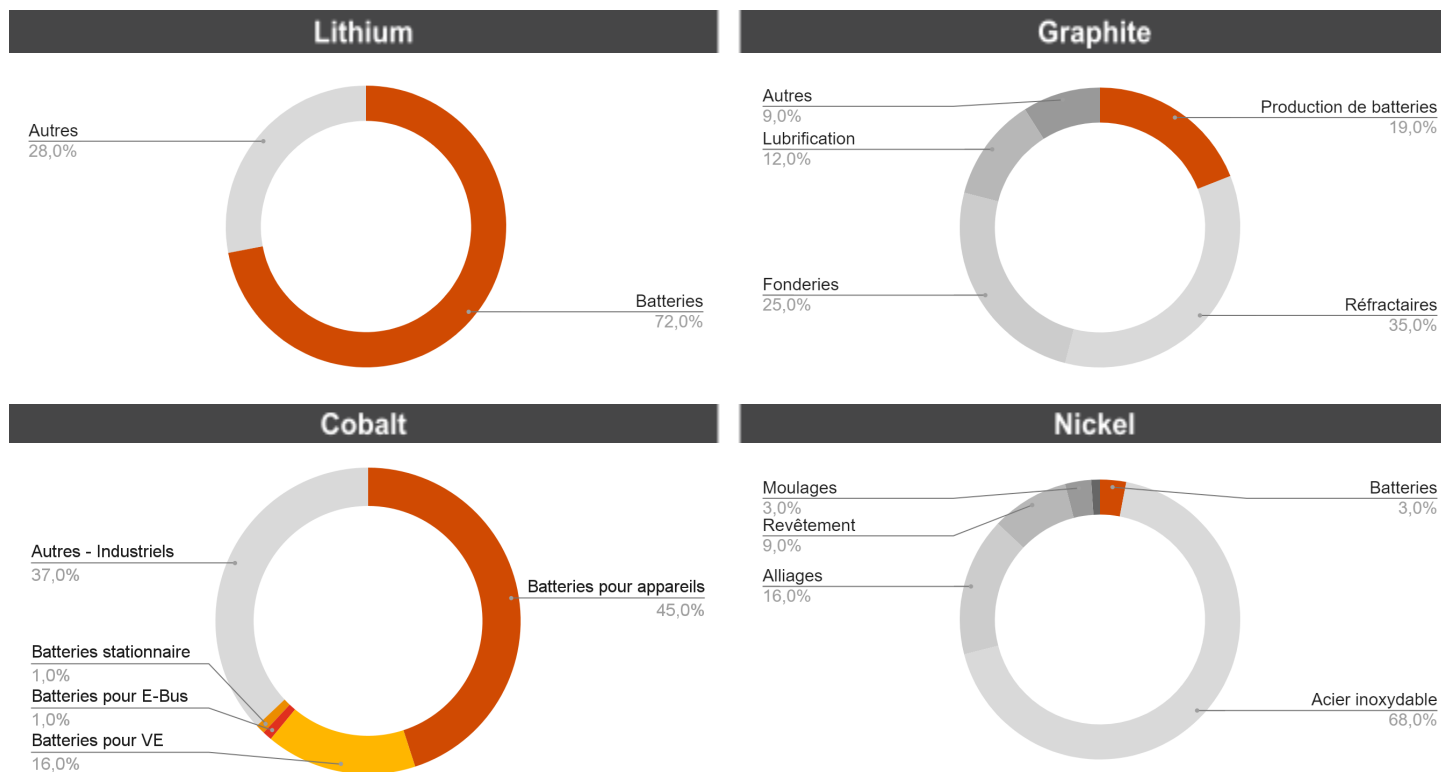
²¹ <https://www.forbes.com/sites/rrapier/2020/10/24/why-vanadium-flow-batteries-may-be-the-future-of-utility-scale-energy-storage/?sh=2d1f8b4a2305>

Figure 16 : Évolution de la demande de minéraux nécessaires à la transition énergétique 2018-2050 (%)



Sources : Plan québécois pour la valorisation des minéraux critiques et stratégiques, Commission géologique des États-Unis et Banque mondiale 2020.
 *TCAC de la demande mondiale générale du minerai, Analyse PwC

Figure 17 : Part de l'usage total des minéraux pour la production de batteries et pour les autres applications, 2020



Sources : Analyse PwC, SQM Lithium Market Outlook, Benchmark Mineral Intelligence 2018, Investor Intel; Darton Commodity Estimates, Resources and Energy Quarterly - Australia (mars 2020), Resources and Energy Quarterly - Australia (décembre 2019)

La demande de lithium et de cobalt est principalement alimentée par les batteries. En revanche, le nickel est principalement utilisé dans la production d'autres produits, alors que seulement 3 % de son utilisation est actuellement destinée à la production de batteries.

En résumé :

- La croissance de l'utilisation du **graphite** s'explique par son importance pour les applications de batterie pour voitures électriques et pour ses applications industrielles diversifiées. De plus, la demande de graphite est propulsée par la croissance de la demande de graphène, dont la demande totale sur les bons de commande en cours est estimée à 120 000 tonnes sur deux ans²²;
- La croissance de l'utilisation du **nickel** est expliquée par son importance dans la composition d'une batterie pour voiture électrique (27 %) et en fonction de ses applications industrielles diversifiées (3 % d'utilisation actuelle pour les batteries);
- La croissance de l'utilisation du **lithium** et du **cobalt** est expliquée en grande partie par la concentration de leur utilisation (72 % pour le lithium, 45 % pour le cobalt) dans les batteries électriques, une application qui, comme nous l'avons démontré plus haut, devrait croître rapidement au cours des prochaines années.

Ajoutons que de façon générale, les activités d'extraction et de production des minéraux sont confrontées à une surveillance accrue en matière d'environnement, de conditions sociales et de gouvernance de la part des entreprises utilisatrices, des investisseurs et des consommateurs. Ainsi, on peut s'attendre à une demande encore plus forte dans le cas des produits issus d'une chaîne de valeur jugée éthique et respectueuse de l'environnement.

De plus, la croissance du secteur des énergies renouvelables amènera une forte demande de certains minéraux, entre autres le cuivre (câblage électrique, composante dans les éoliennes, les panneaux solaires et les véhicules électriques), le titane (voitures électriques), le tellure (cellules photovoltaïques) et les éléments de terres rares (véhicules électriques et hybrides).

Le reste de la section fournit des indications quant aux capacités d'exploitation et de transformation actuelles et à venir des principaux minéraux liés aux développements de la chaîne de valeur. Bien que la filière des batteries lithium-ion soit le grand moteur de développement dans le segment lié à l'électrification des transports et à la transition énergétique, d'autres applications sont également présentées. Dans cette section, nous allons élaborer sur cinq de ces minéraux, soit le lithium, le graphite, le cobalt, le nickel et le cuivre, soit ceux dont la demande à venir est plus fortement influencée par ce secteur d'applications industrielles.

Lithium

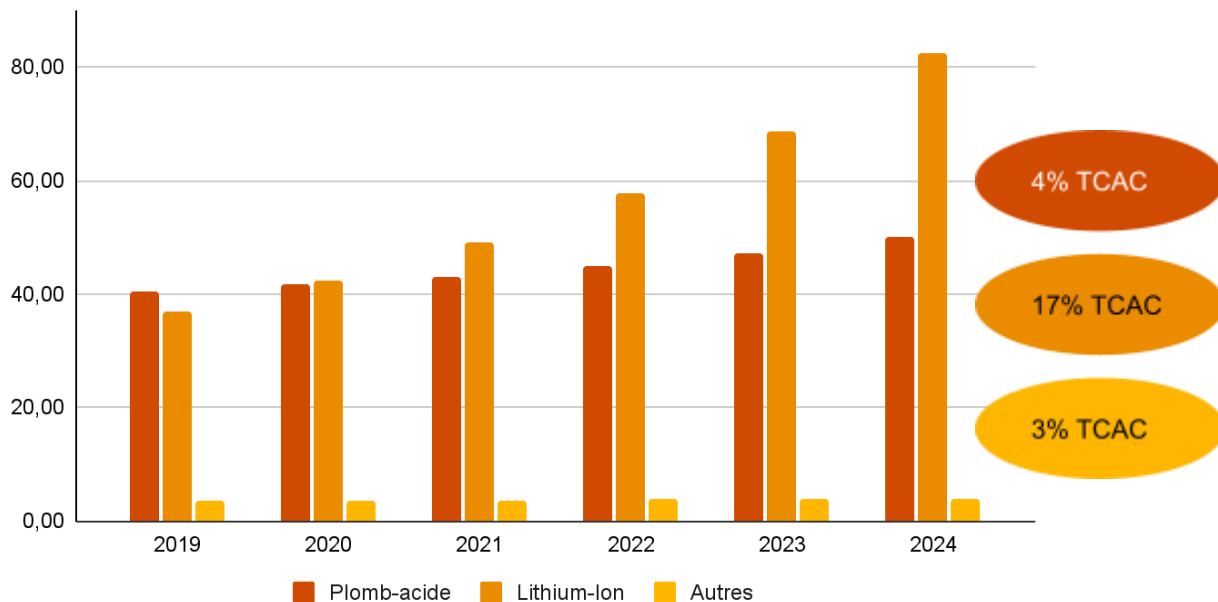
Le lithium est le plus léger de tous les métaux. Il possède le plus grand potentiel électrochimique et fournit la plus grande énergie spécifique par poids. Autrefois, les piles rechargeables avec du lithium métallique sur l'anode pouvaient fournir des densités d'énergie extraordinairement élevées, mais le cyclage produisait des dendrites indésirables sur l'anode qui pouvaient pénétrer dans le séparateur et provoquer un court-circuit électrique. De plus, la température de la cellule augmente rapidement et approche le point de fusion du lithium, provoquant un emballement thermique²³. L'instabilité inhérente au lithium métal, notamment pendant la charge, a orienté la recherche vers une solution non métallique utilisant des ions de lithium (Li-ion). Bien que l'énergie spécifique soit inférieure à celle du lithium-métal, le Li-ion est reconnu comme étant plus sécuritaire.

En 1991, Sony devient la première entreprise à commercialiser une batterie Li-ion, et aujourd'hui cette dernière est devenue la plus prometteuse et la plus rapide sur le marché. Pendant ce temps, les recherches se poursuivent pour développer une batterie au lithium métallique sécuritaire dans l'espoir de réduire les risques d'exploitation de cette dernière.

²²<https://www.globenewswire.com/en/news-release/2021/01/28/2165718/0/fr/Mason-Graphite-met-%C3%A0-jour-sa-strat%C3%A9gie-corporative-et-s-engage-%C3%A0-r%C3%A9acc%C3%A9l%C3%A9rer-le-projet-du-Lac-Gu%C3%A9ret.html>

²³ Battery University, 2010. Lithium-ion Safety Concerns. Lien: https://batteryuniversity.com/learn/archive/lithium_ion_safety_concerns

Figure 18 : Taille du marché mondial des différents types de batteries rechargeables (en milliards de US\$)



Source : Technavio

En 2020, les batteries de type lithium-ion représentaient environ 48 % du marché mondial des batteries de type rechargeable. Ce type de batterie nécessite peu d'entretien, un avantage que beaucoup d'autres produits chimiques ne peuvent revendiquer. Par contre, la batterie Li-ion se vend à prix élevé, mais qui tend à diminuer, ce qui la rend de plus en plus économique vis-à-vis des moteurs à essence traditionnels. Étant donné ces diverses utilisations, il est attendu que le marché des batteries de type lithium-ion poursuive une forte croissance, à un rythme annuel constant de près de 17 % de 2019 à 2024, tel qu'il est illustré ci-haut. De plus, on estime que ces dernières pourraient représenter jusqu'à 60 % du marché global des batteries de type rechargeable.

Le tableau suivant présente les principales caractéristiques des projets en développement au Québec pour le lithium ainsi que ceux présentement actifs.

Tableau 11 : Lithium - Principaux projets en développement ou présentement actifs au Québec

Nom du projet (localisation)	Détenteur des droits	Avancement du projet (incl. date de début des opérations)	Réserves (équivalent de t carbonate de lithium)	Production annuelle de spodumène (étape 1), volume de transformation (étape 2) ciblée ²⁴ et part du marché mondial 2025	Coûts de développement ²⁵ annoncés/ estimés par PwC ²⁶
James Bay (Baie James)	Galaxy Lithium (acquise par l'entreprise australienne Orocobre Limited)	La construction des projets doit débuter en 2021 avec la première production de lithium prévue pour 2024-2025.	Non disponible	Étape 1 : 330 000 t Étape 2 : PwC estime un potentiel de transformation de 55 000 t Part de marché : 6,5 %	Étape 1 : 321 M\$ Étape 2 : PwC estime des coûts de développement de 1 100 M\$
Whabouchi (Baie James) et Bécancour (Mauricie)	Nemaska Lithium	Nemaska Lithium étudie le plan de relance du projet, mais on peut anticiper une mise en production vers 2024-2025.	475 800	Étape 1 : 216 000 t Étape 2 : 37 000 t Part de marché estimée : 4,3 %	Étape 1 : 448 M\$ Étape 2 : 821 M\$ <i>*Étude et revue des coûts en cours, une partie des coûts de développement est déjà dépensée</i>
Rose Lithium-Tantale (Baie James)	Critical Elements Lithium Corporation	La construction devrait être lancée en 2021 et la production de lithium doit débuter en 2024-2025.	227 800	Étape 1 : 186 327 t Étape 1 (non-batterie) : 50 205 t Étape 2 : 31 054 t Part de marché : 3,7 %	Étape 1 : 300 M\$ ²⁷ Étape 2 : 400 M\$
Lithium Amérique du Nord, Authier et Tansim (Abitibi)	Sayona Québec	La mise en service des activités de Sayona Québec est prévue pour 2023 et les travaux vont débuter fin 2021.	281 954	Étape 1 : 220 000 t Étape 2 : PwC estime un potentiel de transformation de 36 667 t Part de marché estimée : 4,3 %	Étape 1 : 155 M\$, mise à jour de Lithium Amérique du Nord et investissement dans Authier Étape 2 : PwC estime des coûts de développement de 733 M\$
Moblan (Abitibi)	Sayona Nord (60%) et Soquem (40%)	Le projet Moblan a été soumis au BAPE, mais n'a pas encore obtenu son approbation. Acquisition récente de Sayona Nord des parts de Neotec Lithium (Guo Ao Lithium)	Non disponible	Étape 1 : 197 000 t Étape 2 : PwC estime un potentiel de transformation de 32 833 t Part de marché estimée : 4,3 %	Étape 1 : 400 M\$ Étape 2 : PwC estime des coûts de développement de 656 M\$
Total			985 554	Étape 1 : 1 163 000 t Étape 2 : 68 054 t Potentiel estimé par PwC (étape 2): 124 500 t Part de marché : 8 % (pouvant atteindre 23 % en incluant l'estimation du potentiel de PwC d'un marché projetée à 846 000 t)	Étape 1 : 1 624 M\$ Étape 2 : 1 221 M\$ Potentiel additionnel estimé par PwC (étape 2) : 2 489 M\$ Total, incluant potentiel : 5 334 M\$

Sources : Questionnaires, sites Web des entreprises, analyse PwC

²⁴ Estimé par PwC. Nemaska Lithium a un facteur de conversion du spodumène à l'hydroxyde de 5,8. Des références telles que celle-ci positionnent le ratio de conversion entre 5 et 6: <https://www.asx.com.au/asxpdf/20161213/pdf/43dnxk52t7m21c.pdf>. Nous avons donc utilisé un facteur de conversion du concentré de spodumène (étape 1) au carbonate/hydroxyde (étape 2) de 6 pour estimer les volumes de conversion potentiels.

²⁵ En fonction des dernières données publiques ou estimées.

²⁶ Coûts de développement de la transformation en hydroxyde ou en carbonate basés sur une estimation de 20 000 \$/tonne.

²⁷ Coûts totaux fournis par l'entreprise, allocation estimée par PwC entre les étapes 1 et 2.

Description du potentiel des différentes étapes de la chaîne de valeur

Étape 1 - Extraction et concentration : Cette étape comporte six acteurs principaux avec des projets relativement avancés, qui ont un potentiel d'impact économique envisageable sur l'horizon 2021-2025. D'autres acteurs progressant dans le développement de leur projet dans ce secteur seront aussi identifiés.

- 1. Galaxy Lithium (récemment acquise par l'entreprise minière australienne Orocobre Limited)** a trois projets actifs de développement de lithium, soit Mount Caitlin (Australie), Sal de Vida (Argentine) et James Bay (Québec). Le projet de Galaxy Lithium (James Bay) est, au moment d'écrire ce rapport, à l'étape de compléter les études de faisabilité et à la production d'un Rapport 43-101. Selon Galaxy Lithium et les résultats de l'étude économique préliminaire²⁸, le projet d'extraction de concentration du lithium en spodumène requiert un investissement en capital de l'ordre de 244 M\$ US, permettant de produire annuellement 330 000 tonnes de spodumène. Galaxy Lithium compte utiliser des méthodes d'exploitation minière à ciel ouvert conventionnelles ainsi qu'un schéma de procédés et une conception d'usine similaires au projet Mont Caitlin (l'extraction est effectuée à l'aide d'excavatrices et de camions, livrant le minerai à un circuit de concassage et de récupération par gravité à séparation moyenne dense « DMS »). La stratégie de développement consiste à faire progresser l'exploitation de la mine et du concentrateur en amont jusqu'à un statut « prêt pour la construction » tout en étudiant simultanément l'intégration avec une installation de conversion en aval. La construction des projets doit débuter en 2021 avec la première production de spodumène en 2024-2025. En avril 2021, Galaxy Lithium a fusionné avec l'entreprise minière australienne Orocobre Limited, devenant par le fait même la cinquième plus grande entreprise minière de lithium au monde²⁹.
- 2. Nemaska Lithium** a complété à l'automne 2020 son processus de restructuration et s'est privatisée dans l'optique de poursuivre le développement de sa mine, de son concentrateur à Whabouchi et de son usine de transformation, maintenant prévue à Bécancour. À la suite de la restructuration, Livent a participé au consortium avec The Pallinghurst Group (les deux entreprises détiennent à parts égales Québec Lithium Partners (QLP)), qui détient une participation de 50 % dans Nemaska alors que les 50 % restants de Nemaska appartiennent à Investissement Québec. QLP sera responsable du développement et de l'exploitation du projet³⁰. Livent opère sept sites industriels, dont deux qui transforment le spodumène en hydroxyde de lithium (États-Unis, Chine). Le projet de Nemaska est de revoir les études de faisabilité pour prévoir la relance du projet sur des assises plus solides (requérant un investissement en capital de 448 M\$ à Whabouchi et de 821 M\$ à Bécancour). Le projet de Nemaska Lithium³¹ consiste à l'extraction minière de spodumène (Whabouchi, 216 000 tonnes/an) et à la commercialisation d'hydroxyde de lithium de grade « batterie » (Bécancour, 37 000 tonnes/an). Nemaska Lithium a développé sa technologie d'hydroxyde de lithium dans une usine pilote et a aussi accès à la technologie de Livent qui est en opération commerciale. De plus, Nemaska Lithium étudie le plan de relance du projet et le choix de la technologie, mais on peut anticiper une mise en production vers 2024-2025.
- 3. Critical Elements Lithium Corporation** a complété, en novembre 2017, son étude de faisabilité pour l'extraction et la concentration de spodumène chimique (186 327 tonnes par an), de spodumène technique (50 205 tonnes, marché céramique) et de concentré de tantale (429 tonnes), requérant un investissement en capital de 341 M\$. Critical Elements étudie une phase 2 qui permettrait de transformer le spodumène en hydroxyde de lithium. Un programme pilote a converti avec succès le concentré de spodumène du projet Rose à 99 % de pureté hydroxyde de lithium de qualité « batterie », utilisant un processus thermique de lixiviation. Le procédé de lixiviation thermique a permis une récupération à 93 % pour dépasser la moyenne mondiale de 70-75 %, ce qui est accepté comme norme de l'industrie. Metso Outotec, propriétaire de la technologie, anticipe des récupérations globales de 80 % par rapport à l'indice de référence du marché de 65 %, tel qu'il est démontré dans les activités de l'usine pilote. Le procédé technologique s'opère en suivant les étapes suivantes : 1) pression et lixiviation de conversion, 2) purification et filtration, et 3) cristallisation pour produire de l'hydroxyde de lithium de qualité batterie. Le projet Rose est en bonne voie d'être pleinement autorisé, et sa construction commencera en 2021 et la production de spodumène, en 2023. L'équipe de gestion de Critical Elements continue d'évaluer l'intérêt des partenaires stratégiques mondiaux qui cherchent à accélérer la mise en production de Rose³².
- 4. Sayona Québec et Sayona Nord** se consacrent à l'exploration et à la mise en valeur des dépôts de lithium. Sayona Québec, depuis l'acquisition du projet Authier Lithium, a réalisé 9 000 mètres de forage et a investi plus de 7 M\$ en divers travaux d'exploration. L'étude de faisabilité a été révisée à la fin de 2019 et l'étude d'impact environnemental a été déposée au début de 2020. Sayona Québec progresse sur un deuxième projet, Tansim, pour lequel l'exploration

²⁸ Galaxy, 2020. Lien : <https://gxy.com/james-bay-2/>

²⁹ Pour plus d'informations sur la fusion des deux entreprises, voir :

<https://gxy.com/wp-content/uploads/2021/04/Orocobre-and-Galaxy-Merger-Presentation-Approved-for-release.pdf>

³⁰ <https://www.greencongress.com/2020/11/20201110-livent.html>

³¹ <https://www.nemaskalithium.com/fr/investisseurs/communiqués-de-presse/2021/965d46b4-2a74-4a60-9712-0a16ea690abc/>

³² https://www.cec corp.ca/wp-content/uploads/Critical_Elements_Investor_Presentation_2021_02_01_Final.pdf

est en cours. Récemment, Sayona Québec, en partenariat avec Piedmont Lithium inc³³, a fait l'acquisition des installations de Lithium Amérique du Nord inc. (LAN) à La Corne, en Abitibi-Témiscamingue. La relance des activités est prévue pour 2022-2023 et requiert un réinvestissement dans les actifs et la mise en service des activités de concentration. Il est prévu que les activités d'Authier et de Tansim soient intégrées afin d'alimenter en minerais traité le concentrateur de La Corne. La production annuelle ciblée de spodumène est de 220 000 tonnes. Aussi, les nouveaux investissements conjoints anticipés entre les sites Sayona Québec pour la transformation sont estimés à 155 M\$.

Son entreprise soeur, Sayona Nord, a fait l'acquisition de 60 % de parts détenues par Neotec Lithium (Guo Ao Lithium) dans le projet Moblan, situé à 130 km de Chibougamau, en Abitibi. L'autre 40 % demeure détenu par la Soquem. Le projet Moblan cible l'exploitation de spodumène pour des volumes annuels de 197 000 tonnes par année. Une étude de faisabilité a été complétée pour le projet et celui-ci est à l'étape du processus de revue du BAPE. Toutes les deux entreprises font partie du groupe Sayona Mining.

- 5. Autre acteur impliqué : Vision Lithium :** Le projet Sirmac se compose de 155 titres miniers, d'une superficie totale d'environ 7 670 hectares, situés à environ 180 kilomètres au nord-ouest de Chibougamau, en Abitibi. Le site semblerait être l'extension de la même structure comprimée qui abrite les gisements de spodumène Moblan de plusieurs millions de tonnes et de haute teneur, à quelque 35 km à l'est³⁴.

Étape 2 - Transformation du spodumène en hydroxyde ou carbonate de lithium : L'étape 2 comporte les mêmes acteurs principaux que ceux présentés pour l'étape 1, mais même si les ambitions sont bien présentes, on note un faible niveau d'avancement des projets. Nemaska a développé un procédé propriétaire testé dans une usine pilote, mais celui-ci n'avait toujours pas été testé pour des volumes commerciaux au moment d'écrire ce rapport. Sayona Québec a des équipements installés depuis 2014 à La Corne visant à effectuer la transformation du spodumène en carbonate de lithium, mais ceux-ci n'ont jamais été opérés commercialement avec succès, en partie en raison de la faible teneur de lithium dans le spodumène et de la forte teneur en fer.

Dans l'optique d'évaluer le potentiel du segment et les investissements requis, nous avons tenté d'estimer quelle serait la production d'hydroxyde ou de carbonate disponible par les six acteurs principaux de l'étape 1 et les coûts de projet anticipés. Pour ce faire, nous avons utilisé les ratios suivants :

- Un facteur de conversion entre le spodumène et l'hydroxyde de 6 : Nemaska Lithium projette un facteur légèrement supérieur à 6, mais nous avons souhaité être conservateur;
- Un facteur de capital d'investissement requis par rapport aux tonnes produites de 20 000 \$ par tonne. L'estimation actuelle pour Nemaska Lithium est légèrement au-dessus de ce facteur, mais nous avons projeté des économies d'échelle en considérant un regroupement potentiel des activités de transformation de deux ou trois usines au Québec³⁵.

Dans cette optique, en supposant le développement des six projets identifiés ci-haut et la transformation du spodumène au Québec en hydroxyde de lithium, la part de marché mondiale de la production de lithium au Québec pourrait atteindre plus de 20 % sur l'horizon 2025.

Ce constat est basé sur une production québécoise qui pourrait atteindre 192 554 tonnes, en supposant qu'il y aura 100 % de conversion du spodumène ciblé en hydroxyde ou en carbonate de lithium (soit les 37 000 tonnes annoncées de Nemaska, les 31 054 tonnes estimées de Critical Elements et les 124 500 tonnes potentielles estimées par PwC de spodumène de Galaxy Lithium, Sayona Québec et Sayona Nord, dans la transformation de leur production de spodumène en hydroxyde ou carbonate) pour un marché mondiale estimée à 846 000 tonnes en 2025.

Cela pourrait positionner le Québec comme un des plus importants fournisseurs de lithium de grade batterie au monde.

³³ (Sayona à 75 % et Piedmont à 25 %)

³⁴ <https://visionlithium.com/sirmac-2/?lang=fr>

³⁵ À noter que seul le projet de Nemaska Lithium a été inclus dans les estimations d'analyse d'impact économique, car les données n'étaient disponibles que pour ce projet.

Retombées économiques futures³⁶

Le tableau ci-dessous présente le nombre d'entreprises actives selon les plans de développement des entreprises incluses dans notre analyse pour l'horizon 2021 à 2025. Ainsi, notre analyse inclut quatre (4) entreprises actives à l'étape de l'exploration minière, cinq (5) à l'étape de la construction, quatre (4) à l'étape de l'exploitation minière et deux (2) à l'étape de la première transformation. Les entreprises incluses dans notre analyse sont celles pour lesquelles nous disposons de suffisamment de données pour mesurer les impacts économiques et pour lesquelles la réalisation du projet était assez avancée au moment de produire le présent rapport. D'autres projets d'exploration, avec les dépenses et retombées économiques qui y sont associées, pourraient survenir au cours de l'horizon considéré; ces retombées ne seraient pas tenues en compte par les résultats présentés dans la section.

