

Engins hybrides et électriques
dans le secteur minier au Québec:

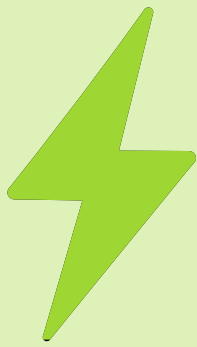
perspectives, analyses et besoins de formation



Institut national
des mines

Québec



**Conception, recherche et rédaction**

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

Collaboration à l'élaboration du rapport

Alexandre Nana, Ph. D., conseiller à l'innovation et à la recherche
Institut national des mines

Supervision

Sarah Tremblay, présidente-directrice générale par intérim
Institut national des mines

Diffusion

Karine Lacroix, conseillère stratégique en communication
Maripier Viger, agente de communication
Institut national des mines

Révision linguistique

Gilles Bordage

Graphisme

Amélie Beaulieu

Photographie de la page couverture

Camion bétonnière (modèle TM3), un véhicule minier électrique
conçu par le manufacturier canadien MacLean (Gracieuseté: MacLean)

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

Comment citer cet ouvrage:

Institut national des mines. (2022). Engins hybrides et électriques dans le secteur minier au Québec: perspectives, analyses et besoins de formation. Études et rapports. Gouvernement du Québec.
Rédigé par Nicholas Thérout, Val-d'Or, 80 p.

Pour toute demande de renseignement:

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

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

ISBN: 978-2-550-91082-4 (Imprimé)
ISBN: 978-2-550-91083-1 (PDF)

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec
© Gouvernement du Québec, Institut national des mines (2022)

Avant-propos

Le plan stratégique 2018-2023 de l'Institut national des mines énonce que l'organisme doit documenter, grâce à des activités de veille, les tendances innovantes en formation minière à l'échelle mondiale, puis analyser celles décelées en vue d'évaluer leurs impacts sur la formation minière au Québec. Depuis 2018, la veille informationnelle de l'Institut national des mines a fait ressortir la place croissante que sont appelés à occuper les engins miniers hybrides et électriques dans le secteur minier. Par ce rapport, l'Institut national des mines cherche donc à mieux anticiper l'impact de l'arrivée de ce nouveau type d'engins sur les compétences et la formation des mécaniciennes et des mécaniciens d'engins de chantier du secteur minier du Québec.

Ce rapport, présentant les perspectives sur la transition du secteur minier vers les engins miniers hybrides et électriques et une analyse des besoins de formation y étant associés, n'aurait pas pu voir le jour sans la collaboration des entreprises de l'industrie minière du Québec. L'Institut national des mines tient à les remercier d'avoir participé à la réalisation de ce document.

Table des matières

Avant-propos	3
Listes des tableaux et des figures	7
Lexique	11
Résumé	12
Introduction	14
Chapitre 1	
Méthodologie et échantillonnage	16
Méthodologie de la collecte de données	16
Échantillonnage	17
Chapitre 2	
Mise en contexte	19
Les engins de chantier dans le secteur minier: des équipements essentiels qui sont historiquement motorisés grâce au combustible fossile	19
L'arrivée des engins miniers hybrides et électriques dans le secteur minier	20
Facteurs favorisant la transition de l'industrie minière vers les engins miniers hybrides et électriques	21
Facteurs freinant la transition de l'industrie minière vers les engins miniers hybrides et électriques	25
L'impact sur la formation dans le secteur minier	27

Chapitre 3

Résultats de l'enquête	29
Planification de l'industrie en matière de transition vers des engins miniers hybrides et électriques.....	29
Parc actuel et projection du parc d'engins miniers hybrides et électriques au Québec	35
Besoins de formation actuels et futurs	40
Besoins en matière de développement des compétences.....	46

Chapitre 4

Analyse des résultats	49
Constats émergeant de l'enquête quant à la planification des entreprises minières en matière de transition vers les engins miniers hybrides et électriques.....	49
Constats émergeant de l'enquête relativement au parc actuel et aux projections du parc d'engins miniers hybrides et électriques des entreprises minières.....	52
Constats émergeant de l'enquête en ce qui a trait aux besoins de formation actuels et futurs des entreprises minières.....	55
Constats émergeant de l'enquête en ce qui a trait aux mines actives ou en maintenance en comparaison avec les projets miniers	56
Constats qui émergent de l'enquête en ce qui concerne les mines souterraines en comparaison avec les mines à ciel ouvert.....	58
Constats qui émergent de l'enquête en fonction de la durée de vie restante des mines et des projets miniers	60
Constats qui émergent de l'enquête en fonction de l'emplacement géographique des mines ou des projets miniers.....	62

Chapitre 5

Pistes de recherche	66
Conclusion	68

Annexes

Annexe I – Questionnaire utilisé pour collecter les données auprès des mines actives ou en maintenance et des projets miniers.....	70
Annexe II – Carte des mines actives et en maintenance en juin 2021 au Québec.....	74
Annexe III – Carte des projets miniers en juin 2021 au Québec	75

Références	76
-------------------------	----



Listes des tableaux et des figures

Liste des tableaux

Tableau 1

Période à partir de laquelle le parc d'engins miniers de l'entreprise sera constitué d'au moins 50 % de modèles hybrides ou électriques.....38

Tableau 2

Le positionnement des mines actives ou en maintenance et des projets miniers en ce qui concerne trois enjeux majeurs de la transition vers des engins miniers hybrides et électriques.....56

Tableau 3

Le positionnement des mines et des projets miniers souterrains ainsi que des mines et que des projets miniers à ciel ouvert en ce qui concerne trois enjeux majeurs de la transition vers des engins miniers hybrides et électriques 58

Tableau 4

Le positionnement des mines et des projets miniers ayant une durée de vie restante estimée à 10 ans et moins et à 10 ans et plus en ce qui concerne trois enjeux majeurs de la transition vers des engins miniers hybrides et électriques..... 61

Tableau 5

Le positionnement des mines et des projets miniers situés au sud du 49^e parallèle et au nord du 49^e parallèle en ce qui concerne trois enjeux majeurs de la transition vers des engins miniers hybrides et électriques..... 63

Liste des figures

Figure 1

Poste occupé par les personnes répondantes des mines actives ou en maintenance et des projets miniers ayant participé à la collecte de données18

Figure 2

Niveau d'accord avec l'énoncé selon lequel l'industrie minière québécoise va entreprendre sa transition vers des engins hybrides ou électriques d'ici 203030

Figure 3

Niveau d'accord avec l'énoncé selon lequel l'entreprise va entreprendre sa transition vers des engins hybrides ou électriques d'ici 203031

Figure 4

Niveau d'accord, par type de site minier, avec l'énoncé selon lequel votre mine va entreprendre sa transition vers des engins hybrides ou électriques d'ici 2030 32

Figure 5

Type de document élaboré ou en cours d'élaboration dans votre entreprise concernant la transition vers les engins hybrides ou électriques 33

Figure 6

Type de document élaboré ou en cours d'élaboration dans votre entreprise concernant la transition vers les engins hybrides ou électriques, par type de site minier34

Figure 7

Répartition des mines actives ou en maintenance en fonction du pourcentage du parc d'engins miniers constitué d'engins hybrides35

Figure 8

Répartition des mines actives ou en maintenance en fonction du pourcentage du parc d'engins miniers constitué d'engins électriques36

Figure 9

Répartition des mines et des projets miniers en fonction du pourcentage de leur parc d'engins miniers qui sera constitué de modèles hybrides ou électriques en 2030.....37

Figure 10

Période à partir de laquelle le parc d'engins miniers de l'entreprise sera constitué d'au moins 50 % de modèles hybrides ou électriques, par type de site minier39

Figure 11

Niveau d'accord avec l'énoncé selon lequel l'entreprise bénéficierait de l'existence d'une formation qualifiante en entretien des engins miniers hybrides et électriques.....40

Figure 12

Niveau d'accord avec l'énoncé selon lequel l'entreprise prévoit que la réalisation d'une formation qualifiante en électricité constituera un prérequis pour les mécaniciennes et les mécaniciens d'engins miniers entretenant les engins hybrides et électriques41

Figure 13

Niveau d'accord avec l'énoncé selon lequel l'entreprise prévoit que la réalisation d'une formation qualifiante en électricité constituera un prérequis pour les mécaniciennes et les mécaniciens d'engins miniers entretenant les engins hybrides et électriques, par type de site minier 42

Figure 14

Proportion, au sein des mines actives ou en maintenance, de mécaniciennes et de mécaniciens d'engins qui auraient besoin de réaliser, en date de 2021, une formation qualifiante en mécanique d'engins de chantier hybrides et électriques pour réaliser leur travail de manière optimale43

Figure 15

Proportion de mécaniciennes et de mécaniciens d'engins qui auraient besoin de réaliser d'ici 2030 une formation qualifiante en mécanique d'engins de chantier hybrides et électriques pour réaliser leur travail de manière optimale.....44

Figure 16

Proportion de mécaniciennes et de mécaniciens d'engins qui auraient besoin de réaliser d'ici 2030 une formation qualifiante en mécanique d'engins de chantier hybrides et électriques pour réaliser leur travail de manière optimale, par type de site minier45

Figure 17

Niveau d'accord avec l'énoncé selon lequel les mécaniciennes et les mécaniciens d'engins miniers qui réaliseront l'entretien des engins hybrides et électriques dans l'entreprise devront posséder des compétences spécifiques en matière de santé et de sécurité du travail.....46

Figure 18

Les savoirs que, selon les entreprises, les mécaniciennes et les mécaniciens d'engins miniers devant réaliser l'entretien des engins miniers hybrides et électriques doivent, ou devront, prioritairement posséder 47

Figure 19

Principaux défis associés à l'intégration des engins hybrides et électriques dans les parcs d'engins miniers en fonction du nombre de mentions par les mines et les projets miniers ayant indiqué un certain niveau de désaccord avec l'énoncé selon lequel leur entreprise va entreprendre sa transition d'ici 2030..... 52



**Un opérateur dans un camion à béton
projeté électrique, de modèle ss5 de MacLean.**
(Gracieuseté: MacLean)

Lexique

Engins miniers : Machinerie lourde mobile utilisée pour mener à bien les activités d'exploitation minière (par exemple les camions de production, les chargeuses, les foreuses, les pelles mécaniques, etc.)¹.

Formation qualifiante : Formation qui donne lieu à une reconnaissance formelle des apprentissages réalisés².

Industrie 4.0 (révolution industrielle 4.0) : L'industrie 4.0, appelée également usine du futur ou quatrième révolution industrielle, se caractérise fondamentalement par une automatisation intelligente et par une intégration de nouvelles technologies à la chaîne de valeur de l'entreprise³.

Mine active : Site minier dont la production a atteint au moins 60 % de sa capacité nominale (capacité inscrite dans la dernière étude technico-économique)⁴.

Mine en maintenance : Site minier en arrêt de production où les équipements sont maintenus en bon état dans le but de relancer l'exploitation⁴.

Motorisation au combustible fossile :

Motorisation réalisée grâce à un moteur à combustion interne alimenté par un combustible fossile (ex.: diesel)¹.

Motorisation hybride ou électrique :

Motorisation réalisée en partie ou totalement grâce à un moteur électrique alimenté par une batterie d'accumulateurs¹.

Parc d'engins miniers : Ensemble des engins miniers en activité dans une mine¹.

Projet minier : Projet visant la mise en production d'une mine qui en est à l'étape de la mise en valeur du projet (ce qui correspond à la période s'étendant de la première évaluation économique préliminaire jusqu'au début de la construction du site minier) ou à l'étape de la construction et du rodage (ce qui correspond à la période couvrant la construction, en passant par la mise en service des équipements et le rodage de l'usine jusqu'à l'atteinte d'au moins 60 % de la capacité nominale de production du site minier)⁴.

1. Définition élaborée par l'Institut national des mines à partir de l'analyse de la documentation disponible.

2. Définition provenant du *Glossaire québécois de l'éducation des adultes et de la formation continue* (Lebel, 2004).

3. Définition provenant du ministère de l'Économie et de l'Innovation (MEI, 2018).

4. Définition provenant du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN, 2020).

Résumé

Au cours des dernières années, la veille informationnelle réalisée par l'Institut national des mines afin de recenser les tendances innovantes en formation minière a permis de relever la place de plus en plus prépondérante que sont appelés à occuper les engins miniers hybrides et électriques dans les mines en cette période où l'industrie minière entreprend de manière concomitante sa transformation technologique et environnementale.

Dans le cadre de ce rapport, l'Institut national des mines brosse un portrait de la planification, du parc actuel et futur ainsi que des besoins de formation actuels et futurs du secteur minier du Québec en matière d'engins miniers hybrides et électriques, et ce, dans un souci d'adéquation entre les besoins du secteur et la formation dispensée à la main-d'œuvre minière.

L'enquête menée auprès des mines actives ou en maintenance ainsi que des projets miniers du Québec révèle le fait que ces entreprises jugent dans leur majorité qu'elles entreprendront leur transition vers les engins miniers hybrides et électriques d'ici 2030. Les données récoltées jettent aussi un éclairage sur la faible présence de ces engins dans les mines actives ou en maintenance en date de 2021, mais soulignent la volonté de la majorité des acteurs de cette industrie d'adopter cette technologie dans une fenêtre de cinq à quinze ans. En toute logique avec cette intention, une majorité d'entreprises minières sondées mentionnent qu'au moins 30 % des mécaniciennes et des mécaniciens d'engins miniers à leur emploi devront recevoir une formation qualifiante en entretien d'engins hybrides ou électriques d'ici 2030.

L'analyse de ces résultats permet de réaliser plusieurs constats, dont le fait que la disponibilité d'une main-d'œuvre qualifiée représente le principal défi des entreprises interrogées en ce qui a trait à l'intégration des engins hybrides et électriques dans les parcs d'engins miniers. L'analyse approfondie des données collectées dans le cadre de l'enquête révèle également que certains types de sites miniers semblent engagés dans une transition plus rapide vers les engins hybrides et électriques. Cela est notamment le cas pour les projets miniers par rapport aux mines actives ou en maintenance, pour les sites miniers souterrains, les sites miniers ayant une durée de vie égale ou supérieure à 10 ans ainsi que les sites miniers situés au sud du 49^e parallèle.

**Le camion bétonnière, modèle TM3,
dans la mine d'essais située à Sudbury.**
(Gracieuseté: MacLean)



Introduction

Depuis 2018, l'Institut national des mines analyse les tendances et recense les évolutions ainsi que les dernières innovations en formation minière à l'échelle mondiale. Depuis ce moment, la tendance de fond qui se dégage de cette veille informationnelle en ce qui a trait aux engins miniers ne se dément pas d'une publication à l'autre. En effet, il en ressort de manière constante que les engins qui seront au cœur des activités des mines qui réaliseront leur tournant vers l'industrie 4.0 seront caractérisés par leur automatisation ainsi que par leur motorisation assurée par un système de propulsion hybride ou électrique (Institut national des mines, 2021, p. 8). Bien que les multiples transformations technologiques qui influent et influenceront sur les engins miniers dans le futur ne peuvent être réduites qu'à ces deux éléments, ceux-ci semblent représenter les deux principaux axes d'innovation sur lesquels se concentrent les fabricants d'engins destinés au secteur minier. Le recours croissant aux engins miniers autonomes dans les mines du Québec a d'ores et déjà été bien documenté par l'Institut national des mines, qui a analysé la question dans plusieurs de ses publications (Institut national des mines, 2018; Institut national des mines, 2019a; Institut national des mines, 2019b). En 2017, le Québec s'est d'ailleurs positionné comme chef de file en la matière lorsque la mine Casa Berardi (Hecla Québec) est devenue la troisième mine au monde à mettre en service un engin minier autonome dans le cadre de ses opérations (Institut national des mines, 2019b, p. 35).

Cependant, bien que la question de l'impact de l'arrivée croissante d'engins miniers autonomes dans les entreprises minières sur les besoins de formation et de compétences ait déjà commencé à être traitée, celle de l'impact de l'arrivée d'engins hybrides ou électriques restait encore à être analysée. En s'intéressant aux engins miniers hybrides et électriques dans le secteur minier au Québec et aux besoins de formation afférents, ce rapport permet de mieux comprendre quelles sont les implications découlant de cette innovation technologique pour les parties prenantes ayant une responsabilité en formation minière.



Objectifs du rapport

Dans le cadre de ce rapport, l'Institut national des mines entend cerner la planification, la composition actuelle et future du parc d'engins miniers ainsi que les besoins de formation actuels et futurs du secteur minier du Québec en matière d'engins miniers hybrides et électriques. Alors qu'une mise en contexte basée sur une recherche documentaire permet de mieux circonscrire l'état de situation actuel en ce qui a trait aux engins miniers hybrides et électriques dans le secteur minier, une collecte de données menée auprès des mines et des projets miniers révèle, quant à elle, les intentions de l'industrie minière du Québec en ce qui concerne la transition vers ce type d'engins et les besoins de formation afférents.

Sommaire

Ce rapport se divise en cinq chapitres. Tout d'abord, un premier chapitre précise la méthodologie utilisée pour recueillir l'information ayant soutenu la rédaction du rapport. Ensuite, le deuxième chapitre prend la forme d'une mise en contexte qui brosse le portrait de l'importance des engins miniers hybrides et électriques dans le secteur minier contemporain. Le troisième chapitre dévoile les résultats de la collecte de données qui a permis de récolter des informations sur la planification, le parc⁵ actuel et futur de même que les besoins de formation et de compétences des mines actives et en maintenance ainsi que des projets miniers en ce qui a trait aux engins miniers hybrides et électriques. Le quatrième chapitre cherche, quant à lui, à faire ressortir les grandes tendances décelables dans l'information colligée, et ce, à travers une analyse des résultats de la collecte de données. Finalement, le cinquième et dernier chapitre s'intéresse aux pistes de recherche qui pourraient être exploitées dans le futur afin de tirer profit des données mises de l'avant dans ce rapport.

5. La définition de « parc d'engins miniers » est disponible dans le lexique du présent document.

Méthodologie et échantillonnage

La méthodologie adoptée pour réaliser ce rapport repose sur une approche quantitative. En effet, une collecte de données a été effectuée grâce à un questionnaire portant sur quatre grandes thématiques : la planification de l'industrie minière du Québec en ce qui concerne les engins miniers hybrides et électriques; le parc d'engins miniers actuel et futur des entreprises interrogées; les besoins de formation associés à l'entretien de ces engins; et les compétences qui sont requises pour pouvoir réaliser l'entretien des engins miniers hybrides et électriques de manière efficace et sécuritaire.

Méthodologie de la collecte de données

Le questionnaire⁶ qui a servi à la collecte de données a été conçu au printemps 2021 par l'Institut national des mines. Il a été prétesté par trois personnes-ressources externes à l'Institut qui sont spécialisées en formation minière. À la suite des commentaires et suggestions de ces trois spécialistes, le questionnaire a été modifié pour tenir compte des améliorations proposées. La plateforme de sondage en ligne Survey Monkey a été utilisée pour collecter les données auprès des personnes répondantes. Le questionnaire est composé de 28 questions fermées ou ouvertes. La direction de chacune des mines actives et en maintenance ainsi que de chacun des projets miniers sélectionnés a été jointe par courriel afin de remplir le questionnaire en ligne. La collecte des données s'est déroulée du 14 juillet 2021 au 26 août 2021.

6. Le questionnaire peut être consulté à l'annexe I.

Échantillonnage

Dans l'optique de circonscrire la recherche, il a d'abord été décidé que les mines actives au Québec en date du mois de juin 2021⁷ seraient sollicitées pour participer à la collecte de données (Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, 2021a). Cependant, sur les 22 mines actives recensées par le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, 2 n'ont pas été incluses dans l'échantillon puisqu'elles sont exploitées de manière intermittente (Institut de la statistique du Québec, 2021). Cela porte donc à 20 le nombre de mines actives au Québec sollicitées pour remplir le questionnaire. Toujours selon le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, le Québec compte également quelques mines en maintenance. Les mines en maintenance en date de juin 2021⁸ qui ont annoncé publiquement leur intention de relancer leurs opérations ont donc été sollicitées pour participer à cette collecte de données (Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, 2021a). Cela correspond à 3 mines en maintenance ajoutées à l'échantillon, et ce, pour un total de **23 mines actives ou en maintenance sollicitées pour remplir le questionnaire**.

Ensuite, puisque le rapport s'intéresse non seulement aux besoins actuels, mais également à l'estimation des besoins futurs en ce qui a trait à la formation et aux compétences liées à l'entretien des engins miniers hybrides et électriques, les projets miniers du Québec ont été inclus dans l'échantillon. Les projets miniers qui, en date du mois de juin 2021⁹, étaient officiellement reconnus comme tels par le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles et qui avaient annoncé publiquement qu'ils deviendraient une mine active d'ici l'année 2026 ont été sollicités pour remplir le questionnaire (Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, 2021b). La mise en place de ces critères de sélection a fait en sorte que **9 projets miniers du Québec ont été retenus afin d'être sollicités pour répondre au questionnaire**.

7. La carte des mines actives et en maintenance en juin 2021 au Québec peut être consultée à l'**annexe II**.

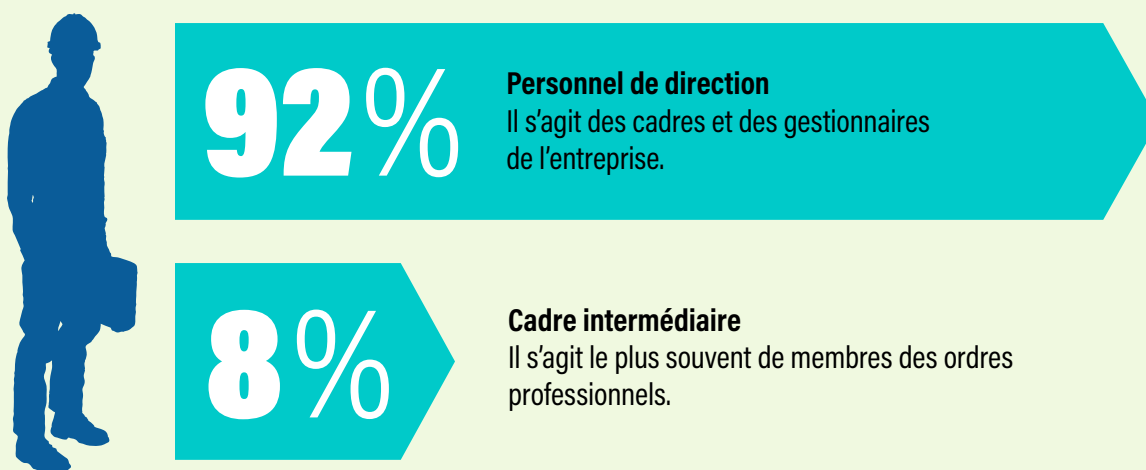
8. La carte des mines actives et en maintenance en juin 2021 au Québec peut être consultée à l'**annexe II**.

