



AVIS AU MINISTRE DE L'ÉDUCATION ET DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR

Déployer de nouveaux outils de simulation pour la formation menant au secteur minier dans les établissements publics d'enseignement professionnel, collégial et universitaire.

Septembre 2019

*Institut national
des mines*

Québec 

Le présent ouvrage a été produit par l'Institut national des mines. Il a été adopté par son conseil d'administration, le 24 septembre 2019 et a été déposé au ministre de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur, le 20 novembre 2019.

Pour toute demande de renseignements :
Institut national des mines
125, rue Self
Val-d'Or (Québec) J9P 3N2

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

Dépôt légal – 1^{er} trimestre 2020
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
ISBN : 978-2-550-85923-9 (imprimé)
ISBN : 978-2-550-85924-6 (PDF)

©Gouvernement du Québec
Institut national des mines

AVANT-PROPOS

L'Institut national des mines¹ a pour mission de soutenir le gouvernement dans l'exercice de sa responsabilité en matière d'éducation dans le secteur minier. Il agit comme conseiller auprès du gouvernement en s'appuyant sur des projets de recherche qu'il réalise et sur les suggestions proposées par les acteurs du milieu de l'éducation et du secteur minier afin de faire la promotion d'une formation minière de qualité au Québec, au Canada et dans le monde, répondant aux besoins de la mine actuelle et future.

¹ Les membres du conseil d'administration de l'Institut national des mines en date du 22 septembre 2019 sont identifiés à l'annexe I.

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	3
Lexique.....	5
Importance du secteur des mines dans l'économie du Québec	7
Introduction	8
Mise en contexte.....	10
Résumé des travaux antérieurs.....	12
Déploiement des simulateurs dédiés à la formation minière.....	15
Accélérer le déploiement de la formation par simulation.....	19
Recommandations pour le déploiement d'outils de simulation dédiés à la formation minière.....	22
Recommandation 1.....	22
Recommandation 2.....	24
Recommandation 3.....	24
Conclusion.....	25
Annexe I	26
Annexe II	28
Références.....	30

LEXIQUE

ÉQUIPEMENT MODULAIRE

Pièce d'équipement interchangeable qui permet de simuler différents engins miniers avec le même simulateur.

OUTIL DE SIMULATION

Outil utilisé pour étudier les résultats d'une action sans réaliser l'expérience sur l'élément réel. Il permet de faire une représentation du comportement d'un processus physique au moyen d'un modèle matériel dont les paramètres et les variables sont les images de ceux du processus étudié. Les outils de simulation prennent le plus souvent la forme de programmes d'ordinateur auxquels sont parfois associés des éléments de calcul analogique².

RÉALITÉ AUGMENTÉE

Technologie interactive consistant à superposer en temps réel des images virtuelles, ou des informations complémentaires, à des images issues du monde réel, à partir d'un dispositif de visualisation. Le dispositif de visualisation peut être par exemple un casque holographique, des lunettes transparentes ou l'écran d'un téléphone intelligent ou d'une tablette électronique³.

RÉALITÉ MIXTE

Technologie combinant immersion et holographie, qui consiste à intégrer en temps réel des éléments virtuels dans l'environnement réel de l'utilisateur, permettant leur coexistence et une interaction naturelle et intuitive, et où le virtuel et le réel se confondent de manière transparente pour l'utilisateur⁴.

RÉALITÉ VIRTUELLE

Technologie permettant une simulation interactive et en temps réel de la réalité, par la création par ordinateur, à l'aide d'images de synthèse, d'un environnement virtuel en 3D dans lequel on peut évoluer, et procurant la sensation d'une immersion dans un monde réel. Cette immersion est réalisée grâce au port d'un visiocasque⁵.

SIMULATEUR

Modèle matériel fonctionnant en temps réel et ayant le même comportement qu'une machine ou une installation dont on désire étudier le comportement dynamique ou enseigner notamment la conduite⁶.

2 Définition inspirée du Dictionnaire Larousse.

3 Définition de l'Office québécois de la langue française.

4 Définition de l'Office québécois de la langue française.

5 Définition inspirée de l'Office québécois de la langue française.

6 Définition inspirée du Dictionnaire Larousse.

SIMULATEUR DE BASSE FIDÉLITÉ*

Niveau minimal de simulation requis pour qu'un système accepte une entrée d'information et y réponde. Pour les simulateurs d'engins miniers, ce type de simulateur se limite à des manettes connectées à un écran d'ordinateur.

SIMULATEUR DE MOYENNE FIDÉLITÉ*

À ce niveau de fidélité, il y a une réponse automatique à l'entrée d'information avec une précision de réponse limitée. Pour les simulateurs d'engins miniers, le siège et les instruments de contrôle sont similaires à celui de l'équipement simulé, mais les écrans couvrent une surface dont l'angle de balayage est de 180° ou moins.

SIMULATEUR DE HAUTE FIDÉLITÉ*

Ce niveau de fidélité est celui qui se rapproche le plus d'un contexte réel de travail. Le simulateur est une reproduction de l'équipement et les écrans couvrent une surface dont l'angle de balayage est de 360°.

* La description du niveau de fidélité des simulateurs est sujette à interprétation puisqu'il n'y a pas de définition officielle repérée par l'équipe de l'Institut national des mines. Les définitions présentées dans ce document ont été produites par l'INMQ à partir d'une revue de la littérature et d'échanges avec les utilisateurs et les fournisseurs de simulateurs.

IMPORTANCE DU SECTEUR DES MINES DANS L'ÉCONOMIE DU QUÉBEC

L'importance du secteur des mines dans l'économie du Québec est bien documentée. L'édition de novembre 2018 de la publication annuelle « Mines en chiffres » de l'Institut de la statistique du Québec fait état de plus de 3 milliards de dollars investis en 2017 pour l'exploration, la mise en valeur et l'aménagement des complexes miniers, en hausse de 18,7 % sur l'année précédente. La même publication rapporte également les intentions d'investissement exprimées par les sociétés minières pour 2018 qui anticipaient une augmentation de 17,2 % par rapport à 2017.

Actuellement, le Nord-du-Québec, l'Abitibi-Témiscamingue et la Côte-Nord sont les trois régions où les sociétés minières sont les plus actives. C'est en effet ces régions minières qui fournissent 72,9 % de la valeur totale des livraisons minérales du Québec en 2017, selon les plus récents chiffres de l'Institut de la statistique du Québec (2019). De ce fait, des 16 116 emplois dénombrés par l'Institut de la statistique du Québec en 2017 dans l'exploitation minière, 10 005 étaient situés dans ces trois régions, soit 62 % des effectifs québécois. Les principales substances minérales recherchées et extraites dans ces régions sont les métaux précieux (or, argent), le minerai de fer incluant l'ilménite, les métaux usuels (cuivre, nickel, zinc) et le diamant. La transformation des minerais de cuivre et de zinc en produits commercialisés se fait en grande partie dans les centres urbains, notamment à Montréal et en Montérégie.

D'autres substances minérales sont également recherchées et exploitées au Québec (feldspath, graphite, lithium, mica, niobium, sel, silice). Ces substances sont extraites en fosse à ciel ouvert ou en mine souterraine en Outaouais, dans les Laurentides, en Mauricie, au Saguenay-Lac-Saint-Jean et aux Îles-de-la-Madeleine. À titre d'exemple, la mine Niobec située au Saguenay-Lac-Saint-Jean produit entre 8 % et 10 % du volume mondial de niobium, commercialisé sous forme de ferroniobium. Ce produit résulte de la transformation du minerai extrait à la mine; une activité économique qui génère de nombreux emplois bien rémunérés.

En 2017, 87,9 % des investissements liés à l'aménagement des complexes miniers du Québec étaient sous le contrôle de sociétés dont les sièges sociaux se trouvent ailleurs au Canada, en Allemagne, en Chine, aux États-Unis, en France, en Grande-Bretagne, au Luxembourg et en Suisse. Seulement 12,1 % des investissements liés à l'aménagement des complexes miniers du Québec étaient sous le contrôle de sociétés québécoises. Dans ce contexte, la décision du gouvernement de s'engager dans la formation de la relève contribue grandement au maintien de conditions favorables à l'investissement minier.

