



L'impact du traitement des minéraux
critiques et stratégiques (MCS) sur la
formation minière au Québec :

LE CAS DES MINES DE LITHIUM ET DE GRAPHITE

Institut national
des mines

Québec



Conception, recherche et rédaction

Nicholas Thérout, conseiller à l'innovation et à la recherche
Institut national des mines

Collaboration à l'élaboration de la recherche

Laura Calugaru, Ph. D., chargée de projets
Centre technologique des résidus industriels (CTRI)

Stéphanie Somot, Ph. D., chargée de projets
Centre technologique des résidus industriels (CTRI)

Sophie-Anne Soumis, conseillère à l'innovation et à la recherche
Institut national des mines

Photographies

Mathieu Dupuis

Supervision

Christine Duchesneau, présidente-directrice générale
Institut national des mines

Diffusion

Équipe des communications
Institut national des mines

Révision linguistique

Gilles Bordage

Graphisme

Bon melon

**Le présent ouvrage a été produit
par l'Institut national des mines.**

Comment citer cet ouvrage:

Institut national des mines (2024). *L'impact du traitement des minéraux critiques et stratégiques (MCS) sur la formation minière au Québec: le cas des mines de lithium et de graphite. Phase 1 - Recension documentaire et sélection des programmes d'études et de formation à étudier prioritairement*. Études et rapports. Gouvernement du Québec. Rédigé par Nicholas Thérout, Val-d'Or, 70 p.

Pour toute demande de renseignement:

Institut national des mines
125, rue Self
Val-d'Or (Québec) J9P 3N2

Téléphone : 819 825-4667
info@inmq.gouv.qc.ca | inmq.gouv.qc.ca

ISBN 978-2-550-97779-7 (Imprimé)
ISBN 978-2-550-97780-3 (PDF)

Dépôt légal - Bibliothèque et Archives nationales du Québec
© Gouvernement du Québec, Institut national des mines (2024)



Avant-propos

Le plan stratégique 2023-2028 de l'Institut national des mines prévoit que, dans une période caractérisée par l'évolution constante du secteur minier, l'organisme doit veiller à soutenir l'actualisation de l'offre de formation de sorte que celle-ci demeure en adéquation avec la transformation continue de l'industrie. Pour ce faire, l'Institut doit cibler les besoins de formation actuels, mais également futurs, du secteur minier québécois. Dans un contexte qui est marqué à l'échelle mondiale par la volonté croissante des États industrialisés de sécuriser leurs approvisionnements en matière de minéraux critiques et stratégiques (MCS) et, à l'échelle nationale, par la volonté du gouvernement du Québec de valoriser ces mêmes minéraux présents sur son territoire, l'Institut entend s'assurer que la formation minière offerte au Québec peut être actualisée afin que celle-ci soit en phase avec les besoins du secteur minier du Québec, notamment en ce qui a trait au travail dans les mines de minéraux d'avenir.

Ce rapport n'aurait pu voir le jour sans la collaboration des entreprises de l'industrie minière actives dans les MCS ainsi que celle des établissements d'enseignement et des organismes de recherche et de formation du Québec ayant pris part au projet. L'Institut national des mines tient à les remercier pour leur contribution significative à la réalisation de ce document.

Tables des matières

AVANT-PROPOS.....	3
TABLES DES MATIÈRES.....	4
LISTE DES TABLEAUX.....	5
LISTE DES FIGURES.....	6
LEXIQUE ET ABRÉVIATIONS	7
RÉSUMÉ.....	8
INTRODUCTION ET MISE EN CONTEXTE	9
OBJECTIFS DU PROJET	9
STRUCTURE DU DOCUMENT.....	10
CHAPITRE 1 : RECENSION DES ÉCRITS	11
1.1 QU'EST-CE QUE LES MINÉRAUX CRITIQUES ET STRATÉGIQUES ET POURQUOI SONT-ILS IMPORTANTS?	11
1.2 LITHIUM, NICKEL, COBALT ET GRAPHITE : DES MINÉRAUX STRATÉGIQUES POUR LE DÉVELOPPEMENT DE LA FILIÈRE BATTERIE QUÉBÉCOISE.....	13
1.3 LES MINÉRAUX STRATÉGIQUES À L'ÉTUDE DANS CETTE PROGRAMMATION DE RECHERCHE.....	14
1.4 LE TRAITEMENT DU MINÉRAI : UNE ÉTAPE STRATÉGIQUE DU CYCLE MINIER AU REGARD DU DÉVELOPPEMENT DES MCS.....	16
1.5 LES COMPÉTENCES REQUISES POUR TRAVAILLER DANS LES USINES DE TRAITEMENT DU MINÉRAI DE MINES DE LITHIUM ET DE GRAPHITE	19
CHAPITRE 2 : MÉTHODOLOGIE.....	21
2.1 MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE	21
2.2 MÉTHODOLOGIE DE SÉLECTION DES PROGRAMMES D'ÉTUDES ET DE FORMATION À ÉTUDIER PRIORITAIREMENT	25
CHAPITRE 3 : RÉSULTATS DES ENQUÊTES.....	26
3.1 ENQUÊTE MENÉE AUPRÈS DES ENTREPRISES MINIÈRES DU QUÉBEC CONCERNÉES PAR LE TRAITEMENT DES MINÉRAIS DE LITHIUM ET DE GRAPHITE EN CE QUI A TRAIT AUX BESOINS DE COMPÉTENCES ET DE FORMATION.....	26
3.2 ENQUÊTE MENÉE AUPRÈS DES ÉTABLISSEMENTS D'ENSEIGNEMENT ET DES ORGANISMES DE RECHERCHE DU QUÉBEC CONCERNÉS PAR LA FORMATION MINIÈRE EN MATIÈRE DE TRAITEMENT DU MINÉRAI.....	46
CHAPITRE 4 : SÉLECTION DES PROGRAMMES D'ÉTUDES ET DE FORMATION À ÉTUDIER PRIORITAIREMENT	59
CONCLUSION	63
ANNEXES	65
RÉFÉRENCES	69

Liste des tableaux

Tableau 1 – Nombre de mines et de projets miniers de minéraux stratégiques pour le développement de la filière batterie au Québec en juin 2023	14
Tableau 2 – Étapes du processus de recherche	21
Tableau 3 – Échantillon de la collecte 2	24
Tableau 4 – Étapes du procédé effectuées à l'usine de traitement du minerai située sur le complexe minier en fonction du minerai traité	28
Tableau 5 – Tâches transformées pour les métiers dont la qualification le plus couramment demandée est un diplôme d'études professionnelles (DEP) en fonction du minerai traité	32
Tableau 6 – Tâches transformées pour les professions dont la qualification le plus couramment demandée est un diplôme d'études collégiales (DEC) en fonction du minerai traité	35
Tableau 7 – Tâches transformées pour les professions dont la qualification le plus couramment demandée est un baccalauréat en fonction du minerai traité	37
Tableau 8 – Programmes d'études ou de formation à actualiser en priorité	43
Tableau 9 – Programmes de formation ou d'études à créer en priorité	44
Tableau 10 – Programme d'études ou de formation offert au Québec et qui serait à prioriser en vue d'un processus d'actualisation visant à répondre aux besoins des mines de lithium et/ou de graphite en matière de traitement du minerai	48
Tableau 11 – Priorisation des établissements d'enseignement comparativement à celle des mines et des projets miniers relativement à l'actualisation des programmes (établissements d'enseignement) et des compétences (mines et projets miniers)	50
Tableau 12 – Compétences devant faire l'objet d'une attention particulière en cas d'actualisation ou de création de programme(s) en vue de répondre aux besoins de formation des usines de traitement de minerai des mines de lithium et de graphite	51
Tableau 13 – Présentation des échelles et description du pointage alloué pour chaque critère d'évaluation	60
Tableau 14 – Pointage obtenu par chacun des programmes d'études ou de formation selon les critères d'évaluations établis	61

Liste des figures

Figure 1 – Principaux composants d’une batterie lithium-ion.....	12
Figure 2 - Poste occupé par les personnes répondantes de la collecte 2	25
Figure 3 – Pourcentage des mines et des projets de lithium ou de graphite valorisant (ou entendant valoriser) un autre minéral que le lithium ou le graphite	27
Figure 4 – Point de vue des mines et projets miniers de lithium et de graphite quant à l’importance des besoins d’acquisition de compétences de la main-d’œuvre de l’usine de traitement du minéral.....	29
Figure 5 – Métier pour lequel les besoins d’actualiser des compétences de la main-d’œuvre sont les plus importants	30
Figure 6 – Profession technique pour laquelle les besoins d’actualisation des compétences de la main-d’œuvre sont les plus importants.....	34
Figure 7 – Profession universitaire pour laquelle les besoins d’actualisation des compétences de la main-d’œuvre sont les plus importants	36
Figure 8 – Poste de l’usine de traitement du minéral pour lequel les besoins d’actualisation des compétences de la main-d’œuvre sont les plus importants.	38
Figure 9 – Priorité accordée à l’actualisation des compétences selon la catégorie de postes.....	39
Figure 10 – Priorité accordée à l’actualisation des compétences selon le secteur de l’usine de traitement du minéral	40
Figure 11 – Bénéfice attendu de l’actualisation ou de la création de nouveaux programmes d’études ou de formation	41
Figure 12 – Programmes d’études ou de formation pouvant potentiellement être concernés par les enjeux associés au traitement du graphite et du lithium.....	47
Figure 13 – Compétences les plus mentionnées par les établissements d’enseignement et les organismes de formation et de recherche.....	52
Figure 14 – Principaux défis à relever par les établissements d’enseignement pour offrir de la formation aux personnes travaillant ou se destinant à travailler dans les usines de traitement de lithium ou de graphite	54
Figure 15 – Position des établissements d’enseignement quant à la nécessité pour les personnes apprenantes d’effectuer une partie de leur programme en entreprise afin d’acquérir les compétences recherchées	55
Figure 16 – Intérêt et disponibilité des établissements d’enseignement et des organismes pour la participation à un processus d’actualisation et/ou de création de programmes	57

Lexique et abréviations

Lexique

Métallurgie

Dans le cadre de ce projet, le terme « métallurgie » fera référence à l'ensemble du processus de transformation de la matière minérale et des métaux, ce qui inclut :

- la minéralurgie, soit l'« ensemble des techniques de traitement de matières minérales brutes ayant pour objet d'obtenir par voie physique, chimique ou thermique, des produits directement utilisables par l'industrie ou transformables » (Office québécois de la langue française, 2024b);
- la métallurgie, soit « les différentes opérations qui ont pour objet : a) l'extraction des métaux à partir des minerais, b) l'affinage des métaux bruts ainsi obtenus pour en éliminer les impuretés nuisibles, c) l'élaboration d'alliages, par fusion de différents métaux pour obtenir des propriétés particulières, d) les traitements chimiques, thermiques, mécaniques de ces métaux ou alliages » (Office québécois de la langue française, 2024a).

Mine active

Site minier dont la production a atteint au moins 60 % de sa capacité nominale (capacité inscrite dans la dernière étude technico-économique) (Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, 2020b).

Minéraux critiques

Le gouvernement du Québec considère les minéraux critiques comme ceux qui revêtent aujourd'hui une importance économique pour des secteurs clés de notre économie, qui présentent un risque élevé en matière d'approvisionnement et qui n'ont pas de substituts offerts commercialement. Il s'agit par exemple du cuivre, de l'étain ou du zinc (Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, 2020a).

Minéraux stratégiques

Le gouvernement du Québec considère les minéraux stratégiques comme les substances minérales nécessaires à la mise en œuvre de différentes politiques du Québec. Il s'agit par exemple du lithium, du graphite, du cobalt ou du nickel (Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, 2020a).

Projet minier

Projet visant la mise en production d'une mine qui en est à l'étape de la mise en valeur du projet ou à l'étape de la construction et du rodage (Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, 2020b).

Abréviations

BAC : Baccalauréat

CSMO Mines : Comité sectoriel de main-d'œuvre de l'industrie des mines

DEC : Diplôme d'études collégiales

DEP : Diplôme d'études professionnelles

MCS : Minéraux critiques et stratégiques

PQVMCS : Plan québécois pour la valorisation des minéraux critiques et stratégiques

Résumé

En 2020, le gouvernement du Québec adoptait le Plan québécois pour la valorisation des minéraux critiques et stratégiques (PQVMCS). À travers ce plan, le gouvernement porte l'ambition que le Québec devienne un chef de file en matière de production, de transformation et de recyclage des minéraux critiques et stratégiques (MCS). L'Institut national des mines, qui examine en continu les tendances en formation minière, a conclu qu'il devenait essentiel d'évaluer l'incidence de l'augmentation du nombre de mines exploitant des MCS sur les compétences requises par la main-d'œuvre travaillant dans le secteur minier au Québec.

Dans le cadre de ce rapport, l'Institut a mené une recension des écrits, sondé des mines qui exploitent ou exploiteront des MCS et questionné des établissements d'enseignement ainsi que des organisations de recherche, et ce, dans l'objectif d'apporter des réponses à deux questions fondamentales élaborées en lien avec la nouvelle réalité qui se dessine :

- ≥ Quels sont les besoins de formation pour la main-d'œuvre travaillant dans les usines de traitement du minerai des mines de lithium et de graphite au Québec?
- ≥ Quels programmes d'études ou de formation pourraient être influencés par l'accroissement des activités minières associées au traitement des MCS?

L'analyse des enquêtes réalisées auprès des organisations répondantes tend à indiquer qu'une vision commune se dégage quant aux enjeux et aux priorités en matière d'actualisation de l'offre de formation en lien avec les compétences requises par la main-d'œuvre travaillant dans les usines de traitement des MCS. En effet, les compétences relativement au procédé de flottation ainsi qu'en matière d'automatisation et de numérisation ressortent tout particulièrement des enquêtes menées auprès des parties prenantes consultées. La prise en compte de ces informations a permis à l'Institut, grâce à l'utilisation d'une grille d'évaluation, de déterminer les trois programmes d'études ou de formation qu'il s'avère pertinent d'étudier prioritairement afin de s'assurer que la formation minière québécoise demeure à jour malgré les évolutions du secteur minier. Ces trois programmes sont les suivants :

- ^ Conduite de machines de traitement du minerai (DEP)
- ^ Technologie minérale – Spécialisation Minéralurgie (DEC)
- ^ Génie des mines et de la minéralurgie (BAC)

Introduction et mise en contexte

En 2020, le gouvernement du Québec adoptait le Plan québécois pour la valorisation des minéraux critiques et stratégiques (PQVMCS), un plan en vigueur pour la période 2020-2025. Par l'adoption de ce plan, le gouvernement démontrait sa volonté de faire en sorte que le Québec devienne un chef de file en matière de production, de transformation et de recyclage des minéraux critiques et stratégiques (MCS). Il est notamment prévu que les objectifs du PQVMCS pourront, entre autres, être atteints en « misant sur la formation et la création d'emplois de qualité » (Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, 2020a). Cette volonté gouvernementale consistant à améliorer la formation de la main-d'œuvre afin que celle-ci contribue pleinement au succès de ce projet d'envergure est d'ailleurs inscrite au cœur des principes directeurs du PQVMCS.

C'est dans ce contexte que la veille informationnelle réalisée par l'Institut national des mines, qui vise à surveiller et à analyser en continu les grandes tendances du secteur minier susceptibles d'avoir un impact sur l'évolution de la formation minière, a permis de mettre en lumière la proportion croissante de référence aux MCS dans la documentation produite par les acteurs institutionnels, universitaires et privés ainsi que dans les différents médias sectoriels (minier), nationaux ou internationaux.

Dans ces circonstances, il devient stratégique pour l'Institut national des mines, dont la mission consiste à conseiller le gouvernement dans l'exercice de sa responsabilité en matière d'éducation dans le secteur minier, de se pencher sur l'impact de cet accroissement de la production, de la transformation et du recyclage des MCS sur l'offre de formation minière québécoise. C'est dans cette optique que l'Institut lance, par la réalisation de ce rapport qui en constitue le premier jalon, une nouvelle programmation de recherche pluriannuelle visant à mieux définir les impacts liés au traitement de ces minéraux sur la formation minière offerte au Québec, et ce, dans le but de proposer des actions concrètes à mettre en œuvre pour actualiser les programmes d'études et de formation à la lueur de cette nouvelle réalité.

Objectifs du projet

Ce document représente la première phase de la programmation de recherche et en constituera donc l'assise autant documentaire que méthodologique. Dans le cadre de ce rapport, l'Institut cherchera tout d'abord à mieux définir les impacts associés au traitement de certains MCS sur les compétences requises par la main-d'œuvre des usines de traitement du minerai des complexes miniers du Québec. De plus, grâce aux informations recueillies en ce qui a trait aux compétences nécessaires en la matière, l'Institut cherchera à dresser une liste restreinte de programmes d'études et de formation (un maximum de deux à trois programmes sera considéré) offerts dans les établissements publics d'enseignement du Québec dont il pourrait s'avérer stratégique d'actualiser le contenu afin de s'assurer que la main-d'œuvre possède les acquis et les compétences suffisantes pour travailler optimalement dans les mines exploitant des MCS.

Structure du document

Ce rapport est structuré autour de quatre chapitres principaux. D'abord, le premier chapitre est l'occasion de recenser les écrits et la documentation portant sur la question afin de mieux cerner la problématique à traiter et ainsi d'établir les premiers constats à partir desquels se développera la programmation de recherche. Par la suite, le deuxième chapitre décrit la méthodologie utilisée pour réaliser le présent rapport. Ensuite, le troisième chapitre présente les résultats des enquêtes menées auprès des parties prenantes concernées et l'information ainsi collectée. Finalement, le quatrième et dernier chapitre permet de classer les programmes d'études et de formation afin de sélectionner ceux qu'il apparaît nécessaire d'étudier prioritairement au regard de l'actualisation de l'offre de formation pour relever le défi associé à la qualification de la main-d'œuvre des usines de traitement du minerai des mines du Québec.



Un opérateur de machines de traitement du minerai s'assure que le circuit de procédé produit un concentré de lithium d'une teneur optimale.

Photographie : Mathieu Dupuis/Sayona

Chapitre 1 : Recension des écrits

1.1 Qu'est-ce que les minéraux critiques et stratégiques et pourquoi sont-ils importants?

Les minéraux critiques et stratégiques (MCS) correspondent à un ensemble de minéraux qui ont été identifiés par un comité d'experts du gouvernement du Québec comme étant critiques, c'est-à-dire qu'ils « revêtent aujourd'hui une importance économique pour des secteurs clés de notre économie, [qu'ils] présentent un risque élevé en matière d'approvisionnement et [qu'ils] n'ont pas de substituts offerts commercialement », ou comme étant stratégiques, c'est-à-dire qu'ils s'avèrent « nécessaires à la mise en œuvre de différentes politiques du Québec » (Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, 2020a). Le PQVMCS identifie plus particulièrement six minéraux stratégiques qui sont « liés aux politiques publiques et aux énergies renouvelables », soit le cobalt, les éléments des terres rares, les éléments du groupe platine, le graphite, le lithium et le nickel (Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, 2020a). La majorité de ces minéraux stratégiques sont en fait incontournables pour la réussite de l'une des initiatives gouvernementales qui est actuellement priorisée en matière de développement économique au Québec, c'est-à-dire la Stratégie québécoise de développement de la filière batterie. Par l'entremise de cette stratégie, le gouvernement du Québec a pour ambition que soit produite au Québec « la batterie la plus propre en Amérique du Nord » (Ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie, 2020). Pour réaliser cette ambition, la Stratégie repose sur trois volets :

1. Exploiter et transformer les minéraux du territoire québécois pour fabriquer des composants de batterie;
2. Produire des véhicules commerciaux électriques;
3. Développer le recyclage des batteries grâce aux technologies québécoises d'avant-garde (Ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie, 2020).

La Stratégie met en avant le fait que le premier volet, qui mise sur l'exploitation et la transformation des minéraux nécessaires à la fabrication de batteries, repose avant tout sur l'exploitation et la transformation de quatre minéraux qui constituent les minéraux essentiels à la production d'une batterie lithium-ion, soit le lithium, le nickel, le cobalt et le graphite (Ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie, 2020).

Figure 1 – Principaux composants d’une batterie lithium-ion

Principaux composants d’une batterie

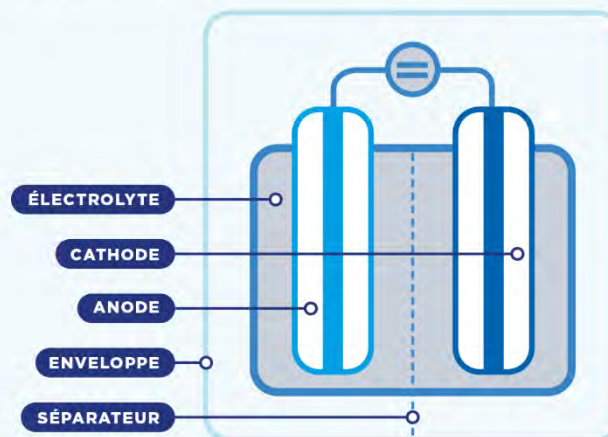
Cathode : le principal composant d’une batterie; représente 35 % de sa valeur.

