

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

ANALYSE DU PROGRAMME TECHNOLOGIE MINÉRALE

SPÉCIALISATION MINÉRALURGIE

Institut national des mines Québec



Conception, recherche et rédaction
Nicholas Théroux, conseiller Recherche et Projets
Institut national des mines

Collaboration à l'élaboration de la recherche
Anne Rousseau, consultante spécialisée en formation dans le domaine minier

Florian Côté, consultant en analyse et développement de programmes d'études
Collecto

Supervision
Christine Duchesneau, présidente-directrice générale
Institut national des mines

Mise en page et diffusion
Karine Lacroix, coordonnatrice Communications et Partenariats stratégiques
Institut national des mines

Maripier Viger, agente de communication
Institut national des mines

Révision linguistique
Gilles Bordage

Graphisme
Amélie Beaulieu

Page couverture
L'étudiant ajoute de l'eau dans une cellule de flottation de laboratoire dans le but de faire un essai de flottation avec un minerai de zinc. Il apprend à utiliser une cellule de flottation de laboratoire automatisée.
Photographe : Mélodie Roy/Cégep de Thetford

Le présent ouvrage a été produit par l'Institut national des mines et a reçu l'aide financière du ministère des Ressources naturelles et des Forêts dans le cadre de la Stratégie québécoise pour la valorisation des minéraux critiques et stratégiques (SQVMCS). De plus, il s'inscrit en continuité avec l'ouvrage publié en 2024 et intitulé : *Programmation de recherche sur l'impact du traitement des minéraux critiques et stratégiques (MCS) sur la formation minière au Québec : Phase 1 – Recension documentaire et sélection des programmes d'études et de formation à étudier prioritairement.*

Comment citer cet ouvrage :
Institut national des mines (2026). *Programmation de recherche sur l'impact du traitement des minéraux critiques et stratégiques (MCS) sur la formation minière au Québec : Phase 2 – Analyse des programmes d'études et de formation : Programme de formation collégiale – Technologie minérale - Spécialisation Minéralurgie.* Études et rapports. Gouvernement du Québec. Rédigé par Nicholas Théroux, Val-d'Or, 74 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 978-2-555-04053-3 (Imprimé)
ISBN 978-2-555-04054-0 (PDF)

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec
© Gouvernement du Québec, Institut national des mines (2026)

Avant-propos

Le plan stratégique 2023-2028 de l'Institut national des mines prévoit qu'en raison de la transformation rapide du secteur minier, l'organisme doit s'assurer que l'offre de formation minière du Québec reste constamment en adéquation avec la réalité et les besoins de cette industrie. Pour ce faire, l'Institut doit notamment identifier les besoins de formation d'aujourd'hui et de demain du secteur minier québécois. Dans un contexte qui est caractérisé 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 contribue donc à ce que la formation minière offerte au Québec s'actualise en permanence pour que la main-d'œuvre du domaine minier possède toutes les qualifications requises pour exercer son travail de manière optimale dans ce secteur d'activité stratégique. Dans cette optique, le présent document met de l'avant des constats et propose des recommandations concernant l'actualisation du programme de formation collégiale *Technologie minérale – Spécialisation Minéralurgie*. L'objectif est de veiller à ce que ce programme soit en phase avec les besoins de formation et de compétences des mines de lithium et de graphite du Québec.

Ce rapport n'aurait pu être mené à terme sans la collaboration des entreprises de l'industrie minière actives dans le domaine des MCS ainsi que la contribution des établissements d'enseignement collégial du Québec ayant pris part au projet. L'Institut national des mines tient à les remercier pour leur apport majeur à la réalisation de ce document.

Table des matières

Avant-propos 3

Liste des tableaux et figures 5

Lexique et abréviations 6

Résumé 8

Introduction et mise en contexte 11

Objectifs du rapport d'analyse 13

Structure du document 13

Chapitre 1 : Méthodologie 14

1.1. Méthodologie de la recherche 14

1.2. Étape 1 – Collecte d'information auprès des exploitations minières actuelles et futures de lithium et de graphite 16

1.3. Étape 2 – Collecte d'information auprès des techniciennes et des techniciens en minéralurgie à l'emploi des mines et des projets miniers de lithium et de graphite 17

1.4. Étape 3 – Collecte d'information auprès des établissements d'enseignement offrant le programme d'études Technologie minérale - Spécialisation Minéralurgie 19

Chapitre 2 : Synthèse des résultats des collectes documentaire et d'information 20

2.1. Synthèse des informations recueillies auprès des mines et projets miniers de lithium et de graphite du Québec 20

2.2. Synthèse des informations recueillies auprès des techniciennes et des techniciens en minéralurgie à l'emploi de mines ou de projets miniers de lithium et de graphite 38

2.3. Synthèse des informations recueillies auprès des cégeps 47

2.3.1. Devis ministériel du programme d'études 47

2.3.2. Organisation de l'enseignement 48

2.3.3. Contenus d'apprentissage 48

2.3.4. Formation pratique dans le programme d'études collégiales Technologie minérale 55

Chapitre 3 : Constats et recommandations 59

Conclusion 69

Annexes 71

Références 73

Liste des tableaux et figures

Tableaux

Tableau 1 – Constats et recommandations relativement au programme d'études collégiales *Technologie minérale – Spécialisation Minéralurgie* 10

Tableau 2 – Étapes du processus de recherche 15

Tableau 3 – Synthèse du contenu des documents de description de poste pour la fonction de technicienne ou de technicien en minéralurgie (responsabilités) 22

Tableau 4 – Synthèse du contenu des documents de description de poste pour la fonction de technicienne ou de technicien en minéralurgie (qualifications et aptitudes) 25

Tableau 5 – Principales tâches réalisées par les techniciennes et les techniciens en minéralurgie dans le cadre de leur fonction selon leur perception 40

Tableau 6 – Savoir-faire liés aux outils et équipements industriels nécessitant un renforcement de formation selon le point de vue des techniciennes et des techniciens en minéralurgie 44

Figure

Figure 1 – Évaluation de l'adéquation entre la formation collégiale et certaines responsabilités clés selon le point de vue des techniciennes et des techniciens en minéralurgie (moyenne des résultats) 42

Lexique et abréviations

Lexique

Devis ministériel de programme

Le devis ministériel d'un programme d'études présente les cibles et les exigences essentielles d'une formation et, plus précisément, l'ensemble structuré des buts de la formation, des objectifs et des standards ainsi que les renseignements qui décrivent la structure et l'articulation du programme (données sur la durée, composantes, sanction, conditions particulières d'admission, modules de formation, etc.) (Ministère de l'Éducation, 2002, p. 9).

Métallurgie

Dans le cadre de ce projet, le terme « métallurgie » fera référence à l'ensemble du processus de transformation de la matière minérale, 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, 2025b);
- 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, 2025a).

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

AEC : Attestation d'études collégiales

ATE : Alternance travail-études

DEC : Diplôme d'études collégiales

MCS : Minéraux critiques et stratégiques

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

SQVMCS : Stratégie québécoise pour la valorisation des minéraux critiques et stratégiques

Résumé

Le gouvernement du Québec adoptait en 2020 le Plan québécois pour la valorisation des minéraux critiques et stratégiques 2020-2025 (PQVMCS), puis, en 2025, la Stratégie québécoise pour la valorisation des minéraux critiques et stratégiques 2025-2031 (SQVMCS). En cohérence avec sa mission consistant à soutenir le gouvernement dans l'exercice de sa responsabilité en matière d'éducation dans le secteur minier, l'Institut national des mines lançait en 2023 une programmation de recherche. Celle-ci visait à mieux circonscrire les programmes d'études ou de formation qui devraient être actualisés (et de quelle manière ceux-ci devraient l'être) afin que la formation minière offerte au Québec soit en adéquation avec les besoins des nouvelles mines de lithium et de graphite en matière de traitement du minerai, soit l'étape du cycle minéral où le renforcement des compétences est jugé prioritaire par l'industrie (Institut national des mines, 2024).

Dans ce rapport, le programme d'études collégiales *Technologie minérale – Spécialisation Minéralurgie* fera l'objet d'une analyse pour répondre aux questions suivantes :

- Quels sont les principaux besoins de compétences et de formation pour les techniciennes et les techniciens en minéralurgie[1] travaillant dans les usines de traitement du minerai des mines de lithium et de graphite au Québec?

- Quelles modifications pourraient être apportées au programme d'études collégiales *Technologie minérale – Spécialisation Minéralurgie* pour s'assurer que ce programme est en adéquation avec les besoins de compétences et de formation des usines de traitement du minerai des mines de lithium et de graphite?

[1] Dans le cadre du présent rapport d'analyse, l'appellation « technicienne ou technicien en minéralurgie » sera utilisée pour désigner toutes les personnes occupant cette fonction, et ce, bien que d'autres appellations soient parfois utilisées dans l'industrie comme « technicienne ou technicien en métallurgie » ou encore « technicienne ou technicien de procédés » pour ne citer que ces deux exemples courants.

Pour fournir des éléments de réponse à ces interrogations, une méthodologie reposant sur la réalisation de plusieurs collectes d'information a été retenue. Pour commencer, une collecte documentaire et des entrevues semi-dirigées ont été réalisées avec des mines et des projets miniers de lithium et de graphite. Ensuite, des questionnaires ont permis de recueillir des données auprès des personnes diplômées ayant réalisé des études collégiales et travaillant dans les usines de traitement du minerai de mines et de projets miniers de lithium et de graphite. Finalement, les trois établissements d'enseignement offrant le programme d'études collégiales *Technologie minérale* ont également été questionnés au moyen d'entrevues semi-dirigées.

Les informations ainsi recueillies ont fait émerger de nombreux constats et des recommandations en ce qui concerne l'actualisation du programme analysé en lien avec les réalités propres et les besoins particuliers de formation et de compétences des usines de traitement du minerai des mines et projets miniers de lithium et de graphite du Québec. Les principaux constats qui découlent du rapport d'analyse pointent la nécessité de renforcer les compétences des personnes apprenantes pour que celles-ci soient en mesure de comprendre de manière approfondie le fonctionnement des équipements de traitement du minerai spécifiquement utilisés pour la concentration du lithium et du graphite. Les constats mettent également en évidence des enjeux particulièrement importants en ce qui a trait aux compétences permettant de veiller à l'optimisation du procédé et d'utiliser certains outils informatiques à leur plein potentiel, ainsi qu'à la capacité de mobiliser les technologies fondées sur l'intelligence artificielle avec discernement. Le développement des compétences communicationnelles a également été estimé prioritaire par les parties prenantes consultées.

Pour favoriser l'acquisition de ces compétences par les étudiantes et les étudiants dans le cadre de leur formation, l'Institut national des mines formule 11 recommandations d'actualisation à l'égard du programme d'études collégiales *Technologie minérale – Spécialisation Minéralurgie*. Les constats ainsi que les recommandations de ce rapport sont résumés dans le **tableau 1**.

Tableau 1 - Constats et recommandations relativement au programme d'études

CONSTAT	RECOMMANDATION
A) Développer et approfondir la compréhension du fonctionnement de certains équipements stratégiques présents dans les usines de traitement de lithium et de graphite	**RECOMMANDATION 1** Que les établissements d'enseignement offrant le programme s'assurent du développement chez les personnes apprenantes d'une connaissance approfondie du fonctionnement des équipements spécifiques aux procédés de traitement des minerais de lithium et de graphite. **RECOMMANDATION 2** Qu'en cohérence avec la recommandation précédente, les établissements d'enseignement offrant le programme d'études aient accès à des équipements à l'échelle laboratoire permettant de réaliser des travaux pratiques en la matière.
B) Accroître les compétences permettant de veiller à l'optimisation du procédé de traitement grâce à l'utilisation de méthodes d'acquisition des données et de caractérisation du minerai	**RECOMMANDATION 3** Que les établissements d'enseignement présentent, dans le cadre du développement de la compétence *034X – Contrôler l'efficience d'un procédé de concentration ou d'extraction minéralurgique*, des activités d'apprentissage permettant l'acquisition des connaissances pratiques nécessaires à la réalisation de campagnes d'échantillonnage. **RECOMMANDATION 4** Que le programme renforce l'enseignement, tant pratique que théorique, des notions de minéralogie grâce à l'ajout d'une nouvelle compétence ou d'un nouvel élément de compétence en la matière dans la voie de spécialisation *Minéralurgie* du programme d'études. **RECOMMANDATION 5** Qu'en cohérence avec la recommandation précédente, les établissements d'enseignement offrant le programme d'études aient accès à des instruments scientifiques de laboratoire permettant de réaliser les travaux pratiques d'analyses minéralogiques.
C) Utiliser de façon optimale les outils informatiques permettant d'analyser la performance du procédé	**RECOMMANDATION 6** Que les établissements d'enseignement renforcent la capacité des personnes apprenantes à utiliser les fonctionnalités avancées du logiciel tableur Excel, notamment pour préparer adéquatement ces personnes à la gestion de base de données et à la réalisation d'analyses statistiques. **RECOMMANDATION 7** Que les établissements d'enseignement renforcent la préparation des personnes apprenantes relativement à la réalisation de bilans de matière, principalement grâce à des activités d'apprentissage pratiques incluant l'utilisation tant du logiciel tableur Excel que des logiciels spécialisés en bilans de matières.

Tableau 1 - Constats et recommandations relativement au programme d'études (*suite*)

CONSTAT	RECOMMANDATION
D) Utiliser les technologies et les applications fondées sur l'intelligence artificielle avec discernement et éthique	**RECOMMANDATION 8** Que le programme favorise l'acquisition par les personnes apprenantes des compétences requises pour utiliser les applications technologiques fondées sur l'intelligence artificielle avec discernement et éthique, grâce à l'ajout d'une compétence ou d'un élément de compétence en la matière dans le programme d'études.
E) Communiquer efficacement avec l'ensemble des collaboratrices et des collaborateurs	**RECOMMANDATION 9** Que le programme formalise l'enseignement et l'évaluation des compétences liées à la communication, grâce à l'ajout d'une compétence en la matière dans le programme d'études.
F) Entrer sur le marché du travail avec des compétences accrues grâce à un renforcement de la formation pratique	**RECOMMANDATION 10** Que les établissements d'enseignement, en collaboration avec le ministère de l'Enseignement supérieur, revoient les modalités de réalisation de la formation pratique de manière à optimiser l'articulation pédagogique entre le développement des compétences devant être acquises dans le cadre de cette formation pratique et la réalisation de stages accomplis selon la formule d'alternance travail-études (ATE). **RECOMMANDATION 11** Que les établissements d'enseignement et les entreprises accroissent leur communication afin que les stages réalisés selon la formule d'alternance travail-études (ATE) puissent inclure, en amont de la réalisation du stage, une préparation personnalisée de la personne apprenante aux exigences techniques spécifiques au milieu de stage.

Introduction et mise en contexte

Le gouvernement du Québec s'est doté, en 2020, du Plan québécois pour la valorisation des minéraux critiques et stratégiques 2020-2025 (PQVMCS) afin de soutenir le développement et la mise en valeur de ces ressources. Par l'adoption de ce plan, le gouvernement affirmait sa volonté de faire en sorte que le Québec devienne un chef de file en matière de production, de transformation et de recyclage des MCS. Il y est entre autres souligné que les objectifs du PQVMCS pourront être atteints en « misant sur la formation et la création d'emplois de qualité » (Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, 2020). Cette intention gouvernementale, consistant à veiller à l'amélioration de la formation offerte à la main-d'œuvre afin que celle-ci détienne toutes les compétences requises pour développer la filière des MCS, représente d'ailleurs l'un des principes directeurs du PQVMCS. En 2025, le gouvernement du Québec pérennisait sa vision en la matière en adoptant la Stratégie québécoise pour la valorisation des minéraux critiques et stratégiques 2025-2031 (SQVMCS).

Parallèlement, la veille informationnelle de l'Institut national des mines, réalisée dans l'optique de surveiller et d'analyser les tendances majeures du secteur minier étant à même d'avoir un impact sur l'évolution de la formation minière, a révélé la proportion croissante de références aux MCS dans la documentation produite par les acteurs institutionnels, universitaires et privés ainsi que dans les différents médias sectoriels (miniers), nationaux ou internationaux.

Dans ce contexte, il devient stratégique pour l'Institut, dont la mission consiste à conseiller le gouvernement dans l'exercice de sa responsabilité en matière d'éducation dans le secteur minier, de mener une réflexion sur les effets de cette accélération annoncée de la production, de la transformation et du recyclage des MCS sur la formation minière québécoise. C'est dans cette perspective que l'Institut continue, par la réalisation de ce rapport d'analyse, sa programmation de recherche pluriannuelle amorcée en 2023-2024 afin de saisir de manière plus précise les impacts associés au traitement des minéraux de lithium et de graphite sur la formation minière offerte au Québec. Dans ce rapport, l'Institut se penche sur le programme d'études collégiales *Technologie minérale – Spécialisation Minéralurgie*, dont l'actualisation a été jugée prioritaire pour satisfaire aux besoins spécifiques des mines qui réalisent déjà ou qui réaliseront le traitement de ces deux minéraux stratégiques (Institut national des mines, 2024).

Objectifs du rapport d'analyse

Ce document représente la suite de la programmation de recherche pluriannuelle amorcée par l'Institut national des mines en 2023 et qui entend, à terme, clarifier l'incidence qu'aura l'accroissement du nombre de mines effectuant le traitement du lithium et du graphite au Québec sur l'offre de formation minière. Ce rapport d'analyse a plus spécifiquement pour but de mettre à jour les compétences que les futures techniciennes et les futurs techniciens en minéralurgie devraient développer durant leur formation pour répondre aux besoins exprimés par les complexes miniers de lithium et de graphite du Québec. Une fois ces compétences caractérisées, il s'agira d'évaluer dans quelle mesure celles-ci figurent dans le devis ministériel du programme d'études collégiales *Technologie minérale – Spécialisation Minéralurgie* en vigueur depuis 2008 et, si elles ne s'y trouvent pas, d'en prendre acte afin de proposer des recommandations d'actualisation qui permettront de corriger cette situation.

Structure du document

Ce rapport est structuré autour de trois chapitres principaux. Le premier chapitre définit l'approche méthodologique sélectionnée pour réaliser le présent document. Ensuite, le deuxième chapitre présente les principaux résultats à prendre en considération à la suite des enquêtes menées auprès des parties prenantes tant du secteur minier que du domaine de l'éducation. Pour finir, le troisième chapitre présente les principaux constats qui ressortent de l'analyse des informations collectées. Ces constats forment les fondements des recommandations que l'Institut national des mines propose en ce qui concerne l'actualisation du programme d'études *Technologie minérale – Spécialisation Minéralurgie* au regard des besoins de formation et de compétences des mines de lithium et de graphite du Québec.

