



LES TENDANCES GÉNÉRALES EN FORMATION MINIÈRE

7 février → 20 juin 2019

Rapport semestriel tiré de l'infolettre MineAvenir

*Institut national
des mines*

Québec 

Analyse et rédaction

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

Supervision

Jean-François Pressé, président-directeur
général
Institut national des mines

Diffusion

Karine Lacroix, conseillère en communication
Maripier Viger, adjointe aux communications
Institut national des mines

**Recherche et réalisation de la veille
informationnelle et l'infolettre MineAvenir**

Karine Lacroix, conseillère en communication
Maripier Viger, adjointe aux communications
Institut national des mines

Révision linguistique

Gilles Bordage

Graphisme

Andrew Morrow

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

Pour toute demande de renseignement :

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

Téléphone : 819 825-4667
Télécopieur : 819 825-4660
Info@inmq.qc.ca

Dépôt légal – 1er trimestre 2020
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
ISBN 978-2-550-86238-3 (imprimé)
ISBN 978-2-550-86237-6 (PDF)

Bibliothèque et Archives Canada
ISSN 2563-1322 (imprimé)
ISSN 2563-1330 (en ligne)

© Institut national des mines,
Gouvernement du Québec (2020)

Avant-propos

La planification stratégique 2018-2023 de l'Institut national des mines (INMQ) propose de documenter les tendances en formation minière au Québec, au Canada et dans le monde. Pour répondre à cet objectif, l'INMQ produit annuellement deux publications sur les tendances issues des articles de sa veille informationnelle hebdomadaire. Cette série de publications est un outil utile à la prise de décision non seulement pour orienter les recherches effectuées à l'INMQ, mais également pour les entreprises minières et les établissements d'enseignement. L'INMQ est conscient que certains sujets ou articles ont pu échapper à son attention et que le présent document ne constitue pas un recensement exhaustif, mais bien une veille sélective.

Table des matières

Introduction	1
1. Les tendances en éducation documentées par les activités de veille de l'Institut national des mines entre le 7 février et le 20 juin 2019	2
1.1. Le développement des compétences du 21 ^e siècle	3
1.1.1. Les investissements gouvernementaux	3
1.1.2. Les projets mis de l'avant par les établissements d'enseignement	4
1.1.3. Les investissements réalisés par les entreprises	4
1.2. Le renouvellement des modes d'enseignement grâce aux nouvelles technologies	5
1.2.1. L'intelligence artificielle en éducation	5
1.2.2. La réalité virtuelle, augmentée ou mixte comme outil pédagogique	6
1.2.3. Le potentiel pédagogique des outils de simulation	7
1.2.4. Les plateformes éducatives en ligne	8
1.3. L'accessibilité de l'éducation au Québec et à l'international	8
1.3.1. L'éducation en territoire nordique	8
1.3.2. L'éducation dans les pays francophones	9
1.4. Le développement de programmes de formation et de partenariats dans le secteur minier	9
1.4.1. La mise sur pied de formations 4.0 grâce à la réalisation de partenariats	10
1.4.2. La formation continue à l'heure de l'industrie 4.0	10

2. Les nouvelles tendances technologiques susceptibles d'influencer les compétences nécessaires pour exercer les métiers et les professions du secteur minier	12
2.1. La modélisation 3D	13
2.2. Les données seront-elles au 21 ^e siècle ce que fut le pétrole au 20 ^e siècle ?	13
2.3. Le réseau 5G	14
2.4. La contribution des drones à l'amélioration de l'exploration minière	14
2.5. Les véhicules téléopérés et autonomes	14
2.6. L'importance croissante de la cybersécurité	15
2.7. Les équipements améliorant la sécurité de la main-d'œuvre	16
2.8. Les initiatives en énergie renouvelable ainsi qu'en économie énergétique rendues possibles grâce aux nouvelles technologies	16
2.9. Le stockage infonuagique des données	17
3. Le développement du capital humain au sein des organisations réalisant leur virage numérique	18
3.1. Embaucher sur la base des compétences	20
4. Les pistes d'action qui seront privilégiées afin d'orienter les prochaines activités de veille de l'Institut national des mines	22
5. Remarque finale	24
Tableaux des thèmes diffusés et nombre d'articles de l'infolettre <i>MineAvenir</i> – Février à juin 2019	25
Liste de références aux articles publiés dans <i>MineAvenir</i> entre février et juin 2019 et aux autres articles cités dans ce rapport semestriel	30

Résumé

Développer la polyvalence des compétences numériques et interpersonnelles de la main-d'œuvre minière constitue la principale piste d'action qui se dégage de ce rapport consignant les tendances majeures en formation minière au Québec, au Canada et à l'international, au cours de l'hiver et du printemps 2019. En effet, les travaux de veille que l'INMQ a réalisés ont exposé toute l'importance que revêt désormais, pour la main-d'œuvre, la maîtrise d'un large éventail de compétences afin d'agir efficacement dans un secteur minier caractérisé par une automatisation et une interconnexion croissantes.

Parmi les compétences qui ressortent le plus de cette veille se trouvent celles de nature technique comme les compétences en informatique, en analyse de données ou encore en cybersécurité. Cependant, la majorité des articles mentionnent que la simple possession de compétences techniques ne sera plus suffisante aux travailleuses et aux travailleurs pour qu'ils puissent performer dans un secteur minier où les nouvelles technologies numériques occupent une place de plus en plus prédominante. En effet, les compétences interpersonnelles seront également essentielles au personnel du secteur minier dans un domaine où l'automatisation grandissante des processus rendra encore plus importantes les relations entre les humains.

Ce rapport permet également de mettre en lumière certaines avancées technologiques susceptibles de jouer un rôle déterminant dans la redéfinition des compétences de la main-d'œuvre du secteur minier. Parmi les nombreuses technologies dont ce document fait état, certaines se distinguent par leur importance de premier plan pour un nombre significatif d'acteurs du secteur minier. À cet égard, les technologies reliées à la gestion des données (telle l'intelligence artificielle), à l'automatisation et à la cybersécurité des réseaux informatiques et opérationnels figurent parmi les plus régulièrement

mentionnées par les différentes parties prenantes concernées par la formation des travailleuses et des travailleurs du secteur minier.

La réalisation de ce document permet donc de faire émerger plusieurs pistes d'action pertinentes afin d'orienter les prochaines activités de veille menées par l'Institut national des mines. Parmi celles-ci, mentionnons la nécessité de continuer de documenter les compétences diversifiées nécessaires afin d'évoluer dans le secteur minier 4.0, l'importance d'approfondir les connaissances à propos des formations liées aux nouvelles technologies mobilisées dans les mines dites « intelligentes » et l'importance de recenser davantage les différents types de partenariat favorisant le développement d'une offre de formation qui outille au mieux les apprenantes et les apprenants pour les défis professionnels qui les attendent.

En ciblant certains des savoir-faire et des savoir-être faisant partie intégrante des compétences nécessaires afin d'évoluer de manière optimale au sein de l'industrie minière à l'heure de la quatrième révolution industrielle, l'Institut national des mines entend appuyer les établissements d'enseignement concernés par la formation minière ainsi que les entreprises du secteur minier désirant offrir à leurs élèves ou à leur main-d'œuvre un apprentissage d'avant-garde.

Introduction

Dans le contexte actuel où les transformations technologiques bouleversent les processus présents à toutes les étapes du cycle minier, le développement des compétences du 21^e siècle de la main-d'œuvre minière constitue un impératif de plus en plus incontournable. L'émergence de la mine intelligente, qui se caractérise notamment par l'intégration sans cesse plus importante des données numériques dans la prise de décision automatisée ou humaine, permet de rendre les opérations minières toujours plus agiles. Cependant, pour que la mine intelligente puisse un jour devenir une réalité tangible, les entreprises du secteur minier doivent pouvoir compter sur des travailleuses et des travailleurs aptes à exploiter à leur plein potentiel les différents outils numériques indispensables à l'ère de l'industrie 4.0.

L'importance de réaliser une mise à jour des compétences de la main-d'œuvre minière afin que celle-ci puisse continuer de développer les capacités numériques dont elle a besoin pour relever les nombreux défis accompagnant le tournant vers la mine intelligente est d'ores et déjà bien documentée. En effet, un rapport de la société Ernst & Young souligne que d'ici 2024 la nature du travail de 77 % des emplois miniers australiens aura été transformée en raison des innovations technologiques (Zhou, 2019b). Afin de rester à jour et de conserver leurs emplois, les travailleuses et les travailleurs du secteur minier seront donc appelés à réaliser de la formation continue. Ce grand virage vers l'actualisation des compétences de la main-d'œuvre est d'autant plus prévisible que la mise à niveau du personnel déjà à l'emploi est plus rentable pour les employeurs que la mise à pied des employées et employés ne possédant plus les compétences requises afin de les remplacer par de nouvelles recrues déjà formées (Forum économique mondial, 2019). Bref, l'enjeu de la formation apparaît clairement comme un élément primordial pour que

le secteur minier québécois puisse tirer pleinement profit des multiples opportunités de la quatrième révolution industrielle.

Grâce à cette publication, l'Institut national des mines entend brosser le portrait des principales tendances qui émergent de sa veille informationnelle. La mise en évidence de ces tendances permettra tout autant de documenter les tendances innovantes en formation minière que d'orienter les travaux de recherche et les projets pilotes que mènera l'INMQ. Ce document a été réalisé à partir des articles publiés dans l'infolettre *MineAvenir* entre le 7 février 2019 et le 20 juin 2019.

L'INMQ tient toutefois à rappeler qu'une tendance se définit comme étant un courant d'opinion au sein d'un groupe, d'un organisme ou d'une collectivité et que, par conséquent, ce rapport n'est pas une vérité absolue, mais une présentation de tendances.

1

**Les tendances en éducation
documentées par les activités de
veille de l'Institut national des mines
entre le 7 février et le 20 juin 2019**

1.1. Le développement des compétences du 21^e siècle

Dans un article du ministère de l'Économie et de l'Innovation (2019a, p. 1) résumant un récent rapport du Forum économique mondial (FEM, 2018), on mentionne ce qui suit :

[...] à l'heure actuelle, seulement 29 % des tâches sont automatisées, alors que d'ici l'année 2025, les machines réaliseront plus de la moitié de toutes les tâches sur le marché du travail.