Tableau 12 : Répartition du nombre de projets et des sommes encourues pour le développement de la filière lithium au Québec pour l'horizon 2021-2025, selon les différents maillons de la chaîne de valeur

	Exploration (2021-2025)	Construction (2021-2025)	Exploitation minière (2025)	Première transformation (2025)
Nombre de projets	4	5	4	2
Montants dépensés (en M\$)	12,9	2 078,5	315,2	183,8

Source : Résultats de sondage et des recherches secondaires, analyse PwC

En considérant la chaîne des fournisseurs québécois de biens et services, l'apport total en emplois du développement de la filière du lithium est estimé à 90 et à 12 010 emplois sur la période de 2021 à 2025 pour les maillons de l'exploration et de la construction, respectivement. De plus, l'activité économique générée par ces deux maillons est associée à près de 1 280 M\$ de valeur ajoutée au PIB québécois, dont l'essentiel de cette somme est associé à l'étape de la construction avec près de 1 270 M\$ pour la construction de mines ou d'usines de transformation entre 2021 et 2025.

Les activités d'exploitation et de première transformation ont un potentiel économique considérable, alors que l'on estime que ces deux maillons pourraient générer et supporter 1 200 emplois annuellement, dont 790 emplois pour le maillon de l'exploitation minière. La contribution à l'activité économique du Québec, mesurée par l'apport au PIB de la province, est estimée à une somme récurrente d'année en année de 353 M\$.

Tableau 13 : Impacts économiques totaux liés au développement de la filière lithium au Québec pour l'horizon 2021-2025, selon les différents maillons de la chaîne de valeur

	Exploration (retombées totales sur la période 2021-2025)	Construction (retombées totales sur la période 2021-2025)	Exploitation minière (retombées annuelles, 2025)	Première transformation (retombées annuelles, 2025)
Valeur ajoutée (en M\$)	10,0	1 267,6	255,5	97,3
Nombre d'emplois (en années-personnes)	90	12 010	790	410

Source : Simulation ISQ à partir des résultats de sondage et des recherches secondaires, analyse PwC

Notes : 1. Les chiffres ayant été arrondis, la somme des éléments peut ne pas correspondre au total; 2. Les montants présentés dans ce tableau représentent les impacts totaux, c'est-à-dire la somme des impacts directs et indirects.

Enfin, les dépenses de ces entreprises et la production qui y est associée auront un impact sur les recettes fiscales des gouvernements provincial et fédéral. C'est un total de 189 M\$ sur la période de 2021 à 2025 qui devrait être perçu par les deux paliers de gouvernement en raison de l'activité économique générée par les maillons de l'exploration et de la construction. Sur une base annuelle, les activités liées à l'exploitation et la première transformation sont associées à des recettes fiscales de l'ordre de 28 M\$.

³⁶ À noter que cette section se base sur les mêmes hypothèses que celles présentées à la section sur les retombées actuelles concernant les structures de coûts. Par souci de ne pas alourdir le texte, nous présentons ici seulement les retombées totales, soit la somme des retombées directes et indirectes. Des tableaux détaillés sont présentés à l'Annexe E.

Tableau 14 : Impacts fiscaux totaux liés au développement de la filière lithium au Québec pour l'horizon 2021-2025, selon les différents maillons de la chaîne de valeur

	Exploration (retombées totales sur la période 2021-2025)	Construction (retombées totales sur la période 2021-2025)	Exploitation minière (retombées annuelles, 2025)	Première transformation (retombées annuelles, 2025)
Gouvernement du Québec (en M\$)	1,0	94,6	10,1	4,6
Gouvernement fédéral (en M\$)	0,9	92,1	9,3	4,3

Source : Simulation ISQ à partir des résultats de sondage et des recherches secondaires, analyse PwC

Notes : 1. Les chiffres ayant été arrondis, la somme des éléments peut ne pas correspondre au total; 2. Les montants présentés dans ce tableau représentent les impacts totaux, c'est-à-dire la somme des impacts directs et indirects.

Graphite

Les batteries lithium-ion utilisent généralement des anodes en graphite, car elles supportent bien le flux d'ions lithium pendant la charge et la décharge. Néanmoins, le graphite utilisé dans la production de batteries nécessite une pureté de haut niveau : la production de graphite de qualité anodique requiert une pureté de 99,99 %. L'atteinte de ce standard entraîne certains défis pour les producteurs de graphite puisque les processus de purification sont coûteux et engendrent une quantité importante de déchets.

Le graphite existe sous deux formes :

1. le graphite naturel (provenant des mines);
2. le graphite synthétique (provenant du coke de pétrole).

Ces deux types de graphite sont utilisés pour les anodes des batteries Li-ion : 55 % des anodes sont en graphite synthétique alors que le reste est en graphite naturel. Les fabricants préfèrent le graphite synthétique en raison de sa consistance et de sa pureté supérieure à celles du graphite naturel. Cette situation est en train de changer et, grâce aux procédés modernes de purification chimique et au traitement thermique, le graphite naturel atteint une pureté de 99,9 % contre 99,0 % pour l'équivalent synthétique.

Le graphite naturel purifié en paillettes a une structure cristalline plus élevée et offre une meilleure conductivité électrique et thermique que le matériau synthétique. Une utilisation plus répandue du graphite naturel dans la production industrielle de batteries permettra de réduire les coûts de production tout en conservant ou en améliorant les performances des batteries Li-ion. En effet, le graphite naturel non traité est beaucoup moins cher et plus respectueux de l'environnement que le graphite synthétique.

Le graphite : un minéral essentiel, mais non critique

La croissance de la demande pour le graphite est appelée à croître de près de 500 %, selon la Banque mondiale, entre 2018 et 2050. Étant donné la maturité du marché actuel, cette demande pourrait être en théorie couverte par les réserves existantes³⁷.

- Production annuelle actuelle : 1,1 million de tonnes en 2020³⁸
- Production annuelle anticipée : 4,5 millions de tonnes en 2050³⁹
- Réserve : 320 millions de tonnes⁴⁰

Ainsi, bien que le taux de croissance de la demande soit favorable, l'abondance relative du graphite et le niveau de saturation des marchés ajoutent de l'incertitude quant au développement de certains projets.

Le tableau suivant présente les principales caractéristiques des projets en développement au Québec pour le graphite ainsi que ceux présentement actifs.

³⁷ Banque mondiale : Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition (2020), The World Bank ('World Bank Report 2020')

³⁸ Graphite data sheet – mineral commodities summaries (2021) USGS

³⁹ Banque mondiale : Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition (2020), The World Bank ('World Bank Report 2020')

⁴⁰ Graphite data sheet – mineral commodities summaries (2021) USGS

Tableau 15 : Graphite - Principaux projets en développement ou présentement actifs au Québec

Nom du projet (localisation)	Détenteur des droits	Avancement du projet (incluant date de début des opérations)	Réserves (en tonnes de graphite)	Production annuelle et part du marché mondial en 2025 ⁴¹	Coûts de développement
Lac-des-Îles (Les Laurentides)	Imerys Graphite and Carbon	Peu de détails disponibles : le site est actuellement en production, mais le gîte en opération approche de la fin de vie . De plus, l'entreprise dispose d'une usine de traitement à Terrebonne.	386 000	Étape 1 : 11 800 tonnes de concentré de graphite Étape 2 : Non disponible	Ne s'applique pas
Matawinie (Lanaudière) et Bécancour (Mauricie)	Nouveau Monde Graphite	Après avoir obtenu les premiers permis, les travaux de préparation du terrain (excavation, routes, plateforme industrielle) ont commencé. La date de fin des travaux n'était pas précisée au moment d'écrire ce rapport.	2 601 000	Étape 1 : 100 000 tonnes de concentré de graphite Étape 2 : 2 000 tonnes (phase 1) et 40 000 tonnes (phase 2) de graphite sphérique purifié enrobé	Étape 1 : 276 M\$ Étape 2 : 1 000 M\$
Lac Guéret Sud (Lac Manicouagan)	Berkwood Resources	Des initiatives de forage et d'échantillonnage sont en cours, mais aucun détail n'est disponible quant à la potentielle construction du site.	Non disponible	Étape 1 : 50 000 tonnes de concentré de graphite	Non disponible
Lac Guéret (Lac Manicouagan)	Mason Graphite	Depuis avril 2020, compte tenu de l'offre excédentaire actuelle de graphite sur les marchés mondiaux et des conditions défavorables des marchés de capitaux pour les projets de ressources naturelles, la société a décidé de reporter, jusqu'à nouvel ordre, le développement de la mine et du concentrateur du Lac Guéret. Les nouveaux actionnaires étudient le dossier à nouveau.	1 317 000	Étape 1 : 50 000 tonnes de concentré de graphite	Étape 1 : 280 M\$
Miller (Grenville)	Canada Carbon	Conditionnellement à l'approbation du Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE), les travaux devraient débuter en 2024 ou 2025.	Non disponible	Étape 1 : 1 515 tonnes de concentré de graphite (marché de spécialité à haute valeur ajoutée)	Étape 1 : 41 M\$
Lac Knife (Côte-Nord)	Focus Graphite	Focus Graphite prévoit le début des travaux en 2024.	1 188 750	Étape 1 : 44 300 tonnes de concentré de graphite	Étape 1: 175 M\$
Total			5 492 750	Étape 1 : 257 615 Étape 2 : 40 000, Parts de marché : 2,1 % d'un marché de 1 900 000 tonnes	Étape 1 : 772 M\$ Étape 2 : 1 000 M\$ Total : 1 772 M\$

Source : Questionnaires, sites Web des entreprises

⁴¹ Pour le calcul des parts de marché, nous avons utilisé la production mondiale annuelle suivante : 1,1 million de tonnes de graphite.

Description du potentiel des différents maillons

Étape 1 - Extraction et concentration : Le maillon comporte six acteurs principaux avec des projets actifs ou relativement avancés, qui ont un potentiel d'impact économique envisageable sur l'horizon 2021-2025. D'autres acteurs progressant dans le développement de leur projet dans ce secteur seront aussi identifiés.

- 1. Imerys Graphite and Carbon** : La mine du Lac-des-Îles est en opération depuis 1989. Il s'agit de la seule mine de graphite naturel détenue à 100 % par Imerys et les concentrés de graphite sont directement vendus à diverses compagnies ou transformés par Imerys dans les usines de Bodio en Suisse et de Terrebonne. En 2016, Imerys a commencé à exploiter son dernier gisement et la fermeture complète du site est prévue d'ici la fin de 2021⁴².
- 2. Nouveau Monde Graphite** : L'entreprise possède 100 % de la propriété de graphite Matawinie et a reçu le feu vert du gouvernement provincial pour aller de l'avant avec son projet, qui produira à terme 100 000 tonnes de concentré de graphite par an pour un projet de mine à ciel ouvert entièrement électrique. En effet, Nouveau Monde Graphite s'est engagée à ce que ses équipements miniers de concentration et traitement du minerai soient entièrement électriques dans les cinq premières années de production, un modèle d'exploitation unique au monde et qui pourrait représenter une réduction possible de plus de 300 000 tonnes d'émission de CO₂ sur la durée de vie de la mine. Le projet vise les marchés des aciéries et de la fabrication de batteries lithium-ion. La société a conclu une entente avec la communauté innue de Pessamit et bénéficie d'une acceptabilité sociale⁴³. Le graphite qui y sera extrait est considéré comme de haute pureté et d'une qualité suffisante pour les batteries lithium-ion.
- 3. Berkwood Resources** : Au moment d'écrire ce rapport, la caractérisation minérale était toujours limitée et le niveau des réserves sur le site n'était pas encore connu. Néanmoins, il est reconnu que le site repose sur un dépôt de graphite considérable, et les premiers résultats métallurgiques indiquent qu'il serait possible d'obtenir un concentré de graphite de haute qualité.
- 4. Mason Graphite** : Mason Graphite est une société canadienne dédiée à la production et à la transformation de graphite naturel. Sa stratégie de croissance comprend le développement de produits à valeur ajoutée, notamment destinés aux technologies vertes, dont l'électrification des transports. Elle détient également 100 % des droits du gisement de graphite naturel du Lac Guéret, considéré comme l'un des plus riches au monde. La société travaille depuis 2012 au développement d'un projet de mise en valeur du gisement de graphite naturel du Lac Guéret. Ce projet comprend l'aménagement d'une mine à ciel ouvert et l'implantation d'une usine de traitement (concentrateur) à Baie-Comeau. En 2018, la société avait reçu le feu vert pour la construction de sa mine et de son usine de transformation. Or, en 2020, elle a annoncé qu'elle reportait indéfiniment son projet de mine du Lac Guéret en raison des surplus de graphite naturel sur les marchés mondiaux et des conditions très défavorables des marchés boursiers⁴⁴. Au début de 2021, Mason Graphite a mis sur pied un nouveau conseil d'administration qui laisse croire que le projet pourrait être mis de nouveau au cœur des priorités de la société⁴⁵. En attendant, l'entreprise souhaite se concentrer sur un projet de deuxième transformation, c'est-à-dire sur la fabrication de graphite sphérique enrobé, puisqu'elle estime que l'intérêt pour ce type de produit sur les marchés est plus grand⁴⁶.
- 5. Canada Carbon** : La propriété Miller est située dans Les Laurentides, à la limite de la région de l'Outaouais. Le projet Miller sera une mine à ciel ouvert d'une superficie totale exploitée de 12 hectares. Le projet comporte deux fosses pour l'extraction du graphite, une fosse pour l'extraction du marbre ainsi que des installations de service. À l'heure actuelle, les évaluations géologiques permettent de statuer sur le niveau des réserves du site. La fosse de graphite produira au maximum 1 515 tonnes de graphite purifié par année. Canada Carbon vise des marchés spécialisés ou de niche où un graphite naturel de haute pureté et de haute cristallinité est essentiel. Les tests réalisés à ce jour ont démontré que le graphite de Miller a une cristallinité élevée et qu'il peut être purifié à 99,9998 %. Les marchés cibles de la société sont les matériaux de référence certifiés (MRC), le stockage de l'énergie, les piles à combustible, les petits réacteurs modulaires, la technologie spatiale, les additifs conducteurs et les matériaux pour les anodes de batteries haut de gamme. La construction est prévue pour 2024-2025, conditionnellement à l'approbation du projet par le BAPE. Le graphite sera extrait à partir de la mine à ciel ouvert, concassé, traité par flottation et valorisé thermiquement.

⁴² <https://infodelalievre.ca/actualites/2016/09/19/fin-du-gisement-de-graphite-dans-5-ans/>

⁴³ https://inmq.qc.ca/publication/75/exploiter_graphite_quebec

⁴⁴ <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1692729/baie-comeau-lac-gueret-usine-mine-bourse-emploi-graphite>

⁴⁵ <https://www.lemanic.ca/2021/01/05/une-nouvelle-tangente-pour-la-direction-de-mason-graphite/>

⁴⁶ <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1692729/baie-comeau-lac-gueret-usine-mine-bourse-emploi-graphite>

6. Focus Graphite : Focus Graphite Inc. est une société d'exploration avancée dont l'objectif est de produire du concentré de graphite dans sa propriété du Lac Knife, sur la Côte-Nord. Dans l'objectif de répondre aux intérêts des parties prenantes québécoises dans le développement d'industries de deuxième transformation et pour ajouter de la valeur aux yeux des actionnaires, Focus Graphite évalue présentement la faisabilité de produire des produits de graphite de spécialité à valeur ajoutée (p. ex. graphite sphérique de qualité batterie). Selon son rapport technique publié en 2014, la méthode d'extraction consistera en une mine à ciel ouvert et la production atteindrait 44 300 tonnes de concentré de graphite par année sur une période de 25 ans. Le concentré de graphite sera récupéré par flottation. Composé d'environ 15 % de carbone graphite, Lac Knife est l'un des gisements de graphite en paillettes les plus riches au monde. L'entreprise a complété l'étude de faisabilité et l'étude environnementale pour l'implantation de la mine. Elle a déjà signé une entente en 2014 avec le conseil des Innus de Uashat-Maliotenam. Au moment d'écrire ce rapport, l'entreprise était toujours en recherche de financement pour la construction de la mine, un projet évalué à 175 M\$⁴⁷. Si tout se passe bien, la construction du site serait prévue pour 2024.

7. Autres acteurs impliqués :

- a. Lomiko - La Loutre :** En 2021, Lomiko Metals Inc. a annoncé l'acquisition du projet La Loutre au vendeur Corporation Minéraux Précieux du Québec. La propriété La Loutre consiste en 1 grand bloc contigu de 42 claims miniers, totalisant 2 508,97 hectares (25,09 km²), situé à environ 53 km à l'est de la mine de graphite Lac-des-Îles. Lomiko Metals se concentre sur l'exploration et le développement de minéraux pour la nouvelle économie verte, comme le lithium et le graphite. Lomiko détient également une participation de 100 % dans Lomiko Technologies Inc., un investisseur dans la technologie du graphène et un fabricant de produits électroniques. Les prochaines étapes consisteront à produire une caractérisation complète de la métallurgie et du graphite et à produire une mise à jour d'un Rapport technique 43-101 ainsi qu'une étude d'évaluation économique. Néanmoins, selon les études préliminaires, le site présente une estimation de ressources de 18,4 millions de tonnes à une teneur de 3,19 % de graphite en paillettes de carbone.
- b. Metals Australia Limited - Lac Rainy Nord Graphite :** Situé près de Fermont, le projet de graphite du Lac Rainy Nord est situé dans les régions géologiques de graphite les plus importantes du Québec. Le site appartient à 100 % à la compagnie minière australienne Metals Australia Limited. En 2020, la compagnie a produit des études de caractérisation métallurgique qui indiquent des ressources de 13,3 millions de tonnes Indiqué et Inféré à une teneur moyenne de 11,5 % TGC (carbone graphitique total), pour un contenu de 1,53 million de tonnes de graphite. Au moment d'écrire ce rapport, le niveau des réserves n'était pas connu. Selon la compagnie, la qualité de classe mondiale de la ressource, combinée à sa taille, offre une flexibilité importante pour le développement potentiel d'une exploitation minière de graphite à haute teneur sur une longue durée, dans une juridiction sûre et stable. La mine a le potentiel d'être exploitée à l'aide de méthodes à ciel ouvert avec de faibles ratios de décapage, puisque près de 90 % de la ressource minière identifiée se situe dans les premiers 100 mètres.
- c. Saint Jean Carbon - Bell Graphite :** Historique, cette mine a produit 2 500 tonnes de graphite de 1912 à 1920. Des forages d'exploration ont été effectués au début des années cinquante. Une estimation historique des minéraux a démontré l'existence de 185 100 tonnes de ressources minérales à 9,4 % de graphite (non conforme à la norme NI 43-101). En 2017, de nouvelles études ont permis de conclure qu'il y avait suffisamment de minerai de qualité commerciale pour soutenir une exploitation à l'échelle de 100 à 150 tonnes par jour pendant au moins une décennie. Néanmoins, aucune information publique n'est disponible quant à l'état d'avancement des travaux.
- d. Mousseau West :** Le projet représente 12 concessions minières sur environ 489 hectares, situées à environ 12 kilomètres au nord de la ville de Sainte-Véronique, dans la région des Laurentides. La propriété pourrait contenir des ressources estimées à 597 980 tonnes avec une teneur en graphite de 7 %. Cette estimation date de 1991 et n'est pas conforme à la norme canadienne 43-101. Nous notons qu'aucune information publique n'est disponible quant à l'état d'avancement actuel du projet Mousseau West.

Étape 2 - Transformation du graphite : Au Québec, la promotion des énergies vertes en lien avec la politique d'électrification des transports du gouvernement met la table pour le développement de l'industrie du graphite. Dans ce contexte, il semble raisonnable de penser que les objectifs gouvernementaux d'électrification des transports susciteront l'intérêt du secteur privé pour une augmentation de la production annuelle et pour la mise en place d'une filière de transformation du graphite. En lien avec les recherches effectuées dans le cadre de ce rapport, on note deux projets de transformation première du graphite dans les cinq prochaines années.

⁴⁷ <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/715217/cote-nord-investissement-mine-focus-graphite>

1. Nouveau Monde Graphite : Nouveau Monde Graphite vise à développer un modèle d'affaires complètement intégré allant de la mine au matériel de batterie. La construction de l'unité d'enrobage phase 1 a commencé et la mise en service est prévue pour le premier trimestre de 2022. Cette usine permettra à la compagnie de mettre en marché 2 000 tonnes par année de graphite sphérique purifié enrobé, une composante clé pour la fabrication d'anode de batterie lithium-ion. Le déploiement de l'installation de purification phase 1 permettra à Nouveau Monde de compter parmi les quelques entreprises en Amérique du Nord et en Europe qui peuvent purifier le graphite naturel à grande échelle. L'usine regroupe des unités de micronisation, de sphéronisation, de purification et d'enrobage et permettra de fournir un graphite pur à 99,05 % et plus. Parallèlement au déploiement de l'installation de démonstration phase 1, Nouveau Monde développe une usine phase 2 qui permettra d'augmenter les capacités de production à 40 000 tonnes par année de graphite sphérique purifié pour la phase initiale, avec une capacité pouvant atteindre 100 000 tonnes par année à mesure que la demande projetée sur les marchés des batteries et des spécialités s'intensifie. L'usine prévue sera carboneutre et pratiquement sans déchets. Ce projet pourrait permettre au Québec de se positionner sur le marché par sa capacité à fournir un graphite « éthique et vert »⁴⁸. De plus, l'usine produira 3 kT de graphite purifié, utilisé dans les piles à hydrogène et les feuillets de dissipation thermique pour les technologies 5G. À l'heure actuelle, ce projet d'usine de matériel de batterie est au stade de l'étude de faisabilité. Bien que les travaux avancent bien, la courbe d'apprentissage pour Nouveau Monde Graphite représente un défi de taille, car les spécificités techniques liées à la technologie des batteries lithium-ion sont très exigeantes. Cela demeure néanmoins une voie porteuse pour les prochaines années.⁴⁹

2. Autre acteur impliqué :

Mason Graphite : Dans la première mouture de son projet, Mason Graphite a prévu une capacité de concentration de 50 000 tonnes par année de concentré de graphite, en utilisant un processus conventionnel de concassage, de broyage et de séparation physique par flottation à l'aide de réactifs, mais sans aucun acide. Toutefois, au moment d'écrire ce rapport, ce projet est reporté de façon définitive.

Pour l'étape 3, nous notons la présence de NanoXplore, une entreprise qui produit du graphène et qui est en mesure de fournir de la poudre de graphène à haut volume pour sur les marchés industriels. Fondée en 2011, NanoXplore a implanté son siège social à Montréal. Cet emplacement comprend également une usine entièrement automatisée ayant la capacité de produire 4 000 tonnes métriques par année de poudre de graphène. L'entreprise prévoit augmenter sa production à 10 000 tonnes par an dans les prochaines années.

Retombées économiques futures⁵⁰

Le tableau ci-dessous présente le nombre d'entreprises actives selon les plans de développement des entreprises incluses dans notre analyse pour l'horizon 2021 à 2025. Ainsi, notre analyse inclut trois (3) entreprises actives à l'étape de l'exploration minière, quatre (4) à l'étape de la construction, quatre (4) à l'étape de l'exploitation minière et trois (3) à l'étape de la première transformation. Les entreprises incluses dans notre analyse sont celles pour lesquelles nous disposons de suffisamment de données pour mesurer les impacts économiques et pour lesquelles le niveau du projet était assez avancé au moment de produire le présent rapport. D'autres projets d'exploration, avec les dépenses et retombées économiques qui y sont associées, pourraient survenir au cours de l'horizon considéré; ces retombées ne seraient pas prises en compte par les résultats présentés dans la section.

Le tableau suivant présente les dépenses encourues par le développement de ces différents projets.

Tableau 16 : Répartition du nombre de projets et des sommes encourues pour le développement de la filière graphite au Québec pour l'horizon 2021-2025, selon les différents maillons de la chaîne de valeur

Les montants dépensés sont en millions de dollars de 2021

	Exploration (2021-2025)	Construction (2021-2025)	Exploitation minière (2025)	Première transformation (2025)
Nombre de projets	3	4	4	3
Montants dépensés (en M\$)	35,1	1 646,3	77,3	160,5

Source : Résultats de sondage et des recherches secondaires, analyse PwC

⁴⁸ <https://nouveau monde.group/fr/operations/#materiaux-avances>

⁴⁹ https://inmq.qc.ca/publication/75/exploiter_graphite_quebec

⁵⁰ À noter que cette section se base sur les mêmes hypothèses que celles présentées à la section sur les retombées actuelles concernant les structures de coûts. Par souci de ne pas alourdir le texte, nous présentons ici seulement les retombées totales, soit la somme des retombées directes et indirectes. Des tableaux détaillés sont présentés à l'Annexe E.

En considérant la chaîne des fournisseurs québécois de biens et services, l'apport total en emplois du développement de la filière du graphite est estimé à 250 et 9 510 emplois sur la période de 2021 à 2025 pour les maillons de l'exploration et de la construction, respectivement. De plus, l'activité économique générée par ces deux maillons est associée à près de 1 032 M\$ de valeur ajoutée au PIB québécois, dont l'essentiel de cette somme est associé au maillon de la construction avec 1 004 M\$ pour la construction de mines ou d'usines de transformation entre 2021 et 2025.

Les activités d'exploitation et de première transformation ont un potentiel économique considérable, alors que l'on estime que ces deux maillons pourraient générer et supporter 810 emplois annuellement, dont 450 emplois pour le maillon de l'exploitation minière. La contribution à l'activité économique du Québec, mesurée par l'apport au PIB de la province, est estimée à une somme récurrente d'année en année de 151 M\$.

Tableau 17 : Impacts économiques totaux liés au développement de la filière graphite au Québec pour l'horizon 2021-2025, selon les différents maillons de la chaîne de valeur

La valeur ajoutée est en millions de dollars de 2021 et les emplois en années-personnes

	Exploration (total sur la période 2021-2025)	Construction (total sur la période 2021-2025)	Exploitation minière (dépense annuelle, 2025)	Première transformation (dépense annuelle, 2025)
Valeur ajoutée (en M\$)	27,3	1 004,0	65,7	85,0
Nombre d'emplois (en années-personnes)	250	9 510	450	360

Source : Simulation ISQ à partir des résultats de sondage et des recherches secondaires, analyse PwC

Notes : 1. Les chiffres ayant été arrondis, la somme des éléments peut ne pas correspondre au total; 2. Les montants présentés dans ce tableau représentent les impacts totaux, c'est-à-dire la somme des impacts directs et indirects.