Chapitre 1 : Méthodologie

1.1. Méthodologie de la recherche

L'approche méthodologique retenue pour ce projet consiste à mener à bien une analyse de contenu ainsi que trois collectes d'information afin d'obtenir des réponses à deux questions structurantes en ce qui a trait à l'actualisation du programme *Technologie minérale – Spécialisation Minéralurgie* en vue de répondre aux besoins des mines actuelles et futures de lithium et de graphite, soit :

- Quels sont les principaux besoins de compétences et de formation pour les techniciennes et les techniciens en minéralurgie travaillant dans les usines de traitement du minerai des mines de lithium et de graphite au Québec?

Selon les besoins identifiés par le biais de la question précédente, ainsi qu'en fonction des constatations des établissements d'enseignement formant les futures techniciennes et les futurs techniciens en minéralurgie, quelles modifications pourraient être apportées au programme d'études collégiales *Technologie minérale – Spécialisation Minéralurgie* pour veiller à ce que le programme soit en adéquation avec les besoins exprimés par les mines traitant du lithium et du graphite?

Les informations permettant de soutenir la rédaction du présent rapport d'analyse ont été recueillies grâce à une collecte documentaire ainsi que par l'entremise de deux méthodes de collecte de données, soit l'entrevue semi-dirigée et le questionnaire. De plus, une analyse de contenu du devis ministériel du programme *Technologie minérale* a été réalisée. La période au cours de laquelle la recherche a été conduite s'étend du 7 octobre 2025 au 15 janvier 2026. Le **tableau 2** résume les principales informations concernant l'approche méthodologique utilisée dans le cadre de ce projet.

Tableau 2 – Étapes du processus de recherche

	1 **Collecte de données et collecte documentaire auprès des exploitations minières actuelles et futures de lithium et de graphite**	2 **Collecte de données auprès des techniciennes et des techniciens en minéralurgie à l'emploi de mines actuelles et futures de lithium et de graphite**	3 **Collecte de données auprès des établissements d'enseignement offrant le programme d'études collégiales *Technologie minérale***
DESCRIPTION	Analyse des compétences recherchées chez les techniciennes et les techniciens en minéralurgie par les usines de traitement du minerai des exploitations minières actuelles et futures de lithium et de graphite	Analyse des tâches réalisées par les techniciennes et les techniciens en minéralurgie dans les usines de traitement du minerai des mines de lithium et de graphite ainsi que perception de l'adéquation entre le parcours de formation collégial et les exigences du milieu de travail	Analyse du devis ministériel, des contenus d'apprentissage et des approches pédagogiques du programme *Technologie minérale – Spécialisation minéralurgie* en vue d'une actualisation visant à répondre aux besoins des exploitations minières de lithium et de graphite
SOURCE D'INFORMATION	Mines et projets miniers du Québec dont la ressource minérale principalement exploitée est le lithium ou le graphite	Techniciennes et techniciens en minéralurgie à l'emploi des mines et projets miniers ayant participé à **l'étape 1** du processus de recherche	Devis ministériel du programme Cégeps offrant le programme d'études collégiales *Technologie minérale*
MÉTHODE DE COLLECTE	Entrevues semi-dirigées et collecte documentaire	Questionnaires	Entrevues semi-dirigées
PÉRIODE DE COLLECTE	Du 7 octobre 2025 au 18 décembre 2025	Du 23 octobre 2025 au 15 janvier 2026	Du 3 décembre 2025 au 12 janvier 2026
NOMBRE D'ORGANISATIONS OU DE PERSONNES RÉPONDANTES	4 entreprises	4 personnes répondantes	3 établissements d'enseignement

1.2. Étape 1 – Collecte d'information auprès des exploitations minières actuelles et futures de lithium et de graphite

Comme souligné dans le **tableau 2**, la première étape du processus de recherche reposait sur la réalisation d'une collecte d'information auprès des entreprises minières actuelles et futures de lithium et de graphite du Québec. Cette enquête s'est penchée sur les besoins, en termes de formation et de compétences, des mines concernées par le traitement du minerai de lithium et de graphite, et ce, en ce qui a trait à l'exercice de la fonction de technicienne ou de technicien en minéralurgie. Cette collecte d'information a été accomplie en recourant à des entrevues semi-dirigées. Afin de structurer le déroulement de la collecte de données, un guide d'entretien a été créé par l'Institut national des mines et validé par des personnes expertes en matière de développement et d'actualisation de programmes d'études[2]. Le guide d'entrevue, qui était constitué de 28 questions ou sous-questions ouvertes, a servi à structurer les entretiens réalisés auprès de 4 entreprises minières effectuant ou qui se préparent à effectuer le traitement du minerai de lithium ou de graphite au Québec, soit :

- ≥ 2 mines actives;
- ≥ 2 projets miniers.

Les entreprises minières retenues pour prendre part aux entrevues ont été choisies sur la base de deux critères spécifiques. D'abord, elles étaient, en date du mois de juillet 2025, 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 » de lithium ou de graphite[3]. Ensuite, elles possédaient une usine de traitement du minerai en production commerciale, ou encore une usine pilote (ou de démonstration), en activité ou en maintenance.

Les personnes répondantes des entreprises participantes (principalement des gestionnaires occupant des fonctions de supervision, de surintendance ou de direction des opérations des usines de traitement du minerai) ont pris part aux entrevues entre le 7 octobre et le 18 décembre 2025. Sur les quatre projets miniers ou mines ayant participé à la collecte d'information, deux sont des mines actuelles ou futures de graphite, et deux de lithium.

Cette collecte de données a permis de faire émerger un portrait précis des enjeux, des besoins et des attentes des usines de traitement du minerai des mines actuelles et futures de lithium et de graphite en ce qui concerne la formation et les compétences recherchées pour les techniciennes et les techniciens en minéralurgie à leur emploi. Par le fait même, la collecte a permis de cerner certains des principaux constats concernant l'actualisation du programme analysé dans ce

[2] Il s'agit de Mme Anne Rousseau, consultante spécialisée en formation dans le domaine minier, et de M. Florian Côté, consultant en analyse et développement de programmes d'études.

[3] La carte des mines actives et en maintenance en juillet 2025 au Québec peut être consultée à l'**annexe I** et la carte des projets miniers en juillet 2025 au Québec peut être consultée à l'**annexe II**.

rapport, tout en facilitant la sélection des thématiques devant être abordées dans les autres collectes de données.

En complément de l'information amassée par le biais d'entrevues semi-dirigées, l'enquête menée auprès des entreprises minières de lithium et de graphite du Québec a également permis de recueillir des renseignements par l'entremise d'une collecte documentaire portant sur les besoins de formation et de compétences des mines concernées par le traitement du minerai de lithium et de graphite relativement au poste de technicienne ou de technicien en minéralurgie. Cette collecte documentaire avait pour objectif de compléter et d'enrichir les renseignements colligés dans le cadre d'entrevues semi-dirigées. La collecte documentaire, réalisée auprès des quatre entreprises ayant participé à la collecte de données, consistait à leur demander de transmettre, à des fins d'analyse, leurs documents de « description de poste » pour la fonction de technicienne ou de technicien en minéralurgie. Sur les quatre entreprises sollicitées, trois ont accepté de transmettre ce document, ce qui correspond à un taux de réponse de 75 %. Bien que le contenu présenté diverge modérément entre les trois documents reçus, ceux-ci ont en commun de résumer de façon structurée les responsabilités du poste, tout comme les qualifications requises et les compétences recherchées pour occuper cette fonction. L'accès à ces renseignements a permis de compléter l'examen entrepris afin de préciser la nature des besoins de formation et de compétences des entreprises interrogées.

1.3. Étape 2 – Collecte d'information auprès des techniciennes et des techniciens en minéralurgie à l'emploi des mines et des projets miniers de lithium et de graphite

Le **tableau 2** met également en lumière la deuxième étape du processus de recherche qui a consisté à interroger les techniciennes et les techniciens en minéralurgie à l'emploi de mines et de projets miniers de lithium et de graphite concernant la nature de leurs tâches ainsi que leur perception de l'adéquation entre la formation collégiale reçue et les compétences requises dans l'exercice de leurs fonctions.

Cette collecte de données a été réalisée par le biais d'un questionnaire. Le questionnaire utilisé a été créé par l'Institut national des mines et validé par des personnes expertes en matière de développement et d'actualisation de programmes d'études[4]. Ce questionnaire, qui était constitué de 23 questions, a été acheminé par courriel aux personnes répondantes et a permis de recueillir le point de vue de quatre techniciennes et techniciens en minéralurgie travaillant dans les usines de traitement du minerai de mines ou de projets miniers de lithium ou de graphite au Québec.

[4] Il s'agit de Mme Anne Rousseau, consultante spécialisée en formation dans le domaine minier, et de M. Florian Côté, consultant en analyse et développement de programmes d'études.

La répartition des personnes répondantes entre les mines et les projets miniers de lithium et ceux de graphite est la suivante :

- ≥ 1 technicien travaillant dans une mine ou un projet minier de lithium;
- ≥ 3 techniciennes et techniciens travaillant dans des mines ou des projets miniers de graphite.

Le questionnaire a été distribué à l'ensemble des techniciennes et des techniciens en minéralurgie à l'emploi des quatre entreprises minières de lithium et de graphite ayant participé à l'étape précédente (étape 1) du processus de recherche. Cela représente un échantillon qui correspond à cinq personnes[5]. Les personnes participantes ont rempli le questionnaire entre le 23 octobre 2025 et le 15 janvier 2026. Parmi les cinq techniciennes et techniciens en minéralurgie ayant été sollicités pour répondre au questionnaire, quatre ont rempli celui-ci, ce qui correspond à un taux de participation de 80 %.

Cette collecte d'information a permis de mieux saisir le point de vue des techniciennes et des techniciens en minéralurgie en ce qui a trait à l'arrimage entre la formation collégiale dont elles et ils ont bénéficié et les savoir-faire nécessaires pour évoluer dans une usine de traitement du minerai d'une mine de lithium ou de graphite. Elle a également été l'occasion de confirmer et de préciser les tâches réalisées par les techniciennes et les techniciens dans leur travail quotidien, renforçant ainsi la somme d'informations servant à alimenter la réflexion portant sur les éléments de contenu requis afin que le programme d'études analysé réponde aux besoins exprimés par les acteurs du marché du travail. Ces informations ont ainsi rendu possible l'élaboration, avec davantage de précision, du guide d'entrevue utilisé pour mener à bien l'étape suivante du processus de recherche, soit l'étape 3.

[5] La taille restreinte de l'échantillon s'explique notamment par le fait que plusieurs entreprises minières ayant participé à l'enquête sont des projets miniers n'ayant pas encore procédé à l'embauche de l'entièreté de la main-d'œuvre qui sera requise lorsque le site minier sera en production.

1.4. Étape 3 – Collecte d'information auprès des établissements d'enseignement offrant le programme d'études Technologie minérale - Spécialisation Minéralurgie

Comme l'illustre le **tableau 2**, la troisième collecte de données a permis de documenter le point de vue des établissements d'enseignement offrant le programme d'études collégiales *Technologie minérale* en ce qui concerne les éléments primordiaux devant être mis à jour dans le programme pour que celui-ci soit en adéquation avec les besoins des mines actuelles et futures de lithium et de graphite. Pour recueillir ces informations, la méthode de collecte de l'entrevue semi-dirigée a été utilisée. Un guide d'entrevue a ainsi été élaboré par l'Institut national des mines et validé auprès de personnes expertes en matière de développement et d'actualisation de programmes d'études[6]. Le guide d'entrevue, structuré autour de 27 questions ouvertes, a permis d'encadrer les entretiens menés auprès des membres du personnel enseignant des trois cégeps offrant le programme *Technologie minérale* au Québec, soit :

- le Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue;
- le Cégep de Sept-Îles;
- le Cégep de Thetford (Institut national des mines, 2026).

Les personnes répondantes des établissements d'enseignement ont pris part aux entrevues entre le 3 et le 12 décembre 2025. Sur les trois cégeps ayant participé à la collecte d'information, un se situe dans la région administrative de l'Abitibi-Témiscamingue (Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue), un autre dans la région administrative de Chaudière-Appalaches (Cégep de Thetford) et le dernier dans la région administrative de la Côte-Nord (Cégep de Sept-Îles).

Cette collecte de données a été l'occasion de mieux cerner le regard que portent les parties prenantes du milieu collégial responsables de la formation des techniciennes et des techniciens en minéralurgie sur l'actualisation de l'offre de formation et, ainsi, de compléter la recension des enjeux relativement à l'actualisation de ce programme.

[6] Il s'agit de Mme Anne Rousseau, consultante spécialisée en formation dans le domaine minier, et de M. Florian Côté, consultant en analyse et développement de programmes d'études.

Chapitre 2 : Synthèse des résultats des collectes documentaire et d'information

Les collectes documentaire et d'information réalisées pour rédiger ce rapport ont permis d'amasser une quantité considérable de renseignements sur la perspective des mines et des projets miniers du Québec actifs dans les filières du lithium et du graphite, des techniciennes et des techniciens en minéralurgie à l'emploi de ces mines et projets miniers ainsi que des établissements d'enseignement en ce qui concerne les éléments à examiner dans le cadre de la mise en branle d'un processus d'actualisation du programme d'études collégiales *Technologie minérale – Spécialisation Minéralurgie*.

L'enquête menée auprès des personnes répondantes des entreprises minières de lithium et de graphite du Québec avait pour objectif de cerner les besoins de ces entreprises relativement à la formation offerte aux personnes apprenantes destinées à occuper des fonctions de techniciennes et de techniciens en minéralurgie au sein des usines de traitement. En conséquence, les informations colligées concernent l'intégralité des compétences liées aux opérations et aux tâches qui se déroulent dans ces usines, et ne se limitent pas aux compétences associées uniquement aux opérations qui sont spécifiques aux procédés de traitement du lithium et du graphite. Il en découle que certains renseignements s'appliquent exclusivement aux usines des mines de lithium et de graphite, tandis que d'autres peuvent concerner l'ensemble des usines de traitement du minerai.

Le présent chapitre propose une synthèse générale de l'information recueillie par l'entremise de ces différentes collectes documentaire et d'information.

2.1. Synthèse des informations recueillies auprès des mines et projets miniers de lithium et de graphite du Québec

Afin de mener une réflexion sur l'actualisation du programme d'études collégiales *Technologie minérale – Spécialisation Minéralurgie* au regard des réalités et des enjeux des mines et projets miniers de lithium et de graphite, il est en premier lieu nécessaire d'examiner la vision des entreprises qui entendent procéder à la concentration du minerai de lithium et de graphite dans leurs usines de traitement. Ces mines et projets miniers ont ainsi fait part de leurs besoins en matière de formation et de compétences, et ce, en transmettant dans un premier temps à l'Institut national des mines leur document de « description de poste » pour la fonction de technicienne ou de technicien en minéralurgie, puis en participant dans un second temps à des entrevues menées par l'Institut national des mines.

Descriptions de poste – Fonction de technicienne ou de technicien en minéralurgie dans les mines et les projets miniers de lithium et de graphite du Québec

Les entreprises ayant pris part à la collecte de données ont été sollicitées pour transmettre à l'Institut national des mines leur document de « description de poste » pour la fonction de technicienne ou de technicien en minéralurgie. Comme cela a été mentionné précédemment, l'appellation « technicienne ou technicien en minéralurgie » n'est pas uniformément répandue dans le secteur minier puisque d'autres appellations sont parfois utilisées dans l'industrie, telles que « technicienne ou technicien en métallurgie » ou encore « technicienne ou technicien de procédés ».

Les informations colligées à partir de ces documents sont synthétisées dans les **tableaux 3** et **4** et permettent de dégager plusieurs constats, tant en ce qui a trait aux responsabilités confiées aux techniciennes et aux techniciens en minéralurgie dans ces entreprises qu'en ce qui concerne les qualifications et les aptitudes jugées nécessaires pour occuper ce poste.

Tableau 3 – Synthèse du contenu des documents de description de poste pour la fonction de technicienne ou de technicien en minéralurgie (responsabilités)

RESPONSABILITÉ	RESPONSABILITÉ PRÉSENTE DANS **TOUTES LES DESCRIPTIONS DE POSTE**	RESPONSABILITÉ PRÉSENTE **DANS DEUX DESCRIPTIONS DE POSTE SUR TROIS**	RESPONSABILITÉ PRÉSENTE **DANS UNE DESCRIPTION DE POSTE SUR TROIS**
Réaliser des essais de laboratoire	✔		
Échantillonner des circuits		✔	
Compiler, analyser et interpréter des données		✔	
Appliquer les règles en matière de santé et sécurité du travail et d'environnement		✔	
Participer aux analyses de risques		✔	
Élaborer des consignes, des méthodologies, des procédures et des analyses sécuritaires de la tâche (AST)		✔	
Collaborer avec les autres services ou assister ceux-ci		✔	
Rédiger des rapports		✔	
Réaliser des tests pilotes			✔
Réaliser un suivi des indicateurs de performance des procédés			✔
Réaliser un suivi de la consommation des réactifs, des inventaires et des commandes			✔
Résoudre des problèmes techniques			✔
Gérer les situations d'urgence			✔

Tableau 3 – Synthèse du contenu des documents de description de poste pour la fonction de technicienne ou de technicien en minéralurgie (responsabilités) (*suite*)

RESPONSABILITÉ	RESPONSABILITÉ PRÉSENTE DANS **TOUTES LES DESCRIPTIONS DE POSTE**	RESPONSABILITÉ PRÉSENTE **DANS DEUX DESCRIPTIONS DE POSTE SUR TROIS**	RESPONSABILITÉ PRÉSENTE **DANS UNE DESCRIPTION DE POSTE SUR TROIS**
Participer à l'amélioration continue des opérations			✔
Travailler en collaboration avec les sous-traitants et les équipementiers			✔
Préparer et coordonner des arrêts planifiés			✔
Démarrer et arrêter des équipements			✔
Mettre à jour des bases de données			✔
Signaler des défaillances d'équipements			✔
Participer aux rencontres techniques			✔
Former le personnel d'opération			✔

Le **tableau 3** montre que, malgré certaines spécificités propres à certaines entreprises, il existe plusieurs points communs parmi les responsabilités que les mines et projets miniers de lithium et de graphite attribuent, ou entendent attribuer, aux techniciennes et aux techniciens en minéralurgie à leur emploi. En effet, la **réalisation d'essais de laboratoire** représente une responsabilité mentionnée dans tous les documents de « description de poste » consultés. Cette réalité témoigne du caractère central de cette responsabilité dans le travail des techniciennes et des techniciens en minéralurgie des usines de traitement du minerai des mines de lithium et de graphite et indique, par le fait même, que l'une des attentes principales des entreprises à l'égard des personnes occupant ce poste est que celles-ci puissent, par le biais de ces essais, caractériser les différents flux dans l'usine de traitement et ainsi contribuer à l'optimisation du procédé de concentration.