Le FEM estime également qu'à l'horizon de l'année 2022, environ 75 millions d'emplois seront supprimés dans le monde. D'un autre côté, environ 133 millions de nouveaux emplois compenseraient ces pertes. Selon le FEM, ces changements nécessiteront une mise à niveau des compétences de la main-d'œuvre.

Dans son nouveau rapport, le Forum économique mondial estime que le coût associé au changement numérique de l'industrie 4.0 s'établit à 4,7 milliards de dollars pour les États-Unis et qu'il faudrait requalifier 25 % des travailleuses et des travailleurs américains parmi les plus susceptibles de perdre leur emploi (FEM, 2019). Il semble que la mise à niveau des compétences des employées et des employés constitue une avenue pertinente à envisager, et ce, pour trois raisons (MEI, 2019a, p. 2) :

- Les employeurs évitent les coûts associés aux indemnités de licenciement et de nouvelles embauches.
- La productivité augmente et, ainsi, les bénéfices sont partagés entre l'entreprise et les employés.
- Les nouveaux employés sont moins productifs que les employés requalifiés qui connaissent déjà l'entreprise.

Accorder une place de choix au développement des compétences humaines pourrait également favoriser le cheminement professionnel des finissantes et des finissants. En effet, le journaliste Jed Kolko, du *Harvard Business Review*, relève par exemple le fait que « [...] le Pays de Galles développe un nouveau programme de cours dont l'objectif est de privilégier la consolidation des compétences et de stimuler la curiosité et la volonté d'apprendre des élèves tout au long de leur vie » (MEI, 2019b, p. 2).

1.1.1. Les investissements gouvernementaux

Le développement des compétences du 21^e siècle de la main-d'œuvre minière québécoise représente un enjeu essentiel pour que le Québec demeure un leader mondial dans le secteur minier. C'est pourquoi tous les acteurs concernés par la formation des travailleuses et des travailleurs du domaine des mines doivent mettre en place les ressources nécessaires afin que cette acquisition de nouveaux savoir-faire s'avère une réussite. Parmi les acteurs appelés à jouer un rôle de premier plan dans cette entreprise stratégique se trouve l'État. En effet, de plus en plus de gouvernements choisissent d'investir dans le développement des compétences en sciences, technologies, ingénierie et mathématiques (STIM) de leurs apprenantes et apprenants suivant des formations initiales ou continues, et ce, afin de pouvoir tirer pleinement profit de la révolution numérique qui change déjà sensiblement la nature du travail dans une multitude de secteurs économiques, dont le secteur minier. C'est notamment le cas du gouvernement de la Colombie-Britannique qui a annoncé au printemps 2019 un investissement de 250 000 \$ dans le but de financer l'organisation sans but lucratif *FIRST Robotics BC* afin que cette dernière continue d'encourager le développement des compétences en STIM des élèves britanno-colombiens (Gouvernement de la Colombie-Britannique, 2019). Grâce à cette subvention ponctuelle, *FIRST Robotics BC* pourra notamment mettre sur pied des programmes de robotique supplémentaires qui permettront à des centaines de nouveaux jeunes de se familiariser à la robotisation tout en augmentant le nombre de formations données aux enseignants de la province afin que ceux-ci aient des connaissances en STIM plus approfondies à transmettre à leurs élèves (Gouvernement de la Colombie-Britannique, 2019).

Afin de maximiser la corrélation entre la formation reçue par la main-d'œuvre minière et les compétences que celle-ci devra posséder pour pouvoir réaliser son travail efficacement, le professeur Eddy Supeno du Département d'orientation professionnelle de l'Université de Sherbrooke rappelle qu'il est crucial de réaliser une « veille informationnelle » qui offre

aux divers acteurs du milieu de l'éducation toute l'information requise pour « améliorer l'adéquation entre l'enseignement et les besoins de main-d'œuvre des entreprises » (Supeno, 2019). Selon M. Supeno, c'est grâce aux informations fournies par une telle veille informationnelle que le système d'éducation pourra transmettre aux apprenantes et aux apprenants les savoir-faire numériques polyvalents qui leur seront nécessaires pour travailler dans un contexte où la pénurie de main-d'œuvre forcera un personnel réduit à réaliser un large éventail de tâches (Supeno, 2019).

1.1.2. Les projets mis de l'avant par les établissements d'enseignement

Parmi les établissements d'enseignement qui contribuent au développement des compétences du 21^e siècle de la main-d'œuvre minière, il est possible de citer NORCAT. Ce centre de formation situé dans la région de Sudbury en Ontario se spécialise dans la formation minière offerte à l'aide des derniers outils technologiques disponibles sur le marché. Selon son chef de la direction, Don Duval, « le contenu des programmes de formation doit être mis à jour régulièrement afin de refléter l'évolution de l'environnement de travail et d'être sensible aux nouveautés technologiques » (Keating, 2019, p. 3). C'est d'ailleurs pour cette raison que NORCAT a lancé en 2019 trois nouvelles formations qui visent tout autant l'acquisition d'aptitudes technologiques avancées que le développement de compétences complémentaires de nature non technique. En effet, pour M. Duval, les compétences non techniques, tels la communication et le leadership, doivent également être favorisées puisque l'évolution des technologies risque de rendre obsolètes certaines compétences purement techniques alors que les compétences non techniques sont habituellement plus transversales (Keating, 2019).

La mise sur pied de formations continues visant à améliorer les connaissances des participantes et des participants sur un sujet spécifique propre aux compétences du 21^e siècle constitue une autre approche utilisée par certains établissements d'enseignement afin de favoriser le développement

des compétences numériques de la main-d'œuvre québécoise. L'Université Laval fait partie des universités québécoises qui misent sur la formation continue afin de préparer les travailleuses et les travailleurs à faire face aux enjeux caractérisant la quatrième révolution industrielle en cours. Le 29 mai 2019, cet établissement a par exemple tenu une journée de formation continue portant sur l'industrie 4.0. Intitulée *Industrie 4.0 : la transformation des entreprises à l'ère de la quatrième révolution industrielle*, cette journée de formation a permis aux personnes réunies sur place d'examiner plus en profondeur l'étendue des possibilités dans le domaine de la numérisation des entreprises (Université Laval, 2019). De telles formations, qui permettent aux participantes et aux participants d'étudier les compétences qui seront requises pour effectuer le virage vers le 4.0 tout en favorisant le dialogue avec les autres acteurs du milieu industriel à propos de celles-ci, représentent donc des événements pertinents afin d'accélérer la transition numérique des compétences de la main-d'œuvre québécoise.

1.1.3. Les investissements réalisés par les entreprises

Dans l'édition 2019 de son enquête auprès des chefs de direction canadiens, l'entreprise de conseil PricewaterhouseCoopers (PwC) a colligé plusieurs informations concernant le point de vue des dirigeants d'entreprises canadiens en ce qui a trait aux priorités déterminées par ceux-ci pour assurer la croissance de leur société. L'étude a notamment permis de constater que les chefs de direction jugent que le manque de certaines « compétences clés » au sein de leur organisation constitue le principal obstacle à la croissance (PwC, 2019, p. 6). En conséquence, les chefs de direction priorisent l'amélioration du maillage avec les établissements d'enseignement afin de permettre à leur main-d'œuvre d'acquérir les nouvelles compétences requises. PwC rappelle également que la transition numérique des travailleuses et des travailleurs requerra inévitablement l'apprentissage de nouveaux savoir-faire ainsi que l'émergence de nouvelles mentalités. C'est pourquoi l'entreprise de conseil suggère aux sociétés désirant accélérer leur tournant

numérique de miser sur le perfectionnement de leur personnel avec des « formations polyvalentes » qui aident les employées et les employés à s'approprier les compétences numériques qui sont requises afin de pouvoir travailler efficacement avec les outils technologiques nouvellement disponibles (PwC, 2019, p. 16).

L'acquisition des compétences nécessaires à l'augmentation de l'employabilité dans le secteur minier est au cœur des préoccupations de l'Institut national des mines. À l'image de l'INMQ, plusieurs entreprises privées encouragent également les établissements d'enseignement à favoriser le développement des compétences du 21^e siècle. C'est le cas de la Fondation RBC qui annonçait en février 2019 un investissement de 1,1 M\$ pour le programme *Actua's Future Skills* de l'organisme de codage à but non lucratif *Actua* (Betakit, 2019). Selon la présidente-directrice générale d'Actua, Jennifer Flanagan, ce programme vise à combler le déficit d'aptitudes nécessaires à l'entrée sur le marché du travail ainsi qu'à mieux positionner les finissantes et les finissants afin qu'ils deviennent des leaders en innovation. Encourager 1 000 étudiants de premier cycle dans les collèges et les universités canadiennes à acquérir des compétences relatives à l'employabilité, à la résolution de problèmes, à la prise de risque, à la littératie financière et aux compétences culturelles représente l'objectif que s'est donné le programme *Actua*. Au Québec, seulement deux établissements d'enseignement font partie de ce programme, soit l'Université du Québec à Trois-Rivières et l'École polytechnique de Montréal.

Selon la firme Deloitte, les transformations technologiques représentent un défi important pour les entreprises du secteur minier, car ces dernières devront « redéfinir » la nature du travail au sein de leur organisation. En effet, la mine intelligente de demain, qui sera numérique et automatisée, aura besoin de personnel possédant des compétences différentes de celles de la main-d'œuvre ayant travaillé par le passé au sein de mines recourant à des procédés traditionnels. Aujourd'hui, les sociétés intervenant dans le secteur minier cherchent en

effet de plus en plus une main-d'œuvre ayant « des compétences fondamentales diversifiées et une expertise technique pointue » (Deloitte, 2019, p. 46). Mais comment les entreprises peuvent-elles concrètement redéfinir le travail minier afin de s'assurer que le recrutement qu'elles effectuent leur permet d'avoir accès aux compétences dont elles auront besoin pour relever les multiples défis accompagnant le tournant vers l'industrie 4.0? Deloitte propose à cet égard une méthode en trois étapes qui consiste, premièrement, à établir les objectifs poursuivis par l'organisation afin d'en faire découler les tâches caractérisant chacun des postes de l'entreprise. Une fois ces tâches énumérées, il convient, selon Deloitte, de les analyser une par une afin de déterminer le risque qu'elles courent d'être transformées par la révolution technologique. Deuxièmement, la firme de conseil recommande que les entreprises de l'industrie minière esquissent le portrait de l'expérience qu'elles recherchent chez les travailleuses et les travailleurs appelés à travailler dans leurs rangs. Finalement, Deloitte soutient que les sociétés du secteur minier doivent réfléchir à l'environnement de travail dans lequel évolue leur main-d'œuvre afin de le modifier en fonction du style de relations de travail que souhaite développer l'entreprise à l'interne (2019). La firme Deloitte affirme que, grâce à cette stratégie, les organisations du secteur minier pourront développer leur conception de la main-d'œuvre du futur et ainsi définir les compétences qu'elles devront prioriser au moment du processus de dotation (2019, p. 48).

