



LES TENDANCES GÉNÉRALES EN FORMATION MINIÈRE 2018-2019

Rapport semestriel tiré de l'infolettre
MineAvenir entre le jeudi 13 septembre 2018
et le jeudi 31 janvier 2019

Institut national
des mines

Québec 

Supervision

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

Recherche et rédaction

Karine Lacroix, conseillère en communication
Institut national des mines

Révision linguistique

(Mélissa Guay)

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.gc.ca

Avant-propos

Durant la dernière année, l'Institut national des mines (INMQ) a produit une nouvelle planification stratégique quinquennale pour la période 2018-2023, ayant notamment pour objectif de documenter les tendances en formation minière au Québec, au Canada et dans le monde. Au cours de cette période, deux publications sur les tendances seront produites annuellement. Cette nouvelle série de publications deviendra un outil utile à la prise de décision non seulement pour orienter la recherche effectuée à l'INMQ, mais également pour les entreprises minières et les établissements d'enseignement.

Table des matières

Avant-propos.....	3
Introduction.....	7
<i>Développer une culture de la formation tout au long de la vie</i>	8
1. Les tendances documentées par les activités de veille de l’Institut national des mines entre le 13 septembre 2018 et le 31 janvier 2019	9
1.1. Le développement des compétences.....	9
1.1.1. Des investissements gouvernementaux et des initiatives	9
1.1.2. Des initiatives portées par les établissements d’enseignement	11
1.1.3. Des investissements en entreprise.....	12
Le Programme de formation en transformation numérique mis en œuvre en entreprise ..	12
Des entreprises créent leur propre centre de formation.....	12
Des stages en entreprise pour les jeunes.....	13
Des initiatives privées pour le développement de compétences numériques	13
1.2. Les technologies au service de l’apprentissage.....	14
1.2.1. L’intelligence artificielle.....	15
1.2.2. La réalité virtuelle, augmentée ou mixte	15
1.2.3. L’apprentissage par simulation	16
1.2.4. L’application et le site Web	17
1.3. Rendre accessible l’éducation au Québec et dans le monde.....	17
1.3.1. En territoire nordique.....	17
1.3.2. Dans les pays francophones à l’international	18
1.4. Le déploiement de programmes de formation et de partenariats dans le secteur minier ...	19
1.4.1. Des formations collégiales.....	19
1.4.2. La création de programmes et de projets de recherche universitaires	19
1.4.3. La formation continue, moteur d’une main-d’œuvre qualifiée	20
2. Les nouvelles tendances technologiques minières et la transformation des métiers et des professions du secteur minier à laquelle pourraient se greffer de nouveaux besoins de formation.....	21
2.1. Le jumeau numérique, le simulateur minier et la mine intelligente.....	22
2.2. La cartographie et l’impression 3D.....	22
2.3. La place des robots sur le marché du travail	23
2.4. L’intelligence artificielle : plusieurs utilités, notamment l’identification des métaux jusqu’à leur commercialisation	23

2.5. Les données	24
2.6. L'accès à un réseau LTE pour favoriser la connectivité	24
2.7. La réalité virtuelle comme outil de travail.....	25
2.7.1. Le soutien psychologique de la main-d'œuvre minière éloignée des centres urbains 25	
2.7.2. La commande à distance d'un véhicule pour l'exploitation minière sous-marine ...	25
2.8. L'Internet des objets et l'automatisation	25
2.9. La chaîne de blocs pour le respect de l'environnement.....	26
2.10. Les drones pour accroître la sécurité	26
3. La transition numérique des organisations et le développement du capital humain.....	28
3.1. Les facteurs de réussite organisationnelle de la transformation numérique	28
3.2. Les types de leadership	29
4. Les pistes d'action susceptibles d'orienter les prochaines activités de veille de l'Institut national des mines.....	32
5. La remarque finale.....	33
Tableaux des thèmes diffusés et nombre d'articles de l'infolettre <i>MineAvenir</i> – Septembre 2018 à janvier 2019	34
Liste de références aux articles publiés dans <i>MineAvenir</i> entre septembre 2018 et janvier 2019.....	38

Introduction

S'attarder au développement professionnel de la main-d'œuvre minière est un enjeu primordial à considérer dans un contexte de changement continu. La mine intelligente, loin d'être un concept abstrait, est désormais la vision privilégiée dans les projets miniers en cours et dans certaines entreprises minières bien établies au Québec. D'ailleurs, l'Institut national des mines (INMQ), en partenariat avec l'Association minière du Québec (AMQ) ainsi que le Comité sectoriel de main-d'œuvre de l'industrie des mines (CSMO Mines), proposera deux nouvelles études à l'automne 2019 sur la maturité numérique de la main-d'œuvre minière au Québec et sur les compétences à développer pour parvenir à la mine interconnectée telle que visitée en 2017 en Australie par une délégation de l'INMQ.

L'actualisation de l'offre de formation pour répondre au développement des compétences numériques n'est pas seulement une problématique du secteur minier, mais bel et bien un sujet préoccupant et étudié partout dans le monde. Lors du plus récent événement du Vodafone Institute for Society and Communications (2019, p. 1), « Digitizing Europe », où 9 000 personnes de 9 pays différents se sont exprimées sur la transformation numérique, plus de la moitié des répondants ont mentionné avoir besoin de développer des compétences numériques afin d'effectuer leur travail. Selon le tiers des répondants, la formation a été reçue en milieu de travail alors que les deux tiers ont acquis leurs connaissances par eux-mêmes. L'enjeu de la formation est devenu le centre des préoccupations pour un développement économique optimal. Le secteur minier au Québec n'y échappe pas afin d'assurer sa réussite et sa compétitivité.

Dans la présente publication, l'Institut national des mines fait état des tendances révélées dans sa veille informationnelle. Il ne s'agit pas de vérité absolue, mais de tendances permettant d'orienter ses travaux de recherche et ses projets pilotes en formation minière. Ce document a été conçu à partir des articles publiés dans l'infolettre *MineAvenir* entre le 13 septembre 2018 et le 31 janvier 2019.

Développer une culture de la formation tout au long de la vie

Développer une culture de la formation continue et personnalisée tout au long de la vie représente la principale piste d'action à emprunter pour devancer plutôt que suivre les tendances technologiques. Depuis janvier 2018, les travaux de veille de l'INMQ mettent l'accent sur l'amélioration du capital humain en considérant différentes pistes qui seront décrites dans les pages suivantes.

Selon le Forum économique mondial (2018), ce sont plus de 100 millions d'emplois qui seront créés grâce aux technologies de l'intelligence artificielle, au traitement de données, aux logiciels et au marketing. Les chercheurs de l'étude [The future of Jobs 2018](#) mentionnent que la pénurie de main-d'œuvre qualifiée touchera notamment le secteur des mines et des métaux.

Au cours des prochaines années, le secteur minier, à l'instar des autres industries au Québec, connaîtra une nouvelle vague de transformation. Les technologies numériques associées aux démarches d'amélioration continue et d'optimisation des procédés poseront alors des défis cruciaux en matière de développement et de mise à niveau de la main-d'œuvre. Le virage numérique des entreprises minières aura des conséquences importantes sur les compétences requises pour occuper plusieurs postes. Il imposera notamment la mise en place de programmes de formation continue pour actualiser les compétences de la main-d'œuvre.

Pour mieux comprendre les énergies à déployer pour le développement des compétences numériques du secteur minier au Québec, l'Institut national des mines (INMQ) a réalisé des publications en 2018 et en 2019. D'ailleurs, l'INMQ dévoilait, en décembre 2018, les résultats préliminaires d'un projet de recherche mesurant la maturité numérique des entreprises minières québécoises et de leur main-d'œuvre. Cette étude, qui sera publiée à l'automne 2019, a rassemblé près de 900 personnes œuvrant dans le secteur minier au Québec : ouvriers, techniciens, professionnels, gestionnaires, employés de terrain, de bureau et d'usine.

Repérer dès maintenant les nouvelles compétences à acquérir par les travailleuses et les travailleurs afin de soutenir la transformation numérique constitue un enjeu qui interpelle à la fois le personnel enseignant des établissements d'enseignement publics, les professionnels de l'orientation et les départements de formation et de ressources humaines de l'industrie.

1. Les tendances documentées par les activités de veille de l'Institut national des mines entre le 13 septembre 2018 et le 31 janvier 2019

1.1. Le développement des compétences

Plus qu'une simple tendance, les compétences numériques deviennent incontournables dans la transition qui s'effectue vers une automatisation accrue de l'industrie minière. Ces compétences renvoient aux habiletés techniques des individus en situation professionnelle. Telles que décrites dans le rapport [*Transformation numérique et compétences du 21^e siècle. Exemple de l'industrie minière*](#) de l'Institut national des mines, les compétences représentent la capacité d'un travailleur à employer ses connaissances, ses habiletés et ses aptitudes afin d'utiliser des technologies numériques pour :

1. analyser, sélectionner et évaluer de manière critique des données numériques;
2. résoudre des problèmes;
3. développer de nouvelles connaissances collaboratives et s'engager dans des pratiques organisationnelles qui nécessitent l'utilisation quotidienne du numérique.

Comme le journal *Business World* (2018) l'évoque, le codage, l'analyse de données, la résolution de problèmes et l'art de la négociation sont des compétences liées à l'ère numérique dans lequel la société est plongée. Comprendre les bases du codage, être en mesure d'analyser des données pour augmenter l'efficacité des équipements et des systèmes, faire preuve de créativité dans la résolution de problèmes pour contribuer à l'augmentation de la productivité et être capable de négocier pourraient s'appliquer également au secteur minier. Grâce à Internet et à la technologie, les possibilités d'apprentissage sont multiples tout comme les compétences numériques liées au marché du travail.

Au cours des derniers mois, l'Institut national des mines a repéré, notamment, des initiatives mondiales favorisant le développement des compétences numériques. L'acquisition de connaissances dans ce domaine constitue une préoccupation qui touche les gouvernements, les établissements d'enseignement ainsi que les entreprises privées.

1.1.1. Des investissements gouvernementaux et des initiatives

De plus en plus de gouvernements comprennent l'importance du développement de compétences numériques. Ils créent donc un environnement propice à cette transformation dans le domaine. Partageant sensiblement la même vision que le Plan d'action numérique en éducation et en enseignement supérieur du gouvernement du Québec, un tout nouveau programme pour l'Europe numérique a été créé en juin 2018 afin de faire face aux défis croissants que pose le domaine numérique. Le programme vise entre autres à développer les compétences numériques

des élèves, de l'école primaire à la formation professionnelle, et ce, pour un investissement de 9,2 milliards d'euros de 2021-2027. L'intelligence artificielle, le calcul haute performance et la cybersécurité sont les thèmes prioritaires pour le développement de la main-d'œuvre, notamment pour la formation des ingénieurs. L'Europe mentionne également la place importante des spécialistes en technologies de l'information et de la communication (TIC) qui ne se restreignent plus à évoluer dans des entreprises de leur secteur initial, mais qui œuvrent désormais dans d'autres industries. La Coalition pour les compétences et l'emploi numériques, chapeautée par la Commission européenne, regroupe aussi différents organismes travaillant à répondre à quatre grands besoins touchant aux problématiques qu'étudie l'Institut national des mines, notamment les compétences de la main-d'œuvre et les compétences en éducation. En devenant membre de la Coalition, les organisations, tant des entreprises privées que des établissements d'enseignement, s'engagent à mettre en place différents moyens favorisant le développement des compétences. À ce jour, la Coalition compte plus de 4 millions de formations sur les compétences numériques en ligne ou en présentiel et plus d'un million de certifications. Pour favoriser le développement de compétences telles que la programmation et le code, la Commission européenne encourage également des événements comme la Code Week (semaine consacrée au code et à la programmation), qui tient place chaque année en octobre. Connaissant désormais un franc succès, les élèves sont amenés, tout comme les adultes, à expérimenter la programmation, à la démystifier et à réaliser du codage. La Commission espère atteindre ainsi au moins la moitié des écoles en Europe.