INTRODUCTION

À l'ère de la quatrième révolution industrielle, la mine a évolué. Elle est passée de la mine dite traditionnelle à la mine mécanisée, jusqu'à devenir aujourd'hui de plus en plus automatisée, robotisée et interconnectée. Actuellement, le futur envisagé par les compagnies minières est l'implantation de la mine intelligente, capable d'augmenter l'efficacité, la productivité et la compétitivité du secteur minier québécois sur la scène internationale. Par cet avis, l'Institut national des mines informe le ministre de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur que l'impact de la mine automatisée, robotisée et interconnectée se fait déjà sentir sur les compétences exigées du personnel.

Cet avis porte spécifiquement sur le déploiement accru d'outils de simulation notamment sur les simulateurs spécifiques à la conduite d'engins miniers mobiles. De récents travaux de l'Institut national des mines ciblent aussi les applications technologiques récentes en réalité virtuelle, en réalité augmentée et en réalité mixte pour la formation de la relève minière dans les établissements publics d'enseignement.

Désormais, les élèves ainsi que les étudiantes et les étudiants qui se destinent au secteur des mines, et qui sont encore en formation dans un établissement professionnel, collégial ou universitaire, doivent maîtriser de nouvelles compétences dans plusieurs domaines différents et complémentaires : en automatisation, en intelligence artificielle et apprentissage automatique, en intégration de données et analyse prédictive ainsi qu'en cybersécurité.

Depuis 2014, l'analyse de l'impact de ces technologies sur la formation minière a fait l'objet de plusieurs activités d'information et de promotion par l'Institut national des mines sous forme d'articles, de conférences, de colloques et d'ateliers de réseautage.

Actuellement, les compétences nécessaires à l'opération d'une mine automatisée, robotisée et interconnectée ne sont pas suffisamment intégrées aux programmes d'études des établissements publics d'enseignement professionnel, collégial et universitaire. Utiliser davantage la simulation rendue disponible par les nouvelles technologies numériques permettrait de préparer adéquatement la relève à saisir les opportunités de carrière offertes par le secteur des mines. Dans le contexte actuel de pénurie de main-d'œuvre, renouveler le mode d'apprentissage en y incluant davantage de formation par simulation représente également un facteur attractif non négligeable.

De plus, comme le souligne la Société du Plan Nord dans son Plan d'action 2015-2020, les communautés éloignées allochtones et autochtones, particulièrement celles situées sur le territoire du Plan Nord, souffrent, pour la majorité, d'un accès restreint à des formations scolaires professionnelles et collégiales de proximité. Paradoxalement, la réalisation du Plan Nord nécessitera inévitablement que les résidentes et les résidents du territoire nordique enrichissent leurs compétences afin de répondre efficacement aux nouveaux processus de travail inhérents à la mine intelligente 4.0. La mobilité caractérisant certains outils de simulation représente donc dans ces circonstances une piste d'action intéressante à prendre en compte afin d'augmenter la formation initiale et continue à laquelle a accès la main-d'œuvre localisée dans les communautés éloignées, et ce, d'autant plus que la majorité des outils de simulation actuellement disponibles sur le marché sont aptes à fonctionner sans connexion Internet.

« Dans le contexte actuel de pénurie de main-d'œuvre, renouveler le mode d'apprentissage en y incluant davantage de formation par simulation représente également un **facteur attractif** non négligeable. »

Depuis plusieurs années, l'Institut national des mines a multiplié les démarches visant à ce que les différents programmes d'études directement reliés à l'exploitation minière soient revues et corrigés afin que la formation suivie par les apprenantes et les apprenants soit actualisée par rapport aux nouvelles réalités caractérisant le secteur minier. L'Institut désirait notamment que les programmes professionnels menant à l'obtention d'un DEP en extraction de minerai et en forage et dynamitage répondent davantage à l'avènement technologique transformant les pratiques du secteur minier québécois. L'Institut national des mines est heureux de constater que le processus de révision de ces deux programmes a été récemment complété par le ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur.

Conformément au mandat de l'Institut national des mines, le présent avis représente une contribution à l'apprentissage des élèves de la formation professionnelle, du cégep et de l'université qui se destinent au secteur des mines.

MISE EN CONTEXTE

Cet avis soumis au ministre de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur repose sur une idée maîtresse : la contribution des établissements publics d'enseignement professionnel, collégial et universitaire est déterminante pour assurer la formation initiale menant à un emploi dans le secteur des mines. Il s'agit là d'une condition essentielle au développement minier du Québec.

Cet avis concerne spécifiquement l'apprentissage par simulation, car il favorise la maîtrise des nouvelles compétences techniques et relationnelles qui accompagnent le déploiement de la quatrième révolution industrielle puisqu'elle introduit des changements technologiques et organisationnels majeurs. Il est donc essentiel d'offrir des réponses claires aux inquiétudes légitimes concernant les impacts de cette transformation sur le travail des individus, le respect de la vie privée et la confidentialité de certaines données ou encore l'intangibilité des rapports humains en contexte de travail.

La quatrième révolution industrielle place la formation des personnes au cœur du plan d'affaires des sociétés minières puisqu'une démarche de formation continue tout au long de la vie est un facteur de succès incontournable. Afin de bien gérer ce risque stratégique, les établissements publics d'enseignement ont un rôle déterminant à jouer pour soutenir les entreprises minières en assurant le développement de compétences de plus en plus diversifiées.

Désormais, les opérations télécommandées sont de plus en plus utilisées afin de contrôler les engins mobiles automatisés utilisés pendant le forage, le chargement et le transport du minerai. Ces engins mobiles sans cesse plus performants regroupent des chargeuses navette, différents modèles de camions ou encore des convois ferroviaires. De nouveaux systèmes automatisés de dynamitage et de déblaiement se pointent également à l'horizon. Les outils de contrôle à distance de ces équipements miniers sont devenus indispensables au travail quotidien dans un nombre croissant de mines au Québec. Ces équipements déployés en milieu de travail sont très semblables aux outils de formation par simulation utilisés dans certains établissements d'enseignement professionnel, collégial et universitaire.

Aujourd'hui, les outils de formation par simulation, de plus en plus variés et disponibles sur une base commerciale, permettent d'immerger en toute sécurité l'utilisateur dans un environnement minier virtuel, augmenté ou mixte, qui simule avec une grande précision des activités professionnelles dans lesquelles il peut jouer un rôle actif. Les simulateurs, qui sont des équipements fonctionnant en temps réel et ayant le même comportement qu'une machine ou qu'une installation dont on désire étudier le comportement dynamique, sont principalement utilisés en formation minière afin de simuler la conduite d'engins miniers. L'Institut national des mines a recensé trois types de simulateurs, c'est-à-dire les simulateurs de basse, moyenne et haute fidélité. Bien qu'ils permettent tous de prendre les commandes d'un engin minier, la distinction entre chacun des types de simulateurs est que plus leur niveau de fidélité est élevé, plus ils reproduisent de façon authentique l'équipement réel. Dorénavant, une utilisatrice ou un utilisateur perfectionnant ses compétences à l'aide d'un simulateur d'engin minier de haute fidélité est plongé dans un environnement

visuel et sensoriel qui est particulièrement réaliste grâce à des écrans disposés à 360 degrés et à un siège qui réplique les vibrations qui sont produites par le véritable équipement. À titre d'exemple, l'apprenante ou l'apprenant, se destinant à œuvrer en tant qu'opératrice ou opérateur d'engins miniers, peut, grâce à l'utilisation d'un simulateur, déplacer une chargeuse navette virtuelle dans une galerie souterraine qui reproduit fidèlement une galerie existante.

