



INMQ

**POUR UNE IMPLANTATION RÉUSSIE
DE LA FORMATION PAR SIMULATEUR
D'ENGINS MINIERS AU QUÉBEC**

**RAPPORT
D'ÉTUDE
2016**

*Institut national
des mines*

Québec  

TABLE DES MATIÈRES

4 PRÉAMBULE

5 1. INTRODUCTION

6 2. PROJET PILOTE D'ÉVALUATION DE LA FORMATION PAR SIMULATEUR D'ENGINS MINIER

6	2.1. Objectifs du projet pilote
7	2.1.1. Objectifs spécifiques
7	2.1.2. Contribution des partenaires
8	2.2. Méthodologie
9	2.2.1. Démarche inductive
9	2.2.2. Échantillons
10	2.2.3. Outils de collecte de données
12	2.2.4. Limites de l'étude
12	2.3. Résultats du projet pilote et faits saillants
12	2.3.1. Validation des préconceptions
14	2.3.2. Satisfaction des participants à l'égard de la formation par simulateur
15	2.3.3. Critiques de la formation par simulateur
16	2.3.4. Avantages de la formation par simulateur
16	2.3.5. Commentaires des participants du projet pilote
17	2.4. Conclusion du projet pilote d'évaluation de la formation par simulateur
17	2.4.1. Amélioration de la compétence en santé et sécurité
18	2.4.2. Gain de productivité
18	2.4.3. Réduction des coûts
19	2.4.4. Contribution au processus d'amélioration continue

Le présent document a été produit par
l'Institut national des mines (INMQ).

Recherche et rédaction
Valérie Bellehumeur et Robert Marquis

Révision linguistique
Syn-Texte

Photographe
Marie-Claude Robert

Conception graphique
Le Canapé communication inc.

Impression
ACAD 2000

Diffusion
Karine Lacroix

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, décembre 2016

ISBN : 978-2-550-77020-6 (Imprimé)
ISBN : 978-2-550-77021-3 (En ligne)

Dépôt légal
Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2016
Bibliothèque et Archives Canada, 2016

20 3. RECENSION DE LA LITTÉRATURE

- 20 3.1. Travaux de l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et sécurité du travail
- 21 3.1.1. Concept de nouveaux travailleurs
- 21 3.1.2. Transmission des savoirs de métier
- 21 3.1.3. Contexte de diligence raisonnable
- 22 3.1.4. Difficultés des nouveaux opérateurs
- 23 3.2. Avantages de la formation par simulateur
- 23 3.2.1. Raisons logiques en faveur de l'utilisation de formation par simulateur
- 25 3.2.2. Avantages de la formation par simulateur appuyés par la recherche
- 27 3.3. Caractéristiques et avantages de l'approche pédagogique de la formation par simulateur
- 28 3.3.1. Profil des apprentis opérateurs d'équipements miniers
- 28 3.3.2. Défis de la formation des adultes
- 29 3.3.3. Principes andragogiques et formation par simulateur
- 30 3.3.4. Pédagogie de l'incident
- 30 3.3.5. L'évaluation au service de l'apprentissage

31 4. DISCUSSION

- 31 4.1. Principaux constats concernant le dispositif de formation actuel des nouveaux opérateurs miniers
- 33 4.2. Avantages de la formation par simulateur pour les entreprises minières
- 33 4.2.1. Diligence raisonnable et le Code criminel
- 34 4.2.2. Amélioration continue et accroissement du rendement
- 35 4.3. Avantages de la formation par simulateur pour les établissements d'enseignement

36 5. RECOMMANDATIONS POUR UNE IMPLANTATION RÉUSSIE DE FORMATION PAR SIMULATEUR

- 36 5.1. Concertation et partenariat pédagogique
- 37 5.2. Qualité du programme de formation
- 37 5.2.1. Rôle du formateur
- 38 5.2.2. Assurer le transfert
- 38 5.3. Choix de simulateurs

40 6. CONCLUSION

- 41 6.1. Quel avenir pour la simulation?

42 RÉFÉRENCES

Tableau 1	Entreprises minières et entreprises de services qui ont participé au projet pilote	10
Tableau 2	Outils de collecte de données	11
Tableau 3	Préconceptions et constatations postformation formulées par les participants	13
Tableau 4	Taux de satisfaction immédiate et de satisfaction différée	14
Tableau 5	Relations entre les grands principes de l'andragogie et les avantages de la formation par simulateur	29
Tableau 6	Constats sur les pratiques d'intégration des nouveaux opérateurs et apports de la formation par simulateur	32
Figure 1	Récapitulatif des avantages de la formation par simulateur contribuant au processus d'amélioration continue	19



PRÉAMBULE

L'Institut national des mines a été mis sur pied en 2010. Il a pour mission de soutenir le gouvernement dans l'exercice de sa responsabilité en matière d'éducation dans le secteur minier. L'Institut réalise sa mission par des activités de veille, des analyses et des projets d'expérimentation qui alimentent la production de rapports, d'avis et de recommandations sur la capacité de formation de la main-d'œuvre minière.

L'Institut national des mines est appuyé par un conseil d'administration qui regroupe dix-huit membres représentant les trois ordres d'enseignement, le secteur minier et trois ministères interpellés par la formation, la recherche, le perfectionnement de la main-d'œuvre et le suivi des activités minières. Les travaux de l'Institut sont le reflet de délibérations entre les membres, lesquelles sont alimentées par ses travaux de recherche, l'audition d'experts et des consultations menées auprès d'acteurs du milieu de l'éducation et de l'industrie minière.

L'Institut devient progressivement un point de référence en matière de formation minière au Québec. Il prend aussi une part active à la promotion nationale et internationale de la formation minière offerte par les établissements des trois ordres d'enseignement. Depuis 2010, il a également développé à l'interne l'expertise nécessaire pour soutenir son réseau de partenaires institutionnels dans la réalisation d'une offre de formation minière reposant davantage sur l'utilisation de technologies et d'approches pédagogiques novatrices. L'Institut contribue, par le fait même, au développement d'une offre de formation d'avant-garde en utilisant le secteur minier comme levier expérimental.

1 INTRODUCTION

Ce rapport s'inscrit dans la poursuite des travaux de l'Institut national des mines sur la formation par simulateur minier. En mai 2014, l'Institut a publié un premier rapport sur l'enseignement par simulateur, qui dressait le portrait de l'offre de simulateurs miniers sur le marché et qui décrivait leur utilisation par les établissements d'enseignement et les entreprises minières dans la formation d'opérateurs d'engins miniers. S'appuyant sur les constats de la recherche qui a mené à ce rapport, l'Institut proposait alors l'implantation de simulateurs miniers dans le réseau des centres de formation professionnelle pour la formation initiale des élèves inscrits au diplôme d'études professionnelles (DEP) en extraction du minerai. Une autre piste d'action découlant de cette étude consistait à réaliser un projet pilote afin de préciser la démarche pédagogique, de documenter les meilleures pratiques et de démontrer les avantages de ce mode d'apprentissage non conventionnel. Ce projet pilote devait dégager une période d'appropriation pour les enseignants et répondre à leur questionnement légitime sur les modalités de mise en œuvre, le cadre d'implantation et les nouvelles habiletés pédagogiques à développer.

Le rapport de 2014 a également mené au dépôt d'un avis au ministre de l'Éducation, du Loisir et du Sport. Cet avis, intitulé *La formation par simulation pour les opérateurs d'engins miniers surdimensionnés*, a été remis au ministre en février 2015. Il était principalement structuré autour de l'analyse du projet d'école minière alors à l'étude au Ministère. Ce projet proposait d'élaborer un programme de formation pour les opérateurs d'engins miniers pour les mines à ciel ouvert. L'avis déposé par l'Institut proposait une solution de rechange au projet d'école minière. Les recommandations misaient principalement sur l'implantation de l'enseignement par simulateur dans le réseau public.

En début d'année 2016, l'Institut a poursuivi sa réflexion et son analyse sur la pertinence de la formation par simulateur. En partenariat avec le Comité sectoriel de main-d'œuvre de l'industrie des mines (CSMO Mines), la Corporation

de développement industriel et commercial de la région de Val-d'Or et le Centre de technologie NORCAT, de Sudbury, il a réalisé un projet pilote visant une évaluation de la formation par simulateur par des travailleurs québécois utilisant des engins miniers souterrains. Ce projet pilote est à l'origine du présent rapport.

La première partie de ce rapport présente les objectifs, la méthodologie, les résultats et les conclusions découlant du projet pilote réalisé au printemps 2016. La seconde partie est basée sur une recherche bibliographique complémentaire qui a permis de documenter certains aspects importants qui n'ont pas été abordés suffisamment durant le projet pilote. Cette partie s'appuie sur des écrits récents portant sur les caractéristiques, les avantages et les incidences pédagogiques de la formation par simulateur. Les études à ce sujet réalisées depuis 2011 à l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et sécurité du travail ont été particulièrement sollicitées pour cette partie du rapport. Finalement, *Pour une implantation réussie de la formation par simulateur d'engins miniers au Québec* fait état d'un certain nombre de constats et de recommandations, et il propose quelques pistes de réflexion.

Ce rapport sera utile aux établissements d'enseignement publics qui désirent mettre sur pied une offre de formation par simulateur, en intégrant cette technologie dans un programme de formation pour opérateurs d'engins miniers. Il sera utile également aux entreprises minières désireuses de recourir à la simulation pour l'amélioration continue du rendement des travailleurs, une condition essentielle à l'accroissement de la productivité.

En définitive, les principaux objectifs de l'Institut, en publiant ce rapport, sont de démontrer le potentiel de la formation par simulation, d'alimenter la réflexion à son sujet et de formuler des recommandations afin de faciliter l'implantation de simulateurs miniers dans le système d'éducation québécois, dans une perspective d'amélioration de l'offre de formation minière.

PROJET PILOTE D'ÉVALUATION

2 DE LA FORMATION PAR SIMULATEUR D'ENGINS MINIERS

Le projet pilote de formation par simulateur dont il est question ici a été réalisé entre février et avril 2016. Il consistait à évaluer à titre expérimental la réception accordée par quinze opérateurs d'engins miniers souterrains sélectionnés par leurs employeurs pour leur expertise et leur intérêt pour la formation. Cette démarche expérimentale s'inscrit dans la continuité de l'avis de l'Institut national des mines sur les simulateurs miniers produit en février 2015.

Pour l'Institut national des mines, le défi consistait à élaborer une méthodologie permettant d'évaluer la réceptivité de travailleurs chevronnés, mis en situation réelle d'apprentissage par simulation, dans un centre de formation reconnu internationalement et sous la supervision d'un formateur hautement qualifié.

La finalité était de fournir aux établissements d'enseignement et aux entreprises québécoises des données fiables et des arguments concrets leur permettant de prendre une décision éclairée à l'égard de la possibilité d'offrir de la formation minière par simulation.

2.1. OBJECTIFS DU PROJET PILOTE

L'Institut a réalisé ce projet en partenariat étroit avec le CSMO Mines, la Corporation de développement industriel et commercial de la région de Val-d'Or et le Centre de technologie NORCAT (Northern Centre for Advanced Technology) de Sudbury, en Ontario.

Le principal objectif poursuivi par l'Institut était de documenter les conditions favorables à l'intégration de simulateurs dans l'offre de formation au secteur minier québécois. Il s'agissait donc de mesurer la réceptivité des participants au projet pilote et de déterminer les forces, les faiblesses et les conditions optimales d'utilisation d'un simulateur reproduisant les manœuvres d'une gamme d'engins propres aux mines souterraines. Les résultats de ce projet pilote devraient ultimement faciliter la prise de décisions menant à l'implantation d'une offre de formation par simulateur.

Ce projet pilote était donc en lien direct avec une recommandation de 2015, qui proposait l'élaboration d'une démarche pragmatique favorisant le recours à l'enseignement par simulateur qui devait reposer sur une approche concertée et des moyens concrets pour la formation de nouveaux opérateurs d'engins miniers. En réalisant ce projet pilote, l'Institut souhaite faciliter l'implantation de simulateurs dans le système d'éducation public québécois et franchir une autre étape vers l'intégration des technologies de simulation dans un programme de formation pour les opérateurs d'engins miniers de toutes sortes.

2.1.1. OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

Les objectifs spécifiques de ce projet pilote sont les suivants :

- > Mesurer la réceptivité et le degré de satisfaction des quinze participants à l'expérimentation;
- > Évaluer la perception des participants à propos de la valeur ajoutée de l'implantation de simulateurs miniers dans l'offre de formation en entreprise destinée aux opérateurs d'engins miniers;
- > Évaluer les apprentissages réalisés chez NORCAT par les participants regroupés en quatre cohortes différentes, constituées par le CSMO Mines;
- > Caractériser l'utilité de la formation donnée par NORCAT en matière d'amélioration du rendement au travail.