› Nickel, lithium et cobalt

Anode : un autre composant important; représente 14 % de la valeur d’une batterie.

› Graphite et, prochainement, silicium

Autres composants d’une batterie : **électrolyte, séparateur, enveloppe.**



Source : Stratégie québécoise de développement de la filière batterie (Ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie, 2020)

1.2 Lithium, nickel, cobalt et graphite : des minéraux stratégiques pour le développement de la filière batterie québécoise

Comme cela a été souligné précédemment, parmi tous les minéraux classés comme étant critiques et stratégiques par le gouvernement du Québec, quatre ont été plus particulièrement identifiés comme étant d'une grande importance pour le développement de la filière batterie au Québec. Il s'agit tout d'abord du lithium, un minerai métallique que l'on trouve au Québec principalement en Abitibi-Témiscamingue et dans le Nord-du-Québec (Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, 2023b). La seule mine de lithium en exploitation au Québec est actuellement en phase de réouverture et il s'agit de la mine Lithium Amérique du Nord située en Abitibi-Témiscamingue. Le lithium, en tant que métal léger et réactif, constitue un élément central pour la fabrication de la cathode, c'est-à-dire l'une des deux composantes centrales d'une batterie avec l'anode (Jébrak et Hocquard, 2021).

Le graphite, qui est quant à lui un minerai non métallique, est principalement présent au Québec dans la province géologique de Grenville, c'est-à-dire une partie du Bouclier canadien s'étendant tout au long de la rive nord du fleuve Saint-Laurent (Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, 2023a). D'ailleurs, la seule mine de graphite en production au Québec est située dans la région administrative des Laurentides, au cœur de la province géologique de Grenville. Il s'agit de la mine de Lac-des-Îles. Le graphite, qui est un minerai ayant une grande conductivité électrique et une excellente résistance à la chaleur, est, par conséquent, une substance idéale pour fabriquer l'anode, qui, avec la cathode, est l'autre composante centrale d'une batterie rechargeable (Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, 2023a).

En ce qui concerne le nickel, il s'agit d'un minerai métallique dont la présence est importante dans le sous-sol québécois. D'ailleurs, deux mines actives exploitent à l'heure actuelle du nickel au Québec, soit les mines Nunavik Nickel et Raglan, situées à proximité l'une de l'autre, au Nunavik, dans la région administrative du Nord-du-Québec. À l'image du lithium, le nickel entre dans la composition de la cathode et, en raison de ses propriétés, contribue à améliorer l'autonomie des batteries (Glencore, 2023c).

Finalement, le cobalt est un minerai métallique dont la présence est répertoriée aux quatre coins du Québec, mais avec une concentration marquée dans la province géologique de Grenville et dans la fosse du Labrador (SIDEX, 2018). Ce minerai, qui est entre autres doté d'une importante résistance thermique, est notamment utilisé pour contrôler la température des batteries et augmenter leur capacité de stockage, et ce, par son utilisation dans la fabrication des cathodes (Glencore, 2023b).

Au Québec, en date de juin 2023, quatre mines actives (ou en réouverture) de lithium, de graphite et de nickel étaient donc en opération sur le territoire, tandis qu'aucune mine exploitant principalement le cobalt n'était en activité. En ce qui a trait aux projets miniers, de nombreux projets de lithium et de graphite étaient à un stade avancé de développement, tandis qu'un seul projet minier de nickel pouvait être répertorié et qu'aucun projet minier visant principalement

l'exploitation de cobalt n'était à signaler. En effet, bien que du cobalt soit exploité au Québec, toute la production actuelle de ce minerai est un produit secondaire de l'exploitation du nickel. Le **tableau 1** présente le nombre de mines et de projets miniers en fonction du minerai stratégique exploité.

Tableau 1 – Nombre de mines et de projets miniers de minéraux stratégiques pour le développement de la filière batterie au Québec en juin 2023

	Mines actives (ou en réouverture) au Québec	Projets miniers au Québec	Total
Lithium	1	6	7
Graphite	1	5	6
Nickel	2	1	3
Cobalt	0	0	0

(Source : Cartes minières (Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, 2023c; 2023d)

L'examen du **tableau 1** permet de constater qu'à court et moyen terme, en ce qui a trait aux minéraux stratégiques nécessaires au développement de la filière batterie, les nouvelles mines qui démarreront leur production seront principalement des mines actives dans l'exploitation et le traitement du lithium et du graphite.

1.3 Les minéraux stratégiques à l'étude dans cette programmation de recherche

Comme cela a été mentionné précédemment, ce rapport vise à jeter les bases d'une programmation de recherche dont l'objectif est notamment de mieux définir les impacts associés au traitement de certains MCS sur les compétences requises par la main-d'œuvre des usines de traitement du minerai. Par conséquent, il convient de circonscrire le champ de recherche aux minéraux qui étaient jusqu'à récemment peu mis en valeur au Québec et pour lesquels la hausse d'intérêt à leur égard, qui se traduit concrètement par le nombre de nouveaux projets miniers atteignant des stades avancés de développement, risque de nécessiter le développement de nouvelles compétences de la main-d'œuvre minière.

Ainsi, dans le cadre de cette programmation de recherche, les besoins de formation et d'acquisition de compétences des mines et projets miniers de lithium et de graphite en date de 2023 seront privilégiés. En effet, alors qu'une seule mine de graphite a été en activité au Québec au cours des dernières années, aucune mine de lithium n'a été active de manière continue sur le territoire québécois jusqu'à tout récemment. Or, malgré cette expérience relativement restreinte en ce qui a trait à l'exploitation et au traitement de ces minéraux, 11 projets miniers de lithium et de graphite sont susceptibles de devenir des mines actives au cours des prochaines années et une mine de lithium était en 2023 en processus de réouverture. **Un tel état de fait laisse entrevoir une demande qui pourrait s'avérer importante, à court et moyen terme, pour doter les personnes diplômées de la formation minière québécoise de nouvelles compétences qui n'étaient pas nécessairement**

transmises auparavant dans un contexte où ces deux minéraux stratégiques (lithium et graphite) étaient très peu mis en valeur au Québec.

En ce qui concerne le nickel, le Québec compte d'ores et déjà deux mines en fonction depuis plusieurs années qui exercent leurs activités au sein d'une filière intégrée au niveau canadien et qui détiennent une vaste expérience dans le traitement et la transformation de ce minerai. À titre d'exemple, la mine Raglan extrait et traite le minerai de nickel au Nunavik (Québec), puis achemine par la suite celui-ci à Sudbury (Ontario) où une fonderie permet de réaliser le processus subséquent de transformation (Glencore, 2023a). En plus de l'existence d'une filière déjà bien implantée en matière de traitement de ce minerai, il semble également important de considérer qu'un seul projet minier est susceptible d'aboutir à la mise en production d'une nouvelle mine active de nickel au Québec au cours des prochaines années, ce qui laisse entrevoir que les nouveaux besoins de formation et de compétences en matière de traitement du minerai de nickel seront relativement limités à court et moyen terme. Pour toutes ces raisons, ce minerai ne sera pas pris en compte dans le cadre de cette programmation de recherche.

En ce qui a trait au cobalt, l'absence de mine en activité ou de projet minier destiné principalement à l'exploitation de ce minerai met en lumière le nombre limité de nouveaux besoins de formation et de compétences qui risquent d'émerger à court et moyen terme au Québec. Par conséquent, ce minerai ne sera pas pris en compte dans le cadre de cette programmation de recherche.

1.4 Le traitement du minerai : une étape stratégique du cycle minier au regard du développement des MCS

Comme cela a été mentionné précédemment, la programmation de recherche sur l'impact du traitement des minéraux critiques et stratégiques (MCS) sur la formation minière au Québec portera sur deux minéraux stratégiques en particulier, soit le lithium et le graphite. Cependant, il s'avère également nécessaire de préciser quelle étape du cycle minier fera l'objet des travaux de recherche de ce projet, car toutes les étapes du cycle ne verront pas nécessairement leurs besoins de formation affectés pareillement. L'exploitation d'une mine peut en effet être divisée en quatre grandes étapes au sein de chacune desquelles plusieurs opérations sont réalisées :

1. « L'exploration et la faisabilité
 - i. Exploration
 - ii. Réalisation d'analyses de faisabilité
2. L'aménagement et la construction
 - i. Aménagement
 - ii. Construction de la mine et des installations de traitement du minerai
3. L'exploitation minière
 - i. Extraction du minerai
 - ii. Traitement du minerai
4. La fermeture et la restauration
 - i. Réhabilitation du site minier
 - ii. Suivi environnemental » (CSMO Mines, 2023).

La documentation disponible au sujet de l'impact des MCS sur la formation minière tend à indiquer que ce sont les travailleuses et les travailleurs exerçant un emploi à l'étape du cycle minier de l'exploitation minière qui devront le plus actualiser leurs compétences pour travailler avec ces minéraux stratégiques plutôt qu'avec des minéraux porteurs de métaux usuels, précieux ou de minerai de fer historiquement mis en valeur au Québec. En effet, selon une étude récemment menée en Australie auprès d'expertes et d'experts en matière de MCS ainsi que d'acteurs actifs dans le secteur minier, l'étape de l'exploitation minière, et plus spécifiquement les opérations de traitement du minerai¹, représente la phase du cycle minier où les besoins de formation et de rehaussement des compétences seront les plus importants pour le développement de la filière minière des MCS. L'auteure de l'étude mentionne à ce sujet que :

¹ Selon Ressources naturelles Canada, « l'étape de traitement du minerai sert à éliminer le plus de stériles possibles et comporte deux principales phases : la comminution (par exemple le concassage et le broyage) et la séparation » (Ressources naturelles Canada, 2022, p. 42).

*« bien que l’Australie dispose d’une main-d’œuvre qualifiée qui peut actuellement répondre aux besoins de son industrie conventionnelle d’extraction et de transformation, le savoir-faire technique et les aptitudes requises pour réaliser un traitement de grande pureté [des MCS] en sont à leurs débuts »
(Ratcliffe, 2022, p. 31, notre traduction).*

Selon cette étude réalisée en Australie, le traitement des minéraux critiques et stratégiques correspond donc à la phase prioritaire du cycle minier à prendre en considération en ce qui concerne l’actualisation des compétences de la main-d’œuvre. Cette vision s’inscrit en cohérence avec la conception plus globale qui émerge du secteur minier australien selon laquelle le traitement du minerai représente la phase du cycle minier où le plus d’énergie doit être consentie pour faire en sorte que la filière des MCS poursuive son développement de manière optimale. En effet, lorsqu’ils sont questionnés en ce qui a trait à l’étape de la chaîne de valeur où le développement technologique devrait être priorisé afin que s’accroisse l’approvisionnement en MCS, les acteurs du secteur minier australien mentionnent que le traitement du minerai, davantage que toute autre phase du cycle minier, devrait en bénéficier prioritairement (Ratcliffe, 2022). Dans un rapport portant sur les minéraux critiques et stratégiques, l’organisme gouvernemental Geoscience Australia arrive au même constat. Le rapport de cet organisme postule en effet que, malgré « l’expertise de pointe de l’Australie en matière [...] de traitement », certaines « barrières » freinent le pays (qui est pourtant mondialement reconnu comme ayant un secteur minier à l’avant-garde technologiquement) dans l’atteinte de son plein potentiel en tant que producteur de MCS (Mudd et al., 2018). Parmi les principales barrières évoquées figure notamment la connaissance insuffisante du secteur minier en ce qui a trait au comportement des MCS durant leur traitement en raison de la faible quantité de retours d’expérience de la part de l’industrie en la matière. Pour remédier à cette « barrière », le rapport recommande « d’améliorer la compréhension du comportement métallurgique des minéraux critiques² pendant leur traitement » (Mudd et al., 2018, p. 23, notre traduction). Cette conception de la situation est confirmée par le gouvernement australien qui affirme, dans sa *Critical Minerals Strategy*, que les opérations d’extraction et de traitement des MCS sont complexes et qu’elles nécessitent par conséquent une main-d’œuvre « hautement qualifiée dans une multitude de domaines » touchant au secteur minier, un constat qui s’avère d’ailleurs de plus en plus véridique au fur et à mesure que l’on avance dans le « processus de transformation du minerai » (Australian Government - Department of Industry, Science and Resources, 2023, p. 44-46, notre traduction).

Cette vision, selon laquelle le traitement du minerai constitue un élément clé du cycle minier sur lequel le secteur minier doit se concentrer pour consolider le développement de la filière des MCS, et ce, entre autres en ce qui concerne les compétences et la qualification de la main-d’œuvre, semble en vigueur dans plusieurs autres pays. Par exemple, aux États-Unis, l’Institut Resnick, spécialisé en matière de développement durable, avertissait dès 2011 de l’urgence de s’occuper

² Il est à noter qu’à l’échelle internationale, les concepts de « minéraux critiques » et de « minéraux stratégiques » en vigueur au Québec sont généralement regroupés sous une seule et même appellation, soit celle de « minéraux critiques ».

des besoins importants en matière de formation d'une main-d'œuvre apte à travailler au traitement des minéraux critiques et stratégiques (Fromer et al., 2011). Les chercheurs de cet institut mentionnaient déjà à l'époque que, relativement aux minéraux critiques et stratégiques, « les États-Unis ont une carence en matière de main-d'œuvre ainsi qu'une pénurie de scientifiques et d'ingénieurs formés et actifs dans le domaine de l'exploitation minière, du raffinage et du traitement du minerai », une situation qui est amplifiée par le fait qu'en ce qui concerne ces minéraux d'avenir, « chaque gisement est différent et nécessite le recours à des procédés uniques » (Fromer et al., 2011, p. 36-37, notre traduction). Ce constat est toujours pertinent en 2023 à l'heure où les efforts pour extraire et transformer les minéraux critiques et stratégiques s'accroissent aux États-Unis. D'ailleurs, toujours aux États-Unis, Agrawal et Sharma faisaient en 2021 des constats similaires à ceux formulés dix ans auparavant par les chercheurs de l'Institut Resnick en soulignant qu'au début de la décennie 2020, il demeure toujours « nécessaire de développer une main-d'œuvre qualifiée pour générer et maintenir des chaînes d'approvisionnement durables de minéraux critiques et stratégiques » (Agrawal et Sharma, 2021). Cette vision est partagée par le département de l'Énergie des États-Unis, celui-ci ayant indiqué dans sa stratégie en matière de valorisation des MCS, intitulée *Critical Minerals and Materials : U.S. Department of Energy's Strategy to Support Domestic Critical Mineral and Material Supply Chains*, que « développer la main-d'œuvre américaine [du secteur] des minéraux critiques » constituera l'une des six priorités pour la mise en œuvre de la vision stratégique américaine à l'égard des MCS (United States Department of Energy, 2021, p. 2, notre traduction).

Au Canada, le gouvernement fédéral semble lui aussi en arriver à des constats similaires à ceux mis de l'avant en Australie et aux États-Unis. Dans la Stratégie canadienne sur les minéraux critiques lancée en 2022, le gouvernement canadien note que, malgré le fait que le pays puisse compter sur « une longue tradition [...] de traitement du cuivre, du zinc et du nickel », en ce qui a trait à « de nombreux minéraux critiques comme le lithium, le Canada n'a pas de production nationale affinée » (Ressources naturelles Canada, 2022, p. 42-43). Pour cette raison, la Stratégie canadienne sur les minéraux critiques entend axer son financement en matière d'innovation sur les technologies de traitement du minerai et les technologies de raffinage (Ressources naturelles Canada, 2022). Toutefois, pour que la main-d'œuvre minière soit à même d'acquérir les compétences requises pour travailler optimalement avec ces nouvelles technologies de traitement et de raffinage qui seront développées pour favoriser la production de MCS au pays, le gouvernement du Canada mentionne que « de nouveaux investissements fédéraux visant à s'assurer que les Canadiens et les Canadiennes possèdent les compétences dont ils ont besoin pour tirer parti des possibilités liées aux minéraux critiques » seront réalisés (Ressources naturelles Canada, 2022, p. 33). Ces investissements gouvernementaux visent le financement de divers programmes dont l'objectif commun consiste à ce que soit mis en place à l'échelle du pays des projets « en matière de compétences et de formation pour aider les institutions et les employeurs à former les gens et à perfectionner leurs compétences pour soutenir la croissance de la main-d'œuvre et satisfaire à la demande liée aux minéraux critiques » (Ressources naturelles Canada, 2022, p. 33).

À l'instar des autres gouvernements cités précédemment, le gouvernement du Québec mentionne lui aussi dans son Plan québécois pour la valorisation des minéraux critiques et stratégiques 2020-2025 (PQVMCS) que la recherche et le développement en matière de MCS devront s'orienter notamment sur les procédés de traitement et de transformation (Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, 2020a). Les projets de recherche soutenus par le gouvernement doivent permettre d'accélérer le développement des nouveaux procédés et des nouvelles technologies de traitement du minerai qui s'avèrent nécessaires pour que la filière des MCS atteigne son plein potentiel. Dans cette optique, et afin que la main-d'œuvre soit outillée convenablement pour travailler avec les technologies innovantes qui seront développées et implantées, le PQVMCS entend ainsi « mis[er] sur la formation », et ce, notamment en matière de traitement du minerai (Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, 2020a, p. 14).

En raison de la place centrale qu'occupe le traitement du minerai pour le développement et la valorisation des MCS, et ce, tant au Québec qu'à l'échelle internationale, cette étape du cycle minéral a été retenue pour être l'objet de cette programmation de recherche portant sur les enjeux de formation au Québec en matière de MCS.

1.5 Les compétences requises pour travailler dans les usines de traitement du minerai de mines de lithium et de graphite

Comme il a été précédemment mentionné, cette programmation de recherche, dont le présent rapport constitue la première phase, s'articule autour de la problématique de l'actualisation de la formation minière québécoise face aux enjeux en matière de traitement des minéraux jusqu'alors peu concentrés dans les usines de traitement au Québec, soit le lithium et le graphite.

Mais quelles compétences devra acquérir la main-d'œuvre minière pour travailler dans les mines de minéraux stratégiques? Il s'agit justement de l'une des questions qui ont été posées à un groupe d'experts sur le sujet des MCS dans le cadre d'un atelier de réflexion tenu en 2021 aux États-Unis. Cet atelier, qui a réuni plus de 150 expertes et experts provenant du monde universitaire, d'agences gouvernementales et d'entreprises privées concernées par le développement de la filière des MCS, a permis de dégager plusieurs pistes de réflexion qui sont pertinentes pour la présente recherche. D'abord, au terme de deux journées de réflexion, les personnes expertes réunies en sont venues à une conclusion globale à propos de la question de la main-d'œuvre dans le secteur des MCS, soit qu'en raison du manque d'attention accordée à « la formation en ce qui a trait aux compétences spécifiques aux MCS dans les établissements d'enseignement supérieur » et « à la formation [...] de la main-d'œuvre déjà en emploi dans le secteur », la main-d'œuvre disponible pour travailler dans le secteur des minéraux critiques est « limitée » (Locmelis *et al.*, 2021, p. 6, notre traduction). Pour remédier à cette situation, les expertes et les experts ont formulé plusieurs suggestions. En matière de traitement des minéraux critiques et stratégiques, il est recommandé d'améliorer la formation relativement à la « métallurgie extractive », à « l'analyse de données, incluant les données massives » et aux « principes du génie chimique », le tout dans une approche « interdisciplinaire incluant les géosciences, la métallurgie et le génie minier » (Locmelis *et al.*, 2021, p. 21-25, notre traduction). Toutefois, le secteur des minéraux critiques et

stratégiques étant en plein essor, il ressort également de cet atelier de réflexion que plusieurs besoins pressants en matière de recherches existent et que, grâce aux fruits de ces recherches, il serait possible dans le futur d'enrichir les contenus des formations offertes à la main-d'œuvre actuelle et future en ce qui a trait au traitement des MCS. Pour ce faire, il est notamment proposé par les expertes et les experts ayant participé à l'atelier de réflexion d'accélérer les recherches en ce qui concerne les « processus métallurgiques de récupération des minéraux critiques », les « technologies et les procédés métallurgiques pour récupérer les minéraux critiques du minerai primaire » et les « procédés innovants à faible consommation d'énergie pour la récupération des minéraux critiques » (Locmelis *et al.*, 2021, p. 20-23, notre traduction).

En Australie, le gouvernement remarque également que plusieurs compétences risquent d'être manquantes afin que le secteur minier puisse bénéficier d'une main-d'œuvre apte à travailler optimalement au développement de la filière des MCS. D'ailleurs, au cours des consultations ayant été menées dans le cadre de l'élaboration de la *Critical Minerals Strategy 2023-2030*, le gouvernement a pu constater à quel point les diverses parties prenantes du secteur minier australien estiment que la pénurie de travailleuses et de travailleurs possédant les compétences requises pour occuper un emploi dans le secteur des MCS constitue un « risque considérable » pour le développement de ce secteur d'activités (Australian Government - Department of Industry, Science and Resources, 2023, p. 45, notre traduction). Parmi les principales compétences répertoriées comme faisant défaut figurent celles associées à la métallurgie, à l'hydrométallurgie, à la géologie, au traitement du minerai ainsi que certaines compétences propres au génie minier et géotechnique (Australian Government - Department of Industry, Science and Resources, 2023, p. 45).