Quant à eux, les outils de simulation comme la réalité virtuelle, augmentée ou mixte, sont des technologies interactives en constante évolution qui permettent d'immerger l'utilisatrice ou l'utilisateur dans un environnement virtuel ou encore un environnement réel où sont ajoutées des images virtuelles. Grâce à l'utilisation d'un dispositif de visualisation, comme par exemple un visiocasque, l'apprenante ou l'apprenant peut évoluer dans un environnement totalement ou partiellement virtuel afin d'y réaliser des apprentissages concrets et ciblés. Par exemple, l'élève peut être placé dans un environnement minier dans lequel il a l'occasion de développer ses compétences en santé et sécurité grâce au repérage des diverses sources de dangers présentes dans une galerie souterraine ou une fosse à ciel ouvert.

Cette technologie évolue rapidement et elle ne se limite pas aux activités opérationnelles. La simulation propose aussi des applications spécifiques utiles à la planification des opérations minières. Par exemple, la simulation permet désormais de reproduire au ralenti une séquence de dynamitage. Elle est ainsi utilisée pour améliorer les pratiques de forage et de dynamitage dans un environnement minier spécifique et sécuritaire.

RÉSUMÉ DES TRAVAUX ANTÉRIEURS

Dans le cadre de sa mission, l'Institut national des mines documente et expérimente divers modes d'enseignement novateurs, notamment l'apprentissage par simulation.

En 2014, le premier rapport diffusé à la suite d'une recherche réalisée par l'Institut national des mines portait le titre : « [Formation dispensée par les entreprises minières à leur personnel](#) ». Les pistes d'action identifiées dans ce rapport mentionnaient déjà l'émergence des outils de simulation comme un sujet d'intérêt à mieux documenter, car porteur d'avenir.

La même année, l'Institut national des mines publiait un autre document sur le même thème. Intitulé « [Rapport sur l'enseignement par simulateur](#) », ce document issu d'une veille stratégique ciblée proposait un premier inventaire des simulateurs d'engins miniers alors disponibles. Il dressait aussi un portrait succinct de leur utilisation au Québec et au Canada. Dans ce document, l'Institut national des mines proposait des pistes d'action à portée immédiate pour optimiser la formation minière offerte par les centres de formation professionnelle, afin de répondre aux difficultés de recrutement des employeurs.

Il n'existait alors aucun programme spécifique pour des opératrices et des opérateurs d'engins miniers surdimensionnés, camions et pelles mécaniques typiques des grandes fosses à ciel ouvert de la Côte-Nord. Le « [Rapport sur l'enseignement par simulateur](#) » a aussi suscité l'intérêt de certaines entreprises minières en Abitibi-Témiscamingue. Les établissements publics d'enseignement professionnel, impliqués dans l'adéquation formation-emploi et confrontés à une demande accrue de formation pour des opératrices et des opérateurs d'engins miniers surdimensionnés, se sont aussi inspirés de ce document.

Largement cité en référence dans une vingtaine d'articles, ce document a également servi de source pour une activité de réseautage et d'échanges sur l'apprentissage par simulation. Cette activité a regroupé plus de soixante-dix personnes pendant le congrès Québec Mines, le 17 novembre 2014. Toutefois, malgré l'intérêt réel des participantes et des participants, en l'absence de soutien financier ministériel, l'achat et l'entretien de simulateurs miniers de haute fidélité dépassait alors les capacités financières des établissements publics d'enseignement du Québec.

En février 2015, l'avis annuel déposé par l'Institut national des mines au ministre de l'Éducation, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche s'appuyait d'une part sur le rapport de 2014 et, d'autre part, sur les constats faits en atelier. Dans cet avis, l'Institut national des mines proposait une alternative au projet d'école minière alors à l'étude au ministère. Cette alternative consistait à favoriser l'innovation technologique pour la formation des opératrices et des opérateurs d'engins miniers surdimensionnés mentionnés précédemment.

Intitulé « Un projet d'école minière revisité : la formation par simulation pour les opérateurs d'engins miniers surdimensionnés », cet avis a été présenté en soutien aux efforts des centres de formation professionnelle du réseau public qui souhaitaient offrir rapidement un apprentissage spécifique aux nouvelles opératrices et aux nouveaux opérateurs de

machinerie lourde surdimensionnée. Depuis, la principale recommandation, mise en application par certains centres de formation professionnelle offrant un programme de voirie forestière, consiste à ajouter un complément de formation spécifique aux engins miniers en utilisant l'apprentissage par simulation complétée par un stage en entreprise. Augmenter la polyvalence de ces diplômées et ces diplômés de la formation professionnelle leur a permis d'évoluer dans deux secteurs économiques cycliques, diachroniques et, ainsi, favoriser leur employabilité.

En décembre 2016, l'Institut national des mines souhaitait contribuer à la politique éducative gouvernementale, notamment en lien avec le questionnement relatif à la place du numérique en éducation. Il a donc publié sur le thème de l'apprentissage par simulation un nouveau rapport portant le titre « [Pour une implantation réussie de la formation par simulateur d'engins miniers au Québec](#) ». Par cet ouvrage, l'Institut national des mines précisait les nombreux avantages de l'implantation de ce mode d'apprentissage innovant dans les programmes de formation minière. Les principaux bénéfices alors recensés par l'Institut étaient l'augmentation de la productivité, la contribution au processus d'amélioration continue, la réduction des coûts et l'amélioration des compétences en santé et sécurité. Ce dernier bénéfice était jugé parmi les plus intéressants. En effet, plusieurs modèles de simulateurs offrent de simuler des situations ou des événements dans lesquels la santé et la sécurité sont mises à risque. Ce type spécifique de formation, qui permet à l'utilisatrice ou à l'utilisateur de développer efficacement sa connaissance ainsi que sa maîtrise des procédures d'urgence, constitue un avantage considérable par rapport à la formation traditionnelle qui doit généralement se contenter d'une approche théorique faute de pouvoir reproduire des situations d'urgence sur l'équipement réel.

À cette époque, plusieurs établissements publics d'enseignement, surtout de niveau professionnel, étaient en démarche de financement et d'achat d'outils de simulation. L'achat de ceux-ci visait à bonifier l'offre de formation minière existante, dont la dernière mise à jour remontait à une quinzaine d'années. Au même moment, le portrait 2016 de la formation dispensée par les entreprises minières confirmait l'intérêt envers l'apprentissage par simulation pour la formation initiale en établissement d'enseignement et pour la formation continue en contexte de travail.

En octobre 2017, l'Institut national des mines a aussi réalisé une mission exploratoire en Australie afin de rencontrer des établissements publics d'enseignement et des sociétés minières qui exploitent, depuis déjà plusieurs années, de nouvelles technologies de simulation pour la formation initiale et en contexte de travail. Lors de cette mission en Australie, la puissance de l'apprentissage par simulation a été mise en évidence à plusieurs reprises, aussi bien dans les établissements publics d'enseignement technique et universitaire que dans de grandes sociétés minières internationales, également présentes au Québec.

Un des buts poursuivis par l'Institut national des mines était de documenter, au bénéfice de nos partenaires du Québec, l'impact sur la formation professionnelle, collégiale et universitaire de l'innovation minière dans des domaines tels que : l'automatisation, l'intégration de données, l'analyse prédictive, la cybersécurité et la réalité virtuelle, augmentée ou mixte.

Cette mission a été déterminante pour documenter le grand potentiel de l'apprentissage par simulation en formation minière. Inspirés des jeux vidéo et transposés au secteur des mines, ces outils de simulation permettent de reproduire en réalité virtuelle,

augmentée ou mixte des modèles géologiques de massifs rocheux, des plans évolutifs de complexes miniers ou encore des pièces d'équipement sophistiquées utilisées pour le traitement du minerai. Dans tous les cas, il est possible à plusieurs intervenantes et intervenants de concevoir et de modifier ces modèles, ces plans ou ces pièces et en vérifier virtuellement le fonctionnement, sans impacter sur la production et dans un environnement totalement sécuritaire.

En février 2018, une conférence sur ce thème a été donnée à Québec. À la demande du ministre de l'Éducation, qui était accompagné du personnel de gestion du Ministère, la conférence « *Le partenariat dans l'environnement numérique 4.0* » a été présentée par l'Institut national des mines aux présidentes et présidents, aux directrices générales et aux directeurs généraux ainsi qu'aux directions des centres de formation professionnelle de l'ensemble des commissions scolaires du Québec. En s'appuyant sur ses travaux de recherche, l'Institut national des mines a alors démontré comment la formation pouvait bénéficier d'innovation pédagogique découlant de la révolution industrielle 4.0. Quelques semaines plus tard, en mars 2018, l'Institut national des mines a également déposé au ministre, un mémoire sur la formation professionnelle.