2.1.2. CONTRIBUTION DES PARTENAIRES

Les partenaires associés à ce projet y ont contribué en fonction de leur mandat respectif. Le CSMO Mines a conclu l'entente avec le Centre de technologie NORCAT, a recruté les quinze participants, a constitué les quatre cohortes et a fourni une partie importante du financement. Il a aussi assuré un important suivi logistique, le coordonnateur à la formation ayant accompagné les participants d'une des cohortes et assisté à la rencontre de clôture du projet. La participation de la Corporation de développement industriel et commercial de la région de Val-d'Or a consisté à participer activement à la conception du projet, à faire des démarches préliminaires auprès de NORCAT et des entreprises participantes, à accompagner deux cohortes de participants à Sudbury et à participer à la rencontre de clôture. Le Centre de technologie NORCAT a fourni les locaux, l'expertise et les équipements de simulation nécessaires à cette expérimentation. Enfin, l'Institut national des mines a pris en charge le volet documentation et recherche. Il a élaboré la méthodologie de recherche, a produit les documents de collecte de données, a réalisé sur place une collecte de données auprès d'une cohorte de participants à Sudbury, a compilé et a analysé les résultats et a rédigé le rapport préliminaire remis aux partenaires à la fin du projet lors de la rencontre de clôture. Il a aussi produit et diffusé le rapport final *Pour une implantation réussie de la formation par simulateur d'engins miniers au Québec*.

2.2. MÉTHODOLOGIE

Ce projet pilote consistait à évaluer la réceptivité des quinze participants à une expérimentation sur l'apprentissage de la conduite d'engins miniers par simulateur et à mesurer leur degré de satisfaction. La méthodologie élaborée par l'Institut devait également permettre d'évaluer les apprentissages réalisés par les quinze participants regroupés en quatre cohortes différentes et de caractériser son utilité, c'est-à-dire établir dans quelle mesure ces apprentissages ont véritablement permis une amélioration de leur rendement au travail.

L'évaluation d'une formation consiste essentiellement à porter un jugement sur sa valeur. Ce jugement peut s'appuyer sur des constats, des impressions ou des mesures (Dunberry et Péchard, 2007). Le modèle d'évaluation de la formation retenu par l'Institut pour ce projet pilote est une adaptation du modèle de Kirkpatrick (1959) qui, malgré les critiques qu'il suscite, est le plus largement utilisé et reconnu dans ce domaine.

Dans le cadre de ce projet pilote, l'Institut s'est intéressé à trois niveaux d'évaluation de la formation en entreprise : la réaction des participants, les apprentissages réalisés et l'applicabilité de la formation.

NIVEAU 1 : *RÉACTION DES PARTICIPANTS*

Ce niveau vise à mesurer rapidement ce que les participants pensent du programme ou de l'activité. Dans un contexte de marketing, il est associé à l'évaluation de la satisfaction du consommateur. Cette évaluation de la satisfaction est habituellement faite immédiatement après une activité de formation pour recueillir ce que ressentent les participants à la suite de la formation qu'ils viennent tout juste de terminer. Mesurer sur place la réaction des participants permet de manière très facile et peu coûteuse d'obtenir une rétroaction sur le processus de formation proposé. Cette rétroaction est surtout utile aux concepteurs et aux prestataires de formation, qui peuvent tenir compte de ces indications pour améliorer la formation offerte. De fait, bien que comportant un certain degré de subjectivité, les résultats de ce premier niveau d'évaluation établissent des éléments de diagnostic importants relatifs à l'efficacité du dispositif de formation et fournissent des pistes d'amélioration (Dunberry et Péchard, 2007). Une formation efficace doit provoquer des réactions favorables de la part des participants.

NIVEAU 2 : *APPRENTISSAGES RÉALISÉS*

Ce niveau évalue ce que les participants ont acquis par la formation sur le plan des connaissances, des habiletés ou des attitudes en fonction des objectifs. Il existe plusieurs raisons d'évaluer les apprentissages. Les trois principales concernent :

1. l'efficacité de la formation pour l'appropriation des contenus en lien avec les besoins préalablement formulés;
2. l'adéquation du processus de formation pour l'atteinte des objectifs;
3. la capacité de fournir aux participants une rétroaction sur leur niveau d'apprentissage.

NIVEAU 3 : **APPLICABILITÉ DE LA FORMATION**

Ce niveau évalue de façon plus précise l'utilité des apprentissages réalisés. Ce niveau d'évaluation s'impose pour savoir si la formation a atteint ses objectifs à long terme et contribue à l'amélioration du rendement individuel et des résultats organisationnels (Dunberry et Péchard, 2007). C'est ce niveau d'évaluation qui permet de déterminer dans quelle mesure les apprentissages faits pendant la formation ont été transférés au poste de travail et contribuent effectivement à améliorer le rendement du travailleur.

2.2.1. DÉMARCHE INDUCTIVE

La méthodologie appliquée à ce projet pilote est une démarche inductive typique. L'induction représente un type de raisonnement qui consiste à passer du spécifique au général. Elle permet de développer une idée par généralisation plutôt que par vérification à partir d'un cadre théorique préétabli. La démarche inductive permet d'adapter le canevas de recherche pendant la collecte de données. Autrement dit, les données ont été collectées sans qu'une hypothèse ne soit préalablement formulée. Ainsi, les caractéristiques et les avantages de la formation par simulateur se sont précisés en cours de projet par un va-et-vient continu entre les données de terrain et la recherche documentaire permettant leur catégorisation. L'analyse inductive extrait des données recueillies de nouvelles connaissances regroupées par catégories selon les thèmes les plus fréquents, dominants ou significatifs (Thomas, 2006).

En règle générale, l'utilisation de l'analyse inductive permet :

- > de donner un sens aux données brutes dans le but de faire ressortir des catégories;
- > d'établir des liens entre les objectifs de la recherche et les catégories émergentes.

Appliquée à ce projet pilote, l'analyse inductive permet de catégoriser les éléments caractéristiques de la formation par simulateur issus des données recueillies auprès des participants. Ces catégories peuvent émerger d'une opinion partagée par plusieurs personnes, d'une diversité de points de vue sur une même caractéristique ou d'un commentaire qui paraît significatif même si un seul participant l'a mentionné. L'objectif de cette analyse est de faire ressortir les caractéristiques qui facilitent ou qui font obstacle à l'implantation des simulateurs miniers (Blais et Martineau, 2006).

2.2.2. ÉCHANTILLON

L'échantillon sélectionné pour la mise à l'essai de la formation par simulateur était constitué de quinze opérateurs d'équipements miniers chevronnés, reconnus par leurs pairs pour leur implication en formation. Ces participants représentaient six entreprises minières et quatre entreprises de services du secteur minier québécois. Ces entreprises sont répertoriées dans le tableau 1. L'Institut national des mines n'a pas été associé directement dans la sélection des participants à ce projet.

TABEAU 1 ENTREPRISES MINIÈRES ET ENTREPRISES DE SERVICES QUI ONT PARTICIPÉ AU PROJET PILOTE

ENTREPRISES MINIÈRES	ENTREPRISES DE SERVICES DU SECTEUR MINIER
AGNICO EAGLE	CEMENTATION
BRACEMAC-MCLEOD	CMAC-THYSSEN
HECLA QUÉBEC	MACHINES ROGER
IAMGOLD	REDPATH
MINE SELEINE	
RESSOURCES MÉTANOR	

Les participants se sont rendus au Centre de technologie NORCAT, un établissement de formation de calibre mondial situé à Sudbury, en Ontario. Le Centre de technologie NORCAT se concentre sur l'ébauche d'une offre de formation à la fine pointe de la technologie visant principalement l'amélioration de la productivité et la réduction des accidents de travail découlant de la conduite d'équipements miniers souterrains. Répartis en quatre cohortes distinctes¹, les participants ont pu tester pendant leur formation de quatre jours consécutifs les possibilités offertes par un simulateur Cybermine ThoroughTec. Cette formation donnée par un formateur chevronné à des travailleurs expérimentés poursuivait essentiellement un objectif de démonstration des capacités de la formation par simulateur. Le simulateur Cybermine ThoroughTec utilisé pour ce projet reproduisait chaque jour un engin minier différent. Au total, quatre équipements miniers souterrains d'usage courant ont été mis à l'essai :

4. une chargeuse navette Sandvik LH514;
5. une chargeuse navette Caterpillar R1700;
6. une foreuse Atlas Copco 282;
7. une boulonneuse Maclean 928.

2.2.2.1. PROFIL DES PARTICIPANTS

L'âge moyen des participants, tous des hommes, sélectionnés pour prendre part au projet pilote était de 48 ans. Ils comptaient en moyenne 26 ans d'expérience professionnelle dans le domaine minier. Dans une portion de 80 %, ils occupaient des postes de formateurs internes au sein de leur entreprise depuis en moyenne 8 ans; 40 % des participants possédaient un diplôme d'études professionnelles en extraction du minerai, 26 % possédaient un diplôme d'études secondaires et 27 % étaient sans diplôme. Seulement 13 % des participants avaient déjà expérimenté une formation par simulateur minier et 33 % craignaient d'éprouver des difficultés à s'adapter à l'interface. Questionnés sur leurs habiletés technologiques, 60 % d'entre eux estimaient qu'elles sont « bonnes », tandis que 33 % croyaient qu'elles sont « très bonnes ».

2.2.3. OUTILS DE COLLECTE DE DONNÉES

Une méthode de collecte de données passive a été utilisée. Cette technique consiste à collecter des données de terrain en utilisant divers outils, sans intervenir de manière notable sur le terrain.

Le tableau 2 présente les outils de collecte de données qui ont été élaborés et utilisés dans le cadre de ce projet pilote.

¹ Les quatre cohortes distinctes se sont tenues les semaines du 22 février, 7 mars, 21 mars et 4 avril 2016.

TABLEAU 2 Outils de collecte de données

NIVEAUX D'ÉVALUATION	Outils	Composantes
NIVEAU 1 RÉACTION DES PARTICIPANTS	QUESTIONNAIRE 1 Profil des participants	Âge; Genre; Formation et expérience de travail; Habiletés technologiques et expérience de simulateur; Attentes et perception par rapport à la formation par simulateur.
	QUESTIONNAIRE 2 Évaluation de la satisfaction instantanée des participants	La qualité du formateur; Le contenu de la formation; La pertinence de la formation par rapport aux besoins de formation; L'environnement virtuel; Les compétences technologiques requises; La qualité des apprentissages et l'aide au transfert des compétences en situation de travail; La satisfaction générale; La pertinence de la formation pour les formateurs miniers.
NIVEAU 2 APPRENTISSAGES RÉALISÉS	QUESTIONNAIRE 3 Appréciation de la couverture des sujets	Accroissement de la productivité; Santé et sécurité; Efficacité de la machine.
	JOURNAL DE BORD	Synthèse des activités; Apprentissages réalisés; Commentaires, questions, réflexions.
NIVEAU 3 APPLICABILITÉ DE LA FORMATION	QUESTIONNAIRE 4 EN LIGNE Évaluation de la satisfaction différée des participants	La satisfaction des participants; L'utilité de la formation; Les connaissances acquises; La mise en pratique des connaissances développées, les résultats de la formation; Le rendement au travail de la personne.
	GROUPE DE DISCUSSION Retour sur l'expérience et validation	Aspects technologiques; Qualité du formateur; Contenu, pertinence et utilité de la formation par simulateur; Satisfaction générale; Recommandations.

2.2.4. LIMITES DE L'ÉTUDE

La formation à laquelle les participants ont assisté a été préparée spécialement pour ce projet pilote par le formateur du Centre de technologie NORCAT. Cette formation visait à familiariser les participants aux nombreuses possibilités offertes par le simulateur. La plupart des participants maîtrisaient déjà ces équipements. De fait, la majorité des exercices étaient en lien avec la mise en application de procédures d'urgence impossibles à tester sur des équipements réels plutôt qu'avec les habiletés de base nécessaires à la conduite de ces engins. Il s'agissait d'une démonstration des capacités du simulateur qui ne visait pas vraiment à évaluer les apprentissages réalisés. Les habiletés des participants n'ont donc pas été formellement évaluées ni avant, ni après la formation.

À titre comparatif, la formation courante offerte au Centre de technologie NORCAT au cours de laquelle des travailleurs miniers apprennent le fonctionnement d'un nouvel engin s'échelonne sur quatre jours consécutifs sur un seul équipement. Dans le cadre de ce projet pilote, un équipement différent était montré chaque jour.