1.2. Le renouvellement des modes d'enseignement grâce aux nouvelles technologies

1.2.1. L'intelligence artificielle en éducation

Le développement rapide des technologies associées à l'intelligence artificielle (IA) affecte d'ores et déjà le travail d'une partie de la main-d'œuvre québécoise et tout indique que cette tendance

continuera de s'accélérer au cours des années à venir. Par conséquent, un nombre croissant d'établissements d'enseignement recherchent les approches optimales afin d'inclure des notions liées à l'IA dans les cursus scolaires offerts à leurs élèves. Face à l'importance de cet enjeu, le collège Dawson a décidé de se positionner comme un leader en la matière et d'investir 1 050 000 \$ dans le but de mettre en œuvre un plan stratégique de trois ans visant à faire de l'institution un centre d'excellence en IA pour la formation collégiale (Collège Dawson, 2019). Par cet investissement, le collège cherche donc à préparer ses étudiantes et ses étudiants à ce que sera le marché du travail de demain. Pour ce faire, le directeur général du collège, M. Richard Fillion, soutient que son établissement entend miser sur « une approche globale pour l'IA, couvrant notamment l'éthique de l'IA, qui rejoindra à terme la plupart des étudiants dans la plupart des programmes » (Collège Dawson, 2019, p. 2). Concrètement, les sommes consacrées permettront entre autres de former le corps enseignant, de concevoir du matériel pédagogique et de mettre sur pied des programmes d'études afin d'intégrer au maximum l'apprentissage de l'IA dans les différents parcours scolaires.

Une telle approche concertée, qui mise sur la mobilisation de l'ensemble des acteurs d'une institution scolaire autour de l'objectif d'intégrer de manière optimale l'apprentissage de l'IA, semble porteuse en ce qui a trait à la formation minière. En effet, la place toujours plus importante occupée par l'intelligence artificielle dans les outils technologiques innovants utilisés dans les mines rend de plus en plus nécessaire la mise en place de formations cohérentes destinées à sensibiliser et à éduquer les travailleuses et les travailleurs du secteur minier à propos de cette nouvelle réalité omniprésente.

1.2.2. La réalité virtuelle, augmentée ou mixte comme outil pédagogique

L'utilisation de la réalité virtuelle, augmentée ou mixte en éducation est déjà considérée depuis plusieurs années comme ayant un potentiel significatif en ce qui concerne l'amélioration des

apprentissages et de la rétention de l'information (Ninness, 2019). C'est pour cette raison que le secteur minier s'intéresse de façon croissante à ce type d'outil afin de continuer d'améliorer de manière constante les compétences de sa main-d'œuvre. Cette demande grandissante pour une éducation misant sur les outils de simulation a poussé l'Université Aachen (Allemagne) à créer de toutes pièces une mine virtuelle afin de permettre aux étudiantes et aux étudiants en génie minier qui fréquentent l'établissement de vivre de multiples expériences d'apprentissage basées sur des scénarios réalistes (Ninness, 2019). Selon les responsables du projet, la mise en place de ces scénarios de réalité virtuelle aura de nombreuses répercussions positives sur les apprentissages réalisés par les étudiantes et les étudiants, dont l'augmentation de la participation et de la motivation ainsi que l'amélioration des compétences en résolution de problème (Ninness, 2019).

Les scénarios de réalité virtuelle favoriseront également l'acquisition de connaissances et de savoir-faire de nature technique, car, comme le soulignent les concepteurs du projet, la possibilité d'évoluer dans une mine virtuelle permet de développer une compréhension significativement plus approfondie des différents processus industriels à l'œuvre sur un site minier par rapport à ce qu'il est habituellement possible de faire par l'entremise d'un apprentissage théorique traditionnel. Cela s'explique notamment par le fait que les étudiantes et les étudiants peuvent mettre en application les savoir-faire qu'ils ont acquis presque immédiatement après l'acquisition de ceux-ci (Ninness, 2019).

De plus, en ce qui concerne plus spécifiquement la formation continue, les responsables du projet jugent que la possibilité pour les apprenantes et les apprenants de se trouver plongés dans un environnement minier réaliste permettra de rendre les formations en santé et en sécurité plus immersives et donc de favoriser un apprentissage optimal des procédures d'urgence appropriées à chaque situation (Ninness, 2019). De son côté, le fondateur de E-Learning Industry, M. Christopher Pappas, soutient que les outils de réalité virtuelle se révèlent

encore plus efficaces pour soutenir l'apprentissage des apprenantes et des apprenants quand leur utilisation se fait avec l'aide d'un formateur qui guide l'élève dans l'acquisition de ses nouveaux savoir-faire (Pappas, 2019).

Le renouvellement des modes d'enseignement ainsi que des approches pédagogiques est d'autant plus important au Québec que le secteur minier attire difficilement la main-d'œuvre nécessaire pour constituer la relève (Guilbault et Rousseau, 2019). En effet, les programmes d'études professionnels, collégiaux et universitaires menant à l'exercice d'une profession dans le domaine minier connaissent une baisse d'inscription depuis les dernières années (INMQ, 2012-). Dans ces circonstances, l'utilisation des nouvelles technologies en éducation minière devient tout autant un moyen d'améliorer la qualité de l'offre de formation qu'une méthode permettant de recruter davantage d'étudiants pour cette filière.

Le programme de Technologie minérale du Cégep de Thetford a par exemple décidé de miser sur la réalité virtuelle afin de développer les savoir-faire en santé et en sécurité de ses étudiantes et de ses étudiants (Le Courrier Frontenac, 2019). À l'aide d'un scénario accessible via des lunettes de réalité virtuelle, les apprenantes et les apprenants doivent indiquer à un opérateur de camion où se situent les personnes à l'œuvre sur un chantier. Cet outil pédagogique apporte de nombreux bénéfices à l'enseignement. D'abord, le scénario de réalité virtuelle simulé est pratiquement impossible à faire vivre à des étudiantes ou des étudiants sans qu'ils se rendent sur un site minier. Grâce à la réalité virtuelle, ils peuvent accéder à des situations d'apprentissage auxquelles ils n'auraient normalement pas eu accès, et ce, depuis leur classe (Le Courrier Frontenac, 2019). De plus, puisque l'acquisition des connaissances mobilise plusieurs sens, les étudiantes et les étudiants retiennent ce qu'ils apprennent de manière optimale (Le Courrier Frontenac, 2019). Fort de ce premier succès, l'établissement d'enseignement entend poursuivre dans la voie de la réalité virtuelle et développer encore plus cette approche pédagogique dans le futur.

En plus de favoriser la réalisation d'apprentissages diversifiés, la réalité virtuelle peut également servir à des fins d'évaluation, comme l'a démontré l'utilisation de cette technologie lors de la onzième compétition internationale de sauvetage minier s'étant déroulée à Ekaterinbourg, en Russie, du 22 au 29 septembre 2018 (CNESST, 2019). Cette compétition divisée en sept épreuves opposant vingt-quatre équipes provenant du monde entier a en effet introduit pour la première fois dans son édition de 2018 la réalité virtuelle. Le scénario de réalité virtuelle, qui simulait un sauvetage minier, a permis aux personnes rassemblées de mesurer pleinement à quel point cette technologie est porteuse sur le plan de la formation. Jean Proulx, chef du Service de sauvetage de la CNESST, qui était présent sur place, soutient d'ailleurs qu'il est désormais nécessaire de « considérer l'utilité de la réalité virtuelle pour la nouvelle génération de mineurs » (CNESST, 2019).

1.2.3. Le potentiel pédagogique des outils de simulation

L'apprentissage par simulation offre des perspectives pédagogiques intéressantes en ce qui a trait à la formation de la main-d'œuvre minière de demain. Dans le cadre de ses travaux antérieurs, l'Institut national des mines a d'ailleurs documenté les multiples avantages associés à l'utilisation des simulateurs d'engins miniers dans les programmes d'études menant à une carrière dans le secteur minier. Parmi ces avantages, il est possible de mentionner la familiarisation que développe l'apprenante ou l'apprenant à l'égard de la conduite d'engins miniers sur simulateur, une conduite qui est très semblable à celle réalisée sur les équipements déployés en milieu de travail afin d'effectuer des opérations télécommandées avec des engins miniers contrôlés à distance (INMQ, 2016). Outre cette meilleure prise en main des engins téléopérés, la formation sur simulateur d'engins miniers permet également de favoriser le développement des compétences en santé et en sécurité ainsi que d'améliorer la standardisation des pratiques des futurs employés et employés du secteur minier (INMQ, 2016).

Les nombreux avantages liés à l'utilisation des simulateurs afin de soutenir l'enseignement dans les programmes d'études menant à un métier ou une profession dans le domaine minier poussent de plus en plus d'établissements publics d'enseignement à se doter de ces outils pédagogiques innovants. C'est notamment le cas du Centre de formation professionnelle Val-d'Or qui a procédé à l'acquisition d'un simulateur d'engins miniers de haute fidélité (Deshaies, 2019). Ce simulateur, qui est doté de trois modules qui permettent respectivement de simuler une chargeuse-navette, un tombereau et une boulonneuse, servira tout autant à former les élèves du Centre de formation professionnelle que le personnel des entreprises minières actives en Abitibi-Témiscamingue. De plus, puisque le simulateur analyse la manière dont les utilisateurs conduisent, il est possible de faire des rétroactions précises sur les points à améliorer pour chacune des apprenantes et chacun des apprenants (Deshaies, 2019). Cette dernière fonctionnalité est d'ailleurs particulièrement utile en formation continue, car elle permet d'améliorer la productivité et les compétences de santé et de sécurité de la main-d'œuvre actuellement à l'emploi.