En juin 2018, l'Institut national des mines a publié une étude intitulée [*Transformation numérique et compétences du 21^e siècle pour la prospérité du Québec. Exemple de l'industrie minière.*](#) Ce document a été conçu dans l'optique de devenir un outil de référence pour aider les entreprises minières et les établissements d'enseignement à optimiser leur capacité d'innovation afin de faire face à la transformation des emplois. Cet ouvrage a également contribué aux travaux ministériels amorcés en lien avec la transformation numérique en contexte de révolution industrielle 4.0. Il s'inscrit aussi dans le [*Plan d'action numérique en éducation et en enseignement supérieur.*](#)

Plus récemment, en janvier 2019, l'Institut national des mines a participé au *Consumer Electronics Show* (CES). Tenu à Las Vegas, cet imposant congrès consacré à l'innovation accueillait plus de 4 500 exposants, spécialistes de l'innovation technologique, ainsi que 180 000 participants. La délégation de l'Institut national des mines s'est concentrée sur les nouvelles plateformes éducatives, les innovations technologiques facilitant le travail du personnel enseignant ainsi que sur les technologies les plus récentes favorisant l'accès à la formation. Un rapport de mission a été déposé au conseil d'administration au cours de l'hiver et plusieurs articles thématiques ont été publiés dans l'infolettre MineAvenir.

En définitive, l'Institut national des mines s'intéresse depuis 2014 à l'utilisation de la simulation pour rendre plus attractive l'offre de formation minière, favoriser la persévérance scolaire, attirer une clientèle plus diversifiée et développer les compétences du 21^e siècle des apprenantes et des apprenants. Depuis cinq ans, afin de répondre à un besoin de main-d'œuvre réel, ses travaux documentent l'évolution des outils d'apprentissage par simulation adaptés à la formation professionnelle, technique et universitaire.

DÉPLOIEMENT DES SIMULATEURS DÉDIÉS À LA FORMATION MINIÈRE

À l'automne 2019, l'Institut national des mines a publié les résultats d'un inventaire récent des simulateurs miniers disponibles dans les établissements publics d'enseignement et en entreprises. Ces données d'inventaire permettent notamment de dénombrer les simulateurs disponibles, de préciser leur localisation sur le territoire québécois, d'établir leur niveau de fidélité et de déterminer les clientèles cibles. Un certain nombre de constats mènent vers des pistes d'action prioritaires utiles à l'élaboration de recommandations.

Cet inventaire se préoccupe particulièrement de l'intégration de simulateurs miniers dans les programmes de formation professionnelle destinés aux opératrices et aux opérateurs d'engins mobiles des mines souterraines et des fosses à ciel ouvert. Les résultats démontrent une hausse constante de l'utilisation des simulateurs dans les établissements publics d'enseignement et les entreprises minières. En effet, lors de la publication en 2014 de son rapport d'enquête portant sur l'enseignement par simulateur, l'Institut national des mines avait établi que peu d'établissements publics d'enseignement disposaient de simulateurs et que parmi les institutions qui en possédaient, aucune d'entre elles n'était propriétaire de simulateurs exclusivement dédiés à la formation minière. Aujourd'hui, la situation est toute autre puisque, comme le démontre le Tableau 1 disponible ci-dessous, la possession de simulateurs est beaucoup plus répandue. Outre ces données quantitatives, l'inventaire fournit également des informations permettant de mieux définir qui sont les principaux usagers des simulateurs d'engins miniers déployés en sol québécois.

Au moment où l'inventaire a été compilé, soit en mars 2019, 37 simulateurs étaient utilisés par les établissements publics d'enseignement professionnel et collégial ainsi que par des entreprises minières. L'analyse démontre que ces simulateurs sont répartis de façon inégale dans les trois principales régions minières du Québec. De plus, l'inventaire permet aussi de constater que certains modèles de simulateur sont mobiles, ce qui offre des perspectives intéressantes pour l'accessibilité de la formation partout au Québec.

Tableau 1 – Répertoire des simulateurs miniers déployés dans les établissements d’enseignement et les entreprises œuvrant dans le secteur minier au 1^{er} mars 2019 selon la région administrative⁷

Noms des établissements d’enseignement et des entreprises œuvrant dans le secteur minier	Nombre de simulateurs	Nombre de simulateurs par région administrative
Centre de formation Professionnelle Val-d’Or (CSOB)	2	2 en Abitibi-Témiscamingue
Centre de formation Professionnelle Forestville (CS Estuaire)	7	11 sur la Côte-Nord
Cégep de Sept-Îles	1	
IOC – Rio Tinto	1	
Minerai de fer Québec – Mine Lac Bloom	1	
Transport ferroviaire Tshuétin	1	
Centre de formation professionnelle d’Inukjuak (CS Kativik)	13	24 dans le Nord-du-Québec
Centre de formation professionnelle de la Baie-James (CFPBJ)	5	
Sabtuan regional vocational training centre (CSC)	5	
Newmont Goldcorp – Mine Éléonore	1	
Total	37	

Afin d’obtenir une vision plus exhaustive de la présence d’outils de simulation dédiés à la formation minière au Québec, il est également nécessaire de prendre en compte deux scénarios pédagogiques de réalité virtuelle développés par des établissements publics d’enseignement. Ces deux projets mis en place au courant de l’année 2019 ont été réalisés respectivement par le Centre de formation professionnelle Val-d’Or (CSOB) et le Cégep de Thetford⁸.

⁷ Institut national des mines. 2019. *Portrait des simulateurs d’engins miniers en formation minière présents dans les centres de formation professionnelle, les cégeps et les entreprises du secteur minier au Québec. Collecte de données.* Document à paraître pour l’automne 2019, 33p.

⁸ Ces projets pédagogiques en formation minière utilisant de la réalité virtuelle ont été recensés dans la veille informationnelle de l’Institut national des mines ainsi que lors d’événements auxquels a participé l’organisation. L’INMQ est conscient qu’il est possible que certains projets existants ne figurent pas dans cet avis et aient échappé au recensement.

L'inventaire démontre également que pour des raisons de coûts, les établissements publics d'enseignement possèdent majoritairement des simulateurs de basse et moyenne fidélité, dédiés à la formation initiale des élèves. Pour leur part, les entreprises œuvrant dans le secteur minier favorisent plutôt l'utilisation de simulateurs de haute fidélité pour la formation continue de leur personnel. Elles ont souvent recours à un fournisseur de services pour bénéficier des avantages de l'apprentissage par simulation lors de l'affectation à de nouvelles tâches ou pour faire suite à l'achat d'un nouvel équipement.

En somme, l'apprentissage par simulation favorisé par le développement des technologies numériques répond à un véritable besoin tant pour la formation initiale des élèves que pour la formation continue en contexte de travail. Ce mode d'apprentissage dynamique, qui s'installe progressivement dans les établissements publics d'enseignement, offre une occasion à saisir pour toutes les organisations désirant favoriser le développement de projets collaboratifs et concertés avec des partenaires locaux et régionaux.

L'inventaire réalisé par l'Institut a également permis d'en apprendre davantage sur les simulateurs possédés par les entreprises œuvrant dans le secteur minier. Selon les données recueillies par cet inventaire, quatre entreprises du secteur minier possèdent des simulateurs, tandis que d'autres ont recours à des locations afin de se procurer ce type d'outil de formation. Les sociétés minières qui ont recours à la location signalent que celle-ci leur permet d'avoir accès aux simulateurs seulement quand elles en ont besoin, c'est-à-dire principalement lors de l'assignation de nouvelles tâches ou au moment de l'introduction d'un nouvel équipement. La location permet donc d'optimiser l'utilisation des simulateurs tout en minimisant les coûts d'utilisation et d'entretien afférents. Pour les entreprises ayant investi dans l'achat ou la location de simulateurs, l'utilisation d'un outil de simulation comporte plusieurs avantages. Parmi ceux-ci, les entreprises citent le fait que l'apprentissage par simulateur favorise l'acquisition rapide et efficace de compétences et d'expérience. Un autre aspect positif évoqué tient au fait que l'environnement, dans lequel évoluent les apprenantes et les apprenants durant leurs formations, offre un cadre d'apprentissage optimisé et sécuritaire où les risques habituellement reliés à la santé et à la sécurité sont éliminés.