Les responsabilités afférentes à la **collecte, à l'analyse et à la communication des données de production** (« Compiler, analyser et interpréter des données », « Rédiger des rapports », etc.) ainsi que celles liées à la **santé et à la sécurité du travail** (« Appliquer les règles en matière de santé et sécurité du travail et d'environnement », « Participer aux analyses de risques », etc.) sont citées dans au moins deux des trois documents de « description de poste » examinés. Il ressort donc de l'analyse de ces documents que ces responsabilités sont également centrales dans le travail des techniciennes et des techniciens. Parmi les autres responsabilités mentionnées moins fréquemment, il est possible de citer plusieurs éléments en lien avec l'**entretien des équipements de production** (« Résoudre des problèmes techniques », « Préparer et coordonner des arrêts

planifiés ») ainsi qu'associés à la **collaboration avec d'autres personnes** (« Participer aux rencontres techniques », « Travailler en collaboration avec les sous-traitants et les équipementiers »).

En somme, selon les documents de « description de poste » consultés, la réalisation d'essais de laboratoire, tout comme la collecte, l'analyse et la communication des données de production ainsi que les activités liées à la santé et à la sécurité du travail représentent les trois responsabilités névralgiques au cœur du travail de la technicienne ou du technicien en minéralurgie des mines de lithium et de graphite.

Quant aux qualifications et aux aptitudes recherchées par ces mines et projets miniers en ce qui concerne le poste de technicienne ou de technicien en minéralurgie, le **tableau 4** permet de constater les principales attentes des entreprises consultées en la matière.

Tableau 4 – Synthèse du contenu des documents de description de poste pour la fonction de technicienne ou de technicien en minéralurgie (qualifications et aptitudes)

QUALIFICATION OU APTITUDE	QUALIFICATION OU APTITUDE PRÉSENTE DANS **TOUTES LES DESCRIPTIONS DE POSTE**	QUALIFICATION OU APTITUDE PRÉSENTE **DANS DEUX DESCRIPTIONS DE POSTE SUR TROIS**	QUALIFICATION OU APTITUDE PRÉSENTE **DANS UNE DESCRIPTION DE POSTE SUR TROIS**
Détenir l'un des diplômes d'études collégiales (DEC) suivants : • *Technologie minérale – Spécialisation minéralurgie* • *Technologie du génie métallurgique* • *Techniques de procédés industriels*	✔		
Détenir l'une des attestations d'études collégiales (AEC) suivantes : • *Traitement des eaux* • *Procédés industriels des technologies vertes*			✔
Posséder de l'expérience de travail sur un site minier ou dans une usine de traitement du minerai	✔		
Posséder un esprit d'analyse	✔		
Posséder une bonne capacité de travailler en équipe	✔		
Maîtriser les outils informatiques		✔	
Travailler en faisant preuve de rigueur, de minutie et de précision		✔	
Travailler en faisant preuve d'autonomie		✔	
Posséder une bonne connaissance des normes de santé et de sécurité du travail			✔
Posséder un sens de l'organisation			✔

Tableau 4 – Synthèse du contenu des documents de description de poste pour la fonction de technicienne ou de technicien en minéralurgie (qualifications et aptitudes) (*suite*)

QUALIFICATION OU APTITUDE	QUALIFICATION OU APTITUDE PRÉSENTE DANS **TOUTES LES DESCRIPTIONS DE POSTE**	QUALIFICATION OU APTITUDE PRÉSENTE **DANS DEUX DESCRIPTIONS DE POSTE SUR TROIS**	QUALIFICATION OU APTITUDE PRÉSENTE **DANS UNE DESCRIPTION DE POSTE SUR TROIS**
Avoir une bonne condition physique			✔
Détenir une capacité de travailler dans un milieu de travail chaud, humide, poussiéreux, bruyant et dans des espaces étroits			✔
Détenir une capacité de travailler en milieu éloigné et selon des horaires sur rotation			✔

Le **tableau 4** montre qu'en ce qui a trait aux qualifications, détenir un diplôme d'études collégiales (DEC), particulièrement un diplôme du programme *Technologie minérale - Spécialisation Minéralurgie*, mais également des programmes Technologie du génie métallurgique et Techniques de procédés industriels, représente la qualification la plus courante puisqu'elle est mentionnée dans l'ensemble des documents de « description de poste » consultés. Ces documents font également ressortir l'importance accordée par les mines et projets miniers de lithium et de graphite au fait de posséder de l'expérience de travail sur un site minier (ou dans une usine de traitement du minerai). La pertinence de posséder cette expérience de travail est en effet soulignée dans tous les documents analysés. Finalement, l'un des trois documents de « description de poste » mentionne les attestations d'études collégiales (AEC) Traitement des eaux et Procédés industriels des technologies vertes parmi les diplômes permettant d'exercer cette fonction de travail. L'entreprise indiquant cette information considère toutefois que le DEC constitue également une qualification pertinente pour exercer la fonction de travail. La détention d'un DEC apparaît donc comme la qualification la plus couramment exigée par les mines et projets miniers de lithium et de graphite pour occuper ce poste.

Pour les aptitudes requises, le **tableau 4** indique que l'**esprit d'analyse** et le **travail d'équipe** sont des éléments communs à tous les documents de « descriptions de poste » examinés, alors que la **rigueur**, la **minutie**, la **précision** ainsi que l'**autonomie** sont demandées dans deux des trois documents. De plus, la **maîtrise des outils informatiques** apparaît également dans deux des trois documents consultés. Ces aptitudes ressortent donc de la documentation examinée comme étant celles les plus recherchées.

En somme, en matière de qualifications et d'aptitudes, les documents de « description de poste » examinés montrent que le profil type recherché par les mines et les projets miniers de lithium et de graphite pour la fonction de technicienne ou de technicien en minéralurgie est celui d'une personne titulaire d'un diplôme d'études collégiales (DEC) qui possède de l'expérience de travail sur un site minier (ou dans une usine de traitement du minerai) et qui fait preuve d'un esprit d'analyse et d'une capacité à travailler en équipe.

Collecte d'information – Besoins de formation et de compétences exprimés par les mines et les projets miniers de lithium et de graphite du Québec en ce qui concerne le poste de technicienne ou de technicien en minéralurgie

Les mines et les projets miniers de lithium et de graphite du Québec ont également fait part à l'Institut national des mines, dans le cadre d'entrevues semi-dirigées, des compétences recherchées chez les personnes appelées à occuper le poste de technicienne ou de technicien en minéralurgie au sein de leur organisation. Les principaux résultats émanant de ces entrevues sont présentés ci-dessous et classés en fonction des différentes responsabilités incombant à ces techniciennes et à ces techniciens selon les entreprises. Pour les fins de la présentation de l'information, ces responsabilités sont rassemblées en trois catégories, soit :

A. La réalisation de tests et d'essais en laboratoire se rapportant au traitement du minerai;
B. L'amélioration de l'efficience des procédés de production;
C. La collaboration avec l'ensemble des services.

Autour de ces trois éléments constitutifs de leur tâche se concentre l'essentiel des savoirs, des qualités et des aptitudes que l'enquête a permis de faire ressortir comme étant recherchés chez les personnes occupant le poste de technicienne ou de technicien en minéralurgie.

A - Effectuer des essais de laboratoire

Dans l'ensemble des activités généralement attribuées aux techniciennes et aux techniciens en minéralurgie, il ressort que la tâche la plus commune est la réalisation d'essais en laboratoire. Tous les documents de « description de poste » consultés pour ce poste désignent parmi les responsabilités principales celle d'« effectuer des essais de laboratoire ». Les gestionnaires interrogés mentionnent que les techniciennes et les techniciens réalisent notamment des tests de contrôle de la qualité afin d'assurer le respect des consignes d'opération ou encore divers essais pour optimiser les procédés. Cette tâche comprend les étapes suivantes : recueillir et préparer des échantillons, établir les protocoles d'expérimentation, procéder aux essais, analyser les données des essais et communiquer les résultats.

Conditions de validité des essais

Les gestionnaires des usines de traitement du minerai interrogés ont souligné l'importance que les techniciennes et les techniciens conservent la responsabilité de réaliser les essais et garantissent leur qualité, même lorsque certaines opérations sont confiées à d'autres membres du personnel. La rareté des techniciennes et des techniciens en minéralurgie sur le marché du travail fait en sorte que les gestionnaires doivent parfois transférer certaines parties de leurs tâches vers d'autres membres du personnel. La technicienne ou le technicien est alors toujours responsable de l'ensemble de l'opération, mais ne va pas toujours prélever elle-même ou lui-même les échantillons. Une opératrice ou un opérateur ou encore une préposée ou un préposé peut en être chargé, sous la supervision de la technicienne ou du technicien. Comme la validité des résultats d'un essai repose en premier lieu sur la rigueur de l'échantillonnage, la technicienne ou le technicien doit donc expliquer les conditions des prélèvements à la personne qui les exécute et s'assurer de la conformité de l'exécution.

Il en va de même pour la préparation des échantillons en vue des essais. Que la préparation soit réalisée par la technicienne ou le technicien, par une autre personne ou même par une machine, la technicienne ou le technicien doit s'assurer que chaque échantillon est représentatif et correctement identifié.

La responsabilité de réaliser des essais et des tests appartient principalement à la technicienne ou au technicien, éventuellement assisté d'un équipement plus ou moins automatisé. Elle ou il doit s'assurer de respecter scrupuleusement le protocole, de mesurer tous les paramètres avec une grande précision et de vérifier que les notations sont complètes et exactes, ce qui demande beaucoup de minutie.

Lorsque la technicienne ou le technicien supervise des activités qui demeurent sous sa responsabilité, elle ou il doit démontrer sa capacité à expliquer les normes à suivre, à porter un regard critique et à transmettre ses rétroactions sur leur application quotidienne. La communication efficace avec les membres du personnel occupant d'autres fonctions de travail est donc primordiale. Toujours selon les gestionnaires interrogés, les opérations de traitement réalisées dans les usines nécessitent l'utilisation d'une grande variété de tests et d'essais liés aux différents procédés. Leur perception est toutefois que certains de ces éléments ne semblent pas avoir été abordés dans la formation des futures techniciennes et des futurs techniciens. Selon les gestionnaires, cela entraîne parfois une plus grande difficulté des techniciennes et des techniciens à bien réaliser ces tâches.

Analyse statistique et pensée critique

En ce qui concerne l'étape de l'analyse des données, les gestionnaires ont fait part de plusieurs constatations, surtout à propos de l'attention que les techniciennes et les techniciens doivent entretenir à l'égard de la validité de leurs résultats. Les gestionnaires ont rappelé qu'elles ou ils ont l'obligation de juger de la validité des données et des résultats à partir d'analyses soignées, notamment statistiques. La technicienne ou le technicien doit ainsi pouvoir critiquer la

vraisemblance et la valeur significative des résultats obtenus par les essais ou les tests réalisés, ce qui constitue une occasion de mobiliser la pensée critique, c'est-à-dire de faire preuve d'une capacité et d'une attitude favorisant un raisonnement rigoureux pour analyser des faits et formuler un jugement.

D'une part, la qualité de l'échantillonnage et la préparation subséquente des échantillons, ainsi que la rigueur de l'exécution des essais constituent les premières conditions de production de données fiables. D'autre part, l'interprétation des résultats doit s'appuyer sur un traitement statistique[7] qui assure la représentativité des échantillons et la fiabilité des résultats générés.

Un traitement statistique bien exécuté permet d'éviter les jugements hâtifs, de réduire les biais cognitifs et de passer légitimement de l'observation ponctuelle à une compréhension globale des résultats. En conséquence, les gestionnaires de certaines entreprises ont suggéré que la formation collégiale mette en place des mesures pour renforcer les capacités d'analyse statistique, notamment en multipliant les exercices basés sur des exemples concrets de contrôle de la qualité. Concrètement, l'emploi systématique des méthodes de traitement statistique dans les analyses exige une aisance suffisante dans l'utilisation des outils informatiques comme Excel (un logiciel tableur) ou d'autres logiciels de traitement de données techniques comme ceux de type SGIL (des logiciels proposant des systèmes de gestion de l'information des laboratoires).

Communication efficace

Pour une technicienne ou un technicien, la dernière étape d'un essai ou d'un test est la communication des résultats. Celle-ci doit souvent contenir des recommandations sur des changements de paramètres de fonctionnement du procédé. Ces recommandations peuvent entraîner des conséquences importantes sur l'optimisation ou le suivi du procédé, et ensuite sur la production et même la rentabilité de l'usine. C'est à ce moment que le regard critique sur la qualité des échantillons, l'analyse statistique de leur représentativité, la rigueur dans l'exécution des tests ainsi que l'application de l'esprit critique à la vraisemblance des résultats permettent à la technicienne ou au technicien de garantir la fiabilité des conclusions. En d'autres cas, elle ou il peut aussi juger que certains tests doivent être repris, ou demander la réalisation de nouveaux tests.

Dans la communication des résultats des essais, généralement réalisée par des moyens numériques, la technicienne ou le technicien responsable doit savoir choisir les formulaires adéquats et les remplir correctement. Il lui faut également rédiger clairement les informations et les présenter de façon bien structurée. Les personnes répondantes de certaines entreprises ont décelé des faiblesses dans l'orthographe, le vocabulaire ou l'organisation de l'information chez certaines personnes diplômées, ce qui nuit à la clarté et à l'efficacité de la communication.

[7] L'analyse statistique permet de récolter les données de production et de les organiser dans le but d'en faire ressortir des tendances ou de générer des modèles qui pourront ensuite servir dans la prise de décisions.

B - Contrôler l'efficience des procédés

Selon les gestionnaires des usines de traitement du minerai consultés, la fonction qui représente le mieux le travail d'une technicienne ou d'un technicien en minéralurgie serait de veiller à l'amélioration de l'efficience des procédés. Par ses tests et essais, la technicienne ou le technicien se tient constamment au fait des tendances qui affectent les performances des procédés sous sa surveillance. Entre autres, elle ou il réalise périodiquement des bilans de matière[8], pour certaines machines ou certaines séquences de machines dans le procédé, ou encore pour le procédé tout entier, dans le but d'évaluer leur performance, de contrôler les coûts ou d'identifier les pertes. La saisie et la compilation des données produites lors de la réalisation d'un bilan de matière impliquent une grande maîtrise des logiciels comme le tableur Excel, ou encore des logiciels spécialisés en bilan de matière comme BilMat.

Une partie importante du travail est réalisée sur un écran d'ordinateur et consiste à observer des historiques de données à l'aide d'outils d'archivage. Ces informations, une fois validées, permettent de discerner rapidement les variations et d'en interpréter les tendances, d'identifier les causes d'écarts ou de non-conformité et de déterminer les actions correctrices si nécessaire. Dans ces cas, comme les machines sont généralement commandées via des automates programmables industriels (API)[9] intégrés aux panneaux de contrôle, les techniciennes et les techniciens doivent accéder aux interfaces homme-machine pour contrôler ou changer les paramètres d'opération.

La technicienne ou le technicien est généralement assisté dans la réalisation de son travail par une instrumentation avancée, dotée de capteurs et de calculs automatiques, mais elle ou il doit valider les données captées et juger de la vraisemblance des résultats. Dans certaines entreprises, il appartient à la technicienne ou au technicien en minéralurgie d'étalonner les instruments de mesure ou de calibrer d'autres éléments du système de contrôle-commande du procédé, en plus des instruments de son laboratoire. Elle ou il peut donc s'assurer personnellement de l'exactitude des données qu'elle ou il reçoit du système.

Surveillance des paramètres de contrôle et de commande

Selon les responsables des usines de traitement du minerai ayant participé à l'enquête, la technicienne ou le technicien travaillant dans une usine procédant au traitement du lithium ou du graphite doit exercer une supervision constante des étapes du procédé dans le but d'améliorer son efficience. À partir des données fournies par le système de contrôle-commande, la technicienne ou le technicien doit ajuster les paramètres du procédé ou superviser les ajustements que le système peut effectuer automatiquement. Cette personne doit exercer son

[8] Le bilan de matière permet de récolter des données en se basant sur la loi de la conservation de la matière (c'est-à-dire que ce qui entre est égal à ce qui sort d'un appareil, d'un système, d'une usine, etc.) pour valider les intrants et les extrants, et pour reconstituer certains flux impossibles à échantillonner, et donc à analyser, dans une usine. Le bilan de matière permet donc de calculer la teneur et la récupération dans différents flux, dont le concentré et les rejets finaux, de l'usine dans l'objectif constant d'optimisation du procédé.

[9] Pour désigner les automates programmables industriels, l'acronyme français « API » est celui qu'il convient d'utiliser. Toutefois, l'acronyme anglais « PLC » (*Programmable Logic Controller*) est celui plus couramment utilisé dans l'industrie pour désigner ce système de contrôle.

jugement pour laisser agir les automates ou réagir en vue d'optimiser le fonctionnement. Dans un cas comme dans l'autre, la personne doit diagnostiquer le problème, en déterminer les causes et repérer les solutions appropriées.

Il est également constaté que les systèmes de contrôle-commande ont considérablement progressé, tant en puissance qu'en précision, au cours des dernières années. Ils disposent de capteurs installés aux principaux endroits stratégiques, de commandes capables de réagir rapidement et de tableaux fournissant les données en temps réel ou presque. Les gestionnaires des entreprises consultées sont d'avis que cette tendance devrait s'accentuer. Les techniciennes et les techniciens seront donc alimentés par une masse de données de plus en plus considérable et devront être en mesure d'interpréter les situations avec justesse afin de pouvoir réagir plus rapidement et avec plus de précision.

L'enquête révèle également que les techniciennes et les techniciens demeurent les spécialistes des analyseurs en ligne (par exemple, les systèmes d'analyse de type *Courier*). Ces systèmes dotés de capteurs sont installés sur la ligne de production et analysent les caractéristiques spécifiques du produit qui est traité pour fournir des données qui permettent de garantir la conformité aux normes, d'intervenir immédiatement en cas de dérive et d'optimiser le procédé. De plus, les techniciennes et les techniciens doivent très bien connaître les composantes de ces analyseurs afin d'orienter convenablement le suivi de maintenance et de s'assurer de la validité des analyses. Elles ou ils doivent donc réaliser les calibrages, faire des relevés, s'assurer que les analyses sont représentatives et former les opératrices et les opérateurs qui interagissent avec ces équipements. En outre, comme cette technologie est en constante évolution, elles ou ils doivent demeurer à l'affût des changements et se tenir à jour à cet égard.

Les responsables des usines de traitement du minerai consultés soulignent enfin que les technologies fondées sur l'intelligence artificielle s'intègrent progressivement aux systèmes de contrôle-commande. En tenant compte d'une grande variété de données, les algorithmes amélioreront de manière croissante les capacités de prédiction et seront dans le futur à même d'influencer sensiblement le processus de décision des techniciennes et des techniciens. Les tâches relatives à l'optimisation doivent donc être renforcées en raison de ces développements. En prévision de l'importance croissante des applications d'intelligence artificielle envisagée par les gestionnaires interrogés, il apparaît donc nécessaire que les techniciennes et les techniciens cultivent leur esprit critique face aux données et aux options présentées par les systèmes reposant sur cette technologie.