Une autre limite du projet pilote est liée à la méthode d'évaluation utilisée, basée sur des questionnaires, un journal de bord et un groupe de discussion. Cette évaluation fournit des données exclusivement qualitatives sur l'appréciation des participants à l'égard de la formation. Certains facteurs, comme l'effet de groupe, l'euphorie éprouvée à la fin d'une formation et la présence du formateur pendant que les participants répondent aux questionnaires, peuvent introduire une certaine subjectivité dans le degré de satisfaction exprimé. Il faut également faire preuve de prudence dans la généralisation de ces résultats, car il est toujours possible que les réactions soient très bonnes à l'endroit d'un apprentissage inadéquat. De plus, le lien n'est pas toujours évident entre la satisfaction à l'égard d'une activité de formation et l'utilisation des apprentissages (Blouin, 2000). Enfin, à l'exception du questionnaire en ligne portant sur l'évaluation différée de la satisfaction,

qui est en fait une adaptation du Q4TE, un questionnaire standardisé conçu par Grohmann et Kauffeld (2013), les autres questionnaires élaborés n'ont pas pu être validés préalablement à leur utilisation.

Finalement, la majorité des participants au projet pilote occupent des postes de formateurs, de coordonnateurs ou de préventionnistes en entreprise. Ils ne conduisent plus d'engins miniers sur une base régulière. Ils n'ont donc pas été en mesure de qualifier le transfert des apprentissages qu'ils ont réalisés en contexte réel de travail.

2.3. RÉSULTATS DU PROJET PILOTE ET FAITS SAILLANTS

Avant de commencer la formation, les participants ont dû noter sur papier leurs attentes. Ils ont aussi formulé leurs préconceptions par rapport à la validité de la formation par simulateur, son effet sur les apprentissages réalisés et le transfert des apprentissages en contexte réel de formation. Après avoir terminé la formation, ils ont évalué sur place le degré d'atteinte de leurs attentes initiales à l'aide d'un questionnaire écrit. Plus tard, ils ont été sollicités de nouveau pour répondre aux mêmes questions verbalement au sein d'un groupe de discussion lors d'une rencontre qui s'est tenue le 28 avril 2016.

2.3.1. VALIDATION DES PRÉCONCEPTIONS

Le tableau 3 présente les principales préconceptions et constatations des participants à l'égard de la formation par simulateur.

TABLEAU 3 PRÉCONCEPTIONS ET CONSTATATIONS POSTFORMATION FORMULÉES PAR LES PARTICIPANTS

CATÉGORIES	PRÉCONCEPTIONS	CONSTATATIONS POSTFORMATION
EXPÉRIENCE DE FORMATION	Augmentation de la dextérité	L'augmentation de la dextérité est constatée.
	Évaluation du réalisme de la simulation	La simulation reflète fidèlement la réalité des manœuvres et des sensations.
	Acquisition de nouvelles méthodes de formation	La formation par simulateur permet de comprendre et d'enseigner rapidement le fonctionnement de la machine.
VALIDITÉ DE LA FORMATION	La qualité du simulateur influence la qualité des apprentissages réalisés.	
	La formation par simulateur donne une base de conduite aux nouveaux opérateurs.	Le simulateur permet d'apprendre les manœuvres de base à effectuer.
	La formation par simulateur ne peut pas remplacer la formation sur le terrain.	La formation par simulateur doit être suivie d'une formation pratique sur le terrain.
EFFETS SUR LES APPRENTISSAGES	La formation donne un avant-goût des tâches à réaliser.	La formation par simulateur constitue un outil de sélection et de confirmation du choix de carrière.
	Ce type de formation assure une meilleure connaissance des procédures d'urgence.	Le simulateur permet de pratiquer des procédures d'urgence qui sont habituellement vues en théorie seulement.
		La formation par simulateur permet une adéquation plus grande entre les exercices de formation et les difficultés éprouvées par l'apprenant.
		Les pratiques inadéquates sont repérées plus rapidement. Elles sont donc plus facilement corrigées.
		Les données d'évaluation précises du simulateur permettent de corriger des pratiques difficiles à observer sur le terrain.
TRANSFERT DES APPRENTISSAGES EN CONTEXTE RÉEL DE TRAVAIL	Les apprentissages faits sur le simulateur faciliteront les premières prises en charge en contexte réel.	Après une formation par simulateur, l'apprenti sera plus confiant et moins stressé lors de sa première prise en charge sur le terrain.
		Le formateur sur le terrain sera plus patient avec l'apprenti qui est déjà fonctionnel.
		La productivité de l'apprenti et de son équipe de travail sera augmentée.

2.3.2. SATISFACTION DES PARTICIPANTS À L'ÉGARD DE LA FORMATION PAR SIMULATEUR

Afin de mesurer la satisfaction des participants à l'égard de la formation par simulateur, leur évaluation individuelle a été recueillie par écrit immédiatement au terme de la formation. Les participants ont ensuite été invités à répondre à un questionnaire d'évaluation en ligne de 3 à 6 semaines après la tenue de la formation, selon les cohortes. Ce questionnaire était construit à partir du modèle validé Q4TE de Grohmann et Kauffeld (2013). Le taux de relance pour ce questionnaire est de 73 %. Cette démarche visait à vérifier si l'expression de la satisfaction à la fin de la formation avait été influencée par une certaine euphorie caractéristique de ce moment et si elle avait évolué une fois les participants revenus dans leur contexte habituel de travail (Gérard, 2003).

Pour exprimer leur satisfaction, les participants devaient évaluer leur niveau d'accord avec les énoncés proposés. L'échelle de 1 à 4 suivante était utilisée :

- > 4 — tout à fait en accord;
- > 3 — plutôt en accord;
- > 2 — plutôt en désaccord;
- > 1 — tout à fait en désaccord.

Le tableau 4 présente les résultats obtenus concernant la satisfaction globale des participants à la suite de la formation suivie sur simulateur à Sudbury. La moyenne (μ) est d'abord présentée, suivie de l'écart-type (σ), puis du coefficient de variation (η). Ce dernier permet d'évaluer le degré d'accord entre les participants. Lorsqu'il se situe sous 15 %, l'homogénéité des réponses obtenues est considérée comme bonne. Comme le rapporte le tableau 4, la moyenne de la satisfaction globale était de 3,71 immédiatement à la fin de la formation et de 3,73 quelques semaines plus tard. Cela signifie que les participants gardaient un bon souvenir de la formation et qu'ils étaient toujours satisfaits de la formation terminée entre 3 et 6 semaines plus tôt. Les coefficients de variation de 12,35 % et de 12,23 % indiquent une variation négligeable entre les individus et une bonne homogénéité des réponses. Ce résultat est encourageant. Néanmoins, il est essentiel de garder à l'esprit que les participants pourraient être satisfaits d'une formation inefficace.

TABLEAU 4 TAUX DE SATISFACTION IMMÉDIATE ET DE SATISFACTION DIFFÉRÉE

Satisfaction globale	Moyenne (μ)	Écart-type (σ)	Coefficient de variation (η)
Satisfaction immédiate	3,71	0,46	12,35 %
Satisfaction différée	3,73	0,46	12,23 %



2.3.3. CRITIQUES DE LA FORMATION PAR SIMULATEUR

L'analyse de l'ensemble des données recueillies a permis de relever certains éléments particuliers de la formation par simulateur que les participants ont critiqué. Ces éléments négatifs sont pour la plupart en lien avec des composantes de l'environnement virtuel qui sont moins réussies ou qui demandent une période d'adaptation. Il s'agit de :

- > la difficulté d'évaluation des distances et des profondeurs;
- > l'interprétation difficile des angles de vue et des détails topographiques;
- > l'impossibilité de faire certains ajustements sur le terrain, comme replacer le grillage entre la pose de boulons ou faire dévier un trou de forage déjà amorcé;
- > le manque de réalisme de certains éléments de l'environnement minier virtuel, par exemple, l'absence du bruit causé par la ventilation.



2.3.4. AVANTAGES DE LA FORMATION PAR SIMULATEUR

L'analyse des données d'évaluation a aussi permis de cerner les avantages de la formation par simulateur que les participants ont mis en évidence relativement au projet pilote. Ces avantages interpellent directement les opérateurs d'équipements miniers. Ils sont également susceptibles d'intéresser les superviseurs miniers.

Pour les opérateurs d'équipements, les principaux avantages sont les suivants :

Pendant la formation :

- > la formation est standardisée, c'est-à-dire qu'elle est la même pour tous les apprenants, ce qui facilite l'implantation de procédures communes et l'amélioration continue par la mise en place de meilleures pratiques;
- > l'absence de risques liés à la santé et à la sécurité du travail (SST) et l'absence de risques de bris d'équipement placent l'apprenant dans de meilleures dispositions, ce qui améliore la qualité des apprentissages;
- > en simulant des situations d'urgence, l'apprenant peut mieux comprendre les conséquences de pratiques inappropriées.

À la première prise en charge d'un équipement :

- > l'apprenant a une plus grande confiance en sa capacité de maîtriser l'équipement qui lui est confié;
- > ce niveau de confiance diminue son stress et améliore son rendement, ce qui, conséquemment, diminue le nombre d'incidents.

Les participants ont également fait ressortir l'intérêt pour les superviseurs miniers de suivre eux aussi une formation par simulateur. Les superviseurs miniers constituent un groupe hétérogène de travailleurs qui ont cheminé par des parcours professionnels et scolaires différents les uns des autres. Ils n'ont pas tous une connaissance préalable de la conduite d'engins miniers. Ils doivent toutefois encadrer les opérateurs d'équipements. Une formation par simulateur permettrait de les outiller d'une meilleure

compréhension des étapes et des contraintes de réalisation des tâches des employés sous leur supervision. La qualité de leurs observations ainsi que leur encadrement et leur rétroaction auprès des opérateurs de leur équipe s'en trouveraient améliorés.

2.3.5. COMMENTAIRES DES PARTICIPANTS DU PROJET PILOTE

Les commentaires suivants ont été formulés par les participants. Ils reflètent bien le niveau de satisfaction de l'ensemble des participants aux quatre cohortes évaluées.

- > « On se croirait vraiment en terrain réel, c'est absolument incroyable. Bravo! »
- > « J'espère revivre cette situation un jour avec mes confrères de travail. »
- > « Très impressionné, c'est un très bel outil de formation et va faire évoluer les mines. Good job! »
- > « Pour un formateur comme moi, je crois que toutes les entreprises minières et centres de formation devraient avoir accès à un simulateur. C'est un plus! »
- > « Impressionné du réalisme de la conduite. Sensation d'être dans une vraie machine. »
- > « J'ai resté très surpris par le réalisme du simulateur. Wow! »
- > « Il y a deux ans, on m'a parlé des simulateurs et je ne croyais pas à ça. Maintenant, je l'ai vu et je crois que ça a sa place! »

2.4. CONCLUSION DU PROJET PILOTE D'ÉVALUATION DE LA FORMATION PAR SIMULATEUR

L'analyse inductive des données recueillies en compilant les quatre questionnaires, les journaux de bord et les propos échangés en groupe de discussion a permis de regrouper les principaux éléments de contenus en trois grandes catégories. Ces catégories présentent les principaux avantages de l'implantation d'un programme de formation par simulateur minier en entreprise et dans le réseau des établissements d'enseignement publics.

2.4.1. AMÉLIORATION DE LA COMPÉTENCE EN SANTÉ ET SÉCURITÉ

L'amélioration de la compétence en santé et sécurité du travail est le principal avantage souligné par les participants à ce projet pilote, surtout en ce qui concerne la connaissance et la maîtrise des procédures d'urgence. Les participants ont été nombreux à reconnaître l'avantage de la formation par simulateur relativement aux procédures d'urgence. Dans une formation traditionnelle d'opérateurs d'équipements

miniers, les procédures d'urgence sont enseignées de façon théorique, puisqu'il est impossible de reproduire de telles situations en entreprise avec des équipements réels et encore moins en classe dans un contexte de formation initiale. La capacité qu'a le simulateur de permettre aux apprenants – travailleurs ou élèves – de pratiquer une grande variété de procédures d'urgence associées à un feu, une défaillance technique, un bris de matériel ou des conditions changeantes de terrain est considérée comme un avantage considérable.

Ensuite, en ce qui concerne les normes de sécurité, la proximité entre le formateur et l'apprenant pendant la formation permet de détecter rapidement les comportements à risque. Le formateur peut alors programmer le simulateur pour qu'il propose une série d'exercices qui aident l'apprenant à modifier ce comportement. La formation par simulateur permet donc de prendre conscience de l'importance de respecter les normes de sécurité et d'acquérir des comportements et des attitudes sécuritaires.