Exemple de l'utilisation d'un simulateur afin de soutenir la formation minière

Une entreprise minière ayant eu recours à la formation par simulateur a partagé son expérience avec l'Institut national des mines. Ayant fait l'acquisition de nouveaux engins miniers, elle désirait former sa main-d'œuvre afin que celle-ci soit apte à opérer ce nouvel équipement. Les dirigeants ont décidé de miser sur une formation initiale d'une quarantaine d'heures sur des simulateurs, puis de compléter l'apprentissage par une formation d'une centaine d'heures aux commandes de l'engin minier.

Pour l'entreprise, l'expérience s'est avérée une réussite, et ce, pour plusieurs raisons. D'abord, l'approche pédagogique qu'offre l'apprentissage par simulation a plu aux travailleuses et aux travailleurs, ceux-ci appréciant notamment le degré de réalisme de l'outil de simulation ainsi que l'idée de pouvoir se familiariser avec l'engin sans craindre de l'endommager. Mais surtout, l'expérience a été concluante puisque la formation préalable suivie sur simulateur a fait en sorte que l'apprentissage sur les engins miniers s'est avéré plus aisé qu'habituellement, certains parvenant même à opérer l'engin avant la fin de leur première journée de formation sur l'appareil réel.

Finalement, les entreprises soulignent que la formation par simulateur est bénéfique pour la performance de leur organisation. En effet, les opératrices et les opérateurs ont une prise en main initiale des engins miniers plus performante sur le terrain quand ils sont préalablement formés sur simulateur. De plus, la période que les apprenantes et les apprenants passent dans les simulateurs permet de réduire le nombre d'heures d'utilisation des équipements actifs de la mine, diminuant ainsi la perte de productivité des engins miniers lorsqu'ils sont utilisés pour la formation et non la production.

Cette analyse fait donc ressortir l'importance de poursuivre la diffusion d'information sur les modes d'apprentissage par simulation déjà présents dans différents milieux et le développement des nouvelles compétences de la main-d'œuvre actuelle et future. Les études qui seront publiées prochainement par l'Institut national des mines, en collaboration avec ses partenaires que sont l'Association minière du Québec et le CSMO Mines, convergent en ce sens en démontrant l'importance de développer chez les élèves ainsi que chez les étudiantes et les étudiants les compétences numériques désormais nécessaires dans le secteur des mines. Ce travail amorcé en 2017 a déjà fait l'objet de publications et d'autres études seront publiées à l'automne 2019.

ACCÉLÉRER LE DÉPLOIEMENT DE LA FORMATION PAR SIMULATION

Contribuer au développement d'un secteur économique important pour le Québec, en favorisant un apprentissage à la fine pointe de la technologie, représente la trame de fond de cet avis déposé au ministre de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur.

Le Québec cherche constamment à maintenir son attractivité pour les investissements miniers qui proviennent en grande majorité du Canada et de l'étranger. À l'ère de la mine intelligente 4.0, l'expertise en formation minière représente un atout stratégique pour attirer année après année les investissements nécessaires à la vitalité de ce secteur économique. Depuis longtemps, l'expertise en formation minière des établissements publics d'enseignement contribue de façon significative à cette attractivité.

En effet, l'expertise en formation professionnelle, collégiale et universitaire est mise à contribution à chacune des étapes de l'activité minière : l'exploration géologique, la mise en valeur de nouveaux sites miniers, la construction et l'opération minière, le traitement du minerai et la restauration des complexes miniers.

L'intérêt de l'Institut national des mines envers la formation par simulation est en lien direct avec la vitalité de ce secteur économique qui se manifeste actuellement par une transformation radicale des méthodes d'exploration, d'exploitation et de restauration. En effet, le secteur des mines se transforme rapidement sous l'influence d'innovations technologiques considérables. La tendance est aux grandes exploitations souterraines et à ciel ouvert de plus en plus automatisées. La conduite à distance d'une variété d'engins mobiles à partir d'une salle de contrôle située en retrait des sites d'extraction fait déjà partie du quotidien de certaines entreprises. Ce n'est là qu'un aspect de la transformation rapide qui continuera à se manifester à un rythme accéléré au cours des prochaines années.

L'équipement minier évolue résolument vers une complexité accrue, ce qui nécessite le recours à de nouvelles compétences techniques, numériques et relationnelles. L'apprentissage par simulation apporte une réponse adaptée à ce besoin. En effet, les outils de simulation dédiés à la formation minière s'appuient sur une technologie numérique à la fois nouvelle et suffisamment mature pour permettre d'adapter les modes d'enseignement en réponse à des besoins de plus en plus précis. C'est pourquoi ils connaissent un essor sans précédent dans les établissements d'enseignement du réseau public.

Déployer dans les établissements publics des différents ordres d'enseignement davantage d'outils de formation par simulation est devenu indispensable pour contribuer au maintien d'une expertise reconnue. La proposition de l'Institut national des mines d'accélérer, dès maintenant, le déploiement d'outils de formation par simulation favorise aussi l'adéquation entre l'offre de formation professionnelle, collégiale et universitaire et les besoins de main-d'œuvre qualifiée du secteur des mines. À cet égard, l'accessibilité caractérisant ce type de formation, qui est notamment favorisée par la mobilité de certains

simulateurs miniers et la disponibilité numérique des technologies de réalité virtuelle, augmentée et mixte, permet d'envisager que la formation rendue possible grâce à l'utilisation d'outils de simulation offre le moyen de rejoindre plus aisément certaines clientèles ayant traditionnellement un accès limité à la formation initiale et continue.

Parmi les grandes juridictions minières francophones du monde, l'offre de formation du réseau de nos établissements publics jouit d'une réputation d'excellence qui contribue au rayonnement international du Québec. Dans le contexte actuel de pénurie de main-d'œuvre, elle facilite aussi le recrutement d'élèves, notamment les élèves internationaux des différents ordres d'enseignement.

D'ailleurs, l'emploi d'outils de simulation contribue aussi à lutter contre la pénurie de main-d'œuvre puisque, comme le soulignent Velev et Zlateva, l'utilisation de ces outils offre des « opportunités immenses » en ce qui a trait au recrutement de nouveaux élèves (2017). Les outils de simulation rendent également les apprenantes et les apprenants, qui suivent une formation initiale ou continue, plus familiers avec les nouvelles technologies et donc plus polyvalents dans l'utilisation de celles-ci. Cela améliore significativement leur employabilité tout en favorisant l'augmentation du nombre de fonctions qu'ils sont capables d'occuper au sein d'une mine intelligente ou même d'une autre industrie. Ainsi, la formation par simulation présente plusieurs perspectives intéressantes afin de combler les besoins de main-d'œuvre du secteur minier québécois, mais également d'autres industries québécoises.

La simulation à l'aide d'outils de réalité virtuelle, augmentée et mixte, autres que des simulateurs destinés aux opératrices et aux opérateurs d'engins mobiles, est aussi de plus en plus efficace pour l'apprentissage collégial et universitaire. Citons à titre d'exemple l'utilisation de la réalité virtuelle, augmentée ou mixte et à usagers multiples pour la modélisation des gisements et pour la planification des opérations courantes sur les complexes miniers. Cette dernière application est particulièrement utile dans un contexte de mine à ciel ouvert, car la géométrie et la signalisation de ces mines changent fréquemment. Cependant, malgré toutes les avenues pédagogiques innovantes qu'offrent désormais ces outils de simulation de réalité virtuelle, augmentée et mixte, la veille informationnelle menée par l'Institut national des mines n'a pas permis d'identifier l'utilisation de ces technologies au sein des programmes miniers dispensés dans les universités québécoises.