Pour contribuer à l'attractivité internationale du Sénégal et faciliter l'implantation de nouvelles entreprises, l'organisme d'enseignement public rattaché au ministère de l'Économie et des Finances, l'Institut Mines-Télécom, en collaboration avec le campus franco-sénégalais, ont conçu des parcours d'apprentissage innovants pour inventer l'école du futur : classes intergénérationnelles, apprentissage numérique, apprentissage par compétences et par défis, outils à base d'intelligence et apprentissage profond sont quelques idées dévoilées. Une façon de répondre aux besoins d'expertise et de compétences de ces écoles qui forment les ingénieurs, les gestionnaires et les entrepreneurs qui contribueront à la transformation numérique de l'Afrique.

Cependant, certaines organisations gouvernementales tardent à mettre en place des solutions pour favoriser le développement des compétences. Selon le Forum économique mondial, seulement 2 % des jeunes de l'Afrique ont obtenu un diplôme en sciences, technologies, ingénierie et mathématiques (STEM), une statistique qui inquiète certains intervenants en technologies de l'information et de la communication (TIC) sur le continent africain. La transformation numérique créée par la 4^e révolution industrielle force l'accroissement des compétences numériques ou informatiques et la connaissance, notamment, de la langue seconde, l'anglais. Des intervenants encouragent la mise en place d'une stratégie claire sur les politiques de STEM par le gouvernement. À ce jour, plusieurs initiatives d'entreprises privées sont mises en place pour développer les compétences des jeunes Africains.

En plus de l'acquisition de nouvelles compétences, il semble que la reconnaissance de celles-ci soit un enjeu à considérer. Selon le Vodafone Institute for Society and Communications mentionnant dans sa publication *Global study finds that 56 % of employees lack the digital skills they need for jobs in the future* (2019), deux facteurs expliquent la raison pour laquelle les Européennes et les Européens ne sont pas intéressés à acquérir de nouvelles compétences :

aucune récompense significative pour l'obtention de nouvelles compétences et l'idée que l'on ne conserve plus un emploi toute une vie. Selon le président du conseil consultatif du Vodafone Institute (2019, p. 2), Joakim Reiter, « [...] le développement des compétences numériques doit suivre le monde technologique en constante évolution qui nécessite un changement majeur dans notre façon d'enseigner les compétences dans les écoles, les universités et les lieux de travail ».

1.1.2. Des initiatives portées par les établissements d'enseignement

En collaboration avec Emploi-Québec, les cégeps de Rimouski, de Matane, de Rivière-du-Loup et de La Pocatière ainsi que le Centre matapédien d'études collégiales ont proposé aux entrepreneurs de leur région d'amorcer le virage 4.0 tout en proposant une actualisation des compétences numériques pour mieux mesurer l'effet de ces changements. Cinq journées, incluant une conférence et une activité diagnostique, ont été proposées aux entreprises en octobre 2018. Celles-ci devaient notamment identifier les besoins de leur organisation relativement à la transition numérique et établir l'ordre de priorité par rapport au développement des compétences numériques. Une initiative encouragée depuis sa fondation par l'Institut national des mines qui travaille ardemment à favoriser le partenariat entre les établissements d'enseignement du Québec.

En octobre 2018, le Cégep de Lévis-Lauzon a été le premier à remettre une preuve d'acquisition de compétences numériques en technologies de l'information et de la communication (TIC) à des finissants de sa formation en Gestion et technologies d'entreprise agricole. La certification en technologies de l'information et de la communication s'articulait autour de cinq grands axes : rechercher l'information, traiter l'information, présenter l'information, travailler en réseau et exploiter les TIC de manière efficace et responsable. Le contenu de la formation est demeuré identique. C'est plutôt la forme qui a évolué puisqu'elle intégrait les TIC dans la pédagogie. Il s'agit d'un concept porteur applicable à d'autres programmes de formation.

D'autres initiatives sont à souligner, notamment celles portées par l'Université Laval. En septembre 2018, la rectrice de l'Université Laval, Sophie D'Amours, a réalisé un bilan de la nouvelle planification stratégique après un an de travaux. Madame D'Amours a fait référence, entre autres, à deux projets innovants : le parcours d'apprentissage de Chantiers d'avenir et l'Académie des transformations numériques. Chantiers d'avenir est un parcours d'apprentissage permettant de développer la capacité à résoudre des problèmes complexes ayant une incidence sur la société. Ce parcours donnera l'occasion d'imaginer les métiers et la formation de demain. Sans compter que l'Académie des transformations numériques poursuit actuellement ses efforts depuis sa création, en juin 2018, pour offrir des cours de formation continue qui accompagneront l'État québécois, les entreprises et les organisations dans la transition numérique.

L'Académie australienne des sciences a lancé, en octobre 2018, le [Decadal Plan for Australian Geoscience : Our Planet, Australia's Future](#). Ce plan permet notamment aux Australiens sur les bancs d'école de mieux comprendre les géosciences tout en stimulant les STIM. Le projet veut

également permettre aux Australiens d'augmenter leurs aptitudes à réaliser de la simulation prédictive et de la modélisation. Ce plan prévoit même le déploiement d'un télescope permettant d'examiner certaines données géophysiques situées à 300 km sous la surface de la Terre.

1.1.3. Des investissements en entreprise

Le Programme de formation en transformation numérique mis en œuvre en entreprise

La publication [The future of Jobs 2018](#) du Forum économique mondial offre des perspectives plus favorables de création d'emplois qu'en 2016. Il semble que les entreprises comprennent désormais mieux les possibilités offertes par la technologie. Selon le fondateur et président du Forum, Klaus Schwab, les entreprises vont jouer un rôle majeur dans la reconversion ou l'acquisition de compétences de leurs employés, notamment en leur offrant de la formation pouvant même être reconnue à l'extérieur de l'entreprise. Quant aux individus, ils devront adopter une approche proactive de leurs apprentissages tout au long de la vie.

Malgré un début d'année catastrophique pour la mine Brucutu de Vale au Brésil, l'entreprise a l'ambition d'automatiser toute sa flotte de camions de 240 tonnes en 2019. Selon Vale, l'automatisation des camions permettra d'augmenter la productivité, de réduire les risques d'accident, d'augmenter la durée de vie des équipements et de réduire le coût de la maintenance.

Pour préparer le personnel à ce changement organisationnel, une partie des employés de Vale a été formée en gestion et contrôle des équipements autonomes, et ce, pour certains, pendant près de deux ans. Les opérateurs d'équipement occupent également de nouvelles fonctions à la mine. L'entreprise minière met en œuvre son programme de transformation numérique depuis 2016 afin de mieux accueillir l'ère industrielle 4.0. Le programme développe quatre aspects : l'analyse, l'intégration de système et de chaînes, la robotisation et l'automatisation des équipements. Vale vise à offrir la formation aux professionnels qualifiés dans les domaines techniques, de l'ingénierie, en automatisation, en robotique et en technologie de l'information lors des opérations.

Des entreprises créent leur propre centre de formation

Pour faciliter le recrutement de main-d'œuvre qualifiée du marché numérique, des entreprises Rennaises, MV Group, HelloWork et Klaxoon, ont mis sur pied un centre de formation des métiers du numérique, le Stage 301. Un premier groupe d'élèves a reçu son premier cours en novembre 2018. L'entreprise désire offrir éventuellement de la formation de courte durée ayant pour objectif de professionnaliser les salariés, les gestionnaires et les chefs d'entreprise. Le centre désire éventuellement être reconnu par l'Éducation nationale ou les universités françaises. Actuellement, il est possible de suivre des programmes de formation pour devenir *webmarketer*, référenteur SEO, chef de projet numérique, gestionnaire de communautés et webdesigner/ergonome. D'autres formations sont à venir : les objectifs connectés, l'exploitation et la protection des données de même que la compréhension et l'application des mécanismes

d'apprentissage automatique. Pour Matthieu Beucher, de l'entreprise Klaxoon, l'éducation devrait être la responsabilité non seulement de l'État, mais également de tous.

Des stages en entreprise pour les jeunes

Financé par le programme de recherche et d'innovation de l'Union européenne *Horizon 2020* et par le programme Erasmus +, le projet-pilote Digital Opportunity Traineeships se veut une stratégie pour favoriser l'acquisition des compétences numériques en Europe. Le projet permet d'offrir des stages en entreprise aux récents diplômés et aux étudiants. Ces stages poursuivent les objectifs de sensibiliser les jeunes à l'importance du développement des compétences numériques et d'attirer la main-d'œuvre dans les domaines nécessitant des spécialistes en TIC. Construis sur un modèle qui permet à la fois aux entreprises de proposer des stages et à des élèves de soumettre leur candidature, ce projet permettra non seulement aux stagiaires d'accroître leurs compétences numériques en développant des applications et des logiciels, mais aussi d'approfondir leurs connaissances en cybersécurité, en analyse de données, en intelligence artificielle et en marketing.

Des initiatives privées pour le développement de compétences numériques

Avec l'ère industrielle 4.0, la question du développement des compétences par la formation tout au long de la vie est certes incontournable. Toutefois, la nécessité d'arriver à l'uniformisation du langage informatique entre toutes les technologies demeure inévitable pour faciliter la transition numérique et l'accès des travailleuses et des travailleurs à un milieu de travail où ils peuvent évoluer et optimiser leur utilisation des technologies 4.0 de même que leur maintenance. Selon Ed Harrington, directeur du forum Open Process Automation du groupe Open, les entreprises doivent trouver un terrain d'entente afin d'offrir des normes techniques ouvertes, basées sur un langage commun.

Pour pallier le système d'éducation et le contexte économique des pays en voie de développement, des initiatives du secteur privé, souvent des entreprises informatiques, permettent à un plus grand nombre de jeunes de réaliser des expériences favorisant le développement de leurs compétences. En plus de contribuer au développement de la relève, les entreprises souhaitent ardemment développer chez les apprentis un intérêt pour les sciences, les technologies, l'ingénierie et les mathématiques (STIM) qui, éventuellement, pourraient envisager une carrière dans le domaine.

- a) Le codage dès le primaire

Pour soutenir le développement des compétences relatives à la programmation du code, des entreprises privées offrent également de la formation aux écoles. En septembre 2018,

2 000 élèves de Pencoed, au Royaume-Uni, ont reçu des cours de l'entreprise Sony UK Technology Centre. L'un des objectifs d'apprentissage était d'augmenter les compétences de base en codage, notamment par l'entremise des programmes Scratch et Python. Selon Gerald Kelly, directeur des services professionnels chez Sony UK Technology Centre, l'intégration du codage dans l'éducation précoce est essentielle pour améliorer les perspectives d'emploi de la future main-d'œuvre, et ce, dès l'âge du primaire. L'entreprise réalise, depuis déjà quelques années, ce type d'activités d'apprentissage favorisant la créativité et l'enseignement des STIM en donnant des sessions de formation médiatiques et de codages.

b) Le développement de logiciels

Avec des campus technologiques au Nigeria, au Kenya, en Ouganda et au Rwanda, l'entreprise américaine [Andela](#) forme environ 250 jeunes du continent africain par année afin qu'ils deviennent des leaders en développement de logiciels. En plus d'assurer la formation de la relève, l'entreprise offre une plateforme de recrutement aux employeurs. Son désir est à la fois d'offrir une communauté d'apprentissage et de contrer, à sa manière, la pénurie de main-d'œuvre mondiale dans ce secteur économique.