Enfin, dans une perspective d'amélioration continue des pratiques opérationnelles, la formation par simulateur serait utile non seulement aux employés affectés à de nouveaux types d'engins miniers, mais également à l'ensemble des opérateurs. L'implantation d'un programme de formation continue par simulateur en entreprise permettrait la mise en place d'un processus d'évaluation périodique des habiletés ainsi que l'introduction d'un programme de perfectionnement professionnel individualisé pour tous les opérateurs. Plusieurs types de formation spécifique pourraient aussi être instaurés et s'échelonner sur plusieurs mois en fonction des priorités de l'entreprise (amélioration de l'utilisation des freins, diminution des temps de cycle de chargement-déchargement, réduction des dépenses de carburant, etc.).

2.4.2. GAIN DE PRODUCTIVITÉ

Le gain de productivité est un autre avantage important mentionné par les participants à ce projet pilote. Cela s'exprime de plusieurs façons. Premièrement, l'utilisation d'un simulateur pour la formation des opérateurs d'équipements miniers diminuerait considérablement le temps requis actuellement pour la formation par compagnonnage sur le terrain. Selon les participants, le formateur sur le terrain, s'il n'a plus à enseigner les commandes de base, sera aussi plus patient envers son apprenti, ce qui améliorera la relation pédagogique entre les deux individus, et résultera en de meilleurs apprentissages.

Deuxièmement, la formation par simulateur permettrait l'optimisation des pratiques opérationnelles par la standardisation de la formation dispensée. Cette standardisation est perçue comme une garantie que tous les opérateurs ont reçu la même information et que les procédures opérationnelles mises en place par l'entreprise sont connues et intégrées par tous les travailleurs. Cela éviterait les « *on ne me l'a pas dit* » ainsi que les divergences d'interprétation de la part à la fois des apprentis et des formateurs.

Troisièmement, une formation sur le terrain par compagnonnage moins longue qu'elle ne l'est actuellement augmenterait la disponibilité des équipements, car des apprentis plus efficaces dès la première prise en charge d'un engin minier commettraient moins d'erreurs de novices nécessitant un entretien accru et des réparations longues et coûteuses.

C'est donc de plusieurs façons que la formation par simulateur augmenterait la productivité initiale des apprentis au bénéfice de toute l'entreprise.

2.4.3. RÉDUCTION DES COÛTS

La réduction des coûts est également un avantage constaté par les participants pour justifier l'implantation de la formation par simulateur en entreprise. La réduction des coûts serait perceptible à plusieurs niveaux, en lien direct avec le gain de productivité discuté plus avant. Tout d'abord, en augmentant la disponibilité d'un certain nombre d'équipements habituellement dédiés à la formation pour les attribuer à la production, la formation par simulateur contribue directement à diminuer les coûts de production. Un programme de formation par simulateur qui prépare les apprentis à leur première prise en charge d'un engin minier diminue aussi de façon importante

les risques de bris liés à des erreurs de novices. Une meilleure formation initiale réduit donc les coûts d'entretien et de réparation. Il est également possible d'aller encore plus loin en implantant des programmes de formation standardisés par simulateur qui visent des réductions de coûts particuliers, par exemple une diminution de la consommation de carburant en instaurant de nouvelles normes de conduite.

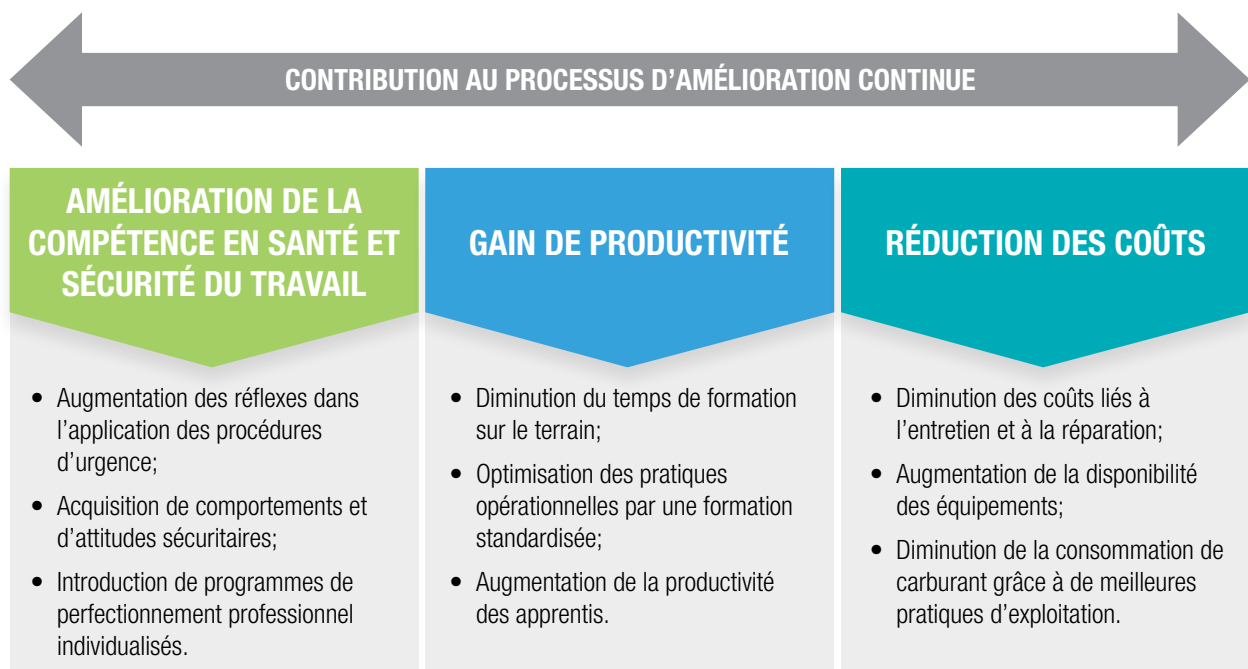
2.4.4. CONTRIBUTION AU PROCESSUS D'AMÉLIORATION CONTINUE

Un processus d'amélioration continue nécessite un effort constant et sur une longue période pour améliorer les procédés industriels dans une dynamique de changements graduels axés sur l'accroissement de l'efficacité. Dans un processus d'amélioration continue, tous les aspects permettant d'améliorer une partie d'un procédé industriel

sont pris en considération et sont inclus dans une démarche plus globale qui vise toujours l'augmentation de la productivité d'une entreprise.

Tous les avantages discutés précédemment ont en commun de contribuer de façon importante au processus d'amélioration continue que les entreprises minières du Québec et du Canada élaborent et mettent en œuvre actuellement. L'amélioration de la formation initiale des élèves et de la formation continue des travailleurs en implantant des simulateurs miniers dans les établissements d'enseignement publics et en entreprise s'inscrit harmonieusement dans un tel processus.

FIGURE 1 RÉCAPITULATIF DES AVANTAGES DE LA FORMATION PAR SIMULATEUR CONTRIBUANT AU PROCESSUS D'AMÉLIORATION CONTINUE



3 RECENSION DE LA LITTÉRATURE

Ce projet pilote a permis d'évaluer la satisfaction des participants à l'égard de la formation par simulateur. Les données recueillies permettent de déterminer les principaux avantages de l'intégration de simulateurs miniers pour la formation d'opérateurs d'engins miniers souterrains. L'Institut a également voulu mettre en contexte et compléter les résultats présentés précédemment en réalisant une recension de la littérature portant sur des aspects particuliers qui n'ont pas été suffisamment abordés dans le projet pilote. Cette démarche vise à favoriser l'implantation de la formation par simulateur pour le secteur minier en alimentant la réflexion des principaux intéressés par ce type de projet.

Les sections qui suivent présentent un portrait du dispositif actuel de formation des nouveaux opérateurs miniers, leur profil particulier, leurs besoins précis en matière de pédagogie et les avantages de la formation par simulateur pour les apprentis, pour les entreprises minières et pour les établissements d'enseignement. Elles se basent principalement sur les travaux de l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et sécurité du travail (IRSST, 2011 et 2015) à propos des conditions d'intégration des travailleurs du secteur minier ainsi que sur l'analyse de Hirsch (2015) à propos des avantages de la formation par simulateur.

3.1. TRAVAUX DE L'INSTITUT DE RECHERCHE ROBERT-SAUVÉ EN SANTÉ ET SÉCURITÉ DU TRAVAIL

L'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et sécurité du travail (IRSST) a publié deux rapports d'étude (2011 et 2015) portant sur les conditions d'intégration des nouveaux travailleurs dans le secteur minier. Ces études visaient principalement à documenter les conditions qui favorisent une intégration sécuritaire et la compétence des nouveaux travailleurs (d'âges et de parcours professionnels variés), notamment celles favorisant la transmission des savoirs entre travailleurs expérimentés et nouveaux travailleurs (IRSST, 2011).

D'entrée de jeu, il apparaît qu'en matière de formation des nouveaux opérateurs d'équipements miniers, les entreprises recherchent des moyens simples, adaptés au contexte, applicables sur le terrain, nécessitant peu de temps de libération de travailleurs et de perte de productivité et favorisant une évaluation directe des compétences. Elles préconisent également une approche basée sur des compétences de manipulations et de conduite.

3.1.1. CONCEPT DE NOUVEAUX TRAVAILLEURS

L'IRSST constate que la formation des nouveaux travailleurs n'est pas qu'une activité ponctuelle. Elle représente une occupation courante qui fait partie intégrante de l'exploitation minière quotidienne. De plus, considérant l'importante mobilité interne de la main-d'œuvre, les exigences de polyvalence, les impératifs de la production et la variabilité des situations de travail, l'IRSST suggère d'opter pour une conception élargie de la notion de nouveau travailleur. Un nouveau travailleur n'est donc pas seulement un employé nouvellement embauché. Il peut également s'agir d'un employé qui débute à un autre poste, d'une personne qui reprend le travail après une longue absence et d'un employé qui assure la relève à d'autres postes. Globalement, un nouveau travailleur se trouve habituellement en décalage technique, organisationnel ou culturel avec son nouvel environnement de travail.

3.1.2. TRANSMISSION DES SAVOIRS DE MÉTIER

L'IRSST remarque qu'actuellement la transmission des savoirs de métier, notamment les savoirs de prudence, repose en grande partie sur les bonnes intentions et les habiletés de communication des travailleurs expérimentés ainsi que sur les conditions de formation ou de travail en place pour transmettre ces savoirs. Or, certaines de ces conditions créent obstacle à la transmission des savoirs. Entre autres, en contexte minier, l'espace restreint dans les cabines de véhicules empêche le travailleur expérimenté d'accompagner en tout temps le nouvel opérateur créant ainsi obstacle à la transmission des savoirs. De plus, il n'est pas toujours facile pour les travailleurs expérimentés de verbaliser certains savoirs associés aux repères, aux stratégies et aux trucs mis en place qui sont devenus moins conscients. La transmission dépendra de la capacité réflexive du compagnon sur sa propre pratique et de ses habiletés à communiquer. L'IRSST rapporte aussi que les exigences de production et les contraintes de temps mettent souvent en échec la transmission des savoirs entre les travailleurs expérimentés et les apprentis.

3.1.3. CONTEXTE DE DILIGENCE RAISONNABLE

L'IRSST ajoute aux conditions qui influencent le dispositif d'intégration des travailleurs miniers le souci des entreprises de faire preuve de diligence raisonnable. En effet, l'adoption en mars 2004 de la Loi modifiant le Code criminel a eu un effet sur la structuration des dispositifs d'accueil et d'intégration ainsi que sur le développement de la formation en milieu de travail à l'intention des nouveaux travailleurs. Les trois composantes distinctes et essentielles auxquelles l'employeur doit maintenant se conformer pour répondre à cette obligation de faire preuve de diligence sont le devoir de prévoyance, le devoir d'efficacité et le devoir d'autorité.

Ces devoirs de l'employeur obligent d'avoir un système d'intégration et d'encadrement comprenant :

- > des directives et des procédures écrites;
- > l'entraînement et la supervision des employés et des superviseurs;
- > le renouvellement de l'entraînement;
- > l'évaluation périodique du système entier.

La Loi modifiant le Code criminel précise que la formation donnée doit être adaptée aux tâches particulières de chaque employé et couvrir les aspects techniques et ceux qui ont trait à la sécurité. Cependant, les exigences de production, la rémunération au rendement, la valorisation de la débrouillardise, la précarité d'emploi et les nombreuses procédures sont autant de facteurs qui peuvent compromettre la qualité de la formation de nouveaux employés. C'est pourquoi, depuis l'entrée en vigueur de cette loi, certains compagnons sont préoccupés par la responsabilité qui leur incombe au moment de l'accréditation de l'apprenant advenant un accident grave.