Photographie : Nouveau monde graphite

Chapitre 2 : Méthodologie

2.1 Méthodologie de la recherche

L'approche méthodologique retenue pour mener à bien ce projet repose sur la réalisation de plusieurs collectes de données visant à apporter des réponses à deux questions structurantes pour l'avenir de la formation minière québécoise, soit :

- ≥ Quels sont les besoins de formation pour la main-d'œuvre travaillant dans les usines de traitement du minerai des mines de lithium et de graphite au Québec?
- ≥ Quels programmes d'études ou de formation du Québec pourraient être influencés par l'accroissement des activités minières associées au traitement des minerais de lithium et de graphite?

Pour recueillir les informations permettant d'apporter les réponses à ces questions, plusieurs méthodes ont été utilisées, dont la recension des écrits, le questionnaire et le groupe de discussion. La période durant laquelle la recherche a été réalisée s'est échelonnée du 17 avril 2023 au 29 janvier 2024. Le **tableau 2** synthétise les informations relativement à l'approche méthodologique mise à profit dans le cadre de ce projet.

Tableau 2 – Étapes du processus de recherche

	Étape 1	Étape 2	Étape 3	
	Recension des écrits	Identification de la liste des métiers et professions	Collecte 1	Collecte 2
Description	Recension des écrits portant sur l'impact du traitement des minerais de lithium et de graphite sur les compétences de la main-d'œuvre	Identification des métiers et des professions présents dans les usines de traitement du minerai au Québec	Collecte des besoins de formation des entreprises minières du Québec concernées par le traitement des minerais de lithium et de graphite	Collecte au regard des impacts des besoins de formation des entreprises réalisant le traitement des minerais de lithium et de graphite sur les programmes d'études et de formation
Source d'information	Documentation écrite	Entreprises minières du Québec	Entreprises minières du Québec	Établissements d'enseignement et organismes de recherche et de formation du Québec
Méthode de collecte de données ou de recherche d'informations	Recension des écrits	Questionnaire	Questionnaire	Groupe de discussion et questionnaire
Période à laquelle l'étape s'est déroulée	Du 17 avril 2023 au 22 décembre 2023	Du 25 avril 2023 au 26 juin 2023	Du 11 octobre 2023 au 8 décembre 2023	<i>Groupe de discussion</i> 16 janvier 2024 <i>Questionnaire</i> Du 16 janvier 2024 au 29 janvier 2024

2.1.1 Étape 1 – Recension des écrits

Comme illustré dans le **tableau 2**, la première étape du processus de recherche consiste à réaliser une recension des écrits menée sous la forme d’une revue de littérature narrative. Celle-ci a permis de recenser et d’analyser la documentation écrite portant sur les compétences et la formation requises par la main-d’œuvre pour réaliser le traitement des minerais de lithium et de graphite. Parmi les sources consultées entre le 17 avril et le 22 décembre 2023, certaines d’entre elles se sont avérées particulièrement structurantes pour mieux cerner les enjeux touchant cette question et ont fait l’objet d’une analyse. À terme, il émerge de cet exercice un portrait plus clair de la situation et des enjeux entourant l’impact sur la main-d’œuvre relativement au traitement des substances minérales que sont le lithium et le graphite, bien que des recherches supplémentaires soient encore nécessaires, notamment pour mieux définir les contours d’un potentiel référentiel des compétences recherchées.

2.1.2 Étape 2 – Identification des métiers et des professions présents dans les usines de traitement du minerai au Québec

La deuxième étape ayant été menée a quant à elle été axée sur l’identification des métiers et des professions présents dans les usines de traitement du minerai au Québec. Il est en effet incontournable de répertorier les métiers et les professions qui se trouvent dans les usines de traitement du minerai des exploitations minières du Québec afin de déterminer correctement quels sont les programmes d’études ou de formation risquant davantage d’être influencés par le traitement des minéraux de lithium et de graphite. Pour recueillir cette information, un questionnaire a été acheminé au département des ressources humaines de cinq entreprises minières du Québec. Cette enquête, réalisée en collaboration avec le Comité sectoriel de main-d’œuvre de l’industrie des mines (CSMO Mines), s’est concentrée sur cinq projets miniers dont la structure d’emploi a été jugée représentative des mines qui commenceront leurs opérations au Québec au cours des prochaines années. La collecte de cette information a été réalisée entre le 25 avril 2023 et le 26 juin 2023. Les cinq projets miniers ayant été sollicités ont rempli le questionnaire. Au terme de cette enquête, une *Liste des métiers et professions de l’usine de traitement du minerai dans les mines du Québec*³ a pu être élaborée en colligeant au sein d’une seule et même liste les informations fournies par les cinq entreprises ayant participé à la collecte de données. En plus de contenir les métiers et professions qui se trouvent dans les usines de traitement du minerai, cette liste contenait également les formations les plus couramment exigées pour exercer chacun de ces métiers ou chacune de ces professions dans le secteur minier. Grâce à l’élaboration de cette liste, il a ensuite été possible de structurer les deux collectes de données de cette recherche.

³ La Liste des métiers et professions de l’usine de traitement du minerai dans les mines du Québec est disponible à l’**annexe I**.

2.1.3 Étape 3 – Collectes de données

Collecte 1 : Besoins de formation des entreprises minières du Québec concernées par le traitement des minerais de lithium et de graphite

La première collecte de données a porté sur les besoins de formation des entreprises minières du Québec concernées par le traitement des minerais de lithium et de graphite. Pour mener à bien cette collecte de données, un questionnaire a été élaboré par l'Institut national des mines et validé auprès de personnes expertes en matière de traitement du minerai travaillant au Centre technologique des résidus industriels (CTRI)⁴. Le questionnaire, qui était composé de questions fermées et ouvertes, a été acheminé à 13 entreprises minières effectuant ou projetant d'effectuer du traitement de minerai de lithium ou de graphite au Québec, soit :

- ^ 1 mine active;
- ^ 1 mine en réouverture;
- ^ 11 projets miniers.

Les entreprises sélectionnées pour remplir le questionnaire ont été choisies en fonction du fait qu'elles étaient officiellement reconnues par le ministère des Ressources naturelles et des Forêts comme des mines actives, en maintenance ou en réouverture ou encore comme des projets miniers exploitant ou comptant exploiter du lithium ou du graphite, et ce, en date du mois de juin 2023⁵.

Les entreprises répondantes ont rempli le questionnaire entre le 11 octobre et le 8 décembre 2023. Parmi les 13 entreprises minières sollicitées, 10 ont rempli le questionnaire, ce qui représente un taux de réponse de 77 %. Sur les 10 projets miniers ou mines ayant participé à l'enquête, 5 sont des exploitations actuelles ou futures de graphite et 5 autres de spodumène (lithium). De plus, 9 des 10 projets miniers et mines actuelles ou futures sont ou seront des exploitations à ciel ouvert tandis qu'une des exploitations est de type mixte, soit à la fois à ciel ouvert et souterraine.

À la suite de cette collecte d'information réalisée auprès de l'industrie, la situation en ce qui a trait aux procédés de traitement et aux besoins de formation des mines de lithium et du graphite au Québec a été mieux définie, ouvrant ainsi la porte pour la seconde collecte de données.

⁴ Il s'agit des collaboratrices de ce projet provenant du Centre technologique des résidus industriels (CTRI).

⁵ La carte des mines actives et en maintenance en juin 2023 au Québec peut être consultée à l'**annexe II** et la carte des projets miniers en juin 2023 au Québec peut être consultée à l'**annexe III**.

Collecte 2 : Impacts des besoins de formation des entreprises réalisant le traitement des minerais de lithium et de graphite sur l'offre de formation

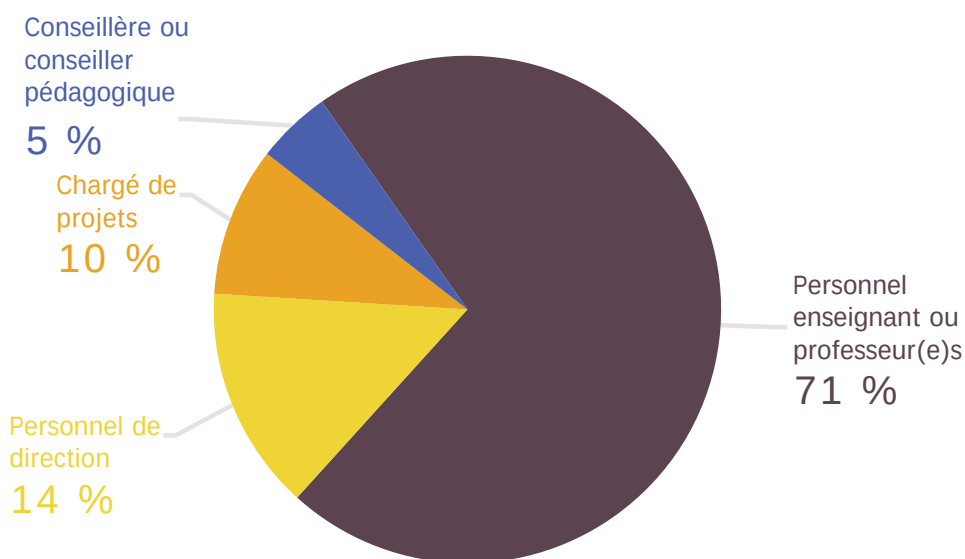
La seconde collecte de données a porté sur l'impact des besoins de formation des entreprises réalisant le traitement des minerais de lithium et de graphite sur les programmes d'études et de formation. Pour réaliser cette collecte de données, deux méthodes de collecte interreliées ont été mises à profit. D'abord, un groupe de discussion a permis de recueillir l'opinion des établissements d'enseignement ainsi que des organismes de recherche et de formation présentés dans le **tableau 3** sur l'enjeu que constitue l'adaptation de la formation minière offerte au Québec face aux impératifs découlant des besoins de compétences de l'industrie en matière de traitement de lithium et de graphite. Le guide d'entretien pour le groupe de discussion a été élaboré par l'Institut national des mines. Durant son déroulement, le groupe de discussion a permis de rassembler 21 personnes répondantes issues de 8 établissements d'enseignement et de 2 organismes actifs en formation et/ou en recherche dans le secteur minier. Le **tableau 3** illustre l'échantillonnage du groupe de discussion de la collecte 2.

Tableau 3 – Échantillon de la collecte 2

Ordre d'enseignement ou type d'organisation	Nom de l'établissement d'enseignement ou de l'organisme	Nombre de personnes répondantes dans le cadre du groupe de discussion
Formation professionnelle	Centre de formation professionnelle de la Baie-James	2
	Centre de formation professionnelle de Sept-Îles	1
	Centre de formation professionnelle Val-d'Or	1
Formation collégiale	Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue	4
	Cégep de Sept-Îles	4
	Cégep de Thetford	2
Formation universitaire	Polytechnique Montréal	2
	Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue	2
Organisme de recherche	Centre technologique des résidus industriels (CTRI)	2
	Pôle d'enseignement supérieur dans le secteur minier	1
	Total	21

Dans le cadre de ce groupe de discussion, les personnes répondantes ont été en majorité des enseignantes ou des enseignants et des professeures ou des professeurs (71 %). Comme l'illustre la **figure 2**, des membres du personnel de direction (14 %), des chargés de projets (10 %) et des conseillères ou conseillers pédagogiques (5 %) ont également participé à la collecte. À la suite du groupe de discussion, chacune des organisations participantes a été invitée à remplir un questionnaire élaboré de manière à permettre une synthèse du point de vue développé par l'organisation durant la discussion. La totalité des 10 organisations ayant participé au groupe de discussion a rempli le questionnaire, ce qui représente un taux de réponse de 100 %. Les données recueillies à la collecte 2 représentent donc la somme des informations colligées à la fois lors du groupe de discussion et grâce au questionnaire.

Figure 2 - Poste occupé par les personnes répondantes de la collecte 2



Question : Quelle fonction occupez-vous au sein de votre organisation?

2.2 Méthodologie de sélection des programmes d'études et de formation à étudier prioritairement

Une fois que l'ensemble des données présentes dans ce rapport ont été colligées grâce à la réalisation des différentes étapes du processus de recherche, il a été possible d'analyser et de synthétiser la somme d'information amassée afin de procéder à la sélection des programmes d'études et de formation qui devront être étudiés prioritairement dans le cadre de cette programmation de recherche en vue d'une potentielle actualisation à l'aune des besoins spécifiques de compétences et de formation des mines actuelles et futures de lithium et de graphite et de leur main-d'œuvre travaillant à l'usine de traitement du minerai. Pour ce faire, une grille d'analyse a été élaborée par l'Institut national des mines. Celle-ci repose sur la prise en considération des trois éléments clés suivants :

1. Le classement des programmes (en fonction des postes associés) dans la liste des postes les plus en demande selon l'étude Estimation des besoins de main-d'œuvre du secteur minier 2023-2028 (CSMO Mines et Institut national des mines, 2023);
2. L'importance accordée au développement ou à l'actualisation d'une formation (en fonction des postes associés) selon les mines et les projets miniers de lithium et de graphite du Québec;
3. L'importance accordée au développement ou à l'actualisation d'une formation selon le point de vue des établissements d'enseignement et des organismes de recherche et de formation.

La grille d'analyse ainsi que les résultats de la sélection des programmes sont présentés au **chapitre 4** du présent rapport.

Chapitre 3 : Résultats des enquêtes

Les collectes de données réalisées dans le cadre de ce rapport visaient avant toute chose à mieux comprendre les besoins de compétences et de formation du secteur minier en matière de traitement des minéraux de lithium et de graphite ainsi que l'influence que sont susceptibles d'avoir ceux-ci sur les programmes d'études et de formation afférents offerts au Québec. Voici les principaux résultats, présentés de façon synthétique afin d'en favoriser la compréhension.

3.1 Enquête menée auprès des entreprises minières du Québec concernées par le traitement des minerais de lithium et de graphite en ce qui a trait aux besoins de compétences et de formation

Dans le cadre de l'enquête réalisée auprès des mines et projets miniers de lithium et de graphite, l'objectif était en premier lieu de définir quels sont les procédés de traitement du minerai que les entreprises réalisent ou réaliseront à même les usines de traitement du minerai situées sur les sites d'exploitation minière, et, en second lieu, de définir les besoins de ces entreprises en termes de compétences de la main-d'œuvre, et ce, en fonction des procédés utilisés sur les sites miniers tels que ceux-ci ont été recensés. Ces exploitations actuelles ou futures ont donc été invitées à se positionner en ce qui concerne trois grandes thématiques, soit :

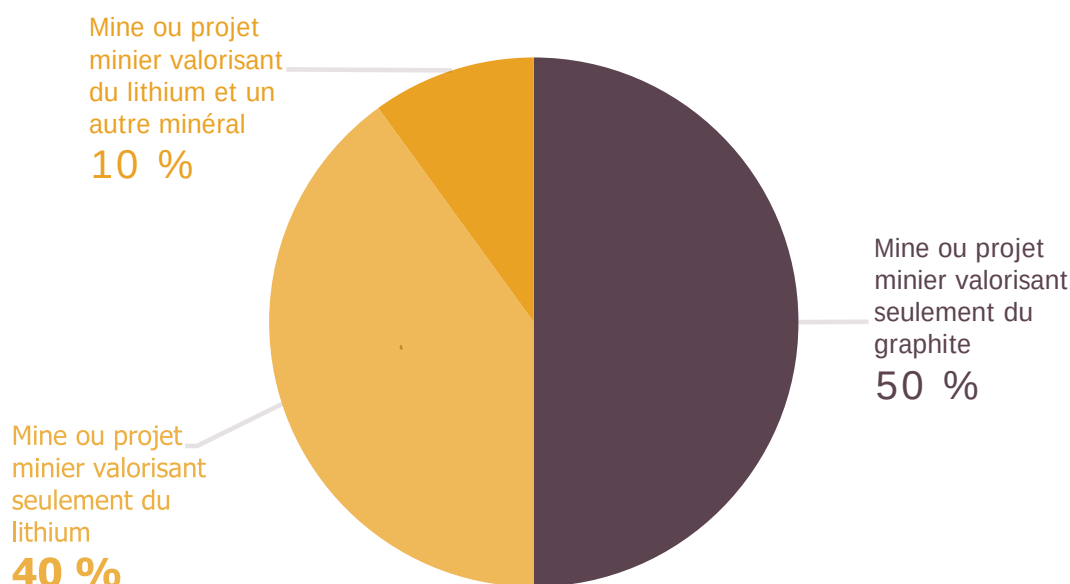
1. Le minerai qui est (ou qui sera) valorisé et le procédé qui est (ou qui sera) en place dans les usines de traitement du minerai;
2. Les compétences requises par la main-d'œuvre de l'usine de traitement;
3. Les besoins de formation afférents aux compétences recherchées.

La prise en considération de l'ensemble de ces informations permet de faire émerger un portrait plus clair des besoins de ces exploitations en matière de formation.

3.1.1 Description du minerai valorisé et du procédé

D'entrée de jeu, l'enquête a tâché de déterminer dans quelle mesure les mines et les projets miniers de graphite et de lithium traitent ou entendent traiter des minéraux autres que le lithium et le graphite. La **figure 3** témoigne du fait que ces usines de traitement ne se caractérisent pas par la valorisation d'autres minéraux. En effet, parmi les 10 exploitations répondantes, une seule (soit 10 %) indique qu'en plus du lithium, un autre MCS sera valorisé durant le procédé de traitement du minerai. Il apparaît pertinent de prendre en considération cette donnée dans le cadre de cette programmation de recherche en formation minière, puisqu'elle indique que, selon la situation et les prévisions en date de 2023, les personnes travaillant dans les usines de traitement du minerai des mines de lithium et de graphite n'évolueront généralement pas dans un environnement polymétallique.

Figure 3 – Pourcentage des mines et des projets de lithium ou de graphite valorisant (ou entendant valoriser) un autre minéral que le lithium ou le graphite



Question : Outre le minéral principalement traité, y a-t-il d'autres minerais qui sont (ou qui seront) traités à l'usine de traitement?

La collecte de données a également cherché à mieux comprendre les étapes du procédé dans les usines de traitement de chacune des exploitations, et ce, non seulement dans l'optique de pouvoir, à terme, évaluer les compétences qui seront requises en fonction des spécificités de chaque étape du procédé, mais également dans un souci de pouvoir tisser de potentiels liens entre la présence de certaines étapes et la recherche de certaines compétences dans un site minier. Le **tableau 4** présente ainsi quelles étapes du procédé les exploitations de lithium et de graphite réalisent ou entendent réaliser sur le site où est situé leur complexe minier.

Il est possible de constater que certaines étapes, tels le *concassage*, le *broyage* ou encore la *flottation*, sont largement répandues. Il convient toutefois d'examiner les résultats en fonction du minéral traité afin d'obtenir un portrait plus détaillé de la situation.

Tableau 4 – Étapes du procédé effectuées à l’usine de traitement du minerai située sur le complexe minier en fonction du minerai traité

Étape du procédé	Pourcentage des exploitations répondantes effectuant ou comptant effectuer cette étape du procédé	Pourcentage des exploitations répondantes effectuant ou comptant effectuer cette étape du procédé	Pourcentage des exploitations répondantes effectuant ou comptant effectuer cette étape du procédé
	Lithium	Graphite	Total
Concassage	100 %	100 %	100 %
Broyage	60 %	100 %	80 %
Séparation magnétique	80 %	60 %	70 %
Séparation gravimétrique	60 %	60 %	60 %
Conditionnement ou préparation	40 %	100 %	70 %
Flottation	60 %	100 %	80 %
Filtration	60 %	80 %	70 %
Autres	-	« séchage » (40 %), « classification » (20 %), « tamisage » (20 %)	« séchage » (20 %), « classification » (10 %), « tamisage » (10 %)

Question : Parmi les étapes suivantes du procédé, veuillez indiquer lesquelles sont (ou seront) effectuées à l’usine de traitement du minerai située sur le complexe minier.