9. La carte des projets miniers en juin 2021 au Québec peut être consultée à l'**annexe III**.

La **figure 1** illustre les postes occupés par les personnes ayant répondu au questionnaire. Elle permet de constater que ce sont en majorité des personnes faisant partie de la direction des mines et des projets miniers qui ont répondu au questionnaire, mais que quelques cadres intermédiaires figurent également parmi les personnes répondantes.

Figure 1

Poste occupé par les personnes répondantes des mines actives ou en maintenance et des projets miniers ayant participé à la collecte de données



Question : Quel poste occupez-vous au sein de votre entreprise ?

Sur les 32 mines et projets miniers sollicités, 24 ont rempli le questionnaire, ce qui représente un taux global de réponse de 75 %. En ce qui a trait plus spécifiquement aux mines actives ou en maintenance, sur les 23 qui ont été sollicitées, 19 ont participé à la collecte de données, ce qui correspond à un taux de réponse de 83 %. En ce qui concerne les projets miniers, sur les 9 projets sollicités pour prendre part à la collecte de données, 5 ont rempli le questionnaire, ce qui équivaut à un taux de réponse de 56 %. Au total, 24 personnes ont donc répondu au questionnaire, soit une personne répondante par mine ou projet minier ayant participé à la recherche.

Mise en contexte

Les engins de chantier dans le secteur minier : des équipements essentiels qui sont historiquement motorisés grâce au combustible fossile

Le secteur minier est un secteur industriel lourd, hautement mécanisé et de plus en plus automatisé. L'exploitation d'une mine requiert par le fait même la mobilisation d'une quantité importante d'équipements mobiles et fixes, et ce, notamment pour mener à bien les opérations comme l'extraction, le transport et le traitement du minerai. Parmi la multitude d'équipements utilisés dans les mines, les engins de chantier, également appelés « engins miniers »¹⁰ lorsqu'ils sont conçus et/ou utilisés pour la production minière, occupent un rôle stratégique. À l'heure actuelle, les engins miniers déployés dans les mines souterraines du Québec sont dans leur vaste majorité motorisés grâce à l'utilisation du combustible fossile¹¹:

« Depuis les années 1980, pratiquement toutes les mines souterraines utilisent des équipements mus par un moteur à combustion interne. [...] Par leur productivité et leur flexibilité en opération, les équipements diesel ont permis aux opérateurs miniers de minimiser les coûts de production et d'accroître les réserves de minerai. Toutes ces raisons ont aidé à une large adoption et une grande expansion des équipements mus au diesel dans l'exploitation minière »

(Mafuta Kasonga, 2013, p. 1)

¹⁰. La définition des « engins miniers » est disponible dans le lexique du présent document.

¹¹. La définition de « motorisation au combustible fossile » est disponible dans le lexique du présent document.

Dans les mines à ciel ouvert, le recours à des engins miniers propulsés par des moteurs à combustion interne est également présentement la norme. L'utilisation d'engins miniers à combustion interne dans les mines à ciel ouvert est d'ailleurs facilitée par le fait que celles-ci ne sont pas soumises à la même réglementation que les mines souterraines en ce qui a trait aux émissions de gaz d'échappement. Les exploitations souterraines doivent en effet se conformer à des normes strictes en matière d'émissions de gaz d'échappement, et ce, pour assurer une qualité de l'air adéquate aux travailleuses et aux travailleurs évoluant sous terre alors que les exploitations de surface ne sont, quant à elle, pas soumises aux mêmes normes puisqu'elles réalisent leurs activités à l'air libre (Mafuta Kasonga, 2013, p. 25).

La situation actuelle, caractérisée par une nette prédominance des engins miniers mus par un moteur à combustion interne, risque toutefois d'évoluer au cours des années à venir.

En effet, une nouvelle génération d'engins miniers propulsés par une motorisation hybride ou électrique¹² est actuellement en train d'émerger, et ce, comme en témoignent la disponibilité croissante de ce type d'engins miniers chez les équipementiers ainsi que la mise en exploitation de nouvelles mines possédant un parc d'engins miniers partiellement ou même totalement hybride ou électrique.

L'arrivée des engins miniers hybrides et électriques dans le secteur minier

Présentement, plusieurs indices tendent à démontrer que la place des engins miniers hybrides et électriques au sein des parcs d'engins des sociétés minières est appelée à s'accroître. Tout d'abord, les principaux équipementiers qui fournissent les mines du Canada et du Québec en engins miniers offrent depuis quelques années une gamme sans cesse plus importante et diversifiée d'engins hybrides ou électriques. Cette offre s'est particulièrement étoffée dans les

¹². La définition de « motorisation hybride ou électrique » est disponible dans le lexique du présent document.

derniers temps, de telle sorte qu'il est aujourd'hui possible pour une société minière opérant au Canada de se procurer la majorité des types d'engins miniers légers en version hybride ou électrique (Centre de formation professionnelle de la Baie-James, 2021, p. 43-46). Quant aux engins miniers lourds, comme les foreuses ou les tombereaux surdimensionnés opérant dans les fosses à ciel ouvert, ils restent pour l'heure moins accessibles en version hybride ou électrique (Ratcliff, Mahoney et Stanway, 2020, p. 40). Les parties prenantes du secteur minier québécois s'activent cependant actuellement à remédier à cette indisponibilité, et ce, comme en témoigne le projet mené conjointement par plusieurs acteurs du milieu afin de se doter à court terme « d'un nouveau système de propulsion électrique et de son infrastructure de recharge rapide adaptés aux véhicules lourds de l'industrie minière à ciel ouvert » (Propulsion Québec – Institut du véhicule innovant, 2020).

Ensuite, un autre indice provient du nombre croissant de sociétés minières à l'échelle mondiale qui font le choix de mettre en exploitation des mines dans lesquelles le parc d'engins miniers est en grande partie ou même totalement hybride et/ou électrique. C'est par exemple le cas de la mine suédoise Aitik (Boliden AB) qui a entrepris d'électrifier les tombereaux en fonction sur son site à ciel ouvert (Boliden, 2019). Il est également possible de citer la mine australienne CSA (Glencore Australia) qui emploie des chargeuses-navettes ainsi que des foreuses électriques dans ses galeries qui s'étendent à plus de 1 700 mètres de profondeur (Ratcliff, Mahoney et Stanway, 2020, p. 32). La mine Borden Gold (Newmont Mining), qui se situe en Ontario, représente l'un des exemples les plus avancés au monde en matière d'intégration des engins miniers hybrides et électriques dans une mine en exploitation (Newmont, 2019). En effet, l'entièreté du parc d'engins miniers de cette mine est électrique, ce qui en fait incontestablement une pionnière en la matière. L'expertise développée par les fournisseurs et les équipementiers qui desservent cette mine située relativement près du territoire québécois pourrait d'ailleurs se révéler pertinente dans le futur pour appuyer le déploiement d'engins hybrides et électriques dans les mines du Québec. Plusieurs indicateurs semblent donc témoigner d'un certain engouement pour les engins miniers hybrides et électriques dans l'industrie. Mais quels sont les facteurs qui favorisent et qui freinent la transition vers les engins miniers hybrides et électriques?

Facteurs favorisant la transition de l'industrie minière vers les engins miniers hybrides et électriques

Bien qu'une multitude d'éléments constituent des incitatifs en faveur de la transition des parcs d'engins miniers vers la motorisation hybride et électrique, la consultation de la documentation pertinente sur le sujet permet de circonscrire trois facteurs qui semblent jouer un rôle prépondérant dans ce phénomène.

Environnement et acceptabilité sociale

Dans les sociétés contemporaines, la protection de l'environnement et la lutte contre les changements climatiques représentent des enjeux de premier plan tant pour les acteurs publics et privés que pour ceux de la société civile. Dans ce contexte, la diminution des impacts négatifs des opérations minières sur l'environnement et le climat devient un incontournable pour les sociétés du secteur minier désirant être à la hauteur de leur responsabilité sociale d'entreprise. La transition d'un parc d'engins miniers à combustion interne à un parc d'engins hybrides et électriques représente donc pour une mine un moyen efficace d'agir concrètement pour réduire ses émissions de gaz à effet de serre, et ce, surtout lorsque l'on considère que, selon une étude menée en Australie, de 30 % à 50 % de l'énergie consommée par une mine est reliée au diesel utilisé pour alimenter les moteurs à combustion des engins miniers (Ertugul, 2020, p. 4). D'ailleurs, comme le soulignent Ratcliff, Mahoney et Stanway, « l'introduction d'engins électriques dans le parc d'engins miniers [...] représente actuellement le point de départ le plus accessible pour l'électrification d'une mine » (Ratcliff, Mahoney et Stanway, 2020, p. 32, notre traduction).

En plus d'avoir un impact favorable en matière de lutte contre les changements climatiques, la mise en place d'engins miniers hybrides et électriques dans une mine est susceptible d'apporter des bénéfices pour la qualité de vie des communautés locales qui sont situées à proximité des exploitations minières. En effet, les engins miniers mus par un moteur à combustion interne qui opèrent sur un site minier peuvent se révéler bruyants pour les communautés locales si celles-ci sont situées à proximité immédiate des installations minières. La mise en service d'engins hybrides et électriques permet de remédier en grande partie à cette problématique puisque ce type d'engin se caractérise par une propulsion significativement plus silencieuse (Ratcliff, Mahoney et Stanway, 2020, p. 25). De plus, le recours à des engins miniers hybrides et électriques permet d'amoindrir, voire de résoudre, l'enjeu de la pollution atmosphérique résultant des particules émises par une motorisation reposant sur l'utilisation de combustibles fossiles, soit un enjeu soulevé par certaines communautés locales établies près d'une mine (Ratcliff, Mahoney et Stanway, 2020, p. 25). Ces éléments constituent autant d'exemples des raisons pour lesquelles la transition du parc d'engin minier des sociétés minières vers des modèles hybrides et électriques favorise l'obtention et le maintien de la licence sociale d'opérer de ces sociétés.

Amélioration de la santé et de la sécurité du travail

En plus des avantages précédents, la transition de l'industrie minière vers les engins miniers hybrides et électriques est également synonyme d'amélioration de la santé et de la sécurité des travailleuses et des travailleurs (Global Mining Guidelines Group, 2018, p. 3). En effet, les engins miniers utilisant une motorisation à l'énergie fossile produisent des émissions de diesel

qui peuvent se révéler néfastes pour la santé de la main-d'œuvre (Mafuta Kasonga, 2013, p. 1). Comme il a été mentionné précédemment, les mines souterraines ont recours à de puissants systèmes de ventilation pour évacuer les émissions et ainsi assurer un environnement de travail sécuritaire à leur personnel. Toutefois, malgré l'aération des galeries et le respect des normes en vigueur en matière de qualité de l'air, les travailleuses et les travailleurs peuvent toujours être exposés à des quantités résiduelles de gaz et de particules potentiellement cancérigènes. L'introduction d'engins hybrides et électriques dans les mines souterraines constitue donc une avancée en matière de santé et de sécurité du travail puisque la mise en place de parcs d'engins hybrides permettra d'amoindrir l'impact des émissions sur la santé du personnel alors que la mise en service de parcs d'engins miniers complètement électriques fera en sorte que «l'impact des particules de diesel sur la santé humaine sera complètement éliminé» (Ertugul, 2020, p. 2, notre traduction).

Les engins miniers utilisant une motorisation à l'énergie fossile sont également plus bruyants et génèrent plus de vibrations que leurs contreparties électriques (Ertugul, 2020, p. 4). Or, il est démontré que «les problèmes de santé liés aux vibrations et au bruit sont parmi les principales causes d'indemnisations liées au travail dans les mines» (Ouellette et Marcotte, 2010, p. 11). En recourant à des engins miniers électriques, il est possible de réduire les vibrations auxquelles les travailleuses et les travailleurs sont exposés par l'entremise du siège ou du plancher des engins, contribuant ainsi à prévenir la fatigue, les douleurs lombaires et plusieurs autres troubles de santé (Ouellette et Marcotte, 2010, p. 2). En ce qui a trait à l'enjeu du bruit, bien que les risques pour la santé auditive de la main-d'œuvre minière soient limités grâce au port de protecteurs auditifs et à la mise en place de normes par les autorités gouvernementales visant à limiter l'exposition légale au bruit, des améliorations en santé et sécurité du travail sont tout de même associées au recours à des engins miniers électriques compte tenu du fait que le niveau d'exposition au bruit peut parfois se révéler élevé malgré les mesures en place, et ce, notamment en cas d'utilisation prolongée de certains engins motorisés par le combustible fossile (Ouellette et Marcotte, 2010, p. 13-18). Le recours à des engins miniers moins bruyants apparaît dans ce contexte particulièrement pertinent dans la mesure où le Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail indique que «la meilleure façon de réduire le niveau de bruit consiste à apporter des modifications techniques à la source elle-même [du bruit]» (Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail, 2021).

Réduction des coûts d'exploitation et augmentation des réserves minérales potentielles

La réduction des coûts d'exploitation représente un autre élément majeur constituant un incitatif pour la transition du parc d'engins miniers de l'industrie minière vers des modèles hybrides ou électriques. Tout d'abord, la mise en place d'un parc d'engins miniers hybrides ou électriques permet de réaliser des économies significatives de carburant (Global Mining Guidelines Group, 2018, p. 3). En effet, alors que les engins hybrides consomment moins de carburant, les engins électriques n'en consomment pas du tout. Cette consommation moindre, voire nulle, contribue à diminuer sensiblement le coût d'exploitation d'un site minier puisque, comme cela a déjà été mentionné précédemment, il est possible d'estimer qu'environ 30 % à 50 % de l'énergie consommée par une mine est liée au carburant utilisé pour alimenter les moteurs à combustion des engins miniers (Ertugul, 2020, p. 4).

Les coûts de maintenance des engins hybrides et électriques apparaissent également comme étant plus faibles que ceux des engins recourant à des moteurs à combustion interne pour assurer leur motorisation (Global Mining Guidelines Group, 2018, p. 4). Les auteurs Ratcliff, Mahoney et Stanway postulent à cet égard que des économies de l'ordre de 25 % sont envisageables par rapport aux coûts de maintenance des engins utilisant une motorisation au combustible fossile, et ce, notamment en raison d'une plus grande fiabilité des engins électriques qui seraient sujets à tomber en panne de façon moins fréquente (Ratcliff, Mahoney et Stanway, 2020, p. 24).

Dans les mines souterraines, le déploiement d'un parc d'engins miniers hybrides et électriques permet de réaliser des économies majeures en matière de ventilation (Global Mining Guidelines Group, 2018, p. 4). Dans ce type de mines, la ventilation représente en effet l'un des principaux coûts d'exploitation (Ertugul, 2020, p. 4). Or, des études ont démontré que la mise en fonction d'un parc d'engins miniers entièrement électriques permet à une entreprise minière de réaliser des économies d'énergie pouvant faire diminuer de 40 % les coûts associés à la ventilation, et ce, en raison des besoins moins élevés en aération découlant de l'absence de gaz d'échappement dans les galeries (Ratcliff, Mahoney et Stanway, 2020, p. 24).

Toutes ces sources d'économies possibles associées à la transition vers les engins miniers hybrides et électriques ont finalement une conséquence positive sur la durée de vie et le potentiel économique d'une mine puisqu'une réduction des coûts d'exploitation augmente le nombre de corps minéralisés qu'il est rentable d'exploiter. En effet, l'exploitation de certains corps minéralisés qui étaient situés trop en profondeur ou qui étaient d'une trop faible teneur pour être rentables avec l'emploi d'engins miniers motorisés à l'énergie fossile pourrait devenir lucrative pour les sociétés minières si celles-ci ont recours à un parc d'engins miniers hybrides ou électriques (Ratcliff, Mahoney et Stanway, 2020, p. 25).

Facteurs freinant la transition de l'industrie minière vers les engins miniers hybrides et électriques

Les facteurs qui sont cités dans la littérature pour expliquer pour quelles raisons la transition vers l'électrification des engins miniers connaît certaines difficultés relèvent autant d'enjeux en matière de ressources financières, humaines ou matérielles que de questions organisationnelles. La recherche menée dans le cadre du présent rapport a permis de recenser quatre éléments majeurs à prendre en compte pour mieux comprendre les motifs pour lesquels l'adoption des engins hybrides et électriques par l'industrie minière se fait actuellement de manière graduelle et à un rythme modéré.

La réalité propre à chacune des mines

Les réalités caractérisant chacune des mines ont un impact majeur sur leur capacité à réaliser une transition vers les engins miniers hybrides et électriques. Les mines déjà existantes ont une durée de vie restante et des infrastructures qui influencent grandement la rentabilité et la faisabilité technique d'une telle transition. Tout d'abord, la durée de vie restante d'une mine peut représenter un frein pour l'introduction d'un parc d'engins miniers hybrides ou électriques, car la mise en place d'un tel parc nécessite des investissements importants qui ne pourront pas nécessairement être rentabilisés si la mine cesse ses activités d'exploitation à court terme (Deloitte et NORCAT, 2020, p. 6). De plus, la mise en service d'engins miniers hybrides et électriques requiert des infrastructures électriques et des infrastructures de rechargement qui ne se trouvent habituellement pas dans les mines conçues et construites dans la perspective d'une utilisation d'engins miniers motorisés à l'énergie fossile. En effet, l'introduction « d'équipements électriques va nécessiter [la mise en place] d'infrastructures de rechargement fixes qui requièrent un examen minutieux lors de la conception de la mine » (Ratcliff, Mahoney et Stanway, 2020, p. 41, notre traduction). Cela signifie donc que, si ces infrastructures spécialisées ne sont pas déjà en place dans une mine, des investissements majeurs devront être consentis pour adapter les infrastructures existantes, ce qui représente un frein important à l'adoption de cette nouvelle technologie dans les mines actives. Une collecte de données menée auprès du secteur minier australien a d'ailleurs fait ressortir que, selon l'industrie minière locale, les deux principaux défis auxquels fait face le secteur en matière d'électrification sont la modernisation des systèmes existants et la transition des infrastructures et des équipements existants (Ratcliff, Mahoney et Stanway, 2020, p. 15).

Le coût d'achat

Un autre frein à la transition provient du coût d'achat des engins miniers hybrides et électriques. En effet, les engins recourant à une motorisation à l'énergie fossile sont aujourd'hui moins coûteux à l'achat que les engins hybrides ou électriques (Global Mining Guidelines Group, 2018,

p. 4; Ratcliff, Mahoney et Stanway, 2020, p. 23). Le Global Mining Guidelines Group estime que le coût d'achat plus élevé des modèles d'engins miniers électriques est principalement dû aux prix élevés des batteries (Global Mining Guidelines Group, 2018, p. 4). Ce facteur dissuasif pourrait toutefois évoluer à court ou moyen terme puisque les innovations technologiques ainsi que les économies d'échelle, découlant d'une production de plus en plus importante au fur et à mesure que la demande pour ce type d'engins augmente, constituent autant d'éléments qui exercent une pression à la baisse sur les prix des engins miniers électriques (Ratcliff, Mahoney et Stanway, 2020, p. 41). Selon certaines estimations, une parité de prix entre les modèles diesel et électriques pourrait même être atteinte d'ici 2025 (Ratcliff, Mahoney et Stanway, 2020, p. 41).

La réticence par rapport à la prise de risques

Un facteur primordial qui est également à prendre en considération en ce qui a trait à la transition des parcs d'engins miniers vers des modèles hybrides et électriques tient à la nature intrinsèquement risquée de l'industrie minière. La fluctuation du prix des matières premières sur les marchés et les investissements majeurs requis pour arriver à mettre en exploitation une mine ne sont que quelques exemples illustrant ce niveau de risque élevé. Or, puisque les engins miniers hybrides et électriques constituent une technologie relativement récente, leur adoption peut être considérée par certaines sociétés minières comme ajoutant un risque supplémentaire dans le processus déjà complexe d'exploitation minière (Ratcliff, Mahoney et Stanway, 2020, p. 18-19). Dans ce contexte, il peut s'avérer tentant pour certaines entreprises minières d'abaisser l'incertitude économique entourant leur projet en continuant de recourir à des technologies moins innovantes, mais ayant cependant l'avantage d'avoir été éprouvées depuis longtemps.

La disponibilité des compétences

Finalement, la question de la disponibilité des compétences ressort également clairement comme un frein à l'implantation accélérée d'engins miniers hybrides et électriques dans l'industrie. Comme le soulignent plusieurs auteurs consultés, la transition vers un parc d'engins miniers hybrides et électriques requiert l'acquisition d'une multitude de nouvelles compétences de la part de la main-d'œuvre (Deloitte et NORCAT, 2020, p. 7; EY, 2019, p. 8; Ertugul, 2020, p. 1; Global Mining Guidelines Group, 2018, p. 43-45; Ratcliff, Mahoney et Stanway, 2020, p. 12). Le développement ainsi que le rehaussement des compétences en électricité et en électronique sont évidemment nécessaires, mais l'amélioration de la littératie numérique et de la capacité à analyser les données constituent également un incontournable dans la mesure où les engins miniers hybrides et électriques intègrent en règle générale d'ores et déjà une multitude de composantes automatisées et connectées (Ratcliff, Mahoney et Stanway, 2020, p. 12; EY, 2019, p. 8). La mise en service de ces types d'engins doit également s'accompagner d'une réflexion à propos des risques en matière de santé et de sécurité au travail associés à l'utilisation de ces équipements innovants. Par exemple, de nouvelles notions de santé et de sécurité au travail

pourraient devoir être transmises aux travailleuses et aux travailleurs pour prévenir les accidents de travail associés aux électrocutions (Ertugul, 2020, p. 2). À l'heure actuelle, le fait que seulement une faible proportion de travailleuses et de travailleurs du secteur minier maîtrisent ces compétences spécifiques constitue donc un frein majeur pour une intégration plus rapide des engins hybrides et électriques dans l'industrie (Jarratt, 2021). Parmi tous les enjeux associés aux compétences que la main-d'œuvre doit acquérir pour accomplir adéquatement cette transition, la question du développement des compétences du personnel chargé de réaliser la maintenance de ces nouveaux engins semble particulièrement interpeller les sociétés minières puisque le maintien d'un parc d'engins miniers en bon état de marche est essentiel pour assurer le bon fonctionnement des activités minières (Ratcliff, Mahoney et Stanway, 2020, p. 20). Ce rapport vise d'ailleurs précisément à mieux cerner les besoins de formation des mécaniciennes et des mécaniciens des mines actuelles et futures du Québec en matière de maintenance d'engins miniers, et ce, dans un souci d'améliorer l'adéquation entre la formation et les besoins du marché du travail.

Le développement ainsi que le rehaussement des compétences en électricité et en électronique sont évidemment nécessaires, mais l'amélioration de la littératie numérique et de la capacité à analyser les données constituent également un incontournable dans la mesure où les engins miniers hybrides et électriques intègrent en règle générale d'ores et déjà une multitude de composantes automatisées et connectées.