Enfin, les dépenses de ces entreprises et la production qui y est associée auront un impact sur les recettes fiscales des gouvernements provincial et fédéral. C'est un total de 153 M\$ sur la période de 2021 à 2025 qui devrait être perçu par les deux paliers de gouvernement en raison de l'activité économique générée par les maillons de l'exploration et de la construction. Sur une base annuelle, les activités liées à l'exploitation et à la première transformation sont associées à des recettes fiscales de près de 16 M\$.

Tableau 18 : Impacts fiscaux totaux liés au développement de la filière graphite au Québec pour l'horizon 2021-2025, selon les différents maillons de la chaîne de valeurs

En millions de dollars de 2021

	Exploration (total sur la période 2021-2025)	Construction (total sur la période 2021-2025)	Exploitation minière (dépense annuelle, 2025)	Première transformation (dépense annuelle, 2025)
Gouvernement du Québec (en M\$)	2,6	74,9	3,8	4,0
Gouvernement fédéral (en M\$)	2,5	72,9	3,6	3,8

Source : Simulation ISQ à partir des résultats de sondage et des recherches secondaires, analyse PwC

Notes : 1. Les chiffres ayant été arrondis, la somme des éléments peut ne pas correspondre au total; 2. Les montants présentés dans ce tableau représentent les impacts totaux, c'est-à-dire la somme des impacts directs et indirects.

Cobalt, nickel et cuivre

Tous les matériaux d'une batterie possèdent une énergie spécifique théorique, et la clé d'une capacité élevée et d'une puissance supérieure réside principalement dans la cathode. Dans une batterie lithium-ion, les matériaux cathodiques courants sont l'oxyde de cobalt-lithium, l'oxyde de manganèse-lithium (également connu sous le nom de spinelle ou de manganate de lithium), le phosphate de fer-lithium ainsi que le nickel-manganèse-cobalt-lithium (ou NMC) et l'oxyde de nickel-cobalt-aluminium-lithium (ou NCA). Le cuivre est un minéral important dans les circuits électriques et les véhicules électriques, les éoliennes et les panneaux solaires, contribuant fortement aux principales applications reliées à l'électrification des transports et aux énergies renouvelables.

Le cobalt est un minéral rare, toxique et brillant que l'on retrouve dans la cathode de presque toutes les batteries lithium-ion utilisées aujourd'hui. Il est cher, lourd et typiquement associé à des pratiques minières discutables sur le plan éthique, à des fluctuations de prix et à une chaîne d'approvisionnement mondiale instable. Le cobalt peut représenter un cinquième des matériaux d'une cathode lithium-ion, généralement sous la forme NMC ou NCA. Le cobalt contenu dans ces batteries a un effet stabilisateur et empêche la corrosion de la cathode qui peut conduire à une explosion de la batterie, et il peut également augmenter la capacité de charge d'une batterie. Près des deux tiers du cobalt mondial sont extraits en République démocratique du Congo, en tant que produit secondaire de l'exploitation à grande échelle du nickel et du cuivre, mais ce pays compte également un important contingent d'exploitants indépendants ou artisanaux qui opèrent sans contrainte réglementaire ou surveillance. Cette situation a entraîné une multitude de violations des droits de l'homme dans les mines de cobalt congolaises, notamment le recours au travail des enfants⁵¹. En raison de ces problèmes, les entreprises et les chercheurs se concentrent de plus en plus sur le développement de technologies de batteries qui évitent l'utilisation du cobalt ou la recherche de sources d'approvisionnement plus éthiques.

Quant **au nickel**, son principal avantage dans la fabrication de batteries est qu'il permet d'obtenir une densité énergétique plus élevée et une plus grande capacité de stockage, et ce, à moindre coût. De nouvelles avancées technologiques dans les batteries contenant du nickel indiquent qu'elles sont appelées à jouer un rôle croissant dans les systèmes de stockage d'énergie, contribuant à rendre le coût de chaque kWh de stockage par batterie plus compétitif. De plus, le nickel rend plus viable la production d'énergie à partir de sources d'énergie renouvelables intermittentes, telles que le vent et le soleil. La plupart des batteries Li-ion utilisent désormais du nickel. Deux des types de batteries les plus couramment utilisés, NCA et NMC, sont composés de 80 % et 33 % de nickel, respectivement⁵². Le nickel est une composante essentielle des cathodes de nombreux modèles de batteries secondaires. À long terme, la demande de nickel sera alimentée par le nickel de classe 1, principalement utilisé dans les batteries. Bien que les minerais oxydés et sulfurés puissent être convertis en nickel de classe 1, le traitement des minerais sulfurés est technologiquement plus facile. Les latérites de nickel (oxyde) sont le type de minerai dominant dans les grandes découvertes de gisements de nickel, mais elles renferment plus de 80 % du contenu en nickel. Sur ces 10 découvertes de sulfures, une seule, Voisey's Bay de Vale, au Canada, est actuellement en production, ce qui laisse 9 gisements contenant 16,5 Mt de nickel disponibles pour le développement. Parmi ceux-ci, seuls trois ont fait l'objet d'une étude de faisabilité et pourraient être mis en production au cours des prochaines années.

Le cuivre est reconnu pour sa durabilité, sa conductivité électrique et sa fiabilité. Il est utilisé comme un composant dans les moteurs électriques, les batteries, les onduleurs, le câblage et les stations de recharge. Par exemple, un véhicule 100 % électrique peut contenir plus d'un kilomètre de fil de cuivre. En 2016, la quantité estimée de cuivre utilisée dans tous les véhicules électriques était de près de 12 millions de kilos⁵³. Dans le cas des batteries Li-ion, le cuivre est utilisé comme collecteur de courant pour l'anode.

⁵¹ Daniel Oberhaus, Wired Science.

⁵² Les nouvelles formulations de NMC approchent également les 80 % de nickel.

⁵³ Copper Development Association Inc, comment le cuivre alimente les véhicules électriques, lien : https://www.copper.org/publications/pub_list/pdf/A6192_ElectricVehicles-Infographic.pdf

Le tableau suivant présente les principales caractéristiques des projets en développement au Québec pour le cobalt, le nickel et le cuivre ainsi que ceux présentement actifs.

Tableau 19 : Cobalt, nickel et cuivre - Principaux projets en développement ou présentement actifs au Québec

Nom du projet (et localisation)	Détenteur des droits	Avancement du projet (incl. date de début des opérations)	Réserves	Production annuelle concentrée (étape 1), nickel/cobalt/cuivre (étape 2) ciblée/(potentielle) en tonnes et part de marché mondial 2025 ⁵⁴	Coûts de développement
LaRonde (Abitibi)	Agnico Eagle Mines Limited	En opération depuis 1988, la mine LaRonde extrait un minerai contenant de l'or, de l'argent, du zinc et du nickel. Elle traite le minerai dans son complexe métallurgique LaRonde où s'effectue la flottation du cuivre et du zinc.	39 117 tonnes de cuivre	Cuivre Étape 1 : 3 400 tonnes de concentré Étape 2 : Non disponible	En opération
Dumont Nickel (Abitibi)	Magneto Investments	Les travaux devront débuter en janvier 2023 et être complétés à la fin 2025. La première production est prévue en début d'année 2026, soit trois ans après le début des travaux ⁵⁵ .	3 100 000 tonnes de nickel 126 000 tonnes de cobalt	Nickel Étape 1 : 39 000 tonnes en étude Étape 2 : Potentiel de transformation au Québec lié au nickel de « classe 1 » de Dumont Nickel à plus de 40 000 tonnes par an ⁵⁶ . Cobalt Étape 1 : 3 000 tonnes de cobalt, part de marché estimée à 1,5 %	Étape 1 : 1 357 M\$
Raglan (Nunavik)	Glencore Canada Corporation	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. Ce site produit actuellement du cobalt en sous-produit de l'exploitation et du broyage du nickel.	3 376 738 tonnes de nickel	Nickel Étape 1 : 39 500 tonnes de concentré Cuivre Étape 1 : 10 000 tonnes de concentré Cobalt Étape 1 : 1 000 tonnes de concentré	Étape 1 : 552 M\$
Bracemac-McLeod (Matagami)		La mine Bracemac-McLeod consiste en un gisement de sulfures massifs volcanogènes à haute teneur, situé dans le prolifique district minier de Matagami, au Québec. La mine souterraine extrait de l'argent, de l'or, du zinc et du cuivre en sous-produit.	2,1 millions de tonnes, teneur de 0,9 % de cuivre	Cuivre Étape 1 : 5 400 tonnes de concentré Étape 2 : (voir Fonderie Horne)	En opération
Nunavik Nickel	Canadian Royalties	Nunavik Nickel est en activité depuis 2013. La société extrait actuellement du minerai de sa mine souterraine Allamqua et prévoit d'ouvrir une autre mine souterraine, Méquillon, en 2021.	Nickel (non disponible) Cuivre (non disponible)	Nickel Étape 1 : 109 000 Cuivre Étape 1 : 57 000 Cobalt : Données non disponibles	En opération
Fonderie Horne et CCR (Abitibi)	Glencore	La Fonderie Horne traite des concentrés de cuivre provenant des mines. L'approvisionnement (environ 700 000 tonnes métriques par an) provient majoritairement de mines à travers le monde, incluant des mines canadiennes. Fonderie Horne produit	Non applicable	Cuivre Étape 2 : 182 000 tonnes (Horne) Étape 3 ⁵⁷ : 370 000 tonnes (CCR)	En opération

⁵⁴ Pour le calcul des parts de marché, nous avons utilisé les productions mondiales annuelles suivantes : COBALT NICKEL CUIVRE.

⁵⁵ <https://dumontnickel.com/wp-content/uploads/2020/08/Dumont-Nickel-Presentation-August-2020.pdf>

⁵⁶ Basé sur une production de 39 000 de concentré à une teneur de 29 % de nickel vs. un teneur de 22 % dans le sulfate de nickel selon un entretien avec le Nickel Institute

⁵⁷ Étant donné l'importance de Fonderie Horne dans l'écosystème de la transformation des minéraux du Québec, nous avons inclus les activités liées à la deuxième transformation dans ce tableau.

		des anodes en cuivre (pureté 99,1 %) qui sont ensuite raffinées par la raffinerie CCR.			
Total			Nickel 6 476 738 tonnes Cobalt 126 000 tonnes Cuivre 58 017 tonnes	Nickel Étape 1 : 187 500 tonnes de concentré Étape 2 : Potentiel de transformation au Québec lié au nickel de «classe 1» de Dumont Nickel à plus de 40 000 tonnes par an ⁵⁸ . Cobalt Étape 1 : 4 000 tonnes Part du marché de 1,5 % Cuivre Étape 1 : 75 800 tonnes de concentré; Étape 2 : 182 000 tonnes; Part du marché mondial de 0,7 % Étape 3 : 370 000	Étape 1 : 1 909 M\$

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

**Pureté moyenne utilisée pour calculer la part de marché

Description du potentiel des différents maillons

Étape 1 - Extraction et concentration : Le maillon comporte trois acteurs principaux avec des projets relativement avancés, qui ont un potentiel d'impact économique envisageable sur l'horizon 2021-2025. D'autres acteurs progressant dans le développement de leur projet dans ce secteur seront aussi identifiés.

- 1. Agnico Eagle Mines Limited** : En opération depuis 1988, la mine LaRonde est une mine souterraine dont l'accès pour exploitation se fait à l'aide du puits Penna, le puits à remontée unique le plus profond de l'hémisphère occidental avec une profondeur de 2 250 mètres. La mine extrait un concentré incluant de l'or, de l'argent, du zinc et du cuivre. Les plans actuels prévoient une exploitation de la mine jusqu'en 2030. À LaRonde, deux méthodes d'extraction sont utilisées : l'abattage longitudinal avec remblai en pâte cimenté et l'abattage transversal par chambre vide avec remblai en pâte ou non consolidé. Le minerai extrait est ensuite traité au complexe métallurgique LaRonde où s'effectuent la flottation du cuivre et du zinc ainsi que la récupération et l'affinage des métaux précieux. L'usine de traitement a une capacité quotidienne de 7 000 tonnes de minerai⁵⁹.
- 2. Magneto Investments** : Magneto possède 100 % du projet Dumont Nickel situé en Abitibi. Dumont Nickel est un projet de nickel vert, prêt à être mis en service et à fournir du nickel pour les batteries des véhicules électriques jusqu'en 2050. Le nickel de classe 1 est le nickel rare de haute pureté qui est utilisé dans les batteries lithium-ion des véhicules électriques. Le projet Dumont Nickel devrait produire le concentré avec la teneur en nickel et cobalt la plus élevée au monde (29 % pour le nickel et 1 % pour le cobalt). Dumont a obtenu tous les principaux permis, et la première production de nickel pourrait être atteinte en moins de trois ans après le début de la construction du projet (prévue début 2023). Ce projet constitue l'une des exploitations de nickel avec l'empreinte carbone la plus faible au monde, grâce à l'utilisation d'une énergie hydroélectrique propre et à la capacité de séquestration du carbone. La production prévue est de 39 000 tonnes de nickel par an, d'une teneur en nickel de 29 %, sur une durée de 30 ans. Une fois mise en exploitation, la mine occuperait le cinquième rang des plus grands projets de sulfures de nickel au monde. La société prévoit également de produire 2 000 tonnes de cobalt par an en tant que sous-produit du nickel, dès le début de l'exploitation. Dumont bénéficie de l'approbation sociale des parties prenantes locales et de bonnes relations avec la communauté, notamment d'un partenariat de collaboration avec la Première Nation Abitibiwinini⁶⁰.
- 3. Glencore Canada Corporation (Raglan)** : La mine Raglan, située au Nunavik, est établie depuis 1997 afin d'exploiter un gisement de nickel. La mine compte 1 280 employés. Le minerai extrait des mines est concassé, broyé et traité sur place pour produire un concentré de nickel. Chaque année, près de 1,5 million de tonnes de minerai brut sont traitées sur place, ce qui permet une production annuelle de près de 40 000 tonnes de nickel en concentré à partir d'un concentrateur sur le site. On y produit également du cuivre (9 000 tonnes par an), du cobalt (1 000 tonnes) et quelques métaux précieux dans des volumes beaucoup plus faibles. Cela en fait le plus grand producteur de nickel au Québec. Le concentré produit pour le nickel atteint une pureté de 20 % alors que le cobalt atteint une pureté de 0,5 %. Le concentré de nickel est expédié par train à destination de la fonderie de Glencore, à Sudbury, Ontario, où il

⁵⁸ Basé sur une production de 39 000 de concentré à une teneur de 29 % de nickel vs. un teneur de 22 % dans le sulfate de nickel selon un entretien avec le Nickel Institute

⁵⁹ <https://www.agnicoeagle.com/French/exploitations/exploitations/laronde/default.aspx>

⁶⁰ <https://nionnickel.com/dumontproject/>

est fondu et coulé en matte. Le produit transformé revient au Québec par train et est ensuite expédié outremer à la raffinerie de Nikkelverk, en Norvège, où le nickel brut est transformé en métaux de haute qualité. Sivumut est le nom de son projet en deux phases visant à s'ajouter aux activités actuelles de la mine Raglan. Les nouvelles mines devraient lui permettre de poursuivre ses activités minières jusqu'en 2040 et au-delà⁶¹.

4. **Glencore Canada Corporation (Bracemac-McLeod)** : La mine Bracemac-McLeod consiste en un gisement de sulfures massifs volcanogènes à haute teneur, situé dans le prolifique district minier de Matagami, au Québec. La mine souterraine extrait de l'argent, de l'or, du zinc et du cuivre en sous-produit. L'exploitation minière souterraine a débuté en mai 2013 avec des méthodes d'abattage utilisées pour accéder aux gisements. Le minerai extrait de la mine est transporté jusqu'à l'usine de Matagami où il subit un processus de flottation pour produire des concentrés de zinc et de cuivre. L'usine de Matagami est en opération depuis 1963 et a subi une mise à niveau qui s'est terminée en 2007. Le concentré de cuivre de Bracemac-McLeod est envoyé à la fonderie Horne, à Rouyn-Noranda, Québec, et le concentré de zinc, à la raffinerie électrolytique canadienne de zinc à Valleyfield, Québec⁶². Les réserves actuellement identifiées à la mine Matagami permettent d'opérer la mine jusqu'en 2022⁶³.
5. **Canadian Royalties** : Canadian Royalties exploite une mine de cuivre et de nickel au Nunavik. Cette entreprise est détenue exclusivement par la société chinoise Jilin Jien Nickel Industry Co. En production depuis 2013, Canadian Royalties exploite différentes mines, dont Expo, Allammaget Méquillon, et opère un concentrateur d'une capacité de 4 500 tonnes/jour. Le concentré de nickel et de cuivre produit par l'entreprise est transporté par camion pour être entreposé dans les installations portuaires de Deception Bay (Baie d'Hudson), à environ 120 km du camp principal d'Expo, où un navire ramasse sept fois par année le concentré pour l'expédier en Europe. En moyenne, ce sont 400 personnes qui vivent et travaillent en rotation constante sur le projet, que ce soit au camp Expo ou au camp de Deception Bay, tous en rotation « fly-in / fly-out »⁶⁴. Il est à noter que les dépôts provenant des mines de Canadian Royalties contiennent également des dépôts de cobalt et d'éléments du groupe platine de valeur significative et d'importance comparable à celle du nickel.
6. **Autres acteurs impliqués** :
 - a. **Victory Nickel** : Victory Nickel Inc. est une société canadienne de nickel axée qui possède plus de 40 millions de kg de nickel dans les ressources mesurées et indiquées ainsi que des ressources présumées supplémentaires dans ses gisements de nickel sulfuré de Minago, Lynn Lake, Mel et Lac Rocher⁶⁵.
 - b. **Nickel North Exploration** : Nickel North est une société d'exploration canadienne qui se concentre sur la définition d'une ressource de nickel-cuivre dans son projet Hawk Ridge, au Québec. Hawk Ridge couvre 18 000 hectares de terrain composés de nickel, de cuivre et d'EGP⁶⁶.
 - c. **Harfang Exploration** : Harfang est une société d'exploration minière dont la mission principale est de découvrir de nouveaux districts d'or et de cuivre dans la province de Québec, en particulier dans la région de la Baie James⁶⁷.
 - d. **Critical Elements Lithium Corporation** : Critical Elements Lithium Corporation est une société d'exploration minière qui possède plusieurs propriétés minières au Québec. La société se concentre sur le lithium. La propriété appartenant à l'entreprise est actuellement connue pour ses gisements magmatiques de sulfures de nickel-cuivre. Elle détient notamment le projet NISK⁶⁸.
 - e. **Renforth Resources** : Renforth détient le gisement aurifère contraint à ciel ouvert de Parbec, à Malartic, contigu à la mine Canadian Malartic, dont les ressources sont estimées à 104 000 onces d'or indiquées pour 2020. En outre, Renforth a découvert un gisement ultramafique nickélifère, sur environ 5 km, à l'extrémité ouest de l'anomalie centrale de 20 km de la propriété Surimeau de 215 km² détenue à 100 % par Renforth. Ce prospect a été découvert en surface et a fait l'objet d'un programme de forage très court et peu profond; un programme de forage plus robuste est prévu pour le printemps 2021⁶⁹.

⁶¹ Glencore, 2021. <https://www.glencore.ca/en/raglan/what-we-do>

⁶² Sandstorm Gold Royalties, 2021.

https://www.sandstormgold.com/our-royalties/bracemac-mcleod/?gclid=CjwKCAjwxo6IBhBKEiwAXSYBs1aNdf2dyzmnh9MU3Py-eFDyqSOPaA0zBHpsovzbrx7eLLpNVwbsBoCmoQQAvD_BwE

⁶³ Mine Matagami, 2021. <https://www.minematagami.ca/fr/a-propos/Pages/Nos-op%C3%A9rations.aspx>

⁶⁴ Canadian Royalties, 2021. <https://www.canadianroyalties.com/subsections/1207/who-are.html>

⁶⁵ Victory Nickel, 2021. <http://www.victorynickel.ca/projects/overview/>

⁶⁶ Nickel North Exploration, 2021. https://www.nickelnorthexploration.com/s/hawk-ridge_ReportID_657626.html

⁶⁷ Harfang Exploration, 2021.

<http://www.harfangexploration.com/en/harfang-acquires-the-lake-tapiatic-project-by-targeting-new-gold-and-copper-plays-in-james-bay-quebec/>

⁶⁸ Critical Elements, 2021. <https://www.ceccorp.ca/en/corporate-profile/corporate-information/>

⁶⁹ Renforth Ressources Inc., 2021

<https://renforthresources.com/renforth-drills-7m-of-7-11-g-t-gold-at-wholly-owned-parbec-gold-deposit-in-malartic-quebec>

- f. **Balmoral (Wallbridge)** : Le projet Grasset fait partie de l'ensemble de terrains Detour Fenelon Gold, situés à environ 50 kilomètres de Matagami. Le gisement de sulfures de nickel de Grasset a été découvert en 2012 et constitue l'un des plus grands gisements de sulfures de nickel de la région de l'Abitibi et du seul gisement de sulfures de nickel nord-américain avec plus de 50 000 tonnes contenues de nickel et une teneur moyenne en nickel de plus de 1,5 %. Le dernier programme de forage sur le projet a été réalisé par Balmoral en 2019 avec des levés géophysiques au début de 2020. Depuis l'acquisition de Balmoral, Wallbridge n'a pas mené d'activités d'exploration sur la propriété⁷⁰.
- g. **QC Copper and Gold** : QC Copper and Gold se concentre sur l'acquisition et le développement de projets de cuivre dans la région de Chibougamau, qui partagent des synergies avec son ancien complexe minier de cuivre Opemiska. Par le biais d'acquisitions, QC Copper and Gold a pu étendre sa propriété Opemiska sur plus de 13 000 hectares, avec des infrastructures importantes, y compris un accès direct par rail et par route. QC Copper and Gold a mené un programme de forage de 23 trous et 3 300 mètres sur la mine Springer, en 2019, qui a révélé d'excellents intervalles minéralisés proches de la surface ainsi qu'un potentiel disséminé à Springer⁷¹.
- h. **Doré Copper Mining** : La société minière Doré Copper Mining est une société d'exploration et de mise en valeur du cuivre et de l'or dans la région de Chibougamau. La société se concentre sur la mise en œuvre de sa stratégie de développement en faisant progresser ses principaux projets de friches industrielles à haute teneur en cuivre et en or vers un redémarrage des opérations. Leur objectif est d'atteindre une production annuelle de 27 000 tonnes de cuivre. L'ensemble des terrains comprend 13 anciennes mines en production, des gisements et des zones cibles de ressources sur un rayon de 60 kilomètres de l'usine, ayant une capacité de traitement de 2 700 tonnes de minerais par jour de la société (Copper Rand Mill). La pureté du concentré produit devrait atteindre 26 %. Doré Copper Mining prévoit déposer une évaluation économique préliminaire de son projet à la fin de 2021. Actuellement, la société achève un programme de forage de 16 500 mètres sur son projet Corner Bay qui conduira à une mise à jour de l'estimation des ressources minérales au début du troisième trimestre de 2021. De plus, Doré Copper Mining devrait disposer d'une première estimation de ressources minérales de l'ancienne mine en production Joe Mann d'ici la fin juin 2021⁷².
- i. **Jien Nunavik Mining Exploration Limited** : Cette entreprise minière est détenue par la société chinoise Jien International Investments Limited, qui détient la compagnie minière Canadian Royalties, au Québec. L'entreprise détient la propriété Bravo, située tout près de la mine Nunavik Nickel de Canadian Royalties. Nous notons qu'aucune information publique n'est disponible quant à l'état d'avancement actuel du projet.
- j. **Ressources Yorbeau** : L'entreprise possède la propriété du Lac Scott, située près de Chibougamau. Le plus récent rapport 43-101 identifie la ressource de cette propriété à 17,8 millions de tonnes et à une teneur de 0,8 % de cuivre, 3,6 % de zinc, 0,2 % d'or et 25 % d'argent⁷³.

Étape 2 - Transformation : Le maillon comporte les mêmes acteurs principaux que ceux présentés à l'étape 1. Bien que le concentré de cobalt et de nickel soit produit au Québec, il est actuellement exporté pour une transformation (c.-à-d. l'étape 2) à l'extérieur du Québec. La majorité du nickel québécois est produit dans les mines Nunavik, de Canadian Royalties, et Raglan, de Glencore. Dans le cas de la mine Raglan, les installations sur le site permettent le concassage, le broyage et la transformation du minerai en concentré de nickel-cuivre. Le concentré est transporté aux installations de transformation de Sudbury, à l'extérieur du Québec. La localisation des installations de transformation du nickel s'explique par l'historique de la production de nickel canadien. En effet, l'Ontario produit du nickel dans la région de Sudbury depuis 1929, alors que le Québec n'exploite la mine Raglan que depuis 1997. Une situation similaire prévaut dans le cas des activités de l'entreprise Canadian Royalties, dont le nickel extrait du projet Nunavik Nickel est acheminé en partie vers la fonderie finlandaise Norilsk Nickel.

Pour le nickel, il y aurait une opportunité liée à sa transformation (29 % en sulfate de nickel, à plus de 95 % de pureté) à partir du projet Dumont Nickel mené par Magneto Investments. Néanmoins, au moment d'écrire ce rapport, l'information quant à la portée de ce projet en termes de capacité n'était pas disponible. Cependant, la demande du marché pour du nickel de classe 1⁷⁴ pour les batteries est très forte et le minerai disponible sur ce site se prête bien à ce type de

⁷⁰ <https://wallbridgeminig.com/our-projects/detour-gold-trend/grasset/>

⁷¹ <https://qccopper.com/about-us/overview/>

⁷² <https://www.dorecopper.com/en/about-us/overview/>

⁷³ https://www.yorbeauresources.com/wp-content/uploads/2018/12/Corporate_Presentation_December_2018.pdf

⁷⁴ <https://nickelinstitute.org/media/1190/thelifeofni.pdf> - «Le nickel de classe I décrit un groupe de produits en nickel comprenant du nickel électrolytique, des poudres et des briquettes, ainsi que du nickel carbonyle.»

transformation, alors que le nickel de classe 2 ne présente pas le niveau de qualité suffisante pour répondre aux exigences de ce marché⁷⁵.