1.2.4. Les plateformes éducatives en ligne

Parmi les technologies émergentes qui favorisent le développement d'approches innovantes en enseignement, il est important de prendre en compte celles qui sont moins spectaculaires, mais qui peuvent être tout autant utiles aux apprenantes et aux apprenants. C'est notamment le cas des plateformes de cours en ligne qui permettent d'avoir accès à des contenus pédagogiques numériques et que les élèves peuvent consulter au moment ainsi qu'à l'endroit qui leur convient (Turgeon et Van Drom, 2019).

Aujourd'hui, de plus en plus d'établissements d'enseignement saisissent le potentiel immense de cette technologie et se dotent de plateformes d'apprentissage en ligne. C'est notamment le cas de l'Université virtuelle du Sénégal (UVS) qui propose en ligne une grande variété de cours depuis 2013. Le fonctionnement de cet établissement est plutôt

souple, car certains enseignements peuvent être offerts en format « présentiel » si le besoin s'en fait sentir (Mol, 2019). De plus, la plateforme en ligne sur laquelle se trouve le matériel pédagogique soutenant les apprentissages offre aux personnes étudiantes un accès aisé aux multiples services de l'institution. Afin de faciliter la formation, des « espaces numériques ouverts (ENO) », dans lesquels les étudiantes et les étudiants peuvent se rendre afin d'accéder aux ressources pédagogiques dont ils ont besoin, sont progressivement ouverts à travers tout le territoire sénégalais (Mol, 2019). La croissance constante de la clientèle étudiante, qui permet aujourd'hui à l'institution d'avoir plus de 19 000 étudiantes et étudiants inscrits en formation initiale ou continue, contribue à faire de l'UVS un acteur de premier plan dans le monde l'enseignement universitaire sénégalais (Mol, 2019). La réussite de cette formule innovante de formation démontre donc que les possibilités offertes par l'apprentissage à distance sont importantes et que ce type de formation constitue une approche à favoriser pour la conception des programmes d'études du futur.

1.3. L'accessibilité de l'éducation au Québec et à l'international

1.3.1. L'éducation en territoire nordique

Le ministre de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec, M. Jonathan Julien, a révélé que le gouvernement du Québec a l'intention de continuer à miser sur le développement nordique, et ce, en mettant l'accent sur l'occupation du territoire plutôt que sur le navettage (Guilbault et Rousseau, 2019). D'ailleurs, ce souci d'impliquer au maximum les communautés locales dans les activités d'exploitation des ressources minérales nordiques est également partagé par le gouvernement du Canada. En effet, le Plan canadien pour les minéraux et les métaux, qui a été dévoilé en mars 2019, fait de la promotion de la participation des peuples

autochtones l'une de ses six orientations stratégiques (Ressources naturelles Canada, 2019). Ce Plan élabore une vision, des principes ainsi que des orientations stratégiques que les différents ordres de gouvernement, le secteur minier et les acteurs concernés par l'industrie minière peuvent instaurer dans le but d'améliorer la réussite de la filière minière canadienne. Il constitue depuis l'adoption de sa première version en 1994 le point de repère du gouvernement du Canada en ce qui concerne le développement minier durable (Ressources naturelles Canada, 2019). Concrètement, le Plan prévoit que le gouvernement canadien favorisera la participation des communautés autochtones à l'activité minière grâce à une augmentation du nombre d'ententes liant les entreprises à la population autochtone locale, à une hausse de l'activité économique autochtone soutenue par des achats des compagnies minières auprès des entrepreneurs autochtones et à la mise sur pied de programmes de formation intégrés menant à l'exercice d'un emploi dans le secteur minier. En ce qui a trait plus spécifiquement à ce dernier point, le Plan canadien pour les minéraux et les métaux estime que « la formation pour acquérir des compétences » menant à l'occupation d'une profession minière représente l'une des principales retombées que les peuples autochtones peuvent retirer des partenariats noués avec l'industrie minière (Ressources naturelles Canada, 2019).

1.3.2. L'éducation dans les pays francophones

Le 28 février 2019, le directeur général de l'Économie numérique et de la Poste du Bénin, M. Geoffroy Bonou, a annoncé la mise sur pied du projet GO-Lab Goes Africa (aussi connu sous le nom de projet « GO-GA »). Ce projet pilote innovant vise le développement des compétences numériques des enseignantes et des enseignants du Bénin, du Kenya ainsi que du Nigéria (Hounongbe, 2019). Plus spécifiquement, le « GO-GA » fournit au personnel enseignant des applications d'apprentissage, des espaces d'apprentissage actifs ainsi qu'un référentiel de laboratoires en ligne. Grâce à ces différents outils, les enseignants participant au projet pourront améliorer leurs savoir-faire en pédagogie

ainsi qu'en production de contenus numériques. Ayant comme but de joindre 1 000 enseignantes et enseignants, plusieurs centaines d'écoles et plus de 64 000 élèves, ce projet ambitieux pourrait à terme favoriser « l'adaptation d'environnements d'apprentissage plus riches mettant l'accent sur les contenus et outils numériques innovants et le développement des capacités des enseignants en Afrique » (Hounongbe, 2019).

L'accessibilité à une éducation où les technologies de l'information et de la communication (TIC) sont mises à profit afin de soutenir des approches pédagogiques innovantes constitue une priorité pour le gouvernement sénégalais. En effet, Samba Guissé, le conseiller en TIC du ministère sénégalais de l'Éducation nationale, a déclaré qu'une éducation de qualité passe désormais « nécessairement et inévitablement » par un recours aux TIC (Diallo, 2019). Dans l'optique de favoriser l'accroissement de l'utilisation des technologies de l'information et de la communication en éducation, le ministère de l'Éducation nationale compte d'ailleurs investir dans l'achat d'équipements et de ressources numériques et l'élargissement de l'accès à Internet. Afin que l'intégration de ces outils numériques au sein de l'enseignement quotidien se réalise de manière optimale, le ministère de l'Éducation nationale du Sénégal compte former le personnel enseignant, mais également les élèves, à l'usage des différents outils numériques qui seront introduits (Diallo, 2019).

1.4. Le développement de programmes de formation et de partenariats dans le secteur minier

Au Québec, des efforts considérables sont consentis afin d'attirer davantage de jeunes dans une formation menant au secteur minier. Le domaine des sciences, de la technologie, de l'ingénierie et des mathématiques (STIM) tente en effet par tous les moyens de réaliser du recrutement. Myriam Daguzan Bernier, journaliste à la *Gazette des femmes*, a proposé des actions pour inciter les filles et les femmes à s'intéresser aux STIM (Daguzan Bernier,

2019). Elle suggère notamment d'intéresser les filles dès l'âge primaire à ce domaine, de présenter des modèles féminins positifs, de faire tomber les stéréotypes et de créer des opportunités d'apprentissage ainsi que des lieux d'exploration ouverts. L'Institut national des mines encourage ces initiatives à l'intérieur de ses projets pilotes et de ses publications (INMQ, 2019a). D'ailleurs, le défi Zoom minier, orchestré par le Comité sectoriel de main-d'œuvre de l'industrie des mines (CSMO Mines), propose chaque année aux écoles secondaires de découvrir l'importance des minéraux dans la vie de tous les jours et d'acquérir des connaissances à ce sujet. De plus, pour une première fois cette année, l'école secondaire d'Iberville, située en Abitibi-Témiscamingue (c'est-à-dire l'une des trois principales régions minières du Québec), s'est classée pour l'événement mondial du Festival de robotique de Montréal. Cette initiative a été encouragée par l'Institut national des mines qui désire ainsi favoriser le développement des compétences nécessaires à la réussite du secteur minier québécois (INMQ, 2019b).

À l'heure actuelle, des établissements d'enseignement cherchent à se spécialiser en formation minière afin de répondre de manière optimale aux besoins de la mine intelligente. C'est également le cas de certaines villes, telles que Sudbury en Ontario, qui veulent contribuer à la formation de la main-d'œuvre minière. Selon la journaliste Karen McKinley du Sudbury.com (McKinley, 2019), la Ville a manifesté publiquement ce désir lors d'une conférence offerte par Partners in Achieving Change Excellence s'étant déroulée en janvier 2019. La Ville de Sudbury a profité de l'occasion afin de clamer sa volonté de devenir un lieu privilégié pour la formation et l'exploitation minières à venir. D'ailleurs, durant cette conférence, les participantes et les participants de l'événement ont pu en apprendre davantage sur l'innovation pédagogique et technologique dans le secteur minier grâce aux allocutions des panélistes et des conférenciers.

1.4.1. La mise sur pied de formations 4.0 grâce à la réalisation de partenariats

Le développement particulièrement rapide des nouvelles technologies a pour effet que les établissements d'enseignement ont parfois de la difficulté à maintenir leur formation à jour par rapport aux besoins formulés par l'industrie minière. Pour faire face au défi majeur que représente l'harmonisation entre la formation donnée à la main-d'œuvre et la formation dont celle-ci a besoin pour travailler de manière optimale dans le secteur minier à l'heure de l'industrie 4.0, la réalisation de partenariats entre l'entreprise privée et le système d'éducation apparaît comme une voie porteuse d'avenir. C'est à tout le moins ce que semble indiquer l'implantation réussie d'une formation en automatisation en Australie dans l'État d'Australie-Occidentale. L'entreprise Rio Tinto, qui avait d'importants besoins de formation en automatisation, a travaillé en collaboration avec le gouvernement d'Australie-Occidentale et le TAFE¹ South Metropolitan afin de mettre en place une formation répondant aux besoins de son personnel (Rio Tinto, 2019). Accrédité par le *Training Accreditation Council*, ce nouveau programme d'études permettra à la main-d'œuvre minière australienne d'accéder aux savoir-faire ainsi qu'aux connaissances requises pour pouvoir évoluer efficacement dans les mines intelligentes qui émergent en Australie sous l'influence des innovations numériques.