Optimisation des procédés de flottation

L'amélioration de l'efficience du procédé de flottation repose sur un travail de jugement et de décision qui doit se baser sur une excellente connaissance de chaque étape du procédé et des équipements qui servent aux opérations. Les entrevues menées ont permis de constater que les usines de traitement des minerais de lithium ou de graphite utilisent le procédé de flottation comme principale méthode de concentration. Le minerai passe par une étape de comminution, où il est concassé puis broyé en particules très fines, et une étape de conditionnement, où il est mélangé à des réactifs de flottation pour former une pulpe. Cette pulpe est ensuite acheminée

vers plusieurs étapes de flottation, durant lesquelles des bulles d'air permettent de séparer le minéral de valeur de la gangue.

Même si les principes de base du procédé de flottation sont les mêmes depuis plus d'un siècle, l'équipement a constamment évolué et le procédé s'est raffiné en conséquence. Pour le graphite comme pour le lithium, les étapes de broyage et de triage bénéficient de nouvelles techniques de réduction de la granulométrie et de sélection des particules de minerai qui augmentent ensuite l'efficacité de la libération et de la séparation.

Dans le traitement des minerais de lithium, il est possible d'utiliser des procédés conventionnels pour le concassage et le broyage, mais le triage du minerai se fait à partir de paramètres mesurés par diffraction de rayons X, ce qui nécessite beaucoup d'échantillonnage et de calibration pour être efficace. Par la suite, le procédé utilise plusieurs étapes de flottation (ébauchage, épuisage et nettoyage) impliquant divers types d'appareils (ex. : cellules conventionnelles et colonnes de flottation) afin d'optimiser la teneur et le taux de récupération dans le circuit.

Adaptation aux méthodes utilisées

Les techniciennes et les techniciens doivent comprendre en détail le fonctionnement et les limites des équipements spécifiques au traitement du lithium ou du graphite pour formuler des recommandations pertinentes. Selon la perception des gestionnaires interrogés, ces technologies ne sont pas toujours enseignées dans le cadre du programme de formation et les techniciennes et les techniciens doivent faire preuve d'adaptabilité. Ce constat s'applique aussi bien dans les opérations de comminution que dans celles de libération, dans le traitement du graphite comme dans celui du lithium. Par exemple, dans la minéralurgie du graphite, les étapes de broyage sont spécialement importantes pour le résultat final et des équipements spécifiques (ex. : polisseur, attriteur) sont utilisés dans les usines, mais le fonctionnement de ceux-ci n'est pas nécessairement enseigné dans le programme de formation. Selon certains gestionnaires, la formation devrait approfondir l'enseignement des notions relatives aux divers types de réduction granulométrique et de séparation, pour lesquels de nouvelles méthodes et technologies émergent. En ce qui concerne les opérations réalisées par les séparateurs magnétiques à haute intensité et le triage optique, les techniciennes et les techniciens sont formés directement dans l'usine, surtout par le biais du compagnonnage, mais les connaissances développées au contact d'autres technologies permettent un apprentissage plus rapide.

Les gestionnaires interrogés constatent donc que la mise en œuvre du procédé de flottation s'est beaucoup raffinée depuis quelques années. Les techniciennes et les techniciens doivent s'appuyer sur une connaissance détaillée des facteurs qui interagissent dans les étapes du procédé : les caractéristiques du minéral utile, la granulométrie du minerai, l'état de la pulpe, les réactifs, l'injection de l'air pour les bulles, etc. Comme la technicienne ou le technicien doit conserver la stabilité du procédé à mesure que ces facteurs se modifient pendant l'opération, elle ou il doit comprendre les conséquences et les causes des différents changements affectant le procédé et adapter les paramètres dans l'étape de flottation elle-même ou dans une étape antérieure, par exemple celle de la comminution ou du triage. Il leur appartient de déterminer la cause de chaque

dérive observée dans le procédé, ainsi que ses conséquences sur le produit final, ce qui nécessite une fine compréhension du processus complet de l'usine.

Minéralogie en minéralurgie

Un autre élément qui ressort des entrevues menées auprès des gestionnaires est lié à la capacité des techniciennes et des techniciens à optimiser un procédé. Cette capacité repose sur une bonne compréhension des techniques de comminution et de libération, mais également sur une maîtrise des notions fondamentales de minéralogie.

Les analyses minéralogiques fournissent des données essentielles pour l'évaluation des performances minéralurgiques réelles ou possibles, en raison des caractéristiques particulières des minéraux utiles qui sont présents dans le minerai. La connaissance approfondie des concepts minéralogiques par les techniciennes et les techniciens en minéralurgie (et non seulement par les techniciennes et les techniciens en géologie) devient de plus en plus importante pour optimiser les étapes de concentration. Un même métal ou élément de valeur peut se trouver dans plusieurs minéraux différents à l'intérieur d'un même échantillon de minerai et la technicienne ou le technicien doit être en mesure de les distinguer par des analyses minéralogiques en plus des analyses élémentaires (chimiques) afin de pouvoir exploiter la totalité du minerai et d'éviter les pertes de minéral de valeur dans les résidus. Les techniciennes et les techniciens en minéralurgie peuvent tirer avantage des analyses minéralogiques pour contribuer au processus de détermination des conditions optimales et ainsi augmenter l'efficience de l'ensemble du procédé. Certains gestionnaires soutiennent que l'enseignement des notions liées aux analyses minéralogiques serait pertinent dans le cadre de la voie de spécialisation *Minéralurgie* du programme *Technologie minérale* et insistent pour que la formation collégiale renforce la prise de conscience quant à l'importance de la minéralogie pour favoriser l'optimisation des procédés.

Contrôle environnemental

Selon les gestionnaires des mines et des projets miniers de lithium et de graphite, la tâche des techniciennes et des techniciens en minéralurgie en lien avec le contrôle et l'amélioration des procédés se rapporte non seulement à la production de minéraux ou de métaux de valeur, mais aussi au contrôle environnemental des résidus miniers. L'objectif est d'abord de diminuer ceux-ci le plus possible sans nuire à la production, de s'assurer du confinement des rejets et des eaux contaminées, de prévenir la contamination des eaux de surface ou souterraines, et de s'assurer que les eaux retournées dans l'environnement sont conformes aux normes en vigueur. Comme l'entreprise doit assurer une surveillance continue du fonctionnement des équipements de sécurité et de l'état des sites de confinement et d'évacuation, les techniciennes et les techniciens y participent en les inspectant régulièrement, en effectuant les analyses des rejets et des eaux environnantes, en évaluant l'efficacité de l'équipement de traitement des rejets et des sites de rétention, et en proposant des moyens de perfectionner les procédés en vue d'améliorer le traitement des rejets et, si possible, d'en réduire la quantité et la nocivité.

Certains témoignages de gestionnaires soutiennent que la formation en environnement des techniciennes et des techniciens en minéralurgie leur paraît insuffisante. En effet, puisque les normes environnementales évoluent constamment, certaines personnes répondantes estiment que la formation technique devrait également s'actualiser en continu pour s'assurer d'une compréhension à jour de ces normes. D'autres témoignages soutiennent plutôt que les personnes diplômées ont reçu une formation suffisante en ce qui a trait aux règlementations concernant les matières dangereuses et les normes environnementales, ces derniers éléments constituant l'une des priorités mentionnées par les entreprises. À cet égard, il est donc possible de constater que les attentes envers les techniciennes et les techniciens en minéralurgie ont augmenté au fil du temps et que certains gestionnaires voudraient que la formation soit renforcée sur les sujets comme les déversements, en détaillant les normes environnementales qui les concernent et leurs conséquences sur les opérations d'une usine.

En contrôlant les paramètres de l'ensemble du fonctionnement et en formulant des recommandations après des essais ou des tests, les techniciennes et les techniciens jouent donc un rôle essentiel dans l'assurance qualité des procédés de l'usine et dans sa rentabilité. Les gestionnaires ont ainsi souligné la nécessité de maîtriser les logiciels utilisés à cette fin, de réaliser fréquemment des analyses minéralogiques, de connaître en profondeur le fonctionnement de l'appareillage et les conditions de chaque étape du procédé, ainsi que de se tenir informé des nouveaux développements dans le domaine.

C - Travailler en collaboration

Selon les gestionnaires interrogés, la technicienne ou le technicien en minéralurgie joue un rôle central dans l'ensemble de l'activité d'une usine de traitement du minerai, en complément de ses tâches principales. Elle ou il participe à diverses activités qui impliquent une collaboration avec du personnel d'autres professions ou avec des personnes extérieures à l'entreprise. Les documents de « description de poste » consultés mentionnent d'ailleurs plusieurs responsabilités s'y rattachant, comme « travailler en étroite collaboration avec des sous-traitants », « participer aux activités de santé-sécurité du département », etc.

La tâche de la technicienne ou du technicien consistant à réaliser des tests et des essais implique souvent de collaborer avec des opératrices ou des opérateurs ainsi que des préposées ou des préposés pour le prélèvement ou la préparation des échantillons. Elle ou il doit leur expliquer la procédure d'échantillonnage qu'elle ou il a développée en collaboration avec les métallurgistes, superviser l'activité et valider ou non le résultat. Plus généralement, les techniciennes et les techniciens exercent un rôle qui consiste à diffuser les bonnes pratiques, à mettre en place des procédures que les préposées ou les préposés devront par la suite exécuter, puis à les superviser dans l'exécution de ces procédures et vérifier qu'elles ont été réalisées convenablement. Dans certaines usines, en cas de changement dans le procédé ou de mise en service de nouveaux équipements, la technicienne ou le technicien aura la responsabilité d'accompagner les opératrices ou les opérateurs dans leur appropriation des nouvelles procédures, et éventuellement de les superviser.

Au laboratoire, les personnes répondantes mentionnent que les techniciennes et les techniciens sont entre autres appelés à effectuer le calibrage des pH-mètres, des densimètres et des débitmètres. En cas de problème, elles ou ils collaborent avec la technicienne ou le technicien en instrumentation pour le dépannage et le calibrage qui s'en suit.

Elle ou il doit également travailler en collaboration avec la technicienne ou le technicien en instrumentation pour l'entretien, l'étalonnage et le calibrage des capteurs et des instruments de mesure installés dans l'usine. Pour les équipements spécialisés, les gestionnaires interrogés indiquent que le fournisseur du produit réalise généralement les opérations d'entretien, mais que la technicienne ou le technicien est la personne qui communique avec ce dernier. Elle ou il doit donc connaître suffisamment les appareils afin d'orienter correctement le fournisseur en fonction du besoin réel et prioritaire de l'usine.

La collecte d'information menée auprès des gestionnaires des usines de traitement du minerai des entreprises minières de lithium et de graphite ainsi que la consultation des documents de « description de poste » ont également fait ressortir l'importance accordée à la santé et à la sécurité dans le travail des techniciennes et des techniciens en minéralurgie dans les usines. Les responsables des entreprises minières ayant pris part à l'enquête considèrent que les techniciennes et les techniciens représentent les personnes les mieux placées pour sensibiliser les autres travailleuses et travailleurs quant aux enjeux de santé et de sécurité présents dans leur milieu de travail, et ce, notamment en raison de leur rôle pivot les mettant en contact tant avec les métallurgistes qu'avec le personnel réalisant les opérations courantes dans l'usine.

Travail d'équipe

Les membres du personnel d'opération, de maintenance, de projets et de métallurgie à l'emploi d'une usine de traitement du minerai travaillent généralement en équipe. Le travail d'équipe est ce qui rend possible une bonne communication entre les diverses parties prenantes et permet de maximiser l'efficacité des différentes opérations. Par exemple, le travail d'optimisation du procédé exige une collaboration constante entre les techniciennes et les techniciens, les opératrices et les opérateurs, les gestionnaires et spécialement les métallurgistes, que la technicienne ou le technicien doit alimenter par ses observations et commentaires sur les résultats. Elle ou il peut aussi avoir à communiquer avec la mine pour comprendre les caractéristiques du produit extrait et ses impacts sur les opérations du concentrateur. Le travail en équipe permet à la technicienne ou au technicien d'être informé des conditions ou des changements dans l'opération ou encore du moment opportun pour réaliser une campagne d'échantillonnage sans nuire aux activités de production ou de maintenance.

Certaines opérations impliquent nécessairement la collaboration, dans un temps donné, de la presque totalité du personnel, par exemple l'organisation d'un arrêt planifié, l'installation d'un nouvel équipement, un incident soudain comme un déversement ou une autre urgence environnementale. Les techniciennes et les techniciens doivent alors collaborer avec l'ensemble de leurs collègues et savoir appliquer leur connaissance du fonctionnement de l'usine dans des circonstances inhabituelles, par exemple en assistant les mécaniciennes et les mécaniciens à l'occasion d'un arrêt planifié. Pour s'assurer que les techniciennes et les techniciens sont à même d'apporter cette contribution, les entreprises mentionnent qu'elles recherchent des personnes démontrant des capacités comme l'adaptation, la proactivité et le leadership.

Ces qualités relationnelles sont également requises dans le cadre habituel du travail des techniciennes et des techniciens, par exemple pour sensibiliser les autres membres du personnel à l'importance qu'il faut accorder à la qualité du produit fini, à la manipulation adéquate des matières dangereuses et aux autres défis liés à la santé et à la sécurité au travail ainsi qu'à la protection de l'environnement dans l'usine et dans le milieu. Les gestionnaires des entreprises consultées expriment leur besoin de pouvoir compter sur des employées et des employés qui soient autonomes et sensibilisés à ces enjeux et s'attendent à ce que les techniciennes et les techniciens jouent un rôle d'ambassadrices ou d'ambassadeurs pour promouvoir ces priorités auprès de l'ensemble du personnel.

Communications

La capacité de communication est une condition essentielle au travail d'équipe qui a été soulignée par les personnes répondantes. Les techniciennes et les techniciens en minéralurgie sont confrontés à de fréquentes situations impliquant de communiquer avec d'autres destinataires, le plus souvent par des moyens électroniques. Elles ou ils doivent communiquer les résultats des tests et des essais en les accompagnant de recommandations, informer la personne occupant la fonction de métallurgiste ou de gestionnaire de l'usine des changements à étudier, proposer des projets d'optimisation par une présentation illustrée, communiquer oralement ou

électroniquement de façon la plus claire possible avec des fournisseurs, etc. Ces activités requièrent une aisance suffisante quant à l'utilisation des logiciels servant à la communication, mais surtout une bonne capacité de s'exprimer correctement. Les gestionnaires de certaines entreprises jugent que les communications des techniciennes et des techniciens montrent parfois une faiblesse en ce qui a trait à la structure, ainsi qu'à la qualité de l'orthographe et du vocabulaire, notamment en raison du recours à des anglicismes.

Il s'ensuit que l'ensemble des documents de « description de poste » examinés citent, parmi les responsabilités principales, des activités de collaboration. Pour réussir à assumer ces responsabilités, en plus des qualités de communication orale, écrite et électronique, les gestionnaires des entreprises consultées ont évoqué l'importance pour les techniciennes et les techniciens de détenir des capacités leur permettant de transmettre des explications claires, d'assurer une supervision efficace, de s'adapter, de faire preuve de leadership ou encore de travailler en étroite collaboration avec des personnes qui réalisent d'autres types d'activité dans l'entreprise.

2.2. Synthèse des informations recueillies auprès des techniciennes et des techniciens en minéralurgie à l'emploi de mines ou de projets miniers de lithium et de graphite

Pour que le portrait des améliorations qu'il s'avère nécessaire d'apporter au programme d'études collégiales *Technologie minérale – Spécialisation Minéralurgie* en ce qui a trait aux besoins des mines et projets miniers de lithium et de graphite soit le plus complet possible, il est également pertinent de considérer le point de vue des personnes qui exercent la profession de technicienne ou de technicien en minéralurgie dans ces entreprises. La main-d'œuvre occupant cette fonction dans ces entreprises a ainsi été sollicitée pour exposer son point de vue sur les tâches qu'elle est appelée à réaliser ainsi que sa perception de la formation collégiale reçue et des compétences requises dans le milieu de travail.

Le portrait des personnes répondantes

Comme cela a été mentionné dans le chapitre *Méthodologie*, l'enquête a permis de recueillir le point de vue de quatre techniciennes et techniciens en minéralurgie travaillant dans les usines de traitement du minerai de mines ou de projets miniers de lithium ou de graphite au Québec. De ce nombre, une technicienne ou un technicien travaillait dans une mine ou un projet minier de lithium et trois techniciennes ou techniciens travaillaient dans des mines ou des projets miniers de graphite.

Les informations collectées par l'entremise du questionnaire rempli par les techniciennes et les techniciens en minéralurgie ont permis de mieux cerner le profil de ces personnes. Ces informations sur les profils permettent ainsi d'apprécier avec un regard plus éclairé les réponses fournies par les répondantes et les répondants aux questions qui leur ont été soumises. D'abord, en ce qui concerne l'expérience de travail de ces techniciennes et de ces techniciens dans l'usine de traitement du minerai où elles et ils évoluent professionnellement, il ressort de l'enquête que deux des quatre personnes interrogées possèdent « Plus de cinq ans » d'expérience à leur poste actuel, tandis que les deux autres personnes détiennent respectivement « Entre un et trois ans » et « Moins d'un an » d'ancienneté à leur poste actuel. Ces données montrent qu'à l'exception d'une seule personne répondante, les techniciennes et les techniciens ayant participé à l'enquête occupent leurs fonctions depuis une période d'au minimum un an, ce qui permet de considérer que les informations fournies proviennent de personnes détenant une expérience de travail suffisante.

Ensuite, l'ensemble des personnes répondantes ont affirmé dans le cadre de l'enquête avoir réalisé leur formation collégiale entre 2011 et 2025. Cette information est pertinente à prendre en compte dans le cadre de cette analyse puisqu'elle révèle que ces techniciennes et ces techniciens en minéralurgie ont toutes et tous réalisé leur parcours de formation collégiale après 2008, soit l'année où l'actualisation du programme *Technologie minérale* a été réalisée. Les informations transmises par ces personnes relativement à ce programme d'études collégiales

portent donc sur la version à jour de celui-ci. Cette version étant naturellement celle analysée dans le cadre du présent rapport d'analyse, les informations soumises seront ainsi en adéquation avec le travail d'analyse effectué.

Le point de vue sur les principales tâches réalisées dans le cadre de l'emploi

D'abord, les techniciennes et les techniciens en minéralurgie des mines et des projets miniers de lithium et de graphite ont été questionnés afin de déterminer ce que ces personnes considèrent comme les principales tâches réalisées dans le cadre de leur travail. Le **tableau 5** synthétise ces différentes tâches et montre que, malgré la diversité des tâches mentionnées, certaines sont citées plus fréquemment, comme le *suivi du procédé de traitement du concentré* qui est nommé par l'ensemble des personnes répondantes. Parmi les autres tâches évoquées, il est également possible de mentionner la *transmission des consignes d'opération aux opératrices et aux opérateurs* et la *réalisation de tests*. Ces dernières tâches, qui ont été signalées par au moins la moitié des techniciennes et des techniciens en minéralurgie ayant participé à l'enquête, sont centrales dans la responsabilité consistant à réaliser le *suivi du procédé de traitement du concentré.* En effet, tant les consignes d'opération que les tests permettent de veiller à ce que la main-d'œuvre et l'équipement soient alignés sur les paramètres de production attendus. Le fait que ces trois tâches interreliées apparaissent au sommet de la liste des principales tâches réalisées témoigne de la grande importance qu'accordent les techniciennes et les techniciens au suivi rigoureux du procédé de traitement dans le cadre de leur travail.