Au Québec, le cuivre est extrait comme sous-produit de d'autres activités d'extraction (par exemple le nickel et l'or). Or, ce minerai de cuivre ne suffit toutefois pas à alimenter la demande québécoise de première et de deuxième transformation⁷⁶. Par exemple, la Fonderie Horne de Glencore, construite en 1926 alors que Rouyn-Noranda connaissait un boom minier du cuivre, s'approvisionne auprès d'autres mines québécoises, dont Agnico Eagle, et doit même importer des concentrés de cuivre pour fournir son usine en plus d'utiliser des produits recyclés. La Fonderie Horne est un acteur clé de la première transformation des minéraux et possède toutes les installations et technologies pour assurer la transformation et le recyclage du cuivre en un produit de haute qualité. Après le déchargement à la fonderie, les concentrés de cuivre sont acheminés vers le réacteur où ils sont chauffés à une température de 1 200°C. Après avoir atteint une teneur de 70 % en cuivre, la matte est transférée dans le convertisseur Noranda, où l'enrichissement en oxygène de l'air utilisé génère suffisamment de chaleur pour éliminer pratiquement le besoin de combustibles. Le convertisseur Noranda fonctionne selon une technologie unique au monde et transforme la matte du réacteur pour l'amener à une teneur en cuivre de 98 %. Ainsi, le concentrateur reçoit la scorie produite par le réacteur et le convertisseur Noranda. Après concassage, elle est réduite en fines particules dans les broyeurs à boulets, puis est pompée vers les cellules de flottation. Le cuivre est récupéré en le séparant physiquement de ses impuretés. Ce cuivre est ensuite transféré dans des fours de pyro-affinage (les convertisseurs) où l'on élimine les impuretés restantes par oxydation et scorification. Du gaz naturel est utilisé pour enlever l'excès d'oxygène dans le cuivre provenant des fours de pyro-affinage (convertisseurs). Rendu pur à 99,1 %, ce cuivre est finalement moulé en anodes de 340 kg. Les anodes de cuivre sont transportées, par wagons ou par camions, vers l'Affinerie CCR, de Montréal-Est, pour une dernière étape de transformation. Le cuivre sera purifié à 99,99 % puis vendu sur le marché.

D'une capacité de transformation annuelle de 840 000 tonnes, la Fonderie Horne opère non loin de sa capacité maximale et produit près de 210 000 tonnes d'anodes de cuivre⁷⁷. La qualité du métal est très importante dans le fonctionnement de cette fonderie, et une hausse de l'approvisionnement en métal ne pourrait pas nécessairement se traduire en une hausse de la production. L'entreprise évalue néanmoins la possibilité d'augmenter sa capacité de traitement de métaux recyclés d'environ 100 000 tonnes. D'autres entreprises procèdent ensuite à la transformation du cuivre. La plus importante, Nexans Canada, à Montréal, fabrique des fils et des câbles de transmission électrique. En général, 95 % du cuivre issu de la métallurgie et de la première transformation est exporté, cela indique que seulement 21 000 tonnes par an de cuivre restent au Québec pour des activités de seconde transformation. Le Québec constitue donc un maillon de la transformation du cuivre dans une chaîne de valeur internationale⁷⁸.

Retombées économiques futures⁷⁹

Notre analyse présente les retombées économiques des projets inclus dans les autres minéraux liés à la transition énergétique et à l'électrification des transports (ou « Groupe 1.C »). Comme présenté précédemment, ce groupe ne se limite pas aux minerais identifiés dans cette section alors qu'il inclut également les minéraux suivants : le zinc, les éléments du groupe platine, le cadmium et l'indium. Afin d'être consistant avec les retombées économiques actuelles présentées plus tôt dans ce rapport, nous présentons les retombées économiques futures pour l'ensemble des minéraux du Groupe 1.C. En pratique, cette approche ajoute à notre analyse les retombées économiques du zinc (deux entreprises actives) et des éléments du groupe platine (exploités par deux entreprises qui exploitent également le cobalt et le nickel).

Le tableau ci-dessous présente le nombre d'entreprises actives selon les plans de développement des entreprises incluses dans notre analyse pour l'horizon 2021 à 2025. Ainsi, notre analyse inclut une (1) entreprise active à l'étape de l'exploration minière, trois (3) à l'étape de la construction, quatre (4) à l'étape de l'exploitation minière et trois (3) à l'étape de la première transformation. Les entreprises incluses dans notre analyse sont celles pour lesquelles nous disposons de suffisamment de données pour mesurer les impacts économiques et pour lesquelles le niveau du projet était assez avancé au moment de produire le présent rapport. D'autres projets d'exploration, avec les dépenses et retombées

⁷⁵ <https://nickelinstitute.org/media/1190/thelifeofni.pdf> - «Le nickel de classe II comprend la fonte brute au nickel et le ferronickel. Ces produits en nickel ont généralement une teneur en nickel plus faible et sont utilisés en particulier dans la production d'acier inoxydable, où les producteurs d'acier inoxydable tirent parti de la teneur en fer.»

⁷⁶ Moins de 5 % de la demande de cuivre pour la métallurgie primaire (production des anodes et des cathodes) est comblée par l'extraction minière au Québec, CIRAIG, 2018 Lien : <https://www.quebeccirculaire.org/data/sources/users/11/rapportfinalmetauxecinstituteddec21mars2018.pdf>

⁷⁷ Site Web de la Fonderie Horne

⁷⁸ Institut EDDEC, 2018. Métaux et économie circulaire au Québec. Lien:

<https://www.quebeccirculaire.org/data/sources/users/11/rapportfinalmetauxecinstituteddec21mars2018.pdf>

⁷⁹ À noter que cette section se base sur les mêmes hypothèses que celles présentées à la section sur les retombées actuelles en ce qui concerne les structures de coûts. Par souci de ne pas alourdir le texte, nous présentons ici seulement les retombées totales, soit la somme des retombées directes et indirectes. Des tableaux détaillés sont présentés à l'Annexe E.

économiques qui y sont associées, pourraient survenir au cours de l'horizon considéré; ces retombées ne seraient pas prises en compte par les résultats présentés dans la section.

Le tableau suivant présente les dépenses encourues par le développement de ces différents projets.

Tableau 20 : Répartition du nombre de projets et des sommes encourues pour le développement de la filière du Groupe 1.C au Québec pour l'horizon 2021-2025, selon les différents maillons de la chaîne de valeur

	Exploration (2021-2025)	Construction (2021-2025)	Exploitation minière (2025)	Première transformation (2025)
Nombre de projets	1	3	4	3
Montants dépensés (en M\$)	13,3	1 160,8	1 057,3	1 307,6

Source : Résultats de sondage et des recherches secondaires, analyse PwC

En considérant la chaîne des fournisseurs québécois de biens et services, l'apport total en emplois du développement de la filière du Groupe 1.C est estimé à 90 et 6 710 emplois sur la période de 2021 à 2025 pour les maillons de l'exploration et de la construction, respectivement. De plus, l'activité économique générée par ces deux maillons est associée à un peu plus de 718 M\$ de valeur ajoutée au PIB québécois, dont l'essentiel de cette somme est associé au maillon de la construction avec 708 M\$ pour la construction de mines ou d'usines de transformation entre 2021 et 2025.

Les activités d'exploitation et de première transformation ont un potentiel économique considérable, alors que l'on estime que ces deux maillons pourraient générer et supporter 5 570 emplois annuellement, dont 2 650 emplois pour le maillon de l'exploitation minière. La contribution à l'activité économique du Québec, mesurée par l'apport au PIB de la province, est estimée à une somme récurrente d'année en année de 1 550 M\$.

Tableau 21 : Impacts économiques totaux liés au développement de la filière du Groupe 1.C au Québec pour l'horizon 2021-2025, selon les différents maillons de la chaîne de valeur

	Exploration (retombées totales sur la période 2021-2025)	Construction (retombées totales sur la période 2021-2025)	Exploitation minière (retombées annuelles, 2025)	Première transformation (retombées annuelles, 2025)
Valeur ajoutée (en M\$)	10,3	707,9	857,0	692,4
Nombre d'emplois	90	6 710	2 650	2 920

Source : Simulation ISQ à partir des résultats de sondage et des recherches secondaires, analyse PwC

Notes : 1. Les chiffres ayant été arrondis, la somme des éléments peut ne pas correspondre au total; 2. Les montants présentés dans ce tableau représentent les impacts totaux, c'est-à-dire la somme des impacts directs et indirects.

Enfin, les dépenses de ces entreprises et la production qui y est associée auront un impact sur les recettes fiscales des gouvernements provincial et fédéral. C'est un total de 106 millions de dollars sur la période de 2021 à 2025 qui devrait être perçu par les deux paliers de gouvernement en raison de l'activité économique générée par les maillons de l'exploration et de la construction. Sur une base annuelle, les activités liées à l'exploitation et à la première transformation sont associées à des recettes fiscales de près de 129 M\$.

Tableau 22 : Impacts fiscaux totaux liés au développement de la filière du Groupe 1.C au Québec pour l'horizon 2021-2025, selon les différents maillons de la chaîne de valeur

	Exploration (retombées totales sur la période 2021-2025)	Construction (retombées totales sur la période 2021-2025)	Exploitation minière (retombées annuelles, 2025)	Première transformation (retombées annuelles, 2025)
Gouvernement du Québec (en M\$)	1,0	52,8	34,0	32,9
Gouvernement fédéral (en M\$)	1,0	51,4	31,2	30,8

Source : Simulation ISQ à partir des résultats de sondage et des recherches secondaires, analyse PwC

Notes : 1. Les chiffres ayant été arrondis, la somme des éléments peut ne pas correspondre au total; 2. Les montants présentés dans ce tableau représentent les impacts totaux, c'est-à-dire la somme des impacts directs et indirects.

Étapes manquantes ou sous-développées dans la filière de l'électrification des transports et des énergies renouvelables

L'étude des dernières sections a démontré que le Québec se démarque du côté des matières premières disponibles sur son territoire (lithium, graphite, nickel, cuivre et cobalt potentiel), mais ne produit pas encore à un niveau industriel des minéraux qui ont les qualités nécessaires pour entrer dans la fabrication des composantes de batterie. Néanmoins, certaines entreprises, dont Nemaska, Sayona et Nouveau Monde Graphite, sont sur le point de combler cette lacune. Ainsi, le Québec est sur la bonne voie pour se positionner sur le volet minier de la chaîne de valeur.

Du côté des composantes et de la fabrication de matériaux actifs (cathodes, anodes, séparateurs et électrolytes), on compte un nombre restreint de joueurs dans ce maillon au Québec. On retrouve notamment Johnson Matthey (cathode LFP) et Bolloré/Blue Solutions (cellules et modules de batteries LFP). La demande pour ces produits devrait connaître une tendance similaire à celle des batteries, ainsi le marché est favorable pour les joueurs dans ce segment de l'industrie. De plus, le Québec a développé un certain savoir-faire dans la fabrication et l'assemblage de véhicules électriques spécialisés (autobus, camions, motoneiges, etc.).

À l'heure actuelle, le Québec ne possède aucune capacité de production de cellules de batterie et rien n'indique que cette réalité devrait changer au cours des prochaines années. Cependant, on dénombre un intérêt récent, entre autres de la part de Britishvolt, à lancer une évaluation préliminaire du cas d'affaires pour une usine de production de cellules de batteries au Québec. Le potentiel pour un joueur international de s'établir au Québec pourrait être double, soit celui de produire dans un environnement concurrentiel et à proximité des marchés américains et européens, et tout autant d'approvisionner leurs autres usines à l'échelle mondiale à partir des mêmes fournisseurs de minéraux stratégiques au Québec pour leur usine à l'international.

Finalement, pour le maillon du recyclage, un projet d'usine de batteries est en cours de développement. Recyclage Lithion a réussi à développer une technologie efficace basée sur les principes d'hydrométallurgie.

Stratégie de développement de la filière

Bien que le développement d'une filière des batteries lithium-ion pourrait passer par l'établissement d'une grande usine de cellules de batterie, cette option nous paraît ambitieuse à l'intérieur de l'horizon 2025. Alternativement, le Québec pourrait se positionner sur l'échiquier par une plus grande intégration des activités en amont de la chaîne de valeur, c'est-à-dire par la mise en valeur des activités d'exploitation et de transformation des matières premières en matériaux de qualité pour les batteries (et possiblement de qualité intermédiaire en parallèle pour aborder d'autres marchés). À moyen terme, l'objectif serait de se positionner dans les chaînes de valeur mondiales en tant que fournisseur de matériaux à haute valeur ajoutée. Graduellement, il serait aussi possible de continuer l'intégration, soit par un soutien à la croissance des capacités de production de matériaux actifs et composantes (anodes, cathodes, électrolytes ou autres), soit par la construction d'une usine de production de cellules de batteries. En parallèle, le maillon du recyclage pourrait gagner en traction et contribuer au positionnement favorable du Québec dans la chaîne de valeur mondiale.

Cette stratégie de développement de la filière suppose que les joueurs industriels disposent de la technologie nécessaire et maîtrisent les procédés. De plus, comme les capacités de production dans tous les maillons de la chaîne commencent à s'organiser à l'échelle mondiale, il importe de garder en tête l'importance des exigences du marché afin d'assurer un positionnement compétitif du Québec. Par exemple. :

- la qualité et la fiabilité de l'approvisionnement : face à une demande croissante, les clients finaux (par exemple, les constructeurs automobiles) cherchent à sécuriser leur chaîne d'approvisionnement. Ainsi, ils chercheront à se doter dès maintenant d'un approvisionnement stable, continu et d'un volume important, et ce, pour la prochaine décennie;
- la capacité à offrir un prix concurrentiel : les joueurs situés dans les étapes intermédiaires de la chaîne de valeur doivent souvent faire face à des pressions sur leur marge puisqu'ils font face à une croissance du prix des matières premières alors que les utilisateurs finaux s'attendent à des prix compétitifs;
- la responsabilité sociale et la protection de l'environnement : les utilisateurs finaux cherchent de plus en plus à s'assurer que leur chaîne d'approvisionnement réponde à certains standards éthiques et sociaux. Cette préoccupation est d'autant plus vraie plus les constructeurs automobiles cherchent à faire valoir leur image « verte ».

Le Québec peut miser sur plusieurs avantages pour le développement de cette filière, notamment :

- une capacité de production établie et en développement pour les principaux minéraux, à savoir le lithium, le graphite, le nickel, mais également le cuivre, l'aluminium, le fer et le phosphate;
- un niveau avancé en recherche et développement, notamment grâce à la présence de l'IREQ;
- une réglementation de l'industrie qui supporte le développement de l'image de marque verte et éthique;
- des capacités de recyclage en développement qui pourraient favoriser la production de matériaux transformés.

Les tableaux suivants présentent les attributs sur lesquels le Québec peut miser pour le développement de la filière de l'électrification des transports et de la décarbonisation. Pour l'étape 1 de la chaîne de valeur, le potentiel du Québec réside dans ses dotations de tous les minéraux nécessaires à la conception de batteries ainsi que sur la stabilité de son cadre réglementaire, qui assure une exploitation minière éthique et soucieuse de l'environnement. De plus, les compagnies minières peuvent compter sur un réseau d'infrastructures de qualité sur l'ensemble du territoire québécois. Par contre, nous notons que les coûts de développement et de construction sont relativement plus élevés au Québec que dans d'autres régions minières du globe, ce qui pourrait ralentir les élans d'investissement de futurs projets miniers.

Étape 1 : Extraction et concentration (lithium, graphite, nickel, cobalt, cuivre)		
Attribut du Québec	Explication	Contribution au potentiel
Environnement d'affaires	<ul style="list-style-type: none"> • Réseaux routier, ferroviaire et maritime développés, ce qui permet le transport rapide des minerais et des concentrés à travers la province, le pays et à l'international. • Une main-d'œuvre expérimentée et qualifiée disponible pour les phases d'exploration, de construction, d'extraction et de concentration. • Les coûts de développement restent plus élevés que dans les autres régions minières du monde. 	Modérée
Contributions sociales	<ul style="list-style-type: none"> • En vertu des bonnes ententes, les mines québécoises profitent aux populations autochtones locales en leur offrant des avantages financiers ainsi que des possibilités d'emploi. • De multiples partenaires et des entreprises spécialisées dans la remise en état des terrains après la fermeture de la mine permettent de limiter les impacts néfastes des sites miniers sur l'environnement et de réhabiliter les sites pour d'autres usages économiques. • La stabilité réglementaire et politique de la province lui permet d'être un producteur éthique de minéraux, qui proviennent généralement de régions adoptant des pratiques environnementales et de travail douteuses. 	Élevée
Ressources minérales	<ul style="list-style-type: none"> • Le Québec occupe une position unique dans une région qui détient la bonne combinaison de réserves considérables pour tous les minéraux nécessaires à la production de batteries. • La connaissance des ressources est relativement avancée pour la plupart des minéraux, et plusieurs projets d'exploitation sont prêts à être lancés. 	Élevée

Dans le cas de la transformation des minéraux, le Québec peut compter sur un environnement d'affaires favorable à la transformation des MCS sur le territoire québécois, notamment en raison de la volonté clairement exprimée du gouvernement du Québec à développer ce secteur. Le Québec a beaucoup à offrir aux entreprises voulant transformer les MCS sur son territoire : une main-d'œuvre qualifiée, la présence de MCS extraits à proximité, la proximité des constructeurs automobiles américains ainsi qu'un contexte de savoir-faire dans les industries similaires de l'aluminium et des produits chimiques.

Étape 2 : Transformation (lithium, graphite, nickel, cobalt, cuivre)		
Attribut du Québec	Explication	Contribution au potentiel
Environnement d'affaires	<ul style="list-style-type: none"> • Accessibilité et niveau comparatif avantageux des tarifs énergétiques. • Fort intérêt du gouvernement pour la transformation des minéraux critiques et stratégiques en ce qui a trait à l'électrification des transports et à la décarbonisation. • Proximité des grands manufacturiers automobiles américains (45 % de la demande mondiale de lithium est concentrée en Amérique du Nord). • Compétence de la main-d'œuvre de transformation minière, mais coûts d'exploitation et de réglementation environnementale plus contraignants que dans certains marchés émergents. 	Élevée
Contributions sociales	<ul style="list-style-type: none"> • Les usines de transformation en développement se doivent d'être construites et opérées dans le respect des communautés locales et autochtones. 	Élevée
Ressources minérales	<ul style="list-style-type: none"> • Il y a une forte présence de plusieurs MCS clés requis pour supporter l'électrification des transports et la décarbonisation, notamment le lithium, le graphite, le nickel, le cobalt et le cuivre. Nous notons également l'aluminium, qui est utilisé dans la production de cellules de batterie. 	Élevée
Expertises technologiques et scientifiques	<ul style="list-style-type: none"> • La main-d'œuvre au Québec est hautement qualifiée en procédés chimiques. • Le savoir-faire acquis dans la transformation de l'aluminium, dans l'industrie chimique et dans les centres de recherche peut être transféré et appliqué pour la transformation des minéraux nécessaires à la production de cellules de batterie. 	Élevée

Étape 3 - Utilisation et applications industrielles

Production de composantes de batteries (ou matériaux actifs)

Une batterie conventionnelle contient quatre composantes principales : deux électrodes (l'anode et la cathode), un séparateur et des électrolytes. Les anodes, composées principalement de graphite, sont des électrodes négatives ou réductrices qui libèrent des électrons vers le circuit externe et s'oxydent pendant une réaction électrochimique. Les cathodes, composées principalement de nickel et cobalt, sont des électrodes positives ou oxydantes qui acquièrent les électrons du circuit externe et sont réduites au cours de la réaction électrochimique. Les séparateurs, composés principalement de polymères, empêchent le contact physique entre l'anode et la cathode, tout en facilitant le transport des ions dans la cellule. Les électrodes, composées principalement de lithium, fournissent le mécanisme de transport d'ions entre la cathode et l'anode d'une cellule, et emmagasinent la charge électrique de la batterie pour la déployer sur demande.

Avec le développement de mines et la transformation en minéraux de qualité batterie au Québec, une opportunité s'offre au Québec de se lancer dans la production de composantes pour les cellules de batterie pour supporter l'émergence de la filière au Québec de batteries lithium-ion. Johnson Matthey est actif au niveau du développement de cathodes pour les cellules de batteries. Avec la présence de minéraux transformés au Québec et la recherche en cours, le potentiel de développement de produits à ce stade de la chaîne de valeur pourrait s'accélérer.

Production de cellules de batterie

Le Québec renferme un potentiel non exploité dans la production de cellules de batterie. Géographiquement, le Québec est probablement la province la mieux positionnée en Amérique du Nord pour l'implantation d'une usine de cellules de batterie étant donné la présence de la plupart des minéraux nécessaires sur son territoire et son accès à des tarifs énergétiques compétitifs. Les caractéristiques du contexte québécois sont présentées ci-bas pour évaluer le potentiel du développement de cette étape de la chaîne de valeur, s'appuyant sur les développements anticipés aux étapes 1 et 2.

Étape 3 : Utilisation (usine de cellules de batterie)		
Attributs du Québec	Explication	Contribution au potentiel
Environnement d'affaires	<ul style="list-style-type: none"> • Infrastructure développée à travers la province, notamment dans les transports, l'énergie, le stockage et la production. • Infrastructure de transport et de logistique pour accéder aux marchés américains et européens ainsi qu'à plusieurs accords commerciaux existants. • Énergie à faible coût et à faible empreinte environnementale. • Proximité du marché américain et des constructeurs automobiles américains. • Un environnement politique et réglementaire stable. • Un gouvernement qui soutient l'électrification des transports pour décarboniser son économie et atteindre ses objectifs climatiques. 	Élevée
Ressources minérales	<ul style="list-style-type: none"> • Tous les minéraux clés nécessaires à la fabrication d'une batterie ont le potentiel d'être développés au Québec avec plusieurs projets concrets, ce qui en fait l'un des seuls endroits au monde qui pourrait avoir un fort niveau d'autonomie pour son approvisionnement en minéraux nécessaires à la fabrication de cellules de batterie. • Les minéraux sont exploités dans un contexte d'éthique sociale et environnementale. Pour certains minéraux, comme le cobalt, il s'agit d'un enjeu essentiel, car la principale source d'approvisionnement en République démocratique du Congo fait l'objet de pratiques d'affaires discutables sur les plans éthique et environnemental. • Il n'y a pas d'entreprise manufacturière de batteries au lithium au Québec, mais la province est à proximité des grands utilisateurs, tels que les producteurs automobiles en Ontario et aux États-Unis. 	Modérée (potentiel économique en développement)
Expertises technologiques et scientifiques	<ul style="list-style-type: none"> • Développement de propriétés intellectuelles pour batteries de stockage (EVLO) et pour l'assemblage de batteries pour autobus (Lion). • La province peut également s'appuyer sur une expertise reconnue en matière de recherche pour développer la technologie des batteries lithium-ion. Au niveau universitaire, de nombreux chercheurs ont créé des groupes et des programmes de recherche pour étudier les problèmes actuels et futurs liés aux batteries lithium-ion. • Le centre d'excellence en électrification des transports et en stockage d'énergie d'Hydro-Québec collabore avec plusieurs acteurs de l'industrie, au Québec et ailleurs dans le monde, pour développer et commercialiser la technologie lithium-ion à tous les niveaux (matériaux de batteries, électrodes, cellules électrochimiques, modules et blocs de batteries). Le centre dispose également d'un important portefeuille de brevets et de produits commercialisés. 	Élevée

La compagnie britannique Britishvolt est l'un des principaux fabricants de cellules de batterie à l'échelle mondiale. Cette dernière a un projet de fabrication d'une usine de cellules de batterie à Blyth, en Grande-Bretagne, dont la construction est prévue pour 2021. S'appuyant sur la conception de cette usine, Britishvolt a entamé des discussions préliminaires avec Investissement Québec afin d'explorer les options de financement pour une éventuelle usine de fabrication de cellules de batterie au Québec. Bien que la taille de l'usine n'ait pas encore été examinée de près, il est envisageable qu'elle soit basée sur le modèle britannique lors de la création de jumeaux numériques, rendant possible le transfert efficace d'une propriété intellectuelle, essentielle pour le futur de cette industrie naissante au Québec. Ainsi, nous pouvons penser que l'usine de fabrication de cellules de batteries envisagée pourrait atteindre une capacité de 40 à 80 GWh. En supposant une puissance de batteries de 100 KWh, cela se traduirait par une production de batteries pour 400 000 à 800 000 voitures par an.

Britishvolt est attirée par le marché québécois en raison de la main-d'œuvre qualifiée, de l'accès à faible coût aux énergies renouvelables, des sources potentielles d'approvisionnement en matières premières provenant du Québec ainsi que de la localisation du Québec près des industries automobiles canadienne et américaine.

Tableau 23 : Capacité d'alimentation des minéraux pour une usine de cellules de batteries (basée sur des batteries de 100 kg)

Illustratif - Couverture de la capacité minérale pour produire des cellules de batterie pour 500 000 batteries au Québec ⁸⁰			
Minéraux transformés	Potentiel production 2025	Besoins en kg par batterie et nbre de batteries par an	Couverture de la capacité minérale vs besoin d'une usine de 50 MWh ou 500 000 batteries/an
Hydroxyde de lithium	159 721 tonnes	10 kg par batterie et 15 972 100 batteries	3 194 %
Graphite sphérique	40 000 tonnes	70 kg et 571 428 batteries	114 %
Nickel classe 1	39 000 tonnes	46 kg et 847 826 batteries	170 %
Cobalt	2 000 tonnes	14 kg et 142 857 batteries	29 %
Cuivre	182 000 tonnes	27 kg et 10 370 370 batteries	2 074 %

Assemblage de batteries

Quelques joueurs assemblent ou visent à assembler des blocs de batteries pour les véhicules électriques au Québec :

- Lion Electric Company** : En mars 2021, Québec et Ottawa ont annoncé qu'ils investiraient un total de 100 M\$ (50 millions chacun) dans la construction d'une usine d'assemblage de batteries de véhicules électriques pour Lion Electric Company. Cette dernière est un fabricant innovant de véhicules à zéro émission. Elle conçoit et fabrique des autobus scolaires entièrement électriques ainsi que des camions urbains. La compagnie se positionne comme un fabricant d'équipement d'origine, leader dans l'électrification des transports en Amérique du Nord. Elle fabrique et assemble toutes les composantes de ses véhicules : châssis, packs de batteries, cabine et groupe motopropulseur. Le projet est évalué à 185 M\$ et devrait créer 135 emplois à Saint-Jérôme dès l'ouverture de l'usine en 2023. À terme, l'entreprise espère employer 285 personnes. L'usine permettra à Lion de ne plus avoir à acheter ses modules de batterie auprès de sources extérieures pour assembler ses packs de batteries. Cela devrait permettre à Lion de réduire le coût de production de ses batteries, qui peuvent représenter 30 à 40 % du coût d'un véhicule électrique. La production de ses propres modules de batterie permettra également à Lion de mieux contrôler la conception et la forme de ses batteries. Malgré la nouvelle usine, Lion s'attend toujours à devoir acheter les cellules. Marc Bédard, PDG de Lion, espère s'approvisionner en cellules auprès de fabricants québécois ou canadiens au cours des prochaines années. À terme, la chaîne de production hautement automatisée devrait produire un module toutes les 11 secondes, donc, un ensemble de batteries toutes les 5 minutes, de quoi équiper 14 000 véhicules électriques par an. Lion projette de produire 650 véhicules en 2021 et espère augmenter ce nombre à 2 500 en 2023⁸¹.
- Blue Solutions (Bolloré)** : L'entreprise est le résultat de l'achat d'une ancienne filiale d'Hydro-Québec par la multinationale française Groupe Bolloré en 2006. Installée à Boucherville, Blue Solutions fabrique depuis plus de 10 ans des batteries destinées à des véhicules lourds électriques de partout dans le monde. L'essentiel de la production de l'usine québécoise de 180 000 pieds carrés est destiné au groupe Daimler, qui les utilise dans ses autobus urbains électriques Mercedes Citaro. Blue Solutions fabrique des batteries à l'état solide. Cela signifie que, contrairement aux batteries lithium-ion, celles de Blue Solutions sont plutôt de type lithium métal polymère (LMP). Les batteries à semi-conducteurs supportent une plus large gamme de températures et devraient pouvoir couvrir plus de kilomètres avec moins de charges⁸².