L'impact sur la formation dans le secteur minier

La majorité des professions et des métiers en lien de près ou de loin avec l'opération, la maintenance, la supervision ou la planification des activités d'extraction et de transport du minerai seront affectés par l'arrivée de cette nouvelle génération d'engins miniers. Les personnes qui exercent ces professions ou métiers devront par conséquent acquérir de nouvelles compétences pour faire face à cette transformation ayant des implications autant technologiques qu'organisationnelles (Ratcliff, Mahoney et Stanway, 2020, p. 20). Selon le Global Mining Guidelines Group, ce sont plus particulièrement les travailleuses et les travailleurs qui occupent des fonctions d'opératrices ou d'opérateurs d'engins, de mécaniciennes et de mécaniciens, d'électriciennes et d'électriciens et d'assistance technique qui devront recevoir

le plus de formation afin de s'adapter à cette nouvelle donne (Global Mining Guidelines Group, 2018, p. 44). Parmi ces membres du personnel dont le travail est singulièrement affecté par cette transition, les mécaniciennes et les mécaniciens d'engins miniers, également connus au Québec sous le nom de mécaniciennes ou mécaniciens d'engins de chantier, seront vraisemblablement celles et ceux qui devront le plus développer de nouvelles compétences pour faire face à l'arrivée des engins miniers hybrides et électriques dans l'industrie. En effet, dans le cadre d'un processus de transition vers un parc d'engins miniers hybrides ou électriques, «la gestion du changement en ce qui a trait à [la formation du personnel assurant] la maintenance et [...] la réparation doit être l'une des principales considérations» (Global Mining Guidelines Group, 2018, p. 45, notre traduction). Cette réalité s'explique par le fait que les mécaniciennes et les mécaniciens d'engins miniers devront développer non seulement de nouvelles compétences techniques (électricité, électronique, numérique, etc.), mais également de nouvelles compétences en santé et sécurité du travail (opération sécuritaire du système de recharge, câblage haute tension, sécurisation de l'espace de travail, etc.) et transversales (écoute active, capacités d'analyse et d'évaluation, etc.) pour pouvoir relever avec succès le défi que constitue cette transition des parcs d'engins miniers (Global Mining Guidelines Group, 2018, p. 32; EY, 2019, p. 8).

À travers le monde, quelques juridictions ont mis sur pied des formations qualifiantes qui permettent de doter les mécaniciennes et les mécaniciens d'engins de chantier travaillant dans le secteur minier des compétences nécessaires pour assurer une maintenance efficace et sécuritaire des engins miniers hybrides et électriques (Jarratt, 2021). Parmi ces juridictions, l'Ontario fait figure de proue puisqu'au moins deux établissements d'enseignement, soit le Collège Boréal et le Cambrian College, offrent des programmes de formation destinés aux mécaniciennes et aux mécaniciens désirant acquérir les compétences nécessaires pour procéder à la maintenance des engins miniers électriques à batterie (Collège Boréal, 2021; Cambrian College, 2021). Au Québec, en date du 1^{er} juillet 2021, aucun établissement d'enseignement n'offrait un programme de formation équivalent ou s'apparentant à ceux disponibles en Ontario. Le chapitre suivant, qui porte sur la planification de l'industrie minière du Québec en ce qui concerne l'intégration des engins miniers hybrides et électriques dans ses opérations, permettra de mieux circonscrire les besoins de formation qui existent dans la province en matière de maintenance de tels engins.

Résultats de l'enquête

La collecte de données réalisée auprès des mines et des projets miniers du Québec dans le cadre de ce rapport vise avant toute chose à mieux comprendre les intentions de l'industrie minière non seulement à l'égard de l'intégration des engins miniers hybrides et électriques dans leurs activités, mais également en ce qui a trait aux besoins de formation et de développement de compétences découlant de cette intégration.

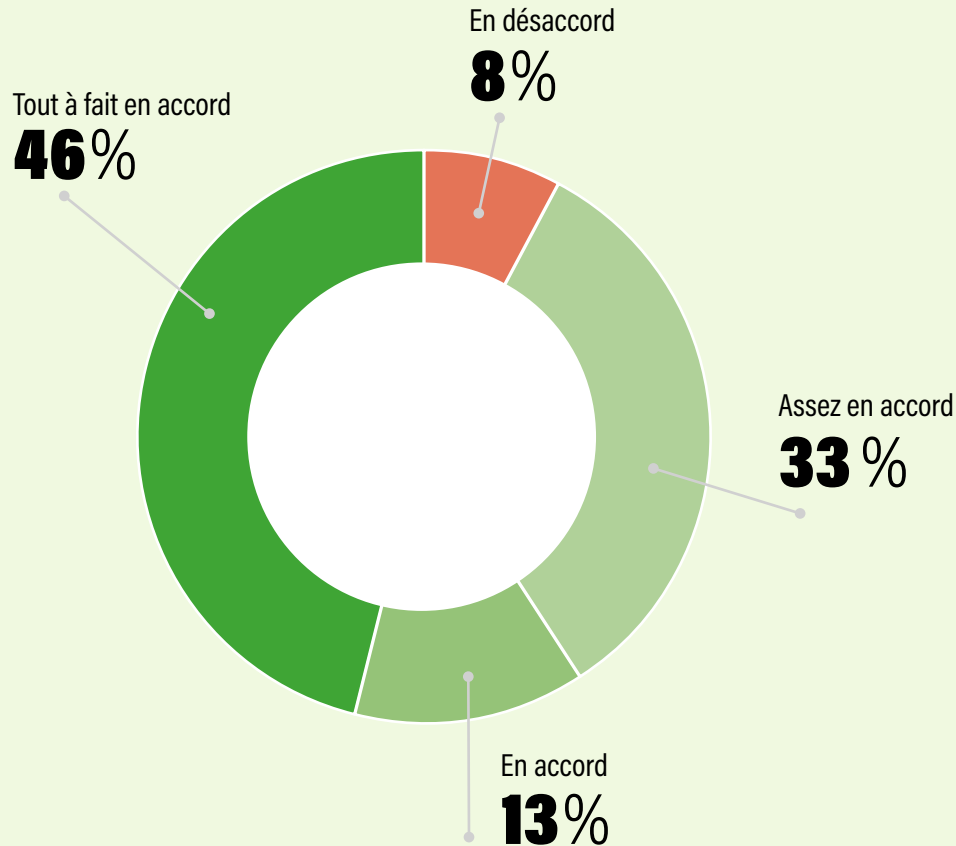
Planification de l'industrie en matière de transition vers des engins miniers hybrides et électriques

Dans l'optique de mieux saisir quelle est la conception des mines actives ou en maintenance ainsi que des projets miniers du Québec en matière de transition vers les engins miniers hybrides et électriques, la collecte de données a cherché d'entrée de jeu à déterminer la planification développée par ces entreprises en ce qui a trait à cette transition.

Pour commencer, l'enquête permet d'évaluer dans quelle mesure les mines et les projets miniers estiment que la transition de l'industrie minière vers les engins miniers hybrides et électriques aura débuté d'ici 2030. La [figure 2](#) montre que la vaste majorité des mines et des projets miniers, soit 92 % de ceux-ci, sont « Assez en accord », « En accord » ou « Tout à fait en accord » avec l'énoncé selon lequel l'industrie minière va entreprendre sa transition vers des engins miniers hybrides ou électriques d'ici 2030. Seulement un faible pourcentage de 8 % affirme être « En désaccord » avec cet énoncé.

Figure 2

Niveau d'accord avec l'énoncé selon lequel l'industrie minière québécoise va entreprendre sa transition vers des engins hybrides ou électriques d'ici 2030

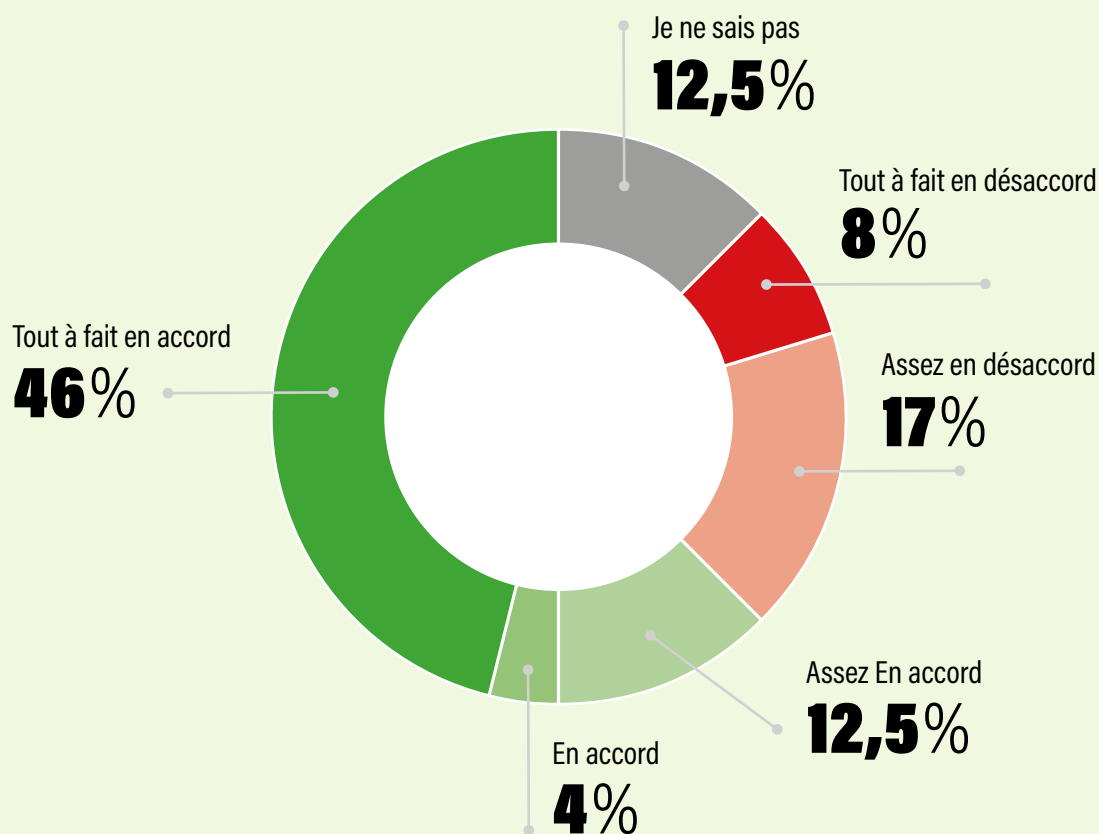


Question : Indiquez votre niveau d'accord ou de désaccord avec l'énoncé suivant : « D'ici 2030, l'industrie minière québécoise va entreprendre sa transition vers des engins miniers hybrides ou électriques. »

La [figure 2](#) ayant permis de constater que les mines ainsi que les projets miniers jugent en grande majorité que l'industrie minière va entreprendre sa transition vers les engins miniers hybrides et électriques d'ici 2030, il était naturel de les questionner pour déterminer dans quelle mesure ceux-ci estiment que leur propre entreprise va réaliser un processus semblable à l'intérieur de ce même délai. La [figure 3](#) illustre le fait que, bien qu'une majorité affirme être « Assez en accord », « En accord » ou « Tout à fait en accord » avec l'énoncé selon lequel leur mine va entreprendre cette transition d'ici 2030, cette majorité est sensiblement plus faible que précédemment puisqu'elle ne s'élève qu'à 62,5%. Par ailleurs, 25% des mines et des projets miniers mentionnent être « Assez en désaccord » ou même « Tout à fait en désaccord » avec cet énoncé. Finalement, 12,5% des mines et des projets miniers indiquent ne pas être en mesure de se prononcer sur la question.

Figure 3

Niveau d'accord avec l'énoncé selon lequel l'entreprise va entreprendre sa transition vers des engins hybrides ou électriques d'ici 2030

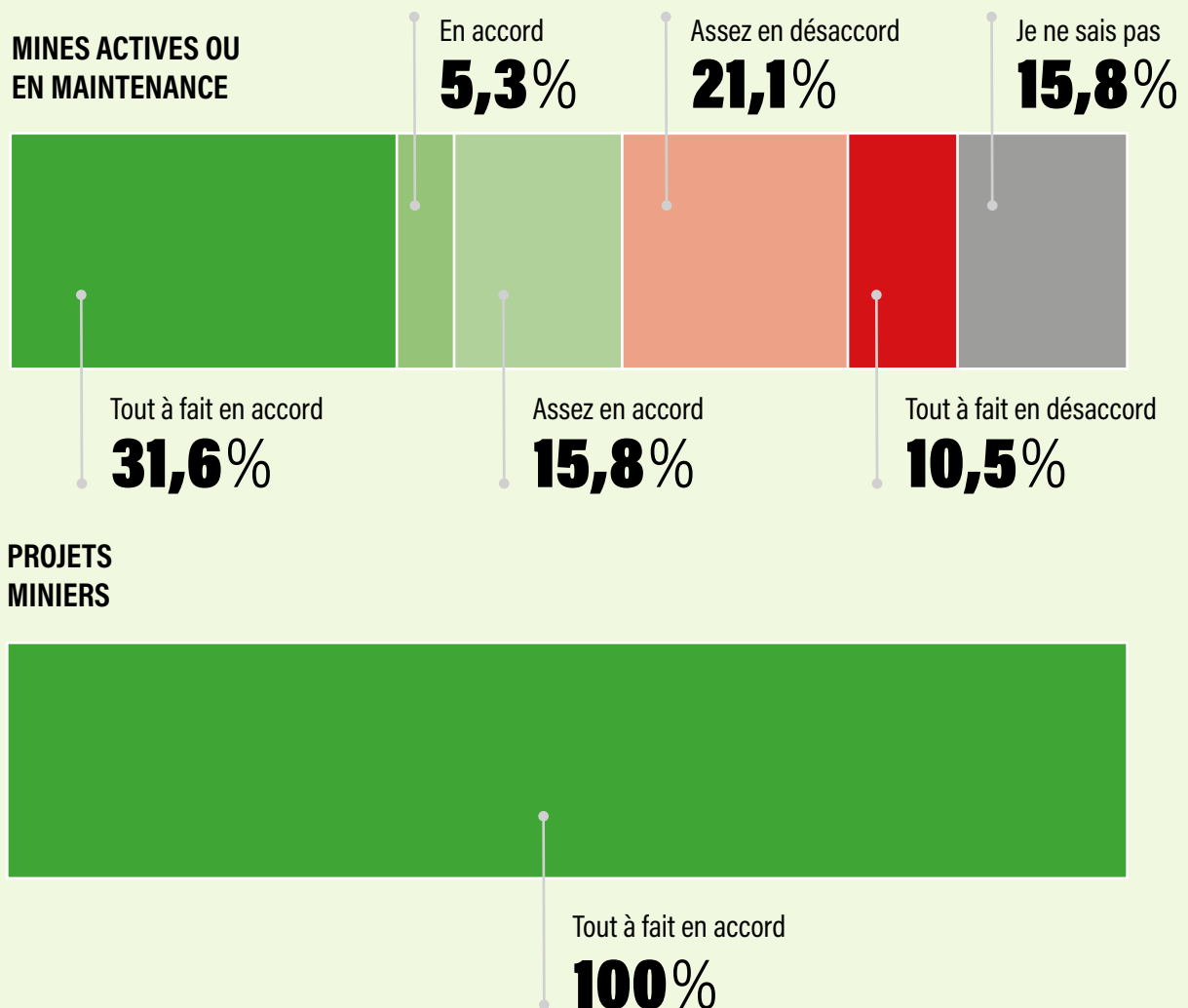


Question : Indiquez votre niveau d'accord ou de désaccord avec l'énoncé suivant : « D'ici 2030, votre mine va entreprendre sa transition vers des engins miniers hybrides ou électriques. »

De plus, l'analyse détaillée des résultats permet de relever que les projets miniers ont un niveau d'accord manifestement plus élevé avec l'affirmation selon laquelle leur mine va entreprendre sa transition vers des engins hybrides ou électriques d'ici 2030 que les mines actives ou en maintenance. En effet, comme le représente la [figure 4](#), 100% des premiers affirment être « Tout à fait en accord » avec cet énoncé alors qu'uniquement 53% des seconds indiquent se considérer comme étant « Tout à fait en accord », « En accord » ou « Assez en accord ».

Figure 4

Niveau d'accord, par type de site minier, avec l'énoncé selon lequel votre mine va entreprendre sa transition vers des engins hybrides ou électriques d'ici 2030



Question : Indiquez votre niveau d'accord ou de désaccord avec l'énoncé suivant : « D'ici 2030, votre mine va entreprendre sa transition vers des engins miniers hybrides ou électriques. »

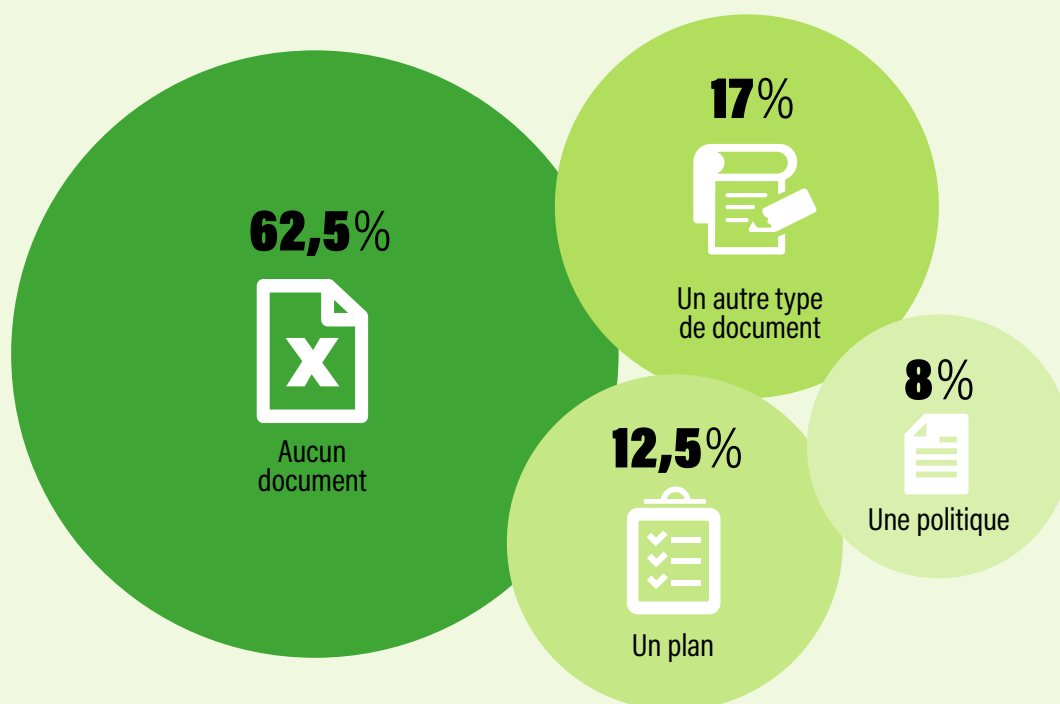
Une fois la question de la perception des mines et des projets miniers du Québec à l'égard de la transition de l'industrie et de leur propre entreprise vers les engins hybrides et électriques à l'horizon 2030 analysée, les résultats de l'enquête permettent de savoir si les mines et les projets miniers ont déjà réalisé, ou sont en train de réaliser, l'exercice consistant à consigner au sein d'un document corporatif leur planification en ce qui a trait à la transition vers ce type d'engins.

La réalisation d'un tel exercice représente en effet un marqueur indiquant la volonté de l'entreprise de bien planifier le déroulement de sa transition ainsi que de préparer adéquatement son personnel aux changements inhérents à une telle démarche. La **figure 5** illustre le fait que la majorité des mines ainsi que des projets miniers indiquent que leur entreprise n'a pas élaboré, ou n'est pas en train d'élaborer, un document corporatif visant à mieux définir son positionnement en matière de transition vers les engins miniers hybrides et électriques. En effet, 62,5 % des mines et des projets miniers soulignent qu'«Aucun document» à cet effet n'a été élaboré ou n'est en cours d'élaboration. Cependant, 37,5 % des mines et des projets miniers mentionnent que leur entreprise a rédigé ou est en train de rédiger «Un plan», «Une politique» ou «Un autre type de document» concernant la transition vers l'utilisation d'engins miniers hybrides ou électriques. Parmi la catégorie «Autre type de document», les termes «Vision», «Étude» et «Évaluation» ont été mentionnés par les mines et projets miniers.

Figure 5

Type de document élaboré ou en cours d'élaboration dans votre entreprise concernant la transition vers les engins hybrides ou électriques

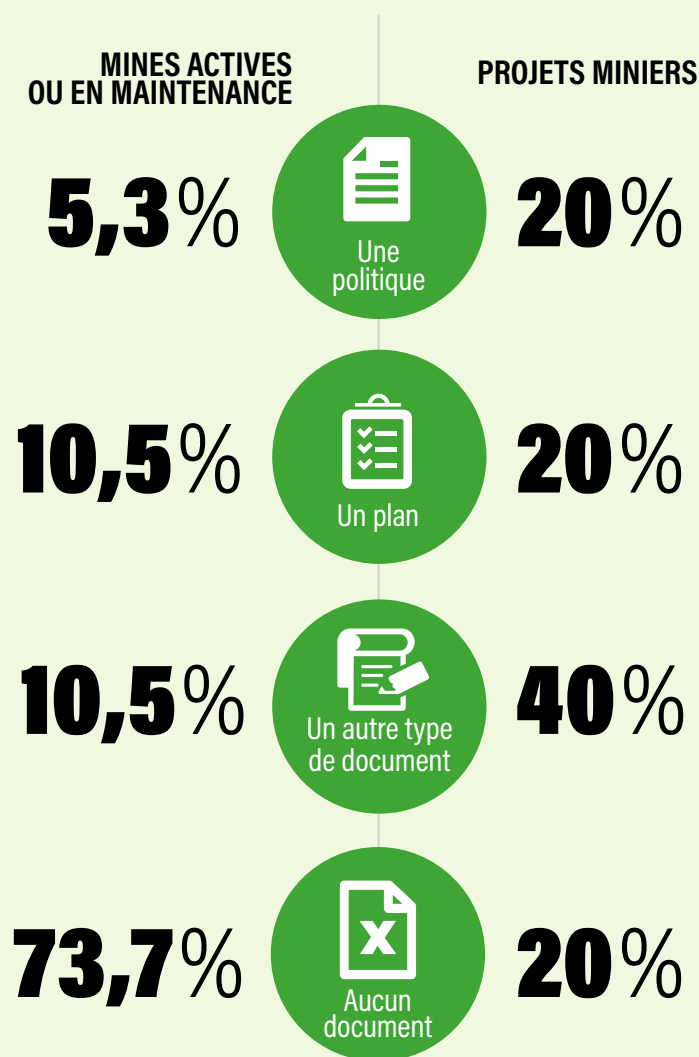
Question : Quel type de document a été élaboré ou est en cours d'élaboration dans votre entreprise concernant la transition vers les engins miniers hybrides ou électriques?



