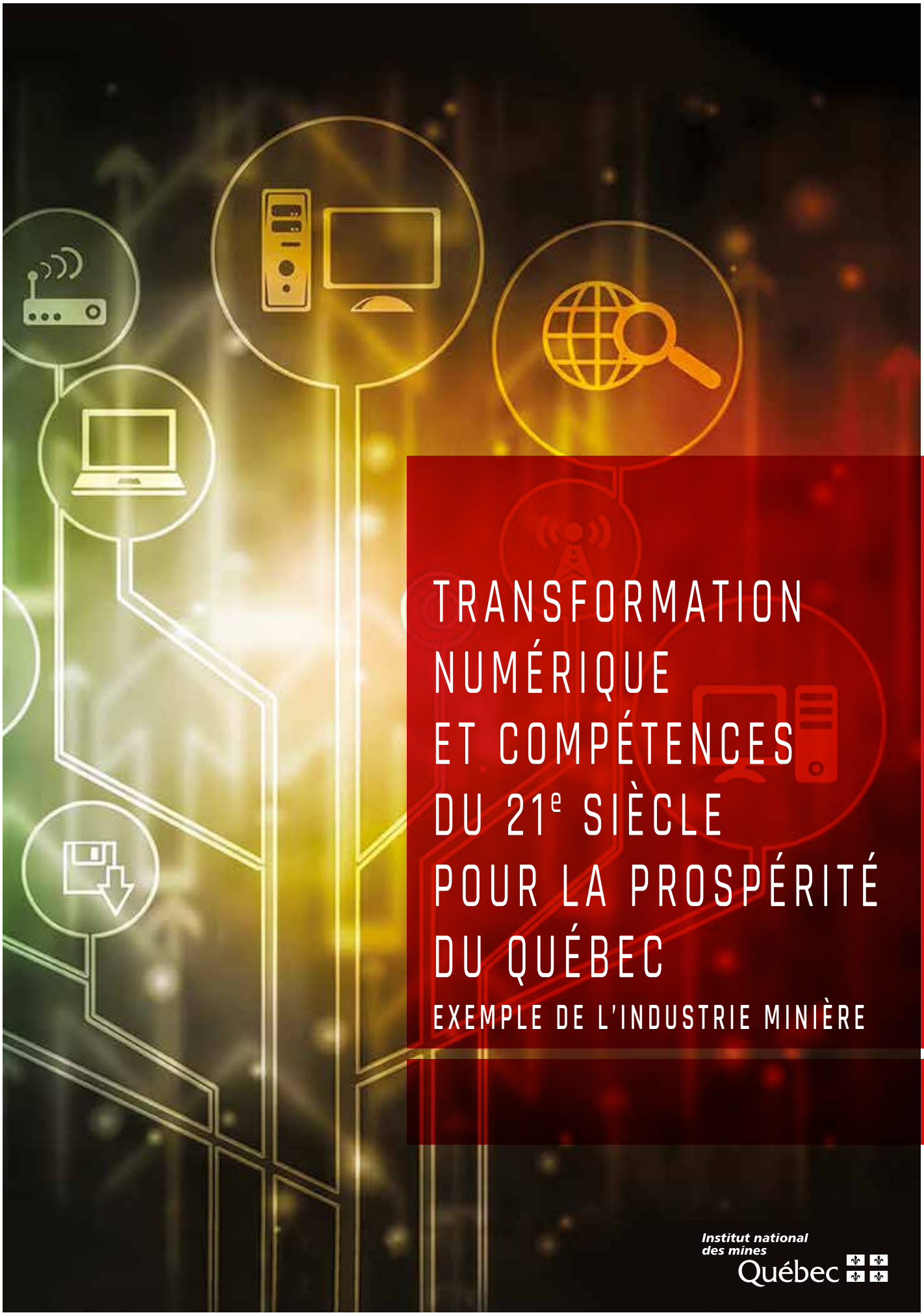


TRANSFORMATION NUMÉRIQUE ET COMPÉTENCES DU 21e SIÈCLE POUR LA PROSPÉRITÉ DU QUÉBEC

EXEMPLE DE L'INDUSTRIE MINIÈRE

Institut national des mines
Québec

Recherche et rédaction
Valérie Bellehumeur
Chargée de projet
Institut national des mines

Supervision
Robert Marquis
Président-directeur général
Institut national des mines

Diffusion
Karine Lacroix

Révision linguistique
Centre de services partagés du Québec

Graphisme
Ose design

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

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

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

© Gouvernement du Québec
Institut national des mines, 2018
ISBN : 978-2-550-81700-0 (imprimé)
ISBN : 978-2-550-81701-7 (PDF)
Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2018
Dépôt légal – Bibliothèque et Archives Canada, 2018

TABLE DES MATIÈRES

PRÉAMBULE 7
Mission 8
Vision 8
Valeurs 8

INTRODUCTION 9

MISE EN CONTEXTE 11
Les minières australiennes, précurseures de l'automatisation 12

CHAPITRE 1 15
1.1 Industrie 4.0 : définition et impacts 15
1.2 Mine 4.0 : des opérations minières agiles 17
1.2.1 Thèmes centraux de la transformation numérique de l'industrie minière 18
1.2.1.1 Automatisation et robotique 19
1.2.1.2 Main-d'œuvre connectée 20
1.2.1.3 Entreprise intégrée 20
1.2.1.4 Prochaine génération d'analytique et de soutien à la décision 22
1.2.2 Vers une meilleure capacité d'innovation 22
1.2.2.1 Sphères d'innovation 25
1.2.2.2 Maturité d'innovation des entreprises minières 26
1.2.3 Risques liés à la transformation numérique des entreprises minières 27
1.3 Impacts de la transformation numérique sur l'emploi : pertes, gains, transition 28
1.3.1 De nouvelles compétences 29
1.3.2 Facteurs de changement 29
1.3.3 Accompagner et soutenir la transition 31
1.3.4 L'automatisation, une opportunité à saisir 32
1.4 Quelles leçons pour la formation de la main-d'œuvre? 32
1.5 Principaux enjeux de la transformation numérique 33
1.6 Pistes d'action 34

CHAPITRE 2 37
2.1 Hybridation des métiers 39
2.1.1 Le nouveau monde du travail 40
2.2 Les compétences du 21e siècle 42
2.2.1 Les compétences d'une économie numérique 42
2.2.2 Les compétences relatives à l'employabilité 43
2.2.3 Un cadre de référence des compétences relatives à l'employabilité pour la main-d'œuvre minière du Québec 45
2.3 Vers une adéquation formation-**COMPÉTENCES**-emploi 46
2.3.1 Décalage de compétences à court terme 46
2.3.2 Décalage de compétences à long terme 47
2.3.3 Un nouveau concept d'emplois, de carrières et de compétences 48
2.3.4 Nouvelles sources de renseignements sur les compétences 50
2.4 Révision des programmes de formation 50
2.4.1 Enjeux associés à la révision des programmes de formation 50
2.5 Transformation numérique de l'enseignement et de l'apprentissage 52
2.5.1 La pédagogie numérique : simulations et médias immersifs 52
2.5.2 L'évaluation en contexte numérique 54
2.5.3 Réalité virtuelle en éducation 55
2.5.4 Limites de la simulation en éducation 56
2.6 Un écosystème d'apprentissage 57
2.7 Principaux enjeux de l'adéquation formation-compétences 58
2.8 Pistes d'action 59

CONCLUSION 61
Faut-il réinventer le système d'éducation pour le 21e siècle ? 62

RÉFÉRENCES 63

ANNEXES 69
Annexe 1 | Mission exploratoire sur la formation minière en Australie 70
Annexe 2 | Diagramme du système d'éducation australien 71
Annexe 3 | Résumé des compétences pour l'employabilité des programmes de formation australiens 72

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Modèle de la mine intelligente de Roy Hill 12
Figure 2 Cycle d'acquisition et de traitement des données propre à l'Industrie 4.0 16
Figure 3 Éléments constitutifs du concept d'agilité des opérations minières 18
Figure 4 Proportion de données réellement utilisées par les entreprises minières 18
Figure 5 Intégration des opérations dans une structure de contrôle numérique 21
Figure 6 Modèle de valorisation des données 21
Figure 7 Accroissement du niveau de risque associé aux sphères d'innovation 25
Figure 8 Risques liés à la transformation numérique des entreprises minières 27
Figure 9 Facteurs influençant le rythme d'adoption des innovations 30
Figure 10 Forces façonnant les emplois du futur et préoccupations des jeunes Australiens 41

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Catégories et types d'innovations 23
Tableau 2 Types d'innovations associés au programme de la Mine du futur de Rio Tinto et moyens mis en place 24
Tableau 3 Types d'innovations implantés par les instances institutionnelles dans le secteur minier au Québec et moyens mis en place 25
Tableau 4 Probabilités d'automatisation des activités et des occupations 29
Tableau 5 Liste des compétences relatives à l'employabilité figurant dans les programmes de formation professionnelle australiens 44
Tableau 6 Exemple d'énoncés de performance associés à la compétence Communication du Certificat II en extraction du charbon sous terre 44
Tableau 7 Cadre de référence des compétences relatives à l'employabilité de la main-d'œuvre minière du 21e siècle 45
Tableau 8 Groupes de compétences proposés par la Foundation for Young Australians ... 49

PRÉAMBULE

L'adoption de la Loi sur l'Institut national des mines (RLRQ, c. I-13.1.2) en 2009 est issue de la volonté de créer un organisme capable de soutenir le gouvernement du Québec dans l'exercice de sa responsabilité en matière d'éducation dans le secteur minier.

L'Institut a reçu le mandat de maximiser la capacité de formation de la main-d'œuvre, en optimisant les moyens disponibles et en les utilisant selon la vision concertée de tous les acteurs du secteur minier, contribuant ainsi à l'amélioration de la productivité, de la compétitivité du Québec et de l'employabilité des travailleurs.

La planification stratégique actuelle s'inscrit dans la continuité des travaux du premier plan stratégique, qui concernait les années 2011-2016. Dans sa planification stratégique 2018-2023, l'Institut national des mines s'inspire du bilan de ses réalisations antérieures et entend poursuivre ses travaux orientés vers l'innovation dans la formation minière.

Au fil des ans, l'Institut a développé une expertise unique, qu'il partage avec ses partenaires institutionnels et corporatifs pour orienter les décisions stratégiques gouvernementales dans les limites de la mission qui lui a été confiée.

MISSION

Par des recommandations et des avis fondés, conseiller le gouvernement du Québec dans la mise en œuvre d'une offre de formation d'avant-garde contribuant au développement du plein potentiel du secteur minier, au bénéfice de la société québécoise.

Plus particulièrement, le mandat de l'Institut national des mines inclut notamment ce qui suit[1] :

> « 1° coordonner les interventions des différents ordres d'enseignement pour répondre aux besoins de formation et de main-d'œuvre du secteur minier;
> 2° estimer les besoins de formation actuels et futurs du secteur minier et assurer une veille continuelle de leur évolution quant à leur nature et à leur répartition géographique;
> 3° soumettre au ministre et au ministre[2] de l'Enseignement supérieur, de la Recherche, de la Science et de la Technologie des propositions visant à actualiser l'offre de formation;
> 4° participer activement aux efforts de promotion des métiers et professions du secteur minier. »

VISION

L'Institut national des mines vise la concertation de tous les acteurs concernés afin de positionner le Québec comme un leader national et international en formation minière.

VALEURS

- **Concertation** entre les établissements des trois ordres d'enseignement et l'industrie minière.
- **Rigueur** dans la documentation des tendances technologiques, dans les analyses qui en découlent et dans la rédaction de recommandations au ministre pouvant influencer l'offre de formation.
- **Innovation** dans son modèle de concertation contribuant à l'attraction et à l'actualisation de l'offre de formation minière adaptée à différentes clientèles.

1. « 1° coordonner les interventions des différents ordres d'enseignement pour répondre aux besoins de formation et de main-d'œuvre du secteur minier;
2. Le libellé de ce paragraphe respecte la Loi sur l'Institut national des mines (mise à jour du 1er février 2014).

INTRODUCTION

L'Institut national des mines s'est doté d'objectifs associés à des enjeux primordiaux qui orienteront ses actions et ses projets pour les années à venir. L'un des enjeux définis est la connaissance des tendances en formation ayant un impact sur le développement des compétences de l'avenir. À cet enjeu sont étroitement liés des objectifs d'analyse et de diffusion des tendances en innovation susceptibles d'avoir un impact sur la formation minière au Québec. Un autre enjeu auquel s'intéresse l'Institut est l'actualisation de l'offre de formation par la réalisation d'études prévisionnelles et prospectives en vue de l'élaboration d'un référentiel des compétences recherchées dans l'industrie minière québécoise.

Par cet ouvrage, l'Institut souhaite contribuer aux travaux amorcés à l'échelle nationale en lien avec la transformation numérique dans le contexte de la révolution industrielle 4.0, spécialement en mettant son expertise au service de l'élaboration de la future Stratégie nationale sur la main-d'œuvre. Conçu dans l'optique de devenir un outil de référence, cet ouvrage devrait être pris en compte dans une démarche cohérente de consultation menant à l'établissement des orientations nationales.

La production de cet ouvrage s'inscrit dans la démarche de recherche maintenant bien établie de l'Institut. Les éléments contextuels qui y sont présentés résultent d'un travail de recherche méthodique et d'une analyse rigoureuse réalisés au cours de la dernière année. Les pistes d'action proposées sont le fruit d'une réflexion approfondie et sont fondées sur des observations concrètes sur le terrain. Avec cet ouvrage, l'Institut s'adresse à plusieurs de ses partenaires privilégiés qui, l'espère-t-il, y trouveront des éléments pouvant contribuer à l'atteinte de leurs objectifs respectifs.

Le chapitre 1 présente les incontournables de la transformation numérique pour les entreprises minières québécoises. Celles-ci pourront y retrouver regroupés les dernières tendances en matière d'implantation des nouvelles technologies, ainsi que les moyens à mettre en œuvre et les ressources à mobiliser pour réussir le passage au numérique. Les sujets abordés y sont entre autres l'établissement d'une vision claire, d'un leadership et d'une culture numérique organisationnelle.

Le chapitre 2 s'intéresse principalement à l'anticipation des compétences du 21e siècle découlant de la révolution industrielle 4.0. Il y est suggéré de moderniser les modèles d'enseignement et d'apprentissage en vue de faciliter la nécessaire adéquation de la formation et des compétences. Pour les acteurs du milieu de l'éducation et les personnes intéressées par l'attraction, le recrutement et le développement de la main-d'œuvre, ce chapitre fournit des pistes de réflexion de même que l'ébauche d'un cadre de référence des compétences relatives à l'employabilité. Il met enfin un accent particulier sur la nécessité d'encourager et de soutenir des mesures facilitant l'apprentissage tout au long de la vie.

Pour contextualiser les éléments présentés et orienter la réflexion et la prise de décision, l'Institut a cru important de définir les principaux enjeux se démarquant, ainsi que des pistes d'action opérationnelles pouvant être mises de l'avant.

Finalement, l'Institut souhaite élargir son réseau de partenaires en partageant non seulement sa connaissance des enjeux associés aux compétences requises dans les années à venir, mais aussi sa capacité de réaliser des projets contribuant à l'actualisation de l'offre de formation et à l'attraction d'une main-d'œuvre diversifiée.

MISE EN CONTEXTE

En octobre 2017, une délégation de l'Institut national des mines a réalisé une mission exploratoire en Australie. L'objectif général de cette mission était d'établir des contacts avec divers établissements d'enseignement et de formation impliqués dans le domaine de la formation minière. Documenter sur place la démarche d'automatisation de l'industrie minière australienne, son impact sur la nature du travail et sur le processus d'adaptation de l'offre de formation a permis à l'Institut d'approfondir ses connaissances sur l'Industrie 4.0 dans le secteur minier. Cette mission a également été réalisée en vue de proposer des recommandations et des pistes d'action visant à soutenir les établissements d'enseignement et les entreprises minières du Québec dans leur appropriation des nouvelles technologies, dans une perspective de transformation numérique et de passage à l'environnement 4.0.

En 12 jours, la délégation s'est déplacée de Sydney, à Adélaïde, à Perth, puis à Newman[3]. Cette mission a permis à l'Institut de s'entretenir avec les représentants de 11 établissements différents. Voici les constats les plus marquants qui se dégagent de cette expérience.

3. Voir annexe 1 pour la liste des organisations rencontrées.

LES MINIÈRES AUSTRALIENNES, PRÉCURSEURES DE L'AUTOMATISATION

La Mine du futur de Rio Tinto a 10 ans. Cette marque de commerce déployée en 2008 a stimulé un parcours de découvertes technologiques et d'implantation de nouveaux équipements. À chaque étape, une question : « Quelle nouvelle idée pouvons-nous apporter pour que la mine soit plus sécuritaire, plus productive et plus durable? » (Rio Tinto, 2014). En effet, chez Rio Tinto, la mine de la prochaine génération doit être plus sécuritaire, plus intelligente, meilleure. La Mine du futur mise donc sur le travail de qualité fourni par une main-d'œuvre qualifiée accompagnée de nouvelles technologies, c e qui implique de gérer efficacement la délicate relation entre l'humain et la machine.

Les innovations ont été implantées de manière incrémentale, au fur et à mesure que les technologies développées devenaient accessibles à l'échelle industrielle. Cependant, bien que la transformation chez Rio Tinto ait été progressive, elle reposait sur une vision à long terme : une vision de la mine du futur, de la fosse au port, nécessitant de travailler plus intelligemment.

Rio Tinto n'est pas la seule entreprise minière qui opère actuellement un passage vers l'environnement 4.0. Cette vision de la mine, non plus qualifiée de « mine du futur » mais plutôt de mine intelligente, est également au cœur du modèle d'affaires de Roy Hill. Le passage vers l'environnement 4.0 de Roy Hill ne se limite pas à l'automatisation des équipements. Comme le démontre la figure 1, il englobe tous les éléments de la chaîne de valeur.

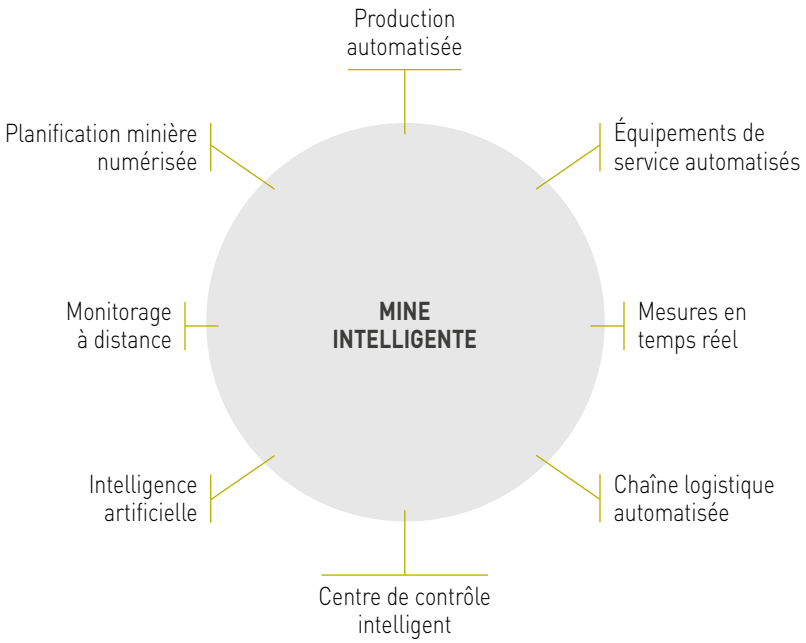


Figure 1 Modèle de la mine intelligente de Roy Hill (Source : Roy Hill)

À la base de cette transformation se trouvent des centres de contrôle à distance des opérations minières regroupant une poignée d'individus dans des aires ouvertes munies d'une multitude d'ordinateurs, d'écrans et de panneaux de contrôle. Le personnel limité de ces centres est en mesure de faire fonctionner et de superviser simultanément plusieurs mines à ciel ouvert où circulent des camions de production entièrement autonomes et situés à plus de 1 000 km de là. Devant cette situation, plusieurs questions s'imposent :

Comment le processus d'automatisation des sites miniers s'est-il déroulé? Quelles ont été les étapes charnières? Quels postes ont été abolis? Quels nouveaux postes ont été créés? Quels sont les impacts sur la nature du travail? Quels sont les profils des travailleurs recherchés pour les centres de contrôle? Quels types de postes occupaient-ils avant l'automatisation des opérations minières? Quelles études ont-ils suivies pour occuper ces nouvelles fonctions? Quelles formations complémentaires ont-ils suivies pour assurer leur transition de la fosse au centre de contrôle? Quelles nouvelles compétences maîtrisent-ils?

Les discussions sur le terrain lors des rencontres réalisées pendant la mission n'ont pu répondre entièrement à ces interrogations. Cependant, les intervenants rencontrés ont été en mesure d'orienter la délégation de l'Institut vers des ressources stratégiques et d'alimenter des réflexions pertinentes dans un contexte de mine 4.0 en voie d'implantation au Québec. Les pages qui suivent regroupent donc à la fois des observations de terrain et des éléments additionnels issus d'une recension exhaustive de la littérature portant sur les sujets d'intérêt pour l'Institut en lien avec les tendances actuelles en matière de transformation numérique.