Les retombées positives de l'apprentissage par simulation se font sentir quotidiennement sur la santé, la sécurité et la productivité des entreprises. Désormais, plusieurs entreprises minières au Québec et ailleurs dans le monde utilisent l'apprentissage par simulation pour la formation continue du personnel de soutien, des opératrices et opérateurs, des techniciennes et techniciens, des géologues, des ingénieures et ingénieurs et du personnel de gestion.

Dans ce contexte, l'Institut national des mines estime que les élèves, les étudiantes et les étudiants des établissements publics d'enseignement auraient avantage à profiter de ce type d'apprentissage dans le cadre de leur formation initiale à la formation professionnelle, au collège ou à l'université. La mise en place de ce mode d'apprentissage constituerait de surcroît une opportunité intéressante offerte aux établissements publics des différents ordres d'enseignement afin que ceux-ci puissent œuvrer au développement de nouveaux partenariats et de nouvelles collaborations interordres.

Dans la situation actuelle, l'implantation d'outils de simulation dans la formation minière québécoise apparaît comme un investissement stratégique pour le développement de la relève du secteur minier québécois. En effet, comme exposé précédemment, la formation dispensée par l'entremise d'outils de simulation favorise l'apprentissage des compétences numériques chez les apprenantes et les apprenants qui en bénéficient. Cet apprentissage est primordial comme le mentionne le Forum économique mondial dans son rapport de 2018 intitulé *The future of jobs report*, l'automatisation va entraîner au courant des années à venir une réduction des emplois routiniers qui sont peu ou moyennement spécialisés. En facilitant l'apprentissage des compétences du 21^e siècle chez les apprenantes et les apprenants, les outils de simulation favoriseraient donc l'acquisition des compétences nécessaires afin d'œuvrer dans une industrie qui est de plus en plus marquée par les impacts de la révolution industrielle 4.0. De plus, la mise en place de plus de contenu pédagogique recourant aux outils de simulation contribuerait à améliorer la compétitivité de la formation minière québécoise au Canada ainsi qu'à l'international. En effet, d'autres États et provinces, tels que l'Australie ou encore l'Ontario, misent d'ores et déjà grandement sur les outils de simulation afin d'améliorer la qualité de leur formation minière. Dans ce contexte, doter les établissements publics d'enseignement québécois d'outils de simulation permettrait au Québec de conserver une formation minière se démarquant à l'échelle internationale.

L'Institut national des mines propose donc d'augmenter la disponibilité d'outils de simulation dans les établissements publics d'enseignement et ce, afin de mieux former les élèves ainsi que les étudiantes et les étudiants se destinant à œuvrer dans le secteur minier québécois et, accessoirement, pour élargir le partenariat avec les entreprises minières.

RECOMMANDATIONS POUR LE DÉPLOIEMENT D'OUTILS DE SIMULATION DÉDIÉS À LA FORMATION MINIÈRE

Dans les recommandations suivantes, l'Institut national des mines attribue un sens élargi aux termes « outils de simulation » qui englobent les simulateurs et les outils de simulation tels que ceux de réalité virtuelle, de réalité augmentée et de réalité mixte.

RECOMMANDATION 1

Attendu que, par son *Plan d'action numérique en éducation et enseignement supérieur 2018-2023*, le ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur prévoit soutenir le développement des compétences numériques des jeunes et des adultes, d'exploiter le numérique comme vecteur de valeur ajoutée dans les pratiques d'enseignement et d'apprentissage, et de créer un environnement propice au déploiement du numérique dans l'ensemble du système d'éducation;

Attendu que les programmes professionnels menant à un DEP en forage et dynamitage et à un DEP en extraction de minerai reconnaissent depuis leur récente actualisation la pertinence de mettre à jour les compétences sanctionnées par ces diplômes afin de répondre adéquatement aux besoins technologiques du secteur minier actuel et futur;

Attendu que l'inventaire le plus récent démontre la rareté des simulateurs de haute fidélité accessibles aux établissements publics d'enseignement, et ce, notamment en raison du coût d'achat et de maintenance élevé associé à ce type de simulateur.

Attendu que des outils de simulation miniers sont déjà utilisés avec succès par quelques établissements d'enseignement professionnel et collégial, parfois en partenariat avec des entreprises minières;

Attendu que le répertoire des simulateurs miniers déployés dans les établissements d'enseignement et les entreprises œuvrant dans le secteur minier au 1^{er} mars 2019 (Tableau 1) ainsi que la veille informationnelle réalisée par l'Institut national des mines démontrent que la formation par outils de simulation est encore inexistante dans les établissements universitaires offrant de la formation menant vers le secteur minier;

Attendu que l'accès à davantage d'outils de simulation est nécessaire pour maintenir l'expertise en formation minière des établissements publics d'enseignement;

Attendu que l'expertise actuelle reconnue à l'étranger contribue au rayonnement international, en particulier au sein de la francophonie;

Attendu qu'à l'ère de l'industrie 4.0, des outils de formation par simulation sont disponibles sur une base commerciale et qu'il s'agit là d'une opportunité à saisir.

L'Institut national des mines recommande au ministre de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur de consacrer, sur une période de 3 ans, une somme de 3,3 millions de dollars par région administrative offrant de la formation minière afin que chacune puisse faire l'acquisition d'outils de simulation et de simulateurs pouvant bénéficier aux différents ordres d'enseignement et répondre aux besoins de formation de ceux-ci⁹. En ce qui concerne le choix des régions devant bénéficier de cet octroi, l'Institut national des mines estime que cette décision est de la prérogative du ministre de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur et que la consultation des parties prenantes de chaque région permettra au ministre de déterminer quelles régions constituent des candidates pertinentes afin de recevoir cet octroi de 3,3 millions de dollars.

⁹ Les scénarios présentés dans l'annexe II documentent, à l'aide d'exemples concrets, les outils de simulation pouvant être acquis grâce à un octroi de 3,3 millions de dollars. Ils ont été produits à partir des estimations des coûts des différents outils de simulation.

RECOMMANDATION 2

Attendu que la formation valorisée au Québec tout au long de la vie repose sur l'acquisition de compétences du 21^e siècle et sur la diplomation professionnelle, collégiale et universitaire qui confère aux individus le pouvoir d'agir, de réussir et de progresser;

Attendu que certains outils de formation par simulation peuvent être partagés, ce qui favorise les échanges et le partenariat entre les établissements publics des différents ordres d'enseignement concernés par le secteur des mines;

Attendu que ce partenariat s'étend également aux entreprises du secteur des mines, notamment en lien avec la formation modulaire du travailleur minier (FMTM), qui bénéficierait également de l'accès à des outils de simulation.

L'Institut national des mines recommande de regrouper tous les outils de simulation acquis à l'aide de cet octroi dans des centres de simulation régionaux afin de favoriser le partenariat d'une part, entre les établissements publics d'enseignement et, d'autre part, avec les entreprises du secteur des mines. L'Institut recommande également que l'organisation de ces centres soit laissée à la discrétion de chacune des régions afin que ces dernières puissent déterminer, en fonction de leurs besoins spécifiques, la forme que prendra leur centre de simulation régional, notamment en ce qui a trait à la localisation du ou des pôles de services sur le territoire. Finalement, l'Institut national des mines conseille que le choix des outils de simulation installés au sein des centres de simulation régionaux soit réalisé dans le cadre d'une démarche de concertation impliquant les établissements publics des différents ordres d'enseignement présents dans chacune des régions, et ce, afin que les outils de simulation sélectionnés se révèlent adaptés à des approches pédagogiques pouvant répondre aux besoins de formation de chacun.

RECOMMANDATION 3

Attendu que les membres des communautés locales, allochtones et autochtones impactés par l'activité minière, particulièrement ceux localisés sur le territoire ciblé par le Plan Nord, représentent une main-d'œuvre potentielle importante difficile à rejoindre;

Attendu que la mobilité de certains outils de simulation permet leur déploiement ponctuel dans des communautés locales, allochtones et autochtones situées loin des établissements spécialisés.