L'analyse plus en profondeur des résultats permet toutefois de constater une disparité entre les réponses provenant des mines et celles des projets miniers. Comme le révèle la [figure 6](#), 80 % des projets miniers sondés ont élaboré ou sont en train d'élaborer un document corporatif concernant la transition vers les engins miniers hybrides ou électriques alors que cette proportion n'est que de 26 % au sein des mines.

Figure 6

Type de document élaboré ou en cours d'élaboration dans votre entreprise concernant la transition vers les engins hybrides ou électriques, par type de site minier



Question : Quel type de document a été élaboré ou est en cours d'élaboration dans votre entreprise concernant la transition vers les engins miniers hybrides ou électriques ?

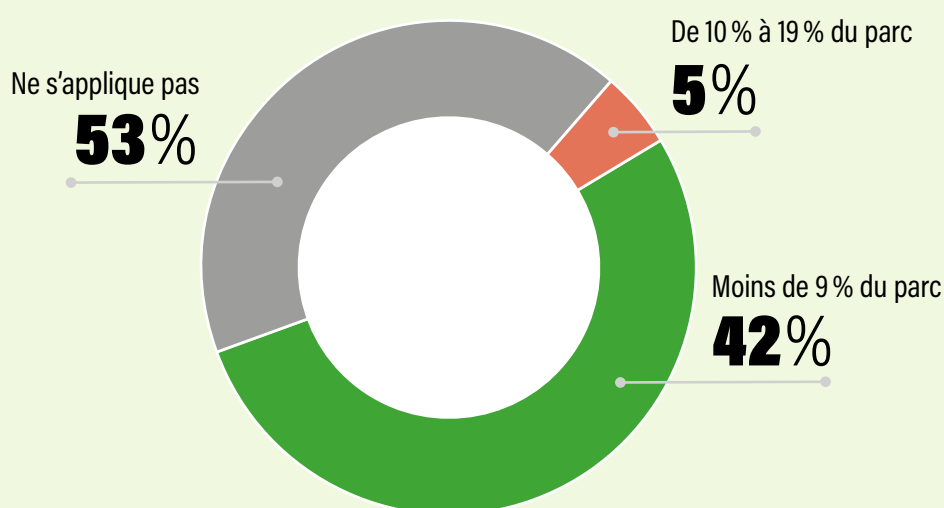
Parc actuel et projection du parc d'engins miniers hybrides et électriques au Québec

L'enquête menée dans le cadre de la rédaction de ce rapport visait également à brosser le portrait actuel de l'implantation des engins miniers hybrides et électriques dans les mines actives ou en maintenance du Québec. De plus, les intentions des mines et des projets miniers en matière d'intégration future de ces engins dans leurs parcs ont aussi été sondées.

Tout d'abord, l'enquête a cherché à faire émerger le portrait relatif à la présence d'engins miniers hybrides et électriques dans les parcs d'engins des mines actives ou en maintenance du Québec, et ce, en date du 1^{er} juillet 2021. La **figure 7** illustre l'état des lieux en matière d'engins hybrides. Elle permet de constater que la majorité des mines, soit 53 % d'entre elles, n'ont aucun engin minier hybride dans leur parc. De plus, 49 % des mines rapportent que leur entreprise possède « Moins de 9 % » d'engins hybrides au sein de son parc d'engins miniers. Cette donnée doit être interprétée avec circonspection, car il est possible que certaines mines participant à l'enquête au nom d'un site minier ne possédant aucun engin hybride aient répondu « Moins de 9 % » au lieu de « Ne s'applique pas ». Cela porte à considérer les mines se classant dans la catégorie « Moins de 9 % » comme étant soit complètement dépourvues d'engins miniers hybrides ou comme étant pourvues uniquement d'une très petite quantité de ce type d'engins (par exemple de quelques exemplaires servant à réaliser un projet pilote). Finalement, une seule mine (5 %) mentionne que son parc d'engins miniers contient entre 10 % et 19 % d'engins hybrides.

Figure 7

Répartition des mines actives ou en maintenance en fonction du pourcentage du parc d'engins miniers constitué d'engins hybrides

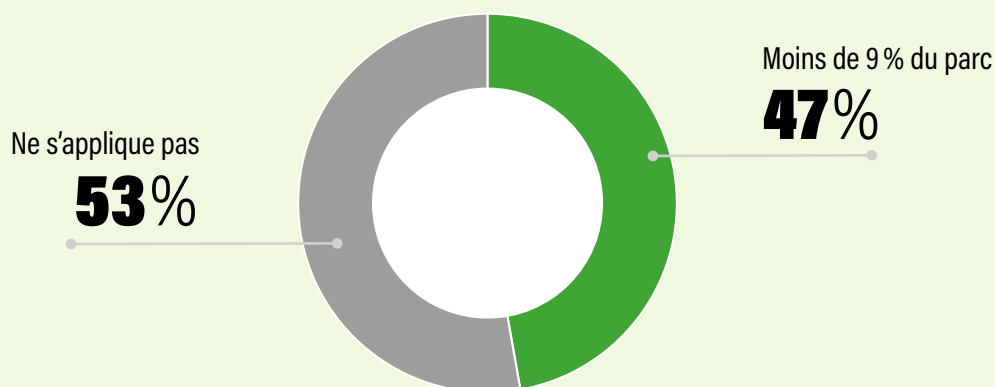


Question : À votre connaissance, quel pourcentage de votre parc d'engins miniers était constitué d'engins hybrides en date du 1^{er} juillet 2021 ?

La **figure 8** permet, quant à elle, de mesurer l'intégration des engins miniers électriques dans les mines du Québec. La majorité des mines (53 %) mentionnent que leur entreprise ne possède aucun engin de ce type, contre 47 % qui indiquent que « Moins de 9 % » de leur parc est constitué de tels engins miniers. Comme cela a été mentionné précédemment, et pour les mêmes motifs, il est important de garder à l'esprit que la catégorie « Moins de 9 % » peut possiblement regrouper à la fois des mines n'ayant aucun engin minier électrique et des mines ayant déployé une très faible quantité d'engins de ce type.

Figure 8

Répartition des mines actives ou en maintenance en fonction du pourcentage du parc d'engins miniers constitué d'engins électriques



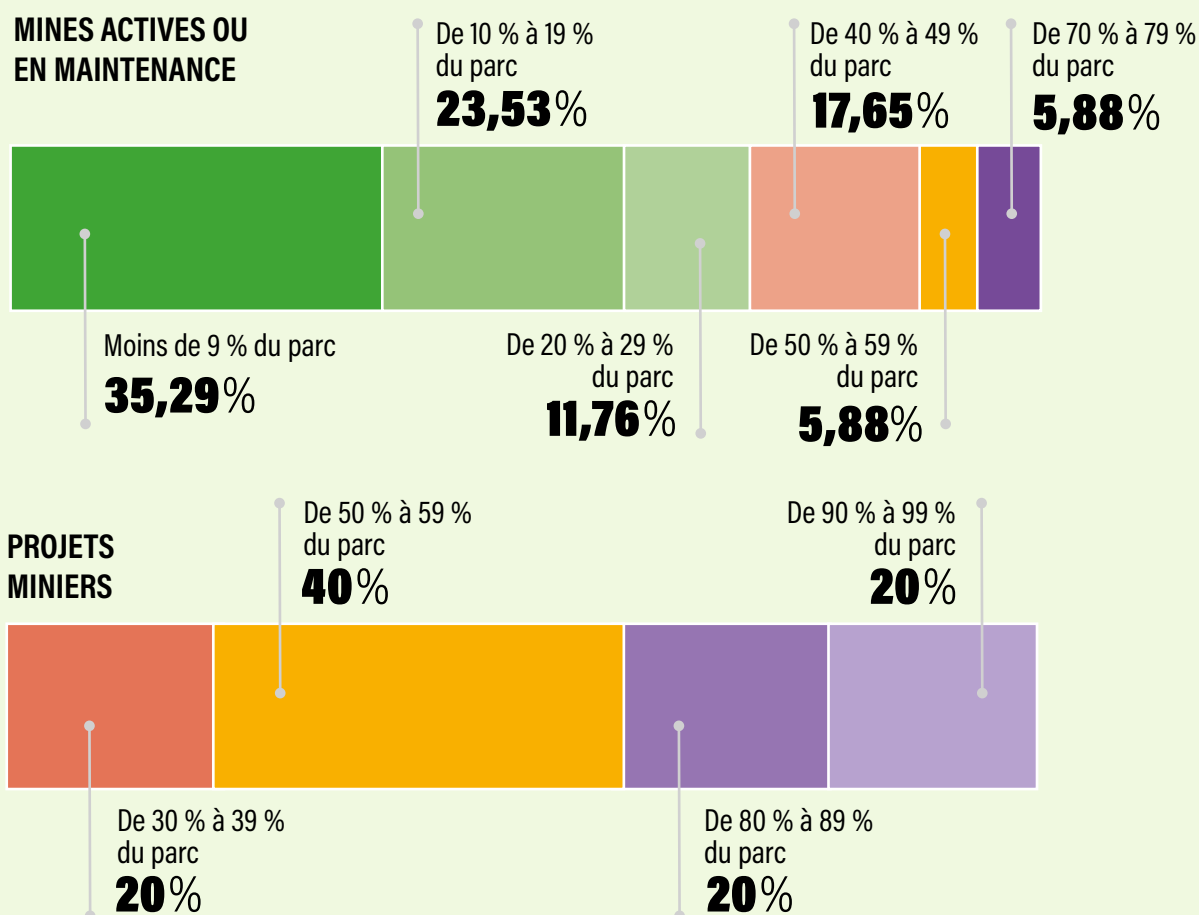
Question : À votre connaissance, quel pourcentage de votre parc d'engins miniers était constitué d'engins électriques en date du 1^{er} juillet 2021 ?

Les données apparaissant aux **figures 7** et **8** démontrent qu'en 2021, la présence des engins miniers hybrides et électriques dans les parcs d'engins des mines actives ou en maintenance est encore marginale. De plus, bien qu'une mine indique que de « 10 % à 19 % » de son parc d'engins miniers est constitué d'engins hybrides et que cela ne soit pas le cas pour les engins électriques, il semble encore trop tôt pour confirmer une tendance dans l'industrie en faveur des engins hybrides plutôt qu'électriques ou vice versa.

Les données collectées révèlent également les projections des mines ainsi que des projets miniers en ce qui a trait à la composition de leur parc d'engins miniers à l'horizon 2030. La **figure 9** illustre tout d'abord le fait que la majorité des mines actives ou en maintenance jugent que moins de 20 % des engins miniers de leur parc seront des modèles hybrides ou électriques en 2030.

Figure 9

Répartition des mines et des projets miniers en fonction du pourcentage de leur parc d'engins miniers qui sera constitué de modèles hybrides ou électriques en 2030



Question : Selon votre meilleure estimation, si votre mine est toujours en activité en 2030, quel pourcentage de votre parc d'engins miniers sera constitué d'engins miniers hybrides et électriques?

L'analyse détaillée des résultats présentés à la [figure 9](#) permet toutefois de constater une distinction entre les réponses des mines actives ou en maintenance et celles des projets miniers. En effet, 80% des projets miniers jugent qu'au moins la moitié de leur parc d'engins miniers sera constitué d'engins hybrides et électriques en 2030 alors que cette proportion est de 12% pour les mines actives ou en maintenance.

L'enquête menée permet également d'en apprendre davantage sur la période à partir de laquelle tant les mines que les projets miniers seront dotés d'un parc d'engins miniers constitué d'au moins 50 % d'engins hybrides ou électriques. Le **tableau 1** révèle que 42 % des entreprises ont indiqué que leur mine ou leur projet minier franchira ce cap à une date se situant entre 2021 et 2035. Toujours sondés sur le même enjeu, 20,5 % des mines et des projets miniers mentionnent, quant à eux, que leur entreprise atteindra ce niveau d'intégration des engins miniers hybrides et électriques après 2035. Quelques entreprises (12,5 %) participant à l'enquête au nom de mines ayant une durée de vie s'étendant seulement à quelques années après 2021 ont de leur côté indiqué que leur mine cessera ses activités avant que le seuil des 50 % d'engins miniers hybrides ou électriques au sein du parc ne soit atteint. Finalement, le quart (25 %) des mines et des projets miniers n'ont pas pu positionner leur entreprise en ce qui concerne cet enjeu et ont par conséquent répondu « Je ne sais pas ».

Tableau 1

Période à partir de laquelle le parc d'engins miniers de l'entreprise sera constitué d'au moins 50 % de modèles hybrides ou électriques

Pourcentage des mines ou des projets miniers (Nombre de mines ou de projets miniers)	
2021-2025	4 % (1)
2026-2030	21 % (5)
2031-2035	17 % (4)
2036-2040	12,5 % (3)
Après 2040	8 % (2)
La mine fermera avant que ce seuil ne soit atteint	12,5 % (3)
Je ne sais pas	25 % (6)
TOTAL	100 % (24)

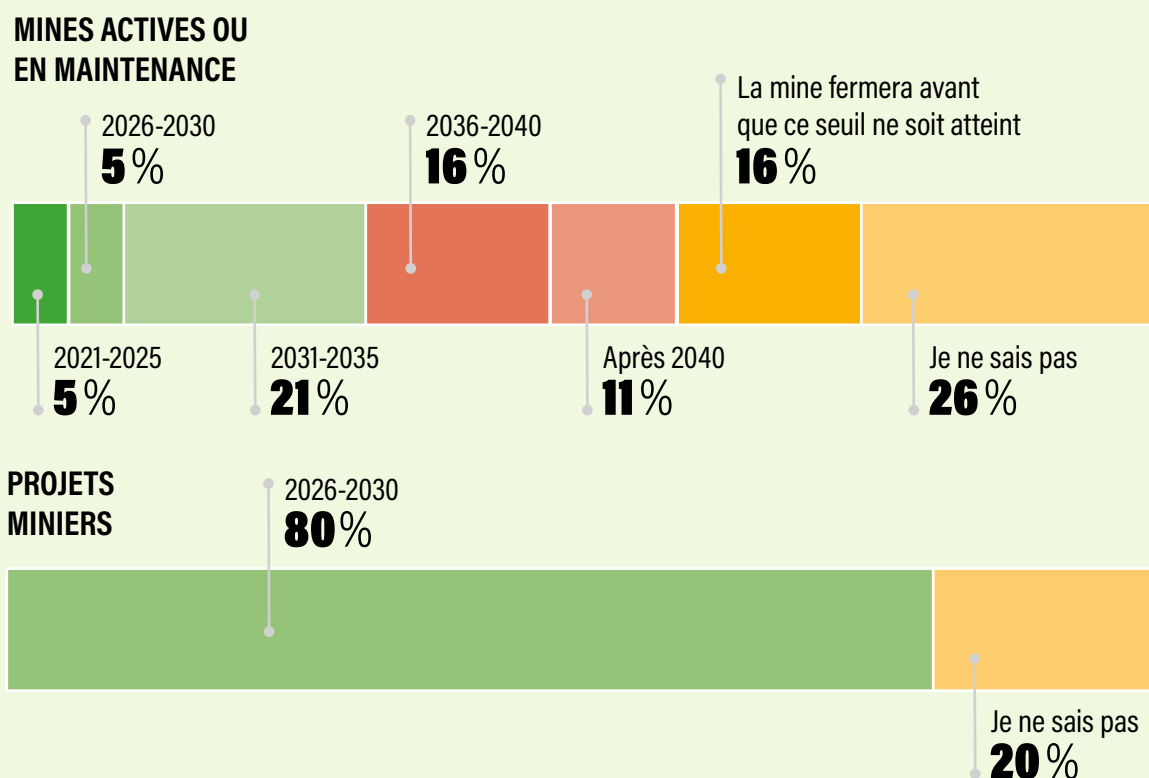
Question : À partir de quelle année estimez-vous que 50 % de votre parc d'engins miniers sera constitué d'engins miniers hybrides ou électriques?

L'examen plus approfondi des résultats de l'enquête permet encore une fois de constater une distinction majeure entre les réponses provenant des mines actives ou en maintenance et celles des projets miniers. Comme le montre la **figure 10**, la majorité des projets miniers, soit 80 % d'entre eux, ont mentionné que leur entreprise prévoit mettre en service un parc d'engins miniers majoritairement constitué d'engins hybrides ou électriques d'ici 2030 alors que cette proportion s'élève à 10 % en ce qui concerne les mines actives ou en maintenance.

De plus, en excluant les mines et les projets miniers ayant répondu « La mine fermera avant que ce seuil ne soit atteint » ou « Je ne sais pas », il est possible de constater que, pour les projets miniers, la date moyenne à laquelle le seuil de 50 % d'engins miniers hybrides ou électriques sera atteint est **2028** alors que pour les mines actives ou en maintenance la date moyenne est **2036**. De telles données semblent indiquer que la vaste majorité des projets miniers comptent déployer un parc d'engins miniers majoritairement constitué de modèles hybrides ou électriques à compter des premières années suivant l'entrée en production de leur mine alors que les mines actives ou en maintenance estiment en moyenne qu'une quinzaine d'années seront encore nécessaires avant qu'un seuil de 50 % soit atteint.

Figure 10

Période à partir de laquelle le parc d'engins miniers de l'entreprise sera constitué d'au moins 50 % de modèles hybrides ou électriques, par type de site minier



Question : À partir de quelle année estimez-vous que 50 % de votre parc d'engins miniers sera constitué d'engins miniers hybrides ou électriques?

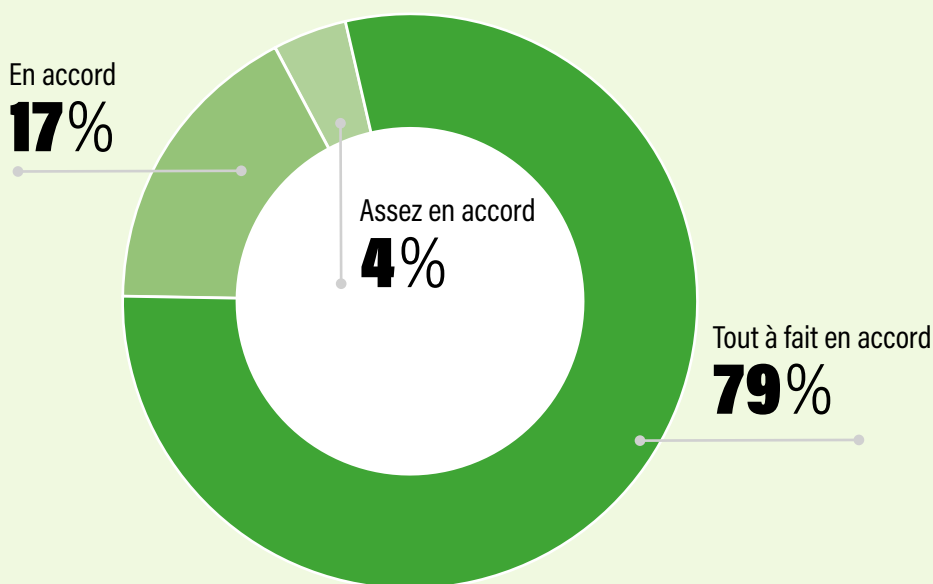
Besoins de formation actuels et futurs

Dans le cadre de ce rapport, l'Institut national des mines a non seulement voulu mettre en lumière la planification de l'industrie minière du Québec en matière d'engins miniers hybrides et électriques ainsi que présenter le portrait actuel et les projections quant à la place de ces engins dans l'industrie, mais il a également cherché à mieux comprendre les besoins de formation qui en découlent. C'est dans cette logique que l'enquête réalisée pour soutenir la rédaction de ce document a recensé les besoins de formation exprimés par les mines et les projets miniers.

Tout d'abord, l'enquête révèle dans quelle mesure les mines actives ou en maintenance ainsi que les projets miniers bénéficieraient de l'introduction d'une formation qualifiante destinée aux mécaniciennes et aux mécaniciens d'engins de chantier travaillant dans le secteur minier et qui viserait à s'assurer que ces derniers développent les compétences nécessaires à l'entretien des engins miniers hybrides et électriques. La **figure 11** montre que la totalité (100 %) des mines et des projets miniers ont un positionnement favorable en ce qui a trait à cette question. En effet, 79 % se disent « Tout à fait en accord », 17 % « En accord » et 4 % « Assez en accord ». De plus, l'opinion des mines actives ou en maintenance et celle des projets miniers ne semblent pas diverger puisque leurs réponses se ressemblent sensiblement en ce qui concerne cet enjeu.

Figure 11

Niveau d'accord avec l'énoncé selon lequel l'entreprise bénéficierait de l'existence d'une formation qualifiante en entretien des engins miniers hybrides et électriques

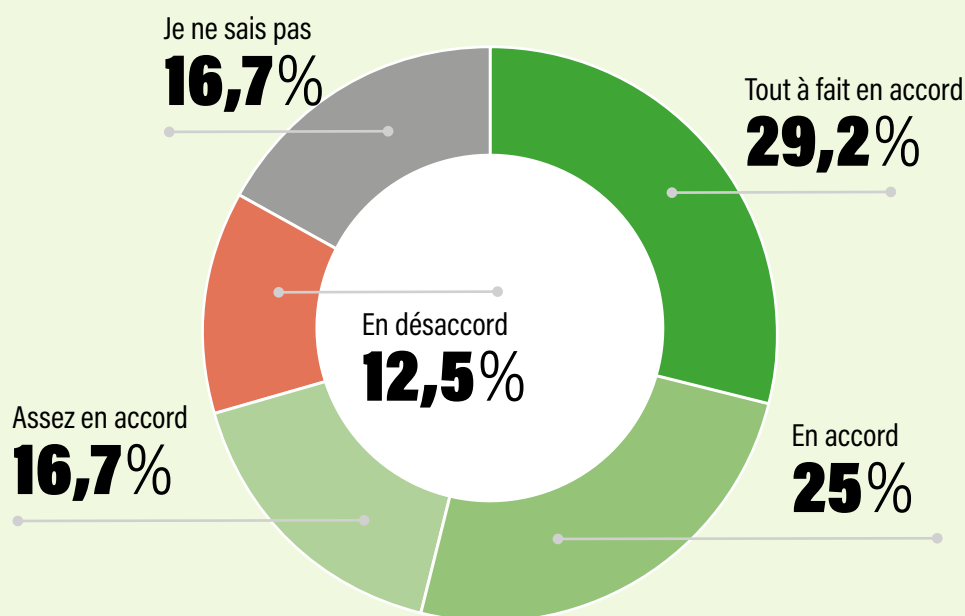


Question : Dans quelle mesure êtes-vous en accord ou en désaccord avec l'affirmation suivante : « Une formation qualifiante destinée aux mécaniciennes et aux mécaniciens d'engins de chantier désirant acquérir les compétences nécessaires à l'entretien des engins miniers hybrides et électriques serait bénéfique pour mieux répondre aux besoins de votre entreprise. »?