3.1.4. DIFFICULTÉS DES NOUVEAUX OPÉRATEURS

Un nouveau travailleur intégrant pour la première fois un poste dans une mine fera face à de multiples défis. Outre le repérage dans la mine et la maîtrise de la conduite du véhicule parmi des équipements surdimensionnés, il devra comprendre le domaine minier et les opérations. Seul à son poste après la formation, le nouveau travailleur, confronté à des situations inédites, désire montrer qu'il est capable de les maîtriser. Il est aussi préoccupé par la production, ce qui augmente le stress vécu.

Les études menées par l'IRSST ont permis de cerner les principales difficultés auxquelles sont confrontés les nouveaux opérateurs miniers. Voici les plus communes :

- > le cumul des nouveautés à apprendre en peu de temps;
- > la connaissance des lieux, de la circulation;
- > la connaissance du matériel et de la terminologie;
- > la maîtrise des codes et des modes de communication;
- > la connaissance et la maîtrise du véhicule ou de l'équipement;
- > la planification du travail pour être efficace;
- > la capacité à « lire » le terrain;
- > la détection de risques;
- > la diversité et la nouveauté des situations;
- > l'analyse et la résolution de problèmes;
- > le stress de montrer qu'on est capable de faire le travail confié;
- > les craintes pour sa propre sécurité.

Pour amoindrir ces nombreuses difficultés, l'IRSST recommande l'accès à des environnements d'apprentissage protégés de la pression de production. La formation par simulateur pour les opérateurs d'engins miniers représente une réponse à cette recommandation.

3.2. AVANTAGES DE LA FORMATION PAR SIMULATEUR

Les études exhaustives portant sur les conditions d'utilisation, les mesures de rendement, les retombées et les incidences de la formation par simulateur minier sont peu nombreuses. Pour traiter cette question, nous nous référons essentiellement à Hirsch (2015), Morgan et coll. (2011), Caterpillar (2009) ainsi que Goode et coll. (2013).

Certains domaines, comme la formation à la conduite automobile et à la conduite de véhicules lourds routiers, utilisent depuis bon nombre d'années des programmes de formation par simulateur. Ils disposent de données intéressantes. Ces données peuvent dans une certaine mesure être adaptées et contextualisées en vue d'évaluer la valeur ajoutée que pourrait avoir l'implantation de simulateurs dans le domaine minier au Québec.

L'étude la plus significative et complète du point de vue des multiples avantages de l'utilisation de programmes de formation par simulateur est celle de Hirsch (2015). Cette étude tente de répondre à la question fondamentale suivante : « *Comparativement à la formation traditionnelle, est-ce que la formation par simulateur est équivalente ou plus efficace?* »

Pour répondre à cette question, l'auteur présente d'abord huit raisons logiques pour lesquelles la formation par simulateur est plus efficace. Il présente par la suite une revue des recherches portant sur les avantages de la formation par simulateur d'un point de vue de l'efficacité de la formation, de la réduction des coûts et des économies financières.

3.2.1. RAISONS LOGIQUES EN FAVEUR DE L'UTILISATION DE FORMATION PAR SIMULATEUR

1. AUGMENTATION DE LA SÉCURITÉ

La première raison définie par Hirsch (2015) est l'augmentation de la sécurité à la fois pour l'apprenti et pour les personnes qui se trouvent dans son environnement de travail. En effet, les simulateurs permettent de confronter les apprenants à une grande variété de situations plus ou moins hasardeuses sans les risques associés. Les apprenants les plus téméraires peuvent ainsi mesurer les conséquences de comportements moins sécuritaires sans les blessures et les bris matériels associés.

2. ENTRAÎNEMENT POUR DES SITUATIONS CRITIQUES ET RARES

La formation par simulateur permet le développement d'une plus grande variété d'habiletés en une période de temps plus courte. Elle permet aux apprentis de pratiquer des manœuvres combinant des habiletés visuelles et psychomotrices complexes jusqu'à ce qu'elles soient exécutées automatiquement. Elle améliore aussi l'anticipation, la perception et la réponse aux dangers imminents.

3. ENTRAÎNEMENT DANS DES CONDITIONS SIMULÉES PROGRAMMABLES ET VARIABLES

Le simulateur permet de programmer le séquençage des apprentissages pour faciliter l'intégration des manœuvres en allant du facile au difficile et du simple au complexe. La programmation de nouveaux scénarios est également possible pour relever les défis évolutifs (nouvelles technologies, nouvelles configurations, nouvelles procédures, etc.).

4. STANDARDISATION DES PROGRAMMES DE FORMATION

La formation par simulateur assure l'atteinte des objectifs d'apprentissage par tous les apprenants indépendamment du lieu de formation, de la disponibilité des équipements ou des conditions du terrain.



5. APPLICATION DE PRINCIPES PÉDAGOGIQUES ÉPROUVÉS

La formation par simulateur assure le respect du rythme d'apprentissage de chaque individu. Elle favorise le développement d'un niveau de confiance en soi approprié par un processus d'acquisition de compétences allant du simple au complexe. Elle permet l'adéquation des apprentissages aux besoins de formation de même que la prise en compte de l'expérience personnelle. De plus, les apprentissages sont plus facilement transférables en contexte réel de travail.

6. AUGMENTATION DU CONTRÔLE DU PROCESSUS D'APPRENTISSAGE

La formation par simulateur donne un plus grand contrôle aux apprenants sur leur processus d'apprentissage. Elle permet un meilleur suivi de la progression des individus dans l'atteinte des objectifs de la formation. Elle encourage la révision périodique de procédures peu courantes en contexte réel de travail.

7. RÉTROACTION DE MEILLEURE QUALITÉ

Une formation par simulateur utilise plusieurs moyens de rétroaction, ce qui améliore les apprentissages réalisés. La pratique sur simulateur entrecoupée de rétroaction fréquente par le formateur met en place un processus itératif favorisant l'appropriation des apprentissages et leur transfert en contexte réel.

8. PROGRAMMES DE FORMATION DE FORMATEURS AMÉLIORÉS

La formation par simulateur offre des scénarios et des objectifs standardisés facilitant l'appropriation des contenus de formation par les formateurs. L'acceptation du contenu de la formation est augmentée. On observe donc moins de divergence dans les contenus présentés par les différents formateurs.

3.2.2. AVANTAGES DE LA FORMATION PAR SIMULATEUR APPUYÉS PAR LA RECHERCHE

Concevoir et réaliser une étude comparative à long terme portant sur les avantages de l'utilisation de la formation par simulateur est une démarche complexe et coûteuse. Hirsch, dans le contexte de son étude publiée en 2015, s'est limité à établir les avantages de l'efficacité à court terme de la formation par simulateur. Des données tirées des autres études mentionnées en début de section ont également été répertoriées par l'Institut pour compléter les résultats de Hirsch.



1. RÉDUCTION DES COÛTS ASSOCIÉS À LA CONSOMMATION DE CARBURANT ET AMÉLIORATION DE LA PRODUCTIVITÉ

Cet avantage repose sur l'acquisition par les apprentis de meilleures pratiques, notamment par la possibilité de mettre sur pied une formation de type écoresponsable. Un programme de formation de ce genre suivi par tous les opérateurs d'une flotte d'équipement peut permettre une diminution de la consommation de carburant variant de 2,64 % à 11,4 % (Hirsch, 2015).

Hirsch, citant Reed et coll. (2007), ajoute que le temps de cycle de chargement-déchargement et les changements de vitesse inappropriés sont eux aussi réduits à la suite de la formation par simulateur. Ces éléments contribuent significativement à l'augmentation de la productivité globale d'une entreprise.

2. RÉDUCTION DU TEMPS ET DES COÛTS DE FORMATION

Les études consultées par Hirsch mettent en évidence la réduction des coûts de formation de nouveaux opérateurs par l'implantation de programmes bien structurés de formation par simulateur. Ces économies sont liées à la réduction notable des heures de formation nécessaires pour acquérir et maîtriser les compétences requises.

Ainsi, des études comparatives de programmes de formation par simulateur et de formation traditionnelle portant sur l'efficacité de la formation mesurée en fonction du temps nécessaire pour garantir le transfert et l'acquisition des compétences proposent un ratio de 1 : 2,4 (Hirsch, 2015). Cela signifie qu'une heure de formation en simulateur équivaut à 2,4 heures de formation traditionnelle dans un camion avec un formateur.

Une étude de Morgan et coll. (2011) traite aussi du temps de formation nécessaire pour des conducteurs de gros camions. Selon cette étude, des conducteurs novices formés par simulateur ont eu besoin de 60 % du temps de formation habituellement nécessaire pour achever leur formation. Ces conducteurs obtiennent d'aussi bons résultats que des conducteurs qui avaient effectué toutes les heures de formation sur un véritable équipement (ratio équivalant à 1 : 1,67).

En 2009, Caterpillar a publié des données du North Central Kansas Technical College. Ce collège offre un programme de formation d'opérateurs d'équipements lourds. Il forme en moyenne 40 élèves par année. Selon ce collège, l'implantation de simulateur pour donner une partie de la formation permet des économies évaluées à 243,10 \$² par élève. Ces économies sont calculées en tenant compte de la consommation de carburant, de la maintenance et la dépréciation d'un équipement dédié à la formation. De plus, le collège précise que cette évaluation des économies ne tient pas compte des pertes de temps occasionnées par les accidents, des réparations des bris d'équipement et de la hausse des primes d'assurances. Il ajoute que des économies sur le salaire des enseignants peuvent aussi être réalisées, car la formation par simulateur demande un ratio formateur : élèves de 1 : 3, alors que la formation sur les véritables équipements nécessite un ratio 1 : 1.

2 Selon les données de 2009, variable selon la fluctuation des prix du marché.

3. AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DES PROGRAMMES DE FORMATION

Les opérateurs qui ont terminé un programme de formation par simulateur obtiennent de meilleurs résultats lorsque sont évaluées certaines de leurs habiletés. Par exemple, les opérateurs entraînés par simulateur perçoivent mieux et répondent plus adéquatement à des situations hasardeuses. Ils ont aussi de meilleures habitudes pour l'utilisation des freins, de la limite de la vitesse et du mouvement des yeux (Goode et coll., 2013).

4. DÉTECTION ET RÉTENTION DES OPÉRATEURS LES PLUS HABILES ET SÉCURITAIRES

L'évaluation des habiletés et des comportements à l'aide d'un simulateur permet de prédire le rendement des futurs opérateurs lorsqu'ils seront en poste. Ce genre de données peut être utilisé dans un processus de sélection de nouveaux opérateurs et de perfectionnement d'employés. Virage Simulation, un fournisseur de produits et de services visant une conduite sécuritaire par une offre de solutions de formation basées sur l'utilisation de simulateurs a d'ailleurs mis au point un outil d'évaluation multidimensionnelle portant sur les comportements sécuritaires. Cette évaluation peut être utilisée comme outil normatif avant l'embauche, pendant la formation initiale et à la formation continue des opérateurs de camions (Hirsch, 2015).

5. NOTES D'APPRÉCIATION ÉLEVÉES VENANT DES UTILISATEURS

Les participants à un programme de formation par simulateur ont une grande confiance en la valeur de ce type de formation. Ils considèrent également qu'il s'agit d'une méthode de formation « novatrice et interactive » (Hirsch, 2015), ce qui représente un autre avantage.

3.3. CARACTÉRISTIQUES ET AVANTAGES DE L'APPROCHE PÉDAGOGIQUE DE LA FORMATION PAR SIMULATEUR

La section qui précède a dressé le portrait des avantages de la formation par simulateur dans le domaine de la conduite d'équipement des points de vue de la réduction des coûts, de la réduction de la durée de la formation et de l'efficacité globale dans l'atteinte des objectifs de la formation. La section qui suit s'attardera davantage à documenter les avantages de l'implantation de programmes de formation par simulateur dans le secteur minier en lien principalement avec l'approche pédagogique à préconiser pour cette population particulière. Les éléments présentés sont issus des travaux de Delvaux et Tilman (2012), Knowles (1990), Munoz (2003) et du ministère de l'Éducation de l'Ontario (2008).

3.3.1. PROFIL DES APPRENTIS OPÉRATEURS D'ÉQUIPEMENTS MINIERES

Pour comprendre quels sont les avantages de la formation par simulateur pour une population constituée d'opérateurs miniers, il convient d'abord de présenter les principales caractéristiques de ces apprenants.