L'Institut national des mines recommande que certains outils de simulation, acquis grâce à cet octroi et regroupés dans des centres de simulation régionaux, soient mobiles afin de faciliter l'accès à la formation des communautés éloignées.

CONCLUSION

Cet avis déposé au ministre de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur est constitué de 3 recommandations qui découlent essentiellement du mandat, du plan stratégique et des travaux récents de l'Institut national des mines. Globalement, ces recommandations suggèrent de financer le déploiement d'outils de simulation pour la formation minière dans les établissements publics d'enseignement professionnel, collégial et universitaire. L'Institut national des mines propose également que le matériel acquis grâce à cet octroi soit placé au sein de centres de simulation régionaux afin de favoriser davantage le développement de partenariat entre les établissements publics des différents ordres d'enseignement et les entreprises du secteur des mines. Finalement, il est recommandé au ministre de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur qu'une certaine proportion des outils de simulation déployés dans les centres de simulation régionaux soit mobile, et ce, afin pouvoir répondre aux besoins de formation des communautés éloignées.

Cet avis prend également en considération les attentes gouvernementales exprimées par les trois ministères représentés à son conseil d'administration. Il s'agit de l'adéquation formation-emploi, de l'impact de l'utilisation d'équipements technologiques de plus en plus sophistiqués sur la formation minière, de l'attractivité d'une carrière dans le secteur des mines et de la diversification de la main-d'œuvre. La troisième recommandation vise spécifiquement la diversification du recrutement en contexte de pénurie de main-d'œuvre.

Il est également à prendre en compte que bien que cet avis porte sur le déploiement d'outils de simulation destinés à la formation minière, la réflexion contenue dans cet avis est pertinente pour d'autres domaines de formation. En effet, tout indique que les programmes visant à préparer l'apprenant à exercer une carrière dans des secteurs nécessitant le développement des compétences du 21^e siècle, comme les industries manufacturières, forestière et de la construction auraient tout intérêt à intégrer des outils de simulation pouvant améliorer l'offre de formation, son accessibilité et les compétences des diplômées et des diplômés appelés à former la future main-d'œuvre minière du Québec.

Au cours des prochaines années, l'Institut national des mines poursuivra ses efforts pour documenter les retombées de la formation par simulation, notamment en termes de coûts/bénéfices. Les critères d'évaluation seront définis conjointement, en partenariat avec les établissements publics d'enseignement concernés.

ANNEXE I

Liste des membres du conseil d'administration de l'Institut national des mines en date du 22 septembre 2019

Guy Belleau, président du conseil d'administration et directeur général du projet Horne 5 - Ressources Falco

Nommé le 15 août 2018 à titre de président de l'Institut national des mines

Jean-François Pressé, président-directeur général

Nommé le 27 décembre 2018 à titre de président-directeur général de l'Institut national des mines

Alain Ouellet, directeur général de la Commission scolaire de l'Estuaire

Membre provenant du secteur de l'enseignement secondaire en formation professionnelle, concerné par le secteur minier

André Miousse, vice-président vie syndicale - Fédération de l'industrie manufacturière

Membre provenant des associations de salariés concernées par le secteur minier

Esther Blais, directrice générale des affaires collégiales

Représentante du sous-ministre du ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur (MEES)

Jean-Sébastien Drapeau, directeur de la formation professionnelle - Secteur de l'éducation préscolaire, de l'enseignement primaire et secondaire

Représentant du sous-ministre du ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur (MEES)

Johanne Jean, présidente du Réseau de l'Université du Québec

Membre provenant des secteurs de l'enseignement collégial et universitaire, concernés par le secteur minier

Josée Méthot, présidente-directrice générale - Association minière du Québec

Membre provenant des associations d'employeurs du secteur minier

Kathy Gauthier, directrice générale du CSMO Mines

Membre provenant du CSMO Mines

Michel Laplace, directeur général de la Commission scolaire de la Baie-James

Membre provenant du secteur de l'enseignement secondaire en formation professionnelle, concerné par le secteur minier

Régis Simard, directeur général - Table jamésienne de concertation minière

Membre provenant des associations d'employeurs du secteur minier

Renée-Claude Baillargeon, directrice régionale de Services Québec du Nord-du-Québec ministère du Travail, de l'Emploi et de la Solidarité sociale

Représentante du sous-ministre du ministère du Travail, de l'Emploi et de la Solidarité sociale (MTESS)

Sylvain Blais, directeur général du Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue

Membre provenant des secteurs de l'enseignement collégial et universitaire, concernés par le secteur minier

Christiane Morin, directrice générale du développement de l'industrie minière

Représentante du sous-ministre du ministère l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN)

Postes actuellement vacants

Membre provenant de la Commission scolaire Crie

Membre provenant de la Commission scolaire Kativik

Membres (2) provenant du secteur de l'enseignement secondaire en formation professionnelle, concerné par le secteur minier

ANNEXE II

Estimation des coûts d'outils de simulation et propositions de scénario d'acquisition

TABLEAU DE L'ESTIMATION DU PRIX UNITAIRE DES OUTILS DE SIMULATION

Items	Coûts ¹⁰
Simulateur haute fidélité	900 000\$*
Module pour simulateur haute fidélité	300 000\$
Transport simulateur haute fidélité (au kilomètre par transport routier) **	10\$
Simulateur moyenne fidélité	200 000\$*
Module pour simulateur moyenne fidélité	40 000\$
Transport simulateur moyenne fidélité (au kilomètre par transport routier)**	10\$
Scénario pédagogique de réalité virtuelle (pour une durée de 15 minutes)	45 000\$
Équipement de réalité virtuelle (pour 20 étudiants)	10 000\$*

* Ces estimations incluent le coût d'achat de l'équipement, la formation pour son utilisation et l'entretien annuel.

** Cette estimation par kilomètre peut varier selon plusieurs critères, notamment le poids de la cargaison, le moyen de transport, l'accessibilité du site, et autres facteurs.

¹⁰ Les estimations ont été produites à partir d'une moyenne des données cumulées auprès des utilisateurs.

PROPOSITIONS DE SCÉNARIO POUR L'ACQUISITION D'OUTILS DE SIMULATION

Les trois propositions de scénarios qui suivent permettent de mieux comprendre la structure financière évaluée à 3,3 millions de dollars par centre de simulation régional. Dans le cadre de cet avis ministériel, en plus des outils de réalité virtuelle, l'Institut national des mines préconise l'acquisition de simulateurs de moyenne et de haute fidélité. Bien que les simulateurs de haute fidélité représentent la dernière génération de simulateurs disponibles sur le marché et qu'ils offrent une qualité de simulation supérieure aux autres types de simulateurs, leur coût d'achat important rend l'acquisition de plusieurs d'entre eux difficile pour les établissements publics d'enseignement. C'est dans cette optique que l'Institut national des mines suggère l'achat de simulateurs de moyenne fidélité qui sont certes moins performants, mais qui peuvent être acquis en plus grande quantité afin d'être utilisés de façon coordonnée avec les simulateurs de haute fidélité. Une telle approche permet de maximiser la période de temps que les apprenantes et les apprenants passent sur les simulateurs tout en favorisant la progression des apprenantes et des apprenants dans l'atteinte de leurs objectifs de formation.