Toujours dans un souci de mieux cerner les besoins de formation associés à l'implantation d'engins miniers hybrides et électriques dans l'industrie minière, la collecte de données a permis de sonder les entreprises quant à leur positionnement en ce qui a trait à l'idée de faire en sorte que la réalisation d'une formation qualifiante constitue un prérequis pour les mécaniciennes et les mécaniciens d'engins miniers ayant comme responsabilité d'entretenir les engins hybrides et électriques. La [figure 12](#) met en lumière le fait que les mines ainsi que les projets miniers prévoient dans leur majorité instaurer un tel prérequis puisque 70,9 % d'entre eux se disent «Tout à fait en accord», «En accord» ou «Assez en accord» avec cette idée. Une minorité de 12,5 % rapporte, quant à elle, être «En désaccord» avec la mise en place d'un tel prérequis. Finalement, 16,7 % des mines et des projets miniers répondent «Je ne sais pas», indiquant par le fait même ne pas être en mesure de se positionner face à cette question.

Figure 12

Niveau d'accord avec l'énoncé selon lequel l'entreprise prévoit que la réalisation d'une formation qualifiante en électricité constituera un prérequis pour les mécaniciennes et les mécaniciens d'engins miniers entretenant les engins hybrides et électriques



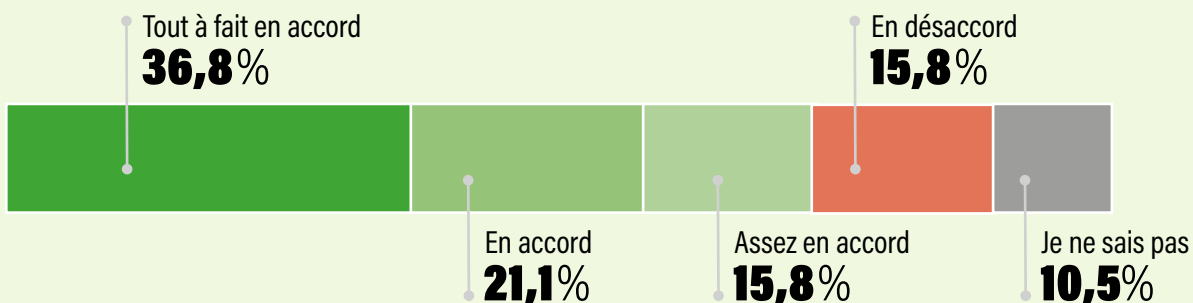
Question : Dans quelle mesure êtes-vous en accord ou en désaccord avec l'affirmation suivante : « Notre entreprise prévoit rendre obligatoire une formation qualifiante en électricité pour les mécaniciennes et les mécaniciens d'engins miniers qui réaliseront l'entretien des engins hybrides et électriques. »?

L'analyse détaillée de ces mêmes résultats permet de surcroît de constater que les mines sont celles qui ont le niveau d'accord le plus élevé avec l'idée de rendre la réalisation d'une formation qualifiante obligatoire pour les mécaniciennes et les mécaniciens d'engins miniers ayant comme responsabilité d'entretenir les engins hybrides et électriques. Comme l'illustre la **figure 13**, 74 % des mines mentionnent être « Tout à fait en accord », « En accord » ou « Assez en accord » avec l'idée selon laquelle la réalisation d'une formation qualifiante sera obligatoire pour les mécaniciennes et les mécaniciens d'engins miniers ayant comme responsabilité d'entretenir les engins hybrides et électriques alors que cette proportion est de 60 % pour les projets miniers. Cette proportion plus faible de projets miniers que de mines soutenant l'obligation d'une formation qualifiante en entretien d'engins hybrides et électriques pour les mécaniciennes et les mécaniciens d'engins miniers qui réaliseront l'entretien de tels engins semble s'expliquer notamment par le fait que plusieurs projets miniers ne sont pas encore en mesure de se positionner en ce qui a trait à cette question. En effet, 40 % des projets miniers répondent « Je ne sais pas » lorsqu'ils sont invités à se prononcer sur cet enjeu.

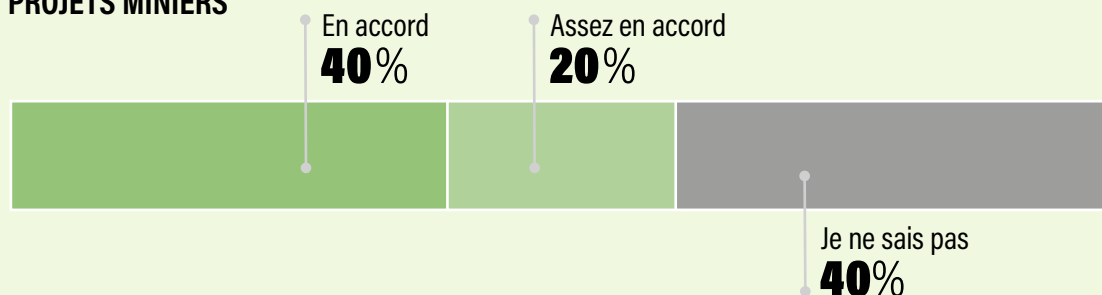
Figure 13

Niveau d'accord avec l'énoncé selon lequel l'entreprise prévoit que la réalisation d'une formation qualifiante en électricité constituera un prérequis pour les mécaniciennes et les mécaniciens d'engins miniers entretenant les engins hybrides et électriques, par type de site minier

MINES ACTIVES OU EN MAINTENANCE



PROJETS MINIER

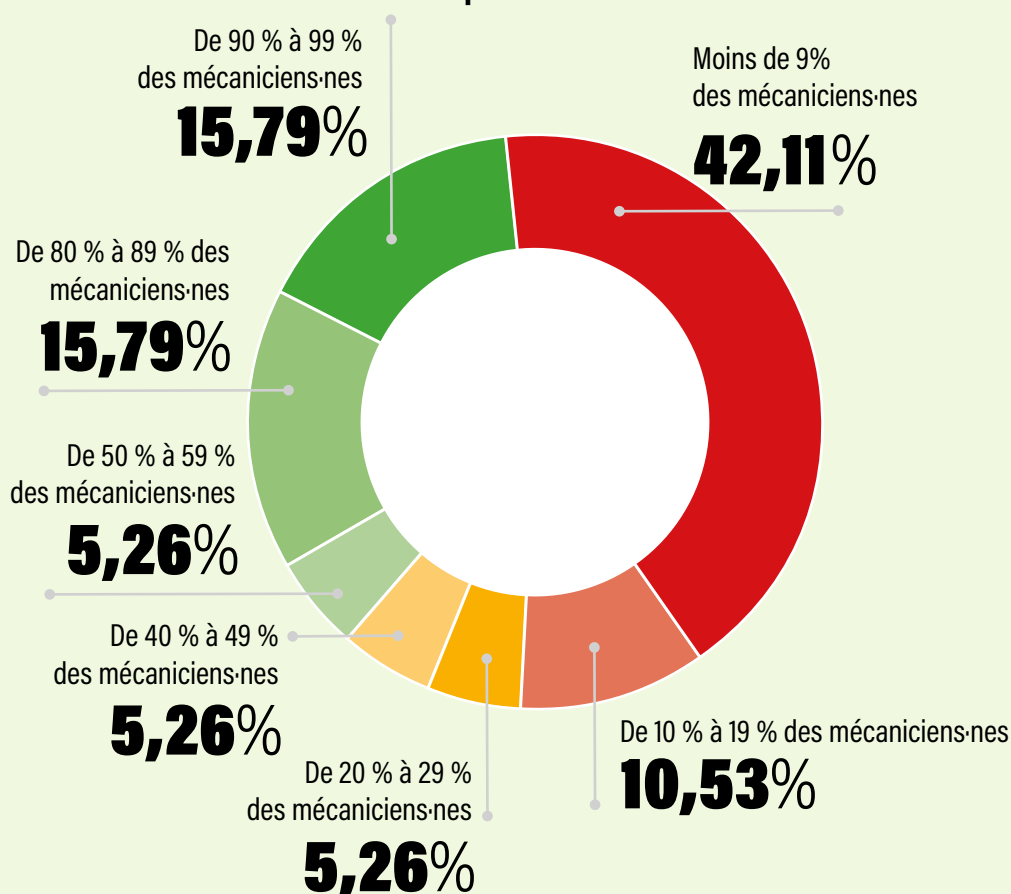


Question : Dans quelle mesure êtes-vous en accord ou en désaccord avec l'affirmation suivante : « Notre entreprise prévoit rendre obligatoire une formation qualifiante en électricité pour les mécaniciennes et les mécaniciens d'engins miniers qui réaliseront l'entretien des engins hybrides et électriques. »?

La collecte de données a également permis de mieux quantifier la proportion de mécaniciennes et de mécaniciens d'engins miniers au sein des mines qui auraient besoin, en date de 2021, d'une formation qualifiante en mécanique d'engins de chantier hybrides et électriques pour réaliser leur travail de manière optimale. Comme le montre la **figure 14**, l'enquête révèle que 42% des mines estiment que moins de 9% des mécaniciennes et des mécaniciens d'engins miniers à l'emploi de leur entreprise auraient besoin, en date de 2021, d'une formation qualifiante en mécanique d'engins de chantier hybrides et électriques. De leur côté, 21% des mines soutiennent qu'entre 10% et 49% des mécaniciennes et des mécaniciens d'engins miniers travaillant au sein de leur organisation bénéficieraient d'une telle formation en date de 2021. Finalement, 37% des mines ont indiqué que 50% ou plus de leurs mécaniciennes et mécaniciens d'engins miniers devraient suivre une telle formation en date de 2021.

Figure 14

Proportion, au sein des mines actives ou en maintenance, de mécaniciennes et de mécaniciens d'engins qui auraient besoin de réaliser, en date de 2021, une formation qualifiante en mécanique d'engins de chantier hybrides et électriques pour réaliser leur travail de manière optimale

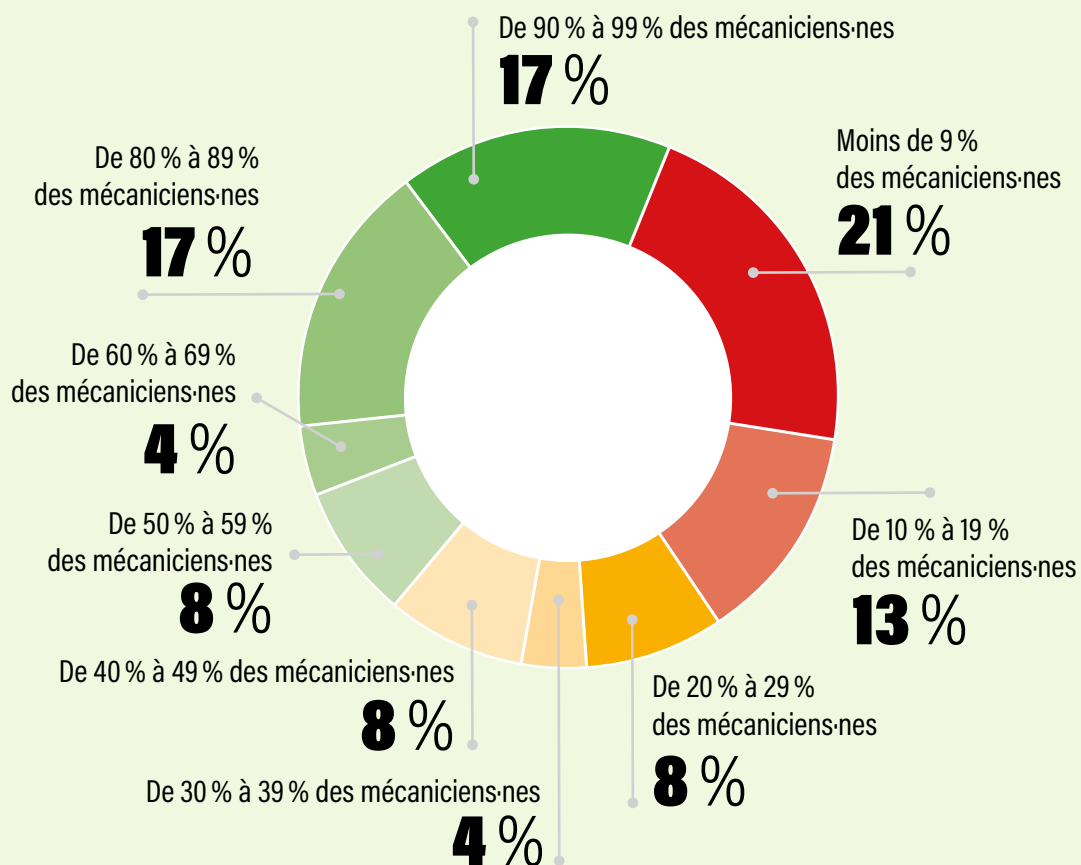


Question : Actuellement, quelle proportion des mécaniciennes et des mécaniciens d'engins miniers de votre entreprise auraient besoin d'une formation qualifiante en mécanique d'engins de chantier hybrides et électriques pour réaliser leur travail de manière optimale?

Une fois les besoins de formation actuels quantifiés, il est également pertinent de se pencher sur les besoins de formation futurs. Pour ce faire, l'enquête a cherché à déceler la proportion de mécaniciennes et de mécaniciens d'engins miniers qui, d'ici 2030, auraient besoin de réaliser une formation qualifiante en mécanique d'engins de chantier hybrides et électriques pour accomplir leur travail de manière optimale. Les résultats contenus dans la [figure 15](#) illustrent les réponses provenant tant des mines actives ou en maintenance que des projets miniers. Cette figure révèle que les besoins de formation et de qualification en matière de mécanique d'engins de chantier hybrides et électriques des entreprises interrogées iront en s'accroissant au cours de la prochaine décennie. En effet, 21% des mines et des projets miniers jugent que moins de 9% des mécaniciennes et des mécaniciens d'engins miniers travaillant pour leur entreprise auront besoin d'une telle formation d'ici 2030. Quant à eux, 33% des mines et des projets miniers mentionnent qu'entre 10% et 49% des mécaniciennes et des mécaniciens d'engins miniers à l'emploi de leur entreprise devront suivre une telle formation d'ici 2030. Finalement, 46% des mines et des projets miniers prévoient que 50% ou plus des mécaniciennes et des mécaniciens à l'œuvre dans leur organisation auront besoin de réaliser une formation qualifiante en mécanique d'engins de chantier hybrides et électriques d'ici 2030.

Figure 15

Proportion de mécaniciennes et de mécaniciens d'engins qui auraient besoin de réaliser d'ici 2030 une formation qualifiante en mécanique d'engins de chantier hybrides et électriques pour réaliser leur travail de manière optimale

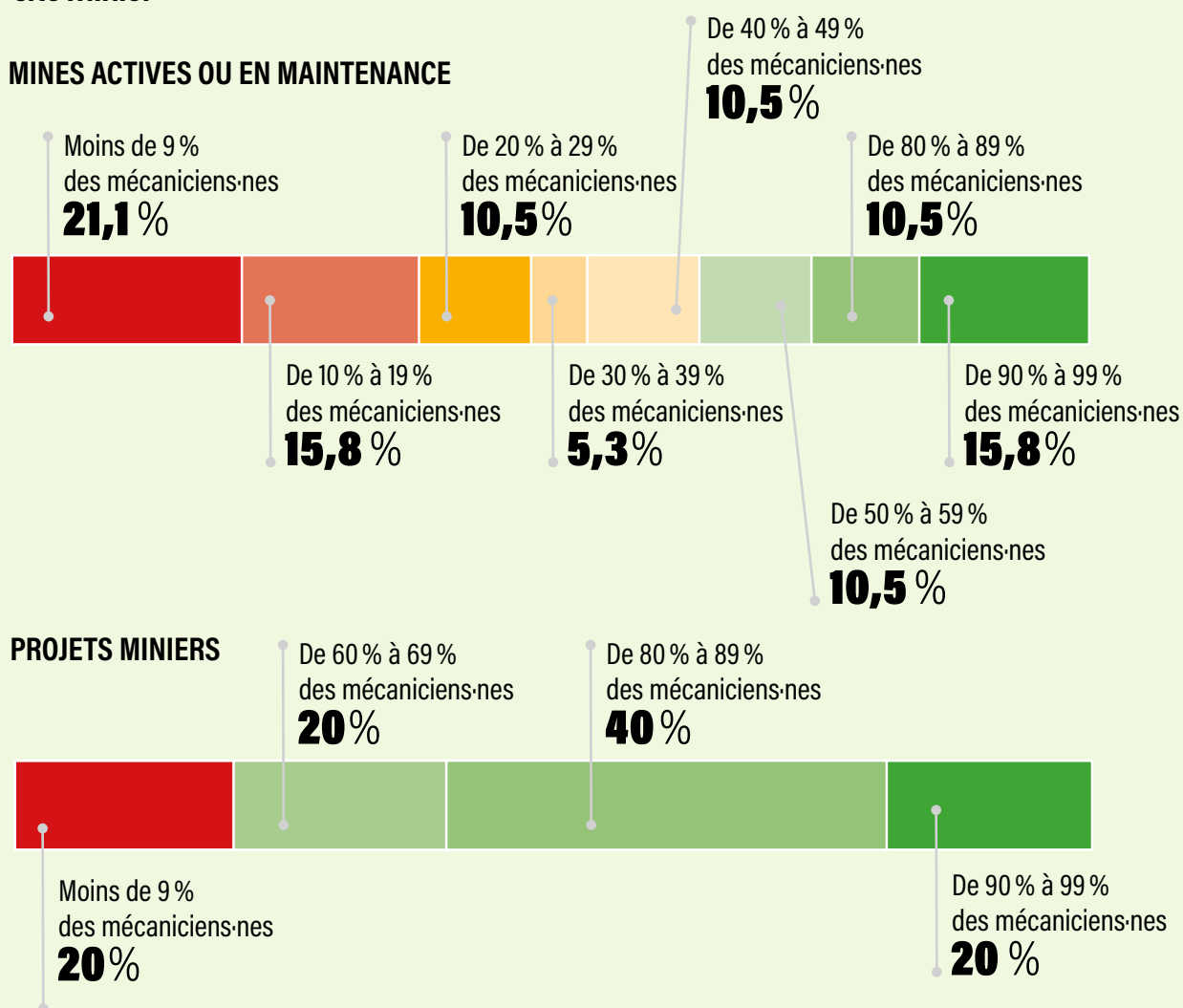


Question : D'ici 2030, quelle proportion des mécaniciennes et des mécaniciens d'engins miniers de votre entreprise auraient besoin de réaliser une formation qualifiante en mécanique d'engins de chantier hybrides et électriques pour réaliser leur travail de manière optimale?

Une analyse plus pointue des données collectées expose le fait que les projets miniers estiment dans une proportion plus importante que les mines actives ou en maintenance que les mécaniciennes et les mécaniciens d'engins miniers à l'emploi de leur entreprise auront besoin de réaliser une formation qualifiante en mécanique d'engins de chantier hybrides et électriques. En effet, comme le montre la **figure 16**, 80 % des projets miniers jugent que plus de la moitié des mécaniciennes et des mécaniciens d'engins miniers travaillant au sein de leur entreprise devront suivre une telle formation alors que cette proportion est de 37 % pour les mines.

Figure 16

Proportion de mécaniciennes et de mécaniciens d'engins qui auraient besoin de réaliser d'ici 2030 une formation qualifiante en mécanique d'engins de chantier hybrides et électriques pour réaliser leur travail de manière optimale, par type de site minier



Question : D'ici 2030, quelle proportion des mécaniciennes et des mécaniciens d'engins miniers de votre entreprise auraient besoin de réaliser une formation qualifiante en mécanique d'engins de chantier hybrides et électriques pour réaliser leur travail de manière optimale?

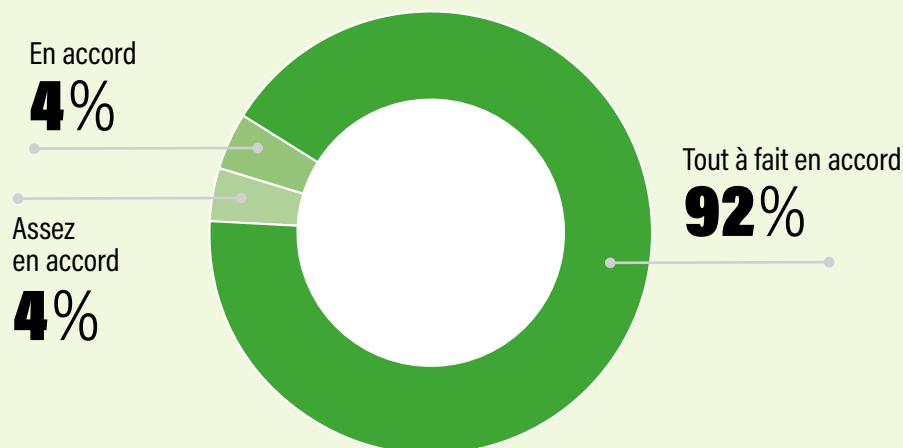
Besoins en matière de développement des compétences

Pour terminer, l'enquête a permis de sonder les mines ainsi que les projets miniers du Québec afin de recueillir leur opinion à propos des compétences qui devraient être développées par les mécaniciennes et les mécaniciens d'engins miniers appelés à assurer la réparation et la maintenance des engins hybrides et électriques.

Tout d'abord, les données collectées jettent un éclairage sur l'enjeu de la santé et de la sécurité du travail découlant de l'introduction d'engins hybrides ou électriques dans les milieux de travail du secteur minier. La **figure 17** illustre le niveau d'accord des mines et des projets miniers avec l'énoncé selon lequel les mécaniciennes et les mécaniciens d'engins miniers qui réaliseront l'entretien des engins hybrides et électriques devront posséder des compétences spécifiques en matière de santé et de sécurité du travail pour travailler auprès de ces équipements en toute sécurité. Les réponses recueillies sont sans équivoque puisque la totalité des entreprises indique un niveau d'accord avec l'énoncé selon lequel les mécaniciennes et les mécaniciens d'engins miniers qui réaliseront l'entretien des engins hybrides et électriques dans l'entreprise devront posséder des compétences spécifiques en matière de santé et de sécurité du travail. Plus spécifiquement, 92 % des mines et des projets miniers mentionnent être « Tout à fait en accord », 4 % « En accord » et 4 % « Assez en accord ».