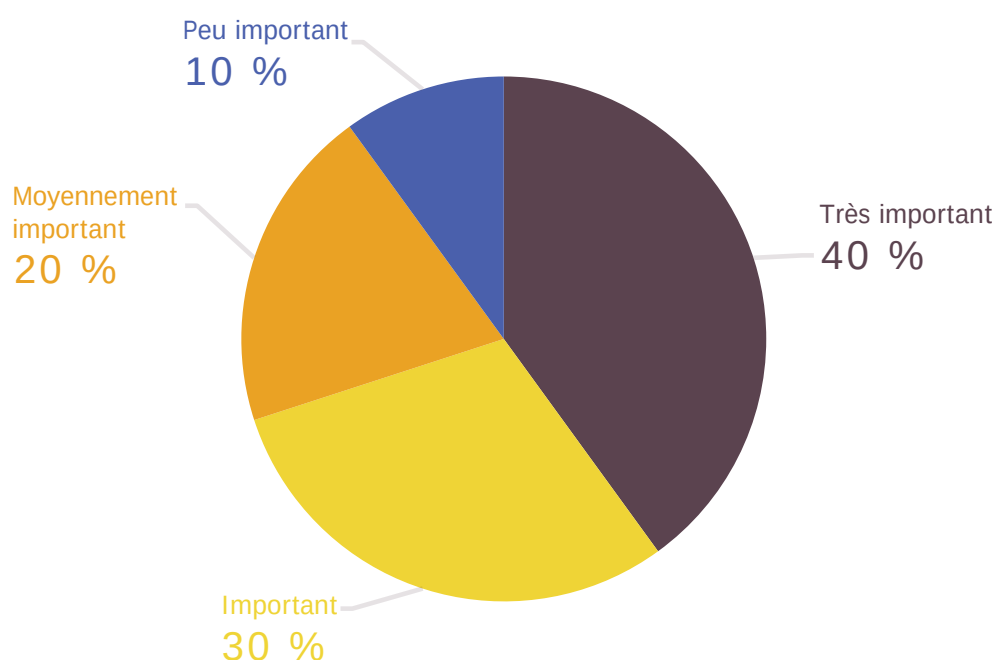
L’examen des résultats du **tableau 4** met en lumière la prépondérance de certaines étapes du procédé dans les usines de traitement en fonction du minerai traité. En effet, bien que la totalité des exploitations de lithium et de graphite se doivent de procéder au *concassage* du minerai extrait de la mine, les usines de traitement du minerai de graphite se distinguent par le fait que l’ensemble d’entre elles recourent ou entendent recourir à l’étape du *broyage*, à celle du *conditionnement et de la préparation* ainsi qu’à celle de la *flottation* à même l’usine de traitement située sur leur site minier. Quant à elles, les usines de traitement du minerai de lithium ont comme particularité l’importance de la *séparation magnétique* (4 entreprises répondantes sur 5 [80 %] indiquent cette étape) et le faible nombre d’usines où est mentionnée l’étape du *conditionnement et de la préparation* (2 entreprises répondantes sur 5 [40 %] mentionnent cette étape).

Il est important de prendre en considération que, dans le **tableau 4**, l'absence d'inclusion d'une étape du procédé ne signifie pas nécessairement que cette étape n'est pas requise dans le processus de traitement du minerai valorisé. En effet, cette étape peut notamment être réalisée sur un autre site que celui où est situé le complexe minier puisque le **tableau 4** ne présente que les étapes du procédé exécutées dans l'usine de traitement située sur le site du complexe minier duquel est extrait le minerai.

3.1.2 Les compétences requises par la main-d'œuvre

La collecte de données menée visait également à mettre en évidence de manière plus précise les compétences recherchées par les exploitations de lithium et de graphite en ce qui a trait à la main-d'œuvre destinée à travailler dans les usines de traitement. En la matière, il s'avérait d'abord pertinent d'évaluer dans quelle mesure les entreprises répondantes percevaient les compétences de leur main-d'œuvre, notamment les compétences qu'elle possédait déjà ou encore celles qu'elle devrait acquérir afin de pouvoir travailler dans une usine de traitement de minéraux stratégiques et non pas de minéraux porteurs de métaux précieux, usuels ou de minerai de fer. La **figure 4** illustre le point de vue des mines et des projets miniers à cet égard.

Figure 4 – Point de vue des mines et projets miniers de lithium et de graphite quant à l'importance des besoins d'acquisition de compétences de la main-d'œuvre de l'usine de traitement du minerai

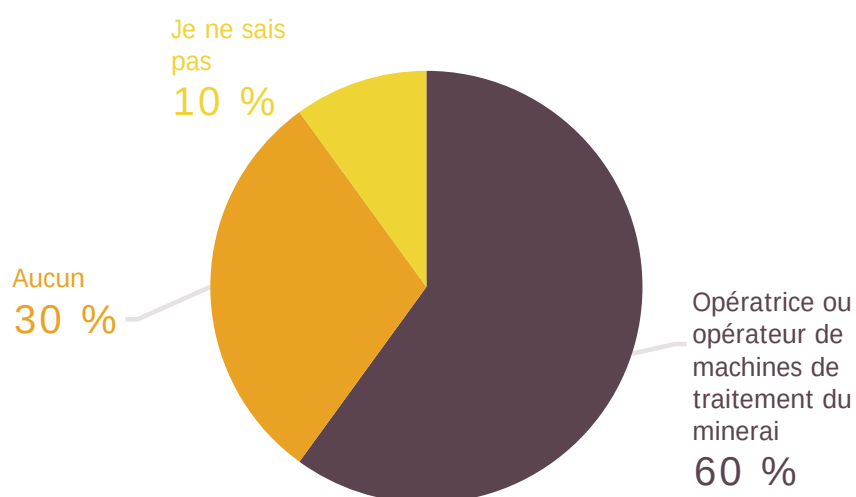


Question : Comment qualifieriez-vous le besoin d'acquisition de compétences de la main-d'œuvre à son embauche pour que celle-ci puisse travailler optimalement dans votre usine de traitement du minerai, et ce, compte tenu du fait que votre usine traite (ou traitera) un minéral stratégique et non des minéraux porteurs de métaux précieux, usuels ou de minerai de fer?

La **figure 4** permet de constater que 70 % des exploitations répondantes estiment qu'un besoin d'acquisition de compétences « très important » ou « important » découle du fait que leur usine traitera un minéral stratégique et non des minéraux porteurs de métaux précieux, usuels ou de minerai de fer. Quant à elles, 30 % des exploitations répondantes jugent qu'un besoin d'acquisition de compétences « moyennement important » ou « peu important » caractérise le mieux leur point de vue en ce qui a trait au degré d'importance des besoins d'acquisition de compétences de la main-d'œuvre de leur usine de traitement du minerai.

Par la suite, l'Institut a recueilli la vision des mines et des projets miniers de lithium et de graphite à propos des métiers et professions qui se trouvent dans les usines de traitement du minerai dont les compétences devront être actualisées en priorité, et ce, en raison du fait que l'usine traite (ou traitera) un minerai stratégique et non des métaux précieux, usuels ou ferreux. Tout d'abord, en ce qui concerne les métiers dont la qualification le plus couramment demandée est un diplôme d'études professionnelles (DEP), les exploitations de lithium et de graphite répondantes identifient le poste d'opératrice ou d'opérateur de machines de traitement du minerai comme étant celui dont les besoins d'actualisation des compétences de la main-d'œuvre sont les plus importants. En effet, comme le montre la **figure 5**, concernant les postes requérant comme qualification un DEP, 60 % des mines et projets miniers considèrent que le poste d'opératrice ou d'opérateur de machines de traitement du minerai sera celui où les besoins en termes d'actualisation des compétences seront les plus importants, tandis que 30 % jugent qu'« aucun » poste parmi ceux en place dans les usines de traitement du minerai ne requiert une actualisation des compétences et que 10 % estiment ne pas pouvoir se prononcer sur la question (« je ne sais pas »).

Figure 5 – Métier pour lequel les besoins d'actualiser des compétences de la main-d'œuvre sont les plus importants



Question : Parmi la liste de métiers (formation professionnelle) ci-dessous, veuillez indiquer lequel doit (ou devra) le plus faire l'objet d'une actualisation des compétences pour travailler à votre usine de traitement du minerai située sur le site de votre complexe minier, et ce, compte tenu du fait que votre usine traite (ou traitera) un minéral stratégique et non des minéraux porteurs de métaux précieux, usuels ou de minerai de fer.

La **figure 5** illustre l'importance pour les mines et les projets miniers de lithium et de graphite de qualifier adéquatement les opératrices et les opérateurs de machines de traitement du minerai à leur emploi dans leurs usines de traitement du minerai afin de pouvoir réaliser le traitement du minerai de lithium ou de graphite de manière optimale. En plus d'identifier le métier pour lequel les besoins d'actualisation des compétences sont les plus importants, les mines et les projets miniers répondants ont mis en lumière les tâches qui seront transformées relativement au traitement des minéraux stratégiques que sont le lithium et le graphite, et ce, comparativement aux tâches associées au traitement des métaux précieux, usuels ou ferreux. Le **tableau 5** expose le point de vue des mines et des projets miniers répondants sur les tâches qui seront transformées, et ce, en fonction du minerai traité dans l'usine.



Photographie : Mathieu Dupuis/Sayona

Tableau 5 – Tâches transformées pour les métiers dont la qualification le plus couramment demandée est un diplôme d'études professionnelles (DEP) en fonction du minerai traité

Mine ou projet minier ayant fourni une réponse	Minerai traité à l'usine de traitement	
	Lithium	Graphite
Exploitation 1		« Flottation du graphite » « Déshydratation et séchage du concentré » « Criblage »
Exploitation 2	« La séparation par flottation pour le lithium demande une plus grande connaissance technique de l'opérateur. Il devra être en mesure de bien comprendre les effets des paramètres d'opération sur la récupération du lithium et la qualité du concentré final. Au-delà de ces connaissances, il devra être connaissant [<i>sic</i>] des nouvelles technologies (analyseur en continu, caméra de contrôle d'analyse de l'image, etc.) qui supportent la flottation du lithium. »	
Exploitation 3	« Aucune. Il s'agit d'un procédé très simple. »	
Exploitation 4	« Le traitement du minerai dans le domaine du lithium (spodumène) dans le cas de notre gisement est complexe et comprend beaucoup de technologies et équipements. Les opérateurs devront apprendre à travailler dans une usine complexe où les paramètres d'opération sont nombreux. Il nous faudra des opérateurs de haut niveau capables de comprendre le comportement du procédé dans son ensemble et capables d'intervenir sur celui-ci. Le DEP en traitement du minerai est un minimum pour entrer en fonction dans une opération comme la nôtre. »	
Exploitation 5		« Informatisation et automatisation des procédés, ce qui implique aussi des problèmes de compétences pour la maintenance des équipements »
Exploitation 6		« Contrôle du procédé par système numérisé et automatisé »
Exploitation 7		« Contrôle numérique du procédé »

Question : Quelles sont les nouvelles tâches ou les tâches qui sont les plus transformées pour le métier sélectionné précédemment?

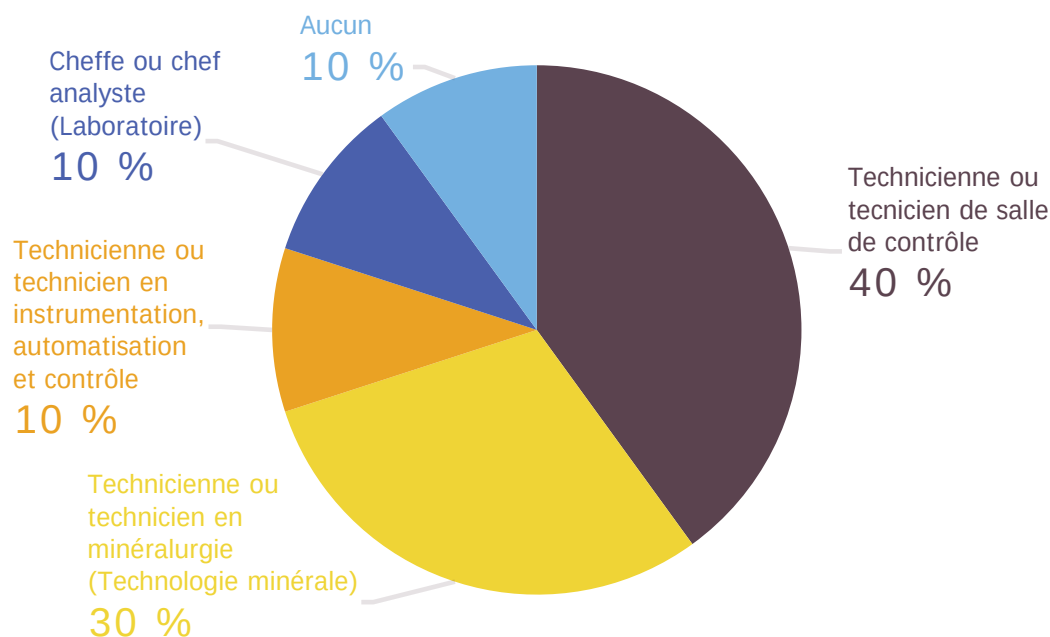
Comme l'illustre le **tableau 5**, au moins deux grandes préoccupations semblent émerger des constats formulés par les exploitations actuelles et futures de lithium et de graphite en matière de compétences recherchées chez les personnes exerçant des métiers dont la qualification la plus couramment demandée est un diplôme d'études professionnelles (DEP), soit :

- ≥ La complexité du procédé, principalement, mais non exclusivement, à l'étape de la flottation;
- ≥ La nature hautement technologique et numérique de l'environnement de travail et des équipements, notamment liée au contrôle du procédé ainsi qu'à la maintenance des équipements.

L'enquête a également permis de dévoiler le regard que portent les mines et les projets miniers de lithium et de graphite sur les postes techniques (techniciennes et techniciens) qui se trouvent dans les usines de traitement du minerai dont les compétences devront être actualisées en priorité, et ce, compte tenu du fait que l'usine traite (ou traitera) un minerai stratégique. En ce qui concerne les postes dont la qualification la plus couramment demandée est un diplôme d'études collégiales (DEC), 40 % des exploitations de lithium et de graphite mentionnent que le poste de technicienne ou de technicien de salle de contrôle est celui où les compétences du personnel doivent et devront être le plus actualisées, suivi de près par le poste de technicienne ou de technicien en minéralurgie⁶ (Technologie minérale) que 30 % des exploitations jugent comme étant celui où les compétences sont et seront le plus à actualiser. Certaines mines ainsi que certains projets miniers considèrent quant à eux que les postes de technicienne ou de technicien en instrumentation, automatisation et contrôle (10 %) et de cheffe ou de chef analyste du laboratoire (10%) sont à prioriser en la matière. Finalement, une exploitation, soit 10 % de l'échantillon, estime qu'« aucun » poste de technicienne ou de technicien ne nécessite ou ne nécessitera une actualisation particulière des compétences des personnes occupant celui-ci. La **figure 6** synthétise ces données.

⁶ Le poste de « technicienne ou technicien en minéralurgie » est également connu sous l'appellation « technicienne ou technicien en métallurgie » dans l'industrie minière au Québec. Dans le cadre de ce projet, la première des deux appellations sera privilégiée.

Figure 6 – Profession technique pour laquelle les besoins d’actualisation des compétences de la main-d’œuvre sont les plus importants



Question : Parmi la liste de professions (formation technique) ci-dessous, veuillez indiquer laquelle doit (ou devra) le plus faire l’objet d’une actualisation des compétences pour travailler à votre usine de traitement du minerai située sur le site de votre complexe minier, et ce, compte tenu du fait que votre usine traite (ou traitera) un minéral stratégique et non des minéraux porteurs de métaux précieux, usuels ou de minerai de fer.

Comme le révèle la **figure 6**, les mines et les projets miniers de lithium et de graphite présentent une vision assez diversifiée des professions techniques où les besoins d’actualisation des compétences sont les plus importants. Au premier plan figurent les postes de technicienne ou de technicien de salle de contrôle et de technicienne ou de technicien en minéralurgie (*Technologie minérale*). L’importance accordée à l’actualisation des compétences des personnes occupant ces postes s’explique notamment par le point de vue des mines et des projets miniers répondants en ce qui concerne les tâches qui seront transformées pour les techniciennes et techniciens en raison du traitement de minéraux stratégiques à l’usine. En effet, comme en témoigne le **tableau 6**, les tâches associées au contrôle de la qualité du procédé ainsi que celles liées à l’automatisation et à la numérisation des équipements de l’usine de traitement du minerai font appel à des compétences que les techniciennes ou techniciens en minéralurgie (*Technologie minérale*) et les techniciennes ou techniciens de salle de contrôle devront respectivement parfaire pour répondre optimalement aux besoins des mines de lithium et de graphite en matière de traitement du minerai.

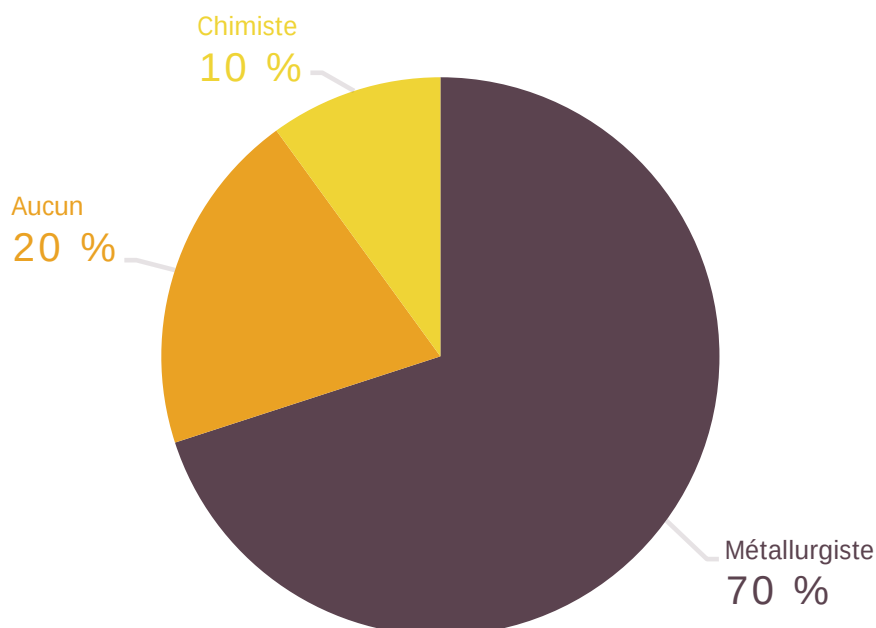
Tableau 6 – Tâches transformées pour les professions dont la qualification le plus couramment demandée est un diplôme d'études collégiales (DEC) en fonction du minerai traité

Mine ou projet minier ayant fourni une réponse	Minerai traité à l'usine de traitement	
	Lithium	Graphite
Exploitation 1		« Flottation du graphite » « Déshydratation et séchage du concentré » « Criblage »
Exploitation 2	« Le groupe technique de la métallurgie doit supporter le groupe d'opérateurs et effectuer des tests en laboratoire pour justifier les futures améliorations sur les procédés. Leur connaissance technique en procédés métallurgiques pour le lithium doit être valorisée en formation. »	
Exploitation 3	« Les essais en laboratoire seront définitivement de nature différente de ceux qui ont habituellement lieu dans un moulin [usine de traitement du minerai] d'or classique. »	
Exploitation 4		« La technologie [déployée à l'usine de traitement du minerai] va changer. [L'une des tâches sera donc d'] aider [l'entreprise] à trouver les meilleures technologies. »
Exploitation 5	[La nature des tâches sera influencée par] la « nouveauté du procédé », [le fait que le personnel n'a] « pas d'expérience » [en ce qui a trait à ce procédé et, finalement, en raison du] « procédé complexe »	
Exploitation 6		« [L']entretien des équipements d'automatisation et d'électrification, incluant la maintenance et [la] programmation informatique »
Exploitation 7		« Contrôle numérique du procédé »
Exploitation 8		« Contrôle numérique et automatisation »

Question : Quelles sont les nouvelles tâches ou les tâches qui sont les plus transformées pour la profession sélectionnée précédemment?

L'examen du regard des mines et des projets miniers de lithium et de graphite à propos des professions qui se trouvent dans les usines de traitement du minerai et dont la qualification le plus couramment demandée est un baccalauréat permet de faire ressortir un poste dont les compétences devront être actualisées en priorité, soit le poste de métallurgiste. En effet, comme l'illustre la **figure 7**, cette profession est considérée par 70 % des mines et projets miniers de lithium et de graphite comme celle où les besoins d'actualisation des compétences sont les plus importants au regard du travail dans une usine de traitement de minéraux stratégiques plutôt que de minéraux porteurs de métaux précieux, usuels ou de minerai de fer. Le poste de chimiste est, quant à lui, sélectionné par 10 % des mines et projets, soit une seule exploitation parmi les dix exploitations répondantes. Finalement, 20 % des exploitations répondantes jugent qu'« aucun » poste de l'usine de traitement du minerai requérant une formation universitaire ne doit faire l'objet d'une actualisation des compétences dans ce contexte.

Figure 7 – Profession universitaire pour laquelle les besoins d'actualisation des compétences de la main-d'œuvre sont les plus importants



Question : Parmi la liste de professions (formation universitaire) ci-dessous, veuillez indiquer laquelle doit (ou devra) le plus faire l'objet d'une actualisation des compétences pour travailler à votre usine de traitement du minerai située sur le site de votre complexe minier, et ce, compte tenu du fait que votre usine traite (ou traitera) un minéral stratégique et non des minéraux porteurs de métaux précieux, usuels ou de minerai de fer.

Cette prédominance du poste de métallurgiste parmi les réponses recueillies, tout comme la présence du poste de chimiste, constitue un témoignage de l'importance accordée par les mines et les projets miniers de lithium et de graphite à l'égard de l'optimisation des étapes du procédé. D'ailleurs, le **tableau 7**, qui présente les tâches qui seront transformées en ce qui concerne les

professions de l'usine de traitement du minerai requérant le plus couramment une formation universitaire, met en lumière l'importance accordée par les entreprises à l'égard des compétences nécessaires associées au procédé.