Scénario principalement axé sur les simulateurs :

- 2 simulateurs haute fidélité : $900\ 000\$ \times 2 = 1\ 800\ 000\$$
- 3 modules pour simulateur haute fidélité : $300\ 000\$ \times 3 = 900\ 000\$$
- 2 simulateurs moyenne fidélité : $200\ 000\$ \times 2 = 400\ 000\$$
- 2 modules pour simulateur moyenne fidélité : $40\ 000\$ \times 2 = 80\ 000\$$
- 2 scénarios pédagogiques en réalité virtuelle : $45\ 000\$ \times 2 = 90\ 000\$$
- 2 lots d'équipements de réalité virtuelle : $10\ 000\$ \times 2 = 20\ 000\$$
- **Total : 3 290 000\$**

Scénario axé sur l'utilisation mixte des outils de simulation :

- 2 simulateurs haute fidélité : $900\ 000\$ \times 2 = 1\ 800\ 000\$$
- 4 simulateurs moyenne fidélité : $200\ 000\$ \times 4 = 800\ 000\$$
- 3 modules pour simulateur moyenne fidélité : $40\ 000\$ \times 3 = 120\ 000\$$
- 12 scénarios pédagogiques en réalité virtuelle : $45\ 000\$ \times 12 = 540\ 000\$$
- 4 lots d'équipements de réalité virtuelle : $10\ 000\$ \times 4 = 40\ 000\$$
- **Total : 3 300 000\$**

Scénario principalement axé sur les outils de réalité virtuelle :

- 2 simulateurs haute fidélité : $900\ 000\$ \times 2 = 1\ 800\ 000\$$
- 2 simulateurs moyenne fidélité : $200\ 000\$ \times 2 = 400\ 000\$$
- 23 scénarios pédagogiques en réalité virtuelle : $45\ 000\$ \times 23 = 1\ 035\ 000\$$
- 6 lots d'équipements de réalité virtuelle : $10\ 000\$ \times 6 = 60\ 000\$$
- **Total : 3 295 000\$**

RÉFÉRENCES

Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST). 2019. *Des simulateurs d'exploitation minière pour former les travailleurs de demain*. En ligne. URL : <https://www.cnesst.gouv.qc.ca/Publications/600/Documents/DC600-410-53web.pdf>, Consulté le 12 juin 2019. 16p.

Conseil des ressources humaines de l'industrie minière (RHIM). 2016. *Renforcer les effectifs de l'industrie minière : explorer l'inclusion des Autochtones*. En ligne. URL : https://www.mihr.ca/pdf/MiHR_Aboriginal_Report_FR_WEB.pdf, Consulté le 13 juin 2019.

Forum économique mondial (FEM). 2017. *Digital Transformation Initiative Mining and Metals Industry*. White Paper. In collaboration with Accenture. En ligne. URL : <http://reports.weforum.org/digital-transformation/wp-content/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/wef-dti-mining-and-metals-white-paper.pdf>, Consulté le 12 juin 2019. 36p.

Forum économique mondial (FEM). 2018. *The Future of Jobs Report - 2018*. En ligne. URL : http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_2018.pdf, Consulté le 11 septembre 2019. 133p.

Institut canadien des mines (ICM). 2019. *Une formation interne et ascendante : Ou comment l'industrie minière forme la main-d'œuvre existante afin de faire face aux difficultés qui se profilent en termes de ressources humaines dans le contexte de la révolution numérique*. En ligne. URL : <http://magazine.cim.org/fr/gestion/inward-and-upward-fr/>, Consulté le 12 juin 2019.

Institut de la Statistique du Québec. 2019. *Mines en chiffres : la production minérale au Québec en 2017*. Mars 2019, 14 p.

Institut de la Statistique du Québec. 2018. *Mines en chiffres : l'investissement minier au Québec en 2017*. Novembre 2018, 12p.

Institut national des mines. 2019. *Portrait des simulateurs d'engins miniers en formation minière présents dans les centres de formation professionnelle, les cégeps et les entreprises du secteur minier au Québec. Collecte de données*. Document à paraître pour l'automne 2019, 33p.

Institut national des mines. 2018. *Transformation numérique et compétences du 21^e siècle pour la prospérité du Québec. Exemple de l'industrie minière*. En ligne. URL : http://www.inmq.gouv.qc.ca/RadFiles/Documents/DOCUMENTS/DOCUMENTS/696/INMQTransformation_numerique_complet_WEB.pdf, Consulté le 19 février 2019. 76p.

Institut national des mines. 2018. *Mémoire sur la formation professionnelle*. En ligne. URL : http://www.inmq.gouv.qc.ca/RadFiles/Documents/DOCUMENTS/Publications/MEMOIRE_INMQ_REFLEXION_FORMATION_PROFESSIONNELLE_2018.pdf, Consulté le 19 février 2019. 30p.

Institut national des mines. 2017. *Portrait de la formation dispensée par les entreprises minières à leur personnel : analyse comparative 2013-2016*. En ligne. URL : http://www.inmq.gouv.qc.ca/RadFiles/Documents/DOCUMENTS/DOCUMENTS/634/portrait_formation_entreprise_web.pdf, Consulté le 19 février 2019. 24p.

Institut national des mines. 2016. *Pour une implantation réussie de la formation par simulateur d'engins miniers au Québec*. En ligne. URL : <http://www.inmq.gouv.qc.ca/RadFiles/Documents/DOCUMENTS/DOCUMENTS/591/INMQ-RapportdEtude2016Web.pdf>, Consulté le 19 février 2019. 44p.

Institut national des mines. 2015. *Avis ministériel : un projet d'école minière revisité – La formation par simulation pour les opérateurs d'engins miniers surdimensionnés*. En ligne. URL : http://www.inmq.gouv.qc.ca/RadFiles/Documents/AVIS_INMQ_ecole_minierfevrier2015.pdf, Consulté le 19 février 2019.

Institut national des mines. 2015. Procès-verbal de la douzième (21^e) séance ordinaire du conseil d'administration de l'Institut national des mines, tenue le lundi 14 décembre 2015, à 13 h 30, par conférence téléphonique. En ligne. URL : <http://www.inmq.gouv.qc.ca/RadFiles/Documents/DOCUMENTS/PROCESVERBAUX/572/21-SeanceOrd-CAdecembre2015.pdf>, Consulté le 9 septembre 2019. 8p.

Institut national des mines. 2014. *Rapport sur l'enseignement par simulateur*. En ligne. URL : http://www.inmq.gouv.qc.ca/RadFiles/Documents/DOCUMENTS/DOCUMENTS/140/INMQ_Enquete_simulateur.pdf, Consulté le 19 février 2019. 16p.

Institut national des mines. 2014. *Portrait de la formation dispensée par les entreprises minières à leur personnel*. En ligne. URL : http://www.inmq.gouv.qc.ca/RadFiles/Documents/DOCUMENTS/DOCUMENTS/112/INM_rapport_portrait_formation_Entreprise2013_web.pdf, Consulté le 19 février 2019. 32p.

Institut national des mines. 2013. Procès-verbal de la douzième (12^e) réunion du conseil d'administration de l'Institut national des mines tenue le vendredi 15 mars 2013, à 9 heures, à l'hôtel Delta Centre-Ville de Montréal. En ligne. URL : http://www.inmq.gouv.qc.ca/RadFiles/Documents/DOCUMENTS/PROCESVERBAUX/94/12e_SeanceOrd_CA-15mars2013.pdf, Consulté le 9 septembre 2019. 10p.

Liu, D., Dede, C., Huang, R. et Richards, J. 2017. *Virtual, Augmented, and Mixed Realities in Education*. Singapour : Springer.

Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur. 2018. *Plan d'action numérique en éducation et enseignement supérieur 2018-2023*. En ligne. URL : http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/ministere/PAN_Plan_action_VF.pdf, Consulté le 12 juin 2019. 85p.

National Academies Press (NAP). 2011. *Learning science through computer games and simulations*. En ligne. URL : <http://www.ics.uci.edu/~wscacchi/GameLab/Recommended%20Readings/Learning-ScienceGames-2011.pdf>, Consulté le 12 juin 2019. 162p.

Northern Centre for Advanced Technology (NORCAT). 2015. *Simulation Training*. En ligne. URL : <https://www.norcat.org/training/simulation-training.html>, Consulté le 12 juin 2019.

Société du Plan Nord. 2015. *Le Plan Nord à l'horizon 2035, plan d'action 2015-2020*. En ligne. URL : https://plannord.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/2017/05/Synthese_PN_FR_IMP.pdf, Consulté le 28 août 2019.

Velev, D. et Zlateva, P. 2017. *Virtual reality challenges in education and training*. En ligne. URL : https://www.researchgate.net/publication/312213416_Virtual_Reality_Challenges_in_Education_and_Training, Consulté le 12 juin 2019. 5p.



*Institut national
des mines*

Québec 