Figure 17

Niveau d'accord avec l'énoncé selon lequel les mécaniciennes et les mécaniciens d'engins miniers qui réaliseront l'entretien des engins hybrides et électriques dans l'entreprise devront posséder des compétences spécifiques en matière de santé et de sécurité du travail

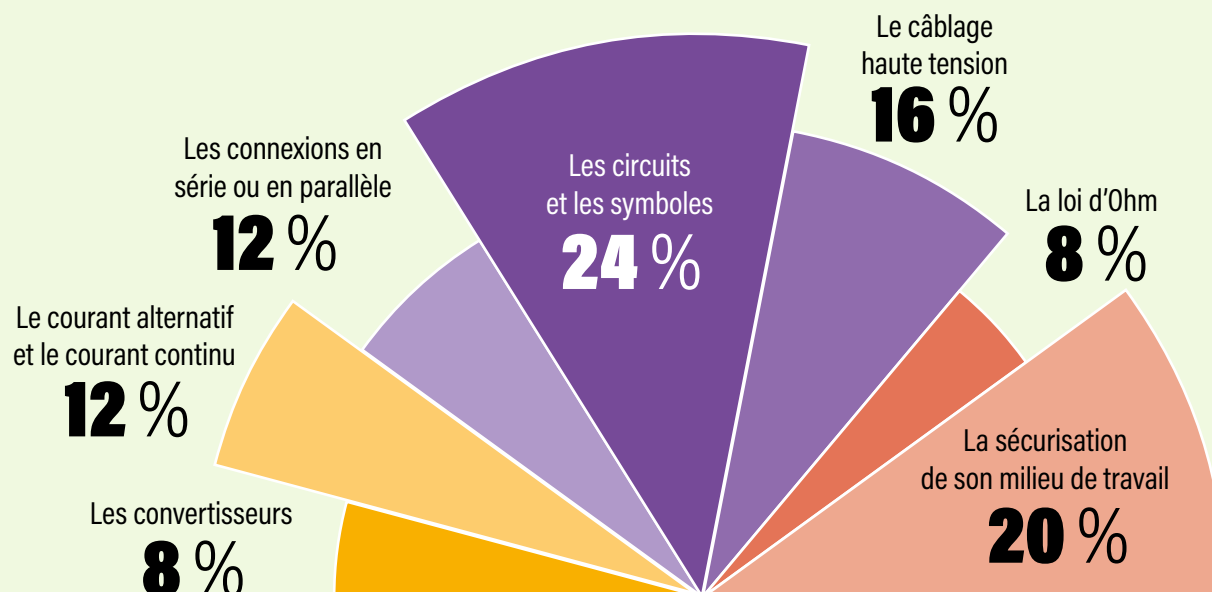


Question : Dans quelle mesure êtes-vous en accord ou en désaccord avec l'affirmation suivante : « Les mécaniciennes et les mécaniciens d'engins miniers qui réaliseront l'entretien des engins hybrides et électriques dans votre entreprise devront posséder des compétences spécifiques en matière de santé et de sécurité du travail. » ?

L'enquête a également permis d'en apprendre davantage en ce qui a trait aux savoirs que les entreprises estiment prioritaire que les mécaniciennes et les mécaniciens d'engins miniers à leur emploi acquièrent pour être en mesure d'assurer l'entretien et la réparation de cette nouvelle génération d'engins miniers de manière efficace et sécuritaire. Comme le montre la **figure 18**, les savoirs relatifs aux « circuits et aux symboles » électriques (24% des mentions), à la « sécurisation de son milieu de travail » (20% des mentions) et au « câblage haute tension » (16% des mentions) sont les savoirs que les mines et les projets miniers jugent que les mécaniciennes et les mécaniciens d'engins miniers à leur emploi doivent prioritairement maîtriser. Les savoirs en matière de « courant alternatif et de courant continu » (12% des mentions), de « connexions en série ou en parallèle » (12% des mentions), de « convertisseurs » (8% des mentions) et enfin ceux qui concernent la « loi d'Ohm » (8% des mentions) viennent ensuite. De plus, la collecte de données révèle que 67% des mines et des projets miniers estiment que, dans une certaine mesure, « tous les savoirs » figurant dans la **figure 18** peuvent être considérés comme devant être prioritairement possédés par leur main-d'œuvre.

Figure 18

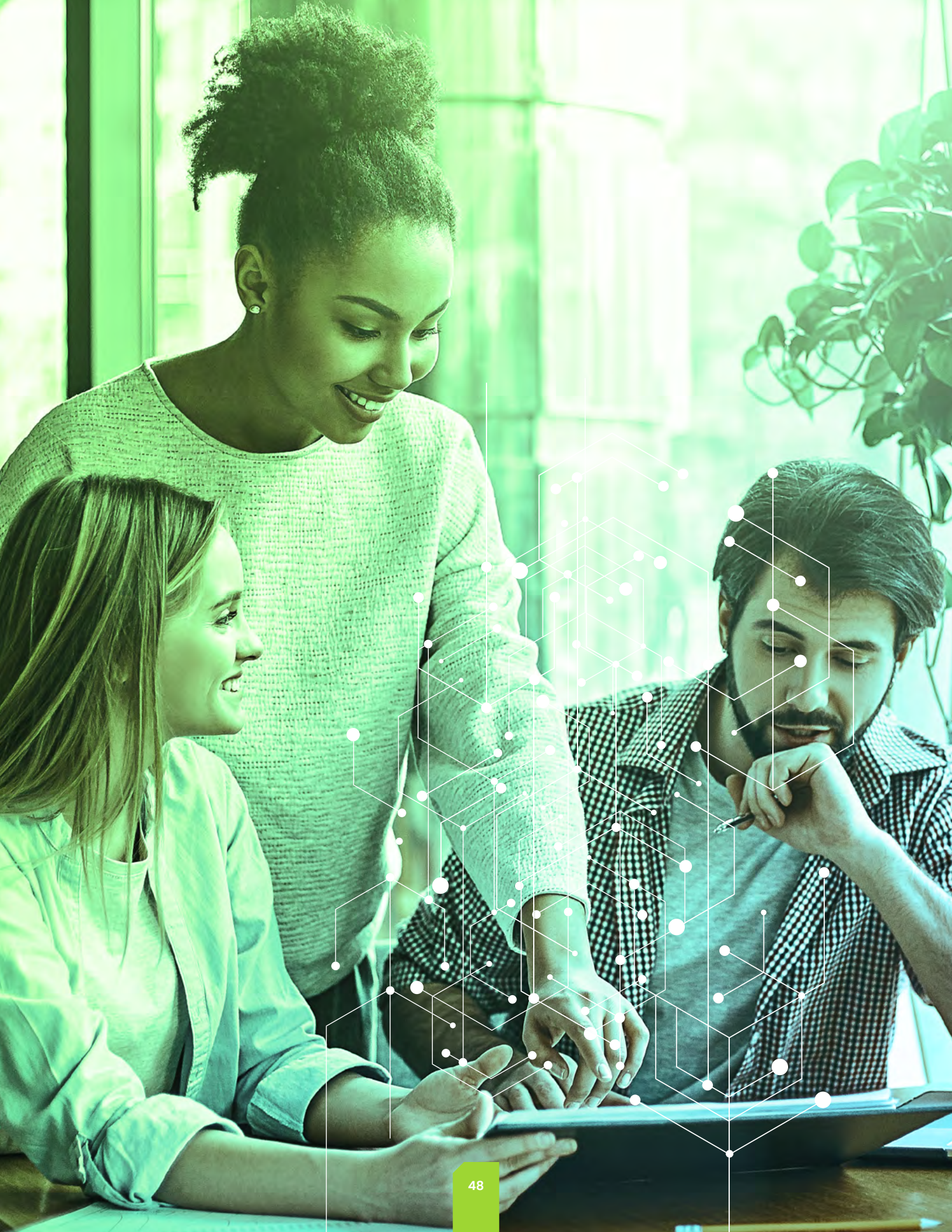
Les savoirs que, selon les entreprises, les mécaniciennes et les mécaniciens d'engins miniers devant réaliser l'entretien des engins miniers hybrides et électriques doivent, ou devront, prioritairement posséder¹³



Question : Parmi les savoirs suivants, veuillez indiquer trois savoirs que les mécaniciennes et les mécaniciens d'engins miniers qui ont, ou qui auront, à réaliser l'entretien des engins miniers hybrides et électriques dans votre mine doivent, ou devront, prioritairement posséder¹⁴.

¹³. Les savoirs figurant dans la **figure 18** constituent des exemples d'énoncés de compétences pouvant potentiellement être inclus dans une formation qualifiante en entretien d'engins hybrides et électriques et émanent des travaux préliminaires menés dans le cadre de la rédaction de l'étude de pertinence portant sur l'*Attestation d'études professionnelles en mécanique d'engins de chantier hybrides et électriques* (Centre de formation professionnelle de la Baie-James, 2021).

¹⁴. À noter que la réponse « Je ne sais pas » n'a pas été prise en compte dans la **figure 18**.



Analyse des résultats

Le chapitre précédent a exposé les résultats de l'enquête réalisée auprès des mines actives ou en maintenance ainsi que des projets miniers du Québec. Cette enquête a permis d'obtenir un portrait actuel et prospectif des intentions du secteur minier en ce qui concerne l'inclusion des engins miniers hybrides et électriques dans les parcs d'engins miniers du Québec. Ce portrait a d'ailleurs couvert non seulement la question de l'implantation des engins eux-mêmes, mais également l'enjeu de la formation et des compétences qui doivent être développées pour s'assurer d'un arrimage entre les compétences requises pour réaliser l'entretien de ce type d'engins et la formation de la main-d'œuvre chargée de maintenir en bon état de marche les parcs d'engins miniers électrifiés. Plusieurs constats émergent de l'analyse de ces résultats.

Constats émergeant de l'enquête quant à la planification des entreprises minières en matière de transition vers les engins miniers hybrides et électriques

Lorsque les réponses fournies par les mines et les projets miniers sont analysées dans leur globalité, c'est-à-dire en ne distinguant pas ces deux catégories de sites miniers, il est possible de constater que la grande majorité (92 %) des mines et des projets miniers indiquent un certain niveau d'accord avec l'idée selon laquelle l'industrie minière québécoise va entreprendre sa transition vers les engins miniers hybrides ou électriques d'ici 2030.



« [l]a sensibilisation des entreprises, des employés et des parties prenantes envers l'environnement [ainsi que] l'image des entreprises » constituent autant de raisons pour lesquelles cette transition sera entreprise d'ici 2030. »

– Personne répondante d'un projet minier

« Nous n'aurons pas le choix [d'entreprendre la transition]. J'ai déjà travaillé dans des mines hors Québec qui ont commencé [leur transition]. [Il en résulte] un meilleur environnement de travail, moins de dépendance aux hydrocarbures et un meilleur [bilan] pour l'environnement. »

– Personne répondante d'une mine active

« [l]e processus de transition est nécessaire, mais nécessite des investissements importants. Il est essentiel d'être accompagné pour y faire face. »

– Personne répondante d'une mine active

Cependant, uniquement 62,5 % des mêmes mines et projets miniers indiquent un certain niveau d'accord avec l'idée selon laquelle leur propre entreprise va entreprendre sa transition vers ce type d'engins miniers. Cela signifie donc que 29,5 % des entreprises sondées estiment que l'industrie s'engagera dans un mouvement de transition vers les engins miniers hybrides et électriques, mais qu'elles n'en seront vraisemblablement pas parties prenantes avant l'année 2030. De plus, en date de 2021, parmi les 62,5 % de mines et de projets miniers qui affichent un certain niveau d'accord relativement au fait que leur entreprise va amorcer sa transition vers des engins hybrides ou électriques d'ici 2030, 60 % d'entre eux signalent que leur entreprise a élaboré ou est en train d'élaborer un document corporatif visant à baliser cette démarche. Bref, bien que les entreprises minières du Québec considèrent, pour la quasi-totalité d'entre elles, que la transition de l'industrie vers des parcs d'engins miniers constitués de modèles hybrides et électriques débutera d'ici 2030, concrètement, **un peu plus du tiers d'entre elles se sont dotées ou se dotaient en date de 2021 d'un document corporatif ayant pour objectif d'établir formellement la stratégie pour ce faire.**

« [c]'est la philosophie de l'entreprise et le virage écologique est déjà entrepris ».

- Personne répondante d'une mine active expliquant pourquoi elle est « tout à fait en accord » avec l'énoncé selon lequel son entreprise va entreprendre sa transition vers des engins miniers hybrides ou électriques d'ici 2030

« La difficulté à trouver du personnel qualifié pour entretenir le volet électrique des engins. »

- Personne répondante d'une mine active expliquant pourquoi elle est « assez en désaccord » avec l'énoncé selon lequel son entreprise va entreprendre sa transition vers des engins miniers hybrides ou électriques d'ici 2030.

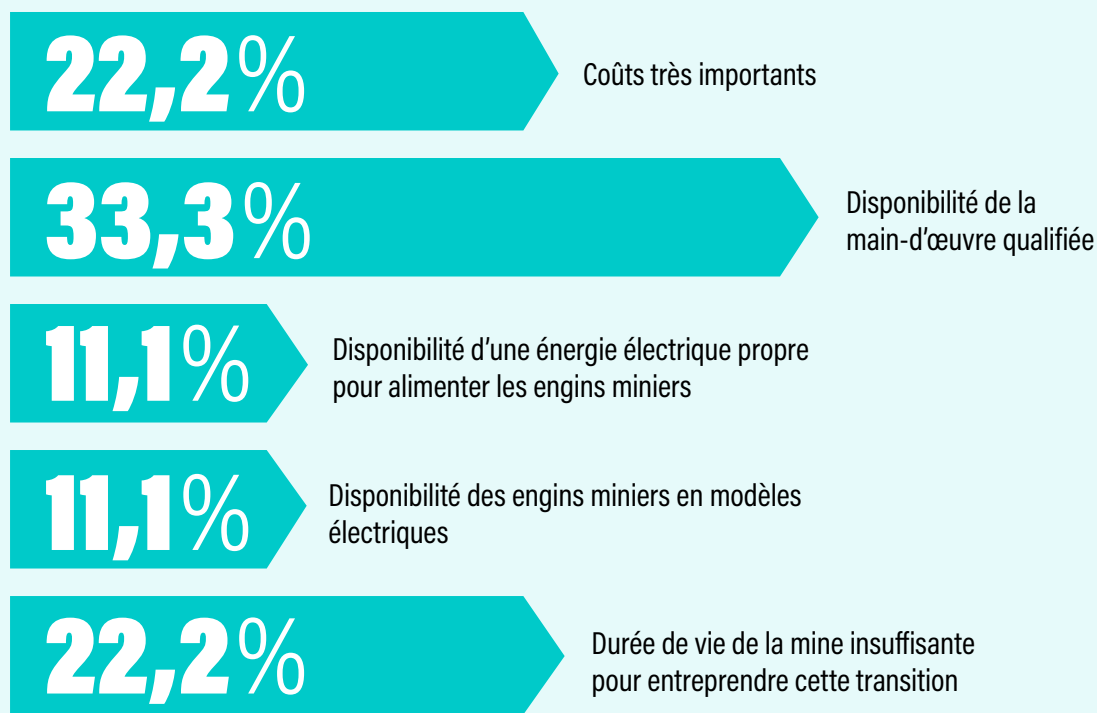


Constats émergeant de l'enquête relativement au parc actuel et aux projections du parc d'engins miniers hybrides et électriques des entreprises minières

Les résultats de cette enquête illustrent également le fait que les mines actives ou en maintenance possèdent, en date de 2021, une très faible quantité d'engins miniers hybrides ou électriques. En effet, aucune mine n'a indiqué que son parc d'engins miniers était composé de plus de 9 % d'engins électriques en date du 1^{er} juillet 2021. L'engouement pour les engins miniers hybrides ne semble pas significativement plus important puisqu'une seule mine a mentionné que son parc d'engins miniers comportait plus de 9 % d'engins hybrides à cette même date (cette mine indique que son parc était composé de 10 % à 19 % d'engins hybrides). Afin de mieux comprendre les principaux défis associés à l'intégration des engins hybrides et électriques dans les parcs d'engins miniers, la **figure 19** représente les défis évoqués par les mines et les projets miniers ayant indiqué un certain niveau de désaccord avec l'énoncé selon lequel leur entreprise va entreprendre sa transition vers de tels engins d'ici 2030.

Figure 19

Principaux défis associés à l'intégration des engins hybrides et électriques dans les parcs d'engins miniers en fonction du nombre de mentions par les mines et les projets miniers ayant indiqué un certain niveau de désaccord avec l'énoncé selon lequel leur entreprise va entreprendre sa transition d'ici 2030



Question : Pourquoi avez-vous indiqué ce niveau de désaccord avec l'énoncé suivant : « D'ici 2030, votre mine va entreprendre sa transition vers des engins miniers hybrides ou électriques. »?

La figure 19 permet de constater que le principal défi en matière de transition vers les engins miniers hybrides et électriques évoqué par les mines et les projets miniers du Québec qui ne prévoient pas entamer leur transition d'ici 2030 concerne la « disponibilité de la main-d'œuvre qualifiée » (33,3 % des mentions), dont l'embauche est nécessaire pour faire en sorte que cette transition soit une réussite. Les « coûts très importants » (22,2 % des mentions) et la « durée de vie de la mine insuffisante pour entreprendre cette transition » (22,2 % des mentions) sont ensuite les raisons les plus mentionnées. Finalement, la « disponibilité des engins miniers en modèles électriques » (11,1 % des mentions) et la « disponibilité d'une énergie électrique propre pour alimenter les engins miniers » (11,1 % des mentions) représentent les motifs les moins souvent cités.

En considérant que :

✘ comme cela a été relevé dans le chapitre *Mise en contexte*, les mines qui entameront leurs opérations au cours des prochaines années pourront planifier en amont l'installation des infrastructures électriques et de rechargement nécessaires au déploiement d'un parc d'engins miniers hybrides ou électriques, ce qui minimisera significativement les coûts associés à leur implantation;

✘ les coûts d'acquisition des engins hybrides et électriques suivent actuellement une pente descendante et que, par conséquent, la question des coûts risque de devenir un problème de moins en moins prégnant dans le futur, tout comme celle de la disponibilité des engins miniers en modèles hybrides ou électriques, puisque tant les équipementiers que les acteurs industriels travaillent activement à rendre l'ensemble des types d'engins miniers disponibles en modèles électrifiés;

✘ l'enjeu de la durée de vie restante des mines actives se réglera progressivement au fur et à mesure que de nouvelles mines verront le jour;

les défis d'accès à une main-d'œuvre qualifiée et d'accès à une énergie électrique propre apparaissent en date de 2021 comme ceux pour lesquels il est le plus urgent de trouver des pistes de solution.

« Nous avons accepté de recevoir des offres pour des engins miniers hybrides lors de nos derniers appels d'offres. [Cependant], la difficulté à trouver des électromécaniciennes et des électromécaniciens a été un facteur important dans notre choix de continuer avec des modèles diesel pour certains équipements. »

- Personne répondante d'une mine active ou en maintenance

Bien que l'évaluation de l'intégration des engins miniers hybrides et électriques dans le secteur minier du Québec en 2021 soit l'un des objectifs de ce rapport, ce document s'intéresse également aux projections des mines actives ou en maintenance ainsi que des projets miniers en ce qui a trait à la transition future de leurs parcs d'engins vers des modèles hybrides ou électriques. À cet effet, les données fournies par l'ensemble des entreprises sondées, c'est-à-dire celles provenant à la fois des mines actives ou en maintenance et des projets miniers, ont permis de mettre en lumière le fait qu'en moyenne, **c'est en 2034 qu'on estime que le parc d'engins des entreprises sera constitué d'au moins 50 % d'engins miniers hybrides ou électriques**. Ces chiffres laissent donc entrevoir que la transition du secteur minier vers les engins hybrides et électriques représente un phénomène qui prendra en général son essor à moyen terme. Cependant, l'un des éléments les plus importants dont il faut tenir compte dans l'analyse de ces résultats provient des divergences significatives entre les estimations formulées par les mines actives ou en maintenance et celles mises de l'avant par les projets miniers. Les significations et les implications découlant de ces divergences seront abordées plus en détail dans les pages subséquentes de ce rapport.

Constats émergeant de l'enquête en ce qui a trait aux besoins de formation actuels et futurs des entreprises minières

L'analyse des résultats relatifs aux besoins de formation témoigne du fait qu'en date de 2021, les besoins des mines actives ou en maintenance pour une formation qualifiante sont bel et bien existants, mais qu'ils sont toutefois limités. En effet, **avec 37 % des mines actives ou en maintenance jugeant que la majorité des mécaniciennes et des mécaniciens à l'emploi de leur entreprise auraient besoin d'une formation qualifiante en date de 2021**, il apparaît que la demande pour une formation qualifiante en mécanique d'engins de chantier hybrides et électriques est d'ores et déjà répandue dans certaines entreprises, bien que la majorité des acteurs de l'industrie n'exprime pas encore de besoins criants en la matière.

Les résultats permettent cependant de constater que les besoins iront en grandissant dans le futur. En effet, d'ici 2030, les besoins de formation des mines actives ou en maintenance et des projets miniers augmenteront **jusqu'à atteindre près d'une entreprise sur deux (46 %) prévoyant devoir former la majorité de ses mécaniciennes et de ses mécaniciens à l'entretien des engins hybrides et électriques en recourant à une formation qualifiante**. D'ailleurs, la comparaison des réponses exprimées par les projets miniers et de celles fournies par les mines actives ou en maintenance est particulièrement intéressante en cette matière. Elles seront analysées ultérieurement.

Bref, dans le contexte où un besoin pour une formation qualifiante existe déjà et en tenant compte du fait que ce besoin ira en s'accroissant constamment au cours de la prochaine décennie, il semble cohérent que la totalité des entreprises interrogées estime que l'existence d'une formation qualifiante leur serait bénéfique, et ce, d'autant plus que **70 % des mines et des projets miniers jugent que la réalisation d'une telle formation constituera un prérequis afin de pouvoir travailler à l'entretien de leurs engins miniers hybrides et électriques**.