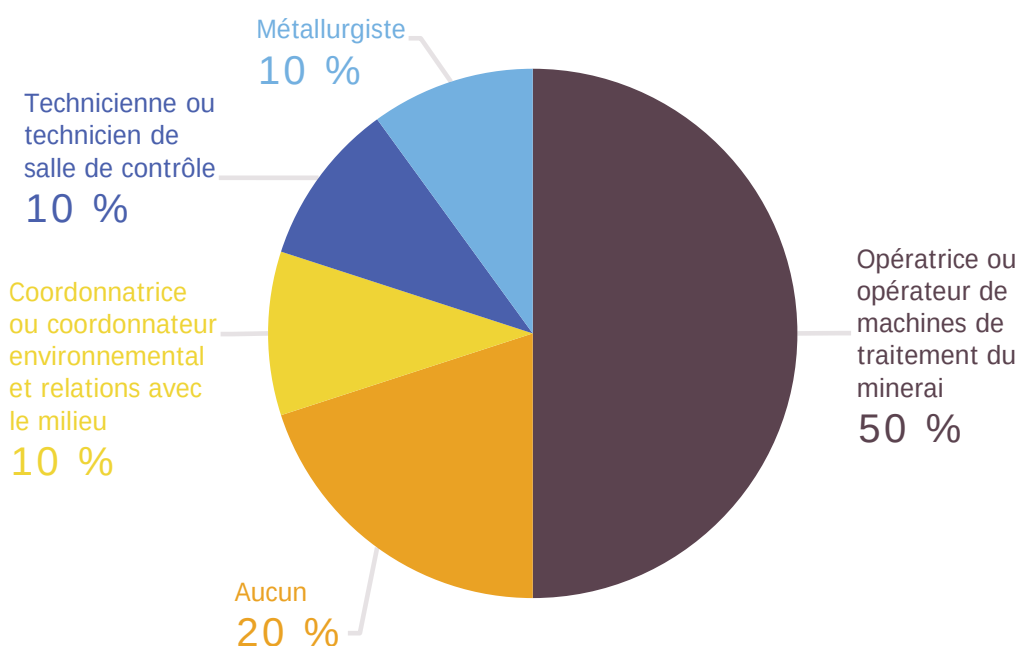
Tableau 7 – Tâches transformées pour les professions dont la qualification le plus couramment demandée est un baccalauréat en fonction du minerai traité

Mine ou projet minier ayant fourni une réponse	Minerai traité à l'usine de traitement	
	Lithium	Graphite
Exploitation 1		« Flottation du graphite » « Déshydratation et séchage du concentré » « Criblage »
Exploitation 2	« Les tâches restent les mêmes, mais les connaissances techniques, face au lithium, pour supporter les opérations dès la mise en route doivent être valorisées lors de leur formation [les métallurgistes]. Bref, selon moi, les premiers projets de lithium qui seront en opération vont servir de centre de formation par la même occasion. »	
Exploitation 3	« Séparation en milieu dense n'est pas très répandue au Québec »	
Exploitation 4		« Métallurgie spécifique pour optimiser la concentration de graphite pour l'industrie des anodes »
Exploitation 5	« Axer la formation sur le traitement des minéraux industriels. Ce n'est pas vu dans le programme [pour la formation des métallurgistes]. »	
Exploitation 6		« Les appareillages de tri de minerai (<i>ore-sorter</i>) commencent à s'implanter et requièrent toute une gamme d'habiletés informatiques de haut niveau (IA, traitement de signal, traitement d'image, etc.), non couverte par la formation conventionnelle des ingénieurs-minéralurgistes. »
Exploitation 7		« Validation des analyses de la qualité des produits de deuxième transformation »

Question : Quelles sont les nouvelles tâches ou les tâches qui sont les plus transformées pour la profession sélectionnée précédemment?

En plus de permettre de mieux cibler les métiers ainsi que les professions devant le plus faire l'objet d'une actualisation des compétences, et ce, en fonction de trois grands niveaux de qualifications requises (diplôme d'études professionnelles, diplôme d'études collégiales et baccalauréat), les données colligées ont permis de mettre en lumière la vision des mines et des projets miniers de lithium et de graphite en ce qui a trait au poste dont l'actualisation des compétences doit être priorisée, et ce, en ce qui concerne l'ensemble des postes qui se trouvent dans les usines de traitement des minéraux de lithium et de graphite. La **figure 8** montre clairement que le poste d'opératrice ou d'opérateur de machines de traitement du minerai est celui qui apparaît, au regard des mines et des projets miniers répondants, comme prioritaire en matière d'actualisation des compétences du personnel. Ce constat est d'ailleurs partagé tant par les exploitations de lithium que celles de graphite.

Figure 8 – Poste de l'usine de traitement du minerai pour lequel les besoins d'actualisation des compétences de la main-d'œuvre sont les plus importants

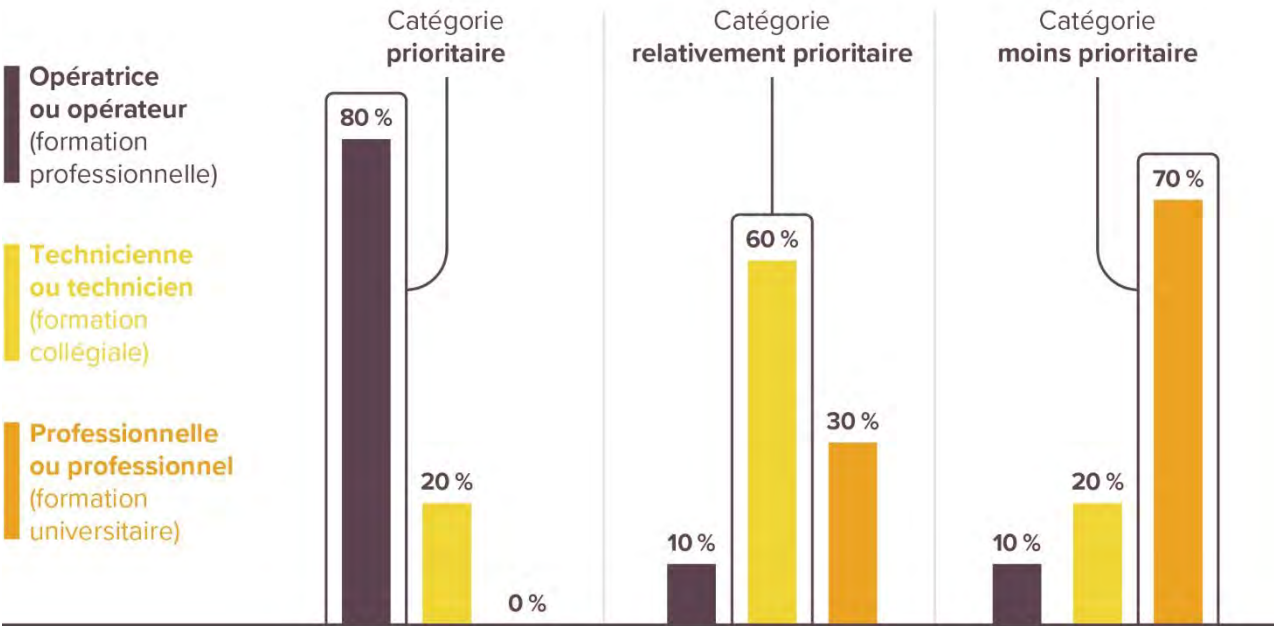


Question : Parmi toutes les personnes qui sont (ou qui seront) à l'emploi dans votre usine de traitement du minerai (mais à l'exception des personnes occupant des postes d'encadrement tels que directeur, surintendant, coordonnateur, superviseur ou chef d'équipe), quelles sont celles qui doivent (ou devront) le plus actualiser leurs compétences pour travailler à votre usine de traitement du minerai située sur le site de votre complexe minier, et ce, compte tenu du fait que votre usine traite (ou traitera) un minéral stratégique et non des minéraux porteurs de métaux précieux, usuels ou de minerai de fer?

La **figure 8** illustre qu’outre le poste d’opératrice ou d’opérateur de machines de traitement du minerai qui est considéré par 50 % des mines et des projets miniers de lithium et de graphite comme celui devant le plus bénéficier d’une actualisation des compétences, et ce, compte tenu du fait que l’usine traite ou traitera un minerai stratégique et non des métaux précieux, usuels ou ferreux, 20 % des mêmes mines et projets miniers estiment qu’ « aucun » poste ne devra faire l’objet d’une actualisation des compétences tandis que 10 % priorisent le poste de métallurgiste, 10 % celui de technicienne ou de technicien de salle de contrôle et 10 % celui de coordonnatrice ou de coordonnateur environnemental et relations avec le milieu.

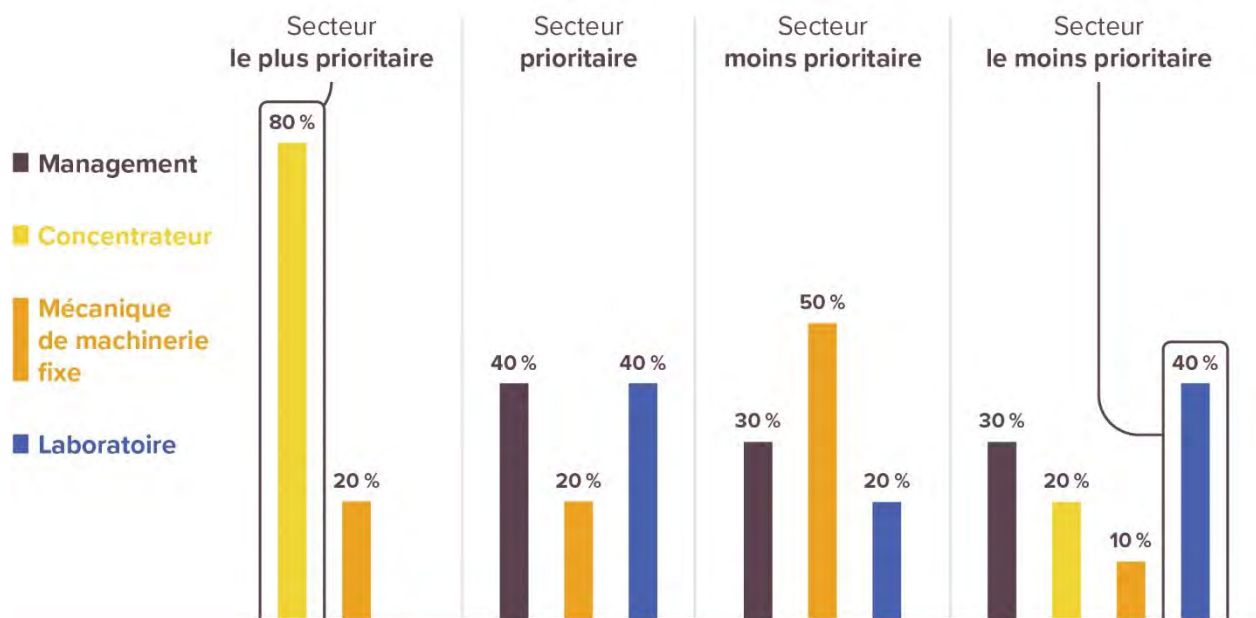
Pour finir, en ce qui a trait aux compétences de la main-d’œuvre de l’usine de traitement du minerai des exploitations actuelles et futures de lithium et de graphite au Québec, l’enquête s’est attardée à mettre en lumière les priorités de ces exploitations en matière d’actualisation des compétences, et ce, en fonction de la catégorie de main-d’œuvre (**figure 9**) et du secteur de l’usine de traitement du minerai (**figure 10**).

Figure 9 – Priorité accordée à l’actualisation des compétences selon la catégorie de postes



Question : Veuillez classer les catégories suivantes de la main-d’œuvre de l’usine de traitement du minerai en fonction du niveau de priorité dans l’actualisation des compétences (de la catégorie la plus prioritaire « 1 » à la catégorie la moins prioritaire « 3 »).

Figure 10 – Priorité accordée à l’actualisation des compétences selon le secteur de l’usine de traitement du minéral



Question : Veuillez classer les secteurs suivants de l’usine de traitement du minéral en fonction du niveau de priorité dans l’actualisation des compétences du personnel (du secteur le plus prioritaire pour l’actualisation des compétences « 1 » au secteur le moins prioritaire pour l’actualisation des compétences « 4 »).

La **figure 9** montre que les mines et les projets miniers de lithium et de graphite considèrent dans leur majorité (80 %) que la catégorie « prioritaire » de main-d’œuvre de leur usine de traitement du minéral qui doit ou qui devra actualiser ses compétences pour être à même de relever optimalement les enjeux propres à la conduite de leurs opérations est celle des « opératrices ou opérateurs » (formation professionnelle). En ce qui a trait à la catégorie de main-d’œuvre devant « relativement prioritairement » actualiser ses compétences, la majorité des mêmes mines et projets miniers estiment que ce sont les techniciennes et les techniciens (formation collégiale) qui sont concernés alors que les personnes occupant des professions universitaires sont considérées comme une catégorie de main-d’œuvre dont il s’avère « moins prioritaire » d’actualiser les compétences.

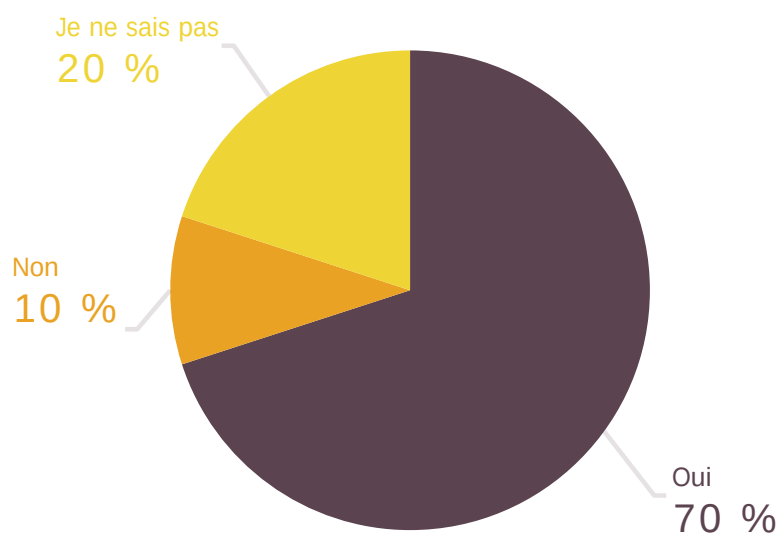
Quant à elle, la **figure 10** illustre que le secteur de l’usine de traitement du minéral que les mines et projets miniers de lithium et de graphite entendent prioriser en matière d’actualisation des compétences de la main-d’œuvre est le « concentrateur ». Les secteurs de la « mécanique de machinerie fixe », du « management » et enfin du « laboratoire » suivent quant à eux dans cet ordre en matière de priorité, mais apparaissent comme étant moins primordiaux aux yeux des mines et des projets miniers relativement à la priorité majeure accordée au secteur du « concentrateur ».

Lorsqu'elles sont analysées ensemble, les données des **figures 9 et 10** témoignent du fait que les opératrices et les opérateurs (formation professionnelle) travaillant dans le secteur « concentrateur » de l'usine de traitement du minerai représentent la catégorie de main-d'œuvre faisant l'objet de la plus grande priorisation des mines et projets miniers de lithium et de graphite en matière d'actualisation des compétences, faisant ainsi écho aux informations de la **figure 8** selon lesquelles le poste d'opératrice ou d'opérateur de machines de traitement du minerai figure au premier rang à cet égard.

3.1.3 Besoins en matière de formation

La troisième grande thématique abordée lors de l'enquête menée auprès des mines et projets miniers de lithium et de graphite a porté sur les besoins de formation afférents aux compétences recherchées chez la main-d'œuvre travaillant à l'usine de traitement du minerai de ces exploitations actuelles ou futures. Les mines et projets miniers ont d'abord été amenés à se positionner sur la pertinence d'actualiser les programmes de formation ou d'études existants ou d'en créer de nouveaux afin de répondre aux besoins de compétences de la main-d'œuvre de l'usine de traitement du minerai. La **figure 11** montre que la majorité (70 %) des exploitations voient positivement l'actualisation ou la création de programmes, tandis que 20 % estiment ne pas pouvoir se positionner et que 10 %, soit une exploitation, indiquent que « non », l'adaptation de l'offre de formation n'est pas bénéfique pour elle.

Figure 11 – Bénéfice attendu de l'actualisation ou de la création de nouveaux programmes d'études ou de formation



Question : Pour répondre à vos besoins (actuels ou futurs) de main-d'œuvre et/ou de compétences, est-ce que l'actualisation ou la création de nouveaux programmes d'études ou de formation pourrait être bénéfique pour votre entreprise?

Les données de la **figure 11** non seulement témoignent de l'existence de besoins de formation associés aux compétences requises dans les usines de traitement du minerai des exploitations de lithium et de graphite tels que ces compétences ont été détaillées précédemment, mais montrent également que la formation en entreprise ne sera pas la seule envisagée par les mines ainsi que les projets miniers et que les établissements d'enseignement du Québec, par l'entremise de leur formation initiale ou continue, seront appelés à jouer un rôle dans la qualification de la main-d'œuvre des usines de traitement du minerai des exploitations de lithium et de graphite. Le **tableau 8** permet d'enrichir les réponses de la **figure 11** puisqu'il contient les informations fournies par les exploitations à propos des programmes d'études ou de formation qui devraient être actualisés en priorité.

Tableau 8 – Programmes d'études ou de formation à actualiser en priorité

Mine ou projet minier ayant fourni une réponse	Minerai traité à l'usine de traitement	
	Lithium	Graphite
Exploitation 1		[Actualiser ou créer en priorité des programmes d'études ou de formation relativement à la] « concentration du graphite »
Exploitation 2	[Actualiser en priorité les programmes d'études relativement à la formation des] « métallurgistes »	
Exploitation 3	[Actualiser la] « formation pour l'opération des machines de traitement de minerai en fonction de la flottation du lithium, car les décisions d'opération ont un impact direct et significatif sur les revenus »	
Exploitation 4	[Actualiser la formation pour les opératrices ou les] « opérateurs de concentrateur ou [l'] équivalent »	
Exploitation 5		[Actualiser la formation des] : • « géologues » • « métallurgistes » • « [ingénieures et] ingénieurs électriques » • « [coordonnatrices et] coordonnateurs environnementaux et des relations avec la communauté »
Exploitation 6	[Actualiser les formations suivantes] : • « DEP en conduite de machines de traitement du minerai » • « Technique [DEC] de métallurgie [minéralurgie] [Technologie minérale – Spécialisation Minéralurgie] »	
Exploitation 7		[Actualiser en priorité des programmes d'études ou de formation de manière à enseigner] : • « [les] notions d'instrumentation et de contrôle [pour qu'elles soient] intégrées dans les programmes de niveau secondaire (DEP) » • « [la] chimie analytique inorganique »

Question : Veuillez indiquer les programmes de formation ou d'études à actualiser en priorité.

Le **tableau 8** permet de constater que les besoins de formation qui sont exprimés par les mines ainsi que les projets miniers de lithium et de graphite s'inscrivent en cohérence avec les compétences recherchées par ces mêmes exploitations en ce qui concerne les emplois dans les usines de traitement du minerai. En effet, les besoins de formation qui ressortent du **tableau 8** portent de manière prépondérante sur l'optimisation du travail de la main-d'œuvre, et ce, plus spécifiquement en ce qui a trait aux tâches liées au procédé de traitement du minerai et à l'automatisation ainsi qu'à la numérisation des équipements, c'est-à-dire des besoins en adéquation avec les compétences recherchées telles qu'elles ont été décrites précédemment.

En complément du **tableau 8** portant sur les programmes d'études ou de formation à actualiser en priorité, le **tableau 9** présente les réponses des mines et des projets miniers de lithium et de graphite à propos des programmes d'études ou de formation à créer en priorité. Comme il est possible de le constater, les exploitations insistent tout particulièrement sur l'importance de créer des programmes « spécifiques » pour les personnes apprenantes se destinant à travailler dans une usine de traitement du minerai afin que la réalité propre à cet environnement de travail soit au cœur des apprentissages. De nouvelles formations pleinement adaptées à la réalité des nouvelles usines de traitement de lithium et de graphite non seulement en matière de mécanique et de maintenance d'équipements hautement automatisés, mais également en ce qui concerne les procédés de traitement spécifiques et hautement optimisés de ces usines représentent les principales réclamations.

Tableau 9 – Programmes de formation ou d'études à créer en priorité

Mine ou projet minier ayant fourni une réponse	Minerai traité à l'usine de traitement	
	Lithium	Graphite
Exploitation 1	« Formation spécifique sur le terrain pour le traitement du minerai »	
Exploitation 2	« Il devrait [y] avoir une formation de [mécanicienne et de] mécanicien industriel spécifique aux équipements de traitement de minerai »	
Exploitation 3		« Oui, [créer en priorité des programmes portant sur] la technologie métallurgique et [la] transformation du graphite de manière plus efficace et environnementale »
Exploitation 4	« Programme de formation de la main-d'œuvre spécifique à la maintenance d'équipements et de machines fixes de traitement du minerai tel que cela se fait dans l'agriculture »	
Exploitation 5		« Compte tenu du peu de [finissantes et de] finissants dans ces programmes [programmes d'études abordant la chimie et la minéralurgie] et les besoins pour les compétences qui y sont développées, des formats AEC (Attestation d'études collégiales) ou COUD (Programme de formations de courte durée) [seraient à privilégier] pour le personnel déjà à l'emploi. »

Question : Outre les programmes mentionnés précédemment (**tableau 8**), est-ce que des programmes de formation ou d'études seraient à créer en priorité pour répondre à vos besoins de main-d'œuvre et/ou de compétences?