⁸⁰ Estimé en fonction des ratios illustrés à la Figure 18 et à

<https://www.barrons.com/articles/new-risk-tesla-other-electric-vehicle-makers-lithium-supply-batteries-51601498472>

⁸¹ https://thelionelectric.com/img/medias/Communiquel_usine%20batteries_Lion_Final_FR.pdf

⁸² <https://www.transportroutier.ca/nouvelles/un-fabricant-international-de-batteries-de-vehicules-lourds-electriques-a-boucherville/>

Recyclage de batteries

La question du recyclage et de l'empreinte environnementale des batteries sont des éléments clés dans la poursuite des objectifs de transition écologique. Bien que les véhicules électriques soient considérés comme essentiels à la réduction des gaz à effet de serre, leur bilan environnemental est assombri par l'extraction des minéraux utilisés pour fabriquer les batteries ainsi que par leur effet résiduel lorsqu'elles atteignent la fin de leur vie.

Au Québec, tout comme au Canada, la filière du recyclage des batteries lithium-ion n'est pas structurée, et les batteries en fin de vie sont souvent envoyées à la ferraille⁸³. Les quelques batteries recyclées le sont par Retrieiv, en Colombie-Britannique, avec des coûts de transport importants. De plus, aucun mécanisme de gestion des batteries en fin de vie ni aucune réglementation claire encadrant sa responsabilité ne sont établis au Québec. Ajoutons que la technique la plus couramment utilisée actuellement pour recycler les batteries des véhicules électriques, soit la pyrométallurgie, est non seulement polluante, mais aussi peu efficace : à peine 40 à 50 % des composantes peuvent être récupérées.

Cependant, Recyclage Lithion, une entreprise québécoise, a un projet d'usine de recyclage de batteries en cours de développement qui utilise une nouvelle technologie brevetée basée sur l'hydrométallurgie. Ce procédé permet une récupération de 95 % des éléments contenus dans les batteries. La chaîne de production de Recyclage Lithion commence avec le démantèlement des batteries usagées, un processus qui doit être fait avec précaution pour éviter tout risque d'électrocution. Les modules de batteries sont ensuite broyés afin d'extraire les copeaux de métal et de plastique des boîtiers de la pâte noire qui contient les éléments critiques, dont le graphite, le lithium, le cobalt et le manganèse. Le procédé d'hydrométallurgie commence ensuite avec la dissolution de la pâte noire dans un acide puissant, en augmentant progressivement le pH de la solution. Les métaux sont par la suite précipités un à un pour les extraire de la solution. Ce procédé permet de purifier ensuite chaque composé séparément pour les revendre à des entreprises qui fabriquent de nouvelles batteries.

Recyclage Lithion mène son projet pilote dans une usine située à Montréal, dans laquelle entre 300 et 650 batteries de voitures électriques pourront être recyclées. L'entreprise vise l'inauguration de sa première usine commerciale d'ici 2023. Bien que le nombre d'investissements prévus ne soit pas disponible publiquement, il est prévu que l'usine traitera 7 500 tonnes de batteries lithium-ion par an au Québec. En mars 2021, Hyundai a conclu un accord avec la société québécoise pour la récupération et le recyclage des batteries de ses véhicules hybrides, hybrides rechargeables et électriques. Plus récemment, Nouveau Monde Graphite et Recyclage Lithion ont annoncé une entente de collaboration pour la valorisation du graphite recyclé pour sa réutilisation comme matériau d'anode de batteries lithium-ion. Cette collaboration permettra de tirer profit des procédés et expertises des deux compagnies afin de favoriser la circularité du graphite et ainsi de mieux positionner les deux entreprises sur le marché mondial, en constante évolution. L'écosystème québécois des MCS, en particulier celui des matériaux de batteries et de l'électrification des transports, pourrait être renforcé par la mise au point d'une solution technique et commerciale rentable pour le graphite recyclé.

Un rapport publié par l'Institut EDDEC en 2018, intitulé *Métaux et économie circulaire au Québec*, souligne que « compte tenu des quantités importantes de métal contenues dans les batteries, développer une filière de recyclage du lithium des batteries au Québec notamment pour celles utilisées dans les véhicules électriques, semble très intéressant et pertinent ». De façon générale, le succès du développement des activités de recyclage des batteries, qui s'inscrit dans une logique d'économie circulaire, dépendra des conditions suivantes :

- Une réglementation favorisant la collecte et le recyclage des batteries autant au Québec que dans les régions limitrophes (Ontario et nord-est des États-Unis), afin d'accéder à un bassin suffisamment large de batteries en fin de vie;
- Un réseau de collecte bien établi et une usine située près des grands centres étant donné les coûts élevés du transport des batteries;
- Un procédé de traitement hydrométallurgique efficace et économiquement viable. Ce procédé est le seul qui permet de produire des matières pouvant être utilisées dans la chaîne de production des cellules (matériaux de grade batterie) qui s'inscrirait dans une perspective d'économie circulaire;
- L'établissement de partenariats avec un ou des constructeurs d'automobiles pour l'accès aux ressources.

Néanmoins, on note certains enjeux liés au développement de la filière du recyclage des batteries, notamment parce que les capacités commencent à se déployer, notamment en Ontario et aux États-Unis, avec Li-Cycle, qui est déjà en opération et qui pourrait amener de la compétition à la fois au niveau des approvisionnements en batteries en fin de vie qu'à celui de la capacité de traitement advenant le développement d'un centre au Québec.

⁸³ Propulsion Québec

Étape 4 : Recyclage (batterie)		
Attributs du Québec	Explication	Contribution au potentiel
Environnement d'affaires	<ul style="list-style-type: none"> • Avec le déploiement à grande échelle des échelles électriques, on assistera à l'accroissement des stocks de batteries en fin de vie utile d'ici 2030, créant des débouchés pour leur gestion. • Le Québec initie le développement d'un écosystème de recyclage de batteries, ce qui devrait faciliter l'implantation d'un système de logistique pour les collectes et le tri des batteries. • Les coûts d'installation d'une usine de recyclage sont relativement peu élevés (comparativement aux coûts liés à la construction d'une usine de production de cellules). • De plus, le développement de la filière de recyclage contribue à renforcer la compétitivité d'une éventuelle usine de cellules (approvisionnement en minéraux recyclés et stratégiques dans la chaîne de valeur). 	Élevée
Expertises technologiques et scientifiques	<ul style="list-style-type: none"> • Il existe une possibilité de miser sur les synergies avec la filière de la transformation des ressources/matériaux (économie circulaire), déjà bien établie au Québec. • Le Québec possède une expertise et une capacité dans le recyclage, en général (collecte et réglementation, responsabilité élargie du producteur, etc.). • Un niveau de développement technologique avancé pour l'hydrométallurgie a été récemment atteint (Recyclage Lithion). 	Élevée

2. Alliages et matériaux avancés

Justification

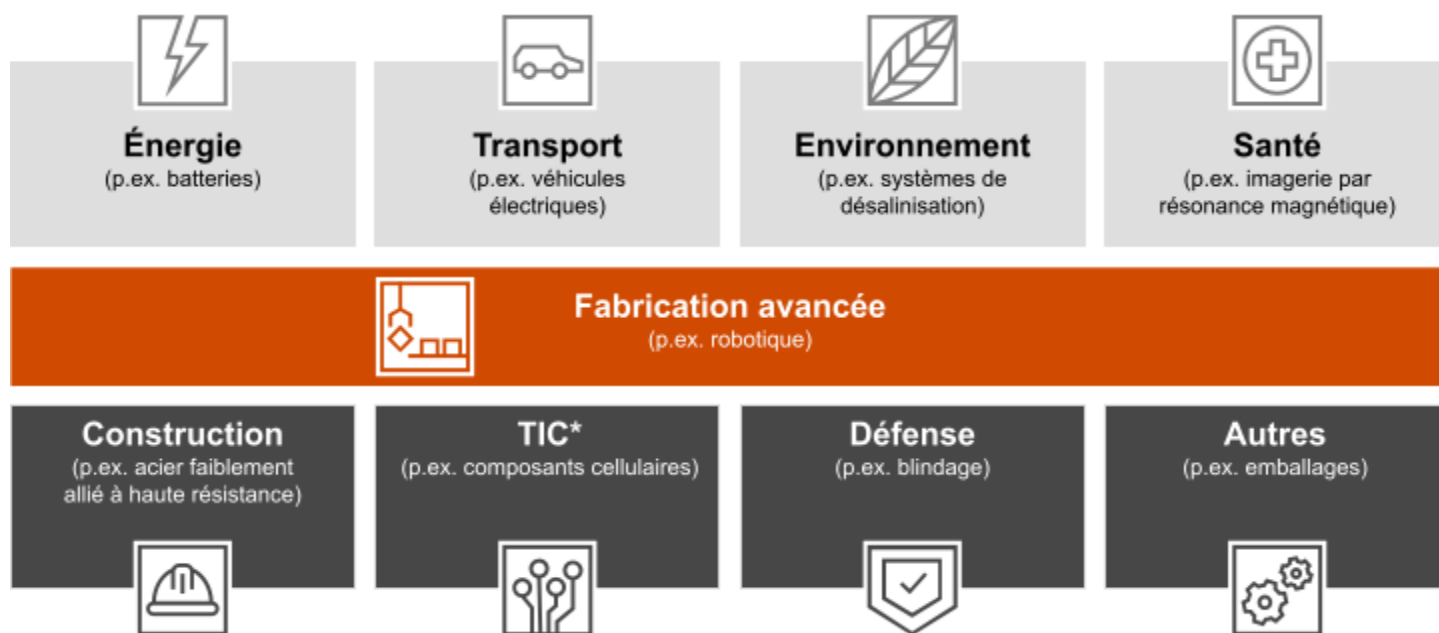
Un matériau avancé peut être défini comme tout matériau nouveau ou considérablement amélioré par l'ajout de minéraux dans les procédés de fabrication, qui offre un avantage distinct en termes de performance (physique ou fonctionnelle) par rapport aux matériaux conventionnels. Il est spécifiquement conçu pour présenter des propriétés nouvelles ou améliorées qui lui confèrent des performances supérieures à celles des matériaux conventionnels.

Selon PRIMA Québec, les matériaux avancés peuvent être classés dans les trois catégories suivantes :

1. **Matériaux de base** : matériaux se trouvant en amont de la chaîne de fabrication et ayant subi peu ou pas de transformation (p. ex. le niobium utilisé dans l'acier faiblement allié à haute résistance).
2. **Produits finis et semi-finis** : produits destinés aux utilisateurs intermédiaires ou finaux (p. ex. les alliages d'aluminium et de scandium utilisés sous forme de feuilles et de plaques pour les applications dans le secteur de l'aérospatiale).
3. **Procédés et instrumentation** : procédés impliquant des matériaux avancés (p. ex. les véhicules sont allégés grâce à l'utilisation d'alliages à faible résistance qui sont plus efficaces).

Les matériaux avancés supportent une multitude d'innovations dans des secteurs multiples et variés. Les industries telles que l'énergie et les transports connaissent actuellement une transformation complète, stimulée par un effort de réduction des émissions de CO₂ à l'échelle mondiale.

Figure 19 : Domaines d'application des matériaux avancés⁸⁴



Source : PRIMA Québec, * Technologies de l'information et de la communication (TIC).

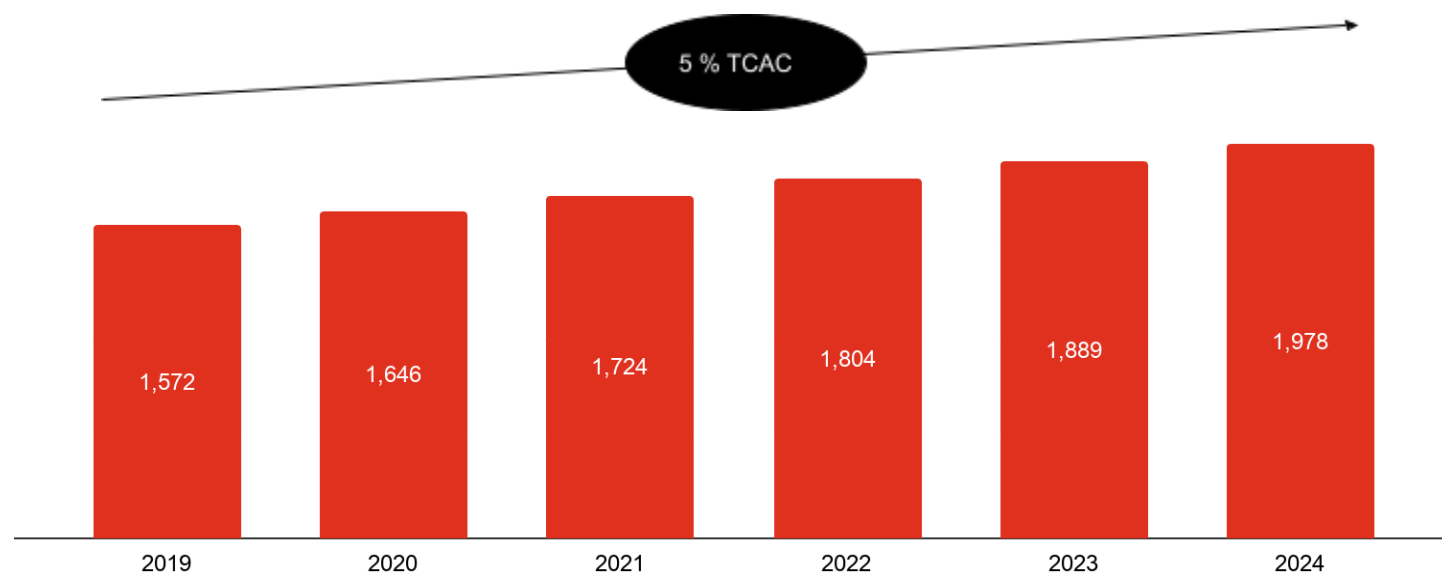
⁸⁴ PRIMA Québec

Les matériaux avancés révolutionnent la manière dont les entreprises exercent leurs activités et exigent que les équipes de recherche et développement (R&D) et d'ingénierie suivent le mouvement. Une entreprise ou ses concurrents peuvent lancer un nouveau matériau ou une nouvelle application qui génèrent des revenus potentiels et des parts de marché, répondent à des besoins non satisfaits des clients, atteignent des objectifs de rentabilité ou satisfont aux exigences de durabilité et de réglementation. La différenciation peut se faire à partir du niveau moléculaire, sur les structures des composés chimiques et d'autres propriétés⁸⁵. Les avantages des matériaux avancés sont les suivants :

1. **Conformité réglementaire et durabilité** : De nouvelles réglementations plus strictes rendent la fabrication et la production de plus en plus ardues. L'utilisation de matériaux avancés devrait aider les entreprises à se conformer aux réglementations sans sacrifier les objectifs de performance.
2. **Réduction des coûts et augmentation de la rentabilité** : Les matériaux avancés plus solides, plus légers et plus durables permettront d'économiser sur le remplacement des pièces ou de compenser les défis opérationnels et de fabrication non résolus par des matériaux relativement moins fonctionnels.
3. **Réponse aux exigences du marché** : En raison de leurs propriétés intrinsèquement améliorées, les matériaux avancés peuvent conduire à des produits finaux qui répondent mieux aux exigences des clients, tout en offrant une meilleure qualité du produit final.

La région de l'Asie-Pacifique devrait représenter une part de marché des matériaux avancés de 58 % d'ici 2024, notamment en raison de l'augmentation prévue des activités de fabrication et de construction dans cette région du globe. En outre, l'industrialisation et l'urbanisation rapides dans les pays émergents asiatiques, tels que la Chine et l'Inde, devraient également stimuler la croissance du marché des matériaux avancés de cette région.

Figure 20 : Demande mondiale de matériaux avancés (en milliards de US\$, 2019-2024P)



Source : Research Nester

Ainsi, nous retenons quatre axes de développement liés à la filière des alliages et matériaux avancés, qui permettraient de soutenir le développement économique du Québec. Ces opportunités se résument comme suit :

- Recycler des résidus miniers et métalliques et les revaloriser en alliages recherchés au Québec tout en favorisant la circularité de l'économie. Cet axe de développement inclut :
 - Transformer les résidus miniers sous forme de serpentine des anciennes mines d'amiante et les revaloriser en magnésium, en silice amorphe, en nickel et autres sous-produits,
 - Transformer les résidus métalliques de magnésium par la refonte et coulés en de nouveaux lingots de magnésium;

⁸⁵ ELSEVIER, Advanced Materials and Applications

- Développer et déployer des nouvelles technologies de transformation de l'ilménite en titane et les différents produits dérivés, dont le scandium et le vanadium, ainsi que le fer par :
 - le déploiement d'une nouvelle technologie de transformation du titane à basse température pouvant traiter du minerai à moins forte concentration (Splendor);
- Développer la première mine exploitant de vanadium au Canada (en tant que sous-produit de l'extraction du titane et de fer) et le transformer au Québec;
- Mettre de l'avant des technologies de recyclage des résidus de titane pour y extraire le scandium.

Les chaînes de valeur des minéraux stratégiques présentant un potentiel pour le Québec et utilisées dans les matériaux avancés comprennent le lithium, le nickel, le **magnésium, le titane, le vanadium, le scandium et le tellure**⁸⁶. Le reste de la section fournit des indications quant aux capacités d'exploitation et de transformation actuelles et à venir des principaux minéraux liés aux développements de la chaîne de valeur.

Magnésium

Le magnésium est utilisé dans les alliages et matériaux avancés pour sa solidité et sa légèreté. Par exemple, lorsqu'il est infusé avec des nanoparticules de carbure de silicium, il présente une résistance extrêmement élevée. Actuellement, l'utilisation d'alliages de magnésium dans le secteur de l'aérospatiale est en croissance puisque ses caractéristiques favorisent une réduction de l'utilisation de carburant. La mise au point et l'essai de nouveaux alliages de magnésium se poursuivent, notamment l'Elektron 21 (un alliage léger à haute performance nouvellement développé), qui s'est avéré adapté aux composants de moteurs internes et de cellules de l'aérospatiale.

De plus, des développements récents en métallurgie et en fabrication ont permis aux alliages de magnésium de remplacer les alliages d'aluminium et d'acier dans certaines applications. L'augmentation des applications possibles du magnésium ainsi que les avancées technologiques à venir suggèrent un potentiel prometteur pour ce minerai.

Enfin, en raison de sa faible densité et de ses bonnes propriétés mécaniques et électriques, le magnésium est largement utilisé pour la fabrication de téléphones mobiles, d'ordinateurs portables et de tablettes, d'appareils photo et d'autres composants électroniques.

Titane

Les alliages de titane offrent une résistance à la traction élevée par rapport à leur densité ainsi qu'une grande résistance à la corrosion, aux fissures et aux températures modérément élevées sans fluage. Ainsi, les alliages de titane sont utilisés dans l'industrie de l'aérospatiale et de la défense, notamment dans la fabrication des avions, des blindages, des navires, des engins spatiaux et des missiles. Pour ces applications, le titane est combiné à l'aluminium, au zirconium, au nickel, au vanadium et à d'autres éléments pour fabriquer une variété de composants, y compris des pièces structurelles critiques, des parois coupe-feu, des trains d'atterrissage, des conduits d'échappement (hélicoptères) et des systèmes hydrauliques. En fait, environ deux tiers de tout le titane métallique produit sont utilisés dans les moteurs et les châssis des avions. L'alliage de titane 6AL-4V (titane-aluminium-vanadium) représente près de 50 % de tous les alliages utilisés dans les applications aéronautiques.

Comme le titane résiste à la corrosion par l'eau de mer, il est également utilisé pour fabriquer des hélices de bateaux, des gréements et des échangeurs de chaleur dans les usines de désalinisation, des réchauffeurs-refroidisseurs pour les aquariums d'eau salée, des lignes de pêche et des couteaux de plongeurs. Le titane est utilisé dans les boîtiers et les composants des dispositifs de surveillance et de contrôle déployés en mer pour la science et l'armée.

Les tuyaux et les équipements de traitement en titane soudé (échangeurs de chaleur, réservoirs, cuves de traitement, vannes) sont utilisés dans les industries chimique et pétrochimique principalement pour leur résistance à la corrosion.

Le titane métallique est utilisé dans les applications automobiles, notamment dans les courses d'automobiles et de motos, où un faible poids, une résistance et une rigidité élevées sont essentiels. Ce métal est généralement trop cher pour le marché grand public.

En raison de la résistance supérieure et de la légèreté du titane par rapport à d'autres métaux (acier, acier inoxydable et aluminium) et grâce aux progrès récents des techniques de transformation des métaux, son utilisation s'est généralisée

⁸⁶ Le lithium et le nickel sont déjà couverts dans la section des applications électrification des transports et énergies renouvelables, et le tellure sera couvert dans la section des applications technologies, télécommunications et défense.

dans la fabrication des armes à feu. Les principales utilisations sont les carcasses de pistolets et les cylindres de revolvers.

Le titane étant biocompatible (non toxique et non rejeté par l'organisme), il a de nombreux usages médicaux, notamment dans la fabrication d'instruments et implants chirurgicaux, tels que les boules et les douilles de la hanche (remplacement de l'articulation) et les implants dentaires, qui peuvent rester en place jusqu'à 20 ans. Le titane étant non ferromagnétique, les patients porteurs d'implants en titane peuvent être examinés en toute sécurité par imagerie par résonance magnétique (pratique pour les implants de longue durée). Le titane est utilisé pour les instruments chirurgicaux utilisés en chirurgie guidée par l'image ainsi que pour les fauteuils roulants, les béquilles et tout autre produit pour lequel une grande résistance et un faible poids sont souhaitables.

En raison de leur résistance à la corrosion, les conteneurs en titane ont été étudiés pour le stockage à long terme des déchets nucléaires. On pense que des conteneurs d'une durée de vie de plus de 100 000 ans sont possibles si les conditions de fabrication minimisent les défauts du matériau.

Scandium

La principale application du scandium en poids est la fabrication d'alliages d'aluminium-scandium pour les petits composants de l'industrie aéronautique. L'alliage aluminium-scandium est aussi solide que le titane, léger comme l'aluminium et dur comme certaines céramiques. Ces alliages contiennent entre 0,1 % et 0,5 % de scandium.

Certains équipements sportifs, qui font appel à des matériaux légers et performants, ont été fabriqués avec des alliages de scandium-aluminium, notamment des battes de baseball, des mâts de tente et des cadres et composants de bicyclettes. Les bâtons de crosse sont également fabriqués en scandium. La société américaine de fabrication d'armes à feu Smith et Wesson produit des pistolets et des revolvers semi-automatiques avec des cadres en alliage de scandium et des cylindres en titane ou en acier au carbone.

Vanadium

Environ 85 % du vanadium produit est utilisé comme ferrovanadium ou comme additif pour l'acier. Le vanadium forme des nitrures et des carbures stables, ce qui entraîne une augmentation significative de la résistance de l'acier. Pour cette raison, l'acier au vanadium est utilisé pour des applications dans les essieux, les cadres de bicyclettes, les vilebrequins, les engrenages et d'autres composants critiques. Il existe deux groupes d'alliages d'acier au vanadium : les alliages d'acier à haute teneur en carbone qui contiennent 0,15 % à 0,25 % de vanadium, et les aciers à outils à grande vitesse (HSS), qui ont une teneur en vanadium de 1 % à 5 %.

Le vanadium stabilise la forme bêta du titane et augmente la résistance et la stabilité thermique du titane. Mélangé à l'aluminium dans les alliages de titane, il est utilisé dans les moteurs à réaction, les cellules d'avions à grande vitesse et les implants dentaires. L'alliage le plus courant pour les tubes sans soudure est le titane 3/2,5 contenant 2,5 % de vanadium; il consiste en l'alliage de titane de choix dans les applications liées à l'aéronautique, à la défense et au vélo.

Le tableau suivant présente les principales caractéristiques des projets en développement au Québec pour le magnésium, le titane, le scandium et le vanadium ainsi que ceux présentement actifs.

Tableau 24 : Magnésium, titane, scandium et vanadium - Principaux projets en développement ou présentement actifs au Québec

Nom du projet (et localisation)	Détenteur des droits	Avancement du projet (incluant date de début des opérations)	Réserves	Production annuelle et part de marché 2025 ⁸⁷	Coûts de développement
Danville (Estrie)	Alliance Magnésium	Alliance Magnésium a élaboré un programme de développement de ses activités en trois phases, dont la première phase (c.-à-d. l'usine pilote) s'est complétée en 2020. La phase 2 commencera ses opérations en 2021 et produira 18 000 tonnes par an. Prévus pour 2022, la troisième phase consiste en une usine commerciale avec une capacité de 50 000 tonnes. Advenant une forte demande du marché, une capacité additionnelle de 50 000 tonnes pourrait être développée.	25 millions de tonnes de magnésium	Magnésium Étape 2 : 50 000 tonnes de magnésium PwC estime un potentiel additionnel vu les résidus disponibles en fonction de la demande.	Étape 2 : 145 M\$ pour les 18 000 (+ 16 M\$ déjà investis pour l'usine pilote). 600 M\$ pour augmenter la capacité à 50 000 tonnes. PwC estime que des coûts de développement additionnels sont envisageables dans l'éventualité d'une production plus importante
Val-des-Sources (Estrie)	Mag One Products Inc.	Quatre projets en cours : 1. Usine d'oxyde de magnésium 2. Usine de métaux de magnésium 3. Production de panneaux muraux à base de MgO pour la construction de bâtiments 4. Production de piles à combustible destinées à l'alimentation de secours	11,6 M de t de Mg à Val-des-Sources et 22,6 M de t de MgO à Thetford Mines	Magnésium Étape 2 : 5 000 tonnes de magnésium Étape 2 : 33 000 tonnes d'oxyde de magnésium Étape 3 : panneaux muraux et piles à combustible - volumes à déterminer	Étape 2 : 150 M\$ pour les 5 000 tonnes de magnésium et 33 000 tonnes d'oxyde de magnésium ⁸⁸
Tring-Jonction (Chaudière-Appalaches)	ECO2 Magnesia	Mise en service d'une usine pilote et construction prévue d'une usine d'une capacité de 60 000 tonnes par an.	20 millions de tonnes de magnésium	Magnésium Étape 2 : 60 000 tonnes d'oxyde de magnésium	Étape 2 : Coût de construction estimé à 200 M\$
Val-des-Sources (Estrie)	Magnésium Technologies Recycles (MTR)	L'entreprise opère une usine pilote qui recycle les rebuts de magnésium issus des fonderies. L'usine a une capacité de 10 000 tonnes de magnésium.	Rebuts de magnésium issus des fonderies	Magnésium Étape 2 : 10 000 tonnes de magnésium (recyclé)	Étape 2 : Le coût de construction n'est pas disponible
Havre-Saint-Pierre (Côte-Nord)	Rio Tinto Fer et Titane	Mise en service en 1948, la mine de Havre-Saint-Pierre est le plus grand dépôt d'ilménite du monde.	31 millions de tonnes d'ilménite ⁸⁹	Ilménite (titane et scandium) Étape 1 : 1 986 082 tonnes d'ilménite	Étape 1 : Mine en opération
Sorel (Montérégie)	Rio Tinto Fer et Titane	Depuis 1950, l'un des principaux fabricants de matières premières pour l'industrie du dioxyde de titane et un chef de file mondial dans la production de fonte, d'acier et de poudres métalliques de haute qualité.	Non applicable	Titane Étape 2 : 200 000 tonnes de dioxyde de titane Scandium Étape 2 : 3 tonnes d'oxyde de scandium PwC estime un potentiel additionnel vu les résidus disponibles en fonction de la demande.	Étape 2 : Usine de transformation en opération PwC estime que des coûts de développement additionnels sont envisageables dans l'éventualité d'une production plus importante
Varennnes (Montérégie)	Kronos	Depuis 1957, l'un des principaux fabricants de matières premières pour l'industrie, combinant procédé	Non applicable	Titane Étape 2 : 102 000 tonnes de dioxyde de titane	Étape 2 : Usine de transformation en opération

⁸⁷ Pour le calcul des parts de marché, nous avons utilisé les productions mondiales annuelles suivantes : 1 million de tonnes de magnésium, 11 millions de tonnes d'oxyde de magnésium, 7,6 millions de tonnes de dioxyde de titane, 20 tonnes d'oxyde de scandium et 86 000 tonnes de vanadium.