Les nouveaux opérateurs d'équipements miniers regroupent plusieurs catégories de travailleurs. Il peut s'agir d'employés nouvellement embauchés. Dans ce cas, la majorité d'entre eux est constituée de jeunes adultes âgés de 18 à 25 ans qui ont un diplôme du secondaire [Diplôme d'enseignement secondaire (DES) ou diplôme d'enseignement professionnel (DEP)]. Lorsqu'il s'agit de travailleurs plus expérimentés assignés à un nouvel équipement, l'âge moyen augmente et le niveau de scolarité a tendance à diminuer. Bien que certains possèdent un DES ou un DEP, nombre d'entre eux n'ont pas terminé leurs études secondaires.

En somme, il s'agit d'apprenants adultes avec des parcours scolaires courts. Cet effectif étudiant acquiert des connaissances et des compétences en prenant une part active à leur processus d'apprentissage. Ce sont des apprenants qui doivent sentir qu'ils sont maîtres de leur apprentissage et qu'ils sont capables de réussir. De plus, la prise en compte de leurs expériences antérieures est essentielle pour qu'ils puissent tisser des liens et donner du sens à ce qui leur est enseigné. Leur apprentissage sera facilité s'il apparaît indispensable à la réussite de la tâche proposée.

3.3.2. DÉFIS DE LA FORMATION DES ADULTES

Les apprenants adultes ont des besoins particuliers qui doivent être satisfaits dans une structure de formation qui leur est destinée. Pour qu'un programme de formation s'adressant à des adultes ait du succès, il doit passer par-dessus trois défis à la formation (Delvaux et Tilman, 2012).

D'abord, il faut contrer le souvenir de l'école qui pour certains n'a pas toujours été des plus heureux. En effet, les attitudes des adultes en formation peuvent être marquées par des tensions qui se manifestent quand le contenu de la formation prend une tournure plus théorique. Ensuite vient l'obstacle des routines professionnelles. On observe souvent chez des travailleurs plus expérimentés des réticences à adopter de nouveaux comportements. Les routines professionnelles rassurent et elles permettent d'économiser de l'énergie. Pour que les adultes s'investissent dans leur apprentissage, il est nécessaire qu'ils voient comment la formation va contribuer à accroître leur rendement. De plus, pour qu'ils acceptent de faire confiance au formateur qui leur propose de modifier leurs habitudes, il est impératif que ce dernier soit crédible à leurs yeux. Enfin, le lien que les adultes cherchent à établir entre le contenu de la formation et leur expérience doit être évident. Cette recherche d'articulation est spontanée. Quand le lien peut s'établir, la motivation est plus forte et l'appropriation du contenu plus facile.

En somme, une formation qui s'adresse à des adultes issus d'un milieu professionnel doit, pour être efficace, proposer des apprentissages significatifs, c'est-à-dire que l'apprenant doit savoir pourquoi il apprend quelque chose. Elle doit être concrète et permettre à l'apprenant de s'impliquer dans son processus d'apprentissage et lui donner un sentiment de maîtrise. Finalement, l'adulte apprend mieux quand le contenu est d'usage immédiat. L'implantation de programmes de formation par simulateur peut contribuer à surmonter ces défis et garantir le succès de la formation.

3.3.3. PRINCIPES ANDRAGOGIQUES ET FORMATION PAR SIMULATEUR

Sur la base des caractéristiques de l'effectif d'apprenants constitué d'opérateurs d'équipements miniers et les défis présentés précédemment, il est approprié de faire le rapprochement avec la formation des adultes telle qu'elle est définie par les principes andragogiques. Cette section démontrera comment la formation par simulateur respecte ces principes et, de ce fait, convient à l'effectif étudiant du secteur minier.

Rappelons que l'adulte a des rôles et des responsabilités multiples qui peuvent soit concurrencer l'apprentissage ou le compléter. Il éprouve parfois de l'anxiété face à la formation et sa confiance en lui influence son attitude vis-à-vis de l'apprentissage. L'adulte en formation désire que son apprentissage soit centré sur des problèmes avec des pratiques immédiates. Habituellement, son point de départ pour apprendre repose sur ses expériences antérieures.

Les quatre grands principes de l'andragogie qui ressortent de ces caractéristiques (Knowles, 1990) sont présentés dans le tableau 5 et mis en relation avec certains avantages de la formation par simulateur.

TABLEAU 5 RELATIONS ENTRE LES GRANDS PRINCIPES DE L'ANDRAGOGIE ET LES AVANTAGES DE LA FORMATION PAR SIMULATEUR

PRINCIPES	CARACTÉRISTIQUES	AVANTAGES DE LA FORMATION PAR SIMULATEUR
LE CONCEPT DE SOI	L'adulte prend sa vie en main, prend ses décisions et fait des choix éclairés.	La formation par simulateur permet à l'apprenant d'être autonome dans ses apprentissages et de mesurer les résultats de ses décisions.
L'EXPÉRIENCE	L'adulte fait référence à son expérience pour apprendre.	La formation par simulateur permet d'adapter les situations d'apprentissage à l'expérience de l'opérateur et tient compte de ses forces et de ses faiblesses.
LA MOTIVATION	L'apprentissage doit s'orienter vers des tâches et des situations réelles. L'adulte est motivé par le but à atteindre, par l'activité et par l'apprentissage.	La formation par simulateur propose des activités concrètes qui permettent de développer des habiletés comportementales transférables en situation de travail.
LES BESOINS DE L'ADULTE	L'apprentissage doit être utile et pratique dans l'immédiat.	La formation par simulateur reflète la réalité du travail quotidien de l'opérateur qui comprend mieux la pertinence des activités d'apprentissage qui lui sont proposées.

La formation des adultes ne peut donc consister uniquement à leur transmettre des connaissances. Elle doit leur permettre de mettre en valeur et d'utiliser leurs propres connaissances et de participer à leur apprentissage. Qui plus est, le sentiment d'autoefficacité ou de compétence personnelle est particulièrement important pour qu'ils s'investissent dans la formation et maintiennent un haut niveau de motivation. Ainsi, le succès d'une formation aux adultes repose sur la mise en place d'un contexte d'apprentissage conçu pour promouvoir l'autonomie de l'apprenant et proposer des activités d'expérimentation favorable à une construction active des connaissances. Ces critères de succès sont caractéristiques de la formation par simulateur.

3.3.4. PÉDAGOGIE DE L'INCIDENT

Munoz (2003) soutient que c'est à partir des pannes, des anomalies, des imprévus et des problèmes que se développe la capacité de résolution de problème en situation de travail et que se constituent les compétences professionnelles. C'est ce qu'il appelle la pédagogie de l'incident. La formation par simulateur s'inscrit parfaitement dans ce type de pédagogie. En effet, tous les formateurs par simulateur accordent une importance particulière aux situations d'urgence, aux événements imprévus et aux conditions d'exploitation rares, mais tout de même possibles auxquels peuvent être confrontés les opérateurs. Cette pratique développe des réflexes en matière de santé et de sécurité, et surtout, elle éveille les opérateurs aux éventuelles situations dangereuses pouvant avoir lieu pendant leur quart de travail.

3.3.5. L'ÉVALUATION AU SERVICE DE L'APPRENTISSAGE

L'apprenti opérateur d'équipements miniers est un apprenant aux caractéristiques et aux besoins particuliers. En formation, la clé du succès est de lui permettre de réguler son apprentissage, de lui fournir un sentiment de maîtrise de son apprentissage, de préconiser la compréhension de l'utilité des apprentissages à réaliser, ce qui a une influence sur sa motivation, son implication et son effort.

L'adulte en formation a généralement peur d'être jugé. Se tromper est habituellement considéré comme une faute, avec la connotation morale qui y est liée : mésestime de soi, sentiment de ne pas être à la hauteur. Pour éviter ce piège de l'évaluation, celle-ci doit avoir une visée formative, c'est-à-dire qu'elle situe la progression d'un apprenant par rapport à un objectif donné. Si les apprenants comprennent que les erreurs, si elles sont analysées, sont des indicateurs des progrès réalisés et des points précis qu'il convient de retravailler, alors déceler ses erreurs ne fait plus peur. Au contraire, leur repérage peut être recherché pour progresser dans la formation (Ministère de l'Éducation de l'Ontario, 2008).

La méthode utilisée pour procéder à l'évaluation des apprentissages lors d'une formation par simulateur comprend les apprenants en tant qu'évaluateurs actifs, engagés et critiques. Ils peuvent interpréter l'information sur leur rendement, faire des liens avec ce qu'ils savent et ce qu'ils maîtrisent déjà et établir les compétences qui leur restent à acquérir.

Dans ce contexte, le formateur agit comme guide et se sert de l'évaluation comme outil d'investigation. Il peut en savoir plus sur ce que l'apprenant sait et sait faire ainsi que sur les conceptions erronées, les confusions ou les lacunes. L'évaluation au service de l'apprentissage se réalise donc pendant toute la formation par simulateur. Elle est interactive et les formateurs :

- > adaptent leur enseignement aux résultats d'apprentissage;
- > déterminent les besoins d'apprentissage individuels;
- > sélectionnent et adaptent les activités et les exercices proposés;
- > fournissent une rétroaction immédiate aux apprenants.

Voilà autant d'avantages de la formation par simulateur qui justifient son implantation dans le secteur minier.

4 DISCUSSION

La formation des nouveaux travailleurs n'est pas qu'une activité ponctuelle ciblée dans le temps. Elle représente une activité courante qui fait partie intégrante des activités minières quotidiennes. En effet, un nouveau travailleur n'est pas seulement un employé nouvellement embauché. Ce terme regroupe également des employés qui changent de poste, des personnes qui reprennent le travail après une longue absence et des employés de relève assignés temporairement à certains postes. L'Institut national des mines veut démontrer avec cette présente étude les nombreux avantages de la formation par simulateur pour tous ces nouveaux opérateurs d'équipements miniers. En ce sens, elle sera utile tant aux établissements d'enseignement publics qui désirent mettre sur pied une offre de formation par simulateur qu'aux entreprises minières désireuses de recourir à la simulation pour l'amélioration continue du rendement des travailleurs.

4.1. PRINCIPAUX CONSTATS CONCERNANT LE DISPOSITIF DE FORMATION ACTUEL DES NOUVEAUX OPÉRATEURS MINIER

Cette section fait le lien entre le projet pilote d'évaluation de la formation par simulateur réalisé par l'Institut national des mines au printemps 2016 et plusieurs éléments rapportés par l'IRSST dans ses rapports de 2011 et de 2015 portant sur l'intégration sécuritaire et compétente de la main-d'œuvre dans le secteur minier.

Les études de l'IRSST dressent un portrait des pratiques d'intégration et des dispositifs de formation utilisés. En s'appuyant sur ces travaux, l'Institut fait un parallèle entre les conditions favorisant une intégration sécuritaire et compétente des nouveaux travailleurs miniers et les avantages de la formation par simulateur pour ces mêmes travailleurs. L'Institut croit que le dispositif de formation actuel du secteur minier pourrait être bonifié par une offre de formation par simulateur.

Le tableau 6 regroupe en cinq thèmes les constats qui découlent à la fois du projet pilote d'évaluation de la formation par simulateur d'engins miniers réalisée par l'Institut national des mines et de deux études indépendantes réalisées par l'IRSST en 2011 et 2015.

TABLEAU 6 CONSTATS SUR LES PRATIQUES D'INTÉGRATION DES NOUVEAUX OPÉRATEURS ET APPORTS DE LA FORMATION PAR SIMULATEUR

THÈMES	CONSTATS	APPORTS DU SIMULATEUR
SITUATIONS D'ACTION CARACTÉRISTIQUE	Le dispositif de formation actuel ne permet pas aux novices d'être exposés à toutes les situations possibles avant leur entrée dans le métier. Pourtant, la maîtrise de ces situations est critique pour la réalisation du travail.	La formation par simulateur fait appel à une pédagogie de l'incident qui permet aux apprentis d'être confrontés à toutes les situations possibles. Les apprentis développent des réflexes en lien avec l'application de procédures impossibles à pratiquer dans un contexte réel.
PROXIMITÉ SPATIALE	L'espace restreint dans les cabines des équipements empêche le formateur d'accompagner l'apprenti. Les observations sont incomplètes et les rétroactions sont moins efficaces parce qu'elles ne peuvent être données immédiatement.	Un dispositif de formation par simulateur permet au formateur d'être aux côtés de l'apprenti pendant toute sa formation. Il peut ainsi observer l'ensemble des manœuvres réalisées et intervenir au moment opportun pour consolider ou corriger certaines pratiques.
STANDARDISATION DE LA FORMATION	Certains éléments du contenu de la formation de nouveaux opérateurs, ainsi que leur mode de transmission sont tributaires des habiletés de communication et de la capacité de réflexion sur leur pratique des formateurs sur le terrain.	La formation par simulateur standardise tant les éléments de contenu qui sont transmis que la façon dont ils sont transmis. Cette formation garantit l'atteinte de l'ensemble des objectifs de formation par tous les apprenants.
PATIENCE DU FORMATEUR	Un formateur sur le terrain doit faire preuve de beaucoup de patience avec un nouvel opérateur en raison de la complexité des connaissances à transmettre et du contexte de production dans lequel se déroule la formation.	La formation par simulateur permet aux apprentis d'acquérir les connaissances de base pour opérer un équipement avant la première prise en charge réelle. Ils arrivent donc sur le terrain mieux préparés et capables de soutenir un rythme qui ne pénalise pas la production. La relation entre l'apprenti et le formateur est améliorée, puisque ce dernier ressent moins de pression.
DISPOSITION DE L'OPÉRATEUR (STRESS)	Les nouveaux opérateurs doivent gérer un stress important lors de leur formation en lien avec les risques d'accidents avec blessés, bris d'équipement et ralentissement de la production. Ce stress nuit au maintien d'un climat d'apprentissage optimal.	Une formation par simulateur constitue un environnement d'apprentissage protégé. Elle évacue plusieurs facteurs de stress en plaçant l'apprenti dans de meilleures conditions d'apprentissage. L'apprenti sera également plus confiant en ses moyens lors de sa première prise en charge réelle, ce qui évitera certaines erreurs de novices.