L'enquête menée auprès des mines et des projets miniers de lithium et de graphite a permis de mettre en lumière les compétences dont le développement s'avère particulièrement important pour le succès des opérations de traitement du minerai de ces exploitations actuelles ou futures. Ces mêmes mines et projets miniers ont également dévoilé leur vision quant aux formations qui pourraient s'avérer pertinentes pour répondre aux besoins de qualification et de développement de compétences de leur main-d'œuvre. Ce faisant, un accent particulier a été mis sur l'importance de s'assurer que les travailleuses et les travailleurs employés possèdent des compétences suffisantes concernant les paramètres d'opération propres aux procédés de traitement du lithium ou du graphite (en particulier à l'étape de la flottation) ainsi qu'en matière d'opération et de maintenance d'équipements automatisés et numérisés. À cet égard, le poste d'opératrice ou d'opérateur de machines de traitement du minerai (et donc la formation associée à l'exercice de ce métier) a ainsi été identifié comme celui étant le plus à prioriser en matière d'actualisation des compétences pour travailler dans une usine de traitement de lithium ou de graphite. Finalement, la majorité (70 %) des mines et des projets miniers de lithium et de graphite estiment que l'actualisation ou la création de nouveaux programmes d'études ou de formation pourrait être bénéfique pour leur entreprise, ce qui amène certaines de ces exploitations à envisager les collaborations possibles à mettre en place afin de s'assurer que l'offre de formation disponible est à la hauteur des besoins de formation exprimés, et ce, comme l'illustre le témoignage ci-dessous :



En sachant que la majorité des projets de lithium seront potentiellement en opération d'ici 2 à 3 ans, les futures opérations devront s'impliquer avec les centres de formation pour accélérer l'actualisation des programmes de formation face au lithium



- Une personne répondante
pour un projet minier de lithium

3.2 Enquête menée auprès des établissements d'enseignement et des organismes de recherche du Québec concernés par la formation minière en matière de traitement du minerai

Dans le cadre de l'enquête réalisée auprès des établissements d'enseignement ainsi que des organismes de recherche et de formation concernés par la formation minière en matière de traitement du minerai, l'objectif était avant tout de mieux comprendre leur point de vue en ce qui concerne l'impact de la croissance significative du traitement des minerais de lithium et de graphite par l'industrie sur les programmes d'études ou de formation. Ces organisations ont ainsi été invitées à se positionner au sujet de trois grandes thématiques, soit :

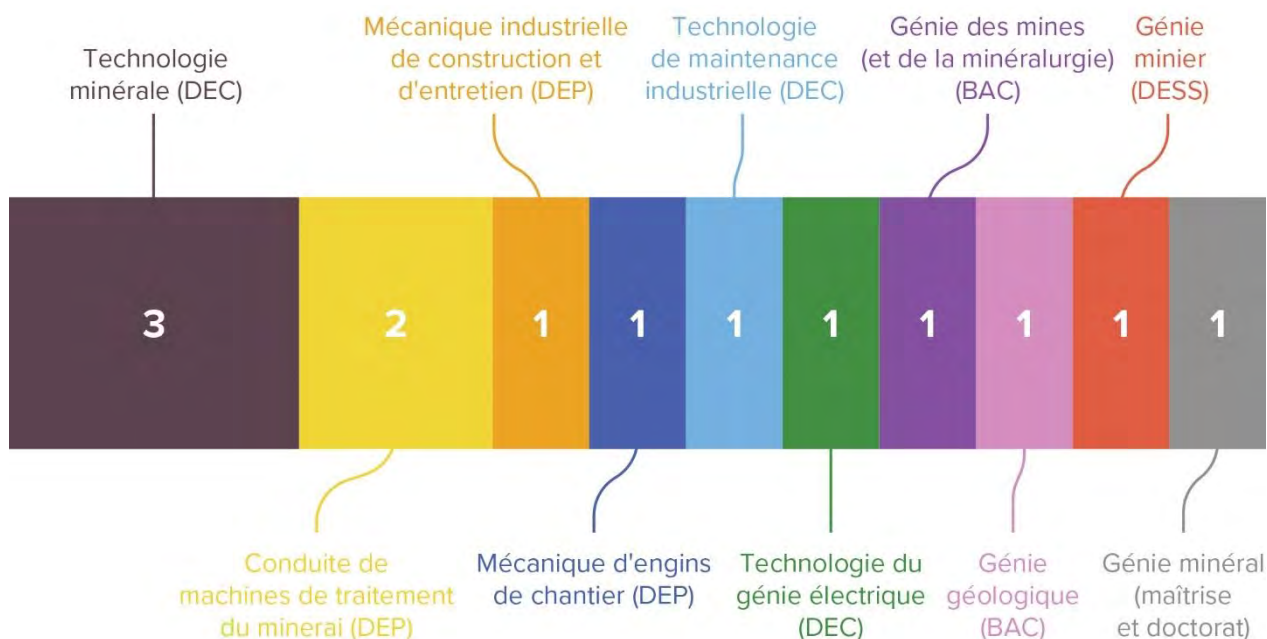
1. Les programmes d'études ou de formation à prioriser dans le cadre d'un processus d'actualisation de l'offre de formation (les informations à ce propos ont été uniquement collectées auprès des établissements d'enseignement);
2. Les compétences devant faire l'objet d'une attention particulière en cas d'actualisation de l'offre de formation;
3. Les principaux enjeux en ce qui a trait à cette question.

La prise en considération des informations recueillies auprès des établissements d'enseignement et des organismes de recherche et de formation permet de faire émerger un portrait plus détaillé de leur positionnement en ce qui concerne ces thématiques.

3.2.1 Les programmes d'études ou de formation à prioriser dans le cadre d'un processus d'actualisation de l'offre de formation

En premier lieu, les intervenantes et les intervenants des établissements d'enseignement ont été invités à faire le point sur les programmes d'études ou de formation offerts dans leur propre établissement d'enseignement pouvant potentiellement être concernés par les enjeux associés au traitement du graphite et du lithium. Chacun des établissements avait ainsi le loisir de mentionner plusieurs programmes. La **figure 12** révèle les réponses fournies à cet égard.

Figure 12 – Programmes d’études ou de formation pouvant potentiellement être concernés par les enjeux associés au traitement du graphite et du lithium



Question : Selon vous, quel(s) programme(s) offert(s) dans votre établissement d'enseignement peut (peuvent) potentiellement être concerné(s) par les enjeux associés au traitement du graphite et du lithium?

Comme il est possible de le constater, les programmes qui recueillent le plus de mentions de la part des établissements d'enseignement sont *Technologie minérale* (DEC) et *Conduite de machines de traitement du minerai* (DEP). Par la suite, les établissements d'enseignement ont été invités à préciser leur choix en sélectionnant le programme d'études ou de formation qui devrait être priorisé en tout premier lieu dans le cadre d'un processus d'actualisation visant à répondre aux besoins des mines de lithium et/ou de graphite en matière de traitement du minerai. Dans leur réponse, les établissements d'enseignement devaient se limiter au choix d'un seul programme, et ce, parmi l'ensemble des programmes offerts au Québec sans tenir compte du fait que leur établissement offre ou non le programme considéré comme prioritaire. Le **tableau 10** dévoile le programme retenu par les établissements d'enseignement ainsi que les raisons expliquant leur choix.

Tableau 10 – Programme d'études ou de formation offert au Québec et qui serait à prioriser en vue d'un processus d'actualisation visant à répondre aux besoins des mines de lithium et/ou de graphite en matière de traitement du minerai

Établissement d'enseignement	Programme d'étude ou de formation	Explication
Centre de formation professionnelle A	<i>Conduite de machines de traitement du minerai</i>	s. o.
Centre de formation professionnelle B	<i>Conduite de machines de traitement du minerai</i>	« Il est nécessaire de le revoir [ce programme de formation] pour laisser une plus grande marge de manœuvre selon le procédé [de traitement du minerai] de la minière et [également afin de] revoir les préalables [d'admission au programme de formation]. »
Centre de formation professionnelle C	<i>Conduite de machines de traitement du minerai</i>	« <i>Conduite de machines de traitement du minerai</i> est le programme tout désigné. Comme mentionné, les différents procédés en lien avec la transformation concernent cette formation. »
Cégep A	<i>Technologie minérale</i>	« Notre cégep forme déjà les gens qui travaillent dans ce domaine-là [minéraux critiques et stratégiques] et les techniciennes ainsi que les techniciens sont polyvalents et autonomes. Nous avons d'anciennes étudiantes et d'anciens étudiants qui ont fait des stages dans ce type de mines [lithium et graphite] et ils ont été engagés par la suite. Nous avons des étudiantes et des étudiants qui travaillent dans des centres de recherche ayant travaillé sur les projets en lien avec ces minerais. »
Cégep B	<i>Technologie minérale</i>	« Plusieurs des compétences associées à ce programme ont un lien direct avec les mines, la concentration des minéraux et l'extraction métallurgique, principalement dans la spécialisation <i>Minéralurgie</i> »
Cégep C	<i>Technologie minérale</i>	« Le programme de <i>Technologie minérale</i> est basé sur une analyse de situation de travail de la technicienne et du technicien qui date de 1998. Bien que plusieurs portions du programme nous offrent une flexibilité adéquate, d'autres, en revanche, sont moins adaptables ou encore moins bien orientées. La spécialisation « <i>Minéralurgie</i> » est principalement orientée vers les essais en laboratoire alors qu'une composante « opération » serait appréciée par l'industrie. »
Université A	<i>Baccalauréat en génie des mines et de la minéralurgie⁷</i>	« [Ce programme d'études est nécessaire] pour former des ingénieures et des ingénieurs dans le domaine du traitement du minerai qui pourront travailler directement dans l'industrie minière ou se spécialiser davantage via une maîtrise ou un doctorat. »
Université B	<i>Technologie minérale</i>	s. o.

Question : Parmi tous les programmes offerts au Québec, lequel serait, selon vous, à prioriser en vue d'un processus d'actualisation visant à répondre aux besoins des mines de lithium et/ou de graphite en matière de traitement du minerai (merci d'indiquer un seul programme) et pourquoi?

⁷ En fonction des universités, ce programme d'études est également connu sous l'appellation « baccalauréat en génie des mines » ou encore « *Bachelor of Mining Engineering* ».

Comme le révèle le **tableau 10**, les établissements d'enseignement priorisent trois programmes d'études ou de formation en ce qui concerne l'enclenchement d'un processus d'actualisation visant à mieux répondre aux besoins des mines de lithium et/ou de graphite en matière de traitement du minerai, soit :

- ^ *Technologie minérale* (4 mentions);
- ^ *Conduite de machines de traitement du minerai* (3 mentions);
- ^ *Baccalauréat en génie des mines et de la minéralurgie* (1 mention).

À la suite de cette priorisation établie par les établissements d'enseignement, il s'avère particulièrement intéressant de relever deux éléments :

- ≥ D'abord, **le niveau de consensus assez important qui se dégage de cette sélection** et qui découle non seulement d'une vision relativement semblable des établissements d'enseignement relativement à cet enjeu, mais également du fait que deux établissements ont priorisé des programmes de formation ou d'études qu'ils n'offrent pas, ou qui ne sont pas offerts par l'ordre d'enseignement auquel ils appartiennent (ce qui a d'autant plus contribué à renforcer le consensus);
- ≥ Ensuite, **la similarité entre la priorisation des établissements d'enseignement et celle des mines ainsi que des projets miniers**. En effet, un examen comparatif des informations fournies par les établissements d'enseignement au **tableau 10** et de celles fournies par les exploitations minières de lithium et de graphite actuelles et futures aux **figures 5, 6 et 7** révèle des visions similaires entre ces deux groupes de répondants. Le **tableau 11** regroupe en un seul tableau la priorisation des établissements d'enseignement ainsi que celle des mines et des projets miniers.

Tableau 11 – Priorisation des établissements d’enseignement comparativement à celle des mines et des projets miniers relativement à l’actualisation des programmes (établissements d’enseignement) et des compétences (mines et projets miniers)

Ordre d’enseignement	Priorisation des établissements d’enseignement en matière de programmes nécessitant une actualisation	Priorisation des mines et des projets miniers de lithium et de graphite en matière de postes nécessitant une actualisation des compétences
Formation professionnelle	<i>Conduite de machines de traitement du minerai</i>	Opératrice ou opérateur de machines de traitement du minerai (<i>choix de 60 % des exploitations répondantes</i>)
Formation collégiale	<i>Technologie minérale</i>	Technicienne ou technicien de salle de contrôle (<i>choix de 40 % des exploitations répondantes</i>) Technicienne ou de technicien en minéralurgie (<i>Technologie minérale</i>) (<i>choix de 30 % des exploitations répondantes</i>)
Formation universitaire	<i>Baccalauréat en génie des mines et de la minéralurgie</i>	Métallurgiste (<i>choix de 70 % des exploitations répondantes</i>)

Le **tableau 11** témoigne de la vision concordante existante entre les établissements d’enseignement ainsi que les mines et les projets miniers de lithium et de graphite en ce qui concerne leur perception des compétences à actualiser en matière de formation professionnelle et universitaire menant à l’exercice d’un emploi dans les usines de traitement du minerai des exploitations de lithium et de graphite. En ce qui a trait à la formation collégiale, les visions respectives s’avèrent similaires, sans toutefois être parfaitement alignées. En effet, la majorité (40 %) des mines et des projets miniers priorisent une actualisation des compétences liées au poste de technicienne ou technicien de salle de contrôle, soit un poste émergent et en transformation constante qui n’a pas de « qualification le plus couramment demandée » clairement établie. Le poste de technicienne ou de technicien en minéralurgie (*Technologie minérale*) se positionne au second rang, tout juste derrière, puisqu’il constitue le choix de 30 % des mines et des projets miniers en matière de priorité d’actualisation des compétences. Ce dernier choix est quant à lui en cohérence avec celui des établissements d’enseignement collégial.

3.2.2 Les compétences devant faire l’objet d’une attention particulière en cas d’actualisation de l’offre de formation

En second lieu, les établissements d’enseignement ainsi que les organismes de recherche et de formation ont exprimé leurs opinions concernant spécifiquement les compétences devant faire l’objet d’une attention particulière relativement à l’actualisation de l’offre de formation en matière de traitement du lithium et du graphite dans les programmes concernés. Le **tableau 12** synthétise les réponses recueillies à cet égard.

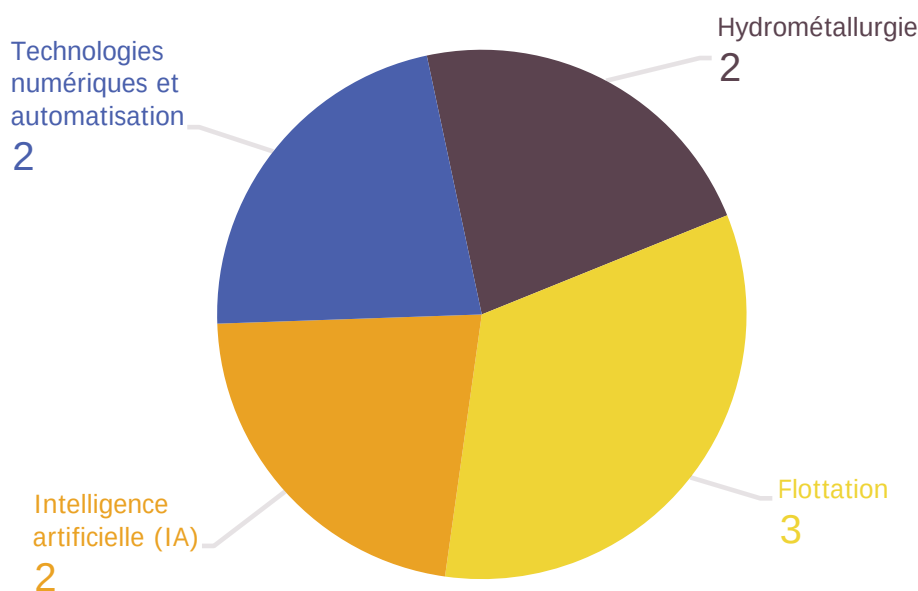
Tableau 12 – Compétences devant faire l'objet d'une attention particulière en cas d'actualisation ou de création de programme(s) en vue de répondre aux besoins de formation des usines de traitement de minerai des mines de lithium et de graphite

Établissement d'enseignement	Explication
Centre de formation professionnelle A	s. o.
Centre de formation professionnelle B	s. o.
Centre de formation professionnelle C	• « Procédé de traitement du minerai »; • « Concentration par procédé physique »; • « Flottation »
Cégep A	• « Effectuer des essais d'hydrométallurgie »
Cégep B	• « Les compétences suivantes du programme de <i>Technologie minérale</i> : Effectuer des essais de flottation Effectuer des essais d'hydrométallurgie » • « Les méthodes d'analyses » • « La concentration des minéraux »
Cégep C	« Le défi [en ce qui a trait à l'acquisition de compétences se situe notamment] au niveau [sic] des contrôles de procédés, [de] l'automatisation et dans une certaine mesure [de] l'intelligence artificielle (IA). »
Université A	« Intégrer les notions d'environnement dans la définition et l'optimisation des procédés de traitement du minerai de graphite et de lithium. »
Université B	s. o.
Organisme A	• « Actualisation du programme collégial de <i>Technologie minérale</i> (DEC) sur les points spécifiques aux usines de traitement de minerai des mines de lithium et de graphite. Par exemple, [intégrer des notions liées à la] préconcentration de minéraux grossiers (trieuses avec l'intelligence artificielle (IA) et <i>Dense Media Séparation</i> ou DMS). » • « Flottation impliquant des lits fluidisés pour les pegmatites » • « Séparation par jets d'air pour le graphite ou autre » • « [Développer les] cours de chimie avec du contenu plus ciblé (par exemple : la caractérisation du graphite) reliant des notions fondamentales avec les aspects pratiques (par exemple : le lien entre la chimie et la minéralogie) »
Organisme B	« Les compétences nécessaires au traitement de tout minerai seront également nécessaires pour le traitement des minerais de lithium et de graphite. S'il faut citer, on peut penser à l'observation, la lecture des paramètres, l'interprétation des données, la minutie, le sens critique, la résolution de problème et avec l'avènement des technologies numériques avoir une certaine facilité avec ces dernières. »

Question : Selon vous, quelles compétences devraient faire l'objet d'une attention particulière en cas d'actualisation ou de création de programme(s) en vue de répondre aux besoins de formation des usines de traitement de minerai des mines de lithium et de graphite?

L'examen du **tableau 12** permet de relever que certaines compétences se démarquent davantage que d'autres dans le discours des établissements d'enseignement et des organismes de recherche et de formation. En effet, certaines d'entre elles ont été mentionnées à plusieurs reprises, témoignant ainsi de l'importance pour les organisations répondantes d'y consacrer une attention particulière. La **figure 13** indique ainsi le nombre de mentions pour chacune des compétences ayant été citées à plusieurs reprises par les établissements d'enseignement et les organismes interrogés.

Figure 13 – Compétences les plus mentionnées par les établissements d'enseignement et les organismes de formation et de recherche



Question : Selon vous, quelles compétences devraient faire l'objet d'une attention particulière en cas d'actualisation ou de création de programme(s) en vue de répondre aux besoins de formation des usines de traitement de minerai des mines de lithium et de graphite?

La **figure 13** montre ainsi que la compétence « flottation » ressort au premier plan des réponses des établissements d'enseignement et des organismes comme étant celle devant faire l'objet de la plus grande attention en cas d'actualisation ou de création de programmes en vue de répondre aux besoins de formation des usines de traitement de minerai des mines de lithium et de graphite. Les autres compétences qui se distinguent en la matière sont celles associées à l'« hydrométallurgie », à l'« intelligence artificielle » ainsi qu'aux « technologies numériques et à l'automatisation ». En plus des compétences citées précédemment, d'autres ont été mentionnées par les participantes et les participants pendant la tenue du groupe de discussion.