CHAPITRE 1

LES INCONTOURNABLES POUR LA TRANSFORMATION NUMÉRIQUE DE L'INDUSTRIE MINIÈRE QUÉBÉCOISE

1.1 INDUSTRIE 4.0 : DÉFINITION ET IMPACTS

La quatrième révolution industrielle, communément nommée l'Industrie 4.0, change le fonctionnement des entreprises. La transformation numérique et l'intégration en temps réel des données qu'elle génère modifient les modèles et les processus. L'interconnectivité des systèmes, qui définissait initialement la révolution 4.0 (ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation [MESI], 2017b), n'est plus suffisante pour expliquer l'étendue de la transformation numérique. L'Industrie 4.0 va bien au-delà de l'Internet des objets qui, pour plusieurs, représente encore l'objectif ultime de la transformation numérique. Désormais, les organisations doivent décider comment investir dans une large gamme de nouvelles technologies en ciblant celles qui répondent à leurs besoins.

Deloitte Insights (2017) propose un cadre qui définit l'Industrie 4.0. Ce cadre la distingue des révolutions précédentes et démontre comment les innovations technologiques actuelles créent de la valeur dans une organisation. Les changements provoqués par l'Industrie 4.0 sont illustrés à l'aide d'un cycle au cours duquel l'accès en temps réel aux données est catalysé par un flot continu d'information et d'interactions entre le monde physique et le monde numérique. Ce flot ininterrompu repose sur trois phases itératives, décrivant le passage du monde physique au monde numérique et à nouveau au monde physique.

- **Phase du monde physique au monde numérique :** Cette phase initiale consiste à capturer une multitude de données propres au monde physique, puis à produire une copie, ou un jumeau numérique, de l'ensemble des composantes physiques des opérations.
- **Phase de communication dans le monde numérique :** Il s'agit du partage de données entre les différentes structures numériques (communication de machine à machine) et de l'application de différentes méthodes d'analyse et de visualisation en temps réel de données provenant de sources multiples.
- **Phase du monde numérique au monde physique :** Par l'application d'algorithmes, les données numériques sont traduites en décisions qui stimulent l'action et opèrent un changement dans le monde physique (Deloitte Insights, 2017).

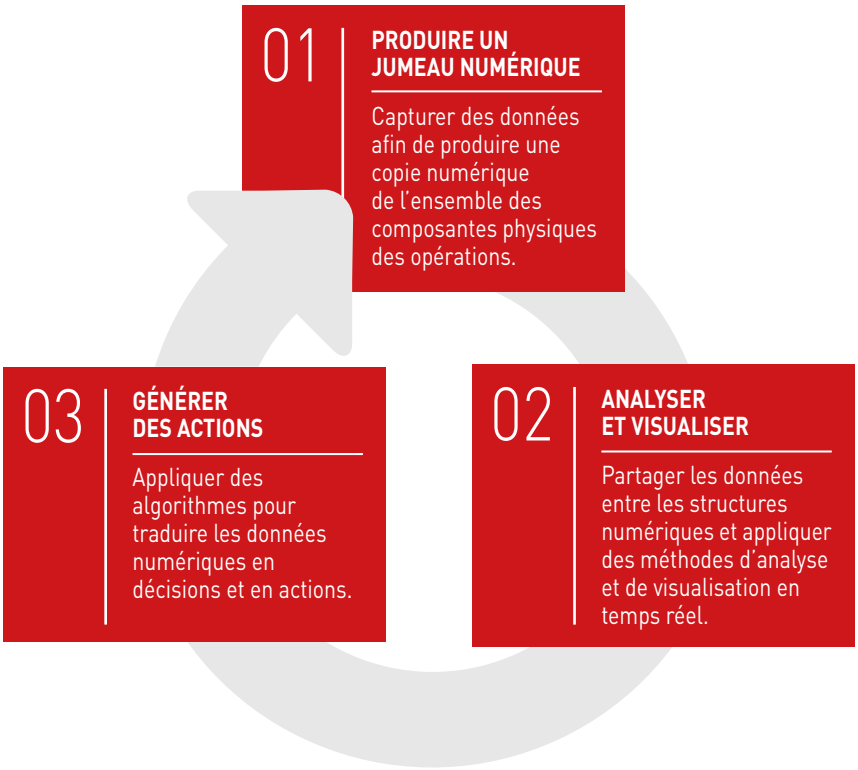


Figure 2 Cycle d'acquisition et de traitement des données propre à l'Industrie 4.0 (Adapté de : Deloitte Insights, 2017)

Pour soutenir ce cycle, l'Industrie 4.0 combine plusieurs technologies physiques et numériques pertinentes, y compris l'analytique, la fabrication additive (impression 3D), la robotique, l'intelligence artificielle, l'apprentissage machine, la réalité virtuelle et la réalité augmentée. De plus en plus d'entreprises minières mettent en place des technologies qui établissent des liens entre le monde physique et le monde numérique. Les entreprises déploient aussi des technologies de communication dans le monde numérique. Cependant, l'essence de l'Industrie 4.0 réside dans le retour d'information du monde numérique vers le monde physique, qui augmente la capacité d'agir des entreprises en améliorant leur processus de prise de décision.

1. Pour obtenir la liste complète des références, consulter le rapport *Transformation numérique et compétences du 21e siècle pour la prospérité du Québec. Exemple de l'industrie minière.*

L'Industrie 4.0 constitue plus que l'ajout d'innovations technologiques. Il s'agit d'une révolution qui a des effets sur la manière dont plusieurs nouvelles technologies sont mises en commun et dont les organisations qui les exploitent sont transformées pour optimiser leur compétitivité et leur croissance. En somme, les entreprises qui effectuent ce virage se dotent d'une vision holistique de la transformation numérique, perçue comme un écosystème qui englobe l'ensemble des partenaires, des fournisseurs, de la main-d'œuvre et des opérations.

1.2 MINE 4.0 : DES OPÉRATIONS MINIÈRES AGILES

Appliquées au secteur minier, l'Industrie 4.0 et la transformation numérique reposent sur le concept d'opérations minières agiles. Actuellement, nombreuses sont les entreprises minières qui abordent la transformation numérique par une série d'initiatives ciblant des besoins spécifiques. Toutefois, seules les mines agiles créeront de nouveaux modèles d'affaires viables en concentrant leurs efforts sur la synergie et l'interrelation entre les innovations, ce qui est absolument nécessaire pour opérer une véritable transformation durable. IDC Perspective (2017) contextualise le cadre qui définit l'Industrie 4.0 proposé par Deloitte Insights en décrivant quatre éléments sur lesquels se fonde le concept d'opérations minières agiles.

- **La mine intelligente :** Est associée au processus d'acquisition de données par les équipements et les individus et à la capacité d'utiliser cette information pour engendrer une réponse automatisée ou humaine. Il s'agit d'utiliser des données afin de comprendre ce qui se passe et ce qui pourrait se passer. Cette compréhension permet ensuite de sélectionner la réponse la plus adéquate.
- **La mine numérique :** Consiste à créer la réplique numérique d'une véritable mine. Ce jumeau numérique sert de modèle à l'élaboration et à la mise à l'essai de différents scénarios opérationnels en modifiant divers paramètres pour mesurer l'efficience de ces scénarios dans une perspective d'optimisation des processus.
- **L'automatisation des opérations minières :** Permet une plus grande prédictibilité des performances et une meilleure reproductibilité des résultats.
- **L'intégration des opérations :** Regroupe l'ensemble des opérations dans un système global, du fournisseur au client et de la mine au port. Il s'agit d'une stratégie holistique qui combine l'acquisition de données et leur utilisation pour des opérations plus proactives. L'intégration des opérations augmente ainsi la capacité de visualiser et de créer des processus numériques autonomes (IDC Perspective, 2017).

Figure 3 Éléments constitutifs du concept d'agilité des opérations minières (Source : adapté de IDC Perspective, 2017)

En Australie, l'objectif d'implanter des opérations minières agiles est associé à une vision stratégique globale à long terme. C'est d'ailleurs cette vision d'un processus de transformation holistique qui en a assuré le succès (Deloitte, 2017). Dans ce pays, la transformation numérique va donc au-delà de l'adoption de nouvelles technologies. Elle vise l'amélioration de la productivité à travers toute la chaîne de valeur.

1.2.1 THÈMES CENTRAUX DE LA TRANSFORMATION NUMÉRIQUE DE L'INDUSTRIE MINIÈRE

La transformation numérique donne accès à des données supplémentaires, mais surtout aux moyens d'analyser ces données pour améliorer la gestion des actifs, la fiabilité, la cohérence et la prédictibilité (EY, 2017). Une meilleure utilisation des données est rendue possible grâce à l'Internet des objets. La figure 4 illustre la proportion d'information réellement disponible et sur laquelle repose actuellement la prise de décision.

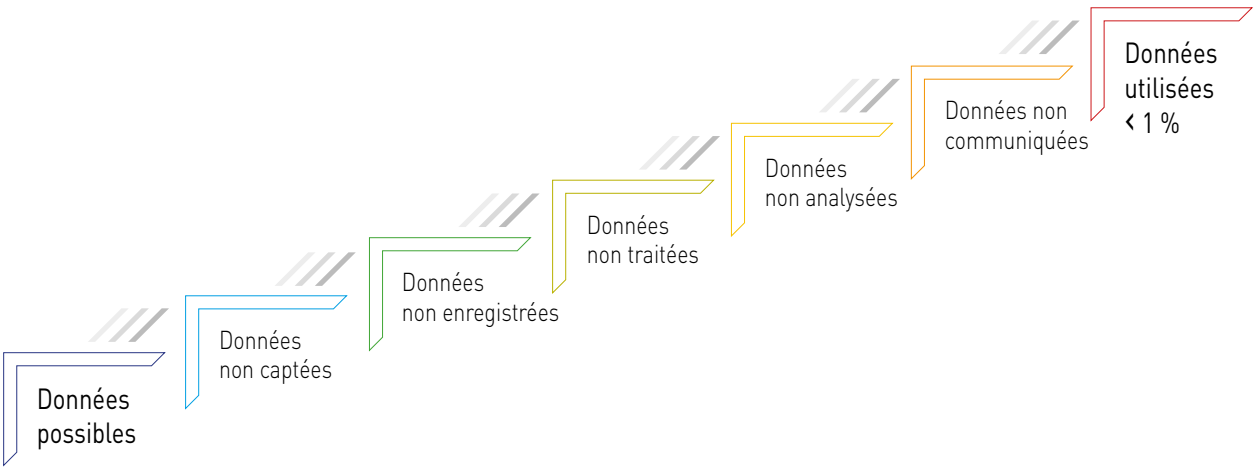


Figure 4 Proportion de données réellement utilisées par les entreprises minières (Source : McKinsey & Compagny, 2015)

L'intégration de l'ensemble des processus nécessaires à la transformation numérique repose prioritairement sur la création de liens formels entre les ressources des technologies de l'information (TI) et les opérations (IDC Perspective, 2017). Cette intégration permet de capturer et de traiter davantage d'information utile à la prise de décision.

Dans les pages qui suivent, nous présentons quatre thèmes centraux qui sont au cœur de l'intégration des TI et de la transformation numérique de l'industrie minière : 1) l'automatisation et la robotique; 2) la main-d'œuvre connectée; 3) l'entreprise intégrée; et 4) l'analytique et le soutien à la décision (Forum économique mondial [FEM], 2017).

1.2.1.1 Automatisation et robotique

Les technologies comme les robots, la fabrication additive (impression 3D) et les capteurs offrent l'opportunité de révolutionner le secteur minier. Auparavant, les équipements automatisés se limitaient à réaliser des tâches spécifiques pour lesquelles ils étaient programmés. Maintenant, une nouvelle génération de robots et de machines peut réaliser des tâches avec un grand niveau d'autonomie, pendant plusieurs heures consécutives sans aucune intervention humaine (FEM, 2017). Leur capacité de récolter des informations à propos de leur environnement leur permet même d'éviter des situations qui pourraient être dangereuses. Ils peuvent apprendre de nouvelles méthodes et s'adapter à un environnement changeant.

À titre d'exemple, Rio Tinto dispose d'une imposante flotte de camions automatisés dans ses mines de fer australiennes, ce qui lui permet de maximiser le transport du minerai, de limiter le plus possible les retards et de réduire l'utilisation de carburant. De plus, la sécurité sur les sites miniers automatisés est améliorée du fait que les gigantesques camions de transport de minerai sont supervisés à distance. Rio Tinto mise sur du personnel bien formé pour interagir avec des machines de plus en plus intelligentes. L'évolution de la technologie permet à son personnel de développer de nouvelles compétences et de les utiliser dans un environnement de travail profondément modifié.

S'appuyant sur l'expérience de ce leader et de quelques autres entreprises minières en matière d'automatisation, les meilleures estimations actuelles anticipent que le taux d'implantation d'équipements automatisés dans le secteur minier passera du 0,1 % actuel à 25 % d'ici 2025 (FEM, 2017). Si cette prévision se confirme, l'automatisation, en augmentant l'efficacité des opérations, réduira d'environ 340 millions de tonnes les émissions de CO_2 produites par l'industrie minière pendant la prochaine décennie. Encore plus important, l'automatisation permettra de sauver des vies et d'éviter les blessures dans une industrie déployée mondialement.

Quant aux capteurs intelligents, qui permettent désormais aux entreprises d'accéder en temps réel à des données améliorant la performance de leurs équipements, ils deviendront incontournables pour la prise de décision au jour le jour. À eux seuls, les capteurs intelligents ont le potentiel de générer des gains estimés à 8,8 milliards de dollars dans le secteur minier au cours des 10 prochaines années, principalement par une efficacité opérationnelle accrue résultant de processus de production plus précis et d'une réduction importante des coûts de maintenance (FEM, 2017).

1.2.1.2 Main-d'œuvre connectée

D'autres technologies comme l'Internet des objets, la réalité virtuelle (RV) et la réalité augmentée (RA) repoussent les limites des innovations possibles dans le secteur minier. La prolifération rapide des appareils mobiles, associée à leurs nombreuses nouvelles applications, a fait passer plusieurs tâches minières traditionnelles au mode numérique. L'intégration de nouvelles technologies permet aussi d'améliorer les performances et d'augmenter la sécurité du personnel. Par exemple, sur certains sites miniers, les travailleurs sont équipés de casquettes intelligentes (SmartCaps) qui surveillent leur fatigue. Ces casquettes, d'abord introduites pour alerter un opérateur sur le point de s'endormir au volant de son véhicule, ont permis à l'entreprise de mieux comprendre le cycle de fatigue des opérateurs et de réorganiser les horaires pour s'y adapter (FEM, 2017).

1.2.1.3 Entreprise intégrée

La principale manifestation de l'entreprise intégrée est la mise en place de centres de contrôle à distance (CCD) où s'effectuent la planification, le contrôle et la prise de décision. Les CCD sont de vastes locaux centralisés et connectés, où la main-d'œuvre travaille et collabore aux opérations ayant lieu sur des sites miniers éloignés sans avoir à s'y déplacer. Les CCD assurent la coordination et la supervision en temps réel des opérations avec un minimum d'infrastructures. Ils réduisent la présence des spécialistes hautement qualifiés sur les sites tout en assurant la disponibilité de l'expertise, lorsque nécessaire. Des économies substantielles sont ainsi réalisées, notamment en raison de la réduction des coûts relatifs à l'hébergement, au ravitaillement et au transport du personnel. Les CCD réduisent aussi les risques en diminuant le nombre de personnes déployées sur les sites miniers, qui sont des environnements industriels potentiellement dangereux.

La mise en place de CCD en milieu urbain engendre une proximité entre les lieux de travail et de résidence, ce qui encourage le transfert de connaissances, facilite l'intégration des nouveaux employés et améliore le partage des meilleures pratiques. La collaboration dans les CCD favorise aussi la prise de décision, car les situations urgentes sont gérées alors qu'est assuré un accès direct à l'expertise et à l'expérience de tout le personnel. Enfin, les CCD augmentent l'attrait du secteur minier en offrant des perspectives de carrière flexibles et sans les désagréments du navettage. Les entreprises utilisent cet argument pour faire du recrutement dans un bassin d'employés potentiels urbain et diversifié afin d'assurer le renouvellement du personnel de l'industrie minière (FEM, 2017).

Ultimement, il est possible d'intégrer au sein d'un CCD l'ensemble des opérations minières dans une seule structure de planification, de contrôle et de soutien à la décision, comme l'illustre la figure 5.

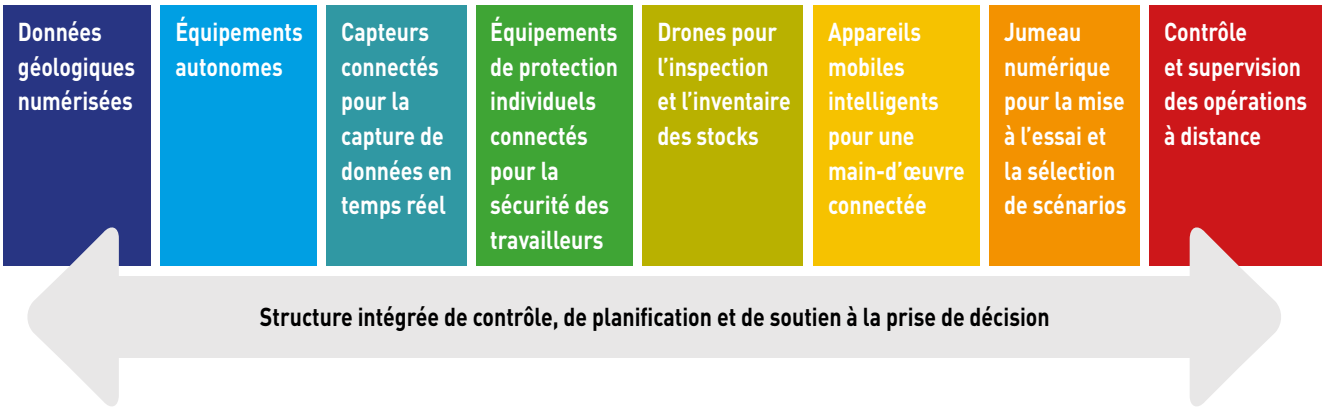


Figure 5 Intégration des opérations dans une structure de contrôle numérique (Source : Deloitte, 2017a)

Cette intégration débute dès la découverte d'un gisement et l'évaluation de la ressource minière. Elle se poursuit dans les phases ultérieures d'exploitation, de traitement, de transport et d'expédition de la production minérale. Les CCD utilisent l'analyse de données ainsi que la RV et la RA pour produire des simulations et des scénarios sur lesquels repose la prise de décision en temps réel. En somme, la numérisation de l'ensemble des processus de la chaîne de valeur améliore la prise de décision parce qu'elle s'appuie sur une vision holistique des opérations. Cette vision émerge par l'intégration de données historiques, actuelles et prévisionnelles (figure 6).

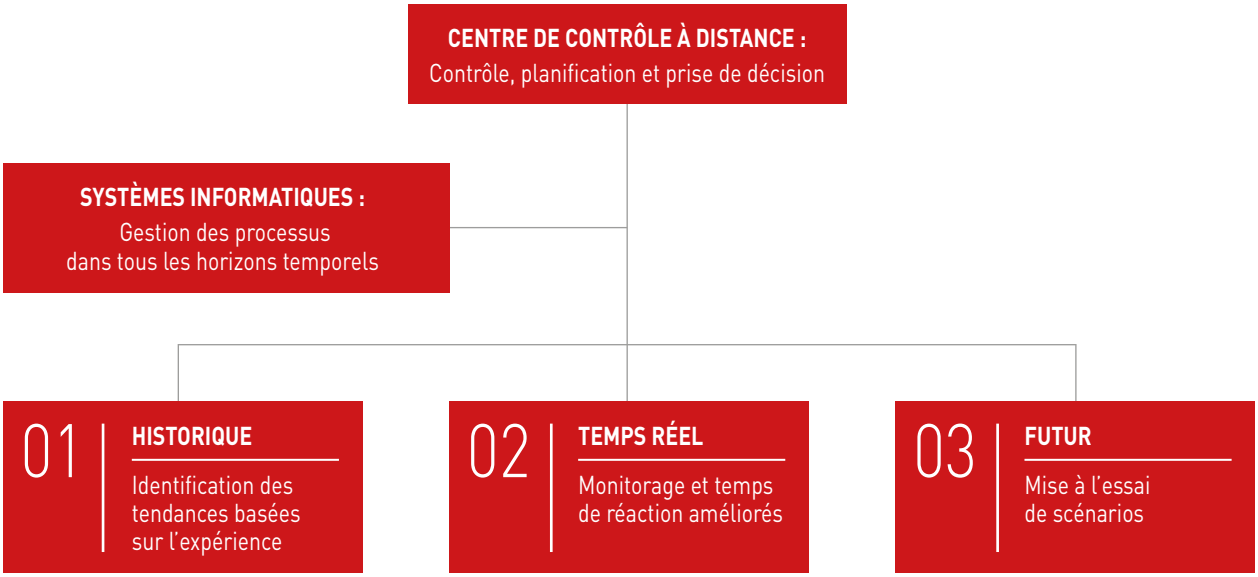


Figure 6 Modèle de valorisation des données (Source : Deloitte, 2017a)

1.2.1.4 Prochaine génération d'analytique et de soutien à la décision

L'intelligence artificielle (IA) renvoie à des systèmes informatiques pouvant accomplir des tâches qui requièrent habituellement des aptitudes humaines. Pour soutenir les humains dans un processus de résolution de problèmes, les machines analysent une somme astronomique de données issues de plusieurs sources, dont les équipements miniers, les outils utilisés par les travailleurs, les équipements de protection individuels et les bases de données. L'utilisation d'algorithmes dans le traitement des données aide la prise de décision en temps réel. La modélisation permet aussi de simuler la réalité, et la mise à l'essai de scénarios permet d'obtenir des projections des performances opérationnelles liées à la modification d'un ou plusieurs paramètres. Pour le secteur minier, l'IA mène vers une meilleure compréhension de facteurs clés, dont la structure des gisements. Combinée à l'imagerie 3D obtenue par satellite, la modélisation permet d'optimiser les designs de fosses en réduisant le recours au forage, ce qui diminue les coûts et l'empreinte environnementale des opérations minières (FEM, 2017).