⁸⁸ Basé sur 5/18 de l'investissement de 145 M\$ du pilote d'Alliance Magnésium et 33/60 de l'usine commerciale d'ECO2 Magnesia de 200 M\$.

⁸⁹ <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020-titanium-minerals.pdf>

		de sulfate (60 000 tonnes) et de chlorure (42 000 tonnes).			
Bécancour	Splendor Titanium	Le site d'extraction et de transformation du titane devrait être construit entre 2022 et 2027.	Non applicable	<u>Titane</u> Étape 2 : pilote de 25 000 tonnes de dioxyde de titane et produits dérivés PwC estime un potentiel additionnel en lien avec le succès de l'usine pilote.	Étape 2 : Usine pilote 145 M\$ PwC estime que des coûts de développement additionnels sont envisageables dans l'éventualité d'une production plus importante
Chibougamau (Abitibi) et Ville Saguenay (Saguenay)	Métaux BlackRock	Le site d'extraction et de transformation de vanadium devrait être construit entre 2022 et 2024.	130 millions de tonnes de titane et vanadium	<u>Titane</u> Étape 2 : 130 000 tonnes de dioxyde de titane <u>Vanadium</u> Étapes 1 : extraction de 830 000 tonnes de VTM Étape 2 : 5 500 tonnes de ferrovanadium	Étape 1 : 350 M\$ Étape 2 : 950 M\$
Total				<u>Magnésium</u> Étape 2 : 65 000 tonnes de magnésium, part de marché : 6,5 % Étape 2 : 93 000 tonnes d'oxyde de magn., part de marché : 0,8 % <u>Titane</u> Étape 1 : 1 986 082 tonnes d'ilménite Étape 2 : 457 000 tonnes, part de marché : 6,0 % <u>Scandium</u> Étape 1 : nbre tonnes non disponible Étape 2 : 3 tonnes, part de marché : 15 % <u>Vanadium</u> Étape 1 : 830 000 tonnes de VTM Étape 2 : 5 500 tonnes de ferrovanadium, part de marché : 6,4 %	Étape 1 : 350 M\$ Étape 2 : 2 190 M\$ Total avec potentiel : 2 540 M\$

Description du potentiel des différents maillons

Étape 1 - Extraction et concentration : L'étape comporte un site en opération (Rio Tinto Fer et Titane, à Havre-Saint-Pierre), un projet relativement avancé (Métaux BlackRock, à Chibougamau) et quatre projets principaux en étude.

1. **Métaux BlackRock** : Ce projet de 1,3 G\$ consiste à extraire un concentré de vanadium-titane-magnétite (VTM) d'un gisement situé à Chibougamau et à l'acheminer vers une usine de transformation au Saguenay afin d'en extraire de la fonte de fer brute du titane et du vanadium. Le projet prévoit l'exploitation d'une mine à ciel ouvert à Chibougamau où le minerai sera concassé et broyé avant de passer par un circuit de séparation magnétique pour récupérer un minerai VTM. La compagnie estime que la teneur finale obtenue pourrait atteindre environ 62 % de concentré de magnétite de fer avec 0,75 % de vanadium et 5 % de titane. Ensuite, le concentré de VTM sera expédié par voie ferrée vers l'usine de transformation située au port de Grande-Anse, au Saguenay, où il sera transformé en fonte brute de haute pureté et exporté vers des acheteurs aux États-Unis ou en Europe. En 2019, le projet avait obtenu le feu vert du ministère de l'Environnement du Québec pour construire la mine et l'usine de transformation, et l'entreprise avait commencé le déboisement de près d'une quarantaine d'hectares en prévision de la construction de la mine. Cependant, Métaux BlackRock a annoncé à la fin de 2019 qu'elle mettait son projet d'usine de transformation sur pause pour des raisons financières, en assurant que le projet reprendrait au printemps 2020⁹⁰. Au moment d'écrire ces lignes, le projet n'avait pas redémarré et l'entreprise a annoncé vouloir terminer son financement en 2021⁹¹. S'il voit le jour, ce projet serait la première usine produisant du vanadium en Amérique du Nord.
2. **Rio Tinto Fer et Titane** : L'entreprise, active au Québec depuis 70 ans, a mis au point un procédé d'extraction de l'ilménite qu'elle extrait de la mine à ciel ouvert du Lac Tio, à Havre-Saint-Pierre, qui renferme le plus vaste gisement d'ilménite au monde⁹².
3. **Autres projets** :
 - a. **Imperial Mining Group** : Le projet de Crater Lake est situé dans le nord du Québec, près de la frontière du Québec avec le Nouveau-Brunswick. Des études sont également en cours de réalisation afin d'établir le potentiel de la propriété en minéraux, notamment en scandium, en niobium et en éléments de terres rares. L'entreprise prévoit terminer son étude d'impact économique pour la fin de 2021.
 - b. **VanadiumCorp Resources inc.** : Situé près de la Ville de Chibougamau, le projet Lac Doré renferme, selon l'entreprise, une des plus importantes ressources de vanadium de haute pureté en Amérique du Nord. L'entreprise a démarré une étude de faisabilité en 2020 et prévoit la terminer au premier trimestre de 2021.
 - c. **Vanadium One Iron Corp.** : Située à 18 kilomètres de Chibougamau, la propriété du Mont Sorcier renferme d'importantes ressources de fer de magnétite qui contient des quantités considérables de vanadium disponibles pour l'extraction. Les études préliminaires ont établi que le projet Mont Sorcier pourrait produire un produit de minerai de fer de qualité supérieure (de 65 à 67 % Fe) contenant environ 0,6 % de vanadium. Au moment d'écrire ces lignes, le projet est toujours au stade d'exploration.
 - d. **Magpie Mines** : Projet d'une usine de démonstration d'une tonne par jour, pour produire du rutil synthétique (TiO₂) de haute qualité à partir de titane de faible qualité, l'objectif étant de fournir des données techniques suffisantes pour la mise à l'échelle d'une usine commerciale et de générer de grands échantillons de produits pour l'évaluation par les clients. Le projet comprend la conception, la fourniture et l'exploitation d'une usine de démonstration basée sur le procédé Magpie et sera situé dans la ville de Québec. Magpie a formé un consortium qui fournira le soutien nécessaire au développement du projet. Les membres du consortium comprennent (i) Impact Global Solutions (IGS) pour aider à la gestion du développement technologique jusqu'à la commercialisation, (ii) COREM pour aider à la conception, la construction et l'exploitation de l'usine de démonstration, et (iii) deux sociétés minières basées au Québec, Mine Arnaud et Arianne Phosphate, pour le soutien technique et pour fournir des matières premières sous forme de résidus, de concentré d'ilménite ou de scories pour les essais de démonstration.

⁹⁰ <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1282174/metaux-blackrock-suspend-travaux-grande-anse>

⁹¹ <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1768511/programme-credit-taxes-saguenay-metaux-blackrock>

⁹² <https://www.riotinto.com/can/Products/titanium>

Étape 2 - Transformation

1. **Alliance Magnésium** : L'usine d'Alliance Magnésium produit des lingots de magnésium à partir d'un procédé novateur d'hydrométallurgie combiné à un procédé d'électrolyse. La matière première utilisée est la serpentine, issue des haldes accumulées pendant de nombreuses décennies par l'industrie du chrysotile. Alliance Magnésium produit également du magnésium métallique à partir de retailles de magnésium issues de l'industrie de la transformation des métaux. En ce sens, l'entreprise s'inscrit dans une approche d'économie circulaire. Au total, la compagnie détient six brevets reliés à son procédé. Elle entend redéfinir les standards de l'industrie avec son procédé de fabrication écologiquement responsable, alors qu'elle produit des lingots de magnésium en émettant 22 tonnes de gaz à effet de serre de moins que ses concurrents internationaux. Après avoir complété son projet pilote avec succès, Alliance Magnésium a entrepris en 2020 la phase deux de son projet, qui consiste à bâtir une usine de démonstration commerciale.
2. **Mag One Products Inc.** : La compagnie a actuellement quatre projets actifs visant à percer le marché mondial du magnésium. Les projets de MagOne, située dans le sud du Québec, incluent : 1) la production d'oxyde de magnésium de haute pureté, 2) la production de lingots de magnésium (pureté 99,9 %), 3) l'assemblage de panneaux de revêtement isolant et de panneaux muraux à base d'oxyde de magnésium, et 4) la production de piles à combustible à des fins d'alimentation d'urgence évolutive⁹³. Ainsi, les projets de MagOne s'étalent sur les étapes 1, 2 et 3 de la chaîne de valeur du magnésium au Québec. La compagnie entend s'alimenter en magnésium en utilisant les résidus miniers de Val-des-Sources et de Thetford Mines. Le projet le plus avancé est celui de l'usine d'oxyde de magnésium. En avril 2020, la compagnie annonçait avoir reçu près de 1,7 M\$ de financement à travers le Programme de croissance propre du gouvernement fédéral, afin de produire l'étude de conception technique d'une éventuelle usine de démonstration commerciale⁹⁴.
3. **ECO2 Magnesia** : ECO2 Magnesia détient la licence exclusive de commercialisation de la technologie ECO2 Magnesia, qui consiste à produire de l'oxyde de magnésium ultra-pur de classe mondiale (plus de 99 % de pureté) en utilisant un procédé qui décontamine les résidus miniers abandonnés tout en réduisant directement les émissions de CO₂. Au moment d'écrire ces lignes, ECO2 Magnesia opère une usine-pilote depuis 2019 et cherche à améliorer ses processus. Lorsqu'elle sera pleinement opérationnelle, ECO2 Magnesia pourrait produire 60 000 tonnes d'oxyde de magnésium par année, en décontaminant 360 000 tonnes de résidus miniers et en réduisant les émissions de CO₂ de 160 000 tonnes⁹⁵.
4. **Magnésium Technologies Recycles (MTR)** : A développé un procédé unique permettant de recycler les rebuts de magnésium issus des fonderies et d'atteindre un taux de récupération supérieur à 95 %⁹⁶. L'entreprise opère actuellement une usine d'une capacité actuelle de 10 000 tonnes et explore la production d'applications industrielles à base de magnésium.
5. **Rio Tinto Fer et Titane** : Rio Tinto Fer et Titane dispose d'une usine de transformation à Sorel, où elle effectue une transformation de l'ilménite en fer et en titane. Le principal produit de cette usine est le concentré de dioxyde de titane, la poudre métallique, les gueuses de fer et le scandium. Au fil du temps, l'usine de Sorel a développé plusieurs procédés technologiques qui ont permis le développement de produits hautement concurrentiels. Parmi ces produits, on note SorellaGMD (constitué à 80 % de dioxyde de titane) ainsi que la scorie UGSMD (constituée d'environ 95 % de dioxyde de titane)⁹⁷. Ces deux produits sont destinés aux producteurs de pigments. En juin 2021, Rio Tinto Fer et Titane a commencé les activités de sa nouvelle usine de démonstration commerciale visant à produire de l'oxyde de scandium de haute qualité, la première en ce genre en Amérique du Nord⁹⁸. Quant au scandium, il s'agit d'un matériel d'alliage important pour les producteurs d'aluminium pour en améliorer les propriétés. Cependant, les métaux actuellement alliés avec du scandium sont exportés à l'extérieur du Québec.
6. **Kronos** : Kronos est une entreprise de transformation du titane, dont le siège social est situé à Montréal, et l'usine de transformation, à Varennes. En opération depuis 1936 (autrefois sous le nom de Canadian Titanium Pigments Ltd.), la compagnie se spécialise dans la production de sulfate de titane.

⁹³ <http://www.magoneproducts.com/page/projects>

⁹⁴ <http://news.magoneproducts.com/engage/mag-one-subsiary-concludes-agreement-with-canadian-government-s-clean-growth-program-for-ca-1-913-5-00-funding-for-demonstration-plant-20687>

⁹⁵ <https://www.eco2-magnesia.com/lhistoire-deco2.html>

⁹⁶ <https://mtrmag.ca/qui-sommes-nous>

⁹⁷ <https://www.riotinto.com/can/Products/titanium>

⁹⁸ <https://www.riotinto.com/en/news/releases/2021/Rio-Tinto-opens-new-scandium-plant-in-Canada>

7. **Splendor Titanium** : Le projet consiste à construire une usine de première transformation du titane à Bécancour, avec une production annuelle estimée à 200 000 tonnes. À partir d'ilménite, l'entreprise entend produire du dioxyde de titane de haute pureté ainsi que des produits d'oxyde de fer et de fonte brute. Splendor a développé un processus innovant qui utilise moins d'eau, d'énergie et de chaleur que les anciennes méthodes de production de dioxyde de titane, ce qui offre un coût compétitif et des avantages environnementaux qui se comparent favorablement à la compétition. Le titane est en grande partie exporté à l'étranger. En ce sens, la capacité additionnelle développée par ce projet serait fort probablement affectée aux besoins internationaux.
8. **Métaux BlackRock** : Comme mentionné précédemment, le projet de Métaux BlackRock prévoit la transformation du concentré de VTM extrait de son usine de Chibougamau dans son usine de première transformation située au Saguenay, dans le port de Grande-Anse, où il pourra être expédié aux États-Unis ou outre-mer. L'usine entend transformer le concentré de VTM en fonte brute de haute qualité et en vanadium. La capacité de produit, qui serait développée à l'étape 2, pourrait remplacer la quantité de vanadium actuellement importée par les différents producteurs de composantes industrielles. Cela pourrait favoriser l'essor des composantes industrielles en permettant une disponibilité locale pour l'approvisionnement en vanadium et aussi pour l'exportation vers les marchés en demande.

Bien que les données des entreprises de l'étape 3 (utilisateurs) n'aient pu être obtenues pour la préparation de ce rapport, nous présentons ci-dessous quelques projets prometteurs pour la mise en valeur de chacun des MCS identifiés :

- **Magnésium** : L'entreprise **KSM** impliquée aux étapes 2 et 3 entend utiliser des résidus miniers afin de produire de l'engrais à faible coût. En effet, l'entreprise prévoit la construction d'une usine de 55 000 tonnes par an de sulfate de potassium (SOP), de sulfate de potassium et de magnésium (SOPM) et d'acide chlorhydrique (HCl) comme sous-produit. Le procédé breveté par l'entreprise nécessite une température beaucoup plus basse, ce qui entraîne une réduction de la consommation d'énergie et des problèmes de corrosion qui, en retour, entraîne une réduction des coûts d'exploitation, des coûts de maintenance et des coûts de construction, et des émissions de gaz à effet de serre plus faibles. Au moment d'écrire ces lignes, KSM a réalisé une phase de démonstration et travaille activement au développement de son usine commerciale.

En ce qui concerne le titane, le scandium et le vanadium, le potentiel d'utilisation des minéraux transformés apparaît comme limité au Québec selon les activités industrielles actuelles et envisageables. Cependant leur potentiel d'exportation soit en métaux purs soit sous forme d'alliage, n'est pas négligeable.

- **Titane** : Le titane est en grande partie exportée à l'étranger. En ce sens, la capacité additionnelle développée serait fort probablement affectée aux besoins internationaux.
- **Scandium** : Le scandium est un matériel d'alliage important pour les producteurs d'aluminium et de titane pour en améliorer les propriétés. Cependant, il est difficile d'entrevoir un lien direct avec la transformation des métaux alliés et une augmentation de leur utilisation au Québec (ils sont en grande partie exportés).
- **Vanadium** : La capacité de production qui serait développée à l'étape 2 pourrait remplacer l'importation du vanadium actuellement effectué par les différents producteurs de composantes industrielles, et possiblement favoriser l'essor des joueurs de la troisième transformation par une disponibilité locale pour l'approvisionnement en vanadium.

Retombées économiques futures⁹⁹

Notre analyse présente les retombées économiques des projets inclus dans le groupe des matériaux avancés (ou « Groupe 2 »). Comme présenté précédemment, ce groupe ne se limite pas aux minerais identifiés dans cette section alors qu'il inclut également les minéraux suivants : le niobium et le tantalum. Afin d'être consistant avec les retombées économiques actuelles présentées plus tôt dans ce rapport, nous présentons les retombées économiques futures pour l'ensemble des minéraux du Groupe 2. En pratique, cette approche ajoute à notre analyse les retombées économiques du niobium, où trois entreprises au Québec sont actives dans la chaîne de valeur de ce dernier.

Le tableau ci-dessous présente le nombre d'entreprises actives selon les plans de développement des entreprises incluses dans notre analyse pour l'horizon 2021 à 2025. Ainsi, notre analyse inclut quatre (4) entreprises actives à l'étape de l'exploration minière, sept (7) à l'étape de la construction, cinq (5) à l'étape de l'exploitation minière et huit (8) à l'étape de la première transformation. Les entreprises incluses dans notre analyse sont celles pour qui nous disposons de suffisamment de données pour mesurer les impacts économiques et pour qui le niveau du projet était assez avancé au moment de produire le présent rapport. D'autres projets d'exploration, avec les dépenses et retombées économiques qui

⁹⁹ À noter que cette section se base sur les mêmes hypothèses que celles présentées à la section sur les retombées actuelles en ce qui concerne les structures de coûts. Par souci de ne pas alourdir le texte, nous présentons ici seulement les retombées totales, soit la somme des retombées directes et indirectes. Des tableaux détaillés sont présentés à l'Annexe E.

y sont associées, pourraient survenir au cours de l'horizon considéré; ces retombées ne seraient pas capturées par les résultats présentés dans la section. Le tableau suivant présente les dépenses encourues par le développement de ces différents projets.

Tableau 25 : Répartition du nombre de projets et des sommes encourues pour le développement de la filière du Groupe 2 au Québec pour l'horizon 2021-2025, selon les différents maillons de la chaîne de valeur

Les montants dépensés sont en millions de dollars de 2021

	Exploration (2021-2025)	Construction (2021-2025)	Exploitation minière (2025)	Première transformation (2025)
Nombre de projets	4	7	5	8
Montants dépensés (en M\$)	12,3	2 498,2	344,2	1 635,5

Source : Résultats de sondage et des recherches secondaires, analyse PwC

En considérant la chaîne des fournisseurs québécois de biens et services, l'apport total en emplois du développement de la filière du Groupe 2 est estimé à 90 et 14 430 emplois sur la période de 2021 à 2025 pour les maillons de l'exploration et de la construction, respectivement. De plus, l'activité économique générée par ces deux maillons est associée à plus de 1 533 millions de dollars de valeur ajoutée au PIB québécois, dont l'essentiel de cette somme est associé au maillon de la construction avec 1 524 millions de dollars pour la construction de mines ou d'usines de transformation entre 2021 et 2025.

Les activités d'exploitation et de première transformation ont un potentiel économique considérable, alors que l'on estime que ces deux maillons pourraient générer et supporter 4 520 emplois annuellement, dont 860 emplois pour le maillon de l'exploitation minière. La contribution à l'activité économique du Québec, mesurée par l'apport au PIB de la province, est estimée à une somme récurrente d'années en années de 1 145 millions de dollars.

Tableau 26 : Impacts économiques totaux liés au développement de la filière du Groupe 2 au Québec pour l'horizon 2021-2025, selon les différents maillons de la chaîne de valeurs

La valeur ajoutée est en millions de dollars de 2021 et les emplois en ETP

	Exploration (retombée totale sur la période 2021-2025)	Construction (retombée totale sur la période 2021-2025)	Exploitation minière (retombée annuelle, 2025)	Première transformation (retombée annuelle, 2025)
Valeur ajoutée (en M\$)	9,6	1 523,6	279,0	866,0
Nombre d'emplois (en ETP)	90	14 430	860	3 650

Source : Simulation ISQ à partir des résultats de sondage et des recherches secondaires, analyse PwC

Notes : 1. Les chiffres ayant été arrondis, la somme des éléments peut ne pas correspondre au total; 2. Les montants présentés dans ce tableau représentent les impacts totaux, c'est-à-dire la somme des impacts directs et indirects.

Enfin, les dépenses de ces entreprises et la production qui y est associée auront un impact sur les recettes fiscales des gouvernements provincial et fédéral. Au total, ce sont 226 M\$ sur la période de 2021 à 2025 qui devraient être perçus par les deux paliers de gouvernement en raison de l'activité économique générée par les maillons de l'exploration et de la construction. Sur une base annuelle, les activités liées à l'exploitation et la première transformation sont associées à des recettes fiscales de l'ordre de 101 M\$.

Tableau 27 : Impacts fiscaux totaux liés au développement de la filière du Groupe 2 au Québec pour l'horizon 2021-2025, selon les différents maillons de la chaîne de valeurs

En millions de dollars de 2021

	Exploration (retombées totales sur la période 2021-2025)	Construction (retombées totales sur la période 2021-2025)	Exploitation minière (retombées annuelles, 2025)	Première transformation (retombées annuelles, 2025)
Gouvernement du Québec (en M\$)	0,9	113,6	11,1	41,1
Gouvernement fédéral (en M\$)	0,9	110,7	10,2	38,5

Source : Simulation ISQ à partir des résultats de sondage et des recherches secondaires, analyse PwC

Notes : 1. Les chiffres ayant été arrondis, la somme des éléments peut ne pas correspondre au total; 2. Les montants présentés dans ce tableau représentent les impacts totaux, c'est-à-dire la somme des impacts directs et indirects.

Maillons manquants ou sous-développés à potentiel

Avec les investissements en cours et le développement de nouvelles technologies, telles que le traitement et la concentration du vanadium, le recyclage de résidus métalliques en magnésium ou le traitement des serpentines d'Asbestos pour en extraire le magnésium, le Québec présente un potentiel élevé pour le magnésium, titane, scandium et vanadium. Au moment d'écrire ce rapport, seuls les maillons liés au titane et, plus récemment, celui du scandium, sont mis en valeur au Québec, notamment au niveau de l'extraction et de la première et deuxième transformation.

Ainsi, un accroissement des capacités de transformation des MCS identifiés pour en faire des matériaux avancés représente un potentiel important pour l'économie québécoise. Un contributeur important à ce potentiel réside dans l'expertise technologique et scientifique qui prévaut sur le territoire québécois. En guise d'exemple, notons les nombreux procédés technologiques développés afin de valoriser les résidus miniers des anciennes mines d'amiante pour en produire des lingots de magnésium et de l'oxyde de magnésium. Somme toute, la contribution des ressources minérales au potentiel de ces chaînes de valeur est jugée modérée, car les ressources de vanadium exploitable en sol québécois sont incertaines et une seule entreprise est active dans la production actuelle et future de scandium au Québec.

Étape 2 : Transformation (magnésium, titane, scandium et vanadium)		
Attributs du Québec	Explication	Contribution au potentiel
Investissements en cours	<ul style="list-style-type: none"> Jusqu'à tout récemment, le Québec ne produisait pas de magnésium, mais la mise en opération du centre de coulée et de recyclage de l'usine de démonstration commerciale d'Alliance Magnésium ainsi que la phase 1 du projet de MTR ont tracé la route pour la production de magnésium dans la province. Le Québec ne produisait jusqu'à récemment pas de scandium, mais l'usine Rio Tinto Fer et Titane pourra en produire trois tonnes par année ou près de 13 % du marché mondial à compter de l'été 2021. 	Élevée
Ressources minérales	<ul style="list-style-type: none"> Il y a des ressources de magnésium (plus de 100 ans de réserves) dans les résidus des mines d'amiante de la région de Val-des-Sources et de Thetford Mines. Ces résidus miniers contiennent une quantité importante de magnésium, ce qui représente un potentiel important pour la chaîne de valeur du magnésium au Québec. Le Québec possède le plus vaste gisement d'ilménite au monde (c.-à-d. la mine Tio de Rio Tinto Fer et Titane), qui permet l'extraction de titane et, en sous-produit, de scandium. Les réserves canadiennes ou québécoises de vanadium sont indéterminées : il n'est pas encore certain que le Canada ou le Québec auront des réserves leur permettant de contribuer significativement à la production mondiale. À cet effet, plusieurs projets sont actuellement à l'étude. 	Modérée
Expertises technologiques et scientifiques	<ul style="list-style-type: none"> Les acteurs québécois développent des technologies avant-gardistes pour traiter la serpentine provenant de l'extraction de l'amiante afin d'y extraire le magnésium, la silice amorphe, le fer, le nickel et le cobalt. Développement d'un nouveau procédé de traitement du titane (faible température) permettant d'optimiser les coûts de traitement et la récupération des sous-produits. Développement d'un nouveau procédé d'extraction d'oxyde de scandium (dans le cadre d'un projet pilote réussi) sur le site de l'exploitation métallurgique Rio Tinto Fer et Titane à Sorel-Tracy pour l'intégrer dans des alliages maître aluminium-scandium haute performance à l'aide de l'oxyde de scandium produit. Développement d'un nouveau procédé de traitement du ferrovanadium pour développer la première usine en Amérique du nord. 	Élevée

Recyclage des minéraux de la catégorie « matériaux avancés »

Les minéraux faisant partie de la catégorie « matériaux avancés » peuvent tous être recyclés au Québec même si, pour certains des minéraux (scandium, vanadium et titane), très peu de joueurs recyclent des volumes significatifs.