« La difficulté de trouver du personnel qualifié pour entretenir le volet électrique des engins miniers que nous avons déjà est en soi un défi, donc en rajouter [des engins miniers hybrides ou électriques] n'est pas viable présentement. »

– Personne répondante d'une mine active

Constats émergeant de l'enquête en ce qui a trait aux mines actives ou en maintenance en comparaison avec les projets miniers

Lorsque les résultats de l'enquête sont analysés en fonction du type de site minier, c'est-à-dire en tenant compte de la distinction entre les entreprises possédant déjà une mine et celles qui en sont encore au stade de développement d'une future mine, l'un des principaux constats qui émerge est que **les projets miniers apparaissent en règle générale comme étant plus près de mettre en service un parc d'engins miniers constitué de modèles hybrides et électriques, et donc d'avoir besoin de mécaniciennes et de mécaniciens formés à l'entretien de tels engins, que les mines actives ou en maintenance**. En effet, en ce qui a trait à la quasi-totalité des enjeux relatifs à l'implantation des engins miniers hybrides et électriques dans leurs activités, les projets miniers se distinguent par une volonté supérieure d'implanter ces engins dans leurs parcs d'engins à brève échéance ainsi qu'une sensibilisation accrue relativement aux enjeux organisationnels et de formation de la main-d'œuvre qui en découlent. Le **tableau 2** montre les positions de chacun des types de sites miniers sur trois enjeux majeurs. On peut y voir que les projets miniers comptent mettre en service un parc d'engins miniers électrifié plus rapidement que les mines actives ou en maintenance. Les réponses fournies par les entreprises sondées tendent à indiquer que cet intérêt prononcé des projets miniers du Québec pour une transition rapide vers ce type d'engins s'explique notamment par le fait que **les infrastructures de leurs mines seront conçues dès leur construction afin de soutenir le déploiement d'un parc d'engins hybrides ou électriques**.

Tableau 2

Le positionnement des mines actives ou en maintenance et des projets miniers en ce qui concerne trois enjeux majeurs de la transition

	Mines actives ou en maintenance	Projets miniers
Proportion de sites miniers ayant indiqué un niveau d'accord avec l'énoncé suivant : « D'ici 2030, votre entreprise va entreprendre sa transition vers des engins miniers hybrides ou électriques. »	53 %	100 %
Année moyenne au cours de laquelle les sites miniers ont estimé que 50 % du parc d'engins miniers de leur entreprise sera constitué d'engins hybrides ou électriques	2036	2028
Proportion de sites miniers évaluant que d'ici 2030, au moins 50 % des mécaniciennes et des mécaniciens d'engins miniers de leur entreprise auront besoin de réaliser une formation qualifiante en mécanique d'engins de chantier hybrides et électriques	37 %	80 %

Parmi toutes les données recueillies, la seule exception provient de la question du prérequis associé à la réalisation d'une formation qualifiante en mécanique d'engins hybrides et électriques pour pouvoir travailler à l'entretien de ce type d'engins. En effet, en ce qui a trait à cet enjeu, les mines actives ou en maintenance sont, toutes proportions gardées, plus nombreuses à prévoir faire de cette formation qualifiante un prérequis pour les mécaniciennes et les mécaniciens évoluant dans leur entreprise que les projets miniers.

« Je crois que c'est possible pour les nouveaux projets [miniers] d'inclure ce volet [la transition vers des engins miniers hybrides et électriques] d'ici 2030. Le défi sera plus élevé pour les mines actives. »

- Personne répondante d'une mine active

« [c]eci [la transition vers des engins miniers hybrides et électriques] représente des coûts importants en achat d'équipements et en infrastructure ».

- Personne répondante d'une mine active

« [l]es nouveaux projets vont sans aucun doute favoriser cette technologie, par contre, cette transition va nécessiter de très gros investissements pour les mines déjà en opération ».

- Personne répondante d'une mine active

Constats qui émergent de l'enquête en ce qui concerne les mines souterraines en comparaison avec les mines à ciel ouvert

Une autre comparaison des réponses obtenues en fonction du type de site minier peut être faite, cette fois entre les exploitations à ciel ouvert et celles souterraines. Lorsque ce filtre d'analyse est appliqué aux résultats de l'enquête, il apparaît que les mines et les projets miniers souterrains sont engagés de manière plus soutenue dans le processus de transition de leur parc d'engins miniers que les exploitations à ciel ouvert. En effet, comme le montre le [tableau 3](#), les mines et projets miniers souterrains sont majoritairement d'avis que leur entreprise va entreprendre d'ici 2030 sa transition vers des engins miniers hybrides ou électriques (85 %) tout comme ils sont une majorité à estimer que d'ici 2030, au moins 50 % des mécaniciennes et des mécaniciens d'engins miniers de leur entreprise auront besoin de réaliser une formation qualifiante en mécanique d'engins de chantier hybrides et électriques (62 %). Au contraire, une minorité de mines et de projets miniers à ciel ouvert mentionnent un certain niveau d'accord quant au fait que leur entreprise va entreprendre d'ici 2030 sa transition vers des engins miniers hybrides ou électriques (33 %) et seulement 22 % d'entre eux estiment que d'ici 2030, au moins 50 % des mécaniciennes et des mécaniciens d'engins miniers de leur entreprise auront besoin de réaliser une formation qualifiante en mécanique d'engins de chantier hybrides et électriques. De plus, alors que les mines et les projets miniers souterrains indiquent en moyenne que 50 % de leur parc d'engins miniers sera constitué d'engins hybrides ou électriques en 2032, les mines et les projets à ciel ouvert indiquent, quant à eux, l'horizon 2039, ce qui correspond à un écart de sept ans.

Tableau 3

Le positionnement des mines et des projets miniers souterrains et à ciel ouvert en ce qui concerne trois enjeux majeurs de la transition

	Mines et projets miniers souterrains	Mines et projets miniers à ciel ouvert
Proportion de sites miniers ayant indiqué un niveau d'accord avec l'énoncé suivant : « D'ici 2030, votre entreprise va entreprendre sa transition vers des engins miniers hybrides ou électriques. »	85 %	33 %
Année moyenne au cours de laquelle les sites miniers ont estimé que 50 % du parc d'engins miniers de leur entreprise sera constitué d'engins hybrides ou électriques	2032	2039
Proportion de sites miniers évaluant que d'ici 2030, au moins 50 % des mécaniciennes et des mécaniciens d'engins miniers de leur entreprise auront besoin de réaliser une formation qualifiante en mécanique d'engins de chantier hybrides et électriques	62 %	22 %

Les réponses fournies montrent que cet intérêt plus prononcé des mines et des projets miniers souterrains pour se lancer dans la transition vers un parc d'engins miniers hybrides ou électriques provient principalement de trois éléments. D'abord, la mise en service d'un parc d'engins constitué de modèles hybrides et électriques est perçue comme **un facteur d'amélioration en matière de santé et de sécurité du travail**. En effet, plusieurs membres de la direction et cadres intermédiaires de mines et de projets miniers souterrains ayant participé à l'enquête mentionnent leur préoccupation croissante ainsi que celle de leur personnel en ce qui concerne l'amélioration de la qualité de l'air en milieu souterrain. Ensuite, les mines et les projets miniers souterrains indiquent que **les économies financières associées à une diminution des besoins en matière de ventilation** représentent un autre élément alimentant leur désir d'effectuer une transition vers un parc d'engins hybrides et électriques. Finalement, les mines et les projets miniers souterrains constatent en général que **les engins miniers requis pour mener à bien leurs opérations sont pour la plupart offerts par les équipementiers en modèles hybrides ou électriques**, alors que le constat inverse est fréquemment mis de l'avant par les mines et les projets miniers à ciel ouvert.

« [p]our le moment et à moyen terme, l'offre des équipementiers se limite à de plus petits engins miniers et est peut-être plus axée vers le souterrain que le ciel ouvert ».

– Personne répondante d'une mine active à ciel ouvert

« [cette transition permettra] d'améliorer les conditions de travail dans les mines souterraines. La demande de l'industrie étant grandissante en ce sens, les fournisseurs s'adaptent rapidement à cette réalité. »

– Personne répondante d'un projet minier souterrain



En effet, les mines actives ou en maintenance ainsi que les projets miniers qui ont une durée de vie restante estimée à 10 ans et moins semblent avoir un positionnement différent de celui des mines actives ou en maintenance ainsi que des projets miniers ayant une durée de vie restante estimée à 10 ans et plus en ce qui a trait à plusieurs questions stratégiques en matière de transition vers un parc d'engins miniers hybrides et électriques.

Constats qui émergent de l'enquête en fonction de la durée de vie restante des mines et des projets miniers

La durée de vie restante des mines et des projets miniers semble également représenter un élément à prendre en considération dans l'analyse des résultats. En effet, les mines actives ou en maintenance ainsi que les projets miniers qui ont une durée de vie restante estimée à 10 ans et moins semblent avoir un positionnement différent de celui des mines actives ou en maintenance ainsi que des projets miniers ayant une durée de vie restante estimée à 10 ans et plus en ce qui a trait à plusieurs questions stratégiques en matière de transition vers un parc d'engins miniers hybrides et électriques. Comme le montre le [tableau 4](#), 65 % des mines et des projets miniers ayant une durée de vie restante estimée à 10 ans et plus en date de 2021 jugent que leur entreprise va entreprendre sa transition vers des engins miniers hybrides ou électriques d'ici 2030, alors que cette proportion est de 57 % pour les mines et les

projets miniers ayant une durée de vie inférieure. La plus grande différence entre les deux groupes provient cependant de l'enjeu de la proportion de mécaniciennes et de mécaniciens d'engins miniers ayant besoin de réaliser une formation qualifiante à l'horizon 2030. En fait, 53 % des mines et des projets miniers ayant une durée de vie restante estimée à 10 ans et plus indiquent qu'au moins 50 % des mécaniciennes et des mécaniciens d'engins miniers de leur entreprise auraient besoin de réaliser une formation qualifiante en mécanique d'engins de chantier hybrides et électriques, alors que 29 % des mines et des projets miniers ayant une durée de vie restante estimée à 10 ans et moins posent le même diagnostic. Finalement, il semble peu pertinent de tenter de tirer des constats en ce qui a trait à l'année moyenne au cours de laquelle les sites miniers ont estimé que 50 % de leur parc d'engins miniers sera constitué d'engins hybrides ou électriques.

Tableau 4

Le positionnement des mines et des projets miniers ayant une durée de vie restante estimée à 10 ans et moins et à 10 ans et plus en ce qui concerne trois enjeux majeurs de la transition

	Mines et projets miniers ayant une durée de vie restante estimée à 10 ans et moins	Mines et projets miniers ayant une durée de vie restante estimée à 10 ans et plus
Proportion de sites miniers ayant indiqué un niveau d'accord avec l'énoncé suivant : « D'ici 2030, votre entreprise va entreprendre sa transition vers des engins miniers hybrides ou électriques. »	57 %	65 %
Année moyenne au cours de laquelle les sites miniers ont estimé que 50 % du parc d'engins miniers de leur entreprise sera constitué d'engins hybrides ou électriques	----- ¹⁵	2036
Proportion de sites miniers évaluant que d'ici 2030, au moins 50 % des mécaniciennes et des mécaniciens d'engins miniers de leur entreprise auront besoin de réaliser une formation qualifiante en mécanique d'engins de chantier hybrides et électriques	29 %	53 %

Les réponses fournies par les entreprises interrogées exposent le fait que l'engouement moins important des mines et des projets miniers ayant une durée de vie estimée à 10 ans et moins pour réaliser leur transition vers un parc d'engins miniers hybrides ou électriques provient du **manque de temps pour mener à bien les travaux d'infrastructures requis pour supporter le déploiement de ce nouveau type d'engins miniers**. Dans une logique analogue, **la question de la rentabilité des investissements requis pour permettre une telle transition est également soulevée en raison du court laps de temps restant avant que la mine ne cesse ses activités**.

¹⁵. En raison du faible taux de réponse à cette question, une date significative n'a pas pu être dégagée.



« le site sera fermé [en raison de] l'épuisement de la fosse », et ce, avant 2030.

- Personne répondante d'une mine active dont le site minier possède une durée de vie restante estimée à 10 ans et moins affirmant être « tout à fait en désaccord » avec l'énoncé selon lequel son entreprise va entreprendre sa transition vers des engins miniers hybrides ou électriques d'ici 2030.

« [Mon organisation est] actuellement en train de revoir la durée de vie restante de la mine et, donc, les actions à prendre ».

- Personne répondante d'une mine active dont le site minier possède une durée de vie restante estimée à 10 ans et plus mentionnant qu'il est « difficile » de se positionner en ce qui a trait à la transition de son entreprise vers des engins miniers hybrides ou électriques.



Constats qui émergent de l'enquête en fonction de l'emplacement géographique des mines ou des projets miniers

La position géographique des entreprises ayant participé à l'enquête est également révélatrice de certaines tendances dans l'approche développée par les mines et les projets miniers. En effet, les entreprises exploitant ou prévoyant exploiter une mine au sud du 49^e parallèle et celles exploitant ou prévoyant exploiter une mine au nord du 49^e parallèle, c'est-à-dire sur le territoire du Plan Nord, semblent avoir des intentions plutôt distinctes en matière de transition des parcs d'engins miniers. Le [tableau 5](#) révèle que les mines et les projets miniers situés au sud du 49^e parallèle indiquent dans une proportion significativement plus élevée (86 %) que leurs contreparties situées au nord de ce même parallèle (30 %) que leur entreprise va entreprendre sa transition vers des engins miniers hybrides ou électriques d'ici 2030. Cela se traduit par une estimation fortement différente de l'année moyenne au cours de laquelle 50 % de leur parc d'engins miniers sera constitué d'engins hybrides ou électriques. Alors que les mines et les projets miniers situés au sud du 49^e parallèle jugent que ce pourcentage sera probablement atteint en 2031, les mines et les projets miniers situés au nord du 49^e parallèle évaluent plutôt que c'est en 2039 que ce seuil de 50 % d'engins miniers hybrides et électriques sera atteint. Il en résulte en toute cohérence qu'à l'horizon 2030, 71 % des sites miniers du sud du 49^e parallèle jugent qu'au moins 50 % des mécaniciennes et des mécaniciens d'engins miniers de leur entreprise auront besoin de réaliser une formation qualifiante en mécanique d'engins de chantier hybrides et électriques alors que cette proportion s'élève uniquement à 10 % pour les mines et les projets miniers situés sur le territoire du Plan Nord.

Tableau 5

Le positionnement des mines et des projets miniers situés au sud du 49° parallèle et au nord du 49° parallèle en ce qui concerne trois enjeux majeurs de la transition

	Mines et projets miniers situés au sud du 49° parallèle	Mines et projets miniers situés au nord du 49° parallèle
Proportion de sites miniers ayant indiqué un niveau d'accord avec l'énoncé suivant : « D'ici 2030, votre entreprise va entreprendre sa transition vers des engins miniers hybrides ou électriques. »	86 %	30 %
Année moyenne au cours de laquelle les sites miniers ont estimé que 50 % du parc d'engins miniers de leur entreprise sera constitué d'engins hybrides ou électriques	2031	2039
Proportion de sites miniers évaluant que d'ici 2030, au moins 50 % des mécaniciennes et des mécaniciens d'engins miniers de leur entreprise auront besoin de réaliser une formation qualifiante en mécanique d'engins de chantier hybrides et électriques	71 %	10 %

Les réponses fournies par les entreprises sondées indiquent que le plus faible empressement des mines et des projets miniers situés au nord du 49° parallèle à s'engager de manière soutenue dans le processus de transition vers un parc d'engins miniers hybrides ou électriques découle principalement de trois facteurs majeurs. **D'abord, la fiabilité de la technologie électrique en milieu nordique est remise en question**, notamment en raison du climat qui est considéré comme peu propice à la mise en service d'engins motorisés grâce à des batteries électriques. Ensuite, certaines mines et certains projets miniers du nord du 49° parallèle citent le fait que **leur positionnement géographique excentrique** fait en sorte que leur accès à l'énergie hydroélectrique n'est pas assuré, rendant par le fait même moins pertinent l'électrification de leur parc d'engins dans une perspective de réduction de leur empreinte environnementale. Finalement, une autre explication donnant un sens à cette tendance provient du fait que **la proportion de mines et de projets miniers à ciel ouvert au nord du 49° parallèle est sensiblement plus élevée qu'au sud** de celui-ci. Or, il a été vu précédemment que ce type de site minier projette de mener un processus de transition moins soutenu que les sites miniers souterrains.

« [Je ne suis pas certain[e]
de la technologie dans l'environnement
nordique ».

- Personne répondante d'une mine active
située au nord du 49^e parallèle.

« l'accès à une énergie propre dans [son]
environnement n'est pas encore assuré.
[L'entreprise travaille] d'abord à l'accès à la
ressource avant d'électrifier [ses] engins
miniers. »

- Personne répondante d'une mine active
située au nord du 49^e parallèle.





Pistes de recherche

Le présent rapport a permis de recueillir de nombreuses informations et de faire émerger plusieurs constats en ce qui a trait à la perception de l'industrie minière du Québec à l'égard des engins miniers hybrides et électriques et des besoins de formation afférents. Toutefois, l'Institut national des mines considère que la réalisation de recherches additionnelles permettrait d'approfondir encore davantage les connaissances relativement à cette question. Les trois pistes de recherche suivantes sont celles qui apparaissent comme étant les plus porteuses pour atteindre cet objectif.



Piste de recherche 1

Analyser l'impact sur les entreprises fournissant des biens et des services au secteur minier

D'abord, un angle mort de la présente recherche est lié au fait que les données collectées dans le cadre de l'enquête proviennent exclusivement des mines actives ou en maintenance ainsi que des projets miniers. Les entreprises du secteur minier qui fournissent des biens et/ou des services aux mines n'ont donc pas été prises en compte dans le cadre de cette recherche. La rédaction d'un rapport portant sur la vision de ces acteurs à l'égard de la transition vers les engins miniers hybrides ou électriques ainsi qu'en ce qui concerne leurs besoins de formation et de développement de compétences s'y rattachant permettrait donc d'obtenir un portrait encore plus étoffé de la situation et des besoins de l'ensemble des acteurs de l'industrie minière.



Piste de recherche 2

Élaborer un référentiel de compétences pour l'entretien des engins hybrides et électriques du secteur minier

Ensuite, une autre piste de recherche pertinente consisterait à étudier plus en détail les compétences requises pour assurer la maintenance et la réparation des engins miniers hybrides et électriques. Pour ce faire, la réalisation d'une recherche visant l'élaboration d'un référentiel de compétences exhaustif permettrait certainement de dégager des informations utiles pour structurer le contenu des futures formations qui seront développées au Québec pour former la main-d'œuvre chargée d'entretenir et de réparer les engins miniers hybrides et électriques.



Piste de recherche 3

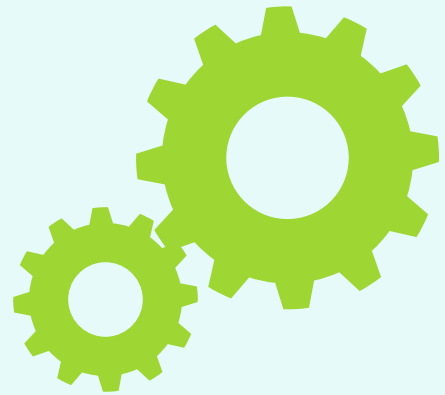
Établir l'état de situation dans d'autres secteurs économiques

Finalement, la réalisation de recherches de même nature que celle menée dans le cadre du présent rapport, mais portant sur les autres secteurs économiques où des engins de chantier sont déployés en grand nombre (comme l'industrie forestière, agricole, de la construction, etc.), constituerait une avenue structurante pour appréhender de façon holistique les besoins de formation en matière d'engins de chantier hybrides et électriques. En effet, puisque le rapport actuel a porté uniquement sur le secteur minier, la réalisation de telles recherches complémentaires permettrait d'obtenir un portrait global des besoins de formation existants au Québec en lien avec l'électrification des parcs d'engins de chantier.

Conclusion

Dans le cadre de ce rapport, l'Institut national des mines a tâché d'en apprendre davantage sur la planification, la composition actuelle et les projections du parc d'engins ainsi que les besoins de formation actuels et futurs du secteur minier du Québec en ce qui a trait à la transition vers des engins miniers hybrides et électriques. Pour ce faire, la perception de l'industrie minière du Québec à l'égard des multiples facteurs à prendre en compte dans le contexte de la transition vers ce type d'engins miniers a été analysée.

Les données récoltées grâce à l'enquête menée auprès des mines actives ou en maintenance ainsi que des projets miniers du Québec démontrent que la majorité de ces entreprises estiment que tant leur industrie que leur propre organisation vont entreprendre leur transition vers des engins miniers hybrides ou électriques d'ici 2030. De plus, bien que la quantité d'engins hybrides ou électriques présente dans les parcs d'engins miniers des mines actives ou en maintenance soit minimale en date de 2021, les entreprises sondées prévoient accroître significativement cette présence au cours des prochaines années puisque les projets miniers évaluent en moyenne que leurs parcs seront constitués d'au moins 50 % de modèles hybrides ou électriques à partir de 2028. De leur côté, les mines actives ou en maintenance envisagent en moyenne d'atteindre ce seuil plutôt à partir de 2036.



L'impact de cette présence croissante des engins miniers hybrides et électriques dans les activités minières se fait sentir dans les formations et les compétences recherchées par l'industrie. En effet, tout au long de la prochaine décennie, les entreprises minières prévoient devoir faire bénéficier d'une formation qualifiante une proportion croissante des mécaniciennes et des mécaniciens d'engins de chantier à leur emploi. Dans les faits, 57 % des sites miniers prévoient qu'au moins 30 % des mécaniciennes et des mécaniciens à leur emploi devront suivre une telle formation qualifiante à l'horizon 2030. Les compétences qui seront particulièrement recherchées, comme celles liées à la sécurisation du milieu de travail ainsi que celles associées aux circuits et aux symboles, touchent les aspects de la santé et de la sécurité au travail ainsi que de l'opérationnalité du travail des mécaniciennes ou des mécaniciens d'engins miniers.

L'analyse des résultats obtenus permet également de constater que certains types de mines et de projets miniers apparaissent, en règle générale, engagés dans une transition plus rapide vers les engins miniers hybrides et électriques. **Le portrait typique de ces entreprises qui semblent engagées plus activement dans ce processus de transition pourrait être résumé ainsi: un projet minier qui entrera en exploitation d'ici 2026, qui est souterrain, ayant une durée de vie restante estimée à 10 ans ou plus et qui est situé au sud du 49^e parallèle.** Ce portrait constitue cependant une généralisation et le lecteur doit garder à l'esprit que des exceptions existent et ont d'ailleurs été recensées.

Annexe I – Questionnaire utilisé pour collecter les données auprès des mines actives ou en maintenance et des projets miniers

Profil de la personne répondante

1. Dans le cadre de ce questionnaire, répondez-vous pour une mine active ou un projet minier?

- ☐ Mine active
- ☐ Projet minier
- ☐ Autre (veuillez préciser)

Profil de la personne répondante – Mine active

2. Quel est le nom de votre mine?

3. Votre mine est-elle

- ☐ Souterraine,
- ☐ À ciel ouvert,
- ☐ Mixte (souterraine et à ciel ouvert)?