1.2.2 VERS UNE MEILLEURE CAPACITÉ D'INNOVATION

Plusieurs raisons expliquent l'engagement actuel des entreprises minières dans la transformation numérique. Les entreprises recherchent une amélioration des performances opérationnelles et financières. L'augmentation de leur capacité d'innovation et de leur proactivité facilite également l'attraction, la motivation et la rétention de la nouvelle main-d'œuvre (Conseil d'orientation pour l'emploi [COE], 2017).

Acquérir une excellente capacité d'innovation implique que l'innovation soit au centre de la culture organisationnelle. L'innovation peut toucher à plusieurs aspects. Pour qu'il soit possible de s'y retrouver, Monitor Deloitte (2016) a identifié 10 types d'innovations d'envergure différente, regroupés en trois catégories : la configuration, la performance et l'expérience. L'innovation peut être liée à la configuration d'un modèle d'affaires, à la performance d'un produit ou à l'expérience associée à un service.

Tableau 1 Catégories et types d'innovations

CATÉGORIE 1. CONFIGURATION **Innovations liées au modèle d'affaires, aux réseaux, à la structure et aux processus**	
Types d'innovations	**Buts poursuivis**
1. Modèle d'affaires	Manière de faire des profits
2. Réseaux	Collaborations pour la création de valeur
3. Structure	Organisation et utilisation des talents et des actifs
4. Processus	Façons de faire (à l'exception des opérations)
CATÉGORIE 2. PERFORMANCE **Innovations liées à la performance des produits et des processus**	
Types d'innovations	**Buts poursuivis**
5. Performance des produits	Optimisation de l'extraction d'un produit de base de meilleure qualité
6. Performance des processus	Meilleure gestion et meilleure utilisation des sous-produits
CATÉGORIE 3. EXPÉRIENCE **Innovations liées aux services, aux canaux, à la marque et aux investisseurs**	
Types d'innovations	**Buts poursuivis**
7. Services	Amélioration des services complémentaires
8. Canaux	Communication avec les actionnaires et accès à de nouveaux marchés
9. Marque	Représentation de l'entreprise et amélioration de la confiance envers la marque
10. Investisseurs	Interactions distinctives suscitant l'engagement

L'initiative la Mine du futur de Rio Tinto représente un exemple concret d'augmentation de capacité d'innovation en entreprise qui peut être analysé en utilisant cette grille. Lancée en 2008, cette initiative visait, grâce à une plus grande automatisation des opérations, à augmenter la production de fer de plusieurs mines australiennes tout en améliorant la santé et la sécurité du personnel ainsi que la performance environnementale. L'entreprise se concentre depuis 10 ans sur cinq types d'innovations, pour lesquels divers moyens ont été mis en place en vue d'atteindre les buts poursuivis (tableau 2).

Tableau 2 Types d'innovations associés au programme de la Mine du futur de Rio Tinto et moyens mis en place

CATÉGORIE 1. CONFIGURATION **Innovations liées au modèle d'affaires, aux réseaux, à la structure et aux processus**	
Types d'innovations	**Moyens mis en place pour atteindre les buts poursuivis**
2. Réseaux	Créer des partenariats mondiaux avec des experts techniques occupant des fonctions spécifiques
3. Structure	Employer une main-d'œuvre plus spécialisée dans les nouvelles technologies et la regrouper dans des centres de contrôle
4. Processus	Déployer une flotte automatisée, appliquer des algorithmes de productivité et centraliser la prise de décision
CATÉGORIE 2. PERFORMANCE **Innovations liées à la performance des produits et des processus**	
Types d'innovations	**Moyens mis en place pour atteindre les buts poursuivis**
5. Performance des produits	Proposer des caractéristiques et des fonctionnalités distinctives
CATÉGORIE 3. EXPÉRIENCE **Innovations liées aux services, aux canaux, à la marque et aux investisseurs**	
Types d'innovations	**Moyens mis en place pour atteindre les buts poursuivis**
9. Marque	Projeter une image de leader du secteur minier en matière d'innovation et de réduction de coûts

Au Québec, il est actuellement difficile d'obtenir un portrait d'ensemble des différents projets d'innovations technologiques implantés ou mis à l'essai dans les entreprises minières. Pour pallier ce manque d'information, l'Institut national des mines, en partenariat avec le CEFRIO (Centre facilitant la recherche et l'innovation dans les organisations), produira au cours de la prochaine année un portrait inédit de la transformation numérique dans le secteur des mines au Québec. Ce portrait permettra principalement de répertorier les innovations liées à la performance des produits et des processus.

Cependant, l'Institut dispose déjà d'information concernant les catégories d'innovations associées à la configuration et à l'expérience. Le Québec dispose en effet d'un modèle de partenariat financier particulier regroupant de grands investisseurs institutionnels. Ces investisseurs travaillent conjointement à la valorisation du secteur minier québécois en favorisant les projets qui ont de bonnes perspectives de rendement et qui sont structurants pour l'économie du Québec. Il s'agit notamment : de la Caisse de dépôt et placement du Québec; du Fonds de solidarité FTQ; de Ressources Québec, une filiale d'Investissement Québec; ainsi que de la Société d'investissement dans la diversification de l'exploration (SIDEX), une initiative du gouvernement du Québec et du Fonds de solidarité FTQ. Le gouvernement du Québec a également mis sur pied le Plan Nord, qui guide sa démarche et celle de ses partenaires en vue, entre autres, de mettre en valeur de manière responsable le potentiel économique diversifié du Nord québécois, de soutenir la mise en valeur du plein potentiel des communautés locales et de favoriser les échanges entre les acteurs de l'industrie, le gouvernement, les décideurs régionaux et la population.

Tableau 3 Types d'innovations implantés par les instances institutionnelles dans le secteur minier au Québec et moyens mis en place

CATÉGORIE 1. CONFIGURATION **Innovations liées au modèle d'affaires, aux réseaux, à la structure et aux processus**	
Types d'innovations	**Moyens mis en place pour atteindre les buts poursuivis**
2. Réseaux	Établir des partenariats entre des instances gouvernementales et des entreprises minières pour la mise en valeur du potentiel du territoire
3. Structure	Faire la promotion du développement de la relève, de la diversité de la main-d'œuvre et de l'atteinte du plein potentiel
CATÉGORIE 3. EXPÉRIENCE **Innovations liées aux services, aux canaux, à la marque et aux investisseurs**	
Types d'innovations	**Moyens mis en place pour atteindre les buts poursuivis**
8. Canaux	Établir des partenariats en vue d'attirer de nouveaux investissements, créant ainsi un effet de levier
9. Marque	Créer des espaces d'échanges entre les acteurs pour améliorer l'acceptabilité sociale de l'industrie minière
10. Investisseurs	Diminuer les risques financiers des partenaires en offrant une gamme de produits financiers

1.2.2.1 Sphères d'innovation

Le choix des innovations qui seront implantées par une entreprise minière dépend fortement de sa capacité d'évaluer et d'assumer les risques encourus, reliés à la complexité des projets ainsi qu'à l'accessibilité et à la transférabilité des innovations envisagées. L'entreprise doit décider de l'envergure des innovations implantées en fonction de trois sphères : l'innovation fondamentale, l'innovation de proximité et l'innovation de rupture. Le niveau de risque associé aux sphères d'innovation s'accroît en fonction du degré de nouveauté, à la fois pour l'entreprise et pour le secteur d'activité.

Figure 7 Accroissement du niveau de risque associé aux sphères d'innovation (adapté de Monitor Deloitte, 2016)

Les entreprises qui gèrent le mieux leurs efforts d'innovation sont habituellement celles qui développent un portfolio équilibré d'activités entre ces trois niveaux de risque. Ainsi, les leaders en innovation réalisent en moyenne 70 % d'innovations fondamentales, 20 % d'innovations de proximité et 10 % d'innovations de rupture, aussi appelées « transformationnelles ». Cependant, le retour sur l'investissement fonctionne inversement, puisque les innovations transformationnelles sont celles qui rapportent le plus à long terme.

Aujourd'hui, Rio Tinto est mondialement reconnu comme un innovateur de premier plan et comme l'un des producteurs de minerai de fer au plus bas coût dans le monde. De plus, la nature et l'intensité des efforts consacrés à cette démarche d'automatisation ont permis à cette entreprise d'atteindre une maturité d'innovation supérieure à celle de tous ses concurrents.

1.2.2.2 Maturité d'innovation des entreprises minières

La maturité d'innovation des entreprises minières, qui exprime dans quelle mesure elles ont intégré l'innovation dans leur culture organisationnelle, se scinde en cinq niveaux distincts.

• Novice : Efforts très aléatoires

La capacité d'innovation n'est pas considérée comme un impératif stratégique. L'innovation n'est pas menée selon une approche disciplinée, et le processus est très souvent hasardeux.

• Sporadique : Efforts fragmentés

L'entreprise reconnaît le besoin d'augmenter sa capacité à innover en structurant son processus. Certains éléments d'une approche structurée commencent à émerger.

• Compétent : Reproductibilité améliorée

La capacité d'innovation s'améliore par la reconnaissance d'un leadership au sein de l'organisation. Des processus d'innovation fiables et reproductibles sont implantés.

• Avancé : Efforts systématiques

Des capacités essentielles au fonctionnement d'un système d'innovation cohérent sont développées. Des stratégies d'innovation claires émergent et un système d'innovation est bien défini.

• Excellent : Capacité d'adaptation

L'innovation représente une capacité organisationnelle fondamentale. À ce niveau, les processus d'innovation se peaufinent pour permettre de saisir les nouvelles opportunités et d'accélérer l'atteinte des résultats (Monitor Deloitte, 2016).

L'industrie minière mondiale augmente progressivement son efficacité en matière d'innovation, et le secteur australien semble relativement plus mature que l'ensemble des autres pays miniers. D'après Monitor Deloitte (2016), l'industrie minière australienne se considère actuellement comme étant de niveau « compétent » en matière d'innovation, alors que l'industrie minière canadienne s'évalue comme étant de niveau « sporadique ». Les entreprises minières australiennes semblent avoir atteint ce niveau à partir de leur propre expérience et d'échanges avec d'autres entreprises minières et d'autres secteurs industriels. Il en résulte que l'industrie minière australienne est actuellement bien outillée pour déceler et saisir les opportunités d'innovation, ce qui lui confère un avantage concurrentiel à l'échelle mondiale.

Même les entreprises minières australiennes qui développent de plus en plus leur capacité d'innovation n'ont pas encore atteint un niveau de maturité leur permettant de tirer pleinement profit de l'ensemble des opportunités technologiques disponibles. En prenant appui maintenant sur l'expérience de ces entreprises, l'industrie minière québécoise pourra consolider sa capacité actuelle et progresser plus avant.

1.2.3 RISQUES LIÉS À LA TRANSFORMATION NUMÉRIQUE DES ENTREPRISES MINIÈRES

Les risques liés à la transformation numérique des entreprises minières sont nombreux. En effet, le Cigref (2011) définit huit familles de risques liés à la transformation numérique. Ces risques concernent notamment les métiers, les tâches, les processus et les relations avec les parties prenantes. Ils ne se manifestent pas seulement lors du passage au numérique. Par conséquent, ils doivent être gérés tout au long de la vie de l'entreprise.

Risques liés aux ressources humaines	Ces risques regroupent le manque d'adhésion ou le rejet de la politique de numérisation de l'entreprise par les employés, l'obsolescence des compétences des travailleurs dans certains secteurs spécifiques et les risques sociaux pouvant se traduire par une contestation organisée.
Risques éthiques et juridiques	Ces risques renvoient au respect de la vie privée et à la confidentialité des données, ainsi qu'à la vitesse inégale de l'évolution des technologies et du droit en matière d'internationalisation des entreprises, notamment pour l'hébergement des données à l'étranger et l'authenticité des documents numériques.
Risques liés au contrôle et à la maîtrise des systèmes d'information	La numérisation accélère le partage de l'information, mais augmente le risque de voir des données dérobées, altérées ou modifiées. Ces risques peuvent être aggravés par la négligence des travailleurs. Une augmentation de l'utilisation du numérique peut également entraîner la saturation des systèmes, une perte de leur efficacité et un ralentissement des activités.
Risques stratégiques	Le passage au numérique implique de définir au préalable un plan lié à la stratégie numérique. Une stratégie numérique déficiente peut causer des conflits internes ayant de lourdes répercussions sur l'entreprise. Ces risques renvoient également à la difficulté de l'interopérabilité des systèmes et à la dépendance à un fournisseur qui limite la capacité d'innovation globale.
Risques marketing	Ces risques sont de différentes natures et ont des répercussions sur la réputation de l'entreprise et sa capacité concurrentielle. Ils sont d'autant plus importants dans les médias sociaux et sur les différents canaux de communication qu'utilise l'entreprise.
Risques liés à la dématérialisation des rapports humains	Le passage au numérique n'élimine pas les rapports humains, mais les dématérialise. La mutation des moyens de communication et leur multiplication peuvent dans certains cas diminuer la qualité de ces rapports. Enfin, l'infobésité, qui renvoie à la surabondance des informations numériques, alourdit les communications tout en diminuant le temps de réflexion consacré à un processus créatif. L'information est alors perdue ou mal traitée.
Risques liés au patrimoine numérique	Ces risques renvoient à la conservation numérique des données (vieillissement des supports et évolution des formats), à la valorisation financière des actifs numériques, qui comporte nombre de difficultés, et à la garantie des produits numériques.
Risques périphériques	Cette dernière famille regroupe les risques liés à la perte de contrôle du produit et à la géopolitique, qui dans le secteur minier sont moins probables, mais qui sont tout de même potentiellement nuisibles.

Figure 8 Risques liés à la transformation numérique des entreprises minières (Source : Cigref, 2011)

Ces risques sont mesurés par la combinaison de leur degré d'occurrence et de leur degré de gravité pour une entreprise donnée. Chaque projet d'innovation aura conséquemment son propre niveau de risque, et il appartient à l'entreprise de se positionner par rapport à celui-ci. Cela étant, le premier facteur de risque auquel les entreprises font référence, le contrôle des systèmes informatiques, est relativement peu important, puisque bien connu et généralement maîtrisé dans le processus de numérisation. Cependant, un risque sous-estimé et beaucoup plus important a trait au manque de culture numérique des dirigeants et des employés.

1.3 IMPACTS DE LA TRANSFORMATION NUMÉRIQUE SUR L'EMPLOI : PERTES, GAINS, TRANSITION

Dans les années à venir, l'automatisation augmentera de façon notable la productivité des entreprises minières. Étant donné qu'il est difficile de prédire précisément l'impact de l'automatisation sur la main-d'œuvre, l'Institut national des mines s'est intéressé aux plus récents travaux en ce domaine, notamment ceux du McKinsey Global Institute (MGI)[4]. Un impact majeur des effets à moyen et long termes de cette tendance mondiale concerne la transition de la main-d'œuvre en réponse aux nombreuses innovations technologiques et à la montée de l'automatisation dans le contexte de la mine 4.0.

C'est dans les entreprises minières australiennes que la transformation numérique est actuellement la plus structurée. Les entreprises australiennes ont également acquis une maturité d'innovation supérieure à celle des entreprises québécoises, grâce à une approche itérative soutenue par une vision à long terme portée par les équipes de gestion. Le principal moteur d'innovation, et surtout d'automatisation, de l'industrie minière australienne a été, et est encore, la pénurie de main-d'œuvre disponible et compétente. Dans ce contexte, l'automatisation accrue des sites miniers ne nuit pas à l'emploi. Au contraire, en Australie, depuis 10 ans, l'automatisation a permis de maintenir certains sites éloignés en activité et même d'en ouvrir de nouveaux.

La vitesse à laquelle les innovations obligeront une transition des travailleurs vers de nouvelles occupations dépendra du rythme du développement et de l'adoption de ces innovations. Certaines tâches disparaîtront, de nouvelles seront créées. Alors qu'environ la moitié de toutes les tâches de travail courantes pourraient techniquement être automatisées par l'adaptation des technologies actuellement disponibles, la proportion des tâches qui le seront réellement d'ici 2030 sera probablement inférieure, en raison de différents facteurs.

4. MGI, 2017a, 2017 b, 2017c, 2017d et 2017e..

Une diminution du besoin de main-d'œuvre sur les sites miniers peut signifier moins d'emplois ou, comme le mentionne le Forum économique mondial (FEM, 2017), une transition dans la nature de ces emplois vers des activités moins routinières. Néanmoins, selon les prévisions, entre 2016 et 2025, près de 330 000 emplois de moins seront disponibles dans l'ensemble de l'industrie minière mondiale.

1.3.1 DE NOUVELLES COMPÉTENCES

En s'appuyant sur des données historiques, MGI estime que le nombre d'emplois créés grâce au développement et à l'implantation de nouvelles technologies compensera le nombre d'emplois qui disparaîtront. Dans une perspective d'implantation rapide de l'automatisation, différents scénarios suggèrent toutefois que de 3 à 14 % de la main-d'œuvre mondiale devra changer d'occupation d'ici 2030. Il s'agit d'un impact important, car cela implique que 375 millions de travailleurs dans le monde devront acquérir de nouvelles compétences afin de demeurer en emploi. De plus, ces travailleurs devront maintenant détenir des compétences diversifiées afin d'accomplir des tâches plus variées.

Les travailleurs d'aujourd'hui sont susceptibles de changer d'emplois quelques fois pendant leur carrière, ce qui représente déjà un défi d'employabilité. Dans le contexte d'une automatisation accrue, on estime que chaque individu occupera entre 10 et 15 emplois différents durant sa carrière. La diversification des formations et des expériences professionnelles prendra donc une importance considérable, en permettant aux travailleurs de maîtriser des tâches difficilement automatisables et qui exigent de l'agilité, de la polyvalence et une grande capacité d'adaptation à des environnements de travail en évolution. Développer des compétences relativement difficiles à automatiser, car d'ordre cognitif, émotionnel ou social exigera des travailleurs un effort d'adaptation habituellement associé à des personnes s'appuyant sur un niveau de scolarité ou de qualification supérieur.

Tableau 4 Probabilités d'automatisation des activités et des occupations

Environ 50 % des activités de travail courantes sont techniquement automatisables par l'adaptation des technologies actuelles (MGI, 2017b).
Parmi les occupations actuelles, 6 sur 10 ont plus de 30 % de leurs activités qui sont techniquement automatisables (MGI, 2017b).
Dans l'industrie minière canadienne, environ 52 % des tâches pourraient être automatisées (Brookfield Institute, 2017).

1.3.2 FACTEURS DE CHANGEMENT

Le virage découlant de la révolution industrielle 4.0 propose plusieurs avantages aux entreprises minières telles l'optimisation des performances, la réduction des temps d'arrêt de production non planifiés et l'augmentation de la fiabilité et de la disponibilité des équipements. Ce virage oblige toutefois à réorganiser les processus d'affaires et à réévaluer simultanément les stratégies en matière de recrutement et de gestion de la main-d'œuvre.

La faisabilité technique n'est pas le seul facteur à prendre en considération pour implanter une solution automatisée. D'autres facteurs influencent à la fois l'ampleur de l'automatisation souhaitée et le rythme d'adoption en entreprise, notamment les coûts, l'accès à la main-d'œuvre et l'acceptabilité sociale.

Coût associé au développement et au déploiement de solutions numériques et technologiques	L'analyse de la rentabilité des projets d'innovation est plus favorable dans les secteurs économiques où les salaires sont élevés, puisque les investissements entraînent une baisse notable de la masse salariale.
Dynamique de l'offre et de la demande en matière de main-d'œuvre	Ce facteur est relié de près à des considérations démographiques. Les entreprises situées dans les régions aux prises avec une pénurie de main-d'œuvre automatisent davantage pour compenser leurs difficultés de recrutement.
Acceptabilité sociale	Ce facteur est plus ou moins influent dans la décision d'automatiser les processus selon les régions administratives et les secteurs d'activité. Au Québec, dans le secteur minier, plusieurs projets font l'objet d'une entente sur les répercussions et les avantages avec des communautés aux prises avec d'importants problèmes d'accès à l'emploi chez les jeunes.

Figure 9 Facteurs influençant le rythme d'adoption des innovations

En résumé, lorsque le nombre de travailleurs qualifiés et disponibles est limité et quand le coût de la main-d'œuvre est supérieur à celui de l'automatisation, les entreprises sont enclines à implanter des solutions automatisées.

À l'heure actuelle, dans le contexte minier québécois, l'automatisation peut constituer localement une menace à l'emploi. Elle représente aussi une réponse à la pénurie de main-d'œuvre qualifiée, en particulier dans les régions minières nordiques, où le recours au navettage (FIFO) est fréquent. Dans ces conditions, le principal enjeu consiste à assurer la formation de travailleurs pour qu'ils soient en mesure d'accomplir de nouvelles tâches impliquant la maîtrise de nouvelles compétences.