Pour sa part, l'entreprise IBM a investi 70 M\$ en 2017 dans un programme de formation intitulé IBM Digital – Nation Africa. Les apprenants conçoivent une plateforme d'apprentissage basée sur l'infonuagique. En plus d'interagir avec les apprenants, cette plateforme est en mesure de repérer les profils des utilisateurs et de leur proposer des cours ou des programmes de formation adaptés à leurs besoins. Programmation, cybersécurité, informatique et des cours plus théoriques en innovation, en analyse critique et en entrepreneuriat sont donnés sur cette plateforme qui propose également des programmes éducatifs gratuits. Cette plateforme est destinée de façon plus ciblée aux Africains.

1.2. Les technologies au service de l'apprentissage

L'Institut national des mines s'intéresse particulièrement à ces nouvelles technologies qui diversifient les modes d'enseignement, mais qui changent également les pratiques des enseignantes et des enseignants. Plusieurs technologies sont désormais disponibles et offrent un éventail de possibilités en éducation. Durant sa mission au Consumer Electronics Show, l'équipe de l'Institut national des mines a pu découvrir de nombreuses applications et technologies favorisant le déploiement des contenus pédagogiques à l'ère moderne. Depuis septembre 2018, des articles en intelligence artificielle, en réalité virtuelle, en simulation et sur le Web ont été publiés dans l'infolettre *MineAvenir*. L'Institut national des mines propose dans ce chapitre de présenter ces technologies inspirantes pour le monde de l'éducation au Québec, notamment pour les établissements qui offrent des formations menant au secteur minier.

1.2.1. L'intelligence artificielle

Selon le conseiller pédagogique en intégration des technologies de l'information et des communications de l'Université de Sherbrooke, Marc Couture, la formation et les façons d'enseigner vont se transformer. Un article paru sur le Portail du réseau collégial du Québec (2018) révélait que les enseignants s'attarderaient désormais aux compétences qui distingueront leurs apprenants des machines. De plus, ils seront mieux outillés, notamment grâce à l'intelligence artificielle qui leur permettra de bonifier leur contenu d'enseignement, d'automatiser certaines tâches telles que corriger les évaluations des élèves ou d'analyser plus efficacement le profil de leurs élèves ou de leurs étudiants jusqu'à prédire leur réussite ou non. Les robots pourront même répondre à des élèves et les aider à résoudre un problème de mathématiques, par exemple.

Afin que le Québec continue à briller comme l'un des leaders en intelligence artificielle (IA) dans le monde, il est nécessaire de former une main-d'œuvre capable d'anticiper le changement technologique et d'optimiser l'utilisation de l'IA dans les entreprises québécoises, quelle que soit leur taille. L'Institut québécois d'intelligence artificielle, Mila, regroupe des universités du Québec ainsi que des écoles affiliées afin d'offrir une quarantaine de formations en intelligence artificielle. Dans la publication *Amorcez le virage 4.0 de votre entreprise!* du Portail du réseau collégial (2018), certains cégeps comme celui de Trois-Rivières adaptent leur formation en favorisant l'apprentissage de l'intelligence artificielle dans leur programme de formation en Techniques de l'informatique. Par ailleurs, des formations de plus courtes durées sont offertes en formation continue, entre autres, par les collègues du Collège de Bois-de-Boulogne et du Cégep de Sainte-Foy. Ce ne sont que quelques exemples d'établissements d'enseignement qui ouvrent la voie à un nouveau savoir, celui de l'intelligence artificielle.

D'ailleurs, pour assurer une utilisation responsable de l'intelligence artificielle, le ministère de l'Économie et de l'Innovation a réalisé un article qui résume une publication du groupe d'assurance Allianz Global Assistance. Intitulée [*The rise of artificial intelligence: future outlook and emerging risks*](#), cette publication fait état des répercussions sociétales de l'intelligence artificielle dans le domaine des assurances. Il est notamment question de la cybersécurité, ainsi que de l'imputabilité et de la responsabilité que l'on peut exiger des processus de décisions des systèmes intelligents. Des domaines d'expertise auxquels l'Institut national des mines s'intéresse pour le déploiement éventuel de formation continue dans le secteur minier.

1.2.2. La réalité virtuelle, augmentée ou mixte

La réalité virtuelle, augmentée ou mixte, est abondamment utilisée actuellement dans l'industrie des jeux vidéo. Selon les auteurs du livre *Virtual, Augmented, and Mixed Realities in Education* (Liu et collab., 2017), elle est aussi d'usage courant dans plusieurs applications militaires, industrielles et administratives, mais encore très peu présente en éducation. La technologie disponible permet pourtant de proposer aux élèves de tous les

ordres d'enseignement une vaste gamme d'expériences pédagogiques propices à l'apprentissage de nombreuses compétences.

Les avantages de la réalité virtuelle sont importants dans le secteur minier en Australie, particulièrement comme outil pédagogique en formation, mais également comme outil de travail pour favoriser la sécurité de la main-d'œuvre. En Australie, les équipes de sauvetage minier ont utilisé la réalité virtuelle lors de formations. D'ailleurs, l'entreprise Coal Services offre leur cours en santé et sécurité dans une salle de réalité virtuelle. Cette salle, munie d'un écran 360 degrés de 10 mètres de diamètre et de 4 mètres de haut, peut accueillir jusqu'à huit personnes simultanément. Les apprenants doivent interagir dans diverses situations comme des explosions, des fuites de gaz ou même dans des situations d'inspection de routine.

Pour une meilleure prise de décisions lors des études de faisabilité, l'University of New South Wale propose un outil de planification des mines, le ViMINE. Les étudiants en génie minier sont invités à intégrer différents types de simulation dans un même environnement. Ils doivent prendre des décisions durant le projet minier simulé, et ce, de l'exploration à la restauration du site. Cet outil de formation est désormais utilisé dans plus de 86 universités. Le professeur Serkan Saydam, qui a développé cet outil, étudie actuellement avec le Département de psychologie de l'université la capacité d'apprentissage de la réalité virtuelle et les moyens pour parvenir à l'améliorer.

1.2.3. L'apprentissage par simulation

L'apprentissage par simulation, en particulier par l'entremise de simulateurs d'engins miniers, est un sujet d'études de l'Institut national des mines depuis 2014. Après la diffusion de publications diverses sur le sujet et avec l'avènement de nouvelles technologies comme la réalité virtuelle et la réalité augmentée, l'apprentissage par outil de simulation prend une place prédominante dans les tendances mondiales en formation.

Selon la recherche de l'entreprise Global Market Insights, le marché des simulateurs pour l'apprentissage des opérateurs œuvrant, notamment, dans le secteur minier, connaîtra une hausse importante jusqu'à 2024. Le tout s'explique entre autres par la forte demande mondiale de main-d'œuvre qualifiée, la mise à jour de réglementations en matière de santé et de sécurité et du respect de l'environnement. L'atténuation des risques pour un apprenant serait l'un des facteurs de cette croissance. Des compagnies telles que ABB, Siemens, Tecnatom, DuPont et GSE ont été présentées dans l'étude. Le marché mondial propose différents types de simulateurs utilisant l'imagerie 2D, 3D et la haute fidélité dynamique et immersive. D'ailleurs, il semble que la présence remarquée de la réalité virtuelle immersive stimulerait davantage la croissance du marché des simulateurs.

Par ailleurs, l'entreprise australienne Immersive Technologies, présente dans plus d'une quarantaine de pays, a lancé, au printemps 2018, un tout nouveau modèle de simulateur à moyenne fidélité : le LX6. L'outil d'apprentissage, à six écrans, se démarque par sa capacité à reproduire virtuellement la conduite de différents engins miniers tels que les pelles, les

excavatrices, les chargeuses sur pneus, les bulldozers et les niveleuses. Le LX6 sera utilisé autant pour la formation initiale que pour la formation professionnelle.

1.2.4. L'application et le site Web

Soutenu financièrement par le ministère de l'Économie et de l'Innovation, l'Institut national des mines (INMQ) a lancé le projet de plateforme Web intitulé Système d'apprentissage multimédia et interactif pour la formation professionnelle ([SAMI-PRO](#)) en collaboration avec des partenaires essentiels tels que le Centre de transfert pour la réussite éducative du Québec (CTREQ), la Commission scolaire de l'Or-et-des-Bois (CSOB), le Centre de recherche Société pour l'apprentissage à vie (SAVIE), l'Université TÉLUQ et l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue.

[SAMI-PRO](#) a pour mandat de soutenir les apprentissages en français et en mathématique. Cet outil pédagogique a été initialement conçu pour les élèves de la formation professionnelle minière, mais son utilité a largement dépassé la clientèle cible puisque désormais, les élèves du secondaire peuvent y avoir accès. Grâce à cet outil, il est désormais plus facile d'accéder et de réussir des programmes de formation professionnelle demandant souvent de revoir certaines notions apprises au secondaire. L'outil est accessible sur différents supports comme la tablette électronique, les appareils mobiles ou l'ordinateur. Il est disponible gratuitement pour tout le personnel enseignant ainsi que tous les élèves du Québec.

1.3. Rendre accessible l'éducation au Québec et dans le monde

1.3.1. En territoire nordique

De nouveaux partenariats pour former la main-d'œuvre minière dans les territoires nordiques ont été créés au cours des derniers mois. En septembre 2018, une rencontre unique, organisée par le Conseil de bande de Chisasibi dans le Nord-du-Québec avec l'appui du Secrétariat aux alliances économiques Nation Crie Abitibi-Témiscamingue (SAENCAT), a permis de poser les bases d'un partenariat d'affaires entre une communauté nordique en pleine croissance démographique et des institutions d'enseignement postsecondaire offrant, entre autres, des programmes de formation minière. Les discussions ont porté sur les moyens permettant de rendre accessible l'enseignement supérieur en territoire nordique. Elles ont également permis de connaître les outils disponibles pour implanter le premier établissement d'enseignement supérieur sur les rives de la Grande Rivière. Cette initiative en éducation démontre une réelle volonté de développement économique et social sur le territoire du Plan Nord, et ce, en réponse à une poussée démographique sans précédent. Il ne fait aucun doute que l'éducation postsecondaire est la clé qui permettra d'ouvrir la porte de la confiance en soi, de l'expertise et du succès. Contribuer à concrétiser ce rêve représente une occasion favorable de partager la vision de l'Institut national des mines : l'importance de la formation tout au long de la vie. Saisir cette occasion permet aussi au réseau québécois des partenaires autochtones travaillant de concert

avec les établissements des trois ordres d'enseignement de mieux répondre aux besoins changeants de toute la société et non seulement des entreprises minières.

Le Centre de formation professionnelle de Val-d'Or de la Commission scolaire de l'Or-et-des-Bois a développé une formation ciblée pour former la main-d'œuvre inuite au Nunavut, et ce, en partenariat avec le Nunavut Arctic College (NAC) et les mines Agnico Eagle. Le programme de formation (450 heures) vise l'introduction au monde souterrain ainsi qu'une formation pratique sur le site de la mine Meliadine afin de mieux connaître les équipements sous terre. Il s'agit également d'un moyen pour accéder aux postes d'entrée du métier de mineur.