Tableau 5 - Principales tâches réalisées par les techniciennes et les techniciens en minéralurgie dans le cadre de leur fonction selon leur perception

TÂCHES	TÂCHES RÉALISÉES PAR **LA TOTALITÉ DES PERSONNES RÉPONDANTES**	TÂCHES RÉALISÉES **PAR LA MOITIÉ DES PERSONNES RÉPONDANTES OU PLUS**	TÂCHES RÉALISÉES **PAR MOINS DE LA MOITIÉ DES PERSONNES RÉPONDANTES**
Réaliser le suivi du procédé de traitement du concentré	✔		
Transmettre aux opératrices et aux opérateurs les consignes d'opération		✔	
Réaliser des tests (en laboratoire, de flottation, etc.)		✔	
Résoudre les problèmes mécaniques des équipements de traitement			✔
Calibrer les capteurs			✔
Produire et communiquer les indicateurs clés de performance (ICP)			✔
Réaliser des bilans de masse			✔
Consigner les conditions d'opération			✔
Gérer les projets d'amélioration			✔
Mettre à jour les plans de l'usine et identifier les équipements			✔
Élaborer un plan d'expérience et des modèles statistiques pour optimiser la production			✔
Coordonner le travail des opératrices et des opérateurs			✔

Question : Veuillez indiquer les principales tâches que vous devez réaliser.

L'évaluation de l'adéquation entre l'offre de formation collégiale et certaines responsabilités clés des techniciennes et des techniciens en minéralurgie

L'enquête menée auprès des techniciennes et des techniciens en minéralurgie travaillant dans les mines et projets miniers de lithium et de graphite a également été l'occasion de sonder ces personnes quant à leur perception en ce qui a trait à l'adéquation entre la formation reçue durant leur parcours d'apprentissage au collégial et le travail qu'elles ou qu'ils doivent réaliser dans les entreprises minières de lithium et de graphite. Leur perception de l'adéquation entre le contenu de l'offre de formation et quatre responsabilités que les entreprises ont identifiées comme étant importantes pour cette fonction de travail a été analysée. Ces quatre responsabilités sont les suivantes :

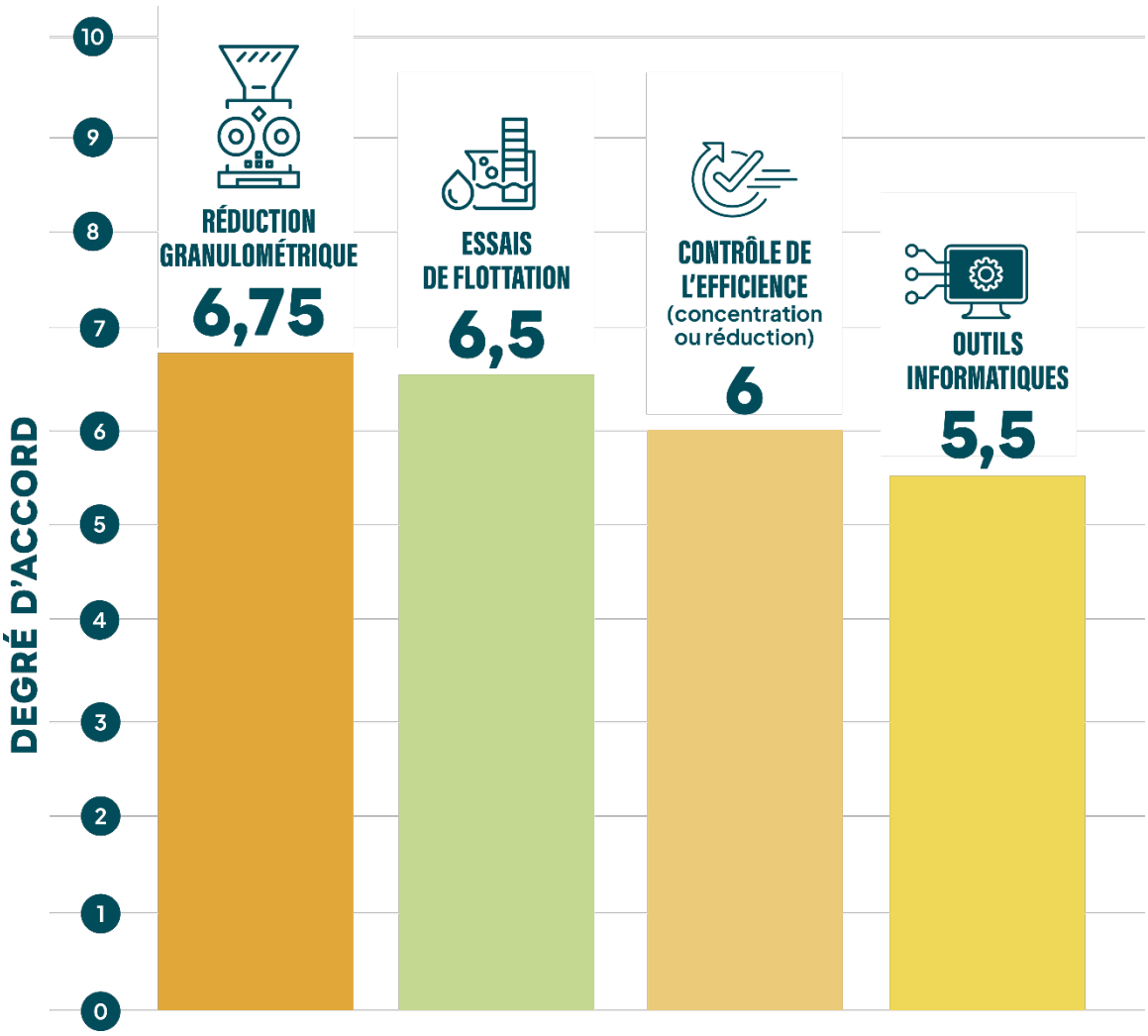
- effectuer des essais de flottation pour le minerai traité à l'usine de traitement;
- contrôler l'efficience d'un procédé de concentration ou d'extraction minéralurgique;
- travailler dans une usine de traitement où les méthodes de réduction granulométrique sont utilisées dans le procédé de traitement;
- exploiter de manière optimale les outils informatiques présents à l'usine de traitement.

La perception des techniciennes et des techniciens en minéralurgie quant à l'adéquation entre la formation offerte et la préparation des personnes étudiantes à prendre en charge les responsabilités mentionnées ci-dessus est illustrée dans la **figure 1**. Les personnes répondantes ont ainsi été invitées à classer leur perception en ce qui a trait à cette adéquation en attribuant une note entre 1 et 10 à chacun des énoncés portant sur les quatre responsabilités et débutant tous par :

> « L'enseignement offert dans le cadre de ma formation collégiale m'a préparé adéquatement à : […] ».

La note 1 signifiait que la personne répondante était « Totalement en désaccord » avec cet énoncé tandis que la note 10 signifiait que cette personne était « Totalement en accord » avec l'énoncé.

Figure 1 – Évaluation de l'adéquation entre la formation collégiale et certaines responsabilités clés selon le point de vue des techniciennes et des techniciens en minéralurgie (moyenne des résultats)



Question : Veuillez indiquer quel est votre degré d'accord ou de désaccord avec les énoncés suivants sur une échelle de 1 à 10, 1 signifiant « Totalement en désaccord » et 10 signifiant « Totalement en accord ».

La **figure 1** présente la moyenne des résultats collectés auprès des personnes répondantes au sujet de leur perception évaluée sur une échelle de 1 à 10. Les réponses montrent peu de disparité entre les degrés d'accord exprimés sur les quatre énoncés. Toutefois, l'énoncé qui a reçu le niveau d'accord le plus faible est le suivant :

> « L'enseignement offert dans le cadre de ma formation collégiale m'a préparé adéquatement à exploiter de manière optimale les outils informatiques présents à l'usine de traitement. »

Alors qu'il a été souligné antérieurement dans le présent rapport que la maîtrise adéquate des outils informatiques par les techniciennes et les techniciens en minéralurgie constituait une exigence des mines et projets miniers de lithium et de graphite (une attente exprimée par les employeurs tant lors des entrevues que dans les documents de description de poste analysés), le fait que les techniciennes et les techniciens perçoivent que l'adéquation entre la formation et leurs responsabilités est moins optimale en ce qui a trait à l'utilisation des outils informatiques représente un élément pertinent à considérer pour enrichir l'analyse menée dans ce rapport. Cet élément sera donc notamment pris en compte dans le chapitre *Constats et recommandations*.

La perception de l'adéquation entre l'offre de formation collégiale et les savoir-faire nécessaires pour travailler avec les outils et équipements présents dans les usines de traitement du minerai

Enfin, l'enquête a permis de faire ressortir le point de vue des techniciennes et des techniciens en minéralurgie quant aux savoir-faire requis pour travailler de manière efficace avec les divers outils et matériels (équipements, instruments et logiciels) présents dans leur milieu de travail et à propos desquels un renforcement de la formation offerte durant le parcours collégial pourrait être pertinent pour favoriser la réalisation de leurs tâches.

Le **tableau 6** montre que la maîtrise des logiciels de statistiques et d'analyse de données représente le seul savoir-faire lié aux outils de travail ayant été mentionné par la majorité des techniciennes et des techniciens en minéralurgie.

Tableau 6 – Savoir-faire liés aux outils et équipements industriels nécessitant un renforcement de la formation selon le point de vue des techniciennes et des techniciens en minéralurgie

SAVOIR-FAIRE		SAVOIR-FAIRE JUGÉ INSUFFISANT PAR LA **MAJORITÉ** DES PERSONNES RÉPONDANTES	SAVOIR-FAIRE JUGÉ INSUFFISANT PAR **LA MOITIÉ** DES PERSONNES RÉPONDANTES	SAVOIR-FAIRE JUGÉ INSUFFISANT PAR **MOINS DE LA MOITIÉ** DES PERSONNES RÉPONDANTES
EXPLOITER DES LOGICIELS	Logiciels de statistiques et d'analyse de données	✔		
	Logiciels tableurs (Excel)		✔	
	Logiciels de tableau de bord			✔
	Logiciels de conception assistée par ordinateur et de simulation de projets			✔
	Logiciels d'optimisation industrielle intégrant une approche d'apprentissage automatique (intelligence artificielle)			✔
RÉALISER L'ENTRETIEN OU LA CALIBRATION D'INSTRUMENTS	Échantillonneurs		✔	
	Analyseurs en ligne		✔	
	Capteurs			✔

Tableau 6 – Savoir-faire liés aux outils et équipements industriels nécessitant un renforcement de la formation selon le point de vue des techniciennes et des techniciens en minéralurgie (*suite*)

SAVOIR-FAIRE		SAVOIR-FAIRE JUGÉ INSUFFISANT PAR LA **MAJORITÉ** DES PERSONNES RÉPONDANTES	SAVOIR-FAIRE JUGÉ INSUFFISANT PAR **LA MOITIÉ** DES PERSONNES RÉPONDANTES	SAVOIR-FAIRE JUGÉ INSUFFISANT PAR **MOINS DE LA MOITIÉ** DES PERSONNES RÉPONDANTES
ANALYSER ET OPTIMISER LA PRODUCTION À PARTIR DE LA CONNAISSANCE DES ÉQUIPEMENTS	Concasseur			✔
	Broyeur primaire et secondaire conventionnel			✔
	Banc de flottation			✔
	Équipement de séchage			✔
	Broyeur de polissage			✔
	Broyeur à média agité			✔

Question : Quel est le savoir-faire requis dans votre milieu de travail actuel pour lequel il aurait été pertinent de recevoir plus de formation dans le cadre de votre parcours collégial et quels sont les matériels ou les outils (équipements, logiciels, instruments, etc.) présents dans votre milieu de travail qui n'ont pas été abordés (ou suffisamment abordés) lors de votre formation collégiale et à propos desquels il aurait été bénéfique de recevoir davantage de formation?

La collecte d'information permet de surcroît de constater qu'en plus des logiciels de statistiques et d'analyse de données, les autres outils utilisés dans le milieu de travail qui sont principalement évoqués, ceux-ci par la moitié des personnes répondantes, sont les échantillonneurs et les analyseurs en ligne (des instruments de mesure, d'analyse et de contrôle des procédés) ainsi que le logiciel Excel (un logiciel tableur).

En somme, les savoir-faire liés à l'utilisation de deux types d'outils ressortent particulièrement des réponses obtenues de la part des techniciennes et des techniciens en minéralurgie, soit ceux liés à :

- l'entretien et la calibration de certains instruments de mesure, d'analyse et de contrôle des procédés;
- l'exploitation des logiciels permettant la saisie, le suivi, l'analyse et la génération de statistiques à partir des données saisies par les instruments de mesure et de contrôle installés dans les usines.

Il est ainsi possible de constater que les savoir-faire mis en évidence comme étant requis dans le milieu de travail et pour lesquels un renforcement de la formation collégiale pourrait s'avérer nécessaire pour préparer plus adéquatement les personnes diplômées aux réalités des usines de traitement du minerai des mines de lithium et de graphite concernent des outils dont la maîtrise est cruciale pour assurer un suivi continu et précis des procédés ainsi que l'optimisation de la production.

2.3. Synthèse des informations recueillies auprès des cégeps

Pour que le portrait des améliorations qu'il s'avère nécessaire d'apporter au programme d'études collégiales *Technologie minérale - Spécialisation Minéralurgie* au regard des besoins des mines et projets miniers de lithium et de graphite soit complet, il convient également de considérer le point de vue des établissements d'enseignement qui offrent ce programme. Les membres du personnel enseignant des trois cégeps offrant le programme ont donc fait part de leurs observations sur celui-ci et leur façon de l'enseigner dans le cadre d'entrevues menées par l'Institut national des mines.

2.3.1. Devis ministériel du programme d'études

Le programme *Technologie minérale* actuellement en vigueur a été publié en 2008 et a été implanté de 2008 à 2012 dans les trois cégeps qui l'offrent (Ministère de l'Enseignement supérieur, 2008). Depuis 2008, le contenu de formation du programme n'a fait l'objet d'aucune mise à jour majeure. Quant à lui, le rapport d'analyse de situation de travail le plus récent pour la profession de technicienne ou de technicien en minéralurgie a été publié en 1999 (Ministère de l'Éducation, 1999). L'analyse de situation de travail, un exercice qui permet de « tracer le portrait le plus fidèle possible de la profession » afin de veiller à ce que le programme soit en adéquation avec la fonction de travail, n'a donc pas été actualisée depuis plus de 25 ans (Ministère de l'Éducation, 1999, p. 1). Toutefois, la méthode de développement selon l'approche par compétences adoptée lors de l'élaboration du devis ministériel a permis au programme de rester pertinent, en grande partie, puisque les cégeps détiennent la latitude nécessaire pour organiser les compétences à l'intérieur du parcours de formation de la personne apprenante, et ce, de façon indépendante. Les trois cégeps offrant le programme (Abitibi-Témiscamingue, Sept-Îles et Thetford) proposent donc un programme basé sur les mêmes compétences spécifiques réparties entre le tronc commun et la voie de spécialisation Minéralurgie. Cependant, ces compétences sont réparties différemment entre les cours selon les orientations choisies par les cégeps. Ces compétences, tout comme les éléments de compétence et les critères de performance, sont demeurées inchangées depuis 2008. Néanmoins, les équipes enseignantes chargées d'offrir le programme ont mentionné lors de la collecte d'information avoir modifié les contenus de cours ainsi que les méthodes d'enseignement afin d'actualiser la formation en fonction de l'évolution de l'industrie, en citant notamment en exemple la mise en valeur de nouveaux gisements de lithium et de graphite.

2.3.2. Organisation de l'enseignement

Comme mentionné précédemment, les cégeps organisent la répartition des compétences dans les cours, et ce, de façon indépendante. Les trois cégeps offrent donc un programme présentant les mêmes 26 compétences spécifiques au programme *Technologie minérale - Spécialisation Minéralurgie*, mais, selon le cégep, celles-ci sont réparties différemment dans les cours.

Dans les trois cégeps, la structure du programme *Technologie minérale* est la même, soit deux années de tronc commun suivies d'une année de spécialisation. Durant les deux années de tronc commun, les étudiantes et les étudiants sont formés sur les notions plus générales de géologie, d'exploitation minière et de minéralurgie. La troisième année correspond à l'année de spécialisation et les personnes apprenantes doivent alors choisir la voie de spécialisation dans laquelle elles ou ils veulent davantage approfondir leurs compétences. Ces trois voies de spécialisation sont les suivantes : *Géologie*, *Exploitation* ou *Minéralurgie*. Selon les enseignantes et les enseignants interrogés, cette structure du programme représente l'un des points forts de celui-ci. Elle permet aux étudiantes et aux étudiants de développer le sens de l'analyse et la capacité d'intégrer les notions des trois voies de spécialisation dans le cadre de leur travail.

2.3.3. Contenus d'apprentissage

Les entretiens réalisés par l'Institut national des mines avec les entreprises minières de graphite et de lithium ont permis de faire ressortir les connaissances, les aptitudes, les attitudes ainsi que la maîtrise de certains outils recherchées par ces mines et projets miniers chez les personnes destinées à occuper les fonctions de techniciennes ou de techniciens en minéralurgie. L'Institut a donc basé les entrevues semi-dirigées menées auprès des équipes enseignantes des cégeps sur les éléments soulignés par les entreprises minières actives dans les filières du lithium et du graphite. Les thématiques ci-dessous résument ainsi les réponses des membres du personnel enseignant des trois cégeps ayant participé à la collecte d'information conduite en lien avec les principaux points énoncés par les responsables des entreprises minières de lithium et de graphite.

Optimisation des procédés et contrôle-commande

Selon les entreprises consultées dans le cadre de la collecte d'information, l'une des principales tâches d'une technicienne ou d'un technicien en minéralurgie consiste à recourir à l'utilisation des systèmes de contrôle-commande et des analyseurs en ligne dans un objectif constant d'optimisation des procédés. L'utilisation de cet ensemble d'instruments et d'analyseurs implique de bien comprendre tant le fonctionnement individuel de ceux-ci que les interactions entre eux.

La collecte de données menée auprès des personnes répondantes des cégeps a permis de faire ressortir le fait que, dès les premiers cours comportant des notions de minéralurgie suivis par la personne apprenante dans le cadre du tronc commun du programme, l'utilisation de balances dans les laboratoires permet d'introduire les notions de calibrage et d'étalonnage. Dans d'autres cours du tronc commun, des instruments de mesure sont utilisés et doivent être calibrés (ex. : instruments d'arpentage). La collecte d'information révèle également que les notions de calibrage et d'étalonnage d'instruments de mesure sont enseignées dans les trois cégeps, principalement dans les cours de la voie de spécialisation *Minéralurgie*. Les principaux instruments que les étudiantes et les étudiants apprennent à calibrer sont les pH-mètres, les débitmètres et les densimètres, car ce sont généralement les seuls instruments que possèdent les cégeps. Finalement, le personnel enseignant mentionne que, dans les cours d'analyse chimique offerts dans le cadre de la voie de spécialisation *Minéralurgie*, l'étalonnage des instruments d'analyse est également enseigné, ce qui permet de renforcer les apprentissages y étant associés.