Les tâches physiques exécutées dans des environnements prévisibles, telles l'opération de machinerie et la conduite d'équipement lourd sur les sites miniers, sont les plus sensibles à l'automatisation. L'effet de l'automatisation est moindre sur les tâches similaires réalisées dans un environnement imprévisible.

Les emplois touchés par l'automatisation ne disparaîtront pas entièrement. Les tâches manuelles dans des environnements prévisibles seront davantage exécutées par des robots. Par contre, les travailleurs réaliseront toujours les tâches relatives à ces emplois et qui sont actuellement impossibles à automatiser. En général, ces tâches sont associées à des exigences supérieures en ce qui concerne la formation préalable et les aptitudes professionnelles. En se basant sur ce qui précède, on peut donc présumer que les postes demandant uniquement un diplôme d'études secondaires ou professionnelles seront plus rares qu'actuellement, tandis que ceux nécessitant des diplômes d'études collégiales ou universitaires seront plus nombreux.

Cette nouvelle réalité impliquera aussi un recours accru aux compétences qui facilitent la mobilité occupationnelle des travailleurs. Ces compétences s'appliquent dans une grande variété d'occasions, aussi bien dans la vie personnelle que professionnelle. Elles sont personnelles (gestion du changement), interpersonnelles (communication, travail d'équipe), occupationnelles (polyvalence, ingéniosité) et cognitives (esprit d'analyse, discernement). Non spécifiques à une occupation particulière, elles permettent d'évoluer et de prospérer dans différents emplois et environnements de travail. Actuellement, cet ensemble de compétences n'est pas intégré aux programmes de formation minière professionnels, techniques ou universitaires. Les acquérir représente donc un défi additionnel pour les individus, et le système éducatif québécois pourrait envisager d'y consacrer de nouveaux investissements prioritaires.

1.3.3 ACCOMPAGNER ET SOUTENIR LA TRANSITION

Une approche structurée en fonction des caractéristiques décrites précédemment permettrait de mieux soutenir les travailleurs, de les aider à maintenir leurs compétences à jour et de développer leur mobilité. Répondre aux besoins de demain pour une main-d'œuvre minière qualifiée et productive dans un environnement 4.0 nécessite d'abord et avant tout un repositionnement de la formation professionnelle et l'amélioration des incitatifs à l'apprentissage tout au long de la vie (Organisation de coopération et de développement économiques [OCDE], 2016). Les employeurs ont un rôle primordial à jouer à cet égard en adoptant des pratiques de gestion motivantes dans une organisation flexible, qui encourage le développement et l'utilisation optimale des compétences des travailleurs.

En plus de l'automatisation des mines, le contexte de la révolution industrielle 4.0 aura une incidence structurante sur la formation des futures générations de travailleurs. Le système d'éducation devra outiller les élèves en leur faisant acquérir les compétences nécessaires pour évoluer dans un contexte de changement technologique continuel. Remodeler les structures de développement et de perfectionnement professionnels pourrait donc être nécessaire pour fournir aux individus l'opportunité d'améliorer leur employabilité tout au long de leur carrière.

À cet égard, l'enseignement des STIAM (sciences, technologies, ingénierie, arts, mathématiques) représente une avenue intéressante à considérer. En plus des sciences, l'enseignement des STIAM accorde une place importante aux arts libéraux (MGI, 2017b), ce qui semble particulièrement prometteur, car cela favorise la transversalité entre les disciplines scientifiques et artistiques, suscite la curiosité et la créativité des étudiants et développe leur ingéniosité dans la recherche de solutions innovantes (Groupe Média TFO, 2017).

1.3.4 L'AUTOMATISATION, UNE OPPORTUNITÉ À SAISIR

Devant les enjeux liés au vieillissement de la population active et en contexte de pénurie de main-d'œuvre, l'automatisation constitue à la fois un défi et une solution. Le défi consiste à prévoir les compétences requises dans les années à venir en se basant sur une analyse des tendances émergentes significatives. Anticiper le futur permet de mettre en place des stratégies pour saisir les opportunités et profiter pleinement des avantages prévus en planifiant dès maintenant la transition de la main-d'œuvre. Pour les gouvernements, les entreprises, les établissements d'enseignement et les individus, l'automatisation représente aussi une solution à la pénurie de main-d'œuvre. Cette solution s'appuie sur de nouvelles compétences et sur l'intensification de la formation, dans une perspective d'apprentissage tout au long de la vie (Cedefop, 2017).

1.4 QUELLES LEÇONS POUR LA FORMATION DE LA MAIN-D'ŒUVRE?

Les nouvelles technologies et de nombreuses innovations modifient et reconfigurent les tâches d'un grand nombre de postes dans l'industrie minière. La diffusion croissante de la technologie et de l'automatisation a des répercussions sur le nombre d'emplois, leur structure et leur localisation. Elle modifie la nature des métiers, les tâches, ainsi que les compétences nécessaires pour les réaliser. Dans certains cas, les technologies réduisent le recours à une intervention humaine. Dans d'autres, elles facilitent son exécution, permettent de dégager du temps pour l'accomplissement de tâches à plus grande valeur ajoutée et diversifient les tâches des travailleurs.

Au sein des organisations, les salariés disposent d'une forte autonomie dans leur travail, dans les méthodes et dans l'ordre des priorités. Ils y exercent des tâches complexes, non monotones et non répétitives. Ils appartiennent souvent à des équipes autonomes ou à des équipes de projets. Ce modèle accorde une grande importance aux dynamiques individuelles et collectives d'apprentissage en situation de travail, notamment dans les activités d'analyse et de résolution de problèmes liés à des dysfonctionnements de production.

Les récents travaux du Conseil d'orientation pour l'emploi (COE, 2017a et 2017b) démontrent que l'impact n'est pas uniforme sur l'ensemble des tâches réalisées par un travailleur. En effet, l'innovation n'a pas le même effet sur tous les postes reliés à un même métier ou à une même formation. L'impact n'est donc pas de même nature ni de même ampleur dans un secteur donné et dépend des technologies implantées. Bien que l'effet des technologies semble plus marqué pour les postes requérant un niveau de qualification minimal, nombre d'emplois qualifiés et spécialisés subissent aussi des changements importants en lien avec la transformation numérique. Les effets sont donc hétérogènes, et tous les niveaux de qualification subissent des conséquences.

De plus, des connaissances et savoir-faire nouveaux seront requis. Il importe dès maintenant d'anticiper ces nouvelles exigences pour s'assurer que la main-d'œuvre pourra maximiser le gain de productivité découlant de l'implantation des nouvelles technologies. Cette anticipation des compétences attendues permettra aussi d'améliorer la correspondance entre l'offre et la demande de compétences.

Une démarche d'anticipation ou de détermination prospective des besoins doit donc être élaborée. Le COE (2017a) soutient que les approches « traditionnelles » d'estimation des besoins basées sur les concepts de métiers et de qualifications sont insuffisantes pour une telle analyse prospective. Premièrement, l'approche fondée sur les métiers ne tient pas compte de la diversité des situations de travail ni des autres connaissances et savoir-faire mobilisés dans l'action. Elle s'appuie sur la base d'un profil de tâches stable dans le temps et elle ne permet pas d'anticiper l'évolution des compétences requises. Deuxièmement, l'approche par qualification, reposant sur la nature et le niveau des diplômes obtenus ainsi que sur la classification socioprofessionnelle, présente elle aussi des limites. D'une part, elle ne tient pas compte de ce que les individus savent faire et de ce qu'ils font réellement dans leur travail. D'autre part, elle sert dans bien des cas de repère social en accolant un jugement de valeur aux différents métiers. À la lumière de ces constatations, l'approche par compétences semble plus appropriée pour l'analyse du contenu réel du travail subissant les effets de la transformation numérique (COE, 2017a; Foundation for Young Australians [FYA], 2017).

1.5 PRINCIPAUX ENJEUX DE LA TRANSFORMATION NUMÉRIQUE

Le concept de transformation numérique découlant de la révolution 4.0, présenté dans l'analyse qui précède, permet à l'Institut de déterminer que l'augmentation de la maturité d'innovation des entreprises minières est le principal enjeu de ce secteur d'activité. Cette maturité d'innovation se subdivise en trois secteurs précis où il faudrait consentir des efforts supplémentaires : 1) l'élimination des barrières organisationnelles, 2) l'établissement d'une vision claire et à long terme, et 3) la création et la valorisation de partenariats collaboratifs.

En procédant à l'analyse comparative des entreprises minières des principaux pays miniers à l'échelle mondiale, Deloitte (2018) soutient que les entreprises font face à un grand nombre de barrières organisationnelles. Ces barrières sont associées à un niveau de cohésion stratégique, notamment en ce qui a trait à la convergence et à l'intégration des technologies de l'information (TI) et des technologies des opérations (TO), qui est insuffisant pour maximiser l'utilisation des nouvelles technologies.

Ensuite, une vision claire guidant le processus de transformation numérique sur une longue période fait présentement défaut dans les entreprises minières québécoises. C'est le cas, d'une part, parce qu'elles évitent systématiquement les nouveaux risques qui pourraient peser sur leurs opérations et, d'autre part, parce qu'elles favorisent les projets à rendement élevé rapide plutôt que la création de valeur à long terme.

Enfin, historiquement, les entreprises minières travaillent isolément les unes des autres, ce qui ralentit le développement et le partage des innovations les plus prometteuses (Deloitte, 2018). Qui plus est, cette tendance est maintes fois exacerbée par une quête de l'avantage concurrentiel lié à une nouvelle technologie au détriment du partage des expertises.

1.6 PISTES D'ACTION

La définition des enjeux associés à la transformation numérique des entreprises minières constitue la première étape d'une démarche d'innovation. Elle permet de contrer les difficultés anticipées et de construire une approche pragmatique et structurée.

L'Institut suggère trois pistes d'action aux entreprises minières qui souhaitent se lancer dans une démarche d'innovation.

• Innover de différentes façons et dans différents secteurs de l'entreprise

L'innovation au sein d'une entreprise minière devrait être présentée sous la forme d'un portfolio regroupant un certain nombre de projets de natures et d'envergures différentes. Pour faciliter la gestion des projets d'innovation, il est recommandé de commencer avec des projets de moindre envergure, mais dont le succès est garanti. Par la suite, le partage et la valorisation de ces succès créeront un engouement, entraîneront une confiance renouvelée et faciliteront l'adhésion de l'ensemble des travailleurs. Dans cette perspective, il faut explorer tous les secteurs où il est possible d'innover et recourir à l'expertise des équipes dans la gestion du changement et des risques.

• Établir une vision explicite de la transformation numérique de l'entreprise minière

Cette vision explicite de la transformation souhaitée englobe obligatoirement l'ensemble des projets d'innovation. En effet, le succès de la transformation numérique repose sur la capacité de l'entreprise minière d'éviter l'improvisation, qui mène trop souvent à la gadgétisation et qui laisse place à des succès mitigés. Il importe donc de développer une stratégie numérique globale.

Souvent, les initiatives misent sur des solutions techniques et ne sont pas incluses dans un processus global. Il est primordial d'entreprendre la transition vers le numérique en établissant une vision précise du parcours selon les objectifs établis. Pour ce faire, l'éclatement des barrières organisationnelles et la création de synergies constructives entre les départements et les sites miniers deviennent primordiaux.

L'établissement d'une telle vision implique aussi de développer la capacité d'innover au sein de l'entreprise et celle de faire preuve d'un leadership numérique assuré. Pour ce faire, il faut impliquer et surtout sécuriser les ressources et les compétences nécessaires. De cette façon, il sera possible de mobiliser l'ensemble de la main-d'œuvre pour l'atteinte d'objectifs communs et d'assurer l'adhésion à une nouvelle culture organisationnelle innovante.

• Explorer de nouveaux types de partenariats

Le Québec est un terreau fertile pour l'émergence d'innovations technologiques spécifiques au secteur minier. Cependant, certaines innovations peinent à se démarquer, faute d'un partage des expertises et de rivalités concurrentielles entre les différentes compagnies.

L'Institut est d'avis qu'il serait bénéfique pour toutes les entreprises minières, tous les équipementiers et tous les fournisseurs de services de mettre de côté les rivalités commerciales et d'explorer de nouveaux types de partenariats dans une perspective de partage des expertises.

De plus, les entreprises innovantes devraient faire connaître davantage leurs avancées. Une diffusion des nouveaux projets à plus grande échelle et ciblant des clientèles précises augmenterait le bassin de collaborateurs potentiels et favoriserait un développement accéléré des innovations dans le secteur minier québécois.

CHAPITRE 2

MODERNISER LA FORMATION POUR TRANSFORMER LES COMPÉTENCES

La vitesse d'implantation de nouvelles technologies dans le secteur minier rend difficile l'élaboration de profils de compétences en lien avec des postes en particulier. Comme la nature de la tâche change, les employés et les entreprises doivent s'y adapter. Le premier défi consiste à anticiper les compétences qui seront requises pour implanter les nombreux changements découlant de la révolution industrielle 4.0. De plus, ces compétences devront être actualisées au rythme même de l'implantation des nouvelles technologies numériques.

Selon le Minerals Council of Australia (MCA, 2017), le secteur minier australien dispose d'une main-d'œuvre relativement plus qualifiée que les autres secteurs industriels. Effectivement, 63 % des travailleurs miniers détiennent un certificat III[5] ou une certification supérieure, comparativement à 58 % pour les autres industries. Les entreprises minières australiennes investissent environ 5,5 % de leur masse salariale en activités de formation. De plus, un employé sur 20 (5 %) est un apprenti ou un stagiaire. En comparaison, les entreprises minières installées au Québec ont investi en moyenne 2,33 % de leur masse salariale en formation en 2016, une baisse de 1,3 % depuis 2013, d'après une étude de l'Institut (INMQ, 2017).

5. Voir annexe 2 : Diagramme du système d'éducation australien.

Le MCA soutient également que le modèle traditionnel de l'industrie minière reposant sur une main-d'œuvre majoritairement masculine, syndiquée, orientée sur la production et n'utilisant qu'un ensemble restreint de compétences est de moins en moins approprié. Dans le contexte d'une automatisation accrue de l'industrie minière australienne, une main-d'œuvre flexible et maîtrisant de multiples compétences devient l'un des facteurs importants qui contribueront à des résultats économiques supérieurs. Dans le contexte actuel de la révolution industrielle 4.0, qui s'appuie sur la transformation numérique, il est primordial non seulement d'améliorer le niveau global de qualification du personnel, mais aussi d'agir sur les compétences relatives au maintien de l'employabilité. Ces compétences laissent une place fondamentale aux compétences génériques, aux attitudes personnelles et à l'éthique de travail, qui prennent une valeur de plus en plus stratégique pour les employeurs. Elles sont déjà reconnues comme étant les plus recherchées actuellement (Snell, Gekara et Gatt, 2016).

Au cours des prochaines années, la demande en nouvelles compétences évoluera au rythme accéléré des changements technologiques, augmentant également le risque d'obsolescence. Par obsolescence des compétences, on entend l'insuffisance ou l'inadaptation des connaissances et des savoir-faire nécessaires à la réalisation des tâches reliées à un poste par manque d'actualisation (COE, 2017a). Ce constat met en avant-plan la priorité de développer une compétence cruciale et fondamentale pour tous : la capacité de s'adapter en apprenant tout au long de la vie.

Le système d'éducation a un rôle central à jouer pour soutenir les gens dans cette démarche, afin de permettre aux individus de s'adapter en permanence. Pour ce faire, le système d'éducation ne doit pas seulement suivre les tendances, mais piloter le changement (Bidet-Mayer et Toubal, 2016). Dorénavant, l'enseignement professionnel offert dans le réseau public québécois devra investir davantage dans le savoir-faire, le savoir-être et surtout le savoir-apprendre.

En résumé, une démarche d'anticipation des besoins en compétences exige d'impliquer et de mobiliser les principaux acteurs concernés. Elle repose sur une vision prospective claire et partagée des emplois et des compétences qui y sont associées. Pour que le Québec devienne et demeure un leader en matière d'innovations technologiques, la formation initiale et la formation continue constituent des leviers stratégiques majeurs.

2.1 HYBRIDATION DES MÉTIERS

Dans le secteur minier, l'hybridation des métiers implique que les opérateurs soient capables d'alterner des phases de travail manuel et des phases de travail plus réflexif. Ils devront posséder des compétences transversales qui leur permettront de bien concevoir les processus et d'évaluer l'impact de leurs tâches sur la chaîne de valeur. Leurs nouvelles tâches découlant d'une automatisation accrue nécessiteront aussi que les opérateurs améliorent leurs compétences en matière de gestion de données, et qu'ils développent des compétences cognitives d'abstraction, de représentation et d'anticipation (Bidet-Mayer et Toubal, 2016). L'accélération de ces transformations en milieu de travail exige qu'ait lieu dès maintenant une réflexion portant sur les dispositions à mettre en place pour assurer la transition de la main-d'œuvre active. Le Forum économique mondial (FEM, 2018b) estime que pour accompagner et soutenir cette transition, l'accès à des mesures de requalification (*reskilling*), de surqualification (*upskilling*) et de reformation (*re-training*) de qualité est déterminant. La volonté des individus de s'engager dans une démarche d'apprentissage tout au long de la vie, volonté soutenue par les structures facilitantes, sera également nécessaire.

Ce sont tous les ordres d'enseignement du système d'éducation qui seront touchés par l'hybridation des métiers. Une réforme en profondeur semble nécessaire pour s'adapter et permettre aux prochaines générations de travailleurs de trouver leur place sur le marché du travail. Cette réforme impliquera de rafraîchir les programmes pour y inclure des compétences du 21e siècle, à la fois numériques et humaines, comme la communication, la résolution de problèmes, la créativité, la collaboration et la pensée critique. La réforme impliquera également de repenser les méthodes d'enseignement en lien avec la transformation numérique, de reconnaître et d'accréditer les compétences acquises à l'extérieur du réseau scolaire et de développer un système plus inclusif qui valorisera l'apprentissage tout au long de la vie (FEM, 2018b).

Dans ce contexte, la transférabilité des apprentissages et des compétences prend un sens particulièrement important. Les recherches effectuées par le National Centre for Vocational Education Research (NCVER) (Snell, Gekara et Gatt, 2016) démontrent que les compétences relatives à l'employabilité ont une valeur plus grande que les compétences techniques requises pour exécuter certaines tâches, en raison de leur transférabilité entre les secteurs et dans une grande variété d'occupations. Dans cette perspective, les formations et les parcours d'apprentissage gagnent à être regroupés selon les connaissances, les compétences et les pratiques communes, plutôt que compartimentées en fonction de tâches spécifiques aux contextes de travail. Cette vision favorise la promotion d'une main-d'œuvre adaptative et apte à relever les défis de la transformation numérique.

2.1.1 LE NOUVEAU MONDE DU TRAVAIL

Le développement des nouvelles technologies et leur adoption de plus en plus rapide transforment les milieux de travail et augmentent la demande pour de nouvelles compétences. Les compétences numériques ne sont plus uniquement nécessaires aux travailleurs des domaines des TIC (technologies de l'information et de la communication) et des STIAM (sciences, technologies, ingénierie, arts et mathématiques). Elles sont désormais essentielles également à tous les travailleurs pour assurer l'utilisation et l'entretien des nouvelles technologies (Organisation internationale du travail [OIT], 2015). Ce constat est d'ailleurs confirmé par les analyses de besoins de main-d'œuvre et d'anticipation des pénuries effectuées entre 2012 et 2015 par la FYA. Cette organisation a documenté une demande grandissante pour certains types de compétences, en particulier les compétences numériques et la pensée critique.

La majorité des jeunes Australiens entrent sur le marché du travail dans des emplois qui seront radicalement touchés par l'automatisation. Dans ce pays, en 2017, plus de la moitié des étudiants se destinaient à des occupations qui risquent de disparaître en raison de l'automatisation. Trois grandes forces façonnent actuellement le futur de l'emploi pour ces jeunes : l'automatisation, la mondialisation et la collaboration. À chacune de ces forces sont associées les préoccupations suivantes :

• Quels emplois occuperons-nous?

- Automatisation : Des machines de plus en plus intelligentes accomplissent un nombre grandissant de tâches humaines.

• Où travaillerons-nous?

- Mondialisation : La mobilité de la main-d'œuvre devient mondiale, et la main-d'œuvre mondiale vient à nous (mobilité physique et mobilité virtuelle).

• Comment travaillerons-nous?

- Collaboration : Plusieurs emplois, plusieurs employeurs, souvent simultanément.