Les centres de formation du Québec, des associations et des entreprises collaborent également pour contribuer à la formation de la relève. En décembre 2018, cinq étudiants inuit de Kuujuaq, dont une femme, ont acquis un diplôme d'aide-foreur minier grâce aux formateurs de la Formation modulaire du travailleur minier (FMTM) du groupe minier CMAC-THYSSEN, et ce, en collaboration avec Avataa Explorations Logistics Inc., une entreprise de services située dans le Grand Nord québécois. Il s'agit de la première cohorte qui gradue pour l'entreprise CMAC-THYSSEN. Selon les propos de Charlie Tommy Watt, président et cofondateur d'Avataa, rapportés par le journaliste Pierre-Olivier Poulin (2018, p. 2), ce type de collaboration « [...] ouvre des opportunités [*sic*] à tous les jeunes Inuits du Nunavik. Je suis très fier d'avoir fait partie de cet apprentissage ». Ces initiatives porteuses permettent de développer, grâce à la formation, un moteur économique essentiel à la croissance du territoire nordique.

1.3.2. Dans les pays francophones à l'international

En novembre 2018, le Canada était l'invité d'honneur de l'événement SIM Sénégal. Le chef du Bureau économique du Sénégal au Canada et coordonnateur de la délégation canadienne au Sénégal, Zaccaria Coulibaly, a invité les établissements d'enseignement offrant de la formation minière à participer à cet événement qui regroupait, entre autres, des investisseurs miniers. L'Institut national des mines a d'ailleurs participé à cet événement afin de pouvoir évaluer le potentiel des partenariats possibles entre le milieu des affaires sénégalaises et les établissements d'enseignement du Québec. Partageant à la fois la langue française, le potentiel minier et le souci de développement minier durable, il était tout indiqué de mettre en avant-plan l'éducation et la vision de la formation tout au long de la vie.

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

1.4.1. Des formations collégiales

Attestation d'études collégiales (AEC) en opération et contrôle de procédés chimiques

L'attestation d'études collégiales en opération et contrôle de procédés chimiques qui a été développé entre l'entreprise Nemaska Lithium et le Collège Shawinigan est un exemple à suivre pour le développement de la main-d'œuvre minière au Québec. Proposée en février 2019, l'attestation d'études collégiales (AEC) en opération et contrôle de procédés chimiques offre la possibilité aux finissantes et aux finissants de travailler dans l'usine de Nemaska Lithium, mais également dans d'autres entreprises de Shawinigan. Un projet que l'Institut national des mines suivra malgré les défis rencontrés actuellement par Nemaska Lithium.

Attestation d'études collégiales (AEC) en spécialisation technique en environnement minier à distance au Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue

Le Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue offre désormais l'attestation d'études collégiales (AEC) en [Spécialisation technique en environnement minier](#). Grâce à un partenariat de 150 000 \$ avec le Mouvement Desjardins, par le biais de son Fonds des régions, le cégep pourra développer la formation à distance. Le programme permet à des étudiants d'apprendre l'ensemble des tâches techniques liées à la gestion de l'environnement, dans le respect du bien-être des communautés locales, ainsi que des normes environnementales en vigueur. Il s'agit d'un exercice faisant appel à des compétences liées aux technologies minérales, mais aussi à d'autres domaines comme la géochimie, l'hydrogéologie, la géotechnique et même l'agronomie.

1.4.2. La création de programmes et de projets de recherche universitaires

Programmes et projets de recherche en environnement à l'Université de McGill

ArcelorMittal Exploitation minière Canada S.E.N.C. a financé un important partenariat de recherche en génie des mines et des matériaux à l'Université de McGill. Ce soutien financier de 360 000 \$ sur quatre ans permet la création de programmes ainsi que de projets de recherche sur l'environnement au Département des mines et des matériaux. Les projets de recherche en cours au sein du Département portent notamment sur la planification stochastique des programmes

d'exploitation, la géologie de l'environnement, l'aération des mines ainsi que les processus de transport industriels.

Recherche sur des projets technologiques liés à l'automatisation et à la robotisation des mines à l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

Le Centre d'excellence en télécommunications souterraines pour les mines autonomes, supporté par des partenaires notamment l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue a reçu, en janvier 2019, le Fonds d'appui au rayonnement des régions (FARR) du gouvernement du Québec pour ses projets technologiques en communication souterraine relativement à l'automatisation et à la robotisation des mines. C'est 130 000 \$ qui ont été investis pour la création et le développement d'axes d'expertise et d'innovation. Les recherches s'effectueront dans des mines souterraines réelles.

1.4.3. La formation continue, moteur d'une main-d'œuvre qualifiée

Tout comme plusieurs secteurs économiques au Québec, le secteur minier connaîtra une pénurie de main-d'œuvre qualifiée. Comme le soutient l'Institut national des mines, la formation tout au long de la vie professionnelle est devenue la vision à privilégier pour éviter l'obsolescence des compétences de la mine intelligente. Le monde de l'éducation évolue en proposant de la formation continue en milieu de travail, en classe, à distance et en tout temps. Des contenus sont ajoutés et d'autres sont adaptés aux nouvelles technologies telles que l'intelligence artificielle. Dans le journal *Le Devoir*, un dossier complet sur la formation continue a été publié en octobre 2018. La formation continue est désormais la pierre angulaire pour favoriser le déploiement des organisations à leur plein potentiel en permettant avant tout une entrée sur le marché du travail, mais également un outil d'avancement professionnel. En contexte de pénurie de main-d'œuvre, le développement professionnel doit être favorisé par les dirigeants afin de contribuer à la rétention de leur personnel.

C'est plus de 600 formations collégiales offertes au Québec, en particulier dans des domaines 4.0 tels que la robotique industrielle, la spécialisation en chaîne logistique intégrée et l'intelligence artificielle. Les services de formation continue doivent augmenter leur flexibilité, être en mesure de réagir dans un délai acceptable afin de concurrencer des entreprises privées offrant de la formation sur mesure. La formation continue à distance permet également l'expansion des marchés francophones à l'international.

2. Les nouvelles tendances technologiques minières et la transformation des métiers et des professions du secteur minier à laquelle pourraient se greffer de nouveaux besoins de formation

Pour mieux mesurer les besoins de formation, la veille informationnelle de l'Institut national des mines s'intéresse aux technologies qui changent le travail de la main-d'œuvre minière. Les entreprises minières privilégient plusieurs technologies et tentent d'assurer un arrimage des plus efficace pour augmenter leur productivité et leur efficience. Pour réaliser cette transition, les entreprises doivent mieux anticiper la transformation des métiers et des professions de leur personnel pour répondre à leurs objectifs, mais également pour trouver une main-d'œuvre qualifiée nécessitant de la créativité dans le processus de recrutement.

En Australie, où plus de 200 000 personnes travaillent dans l'industrie minière, l'automatisation a eu des répercussions sur le taux d'emploi. Plusieurs nouveaux postes ont vu le jour ainsi que de nouvelles occasions pour la main-d'œuvre minière. La publication *Mining Technology* (2019) révélait que l'indice *DFP Mining* mentionnait que le nombre de postes vacants dans le secteur minier avait augmenté de 38,7 % entre 2016 et 2017. Ainsi, des possibilités d'emploi s'ouvraient, et ce, surtout pour les techniciens, les ingénieurs et les pilotes de drone, des postes requérant de la formation minière de niveaux collégial et universitaire.

Utiliser la technologie pour réaliser du recrutement et changer l'image de l'industrie minière pour la rendre plus « technologique » sont différentes avenues envisagées par les équipes des communications et des ressources humaines. L'University of South Australia est un exemple intéressant à souligner. L'organisation a mis sur pied un tout nouveau programme de recrutement immersif utilisant la réalité virtuelle. Les élèves du professeur Tom Raimondo peuvent interagir avec des modèles en 3D dans une série de jeux ou de tâches recréées dans un environnement virtuel. Reproduisant des sites et des activités géologiques, les élèves peuvent également en apprendre davantage sur la géologie, sur l'étude des sols et sur de nouvelles technologies du secteur minier. Selon l'organisation, la réalité virtuelle offre l'avantage d'atteindre des sites distants et de réduire les coûts des visites de formation.

Pour repérer les tendances en formation minière, il est nécessaire de connaître les initiatives de recrutement réalisées par les établissements d'enseignement offrant des programmes de formation minière, mais également cerner les technologies nouvellement implantées par les plus grandes entreprises minières. D'ailleurs, quelle que soit leur taille, les entreprises du secteur minier sont de plus en plus nombreuses à utiliser une variété de technologies dérivées de la révolution 4.0 et nécessitant de répondre aux besoins de formation. En septembre 2018 et janvier 2019, la veille informationnelle de l'INMQ s'est attardée à dix nouveautés technologiques implantées dans les secteurs minier et industriel méritant une attention particulière.

2.1. Le jumeau numérique, le simulateur minier et la mine intelligente

Élément essentiel d'une mine intelligente, un jumeau numérique est un outil de simulation lié directement avec l'exploitation minière. Il est de plus en plus utilisé par le secteur minier au Québec. Il permet de développer, de tester et d'optimiser différents scénarios opérationnels avant de choisir un processus innovant dans une mine automatisée et de l'implanter. Le document publié en juin 2018 par l'Institut national des mines, [Transformation numérique et compétences du 21^e siècle pour la prospérité du Québec. Exemple de l'industrie minière](#), insiste sur l'importance, pour les entreprises minières, de disposer d'un jumeau numérique qui réplique l'ensemble des composantes physiques de leurs mines automatisées.

La résistance au déploiement rapide et systématique de jumeaux numériques dans l'industrie minière provient de différentes sources qui sont discutées dans l'article d'Eavan Moore dans le *CIM Magazine*. La source de résistance qui interpelle particulièrement l'Institut national des mines concerne l'adhésion des opérateurs, qui résistent à l'adoption d'un nouvel outil numérique, une innovation de rupture qui modifie complètement la gestion des opérations.

La résistance des opérateurs interpelle l'Institut national des mines puisque la solution passe nécessairement par la formation de ces travailleuses et de ces travailleurs, en milieu de travail et en utilisant au maximum les capacités de l'apprentissage par simulation. La résistance à l'implantation de jumeaux numériques, éléments essentiels au déploiement de la mine intelligente dérivée de la révolution 4.0, permet également de souligner à nouveau l'importance de faire évoluer l'offre de formation continue dans les établissements d'enseignement public afin de maintenir l'employabilité des travailleurs miniers pendant toute leur carrière.

2.2. La cartographie et l'impression 3D

Pour mieux comprendre les gisements miniers, l'impact environnemental d'un projet minier ou même la gestion des opérations dans une minière, la technologie permet de diffuser de l'information autrement, souvent plus concrètement pour les parties prenantes telles que le gouvernement, les investisseurs, les citoyens ou la main-d'œuvre minière. D'ailleurs, la technologie d'impression 3D est particulièrement étudiée dans des projets d'exploration.

À l'automne 2018, les entreprises 3D Systems et BCA Consulting ont uni leurs forces en imprimant en 3D un casse-tête présentant une carte en relief de la zone d'un projet minier. Cette carte démontrait l'impact environnemental, mais également le fonctionnement des opérations futures par phase du projet minier s'échelonnant sur 30 ans. Ce casse-tête du projet minier, imprimé en 3D, amène certainement une nouvelle vision à adopter pour la présentation future de projets miniers. Il soulève également la question de la formation des géologues, par exemple. Utiliser de nouveaux outils de communication et de diffusion des projets miniers favorise inévitablement la formation.