1.4.2. La formation continue à l'heure de l'industrie 4.0

Aujourd'hui, les changements technologiques fréquents rendent de plus en plus indispensable la réalisation d'apprentissages tout au long de la vie. En effet, s'ils désirent maintenir leur niveau d'employabilité et d'efficacité dans cet environnement changeant, les travailleuses et les travailleurs doivent s'astreindre à mener à bien des activités de formation et de perfectionnement sur une base régulière. Cependant, la mise sur pied d'un programme de

¹ En Australie, les « TAFE » sont des établissements d'enseignement offrant des formations techniques ainsi que des formations continues.

formation continue ou encore la réalisation ponctuelle de journées de perfectionnement représente une dépense importante pour les entreprises. Pour obtenir le meilleur retour sur investissement possible, les sociétés du secteur minier doivent donc s'assurer que les formations offertes à leur personnel seront non seulement bénéfiques du point de vue du développement des compétences de la main-d'œuvre, mais également en ce qui concerne l'atteinte des objectifs poursuivis par l'entreprise (Australasian Mine Safety Journal, 2019). Une fois que le contenu d'une formation est bien aligné sur les orientations stratégiques mises de l'avant par l'organisation, il convient par la suite de s'assurer que la formation sera dynamique et qu'elle mettra à profit les approches pédagogiques les plus récentes afin de favoriser au maximum la rétention d'informations de la part des apprenantes et des apprenants. Finalement, une fois la formation complétée, le personnel devra mettre en pratique les nouveaux savoir-faire acquis au plus tôt dans le cadre de son travail de tous les jours, et ce, parce que la main-d'œuvre oublie rapidement les nouvelles connaissances acquises si celles-ci ne sont pas mises en pratique au plus tôt (Australasian Mine Safety Journal, 2019).

2

Les nouvelles tendances technologiques susceptibles d'influencer les compétences nécessaires pour exercer les métiers et les professions du secteur minier

L'innovation dans le secteur minier et la prise de risques qui y est associée figurent parmi les principaux enjeux que doivent relever les entreprises minières. En effet, bien que les sociétés du secteur minier soient conscientes que la transition numérique constitue un impératif incontournable, la manière optimale de mettre en œuvre cette dernière reste encore incertaine pour plusieurs acteurs du milieu. Le ministère de l'Économie et de l'Innovation rappelle d'ailleurs que, selon un sondage mené aux États-Unis, « 70 % des initiatives de transformation numérique [...] ne contribuent pas à l'atteinte des objectifs poursuivis » (MEI, 2019c). Dès lors, comment implanter des cultures organisationnelles innovantes, des technologies nouvelles et assurer une transition numérique efficace et efficiente? Lors de la conférence *Beyond Digital Transformation* proposée par Partners in Achieving Change Excellence, des panélistes du secteur minier de l'Ontario ont mené des discussions sur l'innovation dans le secteur minier et l'importance à accorder à la formation du personnel. Selon la journaliste Karen McKinley (2019) de Sudbury.com, l'un des panélistes, M. John O'Shaughnessy, directeur de la mine Creighton de Vale, a mentionné que les dirigeants doivent convaincre les actionnaires d'accepter l'innovation et les risques associés au changement. Il a affirmé du même souffle que les dirigeants doivent également être davantage à l'écoute de la main-d'œuvre, car ce sont les employées et les employés qui travaillent sur le terrain qui connaissent le mieux où l'innovation doit être implantée afin de résoudre les problèmes rencontrés.

2.1. La modélisation 3D

La modélisation 3D est une technologie de plus en plus utilisée dans les programmes informatiques servant à modéliser des zones souterraines dans le cadre des travaux d'exploration effectués en amont de la construction des complexes miniers. Parmi les nombreux avantages de cette technologie, il est possible de mentionner le fait que la modélisation peut améliorer la santé et la sécurité de la main-d'œuvre chargée de réaliser le travail d'exploration, car les programmes de modélisation 3D sont capables de

recréer des zones souterraines sans qu'une collecte de données sur le terrain ait été effectuée par des humains, et ce, notamment grâce à l'utilisation de drones (Casey, 2019).

De plus, la précision sans cesse croissante de ces programmes informatiques permet désormais de modéliser de façon détaillée des espaces autrefois difficilement modélisables, car peu accessibles (Casey, 2019). Le perfectionnement constant des technologies utilisées par la main-d'œuvre travaillant en exploration minière bouleversera donc au cours des années à venir la nature du travail en exploration. La formation initiale et continue destinée aux employées et aux employés de ce secteur devra donc miser sur l'acquisition de compétences numériques suffisamment avancées pour leur permettre de travailler de façon optimale avec des logiciels toujours plus performants.

2.2. Les données seront-elles au 21^e siècle ce que fut le pétrole au 20^e siècle ?

De nos jours, les données numériques sont de plus en plus mises à profit dans les différents types d'activités industrielles. Cette réalité amène M^{me} Tracy Dallaire, directrice principale de l'intégration des technologies au Mohawk College (Ontario), à soutenir que « les données sont le nouveau pétrole » (Collèges et instituts Canada, 2019, p. 17). C'est pour cette raison que son établissement d'enseignement a fait de l'intégration des connaissances numériques un incontournable dans l'ensemble de ses programmes d'études et que des champs de spécialisation reliés aux données, telles la cybersécurité, l'analyse prédictive, l'intelligence artificielle et les chaînes de blocs, sont implantés dans le plus grand nombre de cursus possible. Toujours selon M^{me} Dallaire, il faut considérer la technologie comme un « écosystème », c'est-à-dire qu'au lieu d'approcher chaque application technologique en vase clos, il faut plutôt considérer les nouvelles technologies émergentes comme un « ensemble fonctionnel » (Collèges et instituts Canada, 2019, p. 18).

Cette conception holistique des nouvelles technologies, qui se répercute dans l'enseignement du Mohawk College, permet de faire des diplômées et des diplômés de cet établissement des personnes particulièrement recherchées sur le marché du travail en raison de leur grande polyvalence. Bref, puisque les données sont au cœur de la quatrième révolution industrielle, le Mohawk College entend faire en sorte que ses apprenantes et ses apprenants soient des experts en données numériques grâce à un enseignement superposant une approche théorico-pratique à l'acquisition d'un savoir-faire de pointe en technologies numériques innovantes (Collèges et instituts Canada, 2019, p. 18).

2.3. Le réseau 5G

La mise en place du réseau 5G au cours des prochaines années aura une incidence majeure sur le monde industriel et plus particulièrement sur l'industrie minière. En effet, alors que la majorité des observateurs concentrent leur attention sur le fait que le réseau 5G permettra une vitesse de téléchargement bonifiée, peu de personnes abordent le fait que cette nouvelle technologie rendra également possible la réalisation d'une localisation précise dans les espaces clos et le développement de l'Internet des objets grâce à une connexion améliorée pour les équipements connectés à Internet (Henderson, 2019). Le réseau 5G étant en voie de devenir l'une des technologies ayant la plus grande influence sur l'innovation minière, la prise de conscience des applications possibles de cette technologie apparaît comme une nécessité tant pour les étudiantes et les étudiants qui se destinent à travailler dans le domaine minier que pour la main-d'œuvre actuelle du secteur minier (Henderson, 2019).

2.4. La contribution des drones à l'amélioration de l'exploration minière

Les drones constituent une technologie que le secteur minier commence à s'approprier de plus en plus. En effet, selon l'entreprise Kespry, qui

produit des drones industriels destinés à la collecte de différents types de données sur le terrain, les drones représentent désormais l'un des outils les plus précis afin de réaliser des collectes de données (Casey, 2019).

Quant à elle, l'entreprise RME Geomatics, qui se spécialise dans les technologies de levées aériennes, a révélé en mars 2019 avoir produit un tout nouveau type de drone grâce au soutien du Programme d'innovation Construire au Canada (PICC). Ce nouvel aéronef, nommé RenegadeM, possède la forme d'un petit hélicoptère et sa particularité se situe dans le fait qu'il est doté d'un système aérien sans pilote, aussi connu sous le nom de *Unmanned aircraft system* (UAS). Cette fonctionnalité permet à l'appareil d'être contrôlé de façon manuelle, de se déplacer de manière semi-autonome en se reposant sur un pilote automatique, mais également de voler de façon totalement autonome grâce à un système de navigation utilisant des points de cheminement (Canadian Mining Journal, 2019). Le drone transporte à son bord une caméra RVB ainsi qu'un magnétomètre au césium. Ce dernier équipement étant fixé de manière statique à l'appareil, le Renegade-M fournit des données beaucoup plus précises que les drones actuellement sur le marché sur lesquels les magnétomètres sont généralement moins bien fixés (Canadian Mining Journal, 2019). Le niveau de perfectionnement grandissant des drones disponibles sur le marché soulève toutefois plusieurs enjeux relativement à la formation continue du personnel appelé à manœuvrer ces appareils qui ne cessent d'évoluer.

2.5. Les véhicules téléopérés et autonomes

L'utilisation de véhicules autonomes représente une avenue prometteuse pour le secteur minier de demain. En effet, ces véhicules peuvent apporter des bénéfices non négligeables notamment en ce qui concerne la productivité ainsi que la santé et la sécurité. Plusieurs compagnies œuvrant dans le secteur minier ont donc décidé de miser sur cette technologie innovante. Parmi celles-ci se

trouve l'entreprise Hecla Québec qui a déployé deux camions autonomes dans sa mine Casa Berardi située dans le Nord-du-Québec (Gemme, 2019). Ces camions circulent de manière autonome sous terre. Ils se font charger, puis vont se décharger à l'endroit approprié sans intervention humaine. Un contrôleur supervise cependant les camions depuis la surface afin de pouvoir réagir advenant une situation d'urgence. Selon le vice-président et directeur général de l'entreprise, M. Alain Grenier, « le système fonctionne à merveille », ce qui témoigne bien du fait que les véhicules autonomes reposent sur une technologie suffisamment mature afin d'être pleinement efficaces d'un point de vue opérationnel (Gemme, 2019, p. 2).

De son côté, l'entreprise BHP a elle aussi décidé de miser sur les véhicules autonomes dans sa mine de Jumblebar située en Australie. La compagnie minière a en effet pris la décision de mettre en place une flotte de véhicules complètement autonomes afin de desservir son site minier. Tout indique que ce choix s'est avéré opportun, car depuis que les véhicules autonomes sont à l'œuvre dans cette mine, l'entreprise soutient avoir augmenté son efficacité opérationnelle de 20 % (Casey, 2019).

En raison du nombre toujours plus important de projets industriels canadiens qui misent sur les véhicules autonomes, le Canada pourrait bien devenir un leader mondial dans ce domaine au cours des prochaines années (Schmidt, 2019). C'est du moins ce que croit Mike Brown, vice-président exécutif de l'innovation et des technologies de pointe de l'équipementier SMS Equipment. Selon lui, la forte demande des entreprises minières canadiennes pour des véhicules autonomes contribuera à l'augmentation des investissements dans ce secteur stratégique, ce qui favorisera l'émergence d'une expertise nationale dans ce domaine. Le fait que son entreprise ait procédé au cours du printemps 2019 au déploiement du plus grand camion autonome de marque Komatsu au monde sur un site pétrolier canadien témoigne d'ailleurs de l'importance qu'accorde le secteur industriel canadien à cette technologie (Schmidt, 2019).