4.2. AVANTAGES DE LA FORMATION PAR SIMULATEUR POUR LES ENTREPRISES MINIÈRES

En plus des apports mentionnés dans le tableau 6, d'autres avantages de la formation par simulateur méritent d'être pris en considération dans l'élaboration d'une stratégie de mise en place d'une offre de formation par simulateur.

4.2.1. DILIGENCE RAISONNABLE ET LE CODE CRIMINEL

Certains des participants au projet pilote de l'Institut ont mentionné que la formation par simulateur contribue à faciliter la tâche des formateurs miniers et augmente leur niveau de confiance lorsqu'ils accèdent à un nouvel opérateur. Ces participants faisaient référence au principe de diligence raisonnable et à la Loi modifiant le Code criminel (responsabilité pénale des organisations). En somme, ils soutenaient qu'une formation par simulateur standardisée obligatoire pour tous les nouveaux opérateurs garantit que tous les éléments essentiels prévus au programme de formation ont été couverts. La qualité du message émis par les formateurs et les compagnons de même que la réception du message reçu par les apprentis s'en trouvent améliorés. Selon les participants, il y aurait également moins de divergence dans l'interprétation des règles et des procédures. En s'appuyant sur une formation par simulateur, les formateurs peuvent garantir qu'un opérateur qui termine sa formation a vu et a été évalué sur l'ensemble des éléments de contenu prescrits.

Par ailleurs, offrir un programme de formation standardisée par simulateur permet aux entreprises de remplir leur devoir de prévoyance. Ce devoir exige que l'employeur s'assure que ses employés ont la compétence et l'information nécessaires afin d'effectuer chacune des tâches qui leur sont demandées. Le devoir d'efficacité serait aussi accompli parce que l'employeur s'assure que chaque employé reçoit une formation adaptée à ses tâches particulières couvrant l'aspect technique du travail et l'aspect sécurité du travailleur. Un système efficace comprend entre autres des procédures claires enseignées aux employés ainsi que l'entraînement à la mise en pratique de ces procédures (Saulnier, 2013).

4.2.2. AMÉLIORATION CONTINUE ET ACCROISSEMENT DU RENDEMENT

Depuis plusieurs années déjà, les entreprises minières ont un souci accru du rendement. Certaines entreprises élaborent et mettent en application des processus d'amélioration continue. Ils ont une portée globale et doivent, en principe, permettre de revoir l'ensemble des structures de gestion afin de les optimiser. En matière de perfectionnement et de formation de la main-d'œuvre, la formation par simulateur peut contribuer de façon importante à tout processus d'amélioration continue, notamment par la mise en place de programmes de perfectionnement professionnel individualisés.

4.2.2.1. PROGRAMMES DE PERFECTIONNEMENT PROFESSIONNEL INDIVIDUALISÉS

Dans une perspective de détermination et de transfert des meilleures pratiques entre les employés d'une entreprise, la formation par simulateur permet d'élaborer des programmes de perfectionnement professionnel individualisés qui favorisent une mise à niveau périodique des compétences des travailleurs selon des normes définies par l'entreprise en fonction des priorités opérationnelles à moyen et à long terme.

Un programme de formation par simulateur pour les opérateurs peut également encadrer et faciliter la progression en emploi. En effet, des niveaux de rendement distincts peuvent être définis pour les novices, les débutants avancés, les opérateurs compétents et les experts. Une formation par simulateur bien structurée, incluant des mises à niveau périodiques et utilisant des critères d'évaluation progressifs, contribue à accroître le niveau moyen de compétences de l'ensemble des opérateurs d'une entreprise.

À titre d'exemple, certains programmes de perfectionnement des opérateurs pourraient miser sur l'amélioration de la conduite des équipements en adoptant des habitudes de conduite écoresponsable. En effet, même si les équipements d'aujourd'hui sont conçus pour consommer moins de carburant et produire moins de pollution, les opérateurs d'équipements peuvent toujours contribuer significativement aux efforts environnementaux. Des techniques aussi simples que diminuer la vitesse du moteur et effectuer un positionnement correct de la machine peuvent contribuer à réduire jusqu'à 15 % la consommation de carburant (Finning Eco-Drive™, 2016). Considérant que le carburant équivaut au tiers des frais d'exploitation d'une machine, cela est non négligeable. En somme, déployer des techniques écoresponsables chez les opérateurs dans une démarche structurée d'amélioration continue permet de diminuer les coûts de carburant, de diminuer les émissions de gaz carbonique, de ralentir l'usure normale de la machinerie, d'augmenter la productivité et de réduire la fatigue physique et mentale de l'opérateur.

4.3. AVANTAGES DE LA FORMATION PAR SIMULATEUR POUR LES ÉTABLISSEMENTS D'ENSEIGNEMENT

Les avantages de la mise en place d'une offre de formation par simulateur par les établissements d'enseignement qui dispensent de la formation minière sont nombreux. Par exemple, les simulateurs miniers offrent plusieurs possibilités à l'intérieur des programmes de formation initiale. Les outils technologiques qu'ils contiennent permettent :

- > l'évaluation des habiletés lors de la présélection des candidats à la formation. Cette évaluation :
 - › favorise un traitement équitable des demandes d'admission;
 - › facilite le recrutement des meilleurs candidats, ce qui augmente la cote des établissements auprès des futurs élèves;
 - › assure que tous les élèves auront les habiletés requises pour réussir leur stage en entreprise, ce qui contribue à la renommée de l'établissement auprès de l'industrie et du public en général et également à un meilleur taux de placement des diplômés;
 - › évalue l'aptitude des candidats pour réussir dans la pratique du métier;
- > le soutien à la formation et l'entraînement autonome pour les élèves, ce qui :
 - › permet à ceux et celles éprouvant plus de difficultés de s'investir davantage pour atteindre les objectifs en vue d'être prêts pour le passage sur le terrain;
 - › accélère la formation pratique, ce qui dégage du temps pour faire d'autres apprentissages (techniques plus avancées ou mises à niveau dans d'autres domaines);
 - › améliore le contexte de l'apprentissage et conséquemment sa qualité;
- > la promotion de la formation menant à des métiers miniers auprès des jeunes et du public dans différents salons ou colloques, ce qui :
 - › augmente la notoriété des programmes de formation et des établissements;
 - › contribue au recrutement de nouveaux élèves;
 - › sert d'outil d'orientation ou de confirmation du choix de carrière;
- > l'amélioration de la sécurité lors de la première prise en charge d'engins, ce qui :
 - › diminue le nombre d'incidents et d'accidents (réduction des coûts d'entretien, de réparation, etc.).

De plus, l'utilisation d'un simulateur change la dynamique des programmes de formation en faisant porter l'apprentissage davantage sur l'essentiel des tâches à accomplir par un opérateur. Le rythme de la formation est facilement adaptable à chacun des élèves, qui deviennent ainsi plus autonomes dans leur apprentissage. L'apprentissage par simulateur donne des résultats éprouvés, fondés sur des critères de rendement pouvant être modulés selon la progression de l'étudiant. Enfin, ce type d'apprentissage est uniforme et standardisé.

RECOMMANDATIONS POUR UNE

5 IMPLANTATION RÉUSSIE DE

FORMATION PAR SIMULATEUR

La formation par simulateur destinée aux opérateurs d'engins miniers comporte de nombreux avantages qui ont été exposés dans les sections précédentes. Cependant, introduire un programme de formation par simulateur demande une planification rigoureuse pour en garantir le succès. Les recommandations suivantes s'adressent aux établissements d'enseignement, aux entreprises minières et aux organismes qui souhaitent mettre sur pied et offrir des programmes de formation par simulateur pour les opérateurs d'engins miniers. Elles tiennent compte à la fois des résultats du projet pilote de l'Institut national de mines et d'une recension de la littérature à ce sujet. En plus des références mentionnées au préalable, nous faisons référence également à Dunberry et Péchard (2007).

5.1. CONCERTATION ET PARTENARIAT PÉDAGOGIQUE

Le succès de l'implantation d'une formation par simulateur repose sur une démarche de concertation à laquelle doivent participer conjointement les établissements de formation ainsi que les entreprises minières. Dans une perspective d'amélioration continue du rendement des entreprises, les établissements d'enseignement pourraient accompagner les entreprises minières dans la définition et la mise en place d'une démarche de formation continue. Le principal défi consiste à établir clairement les objectifs opérationnels devant être acquis et maîtrisés par les opérateurs à différents stades de leur cheminement professionnel et dans une perspective de temps prédéterminée. À terme, un programme de formation couvrant plusieurs aspects particuliers pourrait être élaboré. Les établissements pourraient encadrer la formation continue des opérateurs en lien avec les objectifs des entreprises, à court, moyen et long terme.

Le partenariat pédagogique peut également prendre appui sur le traitement rapide de vastes banques de données disponibles en entreprise et qui permettent de déterminer des problèmes précis nécessitant la mise en œuvre de processus d'apprentissage adaptés et individualisés. Dans tous les cas, un projet pédagogique partagé entre l'entreprise et le lieu où se donne la formation est gage de succès. Il contribue à la construction d'une stratégie de formation basée sur une progression des compétences à acquérir pour offrir des possibilités d'apprentissage complexe multiples.

En d'autres mots, l'arrimage entre les objectifs pédagogiques poursuivis par les représentants des établissements d'enseignement et les améliorations du rendement au travail souhaitées par les entreprises minières est souhaitable dès la conception de la formation (Dunberry et Péchard, 2007).

5.2. QUALITÉ DU PROGRAMME DE FORMATION

Le succès d'un programme de formation par simulateur se mesure par le transfert des apprentissages réalisés en contexte réel de travail. Une formation de qualité doit permettre aux apprentis d'acquérir les connaissances, les habiletés et les attitudes nécessaires pour adopter des pratiques sécuritaires et productives en contexte de travail. Ce succès repose également en grande partie sur la qualité des formateurs.

5.2.1. RÔLE DU FORMATEUR

Les participants au projet pilote réalisé par l'Institut ont insisté sur l'importance du formateur dans la qualité d'une formation par simulateur. En effet, l'accès à un simulateur ne garantit pas à lui seul une formation de qualité. Le formateur joue un rôle crucial. Il doit être crédible aux yeux des apprentis. Il doit aussi avoir une vaste expérience du monde minier, faire preuve d'une grande capacité réflexive sur sa propre pratique et démontrer d'excellentes habiletés de communication afin de verbaliser les moindres détails susceptibles d'influencer la réalisation d'une tâche (IRSST, 2011 et 2015).



De façon plus générale, le rôle du formateur est de proposer des apprentissages informels dans l'action, en s'inspirant de problèmes réels directement associés au travail à réaliser par les apprenants. La formation par simulateur doit les faire réfléchir sur des solutions en réponse à ces problèmes réels. Le formateur les accompagne dans cette activité de réflexion. Il les aide à trouver des solutions et à voir comment les acquis d'un apprentissage par simulateur peuvent être transférés dans un contexte de travail.

Lors de la phase d'implantation d'une nouvelle offre de formation par simulateur, il est donc important de mettre en place un programme de formation des formateurs par simulateur. L'implication des formateurs de terrain à cette étape est également un gage de réussite. L'implantation d'une formation de ce type doit s'assurer de valoriser et de reconnaître leur expertise. Elle doit également leur permettre de s'approprier une nouvelle méthode de formation, tout en valorisant l'utilisation optimale du potentiel des simulateurs mis à leur disposition.