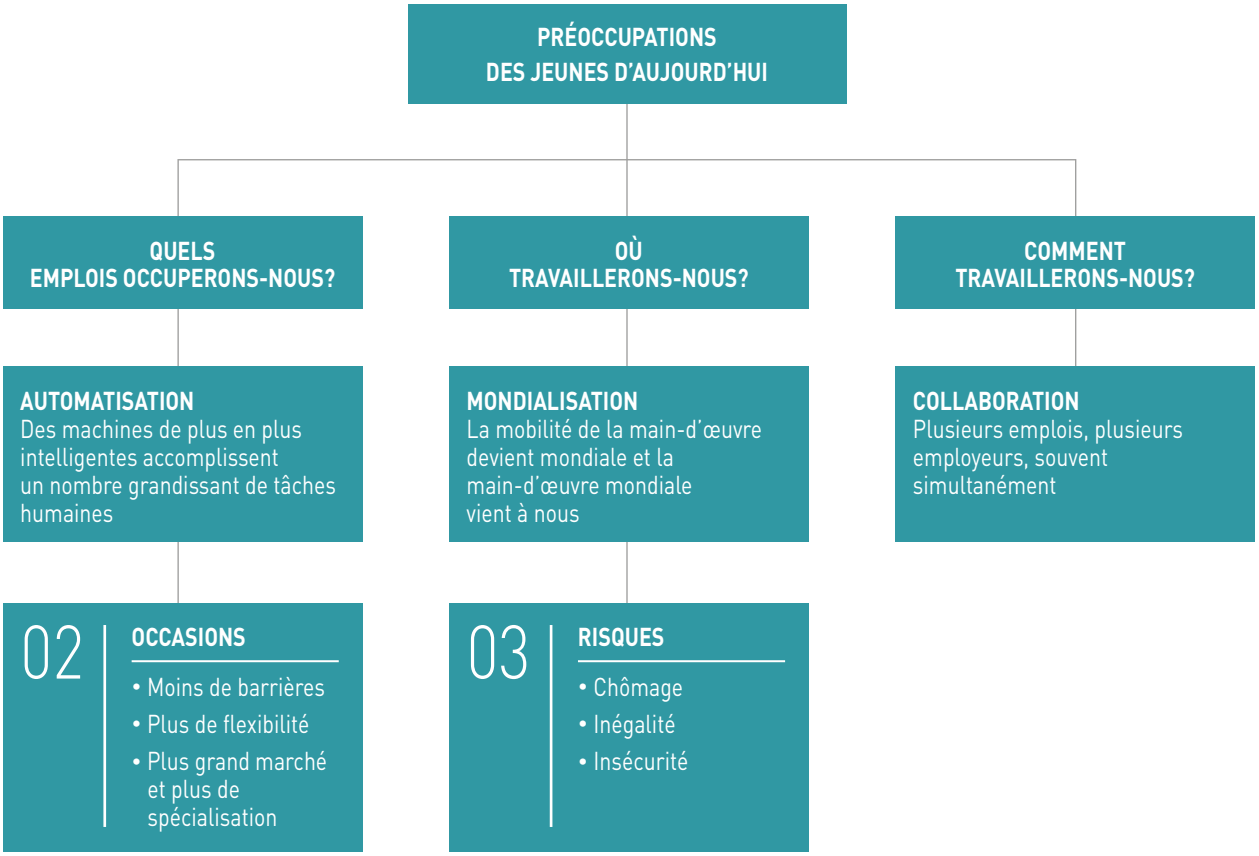


Figure 10 Forces façonnant les emplois du futur et préoccupations des jeunes Australiens (Adapté de : FYA, 2017a)

Les effets anticipés de ces forces sur les emplois du futur présentent des risques associés à la sécurité d'emploi et aux conditions salariales. Actuellement, en Australie, 25 % des hommes en âge de travailler et peu scolarisés sont sans emploi ou à la recherche d'un emploi. Ce nombre risque fortement d'augmenter puisque les emplois d'entrée disponibles pour les jeunes sont les plus susceptibles de disparaître dans les 10 prochaines années. Un autre risque grandissant est l'inégalité des conditions salariales et des revenus, qui s'explique par l'augmentation du niveau de scolarité moyen depuis quelques années. La proportion de diplômés de niveau collégial est passée de 21 % à 24 % et celle des finissants universitaires de 15 % à 16 % entre 2004 et 2014. Globalement, 41 % des jeunes Australiens obtiennent un diplôme collégial ou universitaire, comparativement à 34 % pour les jeunes des autres pays de l'OCDE (FYA, 2017a).

Au Québec, la situation est légèrement différente en ce qui concerne le taux de diplomation collégiale, qui a diminué entre 2004 et 2014, passant de 24,5 % à 22,4 %. Cependant, au courant de la même période, le taux de diplomation universitaire a augmenté, se situant à 31 % en 2014 comparativement à 28,2 % en 2004 (Banque de données des statistiques officielles sur le Québec). Environ 53 % des jeunes Québécois obtiennent un diplôme de programmes collégiaux et universitaires, ce qui est supérieur à ce qui s'observe en Australie et à la moyenne des pays de l'OCDE.

Ces données signifient que les employeurs ont accès à une main-d'œuvre plus scolarisée, mais aussi que les individus moins scolarisés éprouveront plus de difficulté à se trouver un emploi dans un marché plus compétitif (OIT, 2015). Le salaire des travailleurs plus qualifiés augmentera, alors que les moins qualifiés devront compétitionner contre une automatisation de moins en moins coûteuse et contre des travailleurs étrangers disponibles grâce à la mondialisation des marchés.

2.2 LES COMPÉTENCES DU 21E SIÈCLE

Les compétences du 21e siècle sont celles qui permettront aux travailleurs de développer, de maintenir et d'améliorer leur employabilité. De nombreux articles, études et référentiels portant sur les compétences du futur ont été répertoriés par l'Institut (ACT Foundation et Joyce Foundation, 2016; Addeco Group, 2017; Cedefop, 2015a, 2015b, 2016 et 2017; CEFRIO, 2016; COE, 2017a; Commission européenne, 2013; Institute for the Future [IFTF], 2017; Infosys, 2016; OIT, 2015; Josselin et Chochard, 2017; OCDE, 2005 et 2016). Bien qu'ils n'utilisent pas un langage commun, tous encouragent à continuellement réévaluer, améliorer et augmenter les compétences nécessaires à l'adaptation au changement perpétuel découlant de la transformation numérique. Dans cette perspective, l'apprentissage n'est plus seulement un moyen d'accéder à un emploi, mais aussi une démarche continue à accomplir tout au long de la vie (IFTF, 2017).

2.2.1 LES COMPÉTENCES D'UNE ÉCONOMIE NUMÉRIQUE

La transformation numérique de l'économie et les progrès de l'automatisation modifient en profondeur la nature, les tâches et la structure de l'emploi. Selon le COE (2017a), la moitié des emplois existants sont susceptibles d'évoluer d'une façon allant de significative à très importante. Cette transformation doit s'accompagner d'actions concrètes pour permettre, d'une part, aux travailleurs de maintenir leur employabilité et de progresser, et, d'autre part, aux entreprises de disposer des compétences dont elles ont besoin. L'enjeu majeur est d'assurer l'adéquation entre les compétences de la main-d'œuvre et les besoins d'une économie en évolution. Cette adéquation est nécessaire pour permettre à chacun d'occuper un emploi valorisant et de tirer le maximum de retombées positives de la transformation en cours.

Trois groupes de compétences devraient être fortement mobilisés dans la nouvelle économie numérique en émergence :

- **Les compétences expertes dans les nouvelles technologies**, autant dans le secteur des technologies elles-mêmes que dans tous les secteurs économiques utilisateurs de ces technologies.
- **Les nouvelles compétences professionnelles techniques** en lien avec l'hybridation et la transformation des emplois :
    - Les compétences relatives à l'utilisation de nouvelles technologies;
    - Les compétences non liées à l'utilisation des technologies en milieu de travail, mais liées aux transformations numériques dans la société.
- **Les compétences transversales**, qui rejoignent l'ensemble des travailleurs et qui regroupent des compétences numériques génériques, des compétences cognitives (littératie, numératie) et des compétences sociales et situationnelles :
    - Les compétences numériques nécessaires pour maîtriser les outils ainsi que pour en comprendre les usages.

Les compétences transversales, par leur caractère universel, sont particulièrement importantes pour assurer la capacité d'adaptation des individus. Ces compétences constituent la base pour le développement des compétences disciplinaires. Elles ont trait à des aspects parmi les plus génériques de la pensée ainsi qu'à des habiletés d'ordre personnel et social. Elles favorisent chez l'apprenant la réflexion sur ses propres processus d'apprentissage et le guideront dans l'actualisation de son potentiel, dans une perspective d'apprentissage tout au long de la vie.

Récemment, l'Institut s'est intéressé attentivement à la capacité d'adaptation des individus, ce qui a orienté sa recherche et sa réflexion vers le concept de compétences relatives à l'employabilité, mis en œuvre dans le système de formation professionnelle australien.

2.2.2 LES COMPÉTENCES RELATIVES À L'EMPLOYABILITÉ

Les programmes de formation professionnelle australiens mentionnent déjà tous des compétences relatives à l'employabilité. Ces compétences ont été définies par des ressources expertes et des représentants de l'industrie au terme d'une consultation exhaustive. Huit compétences relatives à l'employabilité ont été sélectionnées et introduites dans chacun des programmes de formation professionnelle, tous secteurs confondus. Chacune d'elles est traduite explicitement en exigences, qui varient en fonction des contextes situationnels (environnements de travail) particuliers à chaque occupation.

Tableau 5 Liste des compétences relatives à l'employabilité figurant dans les programmes de formation professionnelle australiens

Compétences relatives à l'employabilité	
Communication	Planification et organisation
Travail d'équipe	Autorégulation
Résolution de problèmes	Apprentissage continu
Initiative et débrouillardise	Utilisation des technologies

Chacune de ces compétences est transposée en énoncés permettant d'évaluer la performance de l'élève, et ce, en fonction du secteur d'activité et du niveau de la formation.

Tableau 6 Exemple d'énoncés de performance associés à la compétence Communication du Certificat II[6] en extraction du charbon sous terre

Compétence	Énoncés de performance
Communication	Parle clairement et directement.
	Écoute attentivement les instructions et les informations.
	Lit et interprète les instructions de travail et les panneaux de signalisation.
	Remplit des rapports de maintenance et d'incidents.
	Ajuste son style de communication selon les individus et les contextes.

La place et l'importance accordées aux compétences relatives à l'employabilité en Australie vont au-delà de ce que l'on trouve dans les intentions éducatives inscrites dans les programmes de formation professionnelle québécois. Au Québec, ces intentions sont restreintes à des visées pédagogiques orientant la formation des élèves en matière de développement personnel et professionnel global. Elles permettent l'orientation de l'action pédagogique et guident les établissements dans la mise en œuvre des programmes, sans toutefois se traduire en comportements, en actions ni en résultats observables et mesurables.

Le système de formation professionnelle australien essuie néanmoins des critiques similaires à celles qui concernent le système québécois. Au terme d'une étude menée par le NCVER (2016), il ressort que les compétences relatives à l'employabilité intégrées aux programmes sont trop fortement reliées à l'occupation, ce qui limite leur transférabilité.

Le NCVER propose une révision approfondie des programmes de formation professionnelle australiens afin de mieux intégrer les compétences transférables relatives à l'employabilité. Il maintient également qu'une définition commune et partagée de ces compétences par le système d'éducation, l'industrie et les individus assurerait une plus grande cohérence et une meilleure adéquation entre la formation et l'emploi.

6. Voir annexe 2 : Diagramme du système d'éducation australien.
Traduction libre. Document disponible au https://training.gov.au/TrainingComponentFiles/RII09/RII20309_R2.pdf.

2.2.3 UN CADRE DE RÉFÉRENCE DES COMPÉTENCES RELATIVES À L'EMPLOYABILITÉ POUR LA MAIN-D'ŒUVRE MINIÈRE DU QUÉBEC

S'appuyant sur une rigoureuse revue de la littérature à propos des compétences relatives à l'employabilité dans le contexte actuel mondial de transformation numérique, l'Institut a produit un cadre de référence qui propose 16 compétences sélectionnées, regroupées en quatre domaines complémentaires.

Tableau 7 Cadre de référence des compétences relatives à l'employabilité de la main-d'œuvre minière du 21e siècle

Domaines de compétences	Compétences
Compétences personnelles : Capacité d'un individu de gérer efficacement ses propres actions et comportements. Ces compétences peuvent soutenir l'expression d'autres compétences.	Résilience
	Autorégulation
	Orientation sur les résultats
	Apprentissage continu
Compétences interpersonnelles : Capacité de reconnaître les besoins d'autrui et d'accomplir des actions pour les satisfaire, ainsi que d'adopter des attitudes adaptées aux contextes et aux situations.	Communication efficace
	Travail d'équipe
	Intelligence sociale
	Leadership
Compétences occupationnelles : Capacité de se comporter de manière réfléchie, appropriée et responsable dans un contexte professionnel.	Autonomie professionnelle
	Interdisciplinarité
	Initiative et proactivité
	Littératie numérique
Compétences cognitives : Capacité d'analyser, de comprendre, de planifier, de formuler des explications, des hypothèses et des concepts.	Pensée analytique
	Raisonnement conceptuel
	Esprit de synthèse
	Pensée innovante et adaptative

Les compétences retenues pour constituer ce cadre de référence ne sont pas assujetties à un secteur d'activité en particulier. Elles sont transversales, transposables et suffisamment génériques pour être considérées comme nécessaires, voire essentielles pour tout individu désirant se construire une carrière et prospérer dans un monde du travail qui évolue rapidement et continuellement.

Ce cadre de référence des compétences relatives à l'employabilité constitue la première étape d'une démarche s'inscrivant dans la planification stratégique 2018-2023 de l'Institut national des mines. L'Institut publiera régulièrement des études prévisionnelles et prospectives pour l'élaboration et la mise à jour d'un référentiel des compétences recherchées par les entreprises minières et au bénéfice des établissements d'enseignement qui forment le personnel minier.

2.3 VERS UNE ADÉQUATION FORMATION-**COMPÉTENCES**-EMPLOI

La rapidité des changements en cours remet en question les méthodes traditionnelles d'estimation des besoins de main-d'œuvre, qui peinent à tenir compte de l'impact de la révolution industrielle 4.0 sur la transformation des tâches associées aux emplois. Les tâches qui apparaissent à la faveur d'une innovation technologique nécessitent la maîtrise de nouvelles compétences, ce qui enclenche le processus complexe et dynamique de l'adéquation des compétences et des emplois.

Les emplois changent également, et de plus en plus rapidement. Par conséquent, les individus doivent constamment mettre à jour leurs compétences par l'éducation, par la formation et par une combinaison d'expériences professionnelles et personnelles (Cedefop, 2016). Ce processus continu requiert une réorganisation du travail pour éviter ou amoindrir les décalages de compétences. On en distingue deux types : le décalage à court terme et le décalage à long terme (Sattinger, 2012, cité dans Cedefop, 2016).

2.3.1 DÉCALAGE DE COMPÉTENCES À COURT TERME

Le décalage à court terme est temporaire. Il résulte d'une inadéquation entre les qualifications des travailleurs et les emplois disponibles. Dans ce cas, les travailleurs ne trouvent pas d'emploi correspondant à leurs compétences, et les entreprises ne trouvent pas de candidats adéquats pour les postes à pourvoir. Il s'agit d'un écart de base qui s'exprime par la différence entre ce qui est recherché par l'employeur et ce qui est offert par les travailleurs.

Dans un contexte de pénurie de main-d'œuvre, une pénurie de compétences mène à un décalage de compétences à court terme lorsque les employeurs sont contraints d'engager des travailleurs sous-qualifiés ou surqualifiés pour combler les emplois disponibles. Pour les entreprises, la sous-qualification peut mener à une moins grande productivité, alors que pour les individus, elle diminue les perspectives de développement de carrière, augmente le risque d'obsolescence des compétences et accentue le risque de perte d'emploi. La surqualification est quant à elle associée à des niveaux d'engagement et de motivation inférieurs des travailleurs, qui seront, du fait, moins productifs et dont la rétention dans l'entreprise sera moins grande (Cedefop, 2018). Cette problématique peut être résolue par un effort de restructuration et de réorganisation des milieux de travail, ainsi que par la promotion de la mobilité des travailleurs.

Au Québec, le secteur minier est en mesure d'atténuer ce type de décalage par des travaux d'estimation des besoins de main-d'œuvre qui proposent, depuis déjà 2015, différents scénarios établis selon les fluctuations probables du marché des métaux. Ces estimations reposent sur des données quantitatives et présentent des prévisions du nombre de travailleurs pour des corps de métiers spécifiques dont l'industrie aura besoin. Cependant, ces estimations projettent des tendances sur la base des analyses des données antérieures et actuelles. Elles se limitent donc aux emplois actuels sans s'interroger sur l'évolution des tâches y étant rattachées (Cedefop, 2017).

2.3.2 DÉCALAGE DE COMPÉTENCES À LONG TERME

Un décalage de compétences à long terme peut entraîner trois types d'écarts. Le premier type est l'écart d'anticipation, c'est-à-dire la différence entre les ensembles de compétences actuels de la main-d'œuvre et les compétences nécessaires pour que celle-ci devienne et demeure compétitive dans un contexte de transformation numérique. Le second type est l'écart d'innovation, qui se manifeste lorsque les compétences requises dans la démarche d'innovation durable ne sont pas disponibles. Enfin, le troisième type de décalage à long terme se caractérise par une obsolescence des compétences de la main-d'œuvre, lorsque les compétences préalablement utilisées dans un travail ne sont plus adaptées aux tâches à réaliser (Cedefop, 2015).

Contrairement au décalage à court terme, le décalage à long terme est structural. Il résulte de changements dans les qualifications et les exigences en matière de compétences pour des postes spécifiques, changements qui ne sont pas suffisamment pris en considération dans les programmes d'éducation et de formation des travailleurs. Dans un tel contexte, les entreprises font face à une pénurie de main-d'œuvre compétente et qualifiée, ce qui nuit à leur productivité. De plus, celles qui embauchent des travailleurs dont les compétences ne correspondent pas aux tâches à effectuer doivent investir davantage pour la formation des recrues. Par conséquent, les jeunes diplômés ne disposent pas des compétences recherchées par les entreprises, ce qui augmente le taux de non-emploi ou d'emplois précaires pour ces jeunes. Afin d'éviter cette situation, il est nécessaire d'anticiper les décalages à long terme et d'adapter proactivement les politiques éducatives afin de répondre rapidement et adéquatement à ces changements. Parmi les actions à mettre en place, l'Organisation internationale du travail (OIT, 2015) recommande d'améliorer l'adéquation des politiques et des règlements en matière d'éducation et de formation, d'augmenter la part de l'apprentissage en milieu de travail et tout au long de la vie et d'assurer la correspondance entre les compétences et le maintien de l'employabilité par une structure de requalification performante.

Par conséquent, les entreprises, les établissements d'enseignement et les individus qui ont à prendre des décisions concernant la main-d'œuvre du futur doivent évaluer attentivement et dès maintenant les tendances émergentes. En effet, prévoir les compétences qui seront requises dans les années à venir est essentiel pour disposer de suffisamment de temps pour entreprendre les actions appropriées et réfléchies décrites précédemment, qui permettront de relever le défi de la formation de la main-d'œuvre du futur.

La prévision des besoins de compétences constitue une mesure clé pour éviter le décalage des compétences, et elle est le premier pilier d'un système de formation et de développement de compétences efficace (OIT, 2015). Étant donné que le processus de révision des programmes d'études professionnelles s'étale sur quelques années, il semble primordial d'informer rapidement les décideurs par une anticipation systématique des compétences requises bien avant qu'elles deviennent désuètes. Cette prévision doit être orientée vers l'action et soutenir la prise de décision. L'Institut joue déjà un rôle à cet égard.

2.3.3 UN NOUVEAU CONCEPT D'EMPLOIS, DE CARRIÈRES ET DE COMPÉTENCES

L'avenir laisse présager un nouveau concept d'emplois, de carrières et de compétences, un monde du travail dynamique où les carrières ne seront plus linéaires. Les jeunes construiront leur propre portfolio de compétences et d'expériences pour naviguer dans un monde du travail plus complexe qu'actuellement. Plutôt que de choisir une formation qui mène à un seul emploi, ils s'élaboreront des parcours personnalisés ouvrant la porte à une gamme d'emplois similaires, qui requièrent des compétences semblables, la réalisation de tâches quotidiennes analogues dans les mêmes types d'environnements.

Dans cette optique, la proposition mise de l'avant, qui consiste à élaborer un système de formation construit sous forme de modules complémentaires et empilables, permet l'acquisition et la reconnaissance de compétences génériques, transférables et susceptibles de demeurer d'actualité. Cette proposition encourage également une démarche d'orientation et de personnalisation d'un parcours de formation adapté aux aspirations, aux forces et aux besoins des individus et des entreprises.

Pour inscrire cette proposition dans l'action, de nouvelles formes d'apprentissage sont nécessaires, tant dans le cadre de la formation initiale que continue. Parmi celles-ci se trouve l'hybridation des formations, avec l'arrivée de cursus croisés atypiques, qui combinent des apprentissages auparavant associés à des métiers ou à des professions différents (Bidet-Mayer et Toubal, 2016). Cette hybridation découle de la recherche par les entreprises de candidats maîtrisant de multiples compétences, relatives à plusieurs métiers « traditionnels ». Cette nouvelle réalité renforce la volonté de créer des synergies intersectorielles et l'obligation de travailler en partenariat avec des acteurs de tous les secteurs. Elle permet aussi de multiplier et d'améliorer les échanges entre les trois ordres d'enseignement. En effet, de tels échanges faciliteraient la reconnaissance des compétences communes à différents métiers, l'harmonisation des programmes de formation pour tenir compte de ces similitudes et la personnalisation des parcours de formation dans une perspective de réussite éducative pour tous et d'apprentissage tout au long de la vie.