L'importance de maîtriser la notion d'analyse minéralogique a également été soulignée par les gestionnaires des entreprises interrogées. L'analyse minéralogique, aussi appelée géométallurgie, implique d'analyser la répartition minéralogique des éléments chimiques de valeur présents dans le minerai. Cette analyse permet de compléter les analyses chimiques en indiquant dans quel(s) minéral(aux) ou sous quelle(s) forme(s) se retrouve un élément chimique de valeur (par exemple, le lithium ou le graphite) dans un minerai. Elle fournit des informations, complémentaires aux analyses chimiques, qui permettent d'expliquer le comportement ou le cheminement d'un élément de valeur dans le procédé de traitement. Le personnel enseignant des trois cégeps a mentionné avoir intégré la notion d'analyse minéralogique dans l'enseignement du programme, mais surtout de manière théorique ou à l'aide d'exercices, car les cégeps ne possèdent pas les équipements nécessaires pour réaliser ce type d'analyses. Un des cégeps a d'ailleurs mis sur pied un cours portant spécifiquement sur cet aspect pour la voie de spécialisation *Minéralurgie*. Étant donné l'importance grandissante que connaît l'analyse minéralogique dans l'exploitation et le traitement des gisements, une importance soulignée par les mines et projets miniers de lithium et de graphite dans le cadre de la collecte de données, le personnel enseignant interrogé estime que l'ajout d'une compétence en lien avec ce sujet serait très pertinent et permettrait de développer davantage les compétences des personnes apprenantes en cette matière par rapport à ce qui est prévu dans le programme actuel.

Un autre point crucial dans l'optimisation des procédés est la réalisation de campagnes d'échantillonnage, c'est-à-dire une opération structurée au cours de laquelle des données de production sont recueillies de manière à présenter un portrait représentatif de la performance du procédé (Ranchev, Grigorova et Nishkov, 2018). Comme mentionné par les personnes répondantes de plusieurs entreprises minières de lithium et de graphite interrogées dans le cadre de ce projet, la planification, la réalisation et l'analyse des résultats obtenus lors de ces campagnes font partie des responsabilités qui incombent à une technicienne ou à un technicien en minéralurgie travaillant dans une usine de traitement du minerai d'une mine de lithium ou de graphite. Les entrevues réalisées font ressortir qu'un seul des trois cégeps est en mesure

d'enseigner les méthodes de réalisation de campagnes d'échantillonnage par l'entremise d'activités d'apprentissage à la fois théoriques et pratiques, soit le seul cégep possédant une mini-usine fonctionnant en continu. Dans les deux autres cégeps qui n'ont pas accès à une mini-usine ou à une installation équivalente, les notions théoriques sont enseignées (ex. : méthodes d'échantillonnage et de division, notions de fiabilité et de représentativité, etc.), mais sans être complétées par des activités d'apprentissage pratiques par faute d'accès aux installations requises pour ce faire.

Habiletés en informatique et en matière d'analyse statistique

Lors de la collecte d'information menée auprès des entreprises, les personnes répondantes de ces dernières ont insisté sur l'importance que revêt la maîtrise des logiciels de base, comme ceux de la suite Office par exemple, et des logiciels plus spécialisés, comme les logiciels de bilans de matières par exemple, dans les tâches des techniciennes et des techniciens en minéralurgie. Ces logiciels, comme Excel et Bilmat, pour ne citer que les deux les plus fréquemment mentionnés par les gestionnaires interrogés, sont utilisés dans les usines de traitement des minerais de graphite et de lithium afin de récolter toutes les données fournies par les différents capteurs et analyseurs en ligne ainsi que par le biais de l'exécution d'essais réalisés en laboratoire. Une fois saisies dans le logiciel, ces données peuvent être traitées pour en faire ressortir les informations nécessaires au suivi du procédé (comme les débits, les teneurs, les pourcentages solides, etc.) dans les différents flux de l'usine. Les équipes enseignantes des trois cégeps confirment que les principaux logiciels de la suite Office (Word, Excel, PowerPoint) sont utilisés dans plusieurs, sinon la majorité des cours du programme, que ce soit pour la rédaction de rapports ou dans le cadre de présentations orales. Le personnel enseignant de deux des trois cégeps mentionne enseigner également l'utilisation du logiciel Microsoft Access[10], mais les enseignantes et les enseignants d'un seul de ces cégeps indiquent maintenir l'utilisation de ce logiciel dans le reste du parcours d'apprentissage et dans d'autres cours du programme, permettant ainsi aux étudiantes et aux étudiants de renforcer leur appropriation de ce logiciel. L'enquête menée a aussi mis au jour le fait que le logiciel Excel est également utilisé par le personnel enseignant de deux cégeps comme logiciel de soutien à l'enseignement des notions entourant la gestion et la mise à jour de bases de données.

Toujours en ce qui concerne le logiciel Excel, les enseignantes et les enseignants des trois cégeps indiquent accorder à son apprentissage une importance particulière, notamment en s'assurant que les étudiantes et les étudiants l'utilisent de manière soutenue pendant leur parcours de formation. Le personnel enseignant a en effet constaté que les personnes apprenantes ne sont généralement pas familières avec les fonctionnalités du logiciel Excel au moment d'entamer leur parcours d'apprentissage dans le programme, ce pourquoi le recours fréquent à cet outil informatique est priorisé. Ce logiciel est également utilisé pour l'apprentissage de l'analyse statistique, et ce, dans les trois cégeps. Dans l'un de ces cégeps, cet apprentissage se fait dans le

[10] Selon l'entreprise Microsoft, le logiciel Access permet de créer et de partager des applications de base de données grâce à des outils de conception (Microsoft, 2026).

cadre de cours du tronc commun, alors que cela se fait dans les cours de la voie de spécialisation *Minéralurgie* dans les deux autres cégeps.

Selon les besoins formulés par les responsables des entreprises interrogées, une connaissance approfondie du traitement et de l'analyse statistique des nombreuses données générées par les analyseurs en continu représente un aspect important parmi les responsabilités d'une technicienne ou d'un technicien en minéralurgie. L'utilisation du logiciel Excel à cette fin apparaît comme une pratique répandue dans les entreprises concernées. En plus d'être un chiffrier de base dans la suite Office qui peut être utilisé pour compiler les données fournies par l'instrumentation (base de données), le logiciel Excel possède des fonctions de calcul très avancées lui permettant d'effectuer les calculs impliqués dans les bilans de matières dans les usines. Ces calculs permettent, pour ne nommer qu'un exemple, de reconstituer des données (débits, teneurs, pourcentage de récupération, etc.) sur des flux qu'il n'est pas possible d'échantillonner. Les personnes répondantes des entreprises ont souligné à maintes reprises, dans le cadre de la collecte d'information, l'importance de maîtriser le logiciel Excel et son utilisation comme outil de base de données et d'analyse statistique, tout comme elles ont également mentionné que l'enseignement de celui-ci pourrait possiblement être développé davantage. En effet, les gestionnaires de certaines entreprises interrogées estimaient que les finissantes et les finissants du programme n'étaient pas suffisamment à l'aise avec l'utilisation du logiciel Excel au moment de leur embauche. Le logiciel Access, quant à lui, ne semble pas être utilisé comme logiciel de base de données dans les entreprises interrogées.

En ce qui concerne le niveau de maîtrise global des logiciels de la suite Office (Word, Excel et PowerPoint), les personnes répondantes des cégeps considèrent que les étudiantes et les étudiants diplômés du programme sont suffisamment à l'aise dans l'utilisation de ces logiciels pour être efficaces dans leur travail dès leur arrivée sur le marché du travail. Cependant, le personnel enseignant des trois cégeps mentionne ne pas avoir pour objectif de former des spécialistes de la suite Office, mais plutôt des personnes aptes à mettre à profit les fonctionnalités de base de ces logiciels.

En ce qui a trait aux logiciels spécialisés, le personnel enseignant d'un seul des trois cégeps affirme enseigner l'utilisation d'un logiciel de bilans de matières. Les deux autres cégeps enseignent également la réalisation de bilans de matières, mais à partir du logiciel Excel. Le manque de temps, la difficulté à obtenir des données de la part de l'industrie et le coût des licences sont les principaux freins à l'enseignement de ce type de logiciel cités par les équipes enseignantes.

Enfin, en ce qui concerne l'intégration des notions liées à l'utilisation de l'intelligence artificielle dans le cadre de l'enseignement, les enseignantes et les enseignants des trois cégeps affirment avoir déjà commencé à intégrer ces notions dans les activités d'apprentissage. Pour certains membres du personnel enseignant, cette intégration débute dès la première année du programme. Pour d'autres, l'approche privilégiée consiste à intégrer ces notions dans les cours de la voie de spécialisation *Minéralurgie*, car il est considéré que les étudiantes et les étudiants n'ont pas suffisamment développé leur esprit critique pour utiliser l'intelligence artificielle avant la dernière année de formation. Les enseignantes et les enseignants interrogés dans le cadre de l'élaboration de ce rapport sont tous d'avis qu'il serait pertinent d'intégrer un élément de compétence portant sur l'intelligence artificielle dans la compétence *033U – Exploiter un*

environnement informatique. Cela permettrait d'uniformiser le contenu portant sur l'intelligence artificielle dans l'enseignement offert par les trois cégeps.

Compréhension du fonctionnement de certains équipements stratégiques

Pour réaliser le traitement du minerai de lithium et du minerai de graphite, les gestionnaires des entreprises consultées ont mentionné utiliser plusieurs équipements peu répandus dans les usines de traitement de minerai des mines québécoises. Parmi ces équipements, il est possible de mentionner les séparateurs magnétiques à haute intensité, les cellules de flottation de types *Hydrofloat* et *Crossflow*, les équipements de triage du minerai, les séparateurs en milieu dense de type DMS (*Dense Media Separation*) et les appareils de broyage verticaux de type SMM (*Stirred Media Mill*). Les gestionnaires des usines procédant au traitement du graphite ont quant à eux ajouté deux équipements spécifiques à leurs activités de traitement à cette liste, soit les polisseurs et les attriteurs. Un seul des trois cégeps possède l'un de ces équipements moins traditionnels (il s'agit de cellules de flottation de type *Hydrofloat*) et est ainsi en mesure d'en faire l'enseignement de façon pratique. Les équipements de triage du minerai et les autres équipements que les cégeps ne possèdent pas font cependant généralement l'objet d'un enseignement théorique. Il est toutefois mentionné par les membres du personnel enseignant que, même si les cégeps possédaient tous les équipements spécifiques évoqués par les mines et projets miniers de lithium et de graphite, le manque de temps d'enseignement disponible ne permettrait pas d'enseigner le fonctionnement de ces équipements de façon pratique.

Travail d'équipe et communication

Tant les entrevues réalisées avec les entreprises que l'analyse des documents de « description de poste » permettent de constater que les habiletés pour le travail d'équipe et en communication constituent des aptitudes essentielles recherchées chez une technicienne ou un technicien en minéralurgie. Les personnes répondantes des trois cégeps ont mentionné le fait d'intégrer des activités d'apprentissage visant à renforcer l'enseignement de ces compétences dans les cours. Ces compétences transversales sont développées tout au long du programme et culminent dans les cours *Projets* de la voie de spécialisation *Minéralurgie*. Ces activités se traduisent généralement par des travaux d'équipe, la rédaction de rapports et des présentations orales. Les compétences en communication sont ainsi évaluées dans le cadre de ces activités. Dans les trois cégeps, des travaux en équipe sont faits par les étudiantes et les étudiants, notamment par la réalisation de travaux en laboratoire. La capacité à travailler en équipe n'est cependant pas évaluée puisque les travaux faits en équipe sont remis individuellement par chaque personne apprenante pour être évalués. En ce qui concerne les logiciels de communication (ex. : Teams, Outlook, PowerPoint), les membres du personnel enseignant indiquent que ceux-ci sont utilisés par les étudiantes et les étudiants fréquentant les trois cégeps, mais que leur fonctionnement et leur utilisation ne sont pas enseignés de manière formelle dans un cours, sauf le logiciel PowerPoint qui fait formellement l'objet d'une activité d'apprentissage dans l'un des cégeps. De plus, selon les activités d'apprentissage réalisées dans chacun des cégeps, certains logiciels de communication moins répandus peuvent également être l'objet d'enseignement (ex. : les logiciels de montage vidéo).

Plusieurs compétences du programme traitant des méthodes de concentration du minerai (ex. : *034X – Contrôler l'efficience d'un procédé de concentration ou d'extraction minéralurgique*, *034W – Effectuer des essais de flottation*, *034V – Effectuer des essais d'hydrométallurgie*, *034U – Effectuer des essais d'extraction pyrométallurgique*) comportent un élément de compétence portant sur la communication des résultats obtenus (« Rédaction et correction appropriées des documents », « Utilisation du vocabulaire approprié », « Transmissibilité de l'information », etc.) (Ministère de l'Enseignement supérieur, 2008). Cependant, la communication entre les équipes de travail ou à l'intérieur d'une même équipe ne fait pas l'objet d'une compétence ou d'un élément de compétence. Les gestionnaires des entreprises ainsi que les documents de « description de poste » consultés font ressortir l'importance, pour les techniciennes et les techniciens en minéralurgie, de posséder de bonnes aptitudes dans ce domaine. En effet, ces personnes sont souvent la courroie de transmission de l'information entre les différentes équipes. Dans ce contexte, travailler efficacement en équipe passe en premier lieu par l'établissement et le maintien d'une communication efficace.

Le personnel enseignant d'un des cégeps a mentionné aborder les enjeux liés à la supervision de main-d'œuvre dans le cadre de la formation. Les techniciennes et les techniciens en minéralurgie pouvant en effet, selon une partie des gestionnaires des entreprises consultées, être appelés à superviser des membres du personnel de l'usine de traitement du minerai, comme des opératrices et opérateurs ou des préposées et préposés de laboratoire, il apparaît pertinent pour les enseignantes et les enseignants de ce cégep d'inclure des notions en lien avec la supervision dans le cadre de l'enseignement offert aux personnes apprenantes.

Santé et sécurité au travail

La collecte d'information menée auprès des mines et projets miniers de lithium et de graphite ainsi que la consultation des documents de « description de poste » ont également fait ressortir l'importance devant être accordée aux éléments liés à la santé et à la sécurité dans le travail des techniciennes et des techniciens en minéralurgie. Comme mentionné précédemment, les gestionnaires des entreprises minières interrogées considèrent les techniciennes et les techniciens comme étant les personnes les mieux placées pour sensibiliser les autres membres du personnel de l'usine de traitement du minerai quant aux enjeux de santé et de sécurité présents dans leur milieu de travail. Les entreprises ont majoritairement affirmé que les techniciennes et les techniciens reçoivent une formation adéquate en ce sens lors de leur parcours scolaire dans le programme *Technologie minérale*. Les entrevues réalisées ont permis de mettre au jour le fait que les trois cégeps offrent un cours portant sur la santé et la sécurité au travail dans le tronc commun du programme. Ces cours, axés sur les aspects de santé et de sécurité dans toutes les phases d'une exploitation minière, incluent la formation sur le SIMDUT (Système d'identification des matières dangereuses utilisées au travail), essentielle dans le travail des techniciennes et des techniciens en minéralurgie.

Aptitudes générales

En ce qui concerne les aptitudes recherchées chez les techniciennes et les techniciens en minéralurgie, tant les documents de « description de poste » examinés que les responsables des entreprises consultées mentionnent l'importance du jugement critique et de l'esprit d'analyse comme aptitudes nécessaires pour les personnes occupant cette fonction. Dans le cadre de la collecte d'information, les enseignantes et les enseignants des cégeps ont mentionné la grande importance accordée au développement du jugement et de l'esprit critique des étudiantes et des étudiants en lien avec l'évaluation de la fiabilité des données. Cet aspect est développé de manière transversale tout au long du parcours d'apprentissage. En effet, à titre d'exemple, pour chacune des étapes du traitement d'un échantillon de minerai (échantillonnage, division, calibrage et étalonnage des instruments et appareils, réalisation des essais selon les procédures, analyse des résultats), le personnel enseignant apprend aux étudiantes et aux étudiants à se questionner à la fois sur la fiabilité de la méthode, des manœuvres et des appareils utilisés ainsi que sur les résultats obtenus.

De plus, les enseignantes et les enseignants de tous les cégeps consultés affirment mettre l'accent sur le jugement et l'évaluation de la fiabilité et de la véracité des résultats fournis par l'intelligence artificielle. Elles et ils invitent les étudiantes et les étudiants à comparer les résultats obtenus par l'intelligence artificielle avec les résultats découlant de leur propre démarche, et à toujours garder en tête que l'intelligence artificielle n'a pas la réponse absolue à toutes les questions. L'idée est ainsi de contribuer au développement de l'esprit critique des personnes apprenantes, entre autres par la promotion d'une utilisation réfléchie des outils numériques basés sur l'intelligence artificielle. Le développement du jugement et de l'esprit critique des personnes apprenantes en lien avec l'évaluation de la fiabilité des données étant un enjeu crucial en minéralurgie, les enseignantes et les enseignants des trois cégeps placent ainsi le développement de cette compétence au cœur du parcours d'apprentissage de leurs étudiantes et étudiants.

La possibilité d'intégrer cette aptitude consistant à être en mesure de porter un jugement et d'avoir un esprit critique développé découle également de la structure du programme. En visant la formation de généralistes qui comprennent toutes les activités du cycle minier, le programme *Technologie minérale* forme des personnes qui sont à même de bien comprendre l'ensemble des activités réalisées dans l'entreprise et les interactions entre ces différentes activités. Par exemple, une technicienne ou un technicien en minéralurgie sera plus en mesure de comprendre les effets, sur l'alimentation au procédé, d'un changement des caractéristiques du minerai à la suite de l'exploitation d'une nouvelle zone dans la mine, car elle ou il sera capable de comprendre les changements dans les caractéristiques géologiques du minerai. Le développement du jugement et de l'esprit critique jumelé à la manière dont le programme est structuré représentent donc autant d'éléments qui rendent les personnes diplômées aptes à réaliser les tâches complexes caractérisant leur travail.

2.3.4. Formation pratique dans le programme d'études collégiales Technologie minérale

Formation pratique au collégial

Lors de l'implantation d'un programme d'études collégiales, les cégeps « ont la responsabilité de mettre en œuvre le programme et de déterminer les activités d'apprentissage nécessaires à l'atteinte des compétences. Chaque collège détermine donc les cours, les stages, les laboratoires, les contenus des cours et l'horaire, notamment » (Ministère de l'Enseignement supérieur, 2021, p. 3). De plus, les cégeps « établissent la méthode pour atteindre les compétences avec les activités d'apprentissage de leur choix (stages, théorie, études de cas, simulations, observations, conférences, rencontres de travailleurs et d'employeurs, etc.) » (Ministère de l'Enseignement supérieur, 2021, p. 3).