PwC Canada (2018) mentionnait dans une de ses publications que la petite société minière Novo Resources Corp. avait développé un modèle 3D d'un lit minéral pour son projet Comet Well dans la région de Karratha en Australie alors que la minière ontarienne First Cobalt Corp. avait planifié ses travaux de forage grâce à la modélisation 3D de son site, basée sur des données de travaux miniers historiques. Pour leur part, Cornerstone Capital Resources a utilisé un levé magnétique aérien 3D pour définir des lieux à explorer pour son projet Bramaderos en Équateur.

2.3. La place des robots sur le marché du travail

La place des robots dans le marché mondial est de plus en plus présente. D'ici 2025, le Forum économique mondial estime que 52 % des tâches répétitives seront désormais exécutées par des robots. Par conséquent, c'est 58 millions de nouveaux emplois qui seront créés, et ce, d'ici 5 ans. En janvier 2019, l'Institut national des mines a pu constater l'effervescence entourant l'enseignement au primaire et au secondaire grâce à la robotique. Le Consumer Electronics Show a présenté de nombreuses technologies en robotique. L'Institut national des mines se penchera davantage, dans les prochaines semaines, sur l'enseignement de la robotique dans les programmes de formation minière.

2.4. L'intelligence artificielle : plusieurs utilités, notamment l'identification des métaux jusqu'à leur commercialisation

L'industrie minière utilise de plus en plus l'intelligence artificielle pour explorer de nouveaux gisements, effectuer l'extraction et traiter le minerai. Évidemment, l'IA est utilisée dans l'optique de réduire les coûts, d'améliorer la rapidité et d'obtenir une meilleure teneur par tonne. « [...] l'intelligence artificielle est en mesure de décider de la production, des itinéraires de commercialisation tout en tirant parti des tendances mondiales et des capacités en temps réel des propriétés minières des sociétés », soulignait le directeur des ventes de Rajant Corporation, Chris Mason, dans un article du *Mining Technology* (2018, p. 4).

D'ailleurs, pour mieux cerner l'intelligence artificielle et ses applications dans le secteur minier, le Austmine Smart Mining rapportait que l'entreprise canadienne Global Mining Guidelines Group avait mis en place, en novembre 2018, un groupe de travail à Perth, en Australie. Il s'agissait d'une communauté d'intérêts regroupant, entre autres, des opérateurs, des experts en intelligence artificielle de l'industrie minière ainsi que des acteurs du secteur minier. Trois principaux objectifs sont poursuivis par cette communauté d'intérêts : comprendre le concept de l'IA, documenter des applications et faciliter son déploiement.

Au Québec, les établissements d'enseignement et les entreprises minières utilisent de plus en plus l'intelligence artificielle. L'entreprise Ressources Falco a utilisé les programmes d'intelligence artificielle d'Albert Mining dans la recherche de nouvelles cibles de minéraux à Rouyn-Noranda. Grâce à des données historiques, de l'or, du cuivre, du zinc et de l'argent ont été détectés dans

onze nouvelles zones d'exploration. Dans le secteur minier, le professeur au Département des sciences appliquées de l'Université du Québec à Chicoutimi, Paul Bédard, et son équipe ont mis au point un outil utilisant l'intelligence artificielle et permettant l'identification de métaux et de minéraux de façon automatisée. Selon le scientifique en chef du Québec (2019), monsieur Rémi Quirion, grâce à un algorithme composé d'une cinquantaine de critères d'analyse de métaux et de minéraux, il est désormais possible d'identifier divers échantillons de sable, et ce, en quelques minutes. Pour l'identification de l'or, un spectre de lumière réfléchi est utilisé comme outil d'analyse.

2.5. Les données

En janvier 2019, la toute nouvelle étude de Deloitte intitulée *Tech Trends 2019 – Beyond the Digital Frontier*, décrivait les défis et les possibilités du secteur minier ainsi que les moyens de s'adapter aux changements. Parmi les tendances majeures, la journaliste Cecilia Jamasmie (2019) du *Mining.com* mentionnait que les données étaient devenues pour les sociétés minières une mine d'information incontournable et qu'elles se devaient de les utiliser à leur plein potentiel, notamment grâce aux capteurs et aux équipements. Les technologies combinées permettent de créer des entreprises numériques interconnectées ayant une plus grande capacité de prises de décisions éclairées.

Lors d'une conférence organisée par l'Australasian Institute of Mining and Metallurgy (AusIMM), le directeur de l'exploration chez Rio Tinto, Gerard Rheinberger, expliquait que ce n'était pas tout d'obtenir des données, il fallait trouver de la main-d'œuvre qualifiée, possédant peut-être moins de compétences techniques, mais ayant la capacité de les interpréter et de les communiquer à un large public tout en désirent toujours apprendre.

2.6. L'accès à un réseau LTE pour favoriser la connectivité

La technologie d'évolution à long terme (LTE) dans les mines souterraines du Québec rend désormais disponible une imposante bande passante indispensable pour l'implantation de véhicules autonomes intelligents. En plus de favoriser la connectivité, un enjeu majeur dans plusieurs industries, cette bande passante permet aussi l'ajout de caméras de surveillance et de détecteurs de gaz ainsi que la transmission de toutes ces données en temps réel, ce qui guide dorénavant les équipes de supervision pour prendre des décisions éclairées à tout moment, en se basant sur les données factuelles les plus récentes.

Au Québec, l'entreprise Meglab a lancé, en octobre 2018, en collaboration avec l'un des leaders mondiaux en télécommunication, Hyteria, le service LTE dans les mines de l'ensemble du Québec. Avec ce nouveau service LTE et ses produits, l'entreprise compte offrir de la formation en entreprise pour assurer une utilisation optimale dès l'installation.

2.7. La réalité virtuelle comme outil de travail

2.7.1. Le soutien psychologique de la main-d'œuvre minière éloignée des centres urbains

Selon la Dre Shiva Pedram, chercheuse associée au centre d'infrastructure SMART de l'University of Wollongong, la réalité virtuelle pourrait désormais servir de soutien psychologique pour les travailleuses et les travailleurs en région éloignée des grands centres urbains. D'ailleurs, la chercheuse s'intéresse notamment aux effets de l'utilisation de la réalité virtuelle en formation en santé et sécurité dans le secteur minier. Ses recherches sur la formation qui utilise de nouvelles technologies dans le secteur minier ont permis d'améliorer la stratégie de formation des entreprises selon ce que l'on peut lire sur le site de l'Université de Wollongong en Australie. Il s'agit d'une tendance à suivre et à explorer dans les prochains mois pour l'Institut national des mines.

2.7.2. La commande à distance d'un véhicule pour l'exploitation minière sous-marine

L'Union européenne ne représente que 3 % de la production mondiale de minerai. Malgré tout, pour parvenir à augmenter sa productivité et réduire sa dépendance liée à l'importation de minéraux, l'organisation a eu recours à des technologies permettant d'accéder à des gisements sous-marins. Financée par le programme européen, Horizon 2020, une équipe a développé un système minier autonome sous-marin permettant de rechercher et d'extraire des gisements minéraux dans les lacs intérieurs comme d'anciennes mines inondées. Le véhicule d'exploitation minière, atteignant des profondeurs de 500 à 1 000 mètres, est télécommandé à distance à partir d'un chariot hydrostatique, appelé « navire de lancement et de récupération ». Des capteurs sont installés sur un appareil mobile sous l'eau qui est en mesure de prendre des données autour du véhicule d'exploitation. Ces données, une fois transmises, sont recréées en réalité virtuelle au pilote à la surface. Il peut alors télécommander l'appareil à distance.

De plus, un système de spectroscopie laser permet de repérer et de classer les matériaux recueillis, et ce, en temps réel. Selon l'article paru dans *The Engineer* (2018), cette méthode d'exploitation serait moins polluante que de pomper l'eau des lacs ciblés par l'exploitation minière.

2.8. L'Internet des objets et l'automatisation

Réunissant des experts du secteur minier, le *Mining Technology* publiait, en septembre 2018, le portrait des progrès technologiques pouvant modeler l'avenir des entreprises minières. L'Internet des objets industriels (IIoT) figurait parmi la liste des progrès à surveiller. Contribuant à une meilleure sécurité de la main-d'œuvre tout en favorisant l'optimisation de la chaîne de

production, l'efficacité des opérations et la rentabilité de l'entreprise, l'IloT offre la possibilité aux entreprises de réaliser la transition des procédés manuels et mécaniques vers une transition des procédés numériques. Il est question ici de l'Internet des objets industriels offrant la possibilité de collecter des données à l'aide, notamment, de capteurs tant sur les vêtements et les accessoires de la main-d'œuvre minière, que sur les lieux de travail ou les équipements miniers. Les mesures relatives au temps consacré à une tâche, à la distance du transport, au chargement du minerai, à la consommation de carburant et à la distance parcourue ne sont que quelques données possibles à obtenir pour tirer avantage de cette technologie.

2.9. La chaîne de blocs pour le respect de l'environnement

La chaîne de blocs tirée de l'anglais *blockchain* gagne de plus en plus de terrain. La chaîne de blocs, telle que définie dans l'Office québécois de la langue française (2017, p. 1), est une « base de données distribuée et sécurisée, dans laquelle sont stockées chronologiquement, sous forme de blocs liés les uns aux autres, les transactions successives effectuées entre ses utilisateurs depuis sa création ».

Principalement utilisée par les investisseurs, la chaîne de blocs est présente dans les opérations minières, puisque la donnée demande une cybersécurité accrue qui peut être résolue entre autres par cette technologie. Le rôle de la chaîne de blocs pourrait augmenter la traçabilité de données précises, augmenter la transparence et la sécurité lors du partage de données. Il devient un nouvel outil pour la surveillance et le respect des normes et des règlements environnementaux. Selon l'avocate experte dans le secteur minier, Rebecca Campbell de la firme White & Case LLP, la chaîne de blocs sera essentielle pour le développement du secteur minier. Il reste désormais à connaître le moment où elle sera implantée. Dans sa plus récente étude, Deloitte (2019) voit un éventail d'utilités pour le secteur minier dans la technologie de la chaîne de blocs, notamment par la création de contrats intelligents. Selon les experts interrogés dans l'étude, la principale utilité de la chaîne de blocs dans le secteur minier demeure actuellement à l'étape de la chaîne d'approvisionnement. Cependant, des entreprises canadiennes telles que Goldcorp réalisent présentement des ventes directes aux concessionnaires et aux banques.

2.10. Les drones pour accroître la sécurité

En novembre 2018, une filiale sud-africaine du groupe Delta Drone Group, Rocketmine, a signé un contrat avec le géant minier Exxaro Resources pour intégrer la modélisation 3D dans sa mine Newmont Akey au Ghana, avec l'aide de drones. L'entreprise minière utilisait déjà la réalité virtuelle pour le déploiement du jumeau numérique de sa mine Belfast en Afrique du Sud. Les différentes équipes de la minière pourront, grâce au drone et à la réalité virtuelle, être en mesure de se déplacer en marchant dans la mine en toute sécurité. De plus, ils utiliseront la modélisation 3D pour offrir de l'apprentissage par simulation.

Actuellement, les drones sillonnent le Québec pour effectuer l'exploration minière. Ils connaîtront désormais un succès en exploitation minière selon le directeur de l'innovation minière d'Inmarsat, Joe Carr. Les drones connaîtront une plus grande popularité puisqu'ils sont désormais en mesure d'accéder à des lieux plus risqués pour l'être humain en exploitation minière. En plus de favoriser la sécurité de la main-d'œuvre minière, les drones recueillent et analysent des données en temps réel. La main-d'œuvre minière agira davantage comme surveillant à distance.