Plusieurs organisations ont amorcé une réflexion à propos des actions à mettre de l'avant afin de former une main-d'œuvre qualifiée et résiliente (Conseil consultatif en matière de croissance économique [CCMCE], 2017; FYA, 2017a et 2017b; FEM, 2018a et 2018b). Ces organisations sont toutes animées par la volonté de s'assurer que les jeunes auront les compétences et l'expérience pour occuper les emplois du futur et non les emplois du passé. On trouve également à la base de cette réflexion la volonté d'enclencher un changement des mentalités, pour faire évoluer celles-ci d'une orientation centrée sur un emploi à une orientation axée sur les compétences. Par leurs recommandations, ces organisations tentent d'instaurer un changement de priorité au sein des entreprises et des établissements d'enseignement, en faisant se déplacer cette priorité des emplois aux compétences afin de préparer les jeunes à l'avenir du monde du travail (CCMCE, 2017).

En Australie, de plus en plus d'employeurs demandent des compétences génériques liées à l'employabilité. Cela a été démontré par l'analyse de 4,2 millions d'offres d'emplois entre 2012 et 2015. En trois ans, la demande en compétences numériques dans ce pays a augmenté de 212 %, la demande en capacité d'exercer une pensée critique, de 158 % et la demande en créativité, de 65 %.

La FYA a répertorié en Australie plus de 1 000 différentes occupations. En poussant plus loin son analyse des offres d'emplois, elle a constaté que plusieurs emplois impliquent des compétences similaires. La FYA estime également que lorsqu'une personne termine une formation pour un emploi, elle acquière simultanément des compétences pour 13 autres emplois (2017b). Par l'application de différents algorithmes pour traiter les données en lien avec les compétences associées aux différents postes, les 1 000 occupations mentionnées précédemment ont pu être regroupées en sept groupes distincts de compétences, présentés au tableau 8.

Tableau 8 Groupes de compétences proposés par la Foundation for Young Australians (adapté de FYA, 2017b)

Les générateurs	Haut niveau d'interaction interpersonnelle dans la vente au détail, le divertissement et l'hôtellerie
Les artisans	Compétences manuelles liées à construction, à la production et à la maintenance
Les aidants	Intérêt pour la santé mentale, la santé physique ou le bien-être des autres
Les coordonnateurs	Tâches et services administratifs ou en lien avec des processus répétitifs
Les designers	Compétences et connaissances en sciences, en mathématiques, en ingénierie et en design
Les informateurs	Compétences en communication, en pédagogie et en entrepreneuriat
Les technologistes	Compétences dans l'utilisation et la conception d'environnements numériques

Parmi les pays ayant déjà entamé une réforme de leur système de formation, l'Institut a retenu le cas de l'Australie, où l'État de Nouvelle-Galles-du-Sud s'investit dans un système de formation professionnelle dans lequel les compétences des travailleurs sont évaluées et construites simultanément à de nouveaux modules de formation. Ces modules « empilables » sous forme de petits cours couvrent différentes compétences, techniques ou non, comme la communication numérique et la robotique. Ils ont été conçus pour permettre aux travailleurs en exercice d'acquérir les nouvelles compétences requises pour maintenir leur employabilité. Ces compétences sont reconnues et inscrites aux dossiers personnels des travailleurs. Elles témoignent de la capacité de chaque individu d'utiliser ces compétences en contexte de travail (CCMCE, 2017).

La catégorisation complexe de plusieurs emplois différents selon des groupes de compétences communes, telle que proposée par la FYA, met la table pour une réflexion approfondie à propos de la structure que pourrait prendre le système d'éducation australien. Une piste proposée est de développer un tronc commun de formation spécifique à chaque groupe de compétences pour l'acquisition et le développement des compétences communes et transposables entre certains groupes.

2.3.4 NOUVELLES SOURCES DE RENSEIGNEMENTS SUR LES COMPÉTENCES

Au Québec, créer de nouvelles sources de renseignements à propos des compétences qui favorisent l'employabilité permettrait de soutenir les jeunes dans leur démarche d'orientation, d'acquisition, de développement et de perfectionnement de compétences. C'est par la compréhension des compétences et des capacités qui seront recherchées et transférables que les jeunes pourront s'outiller efficacement pour suivre l'évolution du monde du travail (CCMCE, 2017). La transition vers une mentalité axée sur les compétences aiderait les jeunes dans leur démarche d'apprentissage tout au long de la vie et faciliterait éventuellement leur cheminement tout au cours de leur carrière. Cette compréhension de l'importance du maintien de l'employabilité par la mise à jour des compétences constituerait un point de départ prometteur afin de mieux arrimer formation, compétences et emplois.

2.4 RÉVISION DES PROGRAMMES DE FORMATION

Selon le COE (2017a), la réponse la plus appropriée à la révolution industrielle 4.0 doit prendre en compte le fait que les compétences professionnelles sont maintenant vouées à une redéfinition récurrente, quasi permanente. Cette redéfinition ne peut être faite sans considérer l'enjeu de l'adaptation des qualifications. Ainsi, le renouvellement des contenus et les modalités de révision des programmes deviennent des enjeux majeurs. La place de la formation initiale et son arrimage à la formation continue méritent aussi d'être repensés. En d'autres termes, l'enjeu consiste à définir quelles compétences transmettre à quels moments du parcours pour permettre aux individus d'évoluer tout au long de leur vie professionnelle. Cette réflexion évitera des situations d'insuffisance ou d'inadéquation des compétences, à la fois pour les individus et les entreprises.

2.4.1 ENJEUX ASSOCIÉS À LA RÉVISION DES PROGRAMMES DE FORMATION

Actuellement, le système d'éducation québécois n'est pas en mesure de répondre rapidement à l'évolution des besoins en compétences, qu'ils soient constatés ou anticipés. Les processus et les moyens mis en place sont inadaptés et insuffisants pour permettre une révision adéquate, simultanée et rapide de tous les programmes le requérant. Il en résulte que le retard s'allonge dans l'identification et l'intégration des compétences requises pour la transformation numérique. La lourdeur du système représente un frein considérable à l'actualisation rapide des contenus des programmes, actualisation qui est pourtant indispensable dans un contexte marqué par la vitesse du déplacement des frontières technologiques et de la pénétration des nouvelles technologies. La régulation de l'offre de formation devrait également assurer que les formations les plus utiles et recherchées sont actualisées prioritairement et que celles qui sont désuètes ou devenues peu pertinentes sont transformées ou disparaissent.

Une révision des programmes de formation misant sur l'adéquation des compétences en lien avec la transformation numérique ne peut obtenir de succès sans la prise en compte des enjeux suivants (COE, 2017a).

• L'enjeu du temps et de la rapidité

Le processus de définition des besoins de compétences doit s'accélérer, de même que celui de l'adaptation des programmes de formation et de certification des compétences de la main-d'œuvre. Il s'agit en somme de trouver la meilleure conciliation possible entre le court temps requis pour le développement et l'implantation de nouvelles technologies et le temps beaucoup plus long nécessaire pour l'acquisition et la certification des compétences en constante mouvance.

• L'enjeu de la qualité et de l'évaluation

L'augmentation de la rapidité de révision des programmes et des formations doit s'accompagner d'une grande vigilance quant à leur qualité et à leur pertinence. Des méthodes efficaces d'évaluation de la valeur ajoutée des modifications apportées doivent être mises en place.

• L'enjeu de la nature des compétences

Bien que les compétences des domaines personnel, interpersonnel et cognitif seront requises pour tous, elles constituent, par leur nature, un enjeu important relativement à leur mode d'acquisition pédagogique, à leur évaluation et à leur certification. Les compétences techniques émergentes associées à l'hybridation des métiers représentent aussi un enjeu de taille.

• L'enjeu de l'ampleur des besoins

Le nombre important de nouvelles compétences à acquérir, de programmes à revoir et d'employés à former constitue un enjeu majeur en matière de disponibilité, de financement et d'accès à ces programmes.

• L'enjeu du partage des responsabilités

La transformation numérique mise sur l'adaptabilité et la capacité d'apprendre des individus pour le maintien de leur employabilité. Cependant, cette responsabilité est partagée avec les entreprises et avec le système d'éducation, qui ont un rôle important à jouer pour contrer un possible déficit de compétences.

L'Institut est d'avis que l'analyse des professions est une étape critique du processus de révision des programmes, étape qui mérite d'être adaptée aux nouvelles réalités découlant de la révolution numérique. L'implication de partenaires sectoriels dans cette démarche est indispensable pour tenir compte des tendances émergentes. Les organisations dont le mandat est d'assurer la veille des nouvelles innovations qui auront des répercussions sur la nature des tâches et des environnements de travail doivent être consultées. Ces organisations peuvent mesurer l'ampleur des changements anticipés et orienter l'analyse de profession vers une vision prospective. Le défi est d'informer le

ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur à propos des compétences qui seront requises en raison des conditions de travail changeantes en lien avec les lieux de travail, la santé et la sécurité, les responsabilités, les contraintes de temps ou de qualité, etc.

Ces organisations sectorielles sont les mieux placées pour guider le Ministère dans une analyse prospective des professions. Par leurs connaissances des nouvelles tendances, elles sont en mesure de comprendre et d'anticiper les changements des conditions de réalisation des tâches. Elles peuvent donc conseiller le Ministère à propos de la modification des fonctions des travailleurs, en relation avec la transformation numérique actuelle et à venir.

Le système d'éducation en général et la formation professionnelle en particulier doivent offrir aux individus l'occasion de développer leurs compétences dans une perspective d'apprentissage tout au long de la vie. Optimiser la révision des programmes offerts est essentiel afin de leur permettre de s'adapter aux changements rapides du marché de l'emploi.

2.5 TRANSFORMATION NUMÉRIQUE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE L'APPRENTISSAGE

La démonstration de l'importance d'acquérir de nouvelles compétences pour prospérer dans les entreprises en mutation n'est plus à faire. Désormais, la valeur d'un employé se mesure moins par son habileté à exécuter une tâche en s'appuyant sur une connaissance, et davantage par sa capacité d'appliquer ses connaissances et ses compétences dans une démarche créative de résolution de problèmes complexes (Hannon, 2016).

L'éducation et la formation représentent un outil stratégique pour développer les compétences requises dans un monde en transformation numérique. Toutefois, elles devront évoluer dans leurs méthodes, dans leurs contenus et dans leurs volumes (capacité de formation et accessibilité de l'offre). Il y a urgence d'agir en ce sens, afin de fournir aux jeunes des moyens d'apprendre qui les interpellent : l'expérimentation, l'immersion et la collaboration dans des environnements numériques à forte valeur éducative.

2.5.1 LA PÉDAGOGIE NUMÉRIQUE : SIMULATIONS ET MÉDIAS IMMERSIFS

La pertinence de la formation offerte par le système d'éducation se mesure par sa capacité de donner aux jeunes l'occasion d'y acquérir les compétences nécessaires à leur employabilité. La pédagogie numérique, qui utilise les outils de simulation et les médias immersifs, offre aux jeunes

des environnements d'apprentissage ouverts, ayant recours à des technologies récentes et rendant possible la communication en temps réel (Proctor, 2016). À titre d'exemple, la réalité virtuelle offre des perspectives très intéressantes en simulant des environnements de travail et des situations d'apprentissage avec beaucoup de réalisme.

L'utilisation de ces nouvelles technologies et du numérique en éducation comporte de nombreux avantages. Le premier concerne l'intégration et la rétention des connaissances par des pratiques d'apprentissage et d'évaluation en contexte simulé. La concrétisation des connaissances acquises dans l'action et dans des situations simulées se rapprochant de l'environnement de travail réel ajoute de la valeur aux apprentissages et améliore la capacité de l'apprenant à s'y référer ultérieurement dans un véritable contexte de travail. Les environnements numériques d'apprentissage permettent de simuler des situations problématiques complexes dont la résolution nécessite de recourir à un ensemble de compétences. De nouvelles connaissances peuvent également être assimilées et reliées à des concepts préexistants, créant de nouveaux liens entre les concepts et améliorant la capacité de résolution de problèmes des apprenants.

La simulation est un mode de formation non enseigné, c'est-à-dire que l'enseignant n'y joue pas un rôle actif de transmission de connaissances. Ce mode d'apprentissage est basé sur la représentation d'une réalité cohérente, et qui implique que les participants endossent une fonction fictive. Il s'agit d'un modèle ou d'une représentation numérique d'une situation réelle ou hypothétique, ou encore d'un phénomène naturel dans lequel l'utilisateur peut s'immerger, explorer et observer les effets de la manipulation ou de la modification de plusieurs paramètres (National Academies Press [NAP], 2011). L'apprentissage par simulation se distingue de la simple visualisation d'images ou d'animations parce qu'elle stimule une interaction qui permet d'acquérir et de développer des connaissances, des habiletés et des compétences.

La simulation sera d'autant plus efficace qu'elle fournira à l'apprenant des expériences réalistes à la première personne. Les outils numériques de formation fournissent aussi des opportunités de prise de décision en fonction de variables modifiables et de scénarios de remplacement. Non seulement ce processus d'apprentissage favorise-t-il l'interaction, l'élaboration de stratégies et l'engagement, mais il améliore également la confiance de l'apprenant dans ses apprentissages et ses compétences (Proctor, 2016).

La simulation fournit un environnement d'apprentissage engageant et motivant, permettant de mettre en pratique des compétences interpersonnelles verbales et non verbales dans un environnement où le niveau de risque est contrôlé. Un contexte numérique d'apprentissage crée des conditions gagnantes qui favorisent un plein engagement de l'apprenant. À mesure que ce dernier progresse, le niveau de stress imposé augmente également. La simulation maintient ainsi un niveau de pression réaliste sur l'apprenant, afin qu'il parvienne à surmonter son stress en préparation au travail dans le monde réel. La simulation permet à l'apprenant de se concentrer sur la tâche à accomplir et les objectifs à atteindre (Pappas, 2017).

La simulation stimule l'apprenant, qui peut éprouver de l'excitation, de l'intérêt et une grande motivation en s'imprégnant de tâches concrètes et représentatives dans des contextes d'apprentissage authentiques (NAP, 2011). La simulation poursuit aussi l'objectif d'améliorer la compréhension conceptuelle. Elle aide l'apprenant à générer, à comprendre et à utiliser des concepts abstraits, ainsi qu'à s'en souvenir. La simulation augmente notablement le temps de classe réellement consacré à l'apprentissage et améliore la capacité de transfert des apprentissages dans différents contextes.

Les environnements numériques d'apprentissage par simulation et immersion permettent à l'apprenant d'explorer des façons nouvelles et créatives d'utiliser ses connaissances et d'appliquer ses compétences. Il peut trouver de nouvelles solutions à des problèmes communs. Cette démarche encourage la réflexion et l'auto-évaluation. Elle donne à l'apprenant l'occasion de valider ou d'infirmer ses propres hypothèses. Ces caractéristiques du numérique en éducation favorisent le développement de la capacité d'apprendre tout au long de la vie et aident l'apprenant à atteindre son plein potentiel (Sharma, 2017).

2.5.2 L'ÉVALUATION EN CONTEXTE NUMÉRIQUE

L'évaluation en contexte numérique et simulé mesure davantage la manière dont sont utilisées les connaissances et les compétences que la quantité de connaissances mémorisées. Dans ce type d'évaluation, l'apprenant doit employer ses connaissances et les contextualiser adéquatement. C'est l'apprenant qui élabore ses propres scénarios, les met à l'essai dans une simulation, observe en temps réel les résultats obtenus et procède aux ajustements nécessaires pour obtenir le résultat désiré. Il devient ainsi le maître de ses apprentissages, assumant davantage de responsabilités dans leur appropriation et leur utilisation (Sharma, 2017; NAP, 2011).

Placé dans un contexte numérique d'évaluation, l'apprenant doit faire appel aux connaissances théoriques appropriées, les adapter à la situation rencontrée et les appliquer efficacement. Ce passage obligé de la théorie à la pratique augmente l'acquisition de savoir-faire et de savoir-agir et, conséquemment, améliore la rétention des apprentissages (Ramachandran et coll., 2008).

L'évaluation des performances à l'aide de simulation permet d'obtenir une mesure des connaissances, des compétences, des aptitudes et d'autres caractéristiques inhérentes à une performance efficace, telles la vitesse de réaction et la gestion des priorités dans un domaine précis. La simulation permet d'évaluer des compétences procédurales, en plus des contenus éducatifs. Les technologies numériques accroissent l'étendue des connaissances et des compétences qui peuvent être évaluées au-delà de ce que permettent les examens conventionnels (NAP, 2011). Les données recueillies pendant que l'apprenant accomplit la tâche dans une simulation donnent des informations à propos de son raisonnement et de sa démarche de résolution de problèmes. En utilisant ces données, combinées à des analyses statistiques et à des algorithmes, on peut établir des niveaux de performance dont découlent une évaluation objective et des rétroactions adaptées aux problématiques individuelles.

La simulation permet de recréer une situation impliquant des éléments visuels, sonores et interpersonnels qui influencent la prise de décision et orientent la résolution de problèmes complexes (Proctor, 2016). Par le numérique, il est possible d'évaluer si l'apprenant est en mesure de gérer la pression, de s'autoréguler et de gérer les priorités. Ces compétences sont essentielles à l'employabilité, indépendamment des secteurs d'activité. Certaines compétences additionnelles des domaines personnel, interpersonnel ou cognitif se déploient aisément dans un environnement d'évaluation où l'apprenant doit interagir avec ses collègues « virtuels ». Les activités et les tâches à accomplir nécessitent alors de collaborer et de travailler en équipe, de communiquer, de faire preuve de leadership et de résoudre des problèmes complexes en manifestant de la créativité.

Par la simulation, il est possible de proposer une situation de résolution de problèmes qui nécessite plusieurs étapes successives, chacune ayant une influence sur les prochaines et toutes devant être accomplies dans un laps de temps déterminé. Ainsi, la priorisation et la séquence des actions à réaliser, l'évaluation de l'impact des décisions prises ainsi que la gestion du temps à consacrer à chacune des tâches en fonction de leur importance relative pour l'atteinte du résultat final peuvent être appréciées plus aisément. La créativité et la prise d'initiatives dans la recherche de solution ainsi que l'anticipation des résultats sont des compétences pouvant aussi être évaluées.

De plus, la simulation permet d'évaluer selon plusieurs modalités différentes, et non seulement à l'écrit. Les élèves qui éprouvent des difficultés en lecture et en écriture peuvent donc être évalués sur leur compréhension et sur leur capacité d'utilisation des concepts enseignés, indépendamment de leur littératie. Ces élèves peuvent ainsi démontrer leurs connaissances et leurs compétences dans un environnement virtuel sans être pénalisés (NAP, 2011).

Certains dispositifs numériques intégrés à des activités d'apprentissage par simulation mesurent aussi des réponses biométriques personnelles, tels le rythme cardiaque, le mouvement des yeux et le taux de transpiration. Combinées à des données plus usuelles, comme le temps de réaction et l'adéquation des actions exécutées, ces données numériques mesurent l'amélioration de l'apprenant en se fondant sur ces éléments objectifs. Cette méthode permet notamment de mesurer la maîtrise de compétences difficiles à évaluer, telle la capacité de gestion du stress. Enfin, un entraînement par simulation qui intègre l'évaluation de ce type de compétences conscientise l'apprenant à leur importance pour garantir son employabilité présente et future.

2.5.3 RÉALITÉ VIRTUELLE EN ÉDUCATION

Une des technologies numériques propres à la simulation est la réalité virtuelle (RV). La RV est une technologie qui émule la perception d'un individu en l'immergeant dans un contexte simulé qui envoie des informations à ses sens, informations que le cerveau traite de la même façon que si elles provenaient du monde réel (Velev et Zlateva, 2017). C'est donc dire que le monde réel est remplacé temporairement par un monde virtuel, qui donne l'impression de la réalité.

Un environnement immersif d'apprentissage en RV permet à l'apprenant d'expérimenter de vraies sensations en étant complètement immergé dans un monde artificiel indépendant et autonome. La crédibilité d'un environnement virtuel est essentielle pour déclencher l'engagement de l'apprenant et lui permettre d'améliorer ses compétences. Les bénéfices potentiels de la RV en éducation sont nombreux et bien documentés (Velev et Zlateva, 2017) :

- Les plateformes virtuelles et les casques de visualisation stimulent la créativité dans les apprentissages.
- L'apprentissage qui ne peut se faire en contexte réel est possible en RV.
- Les expériences virtuelles en mode jeu vidéo augmentent la motivation des apprenants.
- La collaboration dans les classes virtuelles favorise l'intégration sociale des apprenants.
- L'apprentissage est réalisé par de vraies interactions et non par de simples clics de souris.
- Les résultats du processus d'apprentissage sont réellement évalués.

En somme, l'immersion dans un environnement simulé par la réalité virtuelle encourage l'apprenant à expérimenter de nouvelles approches qui l'aident dans son processus d'apprentissage.