L'une de ces méthodes d'apprentissage bien implantée dans les programmes collégiaux au Québec est l'alternance travail-études. Selon le gouvernement du Québec, « l'alternance travail-études (ATE) permet aux personnes étudiantes en formation technique de réaliser au moins deux stages en entreprise » (Gouvernement du Québec, 2025). Comme cela est indiqué dans le document intitulé *L'ATE, une valeur ajoutée*, publié par l'Association québécoise d'alternance travail-études, les avantages de ce mode d'enseignement sont les suivants :

« Pour les élèves :

- Apprentissages en lien avec les réalités du monde du travail
- Ajustements de sa vision de sa profession ou de son métier
- Amélioration de ses aptitudes socioprofessionnelles
- Prise en charge de son développement professionnel
- Planification de son insertion professionnelle
- Motivation, persévérance scolaire
- Augmentation de ses chances d'obtenir un emploi dans son domaine d'études

Pour le milieu scolaire :

- Liens étroits avec le monde du travail
- Arrimage de la formation aux besoins changeants du travail
- Pratiques éducatives traduisant les réalités du travail
- Mise à jour professionnelle des enseignants superviseurs
- Ouverture sur le milieu
- Partenaire actif du développement socio-économique de sa région

Pour les entreprises :

- Expression de ses attentes au monde de l'éducation
- Participation au renouvellement des compétences de son secteur
- Partage d'une expertise professionnelle
- Développement d'une culture de formation
- Constitution d'une banque de candidats
- Réduction des coûts de recrutement de main-d'œuvre
- Diminution du temps de formation à l'embauche
- Expérimentation de technologies de pointe avec le milieu scolaire
- Partenariats élargis avec le milieu scolaire »
- (Association québécoise d'alternance travail-études, 2015)

Les entrevues réalisées auprès du personnel des trois cégeps offrant le programme *Technologie minérale* permettent de confirmer que ces établissements ont choisi d'offrir le programme en mode alternance travail-études (ATE).

Formation pratique dans le programme Technologie minérale

La formation pratique se réalise de deux manières dans le programme *Technologie minérale*. La première se déroule en étant intégrée aux activités d'apprentissage du programme et, comme cela a été mentionné précédemment, l'autre est réalisée dans le cadre de stages se déroulant selon la formule d'alternance travail-études (ATE).

Formation pratique intégrée dans les activités d'apprentissage du programme

Les activités de formation pratique intégrées dans les activités d'apprentissage du programme ne répondent pas toutes à la même compétence selon les cégeps et elles ne sont pas réalisées de la même façon. Dans l'un des trois cégeps offrant le programme, cette formation pratique se traduit par un stage d'observation d'une durée de deux semaines dans une entreprise, généralement dans une mine ou une firme de génie-conseil. Dans un autre, c'est plutôt par un cours qui se déroule durant la dernière session de formation, à raison d'un nombre d'heures fixe par semaine et qui a lieu dans la mini-usine attenante au cégep. Dans le troisième cégep, l'activité de formation est intégrée au stage en alternance travail-études que les étudiantes et les étudiants réalisent après la troisième année du programme. Les compétences développées par les étudiantes et les étudiants dans le cadre de cette activité de formation sont donc très variables selon le cégep. Un stage d'une durée d'un été en entreprise, un cours d'une session dans une mini-usine ou un stage d'observation de deux semaines en entreprise ne permettent pas de réaliser les mêmes apprentissages.

Pour le personnel enseignant de deux des trois cégeps, les activités de formation pratique intégrées au programme sont très pertinentes dans la formation. Quant à lui, le personnel du cégep qui offre cette formation pratique sous la forme d'un stage d'observation de deux semaines se questionne sur la pertinence de cette formule. La logistique de ce stage de courte durée est plutôt compliquée par rapport aux bénéfices apportés à la formation des personnes apprenantes et il apparaît, selon les entrevues réalisées, que les entreprises qui accueillent des stagiaires n'apprécient pas les formules de stages de très courte durée. De plus, la qualité des apprentissages accomplis pendant ces stages d'observation offerts aux étudiantes et aux étudiants est très variable, ce qui fait en sorte que les personnes apprenantes sont parfois mécontentes du déroulement de leur stage.

Stages en alternance travail-études (ATE)

L'autre approche permettant d'offrir de la formation pratique aux personnes apprenantes consiste à recourir à la formule d'alternance travail-études. Les trois cégeps offrent deux stages en alternance travail-études (ATE) aux étudiantes et aux étudiants du programme *Technologie minérale*. Ces stages ont lieu durant la saison estivale, entre les sessions scolaires. Deux cégeps sur trois offrent ces deux stages entre la première et la deuxième année pour le stage 1, et entre la deuxième et la troisième année pour le stage 2. L'autre cégep offre les stages entre la deuxième et la troisième année pour le stage 1, et après la troisième année pour le stage 2. Dans deux cégeps sur trois, ce sont des membres du personnel enseignant du département *Technologie minérale* qui sont responsables des stages ATE. Dans le troisième cégep, c'est le Service de placement qui est responsable des stages ATE, et ce, pour tous les programmes offerts dans le cégep, dont *Technologie minérale*. La collecte d'information a permis de confirmer que la réalisation de stages en ATE n'est pas obligatoire pour l'obtention du diplôme. Ces stages ATE sont cependant très bénéfiques selon les enseignantes et les enseignants, car ils complètent la formation reçue au cégep. D'ailleurs, les équipes enseignantes des trois cégeps ayant été interrogées mentionnent que la vaste majorité des étudiantes et des étudiants du programme prennent part à des stages en ATE. Pour les enseignantes et les enseignants de tous les cégeps consultés, les stages en ATE sont l'occasion pour eux de garder contact avec les entreprises. Cette formule est grandement appréciée tant de la part des équipes d'enseignement, des entreprises qui accueillent des stagiaires que des étudiantes et étudiants.

En plus des stages ATE, le personnel enseignant des trois cégeps mentionne organiser des visites industrielles dans des entreprises minières tout au long du parcours scolaire des personnes apprenantes. Ces visites en entreprise permettent aux étudiantes et aux étudiants de valider leur choix de carrière, d'être en contact avec leur futur milieu de travail, et de commencer à visualiser les notions théoriques apprises dans le cadre de leurs cours au cégep, et ce, avant de réaliser leur premier stage en formule ATE.

Attentes et constats des mines et projets miniers

Dans le cadre des entrevues menées avec les personnes répondantes des entreprises minières réalisant ou entendant réaliser le traitement du lithium ou du graphite, ces dernières ont émis des constats sur les deux modes de formation pratique en vigueur dans le programme *Technologie minérale*.

Formation pratique intégrée dans les activités d'apprentissage du programme

En ce qui a trait à la formation pratique intégrée dans les activités d'apprentissage du programme, les gestionnaires des entreprises interrogées ont affirmé n'avoir jamais accueilli d'étudiantes ou d'étudiants du programme *Technologie minérale* dans le cadre d'un stage de courte durée réalisé selon cette formule. Cependant, les personnes répondantes de ces entreprises ont toutes émis des réserves sur l'intérêt et la possibilité de le faire. Elles considèrent en effet qu'en raison de la courte durée de la présence de la personne apprenante dans l'entreprise, cette méthode d'apprentissage offrirait très peu d'avantages pour leur organisation, à part peut-être celle d'évaluer la motivation et les aptitudes d'une candidate ou d'un candidat pour un futur emploi permanent ou un stage en ATE au sein de leur usine de traitement du minerai.

Stages en alternance travail-études (ATE)

En ce qui concerne les stages réalisés selon la formule d'alternance travail-études (ATE), les personnes répondantes des entreprises consultées sont unanimes : ce mode de formation pratique est très apprécié et doit se poursuivre. Les avantages cités précédemment en rapport avec cette activité d'apprentissage sont également relevés par ces entreprises.

En ce qui a trait aux points d'amélioration qu'il serait possible d'apporter à ces activités, certaines entreprises ont finalement mentionné qu'elles aimeraient avoir plus d'interactions avec les équipes enseignantes des cégeps offrant le programme *Technologie minérale*. Selon certains gestionnaires d'usines de traitement du minerai de ces entreprises, il serait en effet possible de prévoir davantage de projets spécifiques devant être menés par les personnes apprenantes dans le cadre des stages en ATE, comme l'amélioration de procédés par exemple, si les interactions entre les cégeps et les entreprises se densifiaient.

Chapitre 3 : Constats et recommandations

L'objectif de ce rapport d'analyse est de déterminer les éléments du programme d'études collégiales *Technologie minérale – Spécialisation Minéralurgie* requérant une actualisation afin de répondre plus étroitement aux besoins des usines de traitement du minerai des mines actuelles et futures de lithium et de graphite. La réalisation du présent rapport permet de faire ressortir des constats et de formuler des recommandations à prendre en compte pour s'assurer que le prochain processus de mise à jour du programme permettra de répondre à cet objectif. Les constats et les recommandations qui suivent découlent de la totalité de l'information recueillie et analysée dans le cadre du présent rapport.

Constat A

Développer et approfondir la compréhension du fonctionnement de certains équipements stratégiques présents dans les usines de traitement de lithium et de graphite

Les techniciennes et les techniciens en minéralurgie travaillant dans les usines de traitement du minerai des mines de lithium et de graphite doivent maîtriser le fonctionnement non seulement des équipements standards couramment utilisés dans ces usines, mais également de certains équipements utilisés plus spécifiquement pour mener à bien le procédé de traitement du lithium ou du graphite.

Parmi ces équipements qui jouent un rôle stratégique dans le procédé utilisé par ces entreprises, il est possible de mentionner les cellules de flottation (principalement de types *Hydrofloat* et *Crossflow*), les séparateurs en milieu dense de type DMS (*Dense Media Separation*) et les appareils de broyage verticaux de type SMM (*Stirred Media Mill*). En ce qui concerne plus particulièrement les usines de traitement des mines de graphite, deux autres équipements de traitement du minerai ressortent de l'enquête : ce sont l'attriteur et le polisseur, dont la compréhension du fonctionnement par les techniciennes et les techniciens revêt une grande importance. Enfin, les personnes répondantes des entreprises minières ont souligné la pertinence pour les techniciennes et techniciens de comprendre en détail le fonctionnement des appareils de triage du minerai, puisque le rôle de ces équipements ira en s'accroissant dans les usines de traitement du minerai.

L'enseignement relatif au fonctionnement de ces équipements devrait être à la fois théorique et pratique pour permettre un apprentissage efficace. Par conséquent, les cégeps devraient disposer de ces équipements à l'échelle laboratoire, ce qui permettrait aux étudiantes et aux étudiants de réaliser des activités d'apprentissage pratiques favorisant le développement d'une compréhension appliquée du fonctionnement réel de ces équipements de production.

Recommandation 1

Que les établissements d'enseignement offrant le programme s'assurent du développement chez les personnes apprenantes d'une connaissance approfondie du fonctionnement des équipements spécifiques aux procédés de traitement des minerais de lithium et de graphite.

Recommandation 2

Qu'en cohérence avec la recommandation précédente, les établissements d'enseignement offrant le programme d'études aient accès à des équipements à l'échelle laboratoire permettant de réaliser des travaux pratiques en la matière.

Constat B

Accroître les compétences permettant de veiller à l'optimisation du procédé de traitement grâce à l'utilisation de méthodes d'acquisition des données et de caractérisation du minerai

L'une des principales responsabilités des techniciennes et des techniciens en minéralurgie consiste à veiller à l'optimisation du procédé de concentration du minerai. Pour ce faire, la personne occupant ce poste doit mener à bien une multitude de tâches, dont certaines en lien avec l'analyse d'échantillons à des fins de contrôle de procédé.

D'abord, afin de pouvoir analyser ces échantillons, il faut au préalable recueillir ceux-ci. Pour y parvenir, la réalisation d'une campagne d'échantillonnage représente la principale méthode pour collecter les données requises. L'enquête a permis de mettre en lumière le fait que, puisque les critères de qualité devant être atteints par le concentré sont très stricts, les mines de lithium et de graphite recherchent du personnel compétent en matière de contrôle et d'optimisation du procédé. Par conséquent, les compétences des techniciennes et des techniciens dans l'ensemble des opérations permettant d'obtenir les données requises pour soutenir ce contrôle et cette optimisation se doivent d'être adéquatement développées. Cependant, bien que les personnes répondantes des trois cégeps aient mentionné qu'ils donnent un enseignement théorique visant le développement des compétences associées aux campagnes d'échantillonnage, un seul établissement mentionne proposer des travaux pratiques à cet égard aux personnes apprenantes. Ces activités d'apprentissage pratiques sont rendues possibles grâce au fait que ce cégep possède l'équipement nécessaire pour permettre aux étudiantes et aux étudiants de réaliser une collecte de données sur un circuit de traitement complet, alors que les autres établissements d'enseignement n'ont pas accès à l'équipement requis à cette fin.

Une fois l'échantillon collecté, une grande variété d'analyses peuvent être réalisées sur celui-ci pour examiner ses caractéristiques et ainsi pouvoir contrôler le procédé et l'optimiser. Les gestionnaires des entreprises interrogées dans le cadre de l'enquête ont mentionné l'importance que revêtent les analyses minéralogiques dans leurs opérations de traitement du minerai puisque celles-ci permettent d'analyser les échantillons de façon à réaliser une « évaluation ou [une] détermination du genre ou de la quantité de minéraux présents dans une roche » (Office

québécois de la langue française, 2026). L'analyse minéralogique est une compétence figurant dans le devis ministériel du programme d'études (compétence de tronc commun), mais qui se compose d'éléments de compétences limitant son utilisation à des fins principalement géologiques. Or, l'enquête a montré que son enseignement en lien avec le traitement du minerai se fait de manière disparate entre les différents cégeps, certains établissements d'enseignement allant jusqu'à instaurer un cours pour aborder les notions s'y rattachant, d'autres traitant la question de façon plus limitée en complément de l'enseignement d'autres notions connexes. Cependant, un point commun à tous les cégeps est que le manque d'accès à des instruments de laboratoire ne permet généralement pas de réaliser des activités d'apprentissage pratiques de minéralogie et que, par conséquent, l'enseignement de cette notion est principalement théorique.

Recommandation 3

Que les établissements d'enseignement présentent, dans le cadre du développement de la compétence *034X – Contrôler l'efficience d'un procédé de concentration ou d'extraction minéralurgique,* des activités d'apprentissage permettant l'acquisition des connaissances pratiques nécessaires à la réalisation de campagnes d'échantillonnage.

Recommandation 4

Que le programme renforce l'enseignement, tant pratique que théorique, des notions de minéralogie grâce à l'ajout d'une nouvelle compétence ou d'un nouvel élément de compétence en la matière dans la voie de spécialisation *Minéralurgie* du programme d'études.

Recommandation 5

Qu'en cohérence avec la recommandation précédente, les établissements d'enseignement offrant le programme d'études aient accès à des instruments scientifiques de laboratoire permettant de réaliser les travaux pratiques d'analyses minéralogiques.

Constat C

Utiliser de façon optimale les outils informatiques permettant d'analyser la performance du procédé

Pour réaliser adéquatement leur travail, les techniciennes et les techniciens en minéralurgie doivent mettre pleinement à profit les outils de travail leur permettant d'effectuer leurs tâches de la manière la plus efficace. Comme cela a été mentionné à plusieurs reprises dans le présent rapport d'analyse, ces outils de travail incluent les différents logiciels et applications informatiques qui favorisent, entre autres, la structuration et l'accélération de l'analyse des données de production. L'enquête a révélé que la maîtrise pointue de certains logiciels constitue un savoir-faire requis pour travailler dans les usines de traitement du minerai des mines de lithium et de graphite.

Pour les entreprises ayant pris part à l'enquête, la maîtrise générale des outils informatiques est considérée comme primordiale, en particulier celle des outils permettant de mener à bien les analyses statistiques et les bilans de matière. Alors que l'emploi systématique des méthodes de traitement statistique dans les analyses réalisées par les techniciennes et les techniciens nécessite une aisance suffisante dans l'utilisation des outils informatiques comme Excel (un logiciel tableur) ou d'autres logiciels de traitement de données techniques comme les logiciels de type SGIL, la saisie et le traitement des données générées lors de l'accomplissement d'un bilan de matière réclame une maîtrise avancée des logiciels comme le tableur Excel ou encore des logiciels spécialisés en bilans de matière.

En ce qui concerne les techniciennes et les techniciens à l'emploi des usines de traitement du minerai des mines de lithium ou de graphite, l'utilisation des outils informatiques représente la responsabilité à l'égard de laquelle leur perception de l'adéquation entre la formation reçue et les exigences de leur travail est estimée la moins optimale. Parmi les principaux outils numériques de travail utilisés par les techniciennes et les techniciens, c'est relativement aux logiciels de statistiques et d'analyse de données que la formation collégiale est jugée la plus insuffisante par les personnes diplômées travaillant dans ces usines.

Recommandation 6

Que les établissements d'enseignement renforcent la capacité des personnes apprenantes à utiliser les fonctionnalités avancées du logiciel tableur Excel, notamment pour préparer adéquatement ces personnes à la gestion de bases de données et à la réalisation d'analyses statistiques.

Recommandation 7

Que les établissements d'enseignement renforcent la préparation des personnes apprenantes relativement à la réalisation de bilans de matière, principalement grâce à des activités d'apprentissage pratiques incluant l'utilisation tant du logiciel tableur Excel que des logiciels spécialisés en bilans de matière.

Constat D

Utiliser les technologies et les applications fondées sur l'intelligence artificielle avec discernement et éthique

L'enquête menée dans le cadre du présent rapport d'analyse a fait ressortir le fait que les usines de traitement du minerai des mines de lithium et de graphite se doteront progressivement d'instruments et d'outils informatiques basés sur les technologies et les applications fondées sur l'intelligence artificielle. En prévision de l'implantation de cette technologie, les gestionnaires des entreprises interrogés soulignent l'importance pour les techniciennes et les techniciens en minéralurgie de développer leurs compétences en lien avec l'intelligence artificielle puisque celle-ci risque de graduellement modifier leurs tâches. En effet, dans un contexte où l'intelligence artificielle proposera de plus en plus des actions en se basant sur les algorithmes, la fonction de travail exigera un esprit critique de plus en plus aiguisé pour que soit conservé le discernement nécessaire afin de prendre en considération les informations fournies par l'intelligence artificielle tout en maintenant l'autonomie humaine dans la prise de décision finale.