2.6. L'importance croissante de la cybersécurité

Avec l'implantation toujours croissante d'équipements connectés produisant des données dans les processus miniers, la nécessité de protéger les données n'a jamais été aussi importante pour le secteur minier. En effet, les entreprises du secteur minier font face à plusieurs défis afin de sécuriser leurs données. Il est notamment possible de souligner à cet égard la vulnérabilité découlant du fait que les membres du personnel des compagnies minières ont trop souvent tendance à utiliser leur propre appareil numérique pour se connecter au réseau de leur entreprise au lieu d'utiliser les appareils corporatifs sécurisés qui sont destinés à cette fin (Casey, 2019). Selon la société de conseil McKinsey & Company, l'industrie minière fait face à quatre défis majeurs en ce qui a trait à la cybersécurité. Premièrement, plusieurs organisations développent des infrastructures numériques, puis entreprennent de mettre en place les dispositions de cybersécurité qui sont nécessaires afin de protéger ces dernières. Cette approche où l'introduction de mesures de cybersécurité se fait en aval de la mise en place des nouvelles technologies plutôt qu'en amont pose un problème puisque les solutions de cybersécurité instaurées au moment de la mise en place d'un nouvel outil technologique sont en règle générale plus efficaces que celles appliquées a posteriori (McKinsey & Company, 2019). Deuxièmement, la coordination de la cybersécurité au sein d'entreprises qui sont souvent présentes sur plusieurs continents et qui doivent donc protéger des réseaux informatiques et opérationnels dispersés pose un autre défi important en ce qui concerne la protection des réseaux décentralisés (McKinsey & Company, 2019). Troisièmement, les technologies opérationnelles, c'est-à-dire les technologies qui servent à la réalisation des opérations industrielles, sont de plus en plus connectées aux réseaux informatiques. Cette réalité pose des défis de taille pour la protection des données des entreprises œuvrant dans le secteur minier, car de nombreux outils servant à protéger les réseaux informatiques sont inefficaces pour protéger les technologies opérationnelles (McKinsey & Company, 2019).

Finalement, un risque de grande ampleur pour les sociétés minières se trouve dans le fait que les fabricants d'équipements et les fournisseurs de services ont généralement besoin d'un accès aux réseaux sur lesquels fonctionnent les technologies opérationnelles afin de réaliser la maintenance de celles-ci. Cette accessibilité de la part d'un tiers au réseau opérationnel d'une organisation soulève donc des enjeux quant à l'intégrité de ce réseau, et ce, d'autant plus que les contrats qui lient les fournisseurs de biens et services aux sociétés minières ne comprennent encore trop souvent aucune clause concernant la cybersécurité (McKinsey & Company, 2019).

Selon McKinsey & Company, l'industrie minière ne pourra pas relever efficacement ces quatre grands défis en se fiant uniquement aux diverses technologies de cybersécurité, car le « facteur humain » constitue un autre élément indispensable dans la mise en place de mesures de cybersécurité effectives. La firme de conseil recommande donc aux entreprises du secteur minier de se doter d'équipes spécialisées en cybersécurité qui sont aptes à travailler tant avec les technologies informatiques que les technologies opérationnelles, et ce, afin d'optimiser la polyvalence des organisations face aux cybermenaces (McKinsey & Company, 2019).

2.7. Les équipements améliorant la sécurité de la main-d'œuvre

Dans un souci d'amélioration constante de la santé et de la sécurité des membres de son personnel, la mine Casa Berardi (Hecla Québec) entend mettre en place au cours des prochains mois un système de puces intelligentes qui permettra de faire en sorte que certains équipements ne pourront être démarrés que par les personnes qui possèdent les qualifications requises afin de faire fonctionner ceux-ci (Gemme, 2019). Concrètement, grâce à ce système innovant, seuls les employés et les employés qui sont formés pour utiliser de façon sécuritaire un équipement pourront manœuvrer celui-ci, ce qui contribuera à améliorer la sécurité sur les lieux de travail.

2.8. Les initiatives en énergie renouvelable ainsi qu'en économie énergétique rendues possibles grâce aux nouvelles technologies

En Australie, une centrale solaire composée de 20 000 panneaux soutenue par un système de batteries permettra d'alimenter un des plus grands *microgrids* (microréseau électrique et intelligent) au monde. Selon Aggreko (2019), cette source d'énergie renouvelable permettra la gestion des opérations de traitement de minerai de la mine d'or Granny Smith de la société Gold Fields dès la fin de l'année 2019. L'entreprise prévoit ainsi réduire sa consommation de carburant de 10 % à 13 %, soit l'équivalent de 2 000 voitures sur la route, selon son dirigeant, M. George Whyte.

L'installation et la maintenance d'une telle centrale solaire comportent toutefois de nombreux défis puisque la main-d'œuvre qui sera appelée à travailler sur ce projet devra posséder un large éventail de compétences numériques. D'ailleurs, selon M. Kash Sirinanda, de la société de conseil Elite Futurists, l'un des principaux éléments qui risque de compromettre le tournant des mines vers le numérique et le développement durable est le manque de compétence et d'expertise de la main-d'œuvre minière dans ces domaines (Brightmore, 2019).

En plus du recours aux énergies renouvelables, une autre tendance technologique caractérisant actuellement le secteur minier est la réalisation d'économies énergétiques toujours plus substantielles. Par exemple, la mine aurifère Casa Berardi (Hecla Québec), située dans le Nord-du-Québec, a mis en place un système de ventilation sur demande qui permet de réduire significativement la consommation d'énergie liée à la ventilation souterraine (Gemme, 2019). En effet, en ne fournissant de l'air frais qu'aux secteurs de la mine où des travailleuses et des travailleurs sont à l'œuvre, ce système de ventilation utilise beaucoup moins d'énergie, ce qui apporte

des bénéfices indéniables tant au point de vue financier qu'environnemental.

2.9. Le stockage infonuagique des données

La connectivité croissante des équipements miniers, qui va de pair avec l'intérêt grandissant que porte l'industrie à l'Internet des objets (IdO), a pour effet que de plus en plus de données numériques sont générées. Cependant, une fois qu'elles sont produites, ces données doivent être stockées. Ce stockage peut se faire dans un serveur désigné à cette fin, mais de plus en plus d'entreprises optent pour un stockage dans un serveur infonuagique (Cloud). Le recours à un serveur infonuagique comporte en effet des avantages non négligeables, par exemple la possibilité de partager ces données entre plusieurs complexes miniers appartenant à une même compagnie afin de favoriser la collaboration entre chacune des composantes de l'entreprise (Casey, 2019). C'est notamment l'option qu'a privilégiée l'entreprise Anglo American en mettant sur pied une plateforme infonuagique accessible à plus de 10 000 employés et employées. Celle-ci regroupe de nombreuses informations et données de l'entreprise et son utilisation permet de simplifier la réalisation de projets collaboratifs (Casey, 2019).

3

**Le développement du capital humain
au sein des organisations réalisant
leur virage numérique**

Selon M. Aaron Cosbey de l'Intergovernmental Forum on Mining, Minerals, Metals and Sustainable Development, les années à venir seront marquées par un recours grandissant à l'automatisation et à la collecte de données numériques dans le secteur minier. Pour faire face à cette accélération rapide de l'implantation des nouvelles technologies dans les activités minières, il soutient qu'un nombre croissant de travailleuses et de travailleurs « qualifiés afin de faire face aux besoins en termes de développement et de maintien de systèmes logiciels et de TI sophistiqués » seront requis dans l'industrie minière (Keating, 2019, p. 2). De son côté, Andrew Swart, dirigeant du département des mines et métaux chez Deloitte Canada, affirme qu'en plus d'améliorer ses compétences numériques, la main-d'œuvre minière devra plus généralement faire progresser son degré de polyvalence afin de développer des « compétences interfonctionnelles » complémentaires aux « pures compétences techniques » qui ne suffisent plus en cette ère industrielle 4.0 (Keating, 2019, p. 2).

Le rôle crucial que les travailleuses et les travailleurs sont appelés à jouer dans le cadre de la quatrième révolution industrielle pousse plusieurs entreprises du secteur minier à mettre en place des mesures qui visent non seulement à s'assurer que leur main-d'œuvre possède les qualifications requises afin de travailler efficacement avec les outils numériques caractérisant le marché du travail à l'ère 4.0, mais également à développer la polyvalence des compétences des équipes de travail. C'est notamment le cas de l'entreprise australienne Mineprovisé, une société de conseil spécialisée en traitement du minerai, qui met en œuvre depuis plusieurs années une stratégie de perfectionnement continu des compétences des membres de son personnel (Zhou, 2019a). En s'assurant de développer chez chaque travailleuse et chez chaque travailleur le plus large éventail de savoir-faire possible, l'entreprise augmente à la fois l'expertise de sa main-d'œuvre tout en améliorant considérablement sa polyvalence, puisque si une employée ou un employé se trouve momentanément dans l'incapacité d'effectuer une tâche, plusieurs autres membres du personnel peuvent prendre sa place sans délai. Comme le

souligne M. Tony Sutton, le directeur général de l'organisation, Mineprovisé peut compter sur une main-d'œuvre aux compétences si polyvalentes, diversifiées et complémentaires qu'un directeur de service pourrait s'absenter pendant deux mois sans problème puisqu'une ou plusieurs personnes seraient capables sans difficulté de mener à bien ses multiples dossiers (Zhou, 2019a).

L'entreprise BHP a elle aussi fait de sa transition numérique et du développement de son capital humain une priorité au sein de sa stratégie de développement organisationnel. Dans l'optique de préparer sa main-d'œuvre australienne aux changements apportés au monde du travail par les diverses transformations technologiques qui émergent à l'heure actuelle, BHP a établi des partenariats avec des établissements d'enseignement et des États de l'Australie afin d'offrir des formations en automatisation qui répondent aux besoins grandissants de l'entreprise dans ce domaine (Austmine Limited, 2019). En plus de miser sur l'expertise des institutions d'enseignement afin de mettre à jour les compétences de son personnel, la société minière compte également sur des programmes de formation continue mis en place à l'interne afin que les employées et les employés demeurent le plus performant possible. C'est ainsi que plus de 400 conductrices et conducteurs de véhicules ont été formés pour pouvoir occuper de nouveaux postes dans l'entreprise après l'implantation de technologies de conduite autonome dans une partie de la flotte de véhicules de BHP (Austmine Limited, 2019). Bref, comme le souligne Rag Udd, le vice-président à la transformation technologique globale de la société minière, le paradoxe dans la transformation technologique que connaît actuellement l'industrie minière découle du fait que « ce ne sont pas les technologies qui sont centrales dans la transformation numérique, mais bien ce que les gens décident d'en faire² » (Austmine Limited, 2019, p. 1).