2.5.4 LIMITES DE LA SIMULATION EN ÉDUCATION

La mesure de l'efficacité de la simulation en éducation reste à être précisée. Toutefois, pour être efficace, la simulation appliquée à l'évaluation doit proposer des scénarios appropriés. Les tâches à réaliser doivent être signifiantes et être construites de manière à forcer l'apprenant à recourir à l'ensemble des compétences techniques, cognitives et comportementales requises pour les accomplir efficacement. Des compétences contextuelles et situationnelles, comme la prise de décision et la gestion des priorités, doivent aussi être introduites dans les scénarios d'évaluation. En rattachant ces compétences à des éléments techniques critiques et représentatifs d'un contexte réel de travail, il devient alors possible de générer des situations d'évaluation holistiques (Ramachandran et coll., 2008). Actuellement, l'évaluation par simulation est plus complète, mais significativement plus complexe qu'une évaluation par choix de réponse. Avant qu'il soit possible d'abandonner les formes d'évaluation traditionnelles, des travaux de recherche devront encore démontrer que les avantages justifient les investissements nécessaires. Enfin, une condition essentielle manque toujours pour que le numérique transforme la pédagogie : une masse critique d'enseignants qui l'adopte et l'utilise. Tant qu'une technologie, même si elle est jugée efficace, n'est adoptée que par une minorité de personnes, sa pertinence reste réduite et son impact limité (Collin et Saffari, 2017).

2.6 UN ÉCOSYSTÈME D'APPRENTISSAGE

L'écosystème d'apprentissage actuel subit les soubresauts d'une phase de transformation numérique sans précédent du secteur minier, phase qui repose sur une démarche disruptive. Une tendance de plus en plus perceptible qui secoue l'écosystème actuel est la recherche par les entreprises de travailleurs d'abord compétents et ensuite, idéalement, diplômés.

La complexité grandissante des nouvelles technologies et la pénétration de plus en plus importante du numérique dans toutes les dimensions de la société contemporaine imposent une réflexion sur la capacité du système d'éducation public de s'adapter à ce rythme effréné. À défaut d'y parvenir, il subira forcément un désengagement important de tous les acteurs impliqués.

Un des éléments les plus significatifs de la transformation numérique en éducation et en formation est la disponibilité grandissante d'outils et de contenus de formation en ligne et libres de droits, ce qui modifie les canaux traditionnels d'accès à l'information. La recrudescence du numérique et des nouvelles technologies donne également de nombreuses opportunités aux fournisseurs privés de formation spécialisée pour compétitionner davantage avec le système d'éducation public. Ceux-ci sont capables d'offrir de la formation sur mesure qui répond plus rapidement aux besoins des entreprises que ne le peut le système public, dont les programmes sont normés et standardisés.

En Australie, l'État de Nouvelle-Galles-du-Sud a réagi pour contrer la compétition avec le secteur de la formation privée, en regroupant tous les centres de formation technique de l'État en un seul organisme. Le TAFE NSW est mandaté par cet État pour améliorer l'offre de service aux entreprises et rivaliser avec les fournisseurs de formation privés. Ce type d'initiative est un premier pas dans une démarche d'adéquation de la formation à la demande, en assurant une réponse plus rapide aux besoins exprimés. Cependant, ce n'est pas suffisant. Il semble également essentiel de réfléchir à la complémentarité et au partage des responsabilités entre les différents fournisseurs de formation dans une perspective de positionnement d'un véritable écosystème d'apprentissage.

Un écosystème d'apprentissage repose sur un partage des responsabilités d'enseignement et d'apprentissage selon un modèle favorisant l'ancrage des apprentissages en contexte de travail. Il se bâtit sur la fluidité, la diversité et le dynamisme de ses membres. Au sein d'un tel écosystème, chaque partenaire cherche à améliorer la qualité des apprentissages dans un esprit de collaboration (Hannon, 2017). Ce concept d'écosystème d'apprentissage inclut forcément de nouveaux types de partenariats et la réciprocité dans la reconnaissance des rôles et responsabilités de chacun.

Au Québec, le défi posé au système d'éducation pour optimiser l'écosystème d'apprentissage actuel consiste à trouver de nouveaux partenaires, à les intégrer et à tirer profit de leur impact. Somme toute, l'implication des instances nationales et des établissements d'enseignement doit être repensée en envisageant sérieusement un changement de paradigme et une modification des mentalités.

2.7 PRINCIPAUX ENJEUX DE L'ADÉQUATION FORMATION-COMPÉTENCES

À la lumière de l'analyse réalisée par l'Institut, il apparaît que trois principaux enjeux façonnent la manière dont doit être repensée la formation afin d'améliorer l'adéquation entre les compétences des futures générations et le contexte de la transformation numérique en cours.

Le premier enjeu consiste à anticiper les compétences qui seront requises dans les années à venir. Effectivement, la plupart des professions et des métiers évolueront au cours de la prochaine décennie et nécessiteront des compétences qui ne sont pas considérées comme cruciales aujourd'hui (Hannon, 2017b). De plus, malgré l'élaboration de méthodologies d'estimation rigoureuses, désigner quels emplois seront les plus susceptibles d'être touchés et dans quelle mesure ils le seront demeure un exercice complexe et spéculatif.

Le second enjeu consiste à définir un cheminement logique pour l'acquisition et l'amélioration de compétences afin d'agir au moment opportun. Il s'agit non seulement de définir les compétences requises, mais aussi de les inscrire dans un parcours de formation et de perfectionnement cohérent et continu. Cet enjeu est de taille puisqu'il consiste à distinguer les compétences devant être maîtrisées au terme de la formation initiale de celles qui pourront être acquises ultérieurement, en contexte de travail ou non, sans pénaliser la performance globale d'un individu. Il inclut l'anticipation du risque d'obsolescence des compétences et la nécessité de les actualiser au rythme même de l'implantation des nouvelles technologies. Il tient compte de la nécessité de maintenir l'employabilité de la main-d'œuvre dans un contexte en changement rapide et continu. Cet enjeu s'inscrit aussi dans la difficile adaptation des programmes de formation du système d'éducation, qui peine à soutenir le rythme des nouvelles innovations.

Le troisième enjeu réside dans la recrudescence du numérique et dans la diversification de l'accès à l'information, qui compétitionnent avec le modèle traditionnel d'enseignement. Ce constat renvoie à la question de la qualité, de la reconnaissance et de la validité des multiples types de formations. Qui plus est, la formation n'est plus une finalité, mais un processus continu. Une formation n'est plus nécessairement associée à un emploi précis. Elle représente plutôt une étape permettant l'acquisition de compétences transférables à différents domaines et qui, associée à des expériences personnelles et professionnelles, favorise un cheminement en emploi et la prospérité des individus. Ce contexte implique un changement des mentalités en ce qui concerne les finalités de l'éducation et la responsabilité grandissante des individus dans le maintien de leur employabilité par la poursuite de l'apprentissage tout au long de la vie.

2.8 PISTES D'ACTION

En guise de réponse aux enjeux précédemment exposés, l'Institut formule trois pistes d'action en vue d'orienter une démarche cohérente et structurée d'adéquation formation-compétences.

• Définir et faire connaître les nouveaux besoins de formation associés aux compétences émergentes

Pour que le Québec devienne et demeure un leader en matière d'innovations technologiques, la formation initiale et la formation continue constituent des leviers stratégiques majeurs. Elles doivent conséquemment être judicieusement articulées et harmonisées. Une démarche d'anticipation des besoins de compétences émergentes exige d'impliquer et de mobiliser les principaux acteurs concernés. Elle repose sur une vision prospective claire et partagée des emplois et des compétences qui leur sont associées.

Cette piste suppose une collaboration plus étroite entre le milieu du travail et les établissements d'enseignement. Cela consiste à explorer de nouveaux partenariats qui permettraient de joindre de nouveaux collaborateurs et de partager plus efficacement les responsabilités en matière de formation et de développement des compétences. Par un meilleur partage des préoccupations propres à ces deux milieux, il serait plus aisé d'élaborer des stratégies novatrices pouvant assurer la prise en compte des innovations et de leurs impacts sur la nature des tâches, les postes à combler et les profils de compétences recherchés.

L'élaboration et la création d'une structure de veille stratégique centralisée en lien avec les besoins émergents devraient également être considérées, afin de faire connaître efficacement les nouveaux besoins et les pratiques innovantes en matière de formation de la main-d'œuvre.

• Augmenter l'agilité de l'offre et de l'adaptation de la formation en adéquation avec les besoins changeants de l'industrie

L'Institut propose ici de repenser la manière de répondre aux nouveaux besoins du milieu de travail en matière de compétences. Il s'agirait non plus de tenter une approche réactive en ajustant l'offre aux besoins exprimés, mais plutôt de faire en sorte que les programmes de formation outillent les futurs travailleurs en leur faisant acquérir des compétences transversales qui maintiendront leur employabilité dans le temps. Il faut éviter de modifier la formation en y intégrant des compétences techniques qui risquent de devenir obsolètes après quelques années; il faut plutôt développer un ensemble de compétences relatives à l'employabilité qui serviraient de tronc commun à un ensemble de formations connexes. Pour ce faire, il conviendrait de reconnaître des compétences communes à différents métiers, d'harmoniser les programmes de formation pour tenir compte de ces similitudes et de personnaliser les parcours de formation.

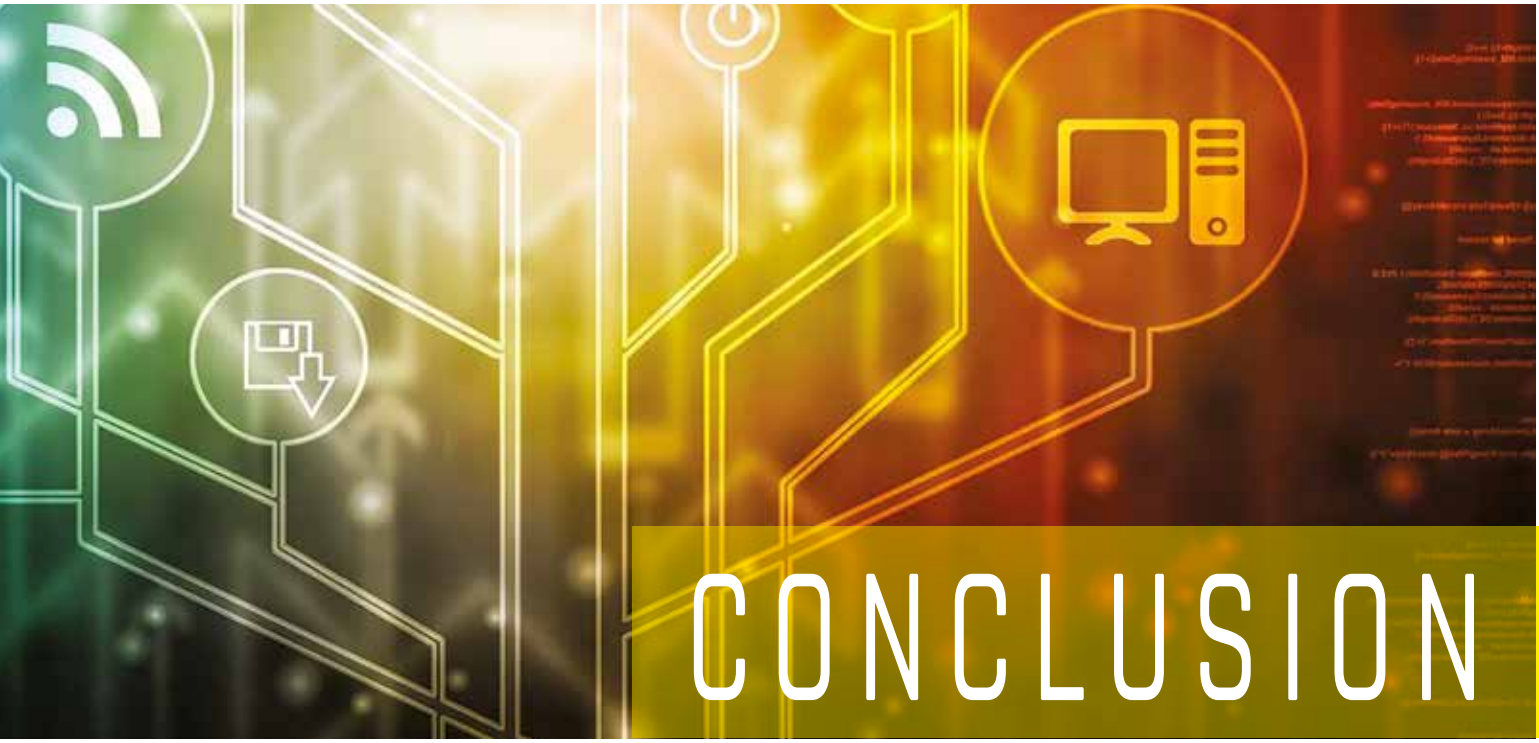
• Promouvoir un nouveau modèle de développement professionnel

Le maintien de l'employabilité de la main-d'œuvre doit devenir une responsabilité partagée. Pour soutenir cette volonté, il faut mettre en place des mesures qui favoriseront le développement d'une compétence cruciale et incontournable pour tous : la capacité d'adaptation et l'apprentissage tout au long de la vie.

L'Institut propose qu'une réflexion soit menée quant à la pertinence de promouvoir un nouveau modèle de développement professionnel, un modèle misant sur des compétences transversales et transposables dans divers contextes, permettant de progresser et de prospérer dans un environnement de travail en perpétuelle évolution. Ainsi, la formation ne serait plus une finalité. Elle s'inscrirait plutôt dans un processus continu s'appuyant sur la valorisation de l'apprentissage tout au long de la vie. La vision sous-jacente de ce modèle orienterait la formation, tant initiale que continue, vers le développement d'un portfolio personnalisé de compétences.

La promotion de la formation continue et l'acquisition de nouvelles compétences passent par la reconnaissance de ces compétences. L'accès à la formation doit également être facilité par le développement de nouveaux modes d'enseignement et d'apprentissage, notamment les environnements numériques de simulation et d'immersion, qui favorisent la capacité d'apprendre à apprendre et l'atteinte du plein potentiel.

Pour soutenir un tel modèle, la mise en œuvre d'une structure de reconnaissances des compétences acquises dans différents contextes serait elle aussi à envisager. Une structure uniforme et centralisée qui retrace les parcours de formation et reconnaît les compétences devrait être instaurée. Une telle mesure pourrait soutenir les actions de promotion de l'apprentissage tout au long de la vie par la reconnaissance des efforts investis dans l'actualisation et le maintien de l'employabilité.



CONCLUSION

Par cet ouvrage, l'Institut national des mines souhaite contribuer aux travaux amorcés à l'échelle nationale en lien avec la transformation numérique dans le contexte de la révolution industrielle 4.0. Il désire spécialement mettre son expertise au service de l'élaboration de la future Stratégie nationale sur la main-d'œuvre. Conçu dans l'optique de devenir un outil de référence, cet ouvrage devrait être pris en compte dans une démarche cohérente de consultation menant à l'établissement des orientations nationales.

L'agilité est, selon l'Institut, le thème qui revient comme un leitmotiv dans tous les éléments abordés. Effectivement, ce thème touche à la fois les opérations minières que l'on veut agiles, l'agilité dans l'offre et l'adaptation de la formation, de même que l'agilité que doit avoir la main-d'œuvre pour s'adapter aux changements constants.

Toutefois, malgré la volonté manifestée par l'industrie minière québécoise d'implanter des opérations minières agiles par la valorisation des données et l'intégration des technologies à l'ensemble des opérations, la crainte de la gadgétisation, bien que légitime, freine la mise en œuvre de démarches concrètes en ce sens. Cette crainte témoigne d'une culture numérique encore limitée dans le secteur minier québécois. L'établissement d'une vision à long terme et l'adhésion à une nouvelle culture organisationnelle sont indispensables pour surmonter les risques liés à une transformation numérique. Le développement d'une approche systémique de l'innovation, incluant la détermination des types

d'innovations à implanter et des changements à réaliser, est essentiel pour assurer la cohésion au sein d'une entreprise minière. Enfin, la conversion de l'innovation en capacité organisationnelle passe par la reconnaissance d'un leadership numérique au sein de l'organisation (Deloitte, 2018).

Les impacts anticipés de la transformation numérique interpellent aussi le monde de l'éducation. Selon l'OCDE (2018), les professions les plus exposées au risque d'automatisation exigent un niveau d'études allant de très faible à faible. Inversement, la quasi-totalité des professions qui se prêtent le moins à l'automatisation requièrent une formation technique ou un diplôme d'enseignement supérieur. Cette inégale répartition du risque d'automatisation accroît l'importance de l'adéquation entre la formation et les compétences, adéquation nécessaire afin de préparer les travailleurs à satisfaire aux futures exigences du marché du travail. Dans ce contexte, la formation soutenant l'apprentissage tout au long de la vie est un instrument primordial pour permettre à ceux dont les emplois risquent le plus d'être touchés par l'automatisation de se reconvertir et d'assurer le maintien de leur employabilité.

FAUT-IL RÉINVENTER LE SYSTÈME D'ÉDUCATION POUR LE 21E SIÈCLE?

À l'heure actuelle, il demeure difficile d'accroître l'accès à la formation pour les catégories de travailleurs les plus concernées par l'automatisation. L'OCDE (2018) estime que la probabilité de participer à une formation est plus de trois fois plus faible parmi les travailleurs dont les emplois sont menacés d'automatisation. Cela s'explique, d'une part, du fait que ces travailleurs bénéficient très rarement d'une formation proposée par leur employeur, et, d'autre part, par divers facteurs individuels tels le manque de connaissances de base, de temps et de motivation. Étant donné qu'une forte proportion de travailleurs occupent des emplois qui risquent d'évoluer sensiblement sous l'effet de l'automatisation, le Québec doit adapter ses politiques de formation afin de préparer la population active à l'évolution des compétences requises.

La société de demain a besoin de jeunes gens prospères qui veulent et qui peuvent façonner positivement le monde qui les entoure. Cependant, le modèle scolaire actuel ne donne pas à tous les mêmes chances de réussir, et la plupart ne sont pas bien préparés pour un avenir en changement continuel. La prospérité des générations à venir repose sur un concept d'éducation réinventé, qui leur permettra de relever les défis du marché de travail du futur. Ce concept sous-entend que l'école doit permettre à chaque jeune de réaliser son potentiel individuel, d'apprendre à gérer le changement et à y réagir positivement, de créer et de saisir des occasions, ainsi que d'agir collectivement pour créer un meilleur avenir pour soi-même et pour les autres (Hannon, 2017).

RÉFÉRENCES

LES RÉFÉRENCES CITÉES CI-DESSOUS ONT TOUTES PU ÊTRE CONSULTÉES EN LIGNE LE 20 FÉVRIER 2018.

- Accenture (2017). *In a challenging market, the digital transformation of mining companies has become a business imperative—leveraging technology to improve processes aligned to value*. En ligne : https://www.accenture.com/au-en/insight-resources-digital-transformation-future-mining

- ACT Foundation et Joyce Foundation (2016). *Future skills. Update and Literature Review*. En ligne : http://www.iftf.org/fileadmin/user_upload/downloads/wfi/ACTF_IFTF_FutureSkills-report.pdf

- Addeco Group (2017). *The Global Talent Competitiveness Index 2017. Talent and Technology*. Human capital leadership institute. En ligne : http://www.gtci2017.com/documents/GTCI_2017_web_r5.pdf

- Australian Government. Department of Education and Training (2015). *Australia Country Education Profile*. En ligne : https://internationaleducation.gov.au/Documents/ED15-0091_INT_Australia_Country_Education_Profile_2015_ACC.pdf

- Australian Mining (2017). *Mining trends 2018. What you need to know in the METS sector*. En ligne : https://www.inxsoftware.com/media/transfer/doc/mining_trends_2018_wp.pdf

- Banque de données des statistiques officielles sur le Québec. En ligne : http://www.bdso.gouv.qc.ca/pls/ken/ken2122_navig_niv_2.page_niv2?p_iden_tran=REPER2DVZPD28-36219876129UTwls&p_id_ss_domn=1098

- Bidet-Mayer, Thibaut et Toubal, Louisa (2016). *Mutations industrielles et évolution des compétences*. Les Synthèses de La Fabrique, no 5. Avril 2016. En ligne : http://www.la-fabrique.fr/wp-content/uploads/2016/03/S5-Mutations-industrielles-et-%C3%A9volution-des-comp%C3%A9tences.pdf

- Brookfield Institute (2017). *Automation across the nation: Understanding the potential impacts of technological trends across Canada*. En ligne : http://brookfieldinstitute.ca/wp-content/uploads/2017/06/Automation-Across-the-Nation-ONLINE.pdf

- Cedefop (2015a). *Skills, qualifications and jobs in the EU: the making of a perfect match? Evidence from Cedefop's European skills and jobs survey*. Luxembourg : Publications Office of the European Union. Cedefop reference series 103. En ligne : http://www.cedefop.europa.eu/fr/publications-and-resources/publications/3072

- Cedefop (2015b). *Matching skills and jobs in Europe. Insights from Cedefop's European skills and jobs survey*. European Centre for the Development of Vocational Training. En ligne : http://www.cedefop.europa.eu/fr/publications-and-resources/publications/8088

- Cedefop (2016). *Developing skills foresights, scenarios and forecasts. Guide to anticipating and matching skills and jobs. Volume 2*. Luxembourg : Publications Office of the European Union. EU law and publications. En ligne : http://www.cedefop.europa.eu/en/publications-and-resources/publications/2216

- Cedefop (2017). *Developing and running an establishment skills survey. Guide to anticipating and matching skills and jobs. Volume 5*. Luxembourg : Publications Office of the European Union. EU law and publications. En ligne : http://www.cedefop.europa.eu/de/publications-and-resources/publications/2219

- CEFRIO (2016). *Compétences numériques. Des compétences nécessaires pour soutenir le passage au numérique des PME*. En ligne : http://www.cefrio.qc.ca/media/uploader/Cefrio_comp_num-FINAL-simplepage6.pdf