4. Quelle est la durée de vie restante estimée de votre mine?

- ☐ Moins de 5 ans
- ☐ De 5 à 10 ans
- ☐ De 10 à 15 ans
- ☐ De 15 à 20 ans
- ☐ 20 ans et plus
- ☐ Je ne sais pas
- ☐ Autre (veuillez spécifier)

5. Quel poste occupez-vous au sein de votre entreprise?

- ☐ Employé de la production
- ☐ Technicien
- ☐ Contremaître
- ☐ Cadre intermédiaire
- ☐ Personnel de direction
- ☐ Autre (veuillez préciser)

Profil de la personne répondante – Projet minier

6. Quel est le nom de votre projet minier?

7. Votre future mine sera-t-elle

- ☐ Souterraine,
- ☐ À ciel ouvert,
- ☐ Mixte (souterraine et à ciel ouvert)?

8. Quelle est la durée de vie estimée de votre mine?

- ☐ Moins de 5 ans
- ☐ De 5 à 10 ans
- ☐ De 10 à 15 ans
- ☐ De 15 à 20 ans
- ☐ 20 ans et plus
- ☐ Je ne sais pas
- ☐ Autre (veuillez spécifier)

9. Quel poste occupez-vous au sein de votre entreprise?

- ☐ Employé de la production
- ☐ Technicien
- ☐ Contremaître
- ☐ Cadre intermédiaire
- ☐ Personnel de direction
- ☐ Autre (veuillez préciser)

Vision globale à l'égard des engins miniers hybrides et électriques

10. Indiquez votre niveau d'accord ou de désaccord avec l'énoncé suivant: «D'ici 2030, l'industrie minière québécoise va entreprendre sa transition vers des engins miniers hybrides ou électriques.»

- ☐ Tout à fait en accord
- ☐ En accord
- ☐ Assez en accord
- ☐ Assez en désaccord
- ☐ En désaccord
- ☐ Tout à fait en désaccord
- ☐ Je ne sais pas

11. Pourquoi?

12. Indiquez votre niveau d'accord ou de désaccord avec l'énoncé suivant: «D'ici 2030, votre mine va entreprendre sa transition vers des engins miniers hybrides ou électriques.»

- ☐ Tout à fait en accord
- ☐ En accord
- ☐ Assez en accord
- ☐ Assez en désaccord
- ☐ En désaccord
- ☐ Tout à fait en désaccord
- ☐ Je ne sais pas

13. Pourquoi?

14. Quel type de document a été élaboré ou est en cours d'élaboration dans votre entreprise concernant la transition vers les engins miniers hybrides ou électriques?

- ☐ Un plan
- ☐ Une politique
- ☐ Aucun document
- ☐ Autre (veuillez préciser)

Parc d'engins miniers hybrides ou électriques

15. Selon votre meilleure estimation, si votre mine est toujours en activité en 2030, quel pourcentage de votre parc d'engins miniers sera constitué d'engins miniers hybrides ou électriques à ce moment?

- ☐ Moins de 9 %
- ☐ De 10 % à 19 %
- ☐ De 20 % à 29 %
- ☐ De 30 % à 39 %
- ☐ De 40 % à 49 %
- ☐ De 50 % à 59 %
- ☐ De 60 % à 69 %
- ☐ De 70 % à 79 %
- ☐ De 80 % à 89 %
- ☐ De 90 % à 99 %

16. À partir de quelle année estimez-vous que 50 % de votre parc d'engins miniers sera constitué d'engins hybrides ou électriques?

17. À votre connaissance, quel pourcentage de votre parc d'engins miniers était constitué d'engins hybrides en date du 1^{er} juillet 2021?

- ☐ Moins de 9 %
- ☐ De 10 % à 19 %
- ☐ De 20 % à 29 %
- ☐ De 30 % à 39 %
- ☐ De 40 % à 49 %
- ☐ De 50 % à 59 %
- ☐ De 60 % à 69 %
- ☐ De 70 % à 79 %
- ☐ De 80 % à 89 %
- ☐ De 90 % à 99 %
- ☐ Ne s'applique pas

18. À votre connaissance, quel pourcentage de votre parc d'engins miniers était constitué d'engins électriques en date du 1^{er} juillet 2021?

- ☐ Moins de 9 %
- ☐ De 10 % à 19 %
- ☐ De 20 % à 29 %
- ☐ De 30 % à 39 %
- ☐ De 40 % à 49 %
- ☐ De 50 % à 59 %
- ☐ De 60 % à 69 %
- ☐ De 70 % à 79 %
- ☐ De 80 % à 89 %
- ☐ De 90 % à 99 %
- ☐ Ne s'applique pas

19. Dans quelle mesure êtes-vous en accord ou en désaccord avec l'affirmation suivante: «Notre entreprise prévoit augmenter le nombre d'engins miniers hybrides ou électriques dans son parc d'engins miniers.»?

- ☐ Tout à fait en accord
- ☐ En accord
- ☐ Assez en accord
- ☐ Assez en désaccord
- ☐ En désaccord
- ☐ Tout à fait en désaccord
- ☐ Je ne sais pas

20. À quel horizon estimez-vous que l'augmentation du nombre d'engins miniers hybrides ou électriques de votre parc se réalisera?

- ☐ Avant 2024
- ☐ Entre 2025 et 2030
- ☐ Entre 2031 et 2050
- ☐ Aucune augmentation n'est prévue
- ☐ Je ne sais pas

Besoins de formation

21. Dans quelle mesure êtes-vous en accord ou en désaccord avec l'affirmation suivante: «Une formation qualifiante destinée aux mécaniciennes et aux mécaniciens d'engins de

chantier désirant acquérir les compétences nécessaires à l'entretien des engins miniers hybrides et électriques serait bénéfique pour mieux répondre aux besoins de votre entreprise.»?

- ☐ Tout à fait en accord
- ☐ En accord
- ☐ Assez en accord
- ☐ Assez en désaccord
- ☐ En désaccord
- ☐ Tout à fait en désaccord
- ☐ Je ne sais pas

22. Dans quelle mesure êtes-vous en accord ou en désaccord avec l'affirmation suivante: «Notre entreprise prévoit rendre obligatoire une formation qualifiante en électricité pour les mécaniciennes et les mécaniciens d'engins miniers qui réaliseront l'entretien des engins hybrides et électriques.»?

- ☐ Tout à fait en accord
- ☐ En accord
- ☐ Assez en accord
- ☐ Assez en désaccord
- ☐ En désaccord
- ☐ Tout à fait en désaccord
- ☐ Je ne sais pas

23. Actuellement, quelle proportion des mécaniciennes et des mécaniciens d'engins miniers de votre entreprise auraient besoin d'une formation qualifiante en mécanique d'engins de chantier hybrides et électriques pour réaliser leur travail de manière optimale?

- ☐ Moins de 9 %
- ☐ De 10 % à 19 %
- ☐ De 20 % à 29 %
- ☐ De 30 % à 39 %
- ☐ De 40 % à 49 %
- ☐ De 50 % à 59 %
- ☐ De 60 % à 69 %
- ☐ De 70 % à 79 %
- ☐ De 80 % à 89 %
- ☐ De 90 % à 99 %

24. D'ici 2030, quelle proportion des mécaniciennes et des mécaniciens d'engins miniers de votre entreprise auraient besoin de réaliser une formation qualifiante en mécanique d'engins de chantier hybrides et électriques pour réaliser leur travail de manière optimale?

- ☐ Moins de 9 %
- ☐ De 10 % à 19 %
- ☐ De 20 % à 29 %
- ☐ De 30 % à 39 %
- ☐ De 40 % à 49 %
- ☐ De 50 % à 59 %
- ☐ De 60 % à 69 %
- ☐ De 70 % à 79 %
- ☐ De 80 % à 89 %
- ☐ De 90 % à 99 %

Besoins de développement des compétences

25. Dans quelle mesure êtes-vous en accord ou en désaccord avec l'affirmation suivante: « Les mécaniciennes et les mécaniciens d'engins miniers qui réaliseront l'entretien des engins hybrides et électriques dans votre entreprise devront posséder des compétences spécifiques en matière de santé et de sécurité du travail. »?

- ☐ Tout à fait en accord
- ☐ En accord
- ☐ Assez en accord
- ☐ Assez en désaccord
- ☐ En désaccord
- ☐ Tout à fait en désaccord
- ☐ Je ne sais pas

26. Parmi les savoirs suivants, veuillez indiquer trois savoirs que les mécaniciennes et les mécaniciens d'engins miniers qui ont, ou qui auront, à réaliser l'entretien des engins miniers hybrides et électriques dans votre mine doivent, ou devront, prioritairement posséder.

- ☐ La loi d'Ohm
- ☐ Le câblage haute tension
- ☐ Les circuits et les symboles

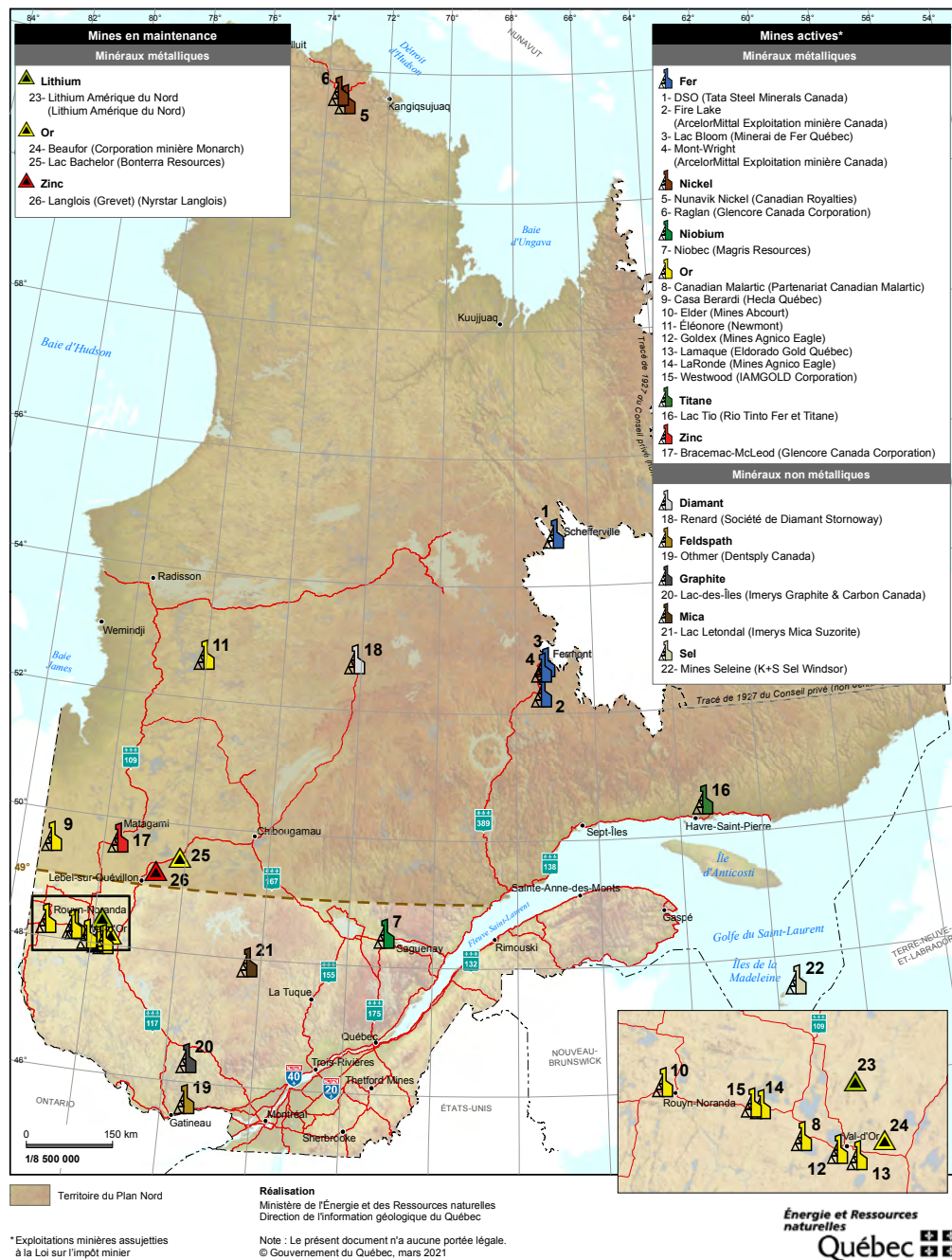
- ☐ Le courant alternatif et le courant continu
- ☐ Les connexions en série ou en parallèle
- ☐ Les convertisseurs
- ☐ La sécurisation de son milieu de travail
- ☐ Tous ces savoirs sont essentiels
- ☐ Je ne sais pas

27. Exception faite des savoirs que vous avez indiqués précédemment, y a-t-il d'autres savoirs dont la maîtrise serait importante pour les mécaniciennes et les mécaniciens d'engins miniers qui ont, ou qui auront, à réaliser l'entretien des engins hybrides et électriques dans votre mine? Si oui, veuillez indiquer ces savoirs.

Commentaires

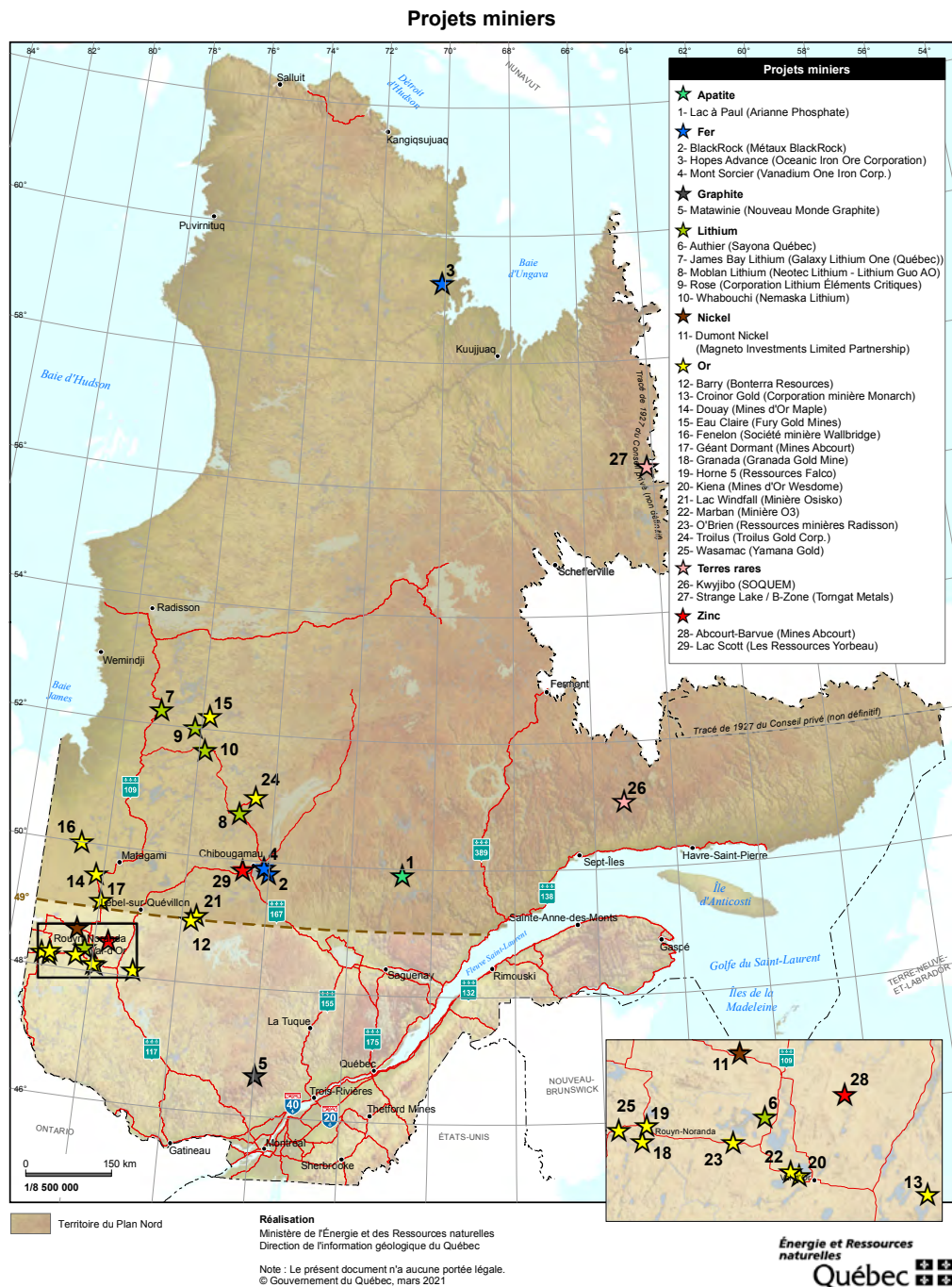
28. Avez-vous un commentaire ou des suggestions?

Annexe II – Carte des mines actives et en maintenance en juin 2021 au Québec



Source: Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, 2021a

Annexe III – Carte des projets miniers en juin 2021 au Québec



Source: Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, 2021b

Références

- Boliden (2019). *A moment of truth for electrification at Aitik* [Communiqué]. <https://www.boliden.com/news/el-trolley-aitik>
- Cambrian College (2021). *Industrial Battery Electric Vehicle Maintenance Course* [Communiqué]. <https://cambriancollege.ca/bev/>
- Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail (2021). *Bruit en milieu de travail – Notions de base*. https://www.cchst.ca/oshanswers/phys_agents/noise_basic.html
- Centre de formation professionnelle de la Baie-James (2021). Étude de pertinence – *Attestation d'études professionnelles en mécanique d'engins de chantier hybrides et électriques*. Chibougamau: l'auteur.
- Collège Boréal (2021). *Première formation sur mesure en entretien de véhicules électriques à batterie offerte à compter du 9 février 2021* [Communiqué]. <https://www.collegeboreal.ca/a-propos-de-boreal/medias-et-communications/actualites/premiere-formation-sur-mesure-en-entretien-de-vehicules-electriques-a-batterie-offerte-a-compter-du-9-fevrier-2021-1247>
- Deloitte et NORCAT (2020). *Powering the future of mining: From energy technology to core design*. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Energy-and-Resources/gx-norcat-report-future-of-energy-in-mining.pdf>
- Ertugrul, N. (2020). *Mine electrification: Towards an electric and renewables mining future – University of Adelaide vision capabilities and research*. <https://www.adelaide.edu.au/imer/system/files/media/documents/2020-07/Mine%20Electrification%20and%20Future%20Directions.pdf>
- EY (2019). *Will electrification spark the next wave of mining innovation?* https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/en_gl/topics/mining-metals/mining-metals-pdfs/ey-electrification-in-mining-survey.pdf
- Global Mining Guidelines Group (2018). *GMG recommended practices for battery electric vehicles in underground mining – 2nd Edition* (Rapport 20180621 UG Mining BEV-GMG-WG-v02-r01). https://gmgroup.org/wp-content/uploads/2018/11/20180621_UG_Mining_BEV_GMG-WG-v02-r01.pdf
- Institut de la statistique du Québec (2021). *Mines en chiffres – La production minérale au Québec en 2019*. <https://statistique.quebec.ca/fr/fichier/mines-en-chiffres-production-minerale-quebec-2019.pdf>

- Institut national des mines (2018). *Transformation numérique et compétences du 21^e siècle pour la prospérité du Québec – Exemple de l'industrie minière*. https://inmq.gouv.qc.ca/medias/files/Publications/Rapports_de_recherche/INMQ_Transformation_numerique_complet.pdf
- Institut national des mines (2019a). *Portrait des simulateurs d'engins miniers en formation minière*. https://inmq.gouv.qc.ca/medias/files/Publications/Rapports_de_recherche/INMQ_Rapport_simulateurs.pdf
- Institut national des mines (2019b). *Portrait numérique de l'industrie minière au Québec*. https://inmq.gouv.qc.ca/medias/files/Publications/inmq_portrait_numerique.pdf
- Institut national des mines (2021). *Tendances générales en formation minière. Rapport semestriel tiré de l'infolettre MineAvenir – 20 août 2020 au 28 janvier 2021*. https://inmq.gouv.qc.ca/medias/files/Publications/Rapports_de_recherche/Tendances_generales_formation_ministere/INMQ_Tendances_aout2020_janvier2021.pdf
- Jarratt, E. (2021). « *There's a skills shortage maintaining electric mining vehicles. One training program is trying to fix that* ». *Electric Autonomy Canada*. <https://electricautonomy.ca/2021/08/25/mining-ev-maintenance-workforce-training/>
- Lebel, D. (2004). *Glossaire québécois de l'éducation des adultes et de la formation continue*. Québec: Association des cadres scolaires du Québec.
- Mafuta Kasonga, R. (2013). *Impact de la mécanisation sur la ventilation dans les mines souterraines du Québec* (mémoire de maîtrise). <https://corpus.ulaval.ca/jspui/handle/20.500.11794/22669?locale=fr>
- Ministère de l'Économie et de l'Innovation (2018). « *L'industrie 4.0: l'humain au cœur de la transformation numérique* ». *Bulletin Espace Conseils PME*. <https://www.economie.gouv.qc.ca/bibliotheques/outils/gestion-dune-entreprise/industrie-40/liindustrie-40-lhumain-au-coeur-de-la-transformation-numerique/>
- Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (2020). *Processus de développement minéral*. <https://mern.gouv.qc.ca/publications/mines/processus-developpement-mineral.pdf>
- Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (2021a). *Mines actives et en maintenance* [Carte]. <https://mern.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/MinesActives.pdf>
- Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (2021b). *Projets miniers* [Carte]. <https://mern.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/ProjetsMiniers.pdf>
- Newmont (2019). *All-Electric Case Study: Operating a Battery Powered Fleet*. Communication présentée au 7^e congrès Energy and Mines, Toronto, Ontario. <https://worldcongress.energyandmines.com/files/10-40-All-Electric-Case-Study-Operating-a-Battery-Powered-Fleet-Maarten-Van-Koppen-Newmont-Goldcorp.pdf>
- Ouellette, S. et Marcotte, P. (2010). *Exposition des travailleurs miniers aux vibrations et aux bruits (Rapport LMSM-CANMET 10-010(TR))*. https://s3.amazonaws.com/amq-inc-prod-assets/2014/05/05/11_20_34_310_FR_rapport_final_exposition_travailleurs_miniers_vibrations_bruits.pdf
- Propulsion Québec et Institut du véhicule innovant (2020). *Une première au Québec dans l'industrie minière à ciel ouvert: l'électrification d'un véhicule lourd* [Communiqué]. <https://propulsionquebec.com/2020/11/02/une-premiere-au-canada-dans-lindustrie-mini%C3%A8re-%C3%A0-ciel-ouvert-lelectrification-dun-vehicule-lourd/>
- Ratcliff, M., Mahoney, P. et Stanway, G. (2020). *State of Play: Electrification*. https://uploads-ssl.webflow.com/60529923ea318257ccfcadee/60e16c5371e811a0bada33d_1%202021%20SOP%20-%20Electrification.pdf



**Le camion à béton projeté ss5 est un des
véhicules miniers électriques de MacLean.**
(Gracieuseté: MacLean)





*Institut national
des mines*

Québec