Quant au magnésium, des compagnies comme Alliance Magnésium ont démontré le potentiel de produire un magnésium de haute qualité dans une perspective d'économie circulaire par la valorisation des résidus miniers. Lors de l'extraction et de la concentration du minerai, de grandes quantités de résidus sont générées. Les résidus miniers peuvent contenir des métaux pour lesquels l'extraction pourrait s'avérer viable dans le futur, selon le développement technologique et la valeur du minerai. Dans de bonnes conditions, le coût d'extraction de métaux à partir de résidus miniers peut s'avérer moindre que celui lié à l'extraction de minerais sous terre parce que les résidus ont déjà été extraits du sol et broyés. Tel qu'il est mentionné dans le rapport de l'Institut EDDEC, une vision à long terme de l'activité minière requiert d'assurer un entreposage adapté des résidus miniers qui favoriserait la récupération des métaux et permettrait d'allonger la productivité d'un gisement, en fonction de l'évolution des marchés, diminuant d'autant l'impact environnemental. Parmi les technologies d'extraction des métaux contenus en faible concentration dans les résidus entreposés de façon adéquate, mentionnons les méthodes de lixiviation avancées, telles que la biolixiviation (utilisée par Alliance Magnésium). Cette approche consiste à extraire des métaux à l'aide d'un réactif liquide qui favorise la décomposition des minéraux et la capture du métal désiré¹⁰⁰.

Étape 4 : Recyclage		
Attributs du Québec	Explication	Contribution au potentiel
Circularité des joueurs québécois	<ul style="list-style-type: none"> • Alliance Magnésium : L'entreprise est actuellement à l'étape de la démonstration commerciale de son usine, qui vise à recycler le magnésium en circulation en plus d'en produire à partir de serpentine d'amiante. Alliance Magnésium vise à travailler avec des partenaires de l'industrie du moulage sous pression produisant des déchets de magnésium de qualité. Le recyclage est activement promu au sein de l'industrie en raison de son impact positif sur l'environnement et des études d'évaluation du cycle de vie sur les émissions de gaz à effet de serre et autres sujets. • Magnésium Technologies Recycles : L'entreprise a développé un procédé unique permettant de recycler les rebuts de magnésium provenant des fonderies et d'atteindre un taux de récupération supérieur à 95 %. • ECO2 Magnesita : Récupération de la serpentine d'amiante pour en faire de l'oxyde de magnésium avec un procédé breveté. • Rio Tinto Fer et Titane : Récupération des résidus miniers du traitement de dioxyde de titane pour en extraire le scandium. 	Élevée

3. Technologies, télécommunications et défense

Justification

En 2018, l'association de l'industrie minière des États-Unis (la *National Mining Association*) affirmait que le ministère de la Défense des États-Unis utilisait jusqu'à 750 000 tonnes de minéraux par an pour la fabrication d'engins militaires, de systèmes d'armes et d'autres applications de défense. L'utilisation de minéraux dans les équipements de défense sont multiples, notamment dans les nouvelles technologies telles que les véhicules aériens sans pilote et les avions-citernes, les radars de défense aérienne intégrés avancés et les systèmes spatiaux.

De plus, la demande des consommateurs pour certaines technologies, telles que les téléphones cellulaires et les ordinateurs, a connu une croissance spectaculaire. Ces mêmes minéraux spécialisés sont également requis pour les technologies de défense. Ainsi, l'activité sur ces deux sphères, combinée à un fort contrôle des ressources par la Chine¹⁰¹ a généré et génère des préoccupations importantes au niveau des approvisionnements. L'efficacité économique et la rentabilité de la centralisation de leurs sources sont contrebalancées par les implications en matière de sécurité si cette étroite chaîne d'approvisionnement devait être mise à mal¹⁰². La Chine est en mesure d'influencer l'accessibilité des minéraux nécessaires à la technologie et à la défense. Par conséquent, les grandes économies cherchent à diversifier leur source d'approvisionnement.

Les dispositifs pour semi-conducteurs sont de petits composants que l'on trouve sur les circuits intégrés équipant les objets technologiques (par exemple ordinateurs, consoles de jeu, téléphones, tablettes). Le secteur des semi-conducteurs est également devenu un secteur particulièrement concentré, dans lequel on retrouve très peu d'acteurs. Bien que les

¹⁰⁰ Institut EDDEC, Métaux et économie circulaire au Québec, 2018

¹⁰¹ Les États-Unis et l'Europe sont approvisionnés par la Chine en ETR à près de 90 %
<https://qz.com/2012722/rare-earth-industry-looks-at-global-chips-shortage-for-lessons/>

¹⁰² Association canadienne pour l'OTAN

États-Unis dominent la conception des semi-conducteurs, c'est en Asie que se concentre leur fabrication, plus particulièrement à Taïwan, et la majorité des éléments de terres rares indispensables à leur production. Depuis la fin des années 1980 et l'envol de l'entreprise TSMC (Taïwan Semiconductor Manufacturing Company), ce pays garantit environ 70 % de la production globale de semi-conducteurs. Si les pénuries actuelles s'expliquent en partie par la pandémie de COVID-19, l'importance de la guerre économique qui se joue entre Washington et Pékin n'est pas à négliger. Ce contexte de tensions commerciales place Taïwan aux premières loges de cette concurrence technologique entre les deux puissances.

En résumé, la forte mainmise de la Chine sur la chaîne de valeur des éléments de terres rares, éléments essentiels au semi-conducteurs (technologie) et à certaines applications de télécommunications et défense, préoccupe plusieurs producteurs importants.

Le Québec possède de bonnes ressources d'éléments de terre rares et il a une opportunité d'explorer si leur exploitation serait commercialement viable.

Entretemps, des investissements sont prévus par Géoméga pour transformer les résidus d'éléments de terres rares et aimants en poudre aimanté permettant de réintégrer ces composantes dans nos écosystèmes.

Le reste de la section présente une perspective sur l'état d'avancement des différents projets liés aux ETR et au tellure au Québec, qui permettrait de se positionner sur ces chaînes de valeur.

Ainsi, nous retenons quatre axes de développement potentiels liés au développement de la filière « technologies, télécommunication et défense » et qui pourraient contribuer au développement économique du Québec. Ces opportunités se résument comme suit :

- Soutenir l'émergence des projets d'exploitation par des subventions et incitatifs afin d'améliorer leur rentabilité économique et de faciliter l'attrait de capitaux pour les soutenir. En effet, un des freins majeurs à la mise en service des gisements des ÉTR au Québec réside dans les coûts de construction élevés de nouvelles mines vis-à-vis de la concurrence prédominante de la Chine dans ce secteur - une réalité qui a un impact significatif sur la rentabilité des projets;
- Miser sur le recyclage des produits en fin de vie, notamment ceux contenant des aimants permanents pour la production d'oxyde de terres rares. Le Québec possède déjà une technologie démontrée à cet effet (Geomega) et à moyen terme (sur l'horizon 2030), on s'attend à un accroissement du volume des déchets magnétiques;
- Intégrer des incitatifs importants pour la deuxième transformation au Québec ou des tarifs à l'export du concentré non-transformé étant donné la rareté des minéraux liés à la filière « technologies, télécommunication et défense » afin d'attirer des entreprises en deuxième transformation (comme quasi-condition d'accès aux ressources minérales)
- Stimuler le développement de certaines applications industrielles dans les hautes technologies et dans les produits différenciés de niches à partir des ressources exploitées ou transformées au Québec, par exemple :
 - Le Québec possède une part de marché significative du tellure de haute pureté, un élément essentiel à la production des panneaux solaires à base de tellurure de cadmium (CdTe) ainsi qu'à la fabrication de dispositifs thermoélectriques. Ainsi, on note un potentiel pour le développement d'une industrie des cellules photovoltaïques pour les panneaux solaires à couches minces ou pour les satellites;
 - La présence d'ETR et de tellure au Québec pourrait soutenir le développement de l'industrie des technologies de pointe liée aux secteurs de l'optique et de la photonique (soit la vision et l'imagerie, l'instrumentation et les capteurs). Cette industrie est relativement bien implantée au Québec par la présence de PME, de grandes entreprises manufacturières (TeraXion, OptoSigma, ABB, Nemko, etc) et d'institutions d'enseignement et de recherche. Les technologies développées ont plusieurs champs d'applications notamment dans le secteur de l'aérospatiale, médicale, manufacturier et des télécommunications.

Éléments de terres rares

Autrefois, les éléments de terres rares (ETR), un groupe de minéraux aux propriétés voisines, provenaient principalement des pays membres de l'OTAN, avec les États-Unis qui produisaient la majorité de l'approvisionnement mondial jusque dans les années 1980. Aujourd'hui, la Chine fournit près de 90 % des éléments de terres rares dans le monde et laisse entendre qu'elle pourrait constituer une réserve stratégique de ces minéraux essentiels. Pour parer à d'éventuelles pénuries de technologies de défense essentielles, les membres de l'OTAN commencent à adopter de nouvelles lois et à élaborer des politiques pour faire face à l'instabilité dans l'approvisionnement de ces ressources.

On s'intéresse particulièrement aux ETR dans l'industrie de la technologie, des télécommunications et de la défense en raison de leur utilisation dans plusieurs applications militaires, telles que les circuits de missiles et les équipements de télécommunications. Les aimants compacts et puissants qui nécessitent des terres rares, comme le néodymium, le praséodyme, le samarium, le dysprosium et le terbium, sont des composants essentiels à la plupart des technologies de défense modernes. Parmi les autres applications des ETR, on retrouve : les systèmes de guidage et de contrôle; les systèmes de ciblage et d'armes; les moteurs électriques; les bombes intelligentes; les munitions d'attaque directe conjointes; les actionneurs d'ailerons air-sol conjoints et les aéronefs sans pilote prédateurs; et les batteries nickel-métal-hydrure.

De plus, les ETR sont aussi nécessaires dans certains cas au développement et à l'essor d'énergies renouvelables, notamment dans la production d'éoliennes en mer¹⁰³. De plus, certaines technologies de turbines en utilisent (néodyme) pour la fabrication des aimants permanents, mais d'autres technologies n'utilisent pas d'aimants permanents, donc pas de terres rares. Par exemple, on estime à environ 10 % du parc éolien en France qui contient des terres rares dans la fabrication des éoliennes¹⁰⁴.

En 2021, le président Biden a signé un décret afin d'examiner certaines chaînes d'approvisionnement des États-Unis jugées essentielles, notamment celles des semi-conducteurs en passant par les minéraux critiques et les terres rares. L'idée derrière cette orientation est de réduire la dépendance de l'approvisionnement en terres rares des États-Unis avec l'extérieur. Dans les faits, il est peu probable que les États-Unis atteignent un niveau d'autonomie dans la production de minéraux critiques sur un horizon à moyen terme. Une option pour eux sera peut-être d'établir des liens stratégiques avec des juridictions politiquement stables, comme le Canada qui possède des projets visant l'exploitation de terres rares¹⁰⁵.

Tellure

La principale utilisation du tellure est le développement de films de cadmium-tellurium dans les cellules photovoltaïques, une application particulièrement en demande dans les économies émergentes, comme la Chine et l'Inde. Les panneaux solaires en tellure de cadmium (CdTe) présentent des rendements parmi les plus élevés pour les générateurs d'énergie électrique à cellules solaires. Le tellure est également utilisé dans la fabrication de disques réinscriptibles (CD, DVD, Blu-ray) ainsi que dans la nouvelle génération de RAM connue sous l'acronyme PRAM¹⁰⁶. Par ailleurs, le tellure est utilisé comme additif aux alliages de cuivre, de plomb et d'acier pour améliorer l'efficacité des machines, notamment dans les produits de refroidissement thermoélectriques. Ensemble, la fabrication de cellules photovoltaïques et les applications thermoélectriques représentent plus des deux tiers de l'utilisation du tellure dans le monde.

Le tableau suivant présente les principales caractéristiques des projets en développement au Québec pour les ETR et le tellure ainsi que ceux présentement actifs.

¹⁰³ <https://bibliothèque.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/492-terres-rares-energies-renouvelables-et-stockage-d-energies.html>

¹⁰⁴ <https://www.revolution-energetique.com/eoliennes-et-metaux-rares-rumeurs-et-realites/>

¹⁰⁵ Strategic Material Advisors, Ltd.

¹⁰⁶ <https://www.5nplus.com/fr/tellure.html#!?lang=fr>

Tableau 28 : Éléments des terres rares et tellure - Principaux projets en développement ou présentement actifs au Québec

Nom du projet (et localisation)	Détenteur des droits	Avancement du projet (incluant date de début des opérations)	Réserves	Production annuelle et part de marché mondiale 2025 ¹⁰⁷	Coûts de développement
Strange Lake (Nunavik)	Torngat Metals	Le projet est actuellement dans sa phase de production d'une étude de pré faisabilité d'ici 2022, suivie de l'étude de faisabilité financière en 2024. La production devrait commencer en 2025 ou 2026.	Non disponible	Éléments de terres rares Étape 1 : 11 150 tonnes Part de marché : 3,8 %	Étape 1 : 300 M\$
Ashram (Nunavik)	Commerce Resource Corp. (CRC)	CRC a démontré qu'elle pouvait produire des concentrés de monazite ¹⁰⁸ à haute teneur et à taux de récupération élevé à partir du gisement d'Ashram. Le projet est actuellement dans sa phase de pré faisabilité.	Non disponible	Éléments de terres rares Étape 1 : 16 850 tonnes ¹⁰⁹ Part de marché : 5,8 %	Étape 1 : 500 M\$
Montviel (Matagami)	Geomega	En plus de développer la première usine de recyclage d'aimants en dehors de l'Asie, Geomega développe un projet minier à Montviel. Le projet est en pause depuis 2015 pour permettre la mise à l'échelle des technologies de traitement de Geomega.	Non disponible	Production non disponible, mais la part de marché est estimée à 0,5 %	Étape 1 : 400 M\$
Saint-Bruno (Montréal)	Geomega	L'usine de démonstration d'une capacité totale de 4,5 tonnes par jour de déchets magnétiques est en construction à Saint-Bruno-de-Montarville, Québec, Canada. Avec une mise à l'échelle progressive, un faible coût en capital, une faible empreinte et aucun déchet liquide ou solide, le projet aura des GES moins élevés ¹¹⁰ .	Non applicable	Éléments de terres rares Étape 2 : Transformation de 500 tonnes de résidus miniers en aimants	Étape 2 : projet de 15 M\$
Montréal (Montréal)	5N Plus	L'entreprise est un chef de file mondial en ce qui a trait à la transformation de plusieurs minéraux destinés à des applications électroniques, comme les panneaux solaires ou les semiconducteurs. À son usine de Montréal, elle transforme le tellure et le bismuth.	Non applicable	Tellure Production confidentielle, mais on estime que la part de marché de l'entreprise est de plus de 50 % du tellure	Étape 2 : Usine en opération, investissement de 8,5 M\$
Total				Éléments de terres rares Étape 1 : 29 450 tonnes, part de marché : 10,1 % Étape 2 : 500 tonnes d'aimants transformés Tellure Étape 2 : 50 % du marché	Étape 1 : 1 200 M\$ Étape 2 : 23,5 \$M Total : 1223,5 \$M

¹⁰⁷ Pour le calcul des parts de marché, nous avons utilisé la production mondiale annuelle suivante : 290 000 tonnes d'ETR en 2025.

¹⁰⁸ La monazite est le minéral privilégié de l'industrie pour extraire les ETR en raison de sa forte teneur en néodyme (Nd) et en praséodyme (Pr).

¹⁰⁹ <https://commerceresources.com/projects/the-ashram-rare-earth-element-and-fluorspar-deposit/>

¹¹⁰ <https://geomega.ca/fr/>

Description du potentiel des différents maillons

Étape 1 - Extraction et concentration : L'étape comporte trois projets qui ont un potentiel économique considérable pour l'horizon 2021-2025. Alors que deux de ces projets sont à l'étape de la faisabilité (Torngat Metals et Commerce Resource Corp.), le projet Montviel de Geomega est en pause depuis 2015. Ainsi, le potentiel économique pour les projets de l'étape 1 pour ce groupe de minéraux est incertain.

- 1. Torngat Metals** : L'entreprise détient les droits sur la propriété Strange Lake, qui couvre 9 367 hectares dans la région du Nord-du-Québec. Le projet entend extraire et concasser à même la mine à ciel ouvert un total de 11 150 tonnes d'ETR par année avec un procédé qui consistera en une combinaison de tri physique du minerai et de flottation. Torngat Metals entend transporter, par dirigeables et voies ferroviaires, le concentré de minerai de la mine à son usine de Bécancour, où sera traité et raffiné le minerai.
- 2. Commerce Resource Corp.** : L'entreprise désire se positionner comme une des compagnies qui approvisionnent le marché mondial en ETR à plus faibles coûts. Elle détient les droits du gisement d'Ashram, qui se caractérise par une importante ressource d'ETR de haute qualité : il est l'un des plus grands gisements de terres rares au monde. Le projet en est toujours au stade préliminaire, alors que l'étude de préfaisabilité était lancée en avril 2021. L'entreprise prévoit commencer la construction de sa mine à ciel ouvert en 2024.
- 3. Geomega** : L'entreprise détient les droits de la propriété Montviel, située dans la partie sud de la région du Nord-du-Québec. Le projet prévoit l'extraction d'ETR en utilisant des technologies de traitement des minerais ainsi que des déchets miniers et industriels. En 2015, Geomega annonçait que le projet était sur pause pour permettre la mise à l'échelle des technologies de traitement qu'entend utiliser l'entreprise. La construction de l'usine est supposée débuter en 2025.
- 4. Autres acteurs impliqués: Quebec Precious Metals Corporation (QPM)** : QPM est une société d'exploration aurifère avec de vastes terrains dans la région d'Eeyou Istchee Baie-James, au Québec, à proximité de la mine d'or Éléonore de Newmont Goldcorp Corporation. L'entreprise détient les droits sur deux propriétés : Kipawa et Zeus, situées à environ 50 km à l'est de Témiscamingue. Depuis 2011, l'entreprise a effectué 293 trous de forage (24 571 m) qui ont servi à préparer une étude de faisabilité achevée en 2013. L'étude présentait un calendrier de production qui s'échelonnait sur 15 ans, avec une mine à ciel ouvert et la construction d'une usine de traitement. En 2017, les activités de recherche et de développement du projet ont été arrêtées.

Étape 2 - Transformation et Étape 4 - recyclage

- 1. 5N Plus** : 5N Plus est la seule entreprise au Québec qui est active dans la chaîne de valeur du tellure. L'entreprise, dont le siège social est situé à Montréal, est un producteur canadien de métaux et de composés de haute pureté pour les applications électroniques. À son usine de transformation de Montréal, 5N Plus effectue le raffinage primaire et secondaire du tellure et du bismuth. À l'échelle mondiale, 5N Plus occupe une position compétitive enviable alors que l'entreprise détient une part mondiale estimée à plus de 50 % du marché dans lequel elle opère. Au début de 2021, 5N Plus a fait l'acquisition de la compagnie allemande AZUR SPACE Solar Power, qui se spécialise dans la fabrication de cellules ainsi que dans les modules photovoltaïques. Cet investissement permettra à la compagnie de développer davantage son expertise dans une industrie de pointe, renforçant ainsi son positionnement sur le marché mondial tout en favorisant le développement de la filière aérospatiale québécoise. De plus, l'entreprise a annoncé en juin 2021 un investissement de plus de 8,5 M\$ pour son usine de Montréal afin de mieux répondre à la demande de semiconducteurs spécialisés¹¹¹.

¹¹¹ https://www.5nplus.com/files/14/2021-06-02%20Projet%20St-Laurent%20FR_2021-06-01-17-55.pdf

2. Ressources Geomega : Fondée en 2009, Ressources Geomega développe des technologies pour l'extraction et la séparation des ETR à partir de déchets d'aimants pour faire de la poudre de terres rares, qu'elle revendra à des fabricants de métal qui feront des pièces pour les Tesla, Apple et Samsung. Il s'agit de la première entreprise à développer des installations de recyclage des aimants à l'extérieur de l'Asie, offrant ainsi une solution pour assurer la circularité des minéraux nécessaires à l'électrification des transports et aux énergies renouvelables. Depuis 2014, les ingénieurs et chimistes de la compagnie ont exploré plusieurs pistes de solution pour le développement de leur technologie, allant de l'électrophorèse à la séparation magnétique, jusqu'à la percée technologique qui a mené au développement du « procédé ISR ». Contrairement aux procédés classiques utilisés en Chine (qui produisent 85 % des terres rares), le procédé ISR, dont elle possède la propriété intellectuelle, n'utilise aucun solvant organique. L'impact environnemental est presque nul puisque presque tous les réactifs sont récupérés et réintégrés en cours de processus, ce qui rend le procédé ISR propre et rentable. Et contrairement à l'électrophorèse et à la séparation magnétique, le procédé ISR est compatible avec une production de masse. Pour des raisons de rentabilité et d'approvisionnement, l'équipe se concentre sur le recyclage des aimants permanents qu'on trouve dans les moteurs électriques. À la fin du procédé, on retrouve des oxydes de terres rares purs à 99,5% et d'une qualité suffisante pour fabriquer de biens technologiques. Le projet est toujours en stade de démonstration et produit à très petite échelle, soit avec une capacité de débit quotidien de 1,5 tonne par jour. Néanmoins, en 2020, Ressources Geomega a reçu un soutien financier d'Investissement Québec lui permettant de poursuivre sa croissance et de passer à l'échelle commerciale. La construction de ses installations à Saint-Bruno est terminée et, une fois à l'échelle, l'usine pourra transformer jusqu'à 4,5 tonnes par jour. L'entreprise a choisi de se concentrer sur le développement de la transformation des minéraux à partir de source seconde afin de démontrer que la technologie a un risque en investissement plus faible que l'exploitation minière traditionnelle. La production de terres rares dans une logique d'économie circulaire constitue un atout majeur pour le positionnement du Québec dans l'électrification des transports. Néanmoins, la compagnie affirme n'avoir aucun client pour l'instant dans la province, et l'ensemble de sa production vise un marché d'exportation.

Retombées économiques futures¹¹²

Notre analyse présente les retombées économiques des projets inclus dans le groupe des technologies et de la défense (ou « Groupe 3 »). Comme présenté précédemment, ce groupe ne se limite pas aux minerais identifiés dans cette section alors qu'il inclut également les minéraux suivants : l'antimoine, le bismuth, l'étain, le césium et le gallium. Afin d'être consistant avec les retombées économiques actuelles présentées plus tôt dans ce rapport, nous présentons les retombées économiques futures pour l'ensemble des minéraux du Groupe 3. En pratique, cette approche n'ajoute rien à notre analyse des retombées économiques, car seulement la chaîne de valeurs des éléments de terres rares est active au Québec. Par contre, notons que notre analyse économique inclut les activités de 5N Plus, qui transforme le tellure et le bismuth sur le territoire québécois.

Le tableau ci-dessous présente le nombre d'entreprises actives et les dépenses encourues selon les plans de développement des entreprises incluses dans notre analyse pour l'horizon 2021 à 2025. Ainsi, notre analyse inclut une (1) entreprise active à l'étape de l'exploration minière, quatre (4) à l'étape de la construction, une (1) à l'étape de l'exploitation minière et trois (3) à l'étape de la première transformation. Les entreprises incluses dans notre analyse sont celles pour lesquelles nous disposons de suffisamment de données pour mesurer les impacts économiques et pour lesquelles le niveau du projet était assez avancé au moment de produire le présent rapport. D'autres projets d'exploration, avec les dépenses et retombées économiques qui y sont associées, pourraient survenir au cours de l'horizon considéré; ces retombées ne seraient pas prises en compte par les résultats présentés dans la section.

Tableau 29 : Répartition du nombre de projets et des sommes encourues pour le développement de la filière du Groupe 3 au Québec pour l'horizon 2021-2025, selon les différents maillons de la chaîne de valeurs

Les montants dépensés sont en millions de dollars de 2021

	Exploration (2021-2025)	Construction (2021-2025)	Exploitation minière (2025)	Première transformation (2025)
Nombre de projets	1	4	1	3
Montants dépensés (en M\$)	9,5	874,8	57,1	223,3

¹¹² À noter que cette section se base sur les mêmes hypothèses que celles présentées à la section D sur les structures de coûts. Par souci de ne pas alourdir le texte, nous présentons ici seulement les retombées totales, soit la somme des retombées directes et indirectes. Des tableaux détaillés sont présentés à l'Annexe E.

En considérant la chaîne des fournisseurs québécois de biens et services, l'apport total en emplois du développement de la filière du Groupe 3 est estimé à 70 et 5 050 emplois sur la période de 2021 à 2025 pour les maillons de l'exploration et de la construction, respectivement. De plus, l'activité économique générée par ces deux maillons est associée à un peu plus de 541 M\$ de valeur ajoutée au PIB québécois, dont l'essentiel de cette somme est associé au maillon de la construction avec 534 M\$ pour la construction de mines ou d'usines de transformation entre 2021 et 2025.

Les activités d'exploitation et de première transformation ont un potentiel économique considérable, alors que l'on estime que ces deux maillons pourraient générer et supporter 640 emplois annuellement, dont 140 emplois pour le maillon de l'exploitation minière. La contribution à l'activité économique du Québec, mesurée par l'apport au PIB de la province, est estimée à une somme récurrente d'année en année de 165 M\$.

Tableau 30 : Impacts économiques totaux liés au développement de la filière du Groupe 3 au Québec pour l'horizon 2021-2025, selon les différents maillons de la chaîne de valeur

La valeur ajoutée est en millions de dollars de 2021 et les emplois en ETP

	Exploration (retombées totales sur la période 2021-2025)	Construction (retombées totales sur la période 2021-2025)	Exploitation minière (retombées annuelles, 2025)	Première transformation (retombées annuelles, 2025)
Valeur ajoutée (en M\$)	7,4	533,5	46,3	118,2
Nombre d'emplois (en ETP)	70	5 050	140	500

Source : Simulation ISQ à partir des résultats de sondage et des recherches secondaires, analyse PwC

Notes : 1. Les chiffres ayant été arrondis, la somme des éléments peut ne pas correspondre au total; 2. Les montants présentés dans ce tableau représentent les impacts totaux, c'est-à-dire la somme des impacts directs et indirects.

Enfin, les dépenses de ces entreprises et la production qui y est associée auront un impact sur les recettes fiscales des gouvernements provincial et fédéral. Au total, ce sont 80 M\$ sur la période de 2021 à 2025 qui devraient être perçus par les deux paliers de gouvernement en raison de l'activité économique générée par les maillons de l'exploration et de la construction. Sur une base annuelle, les activités liées à l'exploitation et à la première transformation sont associées à des recettes fiscales de l'ordre de plus de 14 M\$.