² Traduction libre de la phrase suivante : « [...] technology doesn't decide who wins, people do ».

3.1. Embaucher sur la base des compétences

L'automatisation amènera des travailleuses et des travailleurs, souvent parmi les moins éduqués, à changer de secteur d'emploi pour aller travailler dans d'autres secteurs moins automatisés. Selon le journaliste Jed Kolko de la *Harvard Business Review* (MEI, 2019b), miser davantage sur les compétences des candidats lors de l'embauche plutôt que sur leurs expériences antérieures pourrait favoriser l'adaptation des processus d'embauche à la réalité du travail à l'ère de l'automatisation. Cela permettrait ainsi à l'employeur de s'assurer des capacités futures de sa main-d'œuvre et de l'employabilité de cette dernière.

4

Les pistes d'action qui seront privilégiées afin d'orienter les prochaines activités de veille de l'Institut national des mines

Ce rapport portant sur les tendances générales en formation minière en 2019 est porteur de plusieurs constats qui pourront être mis à profit dans le futur afin de mieux orienter la veille informationnelle de l'Institut national des mines.

Parmi les nombreux éléments qui émergent de cette veille, certains apparaissent comme étant plus cruciaux que d'autres, et ce, notamment en raison du fait qu'ils ont été mentionnés à de nombreuses reprises par plusieurs sources distinctes. C'est le cas du concept de « polyvalence » qui est ressorti fréquemment au sein des textes consultés. Les auteurs et les auteurs consultés font en effet état de manière récurrente des compétences multiples que la main-d'œuvre minière devra posséder pour travailler dans les mines à l'ère de l'industrie 4.0.

L'importance de développer les savoir-faire du personnel du secteur minier dans les domaines technologiques de pointe que sont entre autres l'intelligence artificielle, la cybersécurité et l'analyse ainsi que la gestion des données représente également un constat incontournable de ce rapport.

Enfin, le rôle central dans le maintien d'une offre de formation d'avant-garde que sont appelés à jouer les partenariats liant les différentes parties prenantes concernées par la formation minière constitue un élément qui se retrouve en filigrane d'une quantité importante d'articles examinés.

Développer la polyvalence des compétences de la main-d'œuvre minière constitue donc la piste d'action majeure formulée afin de s'assurer que le personnel peut relever avec succès les défis accompagnant la transformation technologique du secteur minier.

En résumé, trois pistes d'action sont ciblées dans le cadre cette veille :

1. Conceptualiser un référentiel de compétences diversifiées incluant tout autant des compétences techniques qu'interpersonnelles;

2. Développer les connaissances à propos des formations initiales et continues en intelligence artificielle, en automatisation, en analyse de données, en analyse prédictive ainsi qu'en cybersécurité, c'est-à-dire les formations qui figurent parmi les plus importantes pour la main-d'œuvre appelée à travailler dans les mines dites « intelligentes »;

3. Documenter la mise sur pied de partenariats entre les gouvernements, les entreprises privées et les établissements d'enseignement visant à faire en sorte que l'offre de formation minière favorise l'employabilité des diplômées et des diplômés tout en étant adaptée aux besoins du marché du travail.

5

Remarque finale

L'Institut national des mines invite les entreprises du secteur minier ainsi que les établissements d'enseignement à lui proposer des sujets de veille. L'infolettre *MineAvenir* pourra de cette manière encore mieux répondre aux besoins d'information sur la formation minière actuelle et sur les tendances novatrices dans le secteur minier susceptibles d'avoir une incidence sur la formation des différentes parties prenantes du monde minier québécois.

Tableaux des thèmes diffusés et nombre d'articles de l'infolettre *MineAvenir* – Février à juin 2019

Technologies de l'industrie intelligente *Thèmes majoritairement liés au secteur minier	Nombre d'articles abordant ce sujet
Intelligence artificielle	15
Automatisation	12
Robots/robotique	9
Infonuagique	8
Capteurs (collecte de données)	7
Internet des objets (IdO)	7
Cybersécurité	6
3D (impression, modélisation, etc.)	5
Chaîne de blocs	5
Véhicules et trains autonomes	5
Apprentissage automatique	4
Contrôle et supervision à distance et opérations télécommandées	4
Drones	4
Programmation/codage	4
Réalité virtuelle et augmentée	4

Plateformes mobiles	3
Mines électriques/véhicules électriques	3
Analyse prédictive	2
Données massives (big data)	2
Intégration et analyse des données en temps réel	2
Jumeaux numériques	2
Logiciels/applications	2
Technologies de l'information et de la communication	2
Connectivité 5G	1
Équipement personnel intelligent	1
Géolocalisation	1
Panneaux solaires	1

Tendances générales en formation/formation minière

Nombre
d'articles
abordant
ce sujet

Qui ?	→ Clientèles diversifiées (Autochtones)	1
	→ Clientèle féminine en STIM (science, technologie, ingénierie et mathématiques)	1
Quoi ?	→ Acquisition de nouvelles compétences Formation professionnalisante, environnement, compétences numériques (cybersécurité, intelligence artificielle, simulation collaborative, robotique, réalité virtuelle et augmentée), compétences complémentaires à la machine, habilitation des employés, communication, traitement de minerai grâce à l'énergie solaire, compétences interpersonnelles, cerner les programmes à mettre sur pied, proposer des solutions, travailler en équipe, communiquer avec diverses personnes, leadership, résolution de problèmes, compétences en santé et en sécurité à l'ère de la quatrième révolution industrielle	22
	→ Développer des partenariats entre les établissements d'enseignement et les entreprises	7
	→ Attirer une relève dans le domaine des STIM (science, technologie, ingénierie et mathématiques)	3
	→ Culture de la formation tout au long de la vie	3
	→ Favoriser l'employabilité des finissantes et des finissants	2
	→ Formation à distance	1
	→ Rendre accessible la formation dans son milieu de travail	1
	Comment ?	→ Favoriser la formation en milieu de travail Requalification de la main-d'œuvre, le milieu de travail comme lieu d'apprentissage, l'évaluation en entreprise ou en stage
→ Immersion dans la réalité virtuelle, augmentée ou mixte		7

Tendances générales en formation/formation minière

Nombre
d'articles
abordant
ce sujet

Comment ?	→ Repenser les programmes de formation	6
	Intégration des TIC, classe inversée, apprentissage numérique, apprentissage par compétences, outils de base à l'intelligence artificielle	
	→ Travail collaboratif	5
	→ Être créatif pour trouver de nouvelles solutions innovantes en formation	5
	→ Investissement financier en formation pour répondre aux besoins 4.0 des organisations	5
	→ Investissement financier par des entreprises privées	3
	→ Repenser l'évolution du rôle de l'enseignement grâce à l'intelligence artificielle	2
	→ Mentorat	2
	Entre professionnelles et professionnels des STIM et enseignants, entre enseignants	
	→ Apprentissage en petits groupes	1
	→ Favoriser le partage de connaissances	1
	→ Simulation/simulateur d'entraînement	1
	→ Apprentissage en alternance en ligne et en présentiel	1
	→ Relation avec les machines	1
	→ Création de communautés de pratique	1

Pourquoi ?	→ S'assurer de faire face à la transformation numérique	8
	→ Développer la polyvalence des employées et des employés	7
	→ Augmenter l'employabilité	6
	→ Rendre accessible la formation	6
	→ Contexte d'apprentissage optimisé pour l'apprenante et l'apprenant (sans danger)	4
	→ Attirer des talents dans les secteurs des mines et des nouvelles technologies	3
	→ Développer du leadership d'innovation	3
	→ Augmentation de la capacité à réagir rapidement en situation d'urgence	2
	→ Meilleure transition de la théorie à la pratique	2
	→ Diminution des risques au travail	1

Liste de références aux articles publiés dans MineAvenir entre février et juin 2019 et aux autres articles cités dans ce rapport semestriel

Aggreko. (2019). *Gold Fields Granny Smith Mine to install Mega Solar and Battery Power Facility*. Récupéré de <https://www.aggreko.com/en/news/2019/global-news/february/gold-fields-granny-smith-mine-to-install-mega-solar-and-battery-power-facility>

Austmine Limited. (2019). *Austmine 2019 Presentation Review: Rag Udd, VP Technology Global Transformation, BHP*. *Austmine*. Récupéré de <http://www.austmine.com.au/News/category/industry-insights-reports/austmine-2019-presentation-review-rag-udd-vp-technology-global-transformation-bhp>

Australasian Mine Safety Journal. (2019). *Keep it fresh – Keeping training programs engaging*. *Australasian Mine Safety Journal*. Récupéré de <https://www.amsj.com.au/keeping-training-programs-engaging/>

Betakit. (2019). *RBC to invest \$1.1 million into Actua's Future Skills program*. Récupéré de <https://betakit.com/rbc-to-invest-1-1-million-into-actuas-future-skills-program/>

Brightmore, D. (2019). *The New Dawn of Mining – Futurist Dr Kash Sirinanda on digital transformation and sustainability*. *Mining Global*. Récupéré de <https://www.miningglobal.com/technology/new-dawn-mining-futurist-dr-kash-sirinanda-digital-transformation-and-sustainability>

Canadian Mining Journal. (2019). *Drone : RME Geomatics livre le drone innovant Renegade-M*. *Canadian Mining Journal*. Récupéré de <http://www.canadianminingjournal.com/news/drone-rme-geomatics-delivers-innovative-renegade-m-drone/>

Casey, J.P. (2019). *Talking points : the top 10 digital trends*. *Mining Technology*. Récupéré de <https://www.mining-technology.com/features/digital-mining-trends/>

Collège Dawson. (2019). *Le collège Dawson en voie de transformer la formation collégiale grâce à un investissement majeur dans un projet d'IA* [Communiqué]. Récupéré de <https://www.dawsoncollege.qc.ca/news/annoncements/le-college-dawson-en-voie-de-transformer-la-formation-collegiale-grace-a-un-investissement-majeur-dans-un-projet-dia/>