Pour conclure cette section, il est important de mentionner que les nouvelles technologies ne touchent pas seulement de grandes minières telles que Rio Tinto, mais également de plus petites sociétés minières. Innover avec audace pour créer de la valeur ajoutée serait de plus en plus valorisé par les sociétés minières de petite taille. Dans une étude de PwC Canada, quelques initiatives d'entreprises minières ayant investi dans des technologies 4.0 telles que l'automatisation, l'intelligence artificielle, la modélisation 3D et la numérisation de données historiques ont été présentées. Selon le rapport de PwC Canada (2018, p. 4), ces technologies permettent « [...] d'accroître leur efficacité, de contrôler leurs coûts à long terme, de naviguer dans la volatilité des prix de base et de se distinguer sur le marché concurrentiel auprès des investisseurs ». De plus en plus d'entreprises minières emboîtent le pas vers une transformation numérique menant à la mine intelligente. Le déploiement de la technologie 4.0 se réalise grâce à une formation de qualité dans les centres de formation, mais également dans les départements de formation des entreprises minières. Pour parvenir à cette transition et mieux s'adapter à ces changements, le développement du capital humain est un enjeu capital.

3. La transition numérique des organisations et le développement du capital humain

3.1. Les facteurs de réussite organisationnelle de la transformation numérique

Gérer le changement dans une organisation, notamment le changement numérique, est le défi de taille du 21^e siècle. En janvier 2019, le Tech Trends 2019 – Beyond the Digital Frontier de Deloitte, s'intéressait à la gestion des risques à l'ère numérique. Avec l'intelligence artificielle déployée dans les processus décisionnels, les minières doivent développer une vision prospective basée sur les données produites par les outils d'intelligence artificielle et cognitive désormais disponibles pour les sociétés minières, résumait le *Mining.com* (2019).

En novembre 2018, le ministère de l'Économie et de l'Industrie (MEI, 2018) écrivait un résumé d'une nouvelle étude de McKinsey & Company sur l'état des transformations numériques. Cette étude révélait que moins du tiers des transformations organisationnelles connaissaient du succès et que leur taux de réussite demeuraient tout de même faible, notamment pour des industries plus traditionnelles comme celles du pétrole et du gaz. Des facteurs de réussite et des pratiques exemplaires des entreprises ayant connu du succès ont été ciblés et résumés dans un article du MEI (2018, p. 2) :

« [...] **Le leadership** : lorsque les acteurs organisationnels clés – autant les hauts dirigeants que les professionnels spécialisés – s'impliquent dans le processus de transformation, le succès est plus probable. Les résultats montrent aussi un lien entre les expériences de réussite et la présence d'un leader numérique (*digital officer*) capable de soutenir la transformation.

Le renforcement des compétences de la main-d'œuvre de l'avenir : le développement des talents et des compétences est une condition incontournable pour les efforts de transformation organisationnelle, qu'il s'agisse de changements traditionnels ou numériques. Cela implique la redéfinition des rôles et des responsabilités des individus afin qu'ils s'alignent sur les objectifs de la transformation. Un autre élément d'intérêt est la modification des protocoles de recrutement pour les rendre plus innovants, par exemple l'organisation de conférences technologiques ou de « hackathons ».

L'habilitation des employés : un élément clé du succès de la transformation est la mise en place de pratiques qui permettent de travailler différemment. Les recherches menées par McKinsey révèlent que les transformations numériques exigent des changements culturels et comportementaux tels que la prise de risque calculée, une collaboration accrue et une approche centrée sur le client, entre autres choses.

La mise à niveau numérique des outils de travail utilisés au quotidien : il s'agit essentiellement de l'adoption d'outils numériques pour rendre l'information plus accessible dans l'ensemble de l'organisation et de la mise en œuvre de technologies numériques en libre-service que les employés et les partenaires d'affaires peuvent utiliser. Un autre facteur de succès est l'utilisation des technologies pour modifier les

procédures d'exploitation de l'entreprise. Enfin, l'amélioration de la prise de décision grâce à l'utilisation d'outils interactifs peut augmenter les chances de réussite d'une transformation.

La communication : les efforts de transformation, qu'il s'agisse d'une transformation numérique ou traditionnelle, nécessitent une stratégie de communication claire. Une telle stratégie permet d'installer un sentiment d'urgence qui est souhaitable pour effectuer les changements. Expliquer la raison de la transformation, la nouvelle direction que prendra l'entreprise et l'importance du changement est un élément clé de réussite. »

Ces facteurs de réussite peuvent certainement orienter les besoins de formation du secteur minier dans cette transition vers la mine intelligente pour tous les intervenantes et les intervenants du secteur minier désirant favoriser ce changement au sein de leur organisation. Plusieurs raisons expliquent l'engagement actuel des entreprises minières dans la transformation numérique. Les gestionnaires recherchent une amélioration des performances opérationnelles et financières. L'augmentation de leur capacité d'innovation facilite également l'attraction, la motivation et la rétention de la nouvelle main-d'œuvre. Acquérir une excellente capacité d'innovation implique que l'innovation soit au centre de la culture organisationnelle.

3.2. Les types de leadership

Dans un récent sondage de Deloitte (2019) mené auprès de 2 000 dirigeants C-Suite du monde pour connaître ce qui les aidait à gérer le changement, à réussir la transformation dans l'industrie 4.0 et le développement de leur main-d'œuvre, ceux-ci révélaient, notamment, qu'ils avaient sous-estimé le déficit de compétences de leurs employés et qu'ils désiraient davantage former leurs employés que d'en embaucher de nouveaux. Cette étude a fait ressortir quatre types de leadership qui pourraient faciliter la transition numérique et même éveiller des besoins de formation éventuels dans le secteur minier, il s'agit : des *Super Social*, des *Data-Driven Decisives*, des *Disruption Drivers* et des *Talent Champions*. Le profil *Talent Champions* encourage particulièrement la formation afin d'assurer le développement professionnel de leur personnel, mais également l'acquisition de compétences pour évoluer dans le travail de demain.

3.3. Les défis à surmonter

Dans le secteur minier, le discours se développe également et priorise la qualification de sa main-d'œuvre. Lors de l'événement Future of Mining Americas, qui se déroulait à Denver en octobre 2018, des conférenciers de partout dans le monde sont venus discuter des enjeux de la mine du futur et de ses activités numérisées. L'entreprise canadienne de consultants en ingénierie, Hatch, a révélé lors d'une conférence que plus de 70 % des initiatives utilisant l'Internet des objets industriels (IIoT) se traduisaient en échec. Selon eux, cinq raisons majeures expliquent ce résultat : compréhension incomplète des répercussions sur les activités opérationnelles, feuille de route qui prend en compte que la technologie en elle-même en oubliant les leviers à activer, la pénurie

de talents et d'expertise, la collaboration limitée entre les départements dans les mines et le manque d'engagement de la direction à communiquer régulièrement les changements apportés par l'organisation aux employés. Autrement dit, il semble que les organisations ayant adopté une approche rigoureuse axée sur l'action en réalisant les transformations nécessaires ont réussi à 79 %. « Vous devez préparer vos programmes de changement de la même manière que vous préparez un marathon », a expliqué le directeur de gestion de l'entreprise Hatch, M. Carlo Cristofari à la journaliste Donna Schmidt (2018, p. 3).

L'entreprise Hatch lors de cette conférence au Future of Mining Americas, a identifié les quatre éléments-clés pour positionner une organisation dans ce changement organisationnel numérique. Selon l'entreprise canadienne, l'organisation doit être en mesure de : donner les raisons du changement apporté et être convaincante lors de la présentation des projets; comprendre comment le changement sera effectué en mettant une structure et des rôles de soutien; minimiser la fatigue du changement en choisissant le bon objectif et la bonne feuille de route; s'assurer d'avoir les meilleurs partenaires et établir une collaboration et une communication efficaces. Selon une étude menée par Mercer sur les tendances mondiales des talents, l'innovation est désormais au cœur des préoccupations de la majorité des entreprises. Pour réaliser l'innovation et le changement qui l'accompagne, les employeurs doivent se préoccuper des compétences humaines ainsi que leur capacité à résoudre des problèmes complexes. Cinq tendances sont énumérées dans cet article du *HR Technologist* : la capacité à changer rapidement; la volonté de s'imposer un but pour inciter le changement; la flexibilité au travail (où, quand, comment et qui); la correspondance entre l'offre de compétences et le travail à réaliser ainsi que le virage numérique comme expérience enrichissante pour le travail humain.

L'*AusIMM Bulletin* s'est questionné, en octobre 2018, sur les compétences nécessaires et le rôle des dirigeants en ressources humaines dans l'évolution technologique du secteur minier en Australie. À la suite d'une série de 125 conférences sur le leadership, différents points sont ressortis : l'importance de la culture organisationnelle sur le lieu de travail a une incidence sur le leadership; la création d'un leader enthousiaste à l'égard de l'objectif commun de l'organisation; la volonté d'avoir une vision ouverte sur les secteurs d'activités dans le monde; miser sur la confiance, l'attraction et la rétention des talents, entre autres, les immigrants; et l'apport d'une formation reconnue par le milieu.

Le travail change. Cependant, les valeurs qu'apportent le leader importent davantage comme le soulignait l'une des conférencières, Megan Clark, ancienne professionnelle des ressources humaines et désormais chef de l'Agence spatiale australienne. La formation, tout au long de la vie, demeure un incontournable pour parvenir à transiter vers le 4.0. L'agilité pour le changement exige d'accélérer les apprentissages et les connaissances des employés et d'offrir une place de choix aux ressources humaines. Selon Mercer, le développement des compétences et la requalification ne sont considérés que par 15 % des cadres supérieurs, d'où l'importance pour les professionnels des ressources humaines d'influencer les gestionnaires. Toujours selon cette étude, il est important dès maintenant de mettre en œuvre des stratégies pour le développement de la main-d'œuvre tout en favorisant l'amélioration de leurs compétences actuelles.

Attirer davantage la main-d'œuvre dans un contexte de pénurie est un défi supplémentaire pour les professionnelles et les professionnels des ressources humaines. Difficile de réunir rapidement

à la fois les compétences de la main-d'œuvre aux offres d'emploi disponibles. Mercer, invite les ressources humaines à adopter une approche novatrice moins conservatrice pour combler leurs besoins de main-d'œuvre. Il existe des outils numériques utilisant de l'intelligence artificielle permettant de préciser les besoins de l'organisation en matière de main-d'œuvre, à déterminer s'il est préférable d'embaucher, de développer ou de réaliser un « prêt » de personnel, et ce, grâce à des outils numériques de plus en plus précis utilisant de l'intelligence artificielle. Offrir un environnement numérique mis à jour est également un incitatif pour attirer de la main-d'œuvre.

L'expertise des enseignants de HEC Paris a été réunie dans un livre blanc présentant des conseils sur l'implantation d'une culture numérique efficace et progressive au sein des organisations. Pour l'un des coauteurs, Jean-Rémi Gratadour, « [...] Fini le temps où les managers [*sic*] tout-puissants contrôlaient la situation depuis leur tour d'ivoire. Les leaders doivent maintenant être des gens d'action qui n'ont pas peur de contester les idées ni d'être remis en question par leur équipe », a souligné le directeur général du Centre digital du HEC Paris dans un communiqué publié par HEC Paris (2018, p. 2). Pour parvenir à ce changement, HEC Paris propose des programmes axés sur la transformation numérique, notamment le Certificat Executive en Pilotage de la transformation digitale et des programmes sur mesure destinés aux cadres ayant pour objectif le développement de la culture et des capacités numériques nécessaires dans les organisations.