- Cigref (2011). *Les risques numériques pour l'entreprise*. En ligne : http://www.cigref.fr/cigref_publications/RapportsContainer/Parus2011/Risques_numeriques_pour_l_entreprise_CIGREF_2011.pdf

- Cigref (2017). *Les enjeux de mise en œuvre opérationnelle de l'intelligence artificielle dans les grandes entreprises*. Cercle Intelligence artificielle. En ligne : http://www.cigref.fr/wp/wp-content/uploads/2017/10/CIGREF-Cercle-IA-2017-Mise-en-oeuvre-operationnelle-IA-en-Entreprises.pdf

- Collin, Simon et Saffari, Hamid (2017). « Le numérique en pédagogie universitaire : du constat d'efficacité à l'adoption ». *Le Tableau*, vol. 6, no 2. En ligne : http://pedagogie.uquebec.ca/portail/system/files/documents/membres/letableauvol6_no2_scollin_depot_0.pdf

- Commission européenne. JRC Scientific and Policy Reports (2013). *DIGCOMP: A Framework for Developing and Understanding Digital Competence in Europe*. Joint Research Centre. Report EUR 26035 EN. En ligne : http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC83167/lb-na-26035-enn.pdf

- Conseil consultatif en matière de croissance économique (CCMCE) (2017). *Bâtir une main-d'œuvre canadienne hautement qualifiée et résiliente au moyen du laboratoire des compétences futures*. En ligne : http://publications.gc.ca/site/eng/9.832050/publication.html

- Conseil d'orientation pour l'emploi (COE) (2017a). *Automatisation, numérisation et emploi. Tome 2. L'impact sur les compétences*. En ligne : http://www.coe.gouv.fr/Rapport_Automatisation_numerisation_et_emploi_Tome_2-3dc9c.pdf?file_url=IMG/pdf/Rapport_Automatisation_numerisation_et_emploi_Tome_2-3.pdf

- Conseil d'orientation pour l'emploi (COE) (2017b). *Automatisation, numérisation et emploi. Tome 3. L'impact sur le travail*. En ligne : http ://www.coe.gouv.fr/Rapport_Automatisation_numerisation_et_emploi_Tome_3-28935.pdf?file_url=IMG/pdf/Rapport_Automatisation_numerisation_et_emploi_Tome_3-2.pdf

- Deloitte (2017a). *The digital revolution. Mining starts to reinvent the future*. En ligne : https ://www2.deloitte.com/au/en/pages/energy-and-resources/articles/digital-revolution.html

- Deloitte (2017b). *À l'affût des tendances de 2017. Les 10 principaux enjeux des sociétés minières pour l'année à venir*. En ligne : https ://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ca/Documents/energy-resources/ca-fr-ER-TTT2017_FR_FINAL_AODAv2.PDF

- Deloitte (2018). *Tracking the trends 2018. The top 10 issues shaping mining in the year ahead*. En ligne : https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/energy-resources/2018/Tracking-the-Trends-2018.pdf

- Deloitte Insights (2017). *Forces of change: Industry 4.0. A Deloitte series on Industry 4.0*. En ligne : https ://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4323_Forces-of-change/4323_Forces-of-change_Ind4-0.pdf

- Deloitte University Press (2016). *Industry 4.0 and manufacturing ecosystems. Exploring the world of connected enterprises*. En ligne : https ://dupress.deloitte.com/dup-us-en/focus/industry-4-0/manufacturing-ecosystems-exploring-world-connected-enterprises.html

- Deloitte University Press (2017). *Making maintenance smarter. Predictive maintenance and the digital supply network*. En ligne : https ://dupress.deloitte.com/dup-us-en/focus/industry-4-0/using-predictive-technologies-for-asset-maintenance.html

- Deloitte University Press (2017b). *Rewriting the rules for the digital age*. En ligne : https ://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/HumanCapital/hc-2017-global-human-capital-trends-gx.pdf

- EY (2017). *Top 10 business risks facing mining and metals 2017-2018*. En ligne : http ://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-top-10-business-risks-facing-mining-and-metals-2017-2018/$FILE/ey-top-10-business-risks-facing-mining-and-metals-2017-2018.pdf

- Féfaur et FuturSkill (2017). *Comment relever le défi de la transformation des compétences?* Livre blanc. En ligne : http ://www.manpowergroup.fr/livre-blanc-comment-relever-le-defi-de-la-transformation-des-competences/

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

- Forum économique mondial (FEM) (2018a). *Towards a reskilling revolution. A future of jobs for all*. Insight report. In collaboration with The Boston Consulting Group. En ligne : http ://www3.weforum.org/docs/WEF_FOW_Reskilling_Revolution.pdf

- Forum économique mondial (FEM) (2018b). *Eight futures of work. Scenarios and their implications*. White Paper. In collaboration with The Boston Consulting Group. En ligne : http ://www3.weforum.org/docs/WEF_FOW_Eight_Futures.pdf

- Foundation for Young Australians (FYA) (2017a). *The New Work Mindset. 7 new job clusters to help young people navigate the new work order*. En ligne : https ://www.fya.org.au/wp-content/uploads/2016/11/The-New-Work-Mindset.pdf

- Foundation for Young Australians (FYA) (2017b). *The New Work smarts. Thriving in the New Work Order*. En ligne : https ://www.fya.org.au/wp-content/uploads/2017/07/FYA_TheNewWorkSmarts_July2017.pdf

- Foundation for Young Australians (FYA) (2015). *The New Work Order. Ensuring young Australians have skills and experience for the jobs of the future, not the past*. En ligne : https ://www.fya.org.au/wp-content/uploads/2015/08/fya-future-of-work-report-final-lr.pdf

- Groupe Média TFO (2017). *Une urgence pour le monde de l'éducation : s'adapter à la révolution numérique*. Livre blanc. En ligne : https ://www.groupemediatfo.org/wp-content/uploads/2017/11/7235_tfo_livre_blanc_FR.pdf

- Hannon, Valerie, et coll. (2011). *Developing an innovation ecosystem for education*. White Paper. Innovation Unit. Cisco. En ligne : https ://www.cisco.com/c/dam/en_us/solutions/industries/docs/education/ecosystem_for_edu.pdf

- Hannon, Valerie (2016). *New skills and capabilities are needed to thrive in this new world of work*. En ligne : http ://www.wise-qatar.org/valerie-hannon-life-skills-education

- Hannon, Valerie, avec Perterson, Amelia (2017a). *Thrive. Schools reinvented for the real challenges we face*. Innovation Unit Press. En ligne : https ://www.innovationunit.org/wp-content/uploads/2017/04/Thrive_Preface.pdf

- Hannon, Valerie (2017b). *ILE strand 3: innovation, systems and system leadership*. Innovation unit. En ligne : http ://www.oecd.org/education/ceri/Hannon%20paper_ILE%20strand%203.pdf

- IDC Perspective (2017). *Mining industry transformation. Executive Snapshot*. IDC #AP42252117e. En ligne : https ://software-solutions.schneider-electric.com/idc-perspective-mining-industry-transformation-whitepaper

- Information Technology & Innovation Foundation (2018). *How to Reform Worker-Training and Adjustment Policies for an Era of Technological Change*. En ligne : http://www2.itif.org/2018-innovation-employment-workforce-policies.pdf?_ga=2.202148113.1862801453.1521658026-791264875.1520517903

- Infosys (2016). *Amplifying Human Potential. Education and Skills for the Fourth Industrial Revolution*. En ligne : http ://boletines.prisadigital.com/%7B6139fde3-3fa4-42aa-83db-ca38e78b51e6%7D_Infosys-Amplifying-Human-Potential.pdf

- Institute for the Future (IFTF) (2017). *Charting New Paths to the Future in the California Community Colleges*. En ligne : http ://www.iftf.org/fileadmin/user_upload/downloads/learning/IFTF_CCC_Charting_New_Paths_SR-1930_2.pdf

- Institut national des mines (INMQ) (2017). *Portrait de la formation dispensée par les entreprises minières à leur personnel. Analyse comparative 2013-2016*. Gouvernement du Québec. En ligne : http ://www.inmq.gouv.qc.ca/RadFiles/Documents/DOCUMENTS/DOCUMENTS/634/portrait_formation_entreprise_web.pdf

- Josselin, Matthieu et Chochard, Yves (2017). « Les compétences du futur ». *Bulletin de l'Observatoire compétences-emplois*. Juin 2017. Vol. 8, no 1. En ligne : http ://www.oce.uqam.ca/article/competences-futur/

- McKinsey & Compagny (2015). *How digital innovation can improve mining productivity*. Metals & Mining Practice. En ligne : https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/how-digital-innovation-can-improve-mining-productivity

- McKinsey Global Institute (MGI) (2017a). *Jobs lost, jobs gained: workforce transitions in a time of automation. Executive summary*. En ligne : https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Global%20Themes/Future%20of%20Organizations/What%20the%20future%20of%20work%20will%20mean%20for%20jobs%20skills%20and%20wages/MGI-Jobs-Lost-Jobs-Gained-Executive-summary-December-6-2017.ashx

- McKinsey Global Institute (MGI) (2017b). *Jobs lost, jobs gained: workforce transitions in a time of automation*. En ligne : https ://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Global%20Themes/Future%20of%20Organizations/What%20the%20future%20of%20work%20will%20mean%20for%20jobs%20skills%20and%20wages/MGI-Jobs-Lost-Jobs-Gained-Report-December-6-2017.ashx

- McKinsey Global Institute (MGI) (2017c). *A Future That Works: Automation, Employment, and Productivity. Executive summary*. En ligne : https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Global%20Themes/Digital%20Disruption/Harnessing%20automation%20for%20a%20future%20that%20works/MGI-A-future-that-works-Executive-summary.ashx

- McKinsey Global Institute (MGI) (2017d). *Harnessing automation for a future that works*. En ligne : https ://www.mckinsey.com/global-themes/digital-disruption/harnessing-automation-for-a-future-that-works

- McKinsey Global Institute (MGI) (2017e). *Technology, jobs, and the future of work. Briefing note*. En ligne : https ://www.mckinsey.com/global-themes/employment-and-growth/technology-jobs-and-the-future-of-work

- Minerals Council of Australia (MCA) (2017). *Australia's workplace relations framework: the case for reform*. Policy paper. En ligne : http://www.minerals.org.au/file_upload/files/publications/Workplace_relations_The_case_for_reform_August_2017.pdf

- Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation (MESI) (2017a). *Plan d'action en économie numérique. Pour l'excellence numérique des entreprises et des organisations québécoises*. Stratégie numérique du Québec. Gouvernement du Québec. En ligne : https://www.economie.gouv.qc.ca/fileadmin/contenu/documents_soutien/strategies/economie_numerique/paen_sommaire.pdf

- Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation (MESI) (2017b). *Stratégie québécoise de la recherche et de l'innovation 2017-2022*. Gouvernement du Québec. En ligne : https://www.economie.gouv.qc.ca/fileadmin/contenu/documents_soutien/strategies/recherche_innovation/SQRI/sqri_complet_fr.pdf

- Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (2014). *Indicateurs de l'éducation. Édition 2013*. Gouvernement du Québec. En ligne : http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/PSG/statistiques_info_decisionnelle/Indicateurs_educ_2013_webP.pdf

- Mitchell Institute (2017). *Preparing young people for the future of work. Policy roundtable report*. Mitchell report no. 01/2017. Melbourne. En ligne : http://www.mitchellinstitute.org.au/wp-content/uploads/2017/03/Preparing-young-people-for-the-future-of-work.pdf

- Monitor Deloitte (2016). *Innovation in mining Australia 2016*. Create. Change. Illuminate. En ligne : https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Energy-and-Resources/gx-au-en-innovation-in-mining.pdf

- National Academies Press (NAP) (2011). *Learning science through computer games and simulations*. En ligne : http://www.ics.uci.edu/~wscacchi/GameLab/Recommended%20Readings/Learning-Science-Games-2011.pdf

- Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) (2005). *La définition et la sélection des compétences clés. Résumé*. En ligne : https://www.oecd.org/pisa/35693273.pdf

- Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) (2016). *Skills for a Digital World. Policy Brief on the Future of Work*. OECD Publishing, Paris. En ligne : https://www.oecd.org/els/emp/Skills-for-a-Digital-World.pdf

- Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) (2018). *Automation, skills use and training*. OECD Social, Employment and Migration Working Papers, No. 202. OECD Publishing, Paris. En ligne : http://dx.doi.org/10.1787/2e2f4eea-en

- Organisation internationale du travail (OIT) (2015). *Anticipating and matching skills and jobs*. Guidance note. Genève, Suisse. En ligne : http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_emp/---ifp_skills/documents/publication/wcms_534307.pdf

- Pappas, Christopher (2017). *7 Tips to Create Simulation-Based eLearning Assessments*. eLearning Industry. En ligne : https://elearningindustry.com/?s=7+tips+create+elearning

- Petty, James (2017). « Getting the best out of autonomous mining fleets ». *AusIMM bulletin*. Décembre 2017. En ligne : https://www.ausimmbulletin.com/feature/getting-best-autonomous-mining-fleets/

- Proctor, DeAnna L. (2016). *Games and simulations in soft skills training*. The Graduate School. Morehead State University. En ligne : https://scholarworks.moreheadstate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1016&context=msu_theses_dissertations

- Ramachandran, J. L. S., et coll. (2008). *A methodology for simulation-based job performance assessment*. Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference (I/ITSEC). En ligne : http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a486945.pdf

- Rio Tinto (2014). *Mine of the FutureTM. Next-generation mining: People and technology working together*. En ligne : http://www.riotinto.com/growth-and-innovation-160.aspx

- Sharma, Nipun (2017). *Top 5 reasons why skill-based online training is better than knowledge-based*. eLearning Industry. En ligne : https://elearningindustry.com/top-reasons-skill-based-online-training-better-knowledge-based

- Snell, Darryn, Gekara, Victor et Gatt, Krystle (2016). *Cross-occupational skill transferability: challenges and opportunities in a changing economy*. NCVER. Adélaïde. En ligne : https://www.ncver.edu.au/__data/assets/file/0023/55913/cross-occupationalskilltransferability-2862.pdf

- Velev, Dimiter et Zlateva, Plameta (2017). *Virtual reality challenges in education and training*. En ligne : https://www.researchgate.net/publication/312213416_Virtual_Reality_Challenges_in_Education_and_Training

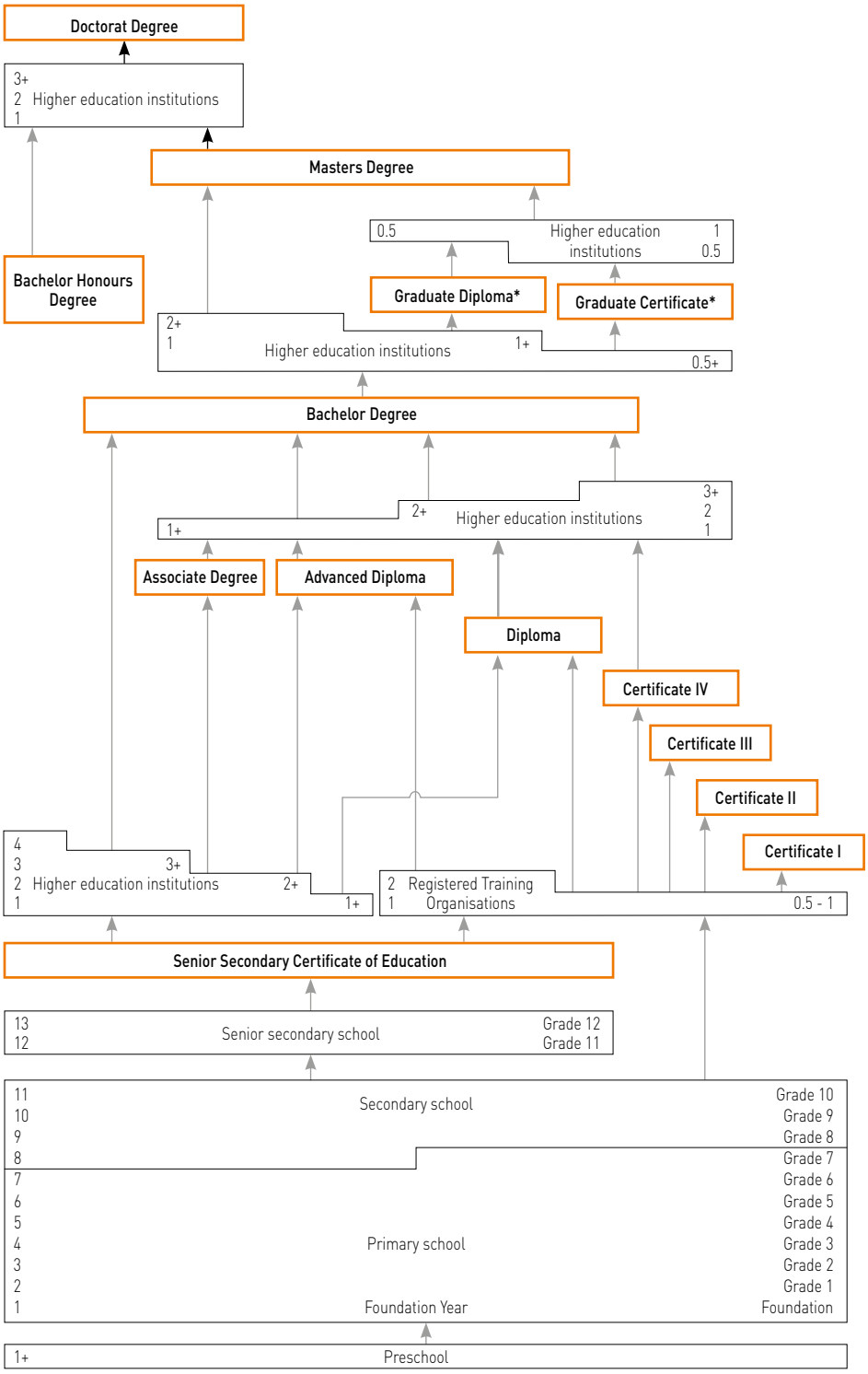
ANNEXES

ANNEXE 1 | MISSION EXPLORATOIRE SUR LA FORMATION MINIÈRE EN AUSTRALIE

Calendrier des rencontres

Dates	Organisations		Lieux
4 octobre	8 h	Austmine Conference	Brisbane
11 octobre	15 h	Austmine	Sydney
12 octobre	9 h 13 h 30	Sustainable Skills School of Mining Engineering (UNSW)	Sydney Sydney
13 octobre	10 h	TAFE Illwarra	Sydney (Wollongong)
16 octobre	9 h 14 h	National Centre for Vocational Education Research Department of South Australia Development	Adélaïde Adélaïde
17 octobre	10 h 14 h	Resources and Engineering Skills Alliance IPACS	Adélaïde Mawson Lakes
18 octobre	14 h 30	Wirrpanda Foundation	Perth
19 octobre	9 h 15 h 45	Rio Tinto (Hope Downs 4) Rio Tinto (Remote Operation Centre)	Newman Perth
20 octobre	10 h 11 h	Roy Hill ROC-Ed Learning Centre Roy Hill	Perth Perth

ANNEXE 2 | DIAGRAMME DU SYSTÈME D'ÉDUCATION AUSTRALIEN



Source : Australia Country Education Profile

ANNEXE 3 | RÉSUMÉ DES COMPÉTENCES POUR L'EMPLOYABILITÉ DES PROGRAMMES DE FORMATION AUSTRALIENS

Employability Skills Summary

The following table includes a summary of the employability skills as identified by the resources and infrastructure industry for this qualification. The table should be interpreted in conjunction with the detailed requirements of each unit of competency packaged in this qualification. The outcomes required here are broad industry requirements that may vary depending on packaging options.

Employability Skill	Industry/enterprise requirements for this qualitication include:
Communication	• speak clearly and directly • listen carefully to instructions and information • read and interpret work instructions and safety signs • calculate basic weights, distances and volumes • complete incident and maintenance reports • adjust communication style to meet the needs of people with diverse backgrounds
Teamwork	• apply teamwork in a range of situations, particularly in a safety context • contribute to the planning and execution of operations • work cooperatively with people of different ages, gender, race, religion or political persuasion and people with disability • recognise and respond sensitively to people from culturally and linguistically diverse backgrounds
Problem-solving	• adjust work methods in response to changing weather and site conditions • participate in team solutions to safety issues
Initiative and enterprise	• independently adapt to changing work conditions or different work areas • identify potential improvements to working pratice and conditions • identify and assess risks in the workplace
Planning and organising	• manage time and priorities to complete work • identify and obtain appropriate equipment and permits • identify potential hazards and prepare appropriate responses • follow procedures and techniques relevant to the equipment and work being done
Self-management	• take responsibility for planning and organising own work priorities and completing assigned tasks • monitor own performance to ensure work will be completed well and on time • understand the standard of work expected at a work site
Learning	• be willing to learn new ways of working • seek information to improve performance from people and workplace documents like policies, procedures, etc • understand equipment characteristics, technical capabilities, limitations and procedures
Technology	• use technology to monitor and report on work progress • use communications technology appropriate to the workplace (email, mobile, radio, etc)

Extrait de : RII20309

Certificate II in Underground Coal Mining. Australian Government, Department of Education, Employment and Workplace Relations. En ligne : https://training.gov.au/TrainingComponentFiles/RII09/RII20309_R2.pdf

Institut national
des mines
Québec