Les informations colligées auprès des membres du personnel enseignant des cégeps témoignent du fait que ceux-ci sont conscients de cette réalité émergente dans l'industrie et donc de l'importance de sensibiliser les étudiantes et les étudiants aux enjeux en matière d'intelligence artificielle. Les principales préoccupations des équipes enseignantes à ce sujet portent sur la capacité des personnes apprenantes à utiliser de manière éthique cette technologie et à conserver un esprit critique leur rappelant de ne pas tenir pour acquis que les informations fournies par l'intelligence artificielle sont nécessairement véridiques. Pour s'assurer du développement de ces compétences, différentes approches sont en vigueur (mentions des enjeux par le personnel enseignant, intégration de ces notions dans les cours, réalisation d'activités d'apprentissage) sans toutefois qu'une approche uniforme structure l'ensemble de ces activités.

Recommandation 8

Que le programme favorise l'acquisition par les personnes apprenantes des compétences requises pour utiliser les applications technologiques fondées sur l'intelligence artificielle avec discernement et éthique, grâce à l'ajout d'une compétence ou d'un élément de compétence en la matière dans le programme d'études.

Constat E

Communiquer efficacement avec l'ensemble des collaboratrices et des collaborateurs

Les techniciennes et les techniciens en minéralurgie doivent faire preuve de compétences communicationnelles dans toutes les facettes de leur travail. Que ce soit pour transmettre de l'information à des collègues, collaborer avec des fournisseurs d'équipements, encadrer des opératrices ou des opérateurs dans la réalisation de certaines tâches ou encore élaborer des procédures visant à standardiser l'exécution de processus récemment implantés dans l'usine, la technicienne ou le technicien doit veiller à ce que des données valides et pertinentes soient transmises aux personnes appropriées au moment opportun.

Les personnes interrogées, aussi bien des cégeps que des entreprises, ont affirmé qu'il serait pertinent de rehausser chez les étudiants et les étudiantes du programme les habiletés en communication, qu'elles se réalisent par le moyen d'applications numériques ou qu'elles se déploient par des stratégies interpersonnelles. De plus, les mêmes parties prenantes ont indiqué que les enjeux communicationnels et collaboratifs liés à la supervision d'équipe ou, à l'inverse, ceux découlant du fait de travailler sous la direction d'une ou d'un gestionnaire devraient être formellement abordés dans le cadre de l'enseignement visant le renforcement de cette compétence.

Bien que des éléments relatifs à la communication soient prévus dans l'actuel devis ministériel du programme d'études, ceux-ci concernent principalement la communication des résultats des analyses et des essais. Prenant la forme d'éléments de compétence, l'objectif derrière ceux-ci est surtout de permettre à la personne apprenante de pouvoir transmettre de façon rigoureuse et efficace des données de nature technique. De plus, il est succinctement fait mention de la communication dans les « intentions éducatives » de la formation générale du programme où, en ce qui concerne la formation en *Français, langue d'enseignement et littérature*, il est notamment indiqué que l'organisation logique et l'adaptation du discours doivent être développées pour favoriser l'ajustement pour chaque « situation de communication » (Ministère de l'Enseignement supérieur, 2008, p. 11).

Toutefois, le développement de compétences plus explicites et adaptées aux contextes spécifiques de communication en milieu de travail semble nécessaire selon les informations émanant de l'enquête menée dans le cadre de la rédaction du présent rapport d'analyse. Les membres du personnel enseignant des cégeps offrant le programme ont en effet indiqué que l'ajout d'une compétence en cette matière dans la formation spécifique (c'est-à-dire la formation technique) permettrait de mieux encadrer l'enseignement de ces notions. En effet, puisque les enseignantes et les enseignants favorisent déjà, souvent informellement, le développement de compétences communicationnelles transversales, un tel ajout ferait en sorte que l'acquisition de la compétence deviendrait un objectif officiel pour chaque cégep.

Recommandation 9

Que le programme formalise l'enseignement et l'évaluation des compétences liées à la communication, grâce à l'ajout d'une compétence en la matière dans le programme d'études.

Constat F

Entrer sur le marché du travail avec des compétences accrues grâce à un renforcement de la formation pratique

Tant les informations émanant de l'enquête menée dans le cadre de l'élaboration du présent rapport que les analyses découlant de cette enquête font clairement apparaître que la formation pratique, qu'elle soit acquise par la personne apprenante en contexte scolaire ou à l'occasion de stages en entreprises, constitue un atout majeur du parcours d'apprentissage. En effet, toutes les parties prenantes interrogées s'entendent sur les bienfaits inhérents de cette formation pratique et insistent, en premier lieu, sur les retombées positives concrètes des apprentissages réalisés à l'intérieur des stages.

Toutefois, afin d'arrimer de façon plus harmonieuse la formation pratique réalisée dans un contexte scolaire et celle effectuée lors de stages, l'Institut estime qu'il pourrait s'avérer pertinent de faciliter le développement de certaines compétences particulièrement axées sur les savoir-faire pratiques (principalement les compétences *034X – Contrôler l'efficience d'un procédé de concentration ou d'extraction minéralurgique* et *034Z – Contribuer à l'implantation d'un procédé minéralurgique*) dans le cadre de stages réalisés selon la formule d'alternance travail-études plutôt qu'uniquement en contexte scolaire. Cette approche, qui est déjà mise à profit par l'un des trois cégeps offrant le programme d'études, serait moins complexe à déployer pour les établissements d'enseignement si l'articulation pédagogique nécessaire pour ce faire était prévue officiellement.

Recommandation 10

Que les établissements d'enseignement, en collaboration avec le ministère de l'Enseignement supérieur, revoient les modalités de réalisation de la formation pratique de manière à optimiser l'articulation pédagogique entre le développement des compétences devant être acquises dans le cadre de cette formation pratique et la réalisation de stages accomplis selon la formule d'alternance travail-études (ATE).

Recommandation 11

Que les établissements d'enseignement et les entreprises accroissent leur communication afin que les stages réalisés selon la formule d'alternance travail-études (ATE) puissent inclure, en amont de la réalisation du stage, une préparation personnalisée de la personne apprenante aux exigences techniques spécifiques au milieu de stage.

Conclusion

Dans le cadre de la réalisation du présent document, l'Institut national des mines a entrepris de déterminer comment la formation offerte aux étudiantes et aux étudiants appelés à travailler comme techniciennes ou techniciens en minéralurgie dans les usines de traitement du minerai devrait être actualisée pour que le programme soit en adéquation avec les besoins formulés par les mines actuelles et futures de lithium et de graphite du Québec.

La réalisation de trois collectes de données différentes, l'une auprès des mines et projets miniers de graphite et de lithium du Québec, une autre auprès des techniciennes et des techniciens en minéralurgie à l'emploi de ces mêmes mines et projets miniers, et la dernière auprès des établissements d'enseignement offrant le programme d'études collégiales *Technologie minérale – Spécialisation Minéralurgie*, a contribué à faire émerger des constats en ce qui concerne les éléments majeurs à prendre en compte concernant l'actualisation du programme.

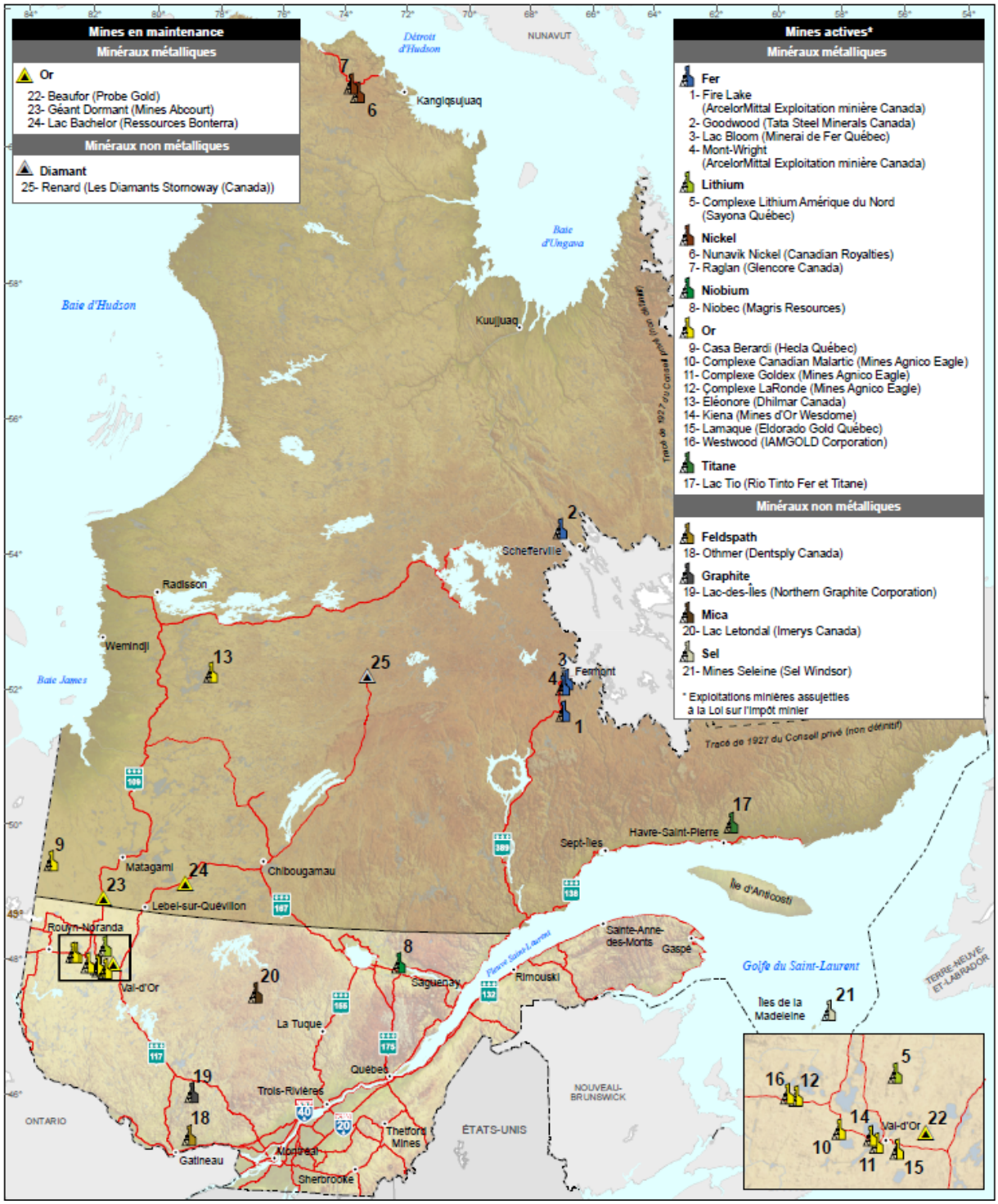
Les constats qui ressortent de ce rapport pointent principalement le fait que le programme d'études collégiales *Technologie minérale – Spécialisation Minéralurgie* est, de manière générale, considéré comme pertinent et en adéquation avec les réalités des entreprises minières de lithium et de graphite du Québec. La formation des futures techniciennes et des futurs techniciens en minéralurgie, qui repose sur une formation technique répartie entre un tronc commun où sont développées les compétences permettant d'acquérir une compréhension globale de l'ensemble des activités minières et une voie de spécialisation permettant un approfondissement des savoir-faire en minéralurgie, est jugée par les parties prenantes consultées comme largement adaptée aux besoins de l'industrie. La formation générale, qui favorise le développement des habiletés génériques ainsi que des qualités et des aptitudes attendues de la part d'une technicienne ou d'un technicien, de même que l'accomplissement de stages réalisés selon la formule de l'alternance travail-études ont également été abondamment cités comme des points qui contribuent à la pertinence du programme d'études.

L'enquête menée a cependant fait ressortir certains éléments pouvant être modifiés ou renforcés pour rehausser davantage l'adéquation entre le programme d'études collégiales *Technologie minérale – Spécialisation Minéralurgie* et les besoins spécifiques des usines de traitement du minerai des mines de lithium et de graphite. Parmi ces éléments, l'Institut constate que le développement de la compréhension du fonctionnement de certains équipements de production spécifiques aux procédés de concentration du lithium et du graphite, l'accroissement du savoir-faire pratique en matière d'échantillonnage, d'acquisition des données et de caractérisation du minerai, le rehaussement des compétences en matière d'utilisation des différents outils informatiques et technologiques ainsi que l'augmentation des compétences communicationnelles figurent au premier plan des priorités des entreprises tout en s'inscrivant en cohérence avec les constatations des techniciennes et des techniciens à l'emploi de ces usines ainsi que des membres du personnel des cégeps offrant le programme d'études.

Les recommandations formulées dans ce rapport d'analyse s'appuient ainsi sur les constats ayant émergé d'une approche méthodologique incluant des enquêtes réalisées auprès des gestionnaires des mines actuelles et futures de lithium et de graphite, des techniciennes et des techniciens en minéralurgie à l'emploi de ces entreprises ainsi que des membres du personnel enseignant des cégeps offrant le programme. Leur mise en application devrait améliorer l'adéquation entre la formation offerte par le programme *Technologie minérale – Spécialisation Minéralurgie* et les réalités propres aux mines de lithium et de graphite du Québec.

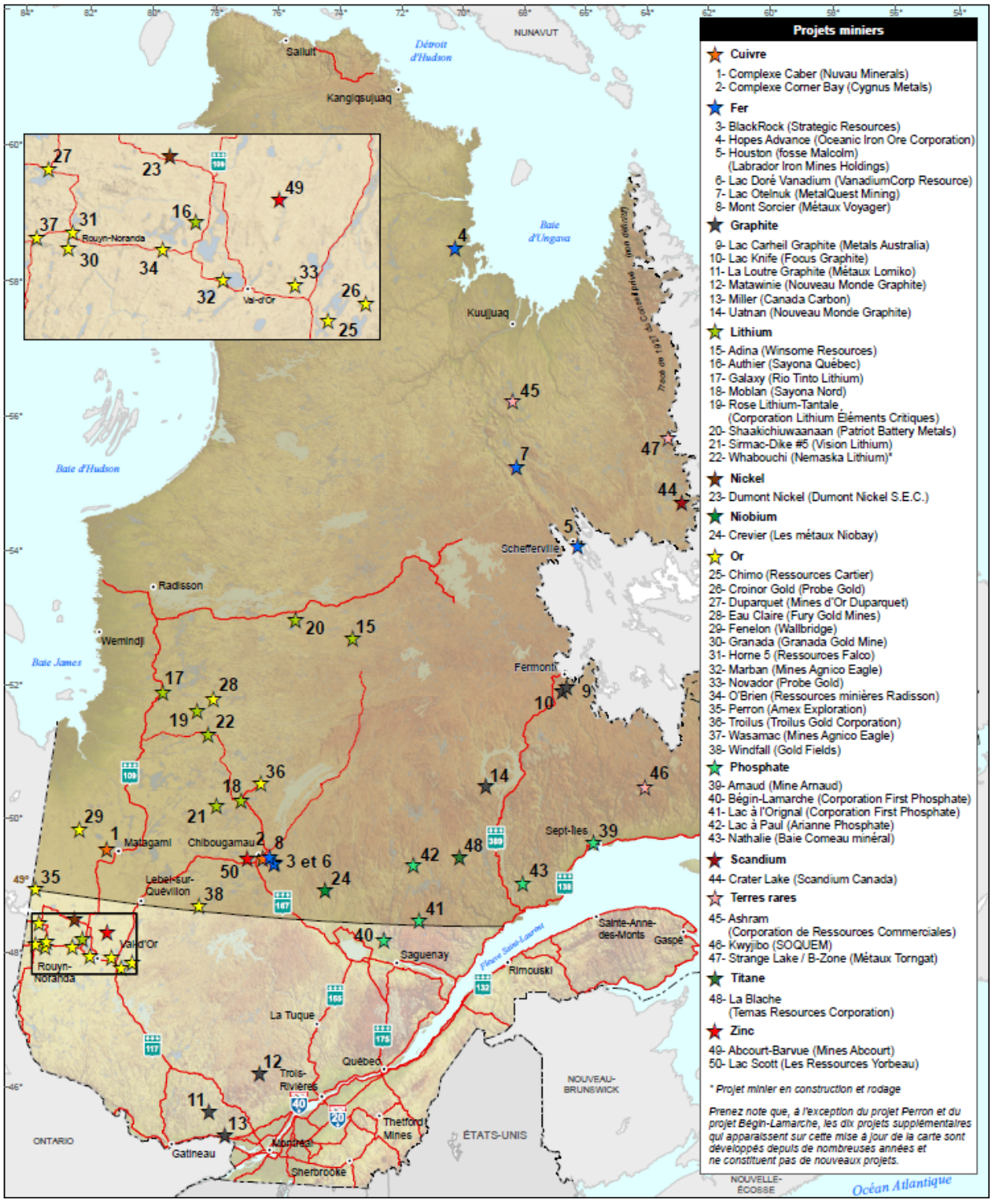
Annexes

Annexe I – Carte des mines actives et en maintenance au Québec en juillet 2025



Source : Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, 2025a.

Annexe II – Carte des projets miniers au Québec en juillet 2025



Source : Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, 2025b.

Références

Association québécoise d'alternance travail-études (2015). *L'alternance travail-études : une valeur ajoutée*. http://www.aqaet.qc.ca/late-une-valeur-ajouteacutee.html

Gouvernement du Québec (2025). *Alternance travail-études*. https://www.quebec.ca/education/cegeps-colleges-prives/etudier/concilier-travail-etudes/a-propos

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*. https://inmq.gouv.qc.ca/medias/files/Publications/Rapports_de_recherche/INMQ_MCS_Lithium_Graphite.pdf

Institut national des mines (2026). *Technologie minérale – DEC (exploitation, géologie, minéralurgie)*. https://inmq.gouv.qc.ca/formationminiere/technologie_minerale

Microsoft (2026). *Microsoft 365 – Access*. https://www.microsoft.com/fr-be/microsoft-365/access

Ministère de l'Éducation (2002). *Élaboration des programmes d'études techniques*. Québec : l'auteur.

Ministère de l'Éducation (1999). *Technicienne et technicien en minéralurgie : Rapport d'analyse de situation de travail*. Québec : l'auteur.

Ministère de l'Enseignement supérieur (2008). *Programme d'études collégiales – Technologie minérale*. Québec : l'auteur.

Ministère de l'Enseignement supérieur (2021). *Questions fréquentes sur le développement des programmes d'études techniques.* https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/education/publications-adm/cegeps/services-administratifs/Questions-frequentes-administration.pdf

Ministère des Ressources naturelles et des Forêts (2025a). *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 (2025b). *Projets miniers* [Carte]. https://mrnf.gouv.qc.ca/mines/publications/cartes-minieres/

Office québécois de la langue française (2026). *Analyse minéralogique*. https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/8469577/analyse-mineralogique

Office québécois de la langue française (2025a). *Métallurgie*. https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/17027722/metallurgie

Office québécois de la langue française (2025b). *Minéralurgie*. https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/17027684/mineralurgie

Ranchev, M., Grigorova, I., et Nishkov, I. (2018). Sampling in mineral processing – Review of practices. *Journal of Mining and Geological Sciences, 61*(2), 59-64. https://mgu.bg/wp-content/uploads/2025/03/Tom61-MTF-2018-59-64.pdf

PHOTOGRAPHIE : MATHIEU DUPUIS/ELEVRA LITHIUM



Institut national
des mines
Québec