4. Les pistes d'action susceptibles d'orienter les prochaines activités de veille de l'Institut national des mines

Favoriser une culture de leadership, de fierté et d'audace devient une vision à adopter pour contribuer au développement des compétences nécessaires et ainsi s'affranchir les étapes supplémentaires pour atteindre une maturité numérique permettant le plein développement du secteur minier au Québec.

Comme le soulignait Deloitte (2019), l'ère numérique dans le secteur minier amène toutes les organisations à réinventer le travail, la main-d'œuvre ainsi que le lieu du travail. Les établissements d'enseignement tout comme les départements de formation dans le secteur minier doivent contribuer avec l'aide d'organisations comme l'Institut national des mines à ce changement. C'est par la formation qu'ils y parviendront. La nature du travail et les compétences nécessaires sont en perpétuels changements. Comment les attirer dans un secteur minier en constante évolution technologique? L'Institut national des mines, par ses projets pilotes et ses publications, souhaite devenir un levier à ce changement organisationnel.

L'accès aux infrastructures technologiques se déploie progressivement et à vitesse variable dans les écoles, les cégeps et les universités du Québec. Pour parvenir à l'implantation de médias immersifs dans les établissements publics québécois, il semble intéressant de favoriser le partenariat entre les établissements d'enseignement et même envisager l'adoption d'une plateforme d'enseignement numérique qui pourrait permettre aux enseignantes et aux enseignants d'explorer de nouvelles pratiques pédagogiques.

L'Institut national des mines a remarqué, lors du Consumer Electronics Show, que plusieurs initiatives jumelaient à la fois la réalité virtuelle et la simulation. La réalité virtuelle et la réalité augmentée peuvent également être reproduites à l'intérieur d'un simulateur d'équipement sans avoir recours aux lunettes virtuelles. De plus en plus exploité dans le secteur minier au Québec et dans les établissements d'enseignement, l'apprentissage par simulateur a démontré son utilité. Il s'agit évidemment d'une avenue de recherche à approfondir pour l'Institut national des mines afin répondre à son objectif du plan stratégique sur la diversification des modes d'enseignement. D'ailleurs, l'Institut national des mines publiera, à l'automne 2019, un portrait sur les simulateurs présents au Québec tant dans le milieu de l'éducation que dans le secteur minier ainsi qu'un avis ministériel sur les outils de simulation dans l'apprentissage.

À l'ère industrielle 4.0, le défi demeure la transformation des tendances en actions concrètes? Créer un espace en temps, un espace pour penser librement afin de réfléchir et mettre en place des moyens pour parvenir à réaliser le changement organisationnel. Il s'agit d'éléments à considérer pour favoriser cette transition inévitable. La culture de l'innovation pour certains, la culture de l'amélioration continue pour d'autres, quel que soit le nom donné, ce changement offre des possibilités aux établissements d'enseignement de former une main-d'œuvre ayant la capacité de réussir ce virage numérique.

Développer une culture de la formation continue et personnalisée tout au long de la vie demeure la principale piste d'action à emprunter pour devancer plutôt que suivre les tendances technologiques.

En résumé, cinq pistes d'action ciblées par la veille :

1. Offrir une flexibilité aux établissements d'enseignement afin d'offrir des formations sur mesure reconnue par le ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur;
2. Mettre en œuvre des actions permettant le développement d'une culture de la formation continue et personnalisée tout au long de la vie;
3. Suivre l'évolution des changements organisationnels en répondant aux besoins de formation et en accompagnant les ressources humaines vers la mine intelligente;
4. Évaluer la capacité des organismes et des entreprises à anticiper les changements organisationnels nécessaires et leurs répercussions sur la gestion des talents dans un contexte de pénurie de main-d'œuvre;
5. Traduire la volonté de répondre aux besoins de formation dans un secteur en pleine mutation.

5. La remarque finale

Les entreprises du secteur minier et les établissements d'enseignement sont invités à proposer des sujets de veille à l'INMQ. Ainsi, l'infolettre *MineAvenir* pourra mieux répondre à leurs 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 minière.

Tableaux des thèmes diffusés et nombre d'articles de l'infolettre *MineAvenir* – Septembre 2018 à janvier 2019

TECHNOLOGIES 4.0 / ORGANISATION 4.0 *Thèmes majoritairement liés au secteur minier	NOMBRE D'ARTICLES PROPOSANT CE SUJET
Intelligence artificielle /Imputabilité et responsabilité du déploiement des nouvelles technologies (intelligence artificielle) /outil de travail	13
Culture de l'innovation, stratégie d'innovation dans leur organisation/créativité pour trouver des solutions aux besoins 4.0/ risque de l'innovation	9
Leadership 4.0, leadership numérique, place des ressources humaines (qualité à développer pour devenir leader et décideur) pour développer sa main-d'œuvre grâce à la formation	8
Transformation numérique	6
Cybersécurité	4
Logiciels/applications	4
Automatisation	3
Connectivité (LTE)	3
Données massives (<i>big data</i>)	3
Intégration et analyse des données en temps réel	3
Réalité virtuelle et augmentée (réalité virtuelle pour commander à distance un appareil sous-marin)	3
Apprentissage profond	2
Capteurs (tri du minerai, collecte de données, etc.)	2
Environnement minier	2
Internet des objets industriels (IIoT)	2
Spectre de la lumière réfléchi/spectroscopie	2
Mines intelligentes	2
Programmation/codage	2
Véhicules électriques/mines électriques	2
Chaîne de blocs	1
Calcul haute performance (CHP)	1
Camions et trains autonomes	1
Contrôle et supervision à distance (excavatrice souterraine) télécommandés	1
Drones	1
Géolocalisation	1
3D (impression, modélisation)	1
Interconnectivité des systèmes	1
Jumeau numérique	1
Robots/robotique	1
Spectroscopie laser	1

Technologies de l'information et de la communication	1
Téledétection	1
Traitement en nuage et informatique de pointe	1

TENDANCES GÉNÉRALES EN FORMATION/FORMATION MINIÈRE**NOMBRE D'ARTICLES
PROPOSANT CE SUJET**

QUI?	
Clientèles diversifiées (Inuit)	3
QUOI?	
Acquisition de nouvelles compétences/formation professionnalisante/environnement/compétences transversales (compétences numériques, codage, cybersécurité, vision, simulation collaborative de robotique, réalité augmentée), compétences pouvant se distinguer de la machine, habilitation des employés, mise à niveau numérique des outils de travail utilisés au quotidien, communication	23
Rendre accessible la formation dans son milieu	11
Culture de la formation continue tout au long de la vie	8
Formation à distance	5
Écosystème efficace (favoriser le partenariat entre les établissements d'enseignement et les entreprises)	4
COMMENT?	
Favoriser la formation en milieu de travail/réaliser un programme de formation/le lieu de travail devenu un lieu d'apprentissage/évaluation en entreprise ou en stage	10
Repenser les programmes de formation/formations plus courtes, à distance/intégrant les TIC, classe intergénérationnelle, multiculturelle, apprentissage numérique, apprentissage en « dehors des murs », apprentissage par défis et par compétences, apprentissage combiné, parcours à la carte, spécialisation, mobilité internationale, briques, outils de base à l'intelligence artificielle	6
Investir financièrement en formation pour répondre aux besoins 4.0	5
Investissement financier par des entreprises minières privées	5
Déploiement de petites cohortes	5
Immersion dans la réalité virtuelle, augmentée ou 360°	4
Programme de formation	4
Simulation/simulateur d'entraînement	3
Créer un centre d'apprentissage dans sa municipalité où les centres urbains sont éloignés	2
Apprentissage en alternance en ligne et en présentiel	2
Relation avec les machines	2
Travail collaboratif	2
Faire « reconnaître » les nouvelles compétences acquises	1
Repenser l'évolution du rôle de l'enseignement grâce à l'intelligence artificielle	1
Programme de formation inspirée du modèle DUAL	1
Création de communautés d'intérêts	1
Mentorat entre professionnels du secteur minier et étudiants	1
Être créatif pour trouver de nouvelles solutions innovantes à la formation	1

POURQUOI?	
S'assurer de faire face à la transformation numérique	11
Augmenter l'employabilité	8
Rendre accessible la formation	8
Attirer des talents dans les secteurs minier et technologique	4
Contexte d'apprentissage optimisé pour l'apprenant (sans danger)	3
Augmentation de la confiance en soi de l'apprenant	3
Diminution des risques au travail	3
Polyvalence de l'employé(e)	2
Augmentation de la capacité à réagir rapidement en situation d'urgence	2
Meilleure transition de la théorie à la pratique	1

Liste de références aux articles publiés dans *MineAvenir* entre septembre 2018 et janvier 2019

AFP. 2018. « En 2025, les machines accompliront plus de tâches que les humains ». *Les Affaires*. En ligne : <https://www.lesaffaires.com/techno/internet/en-2025-les-machines-accompliront-plus-de-taches-que-les-humains/605014>, Consulté le 1^{er} février 2019.

Andela. 2018. *Software engineering teams building faster, smarter – different*. En ligne : <https://andela.com/>, consulté le 15 février 2019.

Austmine Smart Mining. 2018. *Launch of Artificial Intelligence in Mining Working Group*. En ligne : <http://www.austmine.com.au/News/launch-of-artificial-intelligence-in-mining-working-group>, consulté le 15 mars 2019.

Australian Mining. 2018. *Mapping the mine with 3D printing*. En ligne : <https://www.australianmining.com.au/features/mapping-mine-3d-printing/>, consulté le 1^{er} février 2019.

Australasian Institute of Mining and Metallurgy. 2018. *AusIMM Thought Leadership Series report*. En ligne : <https://www.ausimmbulletin.com/feature/ausimm-thought-leadership-series-report/>, consulté le 8 février 2019.

Blom, Amy. 2018. « Virtual reality in mining : pushing the boundaries ». *The Australian Mining Review*. En ligne : <http://australianminingreview.com.au/virtual-reality-in-mining-pushing-the-boundaries/>, consulté le 8 février 2019.

Bravery, Kate. 2018. « 3 Ways to Upgrade our Humanware ». *HR Technologist*. En ligne : <https://www.hrtechnologist.com/articles/strategy/3-ways-to-upgrade-our-humanware/>, consulté le 22 février 2019.

Business World. 2018. « The four skills you need to be ready for the digital future ». *Business World Spark Up*. En ligne : <https://www.bworldonline.com/sparkup-trends-the-four-skills-you-need-to-be-ready-for-the-digital-future/>, consulté le 10 mai 2019.

Carpentier, Camille. 2018. « Une formation collégiale conçue sur mesure pour Nemaska Lithium ». *Ici Radio-Canada.ca*. En ligne : <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1130180/penurie-main-doeuv-re-operateur-emploi-operateur-chimique-olin-chlor-alkali-cepsa-arkema>, consulté le 8 mars 2019.

Cégep de Lévis-Lauzon. 2018. *Une première au Québec : Certification TIC pour les finissants en Gestion et technologies d'entreprise agricole*. En ligne : <http://cll.qc.ca/2018/11/les-finissants-en-gestion-et-technologies-dentreprise-agricole-recoivent-une-certification-tic/>, consulté le 8 mars 2019.

Conférence des grandes écoles. 2018. *L'Institut Mines-Télécom se positionne dans le campus franco-sénégalais*. En ligne : <https://www.cge.asso.fr/liste-actualites/linstitut-mines-telecom-se-positionne-campus-franco-senegalais/>, consulté le 15 mars 2019.