Bien qu'elles apparaissent comme étant de prime abord moins prioritaires que celles qui sont mentionnées à la **figure 13**, il s'avère néanmoins pertinent de les citer afin d'en tenir compte dans le cadre de ce projet. Parmi ces compétences figurent notamment :

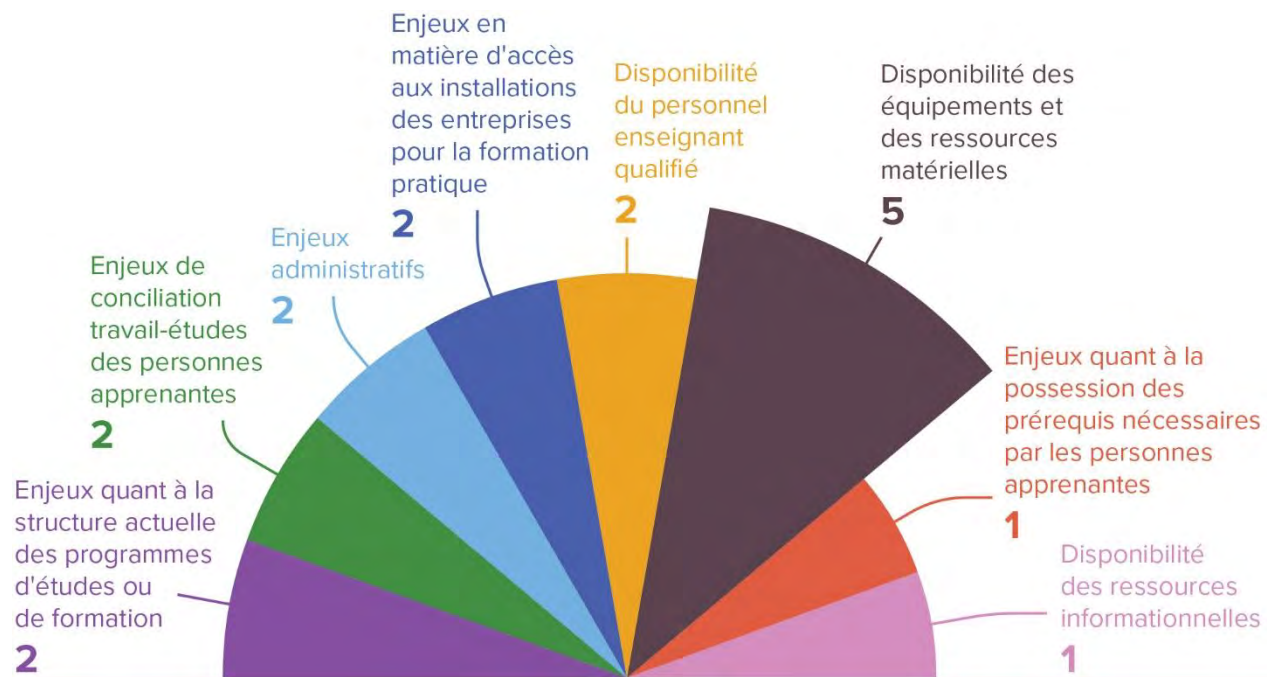
- ≥ la compréhension des notions de base de **chimie**;
- ≥ la compréhension des **propriétés des minéraux traités**;
- ≥ la compréhension des **critères de qualité attendus des produits finaux** et l'importance de ces critères;
- ≥ la capacité à comprendre et à réaliser les **essais minéralurgiques** nécessaires dans un contexte de traitement des minéraux stratégiques;
- ≥ la connaissance de la **géométallurgie** et la capacité de recourir à cette approche;
- ≥ la compréhension et l'application des normes de **santé et de sécurité du travail** qui s'appliquent dans un contexte de travail où des minéraux comme le lithium et le graphite sont traités;
- ≥ la maîtrise de **compétences vertes**.

3.2.3 Les principaux enjeux relativement à l'actualisation de l'offre de formation minière

Finalement, les établissements d'enseignement ainsi que les organismes de recherche et de formation ont révélé leur vision en ce qui concerne les enjeux majeurs associés à l'adaptation de la formation pour répondre aux besoins des mines traitant du lithium et du graphite. Les mêmes organisations ont également exprimé leur positionnement au regard du défi que constitue l'actualisation de la formation minière relativement aux besoins de ces mines en ce qui a trait aux compétences nécessaires à développer pour la main-d'œuvre travaillant à l'usine de traitement du minerai.

D'entrée de jeu, les établissements d'enseignement se sont prononcés relativement aux principaux défis qu'ils prévoient rencontrer afin de pouvoir déployer une offre de formation répondant aux besoins des usines de traitement du minerai des mines de lithium et de graphite. La **figure 14** répertorie les défis mentionnés par les établissements d'enseignement à cet égard en indiquant le nombre de mentions que chacun des défis a reçu de la part des établissements.

Figure 14 – Principaux défis à relever par les établissements d’enseignement pour offrir de la formation aux personnes travaillant ou se destinant à travailler dans les usines de traitement de lithium ou de graphite



Question : Si votre établissement d’enseignement devait à court terme offrir de la formation aux personnes qui travaillent dans les usines de traitement de minéral de lithium et/ou de graphite, quels seraient selon vous les principaux défis rencontrés?

La **figure 14** montre que le défi qui est mentionné par le plus grand nombre d’établissements d’enseignement est celui de la **disponibilité des équipements et des ressources matérielles** nécessaires afin de pouvoir offrir la formation au sein même de l’établissement d’enseignement⁸. Par la suite, les défis qui sont nommés par au moins deux établissements d’enseignement concernent les enjeux en matière :

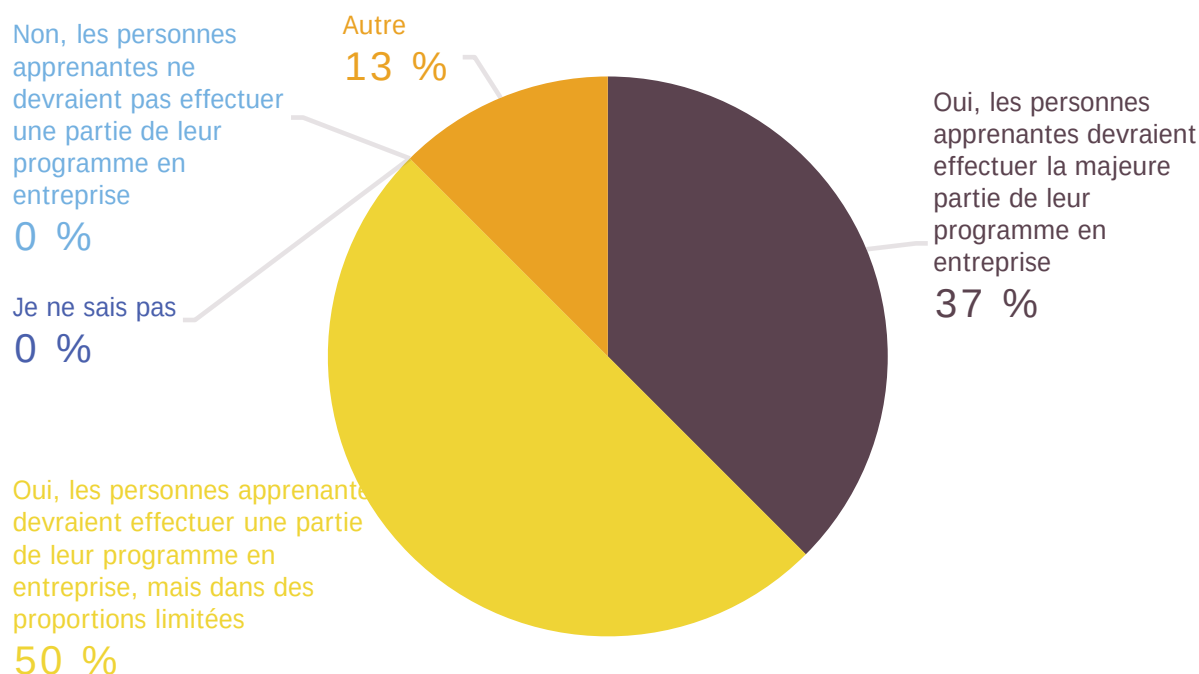
- ^ **De disponibilité du personnel enseignant qualifié** (coûts et temps à investir pour former le personnel enseignant);
- ^ **D’accès aux installations des entreprises pour la formation** (complexité associée au fait d’offrir de la formation dans une usine de traitement en fonction sans nuire à la productivité de l’entreprise, coûts engendrés pour toutes les parties prenantes pour offrir la formation en milieu de travail, etc.);
- ^ **De conciliation travail-études des personnes apprenantes** (complexité associée à la formation de personnes apprenantes déjà sur le marché du travail, enjeux liés à la disponibilité de la clientèle étudiante visée pour suivre une formation, etc.);

⁸ Selon les établissements d’enseignement, cette disponibilité concerne non seulement les équipements (par exemple les machines et les appareils de traitement du minéral), mais également les ressources matérielles (par exemple la disponibilité du minéral et des réactifs requis pour les exercices en laboratoire).

- ^ **De structuration du programme d'études ou de formation** (inadaptation du programme en vigueur actuellement, nécessité de revoir les plans de cours, etc.);
- ^ **De complexités administratives** (autorisations ministérielles, structure de financement de la formation, etc.).

Les informations fournies par les établissements d'enseignement témoignent de la grande diversité des défis que devront relever ceux-ci pour être à même d'offrir les formations attendues par l'industrie. L'enjeu de l'accessibilité aux installations nécessaires afin d'offrir la formation requise représente un défi particulièrement mis de l'avant, et ce, que la formation soit offerte dans les établissements d'enseignement ou encore dans les entreprises. Les établissements d'enseignement ont d'ailleurs exprimé lors de cette enquête leur perception quant à la nécessité de recourir à la formation en entreprise dans le cadre des programmes d'études ou de formation menant à l'exercice d'un métier ou d'une profession recherché par les usines de traitement du minéral des mines de lithium et de graphite. La vision des établissements d'enseignement à cet égard est illustrée dans la **figure 15**.

Figure 15 - Position des établissements d'enseignement quant à la nécessité pour les personnes apprenantes d'effectuer une partie de leur programme en entreprise afin d'acquérir les compétences recherchées

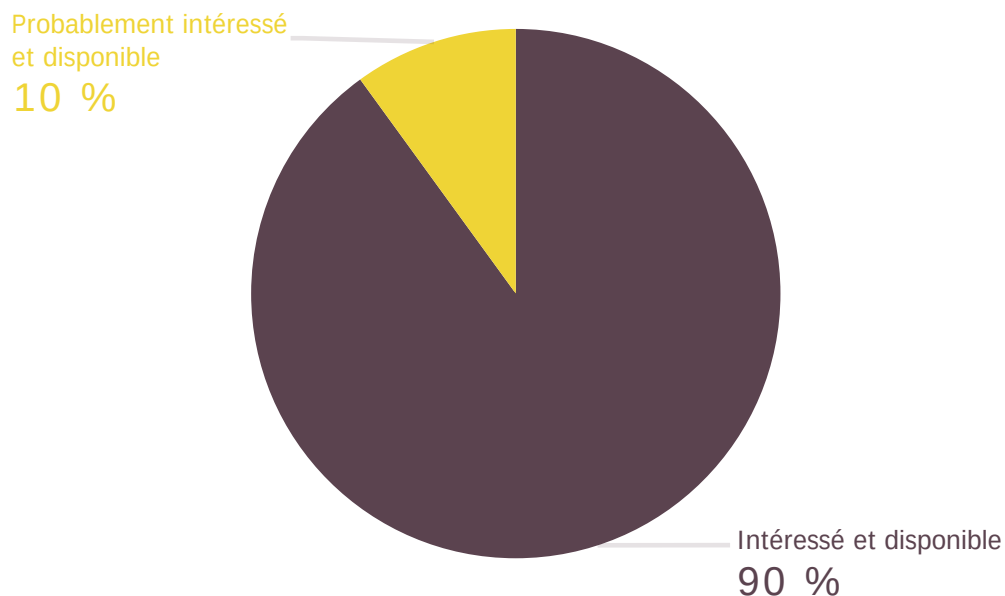


Question : Croyez-vous qu'afin que les personnes apprenantes acquièrent les compétences recherchées par les usines de traitement des mines de lithium et/ou de graphite, celles-ci devraient effectuer une partie de leur programme en entreprise?

La **figure 15** montre que la totalité des établissements d'enseignement concernés par le traitement du minerai considèrent que les personnes apprenantes devraient réaliser une partie de leur programme d'études ou de formation en entreprise, et ce, afin que celles-ci acquièrent les compétences recherchées par les usines de traitement des mines de lithium ou de graphite. Cette réponse est en cohérence avec les informations recueillies et présentées à la **figure 14** selon lesquelles, bien que cela puisse s'avérer difficile, l'accès aux installations, aux équipements et aux ressources matérielles des mines de lithium et de graphite apparaît aux yeux de plusieurs établissements d'enseignement comme étant tout à fait nécessaire pour offrir ce type de formation. Les organisations répondantes n'ont toutefois pas toutes un regard parfaitement similaire sur la question. En effet, 50 % d'entre elles estiment que la formation en entreprise des personnes apprenantes dans le cadre de la réalisation d'un programme d'études ou de formation devra se faire dans « des proportions limitées » alors que 37 % jugent que cette formation devra être suivie en « majeure partie » en entreprise. De plus, un établissement d'enseignement (soit 13 %) a répondu « autre » à cette question et considère que « oui », les personnes apprenantes devraient réaliser une partie de leur programme d'études ou de formation en entreprise, et ce, dans le cadre d'une approche privilégiant l'alternance travail-études.

Finalement, l'enquête a tâché de mieux discerner l'intérêt et la disponibilité des établissements d'enseignement ainsi que des organismes de recherche et de formation pour participer à un processus d'actualisation et/ou de création de programmes visant à répondre aux besoins exprimés par l'industrie. Cette donnée est cruciale dans le cadre de ce rapport, car les prochaines phases de la programmation de recherche reposent principalement, bien que non exclusivement, sur la réalisation d'un travail de collaboration entre l'Institut national des mines et ces établissements d'enseignement afin d'analyser les programmes d'études ou de formation qu'il s'avère nécessaire d'actualiser dans le cadre d'un besoin croissant de l'industrie minière pour l'accès à une main-d'œuvre qualifiée capable de travailler optimalement dans de nouvelles usines de traitement des minerais de lithium et de graphite. La **figure 16** révèle que les établissements d'enseignement et les organismes interrogés se montrent fortement disposés à participer à ce processus puisque 90 % ont répondu « intéressé et disponible » et 10 % « probablement intéressé et disponible ».

Figure 16 – Intérêt et disponibilité des établissements d’enseignement et des organismes pour la participation à un processus d’actualisation et/ou de création de programmes



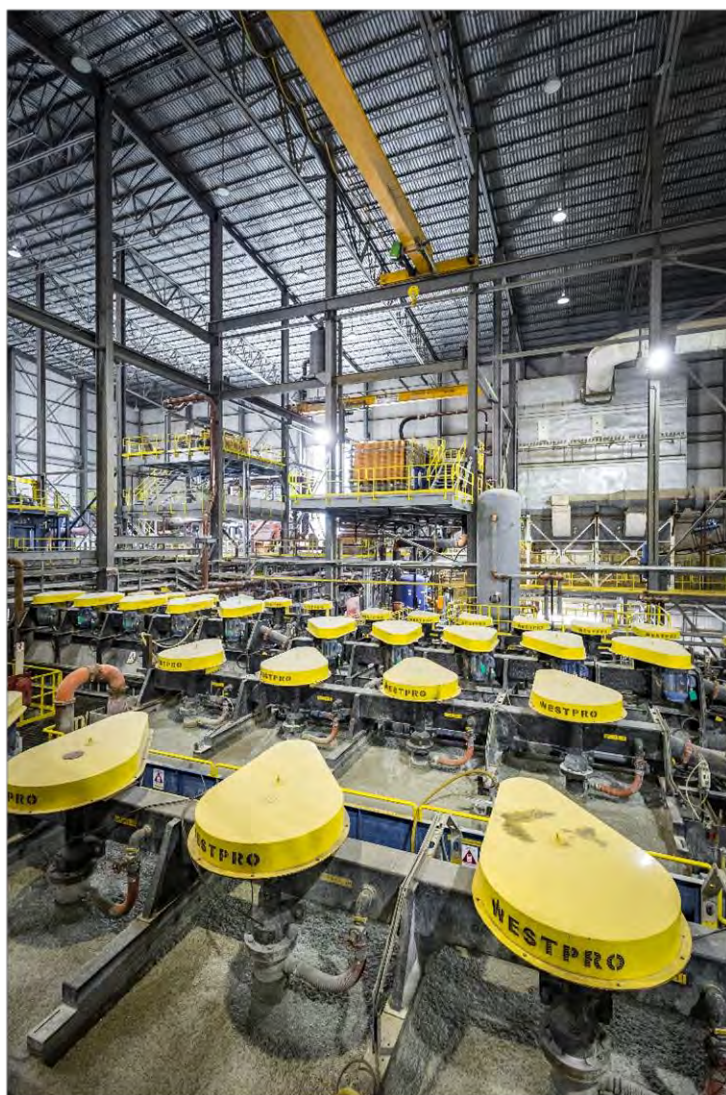
Question : Votre organisation serait-elle intéressée et disponible pour participer à un processus d’actualisation/création de programmes visant à répondre aux besoins exprimés par l’industrie dans le cadre de l’enquête menée par l’Institut?

Les données révélées dans la **figure 16** concluent donc la présentation des résultats de la collecte de données menée auprès des établissements d’enseignement et des organismes de recherche et de formation concernés par la formation de la main-d’œuvre travaillant dans les usines de traitement du minerai des exploitations minières.

Ces résultats permettent d’envisager que le processus d’actualisation de la formation que sous-tend ce rapport (et plus largement la programmation de recherche dans laquelle celui-ci s’inscrit) pourra être mené en pleine collaboration avec les acteurs concernés au premier plan, soit les établissements d’enseignement du Québec offrant de la formation minière et plus particulièrement de la formation reliée au traitement du minerai.

Ce processus d'actualisation de l'offre québécoise de formation devra tenir compte des informations recueillies dans le cadre de cette enquête réalisée auprès des acteurs du monde de l'éducation, dont en premier lieu celles concernant :

- ^ La priorité en matière d'actualisation accordée aux programmes *Technologie minérale* (DEC), *Conduite de machines de traitement du minerai* (DEP) et *Génie des mines et de la minéralurgie* (baccalauréat);
- ^ L'importance accordée à la transmission de certaines compétences, dont en premier lieu celles associées à la « flottation »;
- ^ Les défis anticipés en matière de déploiement d'une offre de formation adaptée, notamment ceux relevant de l'accès aux équipements et aux ressources matérielles nécessaires aux personnes apprenantes dans le cadre de leur formation.



Photographie : Mathieu Dupuis/Sayona

Chapitre 4 : Sélection des programmes d'études et de formation à étudier prioritairement

Dans le cadre de ce rapport, l'objectif consistait principalement, au terme de la réalisation d'une recension des écrits et de collectes de données, à circonscrire, parmi les programmes d'études et de formation les plus recherchés dans les usines de traitement du minerai des exploitations minières, lesquels devraient prioritairement faire l'objet d'un examen en vue d'une potentielle actualisation visant à mieux répondre aux besoins des mines de lithium et de graphite. Au terme de la réalisation du présent rapport, il convient donc de synthétiser l'ensemble des informations colligées. Le **tableau 13** montre de quelle manière les trois critères suivants, qui ont été retenus comme critères d'analyse, sont appliqués pour en arriver à définir un pointage pour chaque programme :

1. Le classement des programmes (en fonction des postes associés) dans la liste des postes les plus en demande selon l'étude *Estimation des besoins de main-d'œuvre du secteur minier 2023-2028* (CSMO Mines et Institut national des mines, 2023);
2. L'importance accordée au développement ou à l'actualisation d'une formation (en fonction des postes associés) selon les mines et les projets miniers de lithium et de graphite du Québec;
3. L'importance accordée au développement ou à l'actualisation d'une formation selon le point de vue des établissements d'enseignement et des organismes de recherche et de formation.

Tableau 13 – Présentation des échelles et description du pointage alloué pour chaque critère d'évaluation

Pointage	Critère 1 Classement du programme (en fonction des postes associés) dans la liste des 10 postes les plus en demande selon l'étude <i>Estimation des besoins de main d'œuvre du secteur minier 2023 2028</i>	Critère 2 Classement du programme (en fonction des postes associés) par ordre d'importance d'actualisation selon les exploitations minières	Critère 3 Classement du programme par ordre d'importance d'actualisation selon les établissements d'enseignement
5	Programme le plus recherché parmi les programmes offerts dans cet ordre d'enseignement	Première place parmi les programmes devant être actualisés en priorité	Première place parmi les programmes devant être actualisés en priorité
4	Deuxième ou troisième programme le plus recherché parmi les programmes offerts dans cet ordre d'enseignement	Deuxième place parmi les programmes devant être actualisés en priorité	Deuxième place ou moins parmi les programmes devant être actualisés en priorité
3	Quatrième ou cinquième programme le plus recherché parmi les programmes offerts dans cet ordre d'enseignement	Troisième place parmi les programmes devant être actualisés en priorité	Troisième place ou moins parmi les programmes devant être actualisés en priorité
2	Sixième ou septième programme le plus recherché parmi les programmes offerts dans cet ordre d'enseignement	Quatrième place parmi les programmes devant être actualisés en priorité	Quatrième place ou moins parmi les programmes devant être actualisés en priorité
1	Huitième (ou en deçà) programme le plus recherché parmi les programmes offerts dans cet ordre d'enseignement	Cinquième place ou moins parmi les programmes devant être actualisés en priorité	Cinquième place ou moins parmi les programmes devant être actualisés en priorité

Suivant l'affectation du pointage tel qu'il est décrit dans le **tableau 13**, le **tableau 14** présente le pointage obtenu par chacun des programmes d'études ou de formation qui représente la formation le plus couramment exigée pour occuper chacun des postes présents dans la *Liste des métiers et professions de l'usine de traitement du minerai dans les mines du Québec*⁹.