Tableau 31 : Impacts fiscaux totaux liés au développement de la filière du Groupe 3 au Québec pour l'horizon 2021-2025, selon les différents maillons de la chaîne de valeur

En millions de dollars de 2021

	Exploration (retombées totales sur la période 2021-2025)	Construction (retombées totales sur la période 2021-2025)	Exploitation minière (retombées annuelles, 2025)	Première transformation (retombées annuelles, 2025)
Gouvernement du Québec (en M\$)	0,7	39,8	1,8	5,6
Gouvernement fédéral (en M\$)	0,7	38,8	1,7	5,3

Source : Simulation ISQ à partir des résultats de sondage et des recherches secondaires, analyse PwC

Notes : 1. Les chiffres ayant été arrondis, la somme des éléments peut ne pas correspondre au total; 2. Les montants présentés dans ce tableau représentent les impacts totaux, c'est-à-dire la somme des impacts directs et indirects.

Maillons manquants ou sous-développés à potentiel

Diverses opérations visant à exploiter les minéraux de terres rares sont actuellement en cours de développement au Québec. Cependant, aucune mine n'est actuellement opérationnelle. Bien qu'il n'y ait aucun projet d'exploitation du tellure, le Québec détient 50 % des parts de marché mondiales en ce qui a trait aux produits de tellure transformés en raison des activités de 5N Plus.

Le potentiel économique des chaînes de valeur du tellure et des ETR pour les étapes 1 et 2 est jugé comme étant modéré. En effet, bien que le Québec dispose d'importantes ressources d'ETR, l'environnement d'affaires propice aux projets d'exploitation de mines d'ETR n'a pas encore atteint l'étape de mise en valeur en raison de la compétition chinoise, qui offre un environnement d'affaires plus compétitif côté coûts de construction et production. Toutefois, nous notons que la volonté des gouvernements américains, canadiens et québécois à sécuriser les chaînes

d'approvisionnement de certains minéraux, incluant les ETR, pourrait faire progresser certains projets sur le territoire québécois à l'étape de la mise en valeur.

Étapes 1 et 2 : Prospection, exploration, exploitation, traitement, concentration et première transformation		
Attributs du Québec	Explication	Contribution au potentiel
Environnement d'affaires	<ul style="list-style-type: none"> Les ETR constituent un petit marché avec une demande d'environ 210 000 tonnes par an. Bien que l'on s'attende à de faibles retombées économiques liées à l'exploitation et à la première transformation de ces minéraux, le développement des projets constitue une valeur stratégique afin de sécuriser la chaîne d'approvisionnement : <ul style="list-style-type: none"> L'accroissement continu de l'utilisation des ETR dans les nouvelles technologies et applications, dont les nouvelles générations de véhicules électriques et hybrides; Les tensions géopolitiques avec la Chine, qui produit 90 % des ETR, amènent les transformateurs et des gouvernements à vouloir diversifier et sécuriser l'approvisionnement en ETR; Le Québec est l'une des sources d'approvisionnement alternatives potentielles à la Chine avec des réserves importantes qui le placent dans une position unique pour répondre à sa demande intérieure ainsi qu'à celles de ses partenaires commerciaux, tels que les États-Unis; Cependant, la Chine domine la chaîne d'approvisionnement, et la crainte qu'elle puisse manipuler le marché a tenu les investisseurs à l'écart, même si les gouvernements américain et canadien discutent des moyens de favoriser l'émergence de ce secteur en Amérique du Nord; Les coûts de main-d'œuvre et de développement au Québec sont beaucoup plus élevés qu'en Chine, ce qui nuit à la compétitivité des entreprises d'exploitation minière des ETR sur le territoire québécois par rapport au territoire chinois. Le tellure est lui produit de résidus miniers, et Montréal représente une plaque tournante de sa production avec une part de marché approchant les 50 %. Ce maillon de la chaîne de valeur est très développé au Québec et peu de nouvelles opportunités sont visibles. 	Modérée
Ressources minérales	<ul style="list-style-type: none"> Le gisement de terres rares de Torngat à Strange Lake est l'un des plus grands au monde, avec des quantités significatives d'ETR. En 2020, la société minière canadienne Commerce Resources Corp. a reçu 160 000 \$ de la part d'organismes gouvernementaux et privés pour soutenir la recherche et le développement du schéma de traitement du gisement de terres rares et de spath fluor d'Ashram. Située dans le nord du Québec, Ashram est l'un des plus grands gisements de terres rares au monde avec une composante de spath fluor qui se classe également parmi les plus grands définis à l'échelle mondiale¹¹³. Nous notons que l'exploitation d'une mine d'ETR comporte une forme de risque en raison de la présence potentielle de radioactivité dans les activités d'exploitation des terres rares. Cet élément devrait être pris en compte dans le développement des projets et les mesures proposées, approuvées par le BAPE. 	Modérée
Expertises technologiques et scientifiques	<ul style="list-style-type: none"> Geomega Resources vise à construire une usine de recyclage capable de produire des oxydes de terres rares. La décision de se tourner vers le recyclage marque une volte-face par rapport au plan initial de l'entreprise. Après avoir dépensé des sommes importantes pour tenter de prouver qu'elle pouvait extraire des terres rares sur la propriété de Montviel, la compagnie estime que les investissements liés au recyclage offrent des rendements moins risqués que ceux liés au secteur minier traditionnel. 5N Plus détient un technologie propriétaire de traitement de résidus miniers pour en extraire le tellure qui permet d'approvisionner les marchés mondiaux de ce minéral critique, en petite quantité, à la production de plusieurs applications technologiques, pour l'aérospatiale et les énergies renouvelables. 	Modérée

¹¹³ Mining.com. *Commerce Resources gets grant to develop Ashram rare earth project*

Comme mentionné précédemment, l'extraction des terres rares en Amérique du Nord reste un défi pour plusieurs raisons : importants investissements initiaux, faible compétitivité des coûts de production par rapport à la Chine et faible concentration des minéraux dans les gisements. Cependant, une alternative viable et qui s'inscrit dans une logique circulaire serait le recyclage et la valorisation des métaux technologiques en fin de vie. L'étape du recyclage représente donc un potentiel élevé pour l'économie québécoise, alors que l'entreprise 5N Plus se spécialise déjà dans la production de produits de tellure faits à partir de matière recyclée et que Geomega construit actuellement une usine de recyclage des ETR afin d'en faire des aimants.

Étape 4 : Recyclage		
Attributs du Québec	Explication	Potentiel
Environnement d'affaires	<ul style="list-style-type: none"> L'exploitation des ETR est souvent jugée comme non rentable en Amérique du Nord étant donné leur faible concentration, la difficulté à les séparer lorsqu'ils sont présents avec d'autres minéraux et les coûts de main-d'œuvre. Le recyclage est considéré comme une alternative porteuse pour sécuriser les chaînes d'approvisionnement et s'inscrire dans la vision de développer une économie circulaire. À cet effet, le tellure produit au Québec à partir des résidus miniers et du recyclage de résidus miniers permet de répondre à 50 % de la demande mondiale. 	Élevée
Expertises technologiques et scientifiques	<ul style="list-style-type: none"> Les acteurs actifs dans la transformation du tellure et des ETR dans la province sont également capables de recyclage. Ils ont soit des usines de recyclage opérationnelles, soit des projets de construction d'une usine utilisant des méthodes de recyclage exclusives. Geomega construit la première installation durable de recyclage des terres rares au monde afin de répondre à la demande mondiale croissante d'aimants qui soutiennent la transition vers l'électrification des transports et les sources d'énergie renouvelables. 	Élevée

Annexes

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/s.r.l./s.e.n.c.r.l, 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. En outre, le lecteur convient que ce Rapport ne doit pas être mentionné ou cité, en tout ou en partie, dans un prospectus, une déclaration d'enregistrement, une circulaire d'offre, un dépôt public, un prêt, un autre accord ou un document, et de ne pas distribuer le Rapport sans le consentement préalable de PwC.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Les personnes qui ont rédigé le Rapport l'ont fait au meilleur de leurs connaissances, en agissant de manière indépendante et objective.
10. La rémunération de PwC n'est subordonnée à aucune action ou événement résultant de l'utilisation du Rapport.

Annexe B – Modèle entrées-sorties

Aperçu de notre cadre d'analyse

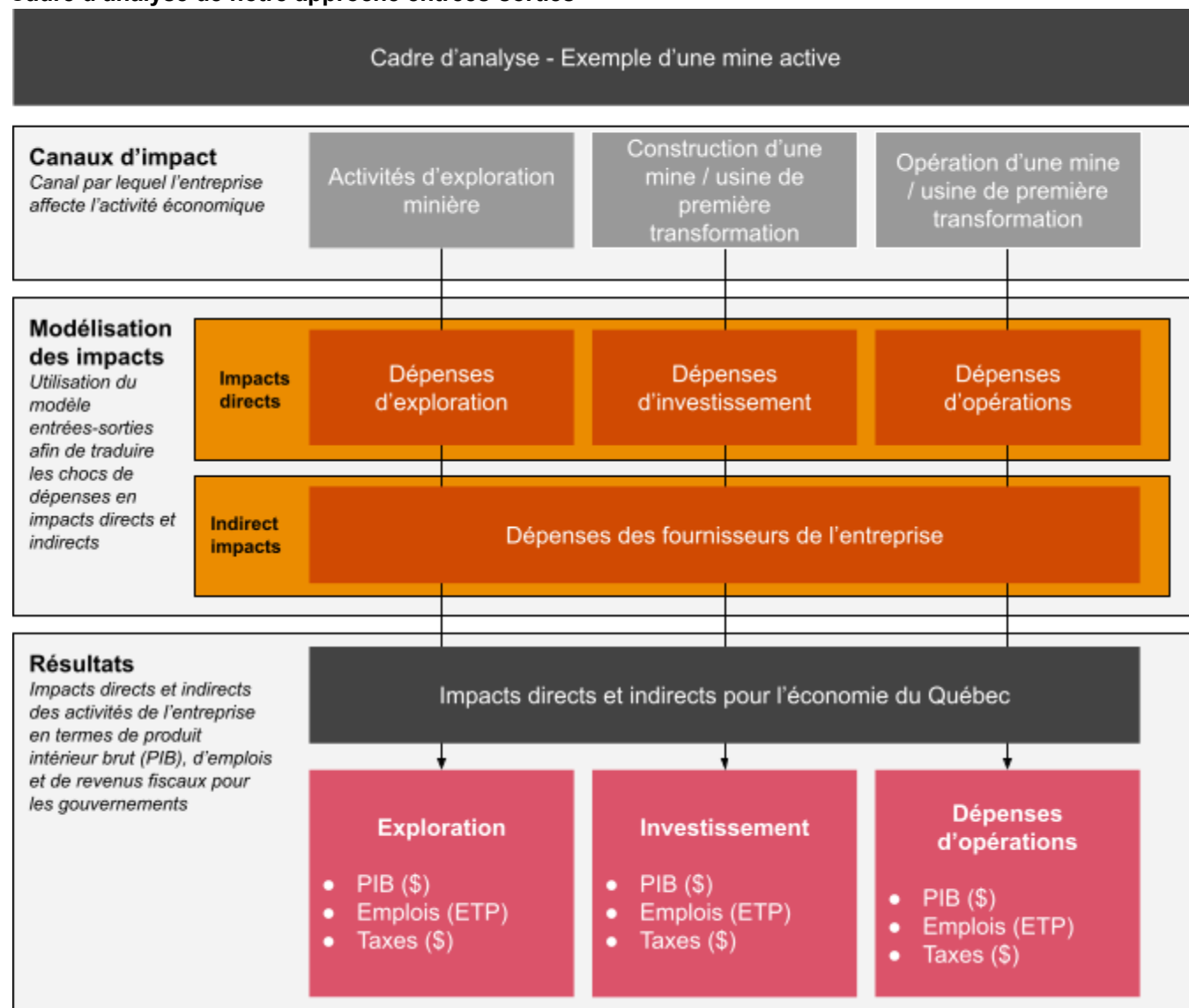
La philosophie fondamentale qui sous-tend l'analyse de l'impact économique est que la production des industries a des répercussions sur l'ensemble de l'économie. Par exemple, les dépenses d'exploitation d'une mine vont générer une demande additionnelle auprès de ses fournisseurs (p. ex. services de génie, services publics, matériaux et équipements) qui, à leur tour, génèrent une demande supplémentaire qui va au-delà de la production initiale. L'analyse entrées-sorties permet d'estimer cet effet en cascade.

Les impacts économiques sont estimés aux niveaux direct et indirect :

- Les impacts directs sont ceux qui résultent directement de la production de l'industrie en main-d'œuvre et en capital ainsi que des bénéfices bruts d'exploitation;
- Les impacts indirects découlent des activités des entreprises fournissant des intrants aux fournisseurs de l'entreprise (en d'autres termes, les fournisseurs de ses fournisseurs).

La figure suivante présente un sommaire de notre cadre d'analyse.

Cadre d'analyse de notre approche entrées-sorties



Le modèle entrées-sorties estime la relation entre l'activité économique pour un bien ou un service donné et les impacts qui en résultent sur l'ensemble de l'économie (y compris la demande d'autres biens et services et les recettes fiscales). Aux fins du présent rapport, nous avons utilisé le modèle intersectoriel du Québec (MISQ) en collaboration avec l'Institut de la statistique du Québec (ISQ).

Les impacts économiques ont été estimés pour les mesures suivantes de l'activité économique :

- **PIB (également appelé « valeur ajoutée »)** – La valeur ajoutée à l'économie ou la production évaluée aux prix de base moins la consommation intermédiaire¹¹⁴ évaluée aux prix d'achat. Le PIB n'inclut que les produits finaux pour éviter le double comptage des produits vendus pendant une certaine période comptable.
- **Emploi (ETP)** – Le nombre d'emplois créés ou soutenus.
- **Revenus gouvernementaux** – Les revenus perçus par les différents paliers de gouvernements.
 - **Gouvernement du Québec** – Inclut les impôts sur les salaires et traitements, la taxe de vente du Québec (TVQ) ainsi que les taxes spécifiques¹¹⁵. Nos retombées n'incluent pas les impôts corporatifs payés sur les profits des sociétés ainsi que les redevances minières qui sont fonction de la valeur de la production. De plus, nos retombées n'incluent pas les taxes à la consommation engendrées par les dépenses courantes des travailleurs dont l'emploi est supporté par les activités minières.
 - **Gouvernement fédéral** – Inclut les impôts sur les salaires et traitements, la taxe sur les produits et services (TPS), les droits de douanes ainsi que les taxes et droits d'accise¹¹⁶. Nos retombées n'incluent pas les impôts corporatifs payés sur les profits des sociétés.

¹¹⁴ Définie comme la valeur des biens et services utilisés ou transformés en intrants par un processus de production.

¹¹⁵ Les taxes spécifiques incluent la taxe environnementale, la taxe d'accise sur la quantité de gallons de spiritueux, les bénéfices commerciaux sur l'alcool et la loterie, la taxe sur l'essence et les carburants, la taxe sur les divertissements, les taxes sur le tabac ainsi que les autres taxes provinciales à la consommation (incluant la taxe sur l'hébergement et la taxe sur les primes d'assurance).

¹¹⁶ Les taxes et droits d'accise incluent la taxe fédérale sur les bénéfices commerciaux, la taxe fédérale sur l'essence et les carburants, la taxe d'accise fédérale, les droits d'accise fédéraux ainsi que la taxe fédérale sur le transport aérien.

Annexe C – Limites de notre approche

Limites du modèle entrées-sorties

Comme tout modèle économique, le modèle entrées-sorties utilisé pour réaliser cette étude représente une abstraction qui tente d'être suffisamment complexe pour estimer avec précision les impacts les plus importants d'une activité économique sur l'économie réelle tout en étant suffisamment simple pour être analytiquement intuitif. Ainsi, la présente analyse entrées-sorties suppose implicitement que les relations interindustrielles au Québec, en 2017, tel qu'il est démontré dans les tableaux ressources-emplois de Statistique Canada, constituent une représentation juste et réaliste des relations sous-jacentes dans l'économie au cours des périodes modélisées dans le rapport.

L'analyse entrées-sorties ne permet pas de déterminer si les intrants ont été utilisés de la manière la plus productive possible ou si l'utilisation de ces intrants dans cette industrie favorise la croissance économique de manière plus importante que leur utilisation dans une autre industrie ou activité économique. De plus, l'analyse entrées-sorties n'évalue pas si ces intrants pourraient être employés ailleurs dans l'économie s'ils n'étaient pas employés dans les industries en question au moment de l'analyse. L'analyse entrées-sorties calcule les impacts économiques directs et indirects que l'on peut raisonnablement prévoir sur la base des interactions historiques entre les industries au sein de l'économie. Cette analyse ne tient pas compte des changements fondamentaux dans les relations au sein de l'économie, qui ont pu se produire depuis l'estimation de Statistique Canada, ni des changements qui pourraient se produire à l'avenir.

Limites de notre approche

Les conclusions exprimées et les informations présentées dans ce rapport sont limitées par les éléments suivants :

- **Limites des données** : PwC s'est appuyé sur l'exhaustivité, l'exactitude et la présentation fidèle de toutes les informations et données obtenues auprès des entreprises consultées et des diverses sources de données, qui n'ont pas été auditées ou autrement vérifiées. Les conclusions de ce rapport sont conditionnelles à l'exhaustivité, à l'exactitude et à la présentation fidèle, qui n'ont pas été vérifiées de manière indépendante par PwC. En conséquence, nous ne fournissons aucune opinion, attestation ou autre forme d'assurance concernant les résultats de cette étude.
- **Limites de la collecte de données** : La question des impacts économiques des chaînes de valeur des MCS est une question multidimensionnelle comportant un haut niveau de complexité et d'incertitude. L'analyse nécessite l'agrégation de données de plusieurs projets pour plusieurs minéraux. Étant donné les temps impartis pour la réalisation de cette étude, une collecte de données exhaustive nous permettant de catégoriser les dépenses engagées ou prévues selon les postes de dépenses n'a pu être réalisée. Pour cette raison, à partir des dépenses totales pour chacune des étapes de développement des projets, nous avons utilisé des vecteurs moyens de dépenses pour distribuer les sommes aux industries sollicitées par le secteur. Si un projet avait une structure de dépenses significativement différente de la moyenne de l'industrie, il pourrait s'avérer que nos résultats soient différents de la réalité.
- **Limites de la portée des résultats** : Les retombées économiques présentées dans ce rapport se basent sur les projets pour lesquels nous disposons d'assez d'informations pour en estimer l'impact actuel et futur sur l'économie du Québec. L'impact réel des différentes chaînes de valeur des MCS sur l'économie québécoise risque d'être sous-estimé par le présent rapport, car ce dernier exclut certains projets de développement minier associés à des retombées économiques.
- **Limites des retombées économiques futures** : Les retombées économiques futures se basent sur les estimations de dépenses d'opérations et d'investissement, telles qu'elles ont été fournies par les entreprises via notre sondage ou des documents publics. Ces données sont basées sur le contexte économique actuel et plusieurs éléments risquent d'influencer ces montants comme, par exemple, les fluctuations du prix des matériaux et de l'énergie à venir. De plus, rien ne nous garantit que les investissements et les dépenses planifiées dans le futur se réaliseront dans l'horizon 2021-2025. PwC n'a pas audité la validité de ces données ni la probabilité que celles-ci soient réellement injectées dans l'économie au cours de l'horizon à l'étude.

Par conséquent, des écarts importants par rapport aux principales hypothèses énumérées ci-dessus pourraient entraîner une modification importante de notre analyse.

Annexe D – Collecte de données

Sondage

Nous avons distribué un sondage auprès d'entreprises actives dans les différentes chaînes de valeur des MCS au Québec. Ces compagnies sont celles incluses dans la cartographie des chaînes de valeur des MCS, que nous avons réalisée pour le Rapport 1. Le sondage contenait les six sections suivantes :

Section	Contenu de la section
1	Informations générales
2	Données financières
3	Clients
4	Partenaires et fournisseurs
5	Partenaires financiers
6	Politiques gouvernementales

Au total, notre collecte de données nous a permis de récolter les informations financières de 28 entreprises.

Étendue de l'analyse

Afin d'obtenir un portrait le plus complet possible de l'impact économique lié aux activités des entreprises associées aux MCS sur le territoire québécois, nous voulions inclure le plus d'entreprises possible. Pour ce faire, nous avons effectué une recherche secondaire auprès de sources publiques d'informations afin d'élargir la couverture de notre analyse.

Parmi les 28 entreprises qui ont répondu au sondage, nous avons effectué une recherche secondaire auprès de 8 entreprises afin de compléter certaines données manquantes dans les sondages reçus. De plus, nous avons réussi à collecter des informations secondaires auprès de 8 entreprises supplémentaires, ce qui porte le total des entreprises incluses dans notre analyse à 36.

Les deux tableaux ci-dessous présentent les entreprises incluses dans notre analyse en fonction du groupe de minéraux et de l'étape dans laquelle elles sont incluses. Les tableaux présentent également la méthode de collecte de données, c'est-à-dire si les données utilisées pour la modélisation des impacts économiques proviennent d'une source de données primaire (c.-à-d. le sondage) ou d'une source de données secondaire (p. ex. états financiers, rapports 43-101, documents destinés aux investisseurs).

Entreprises incluses dans notre analyse des retombées économiques actuelles

1 : Collecte de données **primaire** (c.-à-d. via notre sondage)

2 : Collecte de données **secondaire** (c.-à-d. nous avons récolté ou complété les données à l'aide de sources de données publiques)

Groupe de minéraux	Étape de la chaîne de valeur			
	Exploration	Construction	Exploitation minière	Première transformation
Groupe 1.A	<ul style="list-style-type: none"> Vision Lithium¹ Critical Elements Corporation¹ Nemaska Lithium^{1,2} Sayona Québec^{1,2} 	<ul style="list-style-type: none"> Nemaska Lithium^{1,2} 		
Groupe 1.B	<ul style="list-style-type: none"> Canada Carbon¹ Focus Graphite¹ Lomiko Metals¹ Mason Graphite¹ Nouveau Monde Graphite^{1,2} 		<ul style="list-style-type: none"> Imerys Graphite and Carbon² 	<ul style="list-style-type: none"> Imerys Graphite and Carbon²
Groupe 1.C	<ul style="list-style-type: none"> Doré Copper Mining¹ 	<ul style="list-style-type: none"> Glencore (Bracemac-McLeod)¹ Glencore (Raglan)¹ 	<ul style="list-style-type: none"> Canadian Royalties² Glencore (Bracemac-McLeod)¹ Glencore (Raglan)¹ 	<ul style="list-style-type: none"> Canadian Royalties² Glencore (Bracemac-McLeod)¹ Glencore (CEZinc)¹ Fonderie Home et CCR Glencore¹
Groupe 2	<ul style="list-style-type: none"> Imperial Mining Group¹ Niobay¹ BlackRock Metals¹ Vanadium One Iron Corp.¹ 	<ul style="list-style-type: none"> BlackRock Metals¹ Alliance Magnésium^{1,2} ECO2 Magnesia^{1,2} 	<ul style="list-style-type: none"> Niobec¹ Rio Tinto Fer et Titane^{1,2} 	<ul style="list-style-type: none"> Niobec¹ Rio Tinto Fer et Titane^{1,2} Kronos²
Groupe 3	<ul style="list-style-type: none"> Commerce Resources Corporation¹ Geomega¹ Torngat¹ 	<ul style="list-style-type: none"> Torngat¹ 		<ul style="list-style-type: none"> 5N Plus^{1,2}
Total	17	7	6	9

Entreprises incluses dans notre analyse des retombées économiques futures

1 : Collecte de données **primaire** (c.-à-d. via notre sondage)

2 : Collecte de données **secondaire** (c.-à-d. nous avons récolté ou complété les données à l'aide de sources de données publiques)

Étape de la chaîne de valeur

Groupe de minéraux	Exploration	Construction	Exploitation minière	Première transformation
Groupe 1.A	<ul style="list-style-type: none"> Vision Lithium¹ Critical Elements Corporation¹ Nemaska Lithium^{1,2} Sayona Québec^{1,2} 	<ul style="list-style-type: none"> Vision Lithium¹ Critical Elements Corporation¹ Galaxy Lithium² Nemaska Lithium^{1,2} Sayona Québec^{1,2} 	<ul style="list-style-type: none"> Critical Elements Corporation¹ Galaxy Lithium² Nemaska Lithium^{1,2} Sayona Québec^{1,2} 	<ul style="list-style-type: none"> Nemaska Lithium^{1,2} Sayona Québec^{1,2}
Groupe 1.B	<ul style="list-style-type: none"> Berkwood Resources² Focus Graphite¹ Lomiko Metals¹ 	<ul style="list-style-type: none"> Canada Carbon¹ Focus Graphite¹ Mason Graphite¹ Nouveau Monde Graphite^{1,2} 	<ul style="list-style-type: none"> Canada Carbon¹ Focus Graphite¹ Mason Graphite¹ Nouveau Monde Graphite^{1,2} 	<ul style="list-style-type: none"> Canada Carbon¹ Mason Graphite¹ Nouveau Monde Graphite^{1,2}
Groupe 1.C	<ul style="list-style-type: none"> Doré Copper Mining¹ 	<ul style="list-style-type: none"> Doré Copper Mining¹ Magneto Investments² Glencore (Raglan)¹ 	<ul style="list-style-type: none"> Doré Copper Mining¹ Magneto Investments² Canadian Royalties² Glencore (Raglan)¹ 	<ul style="list-style-type: none"> Canadian Royalties² Glencore (CEZinc)¹ Fonderie Horne et CCR Glencore¹
Groupe 2	<ul style="list-style-type: none"> Imperial Mining Group¹ Niobay¹ BlackRock Metals^{1,2} Vanadium One Iron Corp.¹ 	<ul style="list-style-type: none"> Imperial Mining Group¹ MagOne Mines² Niobay¹ BlackRock Metals^{1,2} Alliance Magnésium^{1,2} ECO2 Magnesia^{1,2} Splendor Titane^{1,2} 	<ul style="list-style-type: none"> Imperial Mining Group¹ BlackRock Metals^{1,2} Alliance Magnesium^{1,2} Niobec¹ Rio Tinto Fer et Titane^{1,2} 	<ul style="list-style-type: none"> MagOne² BlackRock Metals^{1,2} Alliance Magnesium^{1,2} Niobec¹ Rio Tinto Fer et Titane^{1,2} ECO2 Magnesia^{1,2} Kronos² Splendor Titane^{1,2}
Groupe 3	<ul style="list-style-type: none"> Geomega¹ 	<ul style="list-style-type: none"> Commerce Resources Corporation¹ Geomega¹ Torngat¹ 5N Plus^{1,2} 	<ul style="list-style-type: none"> Torngat¹ 	<ul style="list-style-type: none"> Geomega¹ Torngat¹ 5N Plus^{1,2}
Total	12	23	18	19

Annexe E : 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.