Liu, Deijan, Chris Dede, Ronghuai Huang and John Richards. 2017. *Virtual, Augmented and Mixed Realities in Education*. Springer. 247 p.

Deloitte. 2019. *How leaders are navigating the Fourth Industrial Revolution : Our latest survey of Industry 4.0 readiness*. En ligne : <https://www2.deloitte.com/insights/us/en/deloitte-review/issue-22/industry-4-0-technology-manufacturing-revolution.html>, consulté le 20 janvier 2019.

De Noncourt, Thierry. 2019. « 630 000 \$ pour six projets en région ». *Journal L'Éclat*. En ligne : <https://www.lecitoyenvaldoramos.com/article/2019/01/21/630%E2%80%AF000-pour-six-projets-en-region>, consulté le 13 mai 2019.

Digital Journal. 2018. *Operator Training Simulator Market Set to Witness Significant Growth to 2024 : ABB, Siemens, Tecnomat, DuPont, GSE and 10 other Companies Profiled*. En ligne : <http://www.digitaljournal.com/pr/4049751>, consulté le 15 mars 2019.

Ecofin hebdo. 2018. *La formation aux compétences numériques, le nouveau défi de l'Afrique*. En ligne : <https://www.agenceecofin.com/hebdop3/0510-60589-la-formation-aux-competences-numeriques-le-nouveau-defi-de-l-afrique>, consulté le 15 février 2019.

Fearn, Nicholas. 2018. « Pupil coding numbers soar at Sony UK TEC ». *Tech dragons*. En ligne : <http://techdragons.wales/pupil-coding-numbers-soar-at-sony-uk-tec/>, consulté le 8 février 2019.

Forum économique mondial. 2018. *The Future of Jobs Report 2018*. En ligne : <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2018>, consulté le 13 mai 2019.

Global Market Insights. 2018. *Operator Training Simulator Market Size*. En ligne : <https://www.gminsights.com/roc/1285>, consulté le 15 mars 2019.

HEC Paris. 2018. *Afrique : HEC Paris publie un livre blanc pour guider les industriels dans la transformation numérique*. En ligne : <https://fr.allafrica.com/stories/201810240462.html>, consulté le 8 mars 2019.

Hosie, Ewen. « Tech targets taking exploration 300 km underground ». *Australian Mining*. En ligne : <https://www.australianmining.com.au/news/tech-targets-taking-exploration-300km-underground/>, consulté le 22 février 2019.

Institut national des mines. 2018. « Industrie 4.0, compétences numériques et emplois du futur ». *Repères GRICS*. En ligne : <https://zoneclient.grics.ca/blogue/collaborateurs-/industrie-40-competences-numeriques-et-emplois-du-futur>, consulté le 1^{er} février 2019.

Institut national des mines. 2018. *SIM Sénégal 2018 : une opportunité à saisir*. En ligne : http://www.inmq.gouv.qc.ca/sim_senegal_2018, consulté le 8 février 2019.

Institut national des mines. 2018. *SAMI-PRO, un outil d'aide en français et en mathématique pour les élèves de la formation professionnelle du secteur minier*. En ligne : <http://www.inmq.gouv.qc.ca/sami-pro>, consulté le 1^{er} février 2019.

Institut national des mines. 2018. *Innovier pour rendre accessible l'enseignement supérieur en territoire nordique*. En ligne : <http://www.inmq.gouv.qc.ca/chisasibi>, consulté le 8 février 2019.

Institut national des mines. 2018. *De nouveaux partenariats en formation minière au Québec à souligner*. En ligne : http://www.inmq.gouv.qc.ca/partenariats_formations_minieres, consulté le 8 février 2019.

Institut national des mines. 2019. *Portrait des compétences numériques du personnel du secteur minier du Québec*. En ligne : http://www.inmq.gouv.qc.ca/competences_numeriques, consulté le 8 mars 2019.

Institut national des mines. 2018. *Jumeau numérique, simulateur minier et mine intelligente*. En ligne : http://www.inmq.gouv.qc.ca/jumeau_numerique, consulté le 22 février 2019.

Institut national des mines. 2018. *Transformation numérique et compétences du 21^e siècle. Exemple de l'industrie minière*. En ligne : http://www.inmq.gouv.qc.ca/RadFiles/Documents/DOCUMENTS/DOCUMENTS/696/INMQTrans_formation_numerique_complet_WEB.pdf, consulté le 1^{er} février 2019.

Institut national des mines. 2019. *Quand le réseau LTE favorise le déploiement de la formation minière et le développement des compétences numériques*. En ligne : http://www.inmq.gouv.qc.ca/LTE_formation_miniere, consulté le 8 février 2019.

Knight, Helen. 2018. « Vamos! Project aims to boost European mineral extraction ». *The Engineer*. En ligne : <https://www.theengineer.co.uk/vamos-mineral-extaction/>, consulté le 15 mars 2019.

Larose, Yvon. 2018. *Leadership, audace, fierté : La rectrice Sophie D'Amours convie les membres de la communauté universitaire à la réalisation du plan stratégique*. En ligne : <https://www.lefil.ulaval.ca/leadership-audace-fierte/>, consulté le 8 février 2019.

Le scientifique en chef. 2019. *L'intelligence artificielle pour identifier les métaux*. En ligne : <http://www.scientifique-en-chef.gouv.qc.ca/impacts/lintelligence-artificielle-pour-identifier-les-mineraux/>, consulté le 1^{er} février 2019.

Le télégramme. 2018. *Les étoiles du digital créent leur université*. En ligne : <https://www.letelegramme.fr/economie/rennes-les-etoiles-du-digital-creent-leur-universite-18-09-2018-12082697.php>, consulté le 1^{er} février 2019.

McKinsey & Company. 2018. *Unlocking success in digital transformations*. En ligne. URL : <https://www.mckinsey.com/business-functions/organization/our-insights/unlocking-success-in-digital-transformations?cid=other-eml-alt-mip-mck-1811&hlkid=9a51c71cfe274507bcd9b95a215e3d2b&hctky=1681542&hdpid=6657bb5b-54ff-4819-bc7f-cb2029b2c8af>, consulté le 15 mars 2019.

Mercer. 2018. *Mercer Global Talent Trends*. En ligne. URL : https://www.mercer.com/our-thinking/career/global-talent-hr-trends.html?utm_source=hrt&utm_campaign=2478, consulté le 22 février 2019.

Mining Technology. 2019. *The changing face of mining jobs in Australia*. En ligne : <https://www.mining-technology.com/features/mining-jobs-in-australia/>, consulté le 13 mai 2019.

Ministère de l'Économie et de l'Innovation. 2018. *Les défis de la transformation numérique des organisations*. En ligne : https://www.economie.gouv.qc.ca/objectifs/informer/vecteurs/vecteurs-actualites/vecteurs-actualites-details/?no_cache=1&tx_ttnews%5Btt_news%5D=23066&tx_ttnews%5Bcat%5D=&cHash=deb819b7f812042a86781b98b99402f8, consulté le 15 mars 2019.

Ministère de l'Économie et de l'Innovation. 2018. *Les avantages et inconvénients de l'intelligence artificielle*. En ligne : https://www.economie.gouv.qc.ca/objectifs/informer/vecteurs/vecteurs-actualites/vecteurs-actualites-details/?no_cache=1&tx_ttnews%5Btt_news%5D=23153&tx_ttnews%5Bcat%5D=&cHash=2f4aa33c55d12596ff0c2d6f468960bc, consulté le 10 mai 2019.

Moore, Eavan. 2018. « Une réplique numérique ». *CIM Magazine*. En ligne : <http://magazine.cim.org/fr/technologie/digital-double-fr/>, consulté le 22 février 2019.

Office québécois de la langue française. 2017. *Chaîne de blocs*. Fiche terminologique. En ligne : http://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=26531717, consulté le 15 mai 2019.

Poulin, Pierre-Olivier. 2018. « Une première cohorte de foreurs inuits pour CMAC-THYSSEN ». *Le Citoyen*. En ligne : <https://www.lecitoyenvaldoramios.com/article/2018/12/11/une-premiere-cohorte-de-foreurs-inuits-pour-cmac-thyssen?fbclid=IwAR0bfE71aYR-asDFDln4TIAFR4ZULsHwZNOgKHKTTXgRNGqoFNhD6FmEoRw>, consulté le 15 mars 2019.

Portrait du réseau collégial du Québec. 2018. *Apprendre à l'ère de l'IA*. En ligne : <http://lescegeps.com/nouvelles/2018-10-20-apprendre-a-lere-de-lia>, consulté le 22 février 2019.

Portail du réseau collégial du Québec. 2018. *Amorcez le virage 4.0 de votre entreprise!* En ligne : <http://lescegeps.com/nouvelles/2018-09-28-amorcez-le-virage-4-0-de-votre-entreprise>, consulté le 8 février 2019.

PwC Canada. 2018. *Rapport sur les petites sociétés minières en 2018 : une période de possibilités*. En ligne : <https://www.pwc.com/ca/fr/mining/junior-mine-2018/publications/p487544-canadian-mine-junior-mine-2018-fr-2.pdf>, consulté le 15 mars 2019.

Roulot-Ganzmann, Hélène. 2018. *Formation continue – À la poursuite du savoir*. En ligne : https://www.ledevoir.com/documents/cahier_special/pdf/60234c589671360a34a8ce22d095215e47f64c4c.pdf, consulté le 8 mars 2019.

Schmidt, Donna. 2018. « Hatch offers practical advice at FOM Americas ». *Mining Magazine*. En ligne : <https://www.miningmagazine.com/innovation/news/1349968/hatch-offers-practical-advice-at-fom-americas>, consulté le 8 mars 2019.

Simon, Christine. 2018. « Les compétences numériques sont la clé pour réussir la transformation numérique ». La Jaune et la Rouge. En ligne : <https://www.lajauneetlarouge.com/article/les-competences-numeriques-sont-la-cle-pour-reussir-la-transformation-numerique#.XFSBDCXOWpo>, consulté le 1^{er} février 2019.

Husseini, Talal. 2018. « The future of mining: eight bold industry predictions ». *Mining Technology*. En ligne : <https://www.mining-technology.com/mining-safety/future-of-mining-industry-predictions>, consulté le 15 février 2019.

Talk IoT. 2018. *SA's Rocketmine Helping Exarro To Be A Smart Mine*. En ligne : <https://talkiot.co.za/2018/11/30/sas-rocketmine-helping-exarro-to-be-a-smart-mine/>, consulté le 15 mars 2019.

University of Wollongong Australia. 2019. Shiva Pedram, En ligne : <https://smart.uow.edu.au/people/UOW223274.html>, Consulté le 14 mai 2019.

Vodafone Institute for Society and Communications. 2019. *Global study finds that 56 % of employees lack the digital skills they need for jobs in the future*. En ligne : <https://www.vodafone-institut.de/studies/global-study-finds-that-56-of-employees-lack-the-digital-skills-they-need-for-jobs-in-the-future/>, consulté le 13 mai 2019.

Webwire Press Release. 2018. *Vale will have the first mine operating only with autonomous trucks in Brazil*. En ligne : <https://www.webwire.com/ViewPressRel.asp?ald=228619>, consulté le 1^{er} février 2019.

Zhou, Vanessa. 2018. *University of South Australia helps overcome skills gap*. En ligne : <https://www.australianmining.com.au/news/university-of-south-australia-to-develop-new-project-that-overcomes-skills-gap/>, consulté le 8 mars 2019.

**Institut national
des mines**

Québec



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