Collèges et instituts Canada. (2019). *L'éducation pour l'emploi : les technologies de l'information - bien plus qu'une carrière virtuelle*. Récupéré de https://marketzone.ca/ebooks/CIC/2019/CIC-B0119_EMAG/content/CIC-B0119_EMAG.pdf

Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail. (2019). *Compétition de sauvetage minier à Ekaterinbourg*. *Le Belmine*, 53(1), 4-5. Récupéré de <https://www.cnesst.gouv.qc.ca/Publications/600/Pages/DC600-410-53.aspx>

Daguzan Bernier, M. (2019). *Science et technologie : les femmes s'en mêlent*. Récupéré de <https://www.gazettedesfemmes.ca/14705/science-et-technologie-les-femmes-sen-melent-partie-1/>

Deloitte. (2019). *À l'affût des tendances de 2019 : Les 10 principaux enjeux des sociétés minières pour l'année à venir*. Récupéré de <https://www2.deloitte.com/ca/fr/pages/energy-and-resources/articles/tracking-the-trends.html>

Deshaies, T. (2019). *Le CFP de Val-d'Or fait l'acquisition d'un simulateur minier haute-fidélité*. *ICI Radio-Canada*. Récupéré de <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1160355/cfpvd-acquisition-simulateur-minier-haute-fidelite>

Diallo, A. (2019). *Sénégal : les TIC, un élément « incontournable » pour une bonne formation (acteur)*. *APA News*. Récupéré de <http://apanews.net/fr/news/senegal-les-tic-un-element-incontournable-pour-une-bonne-formation-acteur>

Forum économique mondial. (2018). *The Future of Jobs Report – 2018*. Récupéré de <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2018>

Forum économique mondial. (2019). *Toward a Reskilling Revolution: Industry-Led Action for the Future of Work*. Récupéré de <https://www.weforum.org/whitepapers/towards-a-reskilling-revolution-industry-led-action-for-the-future-of-work>

Gemme, M.-A. *Automatisation et innovation à la mine Casa Berardi*. *Le Citoyen – Rouyn-Noranda et Abitibi-Ouest*. Récupéré de <https://www.lecitoyenrouynlasarre.com/article/2019/03/14/automatisation-et-innovation-a-la-mine-casa-berardi>

Gouvernement de la Colombie-Britannique. (2019). *New funding provides students opportunities to train for STEM careers* [Communiqué]. Récupéré de <https://news.gov.bc.ca/releases/2019PREM0063-001000>

Guilbault, M. et Rousseau, N. (2019). *Secteur minier : cinq filons pour assurer la relève*. *Les Affaires*. Récupéré de <https://www.lesaffaires.com/blogues/maxime-guilbault-et-nochane-rousseau/secteur-minier-cinq-filons-pour-assurer-la-releve/608483>

Henderson, J. (2019). *Aligning to emerging technologies in Australia*. *ARN*. Récupéré de <https://www.arnnet.com.au/article/659965/aligning-emerging-technologies-australia/>

Hounongbe, C. (2019). *Lancement du projet GO-GA : Promouvoir l'enseignement basé sur les outils numériques innovants*. *La nation*. Récupéré de <https://www.lanationbenin.info/index.php/actus/159-actualites/19249-lancement-du-projet-go-ga-promouvoir-l-enseignement-base-sur-les-outils-numeriques-innovants>

Institut national des mines. (2019a). *8^e édition de Zoom minier : un défi lancé aux écoles secondaires du Québec*. Récupéré de http://www.inmq.gouv.qc.ca/zoom_minier2019

Institut national des mines (2012-). *Base de données de l'Institut national des mines* [Base de données]. Document interne.

Institut national des mines. (2019b). *Les STIM valorisées par la robotique : l'expérience d'une école secondaire d'une région minière*. Récupéré de http://www.inmq.gouv.qc.ca/robotique_competition

Institut national des mines. (2016). *Pour une implantation réussie de la formation par simulateur d'engins miniers au Québec*. Récupéré de <http://www.inmq.gouv.qc.ca/RadFiles/Documents/DOCUMENTS/DOCUMENTS/591/INMQ-RapportdEtude2016Web.pdf>

Keating, C. (2019). Une formation interne et ascendante : ou comment l'industrie minière forme la main-d'œuvre existante afin de faire face aux difficultés qui se profilent en termes de ressources humaines dans le contexte de la révolution numérique. *CIM Magazine*. Récupéré de <https://magazine.cim.org/fr/gestion/inward-and-upward-fr/>

Le Courrier Frontenac. (2019). Le programme de Technologie minérale innove grâce à la réalité virtuelle. *Le Courrier Frontenac*. Récupéré de <https://www.courrierfrontenac.qc.ca/2019/03/17/le-programme-de-technologie-minerale-innove-grace-a-la-realite-virtuelle/>

McKinley, K. (2019). *Beyond Digital Transformation conference in Sudbury talks tech for the sake of human lives*. Récupéré de <https://www.sudbury.com/around-the-north/beyond-digital-transformation-conference-in-sudbury-talks-tech-for-the-sake-of-human-lives-1232589>

McKinsey & Company. (2019). *Critical infrastructure companies and the global cybersecurity threat*. Récupéré de <https://www.mckinsey.com/business-functions/risk/our-insights/critical-infrastructure-companies-and-the-global-cybersecurity-threat#>

Ministère de l'Économie et de l'Innovation (MEI). (2019a). *Le bénéficiaire financier de requalifier la main-d'œuvre*. Récupéré de https://www.economie.gouv.qc.ca/objectifs/informer/vecteurs/vecteurs-actualites/vecteurs-actualites-details/?no_cache=1&tx_ttnews%5Btt_news%5D=23276&tx_ttnews%5Bcat%5D=&cHash=c12b3dd1348ea5dae9733985ead4ac20

Ministère de l'Économie et de l'Innovation (MEI). (2019b). *Automatisation et emploi : quelle direction prendre?* Récupéré de https://www.economie.gouv.qc.ca/objectifs/informer/vecteurs/vecteurs-actualites/vecteurs-actualites-details/?no_cache=1&tx_ttnews%5Btt_news%5D=23259&tx_ttnews%5Bcat%5D=&cHash=ceb9b6d83e234e29bcd9ed328c401938

Ministère de l'Économie et de l'Innovation (MEI). (2019c). *L'ABC d'une transformation numérique réussie*. Récupéré de https://www.economie.gouv.qc.ca/fr/objectifs/informer/vecteurs/vecteurs-details/?tx_ttnews%5Btt_news%5D=23565

Mol, E. (2019). Université Virtuelle du Sénégal : un pari risqué qui porte ses fruits. *Lettres numériques*. Récupéré de <http://www.lettresnumeriques.be/2019/02/22/universite-virtuelle-du-senegal-un-pari-risque-qui-porte-ses-fruits/>

Ninness, J. (2019). Virtual reality mine provides increased learning opportunities. *Australasian Mine Safety Journal*. Récupéré de <https://www.amsj.com.au/virtual-reality-mine-provides-increased-learning-opportunities/>

Pappas, C. (2019). Top emerging technology trends and their impact on L&D. Dans *E-Learning Industry*. Récupéré de <https://elearningindustry.com/emerging-technology-trends-impact-learning-and-development-free-ebook>

PricewaterhouseCoopers. (2019). *22^e enquête auprès des chefs de direction - volet canadien. Évoluer ou disparaître : Retour à la réalité pour les chefs de direction canadiens*. Récupéré de <https://www.pwc.com/ca/fr/ceo-agenda/22nd-ceo-survey.html>

Ressources naturelles Canada. (2019). *Le Plan canadien pour les minéraux et les métaux*. Récupéré de <https://www.minescanada.ca/fr/content/le-plan-canadien-pour-les-mineraux-et-les-metaux-0>

Rio Tinto. (2019). *Rio Tinto welcomes first nationally recognised qualifications in automation* [Communiqué]. Récupéré de https://www.riotinto.com/documents/190612_Rio_Tinto_welcomes_first_nationally_recognised_qualifications_in_automation.pdf

Schmidt, D. (2019). World's largest autonomous Komatsu truck starts up in Canada. *Mining Magazine*. Récupéré de <https://www.miningmagazine.com/fleet/news/1361243/worlds-largest-autonomous-komatsu-truck-starts-up-in-canada>

Study International. (2019). Mining in the 21st Century: How universities are promoting ethical and sustainable mining practices. Dans *Study International*. Récupéré de <https://www.studyinternational.com/news/mining-in-the-21st-century-how-universities-are-promoting-ethical-and-sustainable-mining-practices/>

Supeno, E. (2019). *Pénurie de main-d'œuvre et adéquation formation-emploi : l'importance d'une veille informationnelle sur la formation et l'emploi* [Billet de blogue]. Récupéré de <https://zoneclient.grics.ca/blogue/collaborateurs-/penurie-de-main-doeuvre-et-adequation-formation-emploi-limportance-dune-veille>

Turgeon, A. et Van Drom, A. (2019). *Des outils numériques pour soutenir une approche pédagogique inclusive*. Récupéré de https://www.profweb.ca/publications/dossiers/des-outils-numeriques-pour-soutenir-une-approche-pedagogique-inclusive?fbclid=IwAR25_-imly4napGE8mqTyK7PiDGFUefk8nJG-CRK468xsNmDMUojeskUDI#section-2

Université Laval. Faculté des sciences et de génie. (2019). Industrie 4.0 : la transformation des entreprises à l'ère de la quatrième révolution industrielle. Dans *Formation continue*. Récupéré de <https://www.fsg.ulaval.ca/partenaires-et-diplomes/formation-continue/industrie-40/>

Zhou, V. (2019a). Retaining human assets key to staying ahead of the game. *Australian Mining*. Récupéré de <https://www.australianmining.com.au/features/retaining-human-assets-key-to-staying-ahead-of-the-game/>

Zhou, V. (2019b). Three quarters of mining jobs to change within five years. *Australian Mining*. Récupéré de <https://www.australianmining.com.au/news/three-quarters-of-mining-jobs-to-change-within-five-years/>

125, rue Self
Val-d'Or (Québec) J9P 3N2

819 825-4667
www.inmq.gouv.qc.ca

*Institut national
des mines*

Québec 