Tableau 14 – Pointage obtenu par chacun des programmes d'études ou de formation selon les critères d'évaluations établis

Programme d'études ou de formation	Critère 1 Classement du programme (en fonction des postes associés) dans la liste des 10 postes les plus en demande	Critère 2 Classement du programme par ordre d'importance d'actualisation selon les exploitations minières	Critère 3 Classement du programme par ordre d'importance d'actualisation selon les établissements d'enseignement	Pointage total
<i>Conduite de machines de traitement du minerai (DEP)</i>	3	5	4	12
<i>Mécanique industrielle de construction et d'entretien (DEP)</i>	2	1	1	4
<i>Technologie minérale – Spécialisation Minéralurgie (DEC)</i>	1	4	5	10
<i>Technologie de maintenance industrielle (DEC)</i>	1	1	1	3
<i>Techniques de laboratoire – Spécialisation Chimie analytique (DEC)</i>	1	1	1	3
<i>Technologie du génie électrique – Spécialisation Automatisation et contrôle (DEC)</i>	1	1	1	3
<i>Génie chimique (BAC)</i>	1	4	1	6
<i>Génie des mines et de la minéralurgie (BAC)</i>	1	4	3	8
<i>Génie mécanique (BAC)</i>	1	1	1	3

⁹ La Liste des métiers et professions de l'usine de traitement du minerai dans les mines du Québec est disponible à l'**annexe I**.

Le **tableau 14** permet de constater que des programmes d'études ou de formation se distinguent particulièrement pour faire partie de la liste restreinte de programmes à étudier en priorité en vue d'une actualisation. En effet, ce sont ceux qui ont obtenu un pointage total supérieur à 8 points. En deçà de ce pointage, il est considéré que les programmes ne devraient pas se retrouver sur la liste parce qu'ils n'ont pas suffisamment été priorisés par les parties prenantes consultées ainsi que dans les prévisions de besoins de main-d'œuvre.

Par conséquent, dans le cadre de sa programmation de recherche, l'Institut national des mines établit que la liste restreinte des programmes d'études ou de formation est la suivante :

- ^ *Conduite de machines de traitement du minerai* (DEP)
(pointage total de 12)
- ^ *Technologie minérale – Spécialisation Minéralurgie* (DEC)
(pointage total de 10)
- ^ *Génie des mines et de la minéralurgie* (BAC)
(pointage total de 8)

Conclusion

Compte tenu des constats réalisés par d'autres États exploitant des minéraux critiques et stratégiques (MCS), comme les États-Unis et l'Australie, et à la lumière de l'état des lieux sur les besoins de formation des mines de MCS au Québec, il apparaît crucial que l'ensemble des acteurs concernés par la formation minière réfléchissent aux changements nécessaires à mettre en place pour s'assurer que les projets miniers en cours et à venir pourront bénéficier d'une main-d'œuvre pleinement qualifiée.

Dans le cadre de ce rapport, l'Institut national des mines a cherché à approfondir et à étayer sa réflexion en ce qui a trait à l'impact du développement de nouvelles mines de MCS sur l'évolution de l'offre de formation minière au Québec. Pour y arriver, deux questions ont structuré la démarche de l'Institut :

- ^ Quels sont les besoins de formation pour la main-d'œuvre travaillant dans les usines de traitement du minerai des mines de lithium et de graphite au Québec?
- ^ Quels programmes d'études ou de formation du Québec pourraient être influencés par l'accroissement des activités minières associées au traitement des minerais de lithium et de graphite?

À la suite de la réalisation de ce rapport, plusieurs besoins de formation ont été identifiés. En premier lieu, les organisations répondantes ont indiqué que la formation des opératrices et des opérateurs ainsi que des techniciennes et des techniciens en matière de flottation, une étape du procédé de traitement de minerai qui a été considérée comme étant cruciale de se préoccuper, est à prioriser. Ensuite, grâce à une analyse par critères, trois programmes d'études ou de formation, dont il s'avérerait pertinent d'évaluer le contenu afin de valider son adéquation avec les besoins des mines qui traitent ou entendent traiter des MCS, ont été retenus. Il s'agit des programmes suivants :

- ≥ *Conduite de machines de traitement du minerai* (DEP);
- ≥ *Technologie minérale – Spécialisation Minéralurgie* (DEC);
- ≥ *Génie des mines et de la minéralurgie* (BAC).

Les résultats qui émergent de ce rapport permettent à l'Institut national des mines d'établir la programmation de recherche sur l'impact du traitement des minéraux critiques et stratégiques (MCS) sur la formation minière au Québec. En effet, grâce à l'identification des besoins de formation des usines de traitement du minerai des mines de lithium et de graphite ainsi qu'à la sélection des programmes d'études ou de formation devant être actualisés pour s'adapter à ces besoins, la seconde phase de cette programmation de recherche peut s'enclencher.

Cette seconde phase consistera à analyser le contenu de chacun des programmes d'études ou de formation retenus afin de déterminer dans quelle mesure les compétences nécessaires pour travailler optimalement dans les mines de MCS y figurent. Il sera alors possible de voir si des compétences requises sont considérées comme manquantes et, le cas échéant, de recommander des modifications.

Annexes

Annexe I – Liste des métiers et professions de l’usine de traitement du minerai dans les mines du Québec

Usine de traitement du minerai

Management

Appellation d’emploi	Diplôme le plus couramment demandé
Directrice ou directeur et/ou surintendante ou surintendant de l’usine de traitement du minerai	Génie des mines et de la minéralurgie (BAC)
Métallurgiste	Génie des mines et de la minéralurgie (BAC)
Technicienne ou technicien en minéralurgie	Technologie minérale – Spécialisation Minéralurgie (DEC)

Concentrateur

Appellation d’emploi	Diplôme le plus couramment demandé
Contremaîtresse/contremaître, coordonnatrice/coordonnateur ou superviseuse/superviseur de production et/ou de transformation	Conduite de machines de traitement du minerai (DEP)
Analyste	Technologie minérale – Spécialisation Minéralurgie (DEC)
Technicienne ou technicien de salle de contrôle	Technologie minérale – Spécialisation Minéralurgie (DEC)
Opératrice ou opérateur de machines de traitement de minerai	Conduite de machines de traitement du minerai (DEP)
Journalière ou journalier	Conduite de machines de traitement du minerai (DEP)

Mécanique de machinerie fixe

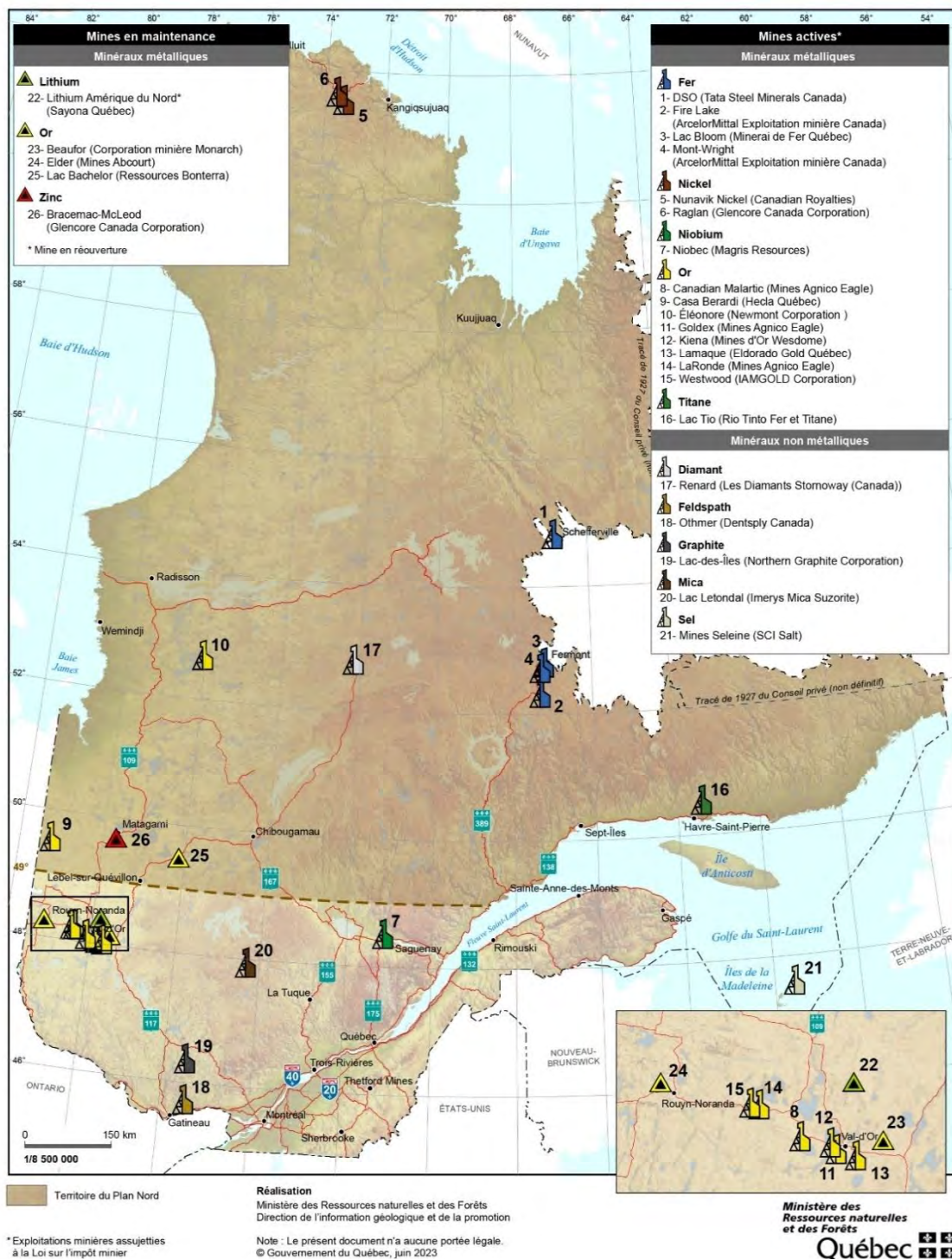
Appellation d’emploi	Diplôme le plus couramment demandé
Ingénieure ou ingénieur en mécanique industrielle	Génie mécanique (BAC)
Planificatrice ou planificateur – Mécanique fixe	Technologie de maintenance industrielle (DEC)
Superviseuse ou superviseur – Mécanique fixe	Technologie de maintenance industrielle (DEC)
Technicienne ou technicien mécanique	Technologie de maintenance industrielle (DEC)
Mécanicienne ou mécanicien industriel	Mécanique industrielle de construction et d’entretien (DEP)
Superviseuse ou superviseur – Automatisation, instrumentation et contrôle	Technologie du génie électrique – Spécialisation Automatisation et contrôle (DEC)
Technicienne ou technicien en automatisation, instrumentation et contrôle	Technologie du génie électrique – Spécialisation Automatisation et contrôle (DEC)

Laboratoire d'analyse

Appellation d'emploi	Diplôme le plus couramment demandé
Chimiste	Génie chimique (BAC)
Cheffe analyste ou chef analyste	Technologie minérale – Spécialisation Minéralurgie (DEC)
Technicienne ou technicien de laboratoire	Techniques de laboratoire – Spécialisation Chimie analytique (DEC)
Préposée ou préposé à la préparation d'échantillons	Diplôme d'études secondaires (DES)
Technicienne ou technicien en minéralurgie	Technologie minérale – Spécialisation Minéralurgie (DEC)

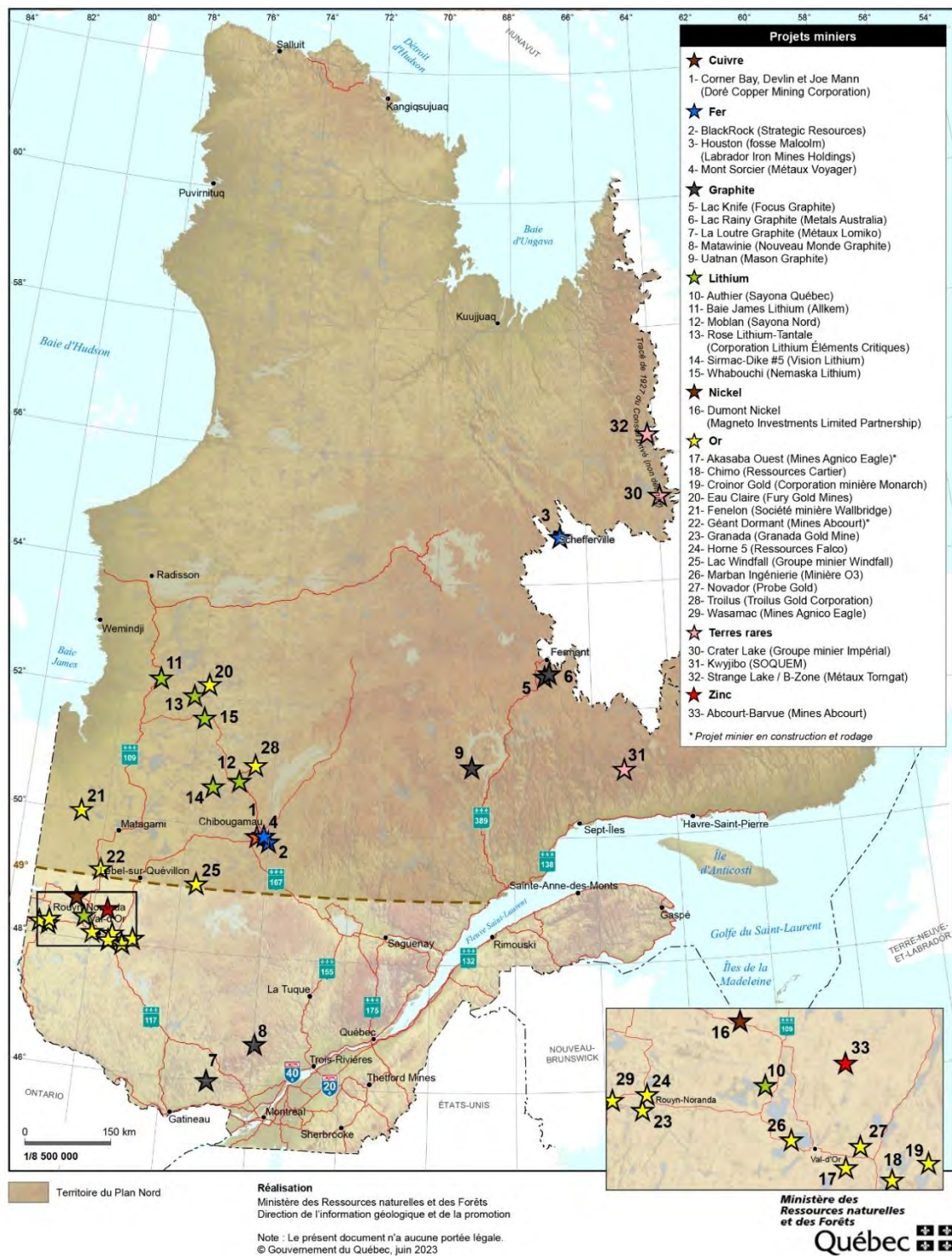
Source : CSMO Mines et Institut national des mines, 2023

Annexe II – Carte des mines actives et en maintenance au Québec en juin 2023



Source : Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, 2023c

Annexe III – Carte des projets miniers au Québec en juin 2023



Source : Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, 2023d

Références

- Agrawal, V. et Sharma, S. (2021). Critical Minerals: Current Challenges and Future Strategies. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 27(3).
https://www.researchgate.net/profile/Vikas-Agrawal-3/publication/351954645_Critical_Minerals_Current_Challenges_and_Future_Strategies/links/60b1ba77299bf1f6d580439c/Critical-Minerals-Current-Challenges-and-Future-Strategies.pdf
- Australian Government - Department of Industry, Science and Resources (2023). *Critical Minerals Strategy: 2023-2030*. <https://www.industry.gov.au/sites/default/files/2023-06/critical-minerals-strategy-2023-2030.pdf>
- Comité sectoriel de main-d'œuvre de l'industrie des mines et Institut national des mines (2023). *Estimation des besoins de main-d'œuvre du secteur minier au Québec 2023-2028 avec tendances 2033*. https://exploreslesmines.com/wp-content/uploads/2023/12/EBMO_2023_rev.pdf
- Comité sectoriel de main-d'œuvre de l'industrie des mines (2023). *Cycle minier*.
<https://exploreslesmines.com/fr/cycle-minier/>
- Fromer, N., Eggert, R. et Lifton, J. (2011). *Critical Materials For Sustainable Energy Applications*.
https://authors.library.caltech.edu/32727/1/ri_criticalmaterials_report.pdf
- Glencore (2023a). *Ce que nous faisons : Fusion et recyclage*.
<https://www.glencore.ca/fr/sudburyino/what-we-do/smelting-and-recycling>
- Glencore (2023b). *Cobalt*. <https://www.glencore.ch/fr/was-wir-tun/metalle-und-mineralien/kobalt#:~:text=M%C3%AAme%20en%20petites%20quantit%C3%A9s%2C%20ce,de%20stocker%20davantage%20d'%C3%A9nergie>.
- Glencore (2023c). *Nickel*. <https://www.glencore.ch/fr/was-wir-tun/metalle-und-mineralien/nickel>
- Jébrak, M. et Hocquard, C. (2021). *Objectif lithium : réussir la transition énergétique*. Montréal : Les Éditions MultiMondes.
- Locmelis, M., Lueking, A., Moats, M., Awuah-Offei, K., Alagha, L., Fitch, M., Krolkowski, A. et Clark, S. (2021). *Findings Report: Virtual Workshop on "Resilient Supply of Critical Minerals"*. Missouri University of Science and Technology, Rolla (Missouri), 2-3 août 2021.
https://scholarsmine.mst.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3022&context=geosci_geo_peteng_facwork
- Ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie (2020). *Stratégie québécoise de développement de la filière batterie*.
https://www.economie.gouv.qc.ca/fileadmin/contenu/documents_soutien/hors_quebec/sommaire_Industrie_batterie.pdf

Ministère des Ressources naturelles et des Forêts (2023a). *Graphite*.
<https://gq.mines.gouv.qc.ca/portail-substances-minerales/graphite/>

Ministère des Ressources naturelles et des Forêts (2023b). *Lithium*.
<https://gq.mines.gouv.qc.ca/portail-substances-minerales/lithium/>

Ministère des Ressources naturelles et des Forêts (2023c). *Mines actives et en maintenance* [Carte].
<https://mrnf.gouv.qc.ca/mines/publications/cartes-minieres/>

Ministère des Ressources naturelles et des Forêts (2020a). *Plan québécois pour la valorisation des minéraux critiques et stratégiques 2020-2025*. https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/energie-ressources-naturelles/publications-adm/plan-strategique/PL_valorisation_mineraux_critiques_strategiques.pdf

Ministère des Ressources naturelles et des Forêts (2020b). *Processus de développement minéral*.
<https://mrnf.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/processus-developpement-mineral.pdf>

Ministère des Ressources naturelles et des Forêts (2023d). *Projets miniers* [Carte].
<https://mrnf.gouv.qc.ca/mines/publications/cartes-minieres/>

Mudd, G., Werner, T., Weng, Z., Yellishetty, M., Yaun, Y., McAlpine, S., Skirrow, R. et Czarnota, K. (2018). *Critical Minerals in Australia: A Review of Opportunities and Research Needs*.
<https://apo.org.au/node/225446>

Office québécois de la langue française (2024a). *Métallurgie*.
<https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/17027722/metallurgie>

Office québécois de la langue française (2024b). *Minéralurgie*.
<https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/17027684/mineralurgie>

Ratcliffe, M. (2022). *Critical Minerals: An industry perspective*. https://uploads-ssl.webflow.com/60529923ea318257ccfcadee/638ec478af44d44d4011d287_SlateAdv_Report_CriticalMinerals.pdf

Ressources naturelles Canada (2022). *Stratégie canadienne sur les minéraux critiques, de l'exploration au recyclage : alimenter l'économie verte et numérique du Canada et du monde entier*.
https://www.canada.ca/content/dam/nrcan-rncan/site/critical-minerals/Critical-minerals-strategy_FR_9dec.pdf

SIDEX (2018). *Explorer pour le cobalt au Québec*. <https://www.sidex.ca/wp-content/uploads/2022/01/sidex-bulletin-cobalt-fr.pdf>

United States Department of Energy (2021). *Critical Minerals and Materials: U.S. Department of Energy's Strategy to Support Domestic Critical Mineral and Material Supply Chains*.
https://www.energy.gov/sites/prod/files/2021/01/f82/DOE%20Critical%20Minerals%20and%20Materials%20Strategy_0.pdf



INSTITUT NATIONAL DES MINES

125, rue Self, Val-d'Or (Québec) J9P 3N2 | 819 825-4667
info@inmq.gouv.qc.ca | **inmq.gouv.qc.ca**