5.2.2. ASSURER LE TRANSFERT

Dans un dispositif de formation par simulateur où la formation des apprentis est effectuée à l'extérieur du milieu de travail, il est essentiel de prévoir une structure de soutien et de facilitation du transfert des apprentissages. Bien que la formation par simulateur favorise le transfert des acquis vers le milieu de travail, le passage en situation réelle nécessite parfois une adaptation, qui peut être facilitée par un accompagnement structuré des nouveaux opérateurs par des opérateurs expérimentés. Cela peut consister en :

- > la comparaison des situations vécues pendant la formation et ce que l'on trouve en réalité à la mine;
- > l'enseignement des règles et des principes généraux en plus des habiletés pratiques précises acquises sur simulateur;
- > l'accompagnement dans une variété de tâches différentes pour examiner les similitudes et les différences entre l'apprentissage par simulateur et le contexte réel de travail;
- > un programme de mises à jour et d'évaluations périodiques des habiletés tant par simulateur que sur le terrain.

5.3. CHOIX DE SIMULATEURS

En 2014, l'Institut national des mines a publié un rapport d'enquête sur l'enseignement par simulateur. Il avait alors répertorié les principaux concepteurs de simulateurs miniers dans le monde. Ces derniers ont produit des équipements et des logiciels pour d'importants fabricants d'engins miniers tels que Atlas Copco, Bucyrus, Caterpillar, Komatsu, Liebherr, P & H Mining et Sandvik. En 2014, neuf établissements d'enseignement publics au Canada utilisaient des simulateurs miniers, majoritairement conçus par Immersive Technologies. Au Québec, aucun établissement d'enseignement public ne disposait de simulateur de dernière génération pour l'apprentissage des métiers miniers.

Le choix du type de simulateur à acquérir par un établissement ou une organisation est influencé par plusieurs critères tels que les coûts d'acquisition, les caractéristiques de l'effectif cible et les objectifs de formation. Le type de mines à desservir (mines souterraines ou mines à ciel ouvert) et leur proximité du lieu de formation sont également des éléments importants à prendre en considération, notamment pour déterminer si le simulateur doit être mobile ou non.

Une fois ces éléments déterminés, il s'agira de déterminer le type de simulateur (haute fidélité ou moyenne fidélité) de même que le type d'équipements. L'achat de simulateurs de moyenne fidélité convient bien pour des programmes de formation destinés à des élèves et des opérateurs débutants. Ils permettent de se familiariser avec les commandes d'une machine. Ces simulateurs sont moins dispendieux. Il est donc possible pour un établissement d'enseignement d'acquérir plusieurs postes de simulation et de les disposer dans un laboratoire pouvant accueillir une cohorte d'élèves. Cela permet d'établir une dynamique de formation qui met en interaction plusieurs apprenants simultanément. Le temps de formation pratique sur simulateur à l'intérieur de la période prévue pour la formation est ainsi maximisé.

Les simulateurs de haute fidélité sont les plus dispendieux. Ils nécessitent aussi des installations relativement spacieuses et un formateur dédié à l'appareil. Par conséquent, les établissements n'en possèdent souvent qu'un seul. De plus, ce type de simulateur limite le nombre d'apprenants pouvant être formés simultanément à quatre, tout au plus. Cependant, la qualité de la simulation permet des apprentissages beaucoup plus poussés qu'un simulateur de moyenne fidélité, car en plus de reproduire les commandes spécifiques à un engin minier, il positionne cet engin dans son environnement de travail. Il est aussi relié directement au poste de commande régi par le formateur qui peut intervenir en tout temps pour modifier une condition de terrain ou simuler une situation d'urgence. Des manœuvres complexes peuvent être pratiquées sur ce type de simulateur. De plus, les équipements de mesure de rendement intégrés au simulateur permettent une évaluation factuelle immédiate basée sur un grand nombre de critères objectifs. Ce type de simulateur convient parfaitement à la formation initiale de nouveaux opérateurs et à la formation continue d'opérateurs expérimentés, puisqu'un programme de perfectionnement peut être conçu pour ces derniers.

Chaque simulateur peut proposer différents types d'équipements miniers (foreuses, camions, chargeuses-navettes, etc.). Les équipements et les logiciels acquis en même temps que le simulateur lui-même doivent être soigneusement choisis pour bien répondre aux besoins de l'effectif cible. Une analyse détaillée des besoins de formation est donc recommandée avant de procéder à l'achat pour assurer l'occupation optimale du simulateur ainsi que la rentabilité du projet.

Par conséquent, pour la formation continue d'opérateurs en exercice, il est impératif de sélectionner les marques et les équipements les plus utilisés et pour lesquels plusieurs opérateurs sont requis. Pour la formation initiale d'élèves, le choix des équipements prioritaires est aussi important. En effet, bien que les programmes en vigueur prévoient une formation de base sur plusieurs équipements, il semble préférable de faire l'acquisition de simulateurs des équipements qui sont habituellement assignés à de jeunes opérateurs nouvellement embauchés. Les équipements complexes réservés aux opérateurs expérimentés ne font pas nécessairement partie des priorités en formation initiale.

6 CONCLUSION

Le but principal de ce rapport est de démontrer le potentiel de la formation par simulation, d'alimenter la réflexion à son sujet et de formuler des recommandations afin de faciliter l'implantation de simulateurs miniers dans le système d'éducation québécois, dans une perspective d'amélioration de l'offre de formation minière. Par cette publication, l'Institut national des mines souhaite aussi soutenir les entreprises minières désireuses de recourir à la simulation pour l'amélioration continue du rendement des travailleurs, une condition essentielle à l'accroissement de la productivité.

D'une part, le projet pilote d'évaluation de la formation par simulateur réalisé au printemps 2016 a permis à l'Institut de déterminer les avantages de ce type de formation et de les regrouper en trois grandes catégories. En effet, l'analyse des résultats obtenus au terme de ce projet démontre que la formation par simulateur entraînerait une amélioration de la compétence des opérateurs d'engins miniers en santé et sécurité du travail, un gain de la productivité globale des entreprises minières ainsi qu'une réduction des coûts de formation et d'exploitation pour ces dernières. Qui plus est, l'Institut estime que chacun de ces avantages contribue au processus d'amélioration continue que nombre d'entreprises minières implantent dans leur organisation.

D'autre part, la recherche bibliographique complémentaire effectuée par l'Institut a dégagé cinq grands constats à propos des pratiques d'intégration des nouveaux travailleurs miniers. L'Institut a établi des parallèles entre ces constats et les apports de la formation par simulateur. À ce propos, l'Institut est d'avis que la formation par simulateur peut contribuer favorablement à l'amélioration des pratiques de formation par l'accroissement de la diversité des situations d'action auxquelles sont exposés les apprenants; par l'augmentation de la proximité spatiale entre le formateur et l'apprenant; par la standardisation du contenu de la formation et de son mode de diffusion; par le renforcement de la relation pédagogique et l'amélioration du contexte d'apprentissage et par l'évacuation de plusieurs composantes stressantes tels l'obligation de production, les risques d'accident et les risques de bris.

Finalement, prenant appui sur le présent rapport qui démontre le potentiel de l'utilisation de simulateurs miniers dans un processus d'amélioration continue de la formation minière offerte au Québec, l'Institut considère que les simulateurs sont des outils de formation qui offrent d'excellents résultats. Ils sont à la fois accessibles et nécessaires à l'acquisition, au maintien et à l'amélioration de la compétence des opérateurs d'engins miniers.

6.1. QUEL AVENIR POUR LA SIMULATION?

Tous les secteurs industriels sont désormais entrés dans l'ère 4.0. Avec elle s'amorce une transformation profonde des compétences attendues de la main-d'œuvre. Le rôle que joueront les gouvernements, les établissements d'enseignement et les entreprises en matière de formation sera déterminant pour garantir son adéquation aux nouvelles exigences en matière de compétences, notamment en ce qui a trait à des thèmes comme l'infonuagique, l'Internet des objets, les mégadonnées, la robotique, la digitalisation, la connectivité et l'analyse prédictive. L'intérêt de la formation par simulateur dans ce contexte consiste à contribuer à offrir une partie de ces nouvelles compétences aux travailleurs.

L'utilisation d'appareils de réalité virtuelle tel l'Oculus Rift permet déjà une immersion en 3D dans des scénarios virtuels pour les futurs opérateurs de machinerie lourde. Ces environnements immersifs 3D incluent des fonctionnalités comme des objets interactifs en 3D (valves rotatives, boutons presseurs, jauges actives), des gestes naturels et des commandes vocales ou encore des conditions sensorielles en 4D comme de la rétroaction tactile, des odeurs, des vibrations et des simulations de vent.

Pour le secteur minier québécois, de telles réalisations impliquent l'implantation de nouveaux processus technologiques nécessitant une vision audacieuse et des investissements initiaux importants, mais tout de même essentiels, pour espérer rivaliser avec les plus grands joueurs de cette industrie.

RÉFÉRENCES

- Blais, Mireille et Stéphane Martineau (2006). «L'analyse inductive générale : description d'une démarche visant à donner un sens à des données brutes», *Recherches qualitatives*, Vol. 26 (2), 2006, p. 1-18.
- Blouin, Steve (2000). «L'évaluation de programmes de formation et l'efficacité organisationnelle», *Interactions*, Université de Sherbrooke, Vol. 4, n° 2.
- Caterpillar (2013). «Fuel Use Avoidance. Articulated Truck Simulator». *Case study*. En ligne : http://www.catsimulators.com/wp-content/uploads/2013/10/CaseStudy_AT.pdf.
- Caterpillar (2009). «Technical College Finds Savings with Simulators. North Central Kansas Technical College», *Case study*. En ligne : http://www.catsimulators.com/wp-content/uploads/casestudies/NCKTC_CaseStudy.pdf.
- Delvaux, Etienne et Francis Tilman (2012). «Méthodes de formation d'adulte et émancipation», *Le Grain*, 8 p.
- Dunberry, Alain et Céline Péchard (2007). «L'évaluation de la formation dans l'entreprise : état de la question et perspectives», *Centre interdisciplinaire de recherche sur l'éducation permanente*, 44 p.
- Finning Eco-Drive™, 2016
- Gérard, F.-M. (2003). «L'évaluation de l'efficacité d'une formation», *Gestion 2000*, Vol. 20, n° 3, p. 13-33.
- Goode, N. et coll. (2013). «Simulation-based driver and vehicle crew training. Applications, efficacy and future directions», *Applied Ergonomics*, 44 (3), p. 435-444.
- Grohmann, Anna et Simone Kauffeld (2013). «Evaluating training programs: Development and correlates of the Questionnaire for Professional Training Evaluation», *International Journal of Training and Development*, 17 (2), p. 135-155.
- Hirsch, Pierro (2015). «Evidence of Driving Simulator Training Benefits», *Virage Simulation*. En ligne : <http://viragesimulation.com/wp-content/uploads/2015/09/2015-Hirsch-Evidence-of-Driving-Simulator-Training-Benefits.pdf>.
- Institut Robert-Sauvé en santé et sécurité au travail (IRSST) (2015). «Les conditions pour une intégration sécuritaire au métier. Un regard sur le secteur minier québécois», *Prévention durable en SST et environnement de travail — Études et recherches*, Rapport R-898, 123 p.
- Institut Robert-Sauvé en santé et sécurité au travail (IRSST) (2011). «Conditions d'intégration des nouveaux travailleurs dans le secteur minier. Une étude exploratoire (version corrigée)», *Contexte de travail et SST — Études et recherches*, Rapport R-650, 28 p.
- Kirkpatrick, D. L. (1959). «Techniques for evaluating training programs», *Journal of the American Society for Training and Development*, 13 (11), p. 3-9.
- Knowles M. S. (1990). «The Adult Learner. A neglected species, Houston, Gulf Publishing».
- Ministère de l'Éducation de l'Ontario (2008). «Faire croître le succès — Évaluation et communication du rendement : amélioration de l'apprentissage des élèves», 88 p.
- Morgan, J. F. et coll. (2011). «On the training and testing of entry-level commercial vehicle drivers», *Accident analysis and prevention*, Vol. 43, p. 1400-1407.
- Munoz, Gregory (2003). «Apport de la didactique professionnelle : la démarche dite inductive en pédagogie de l'alternance», *Proposition pour la 7^e Biennale de l'Éducation et de la formation 2004*, 4 p.
- Saulnier, N. (2013). «La diligence raisonnable. Droits et obligations», *Prévention au travail, Printemps 2013*, p. 15.
- Thomas, D. R. (2006). «A general inductive approach for analyzing qualitative evaluation data», *American Journal of Evaluation*, 27 (2), p. 237-246.
- <http://www.simlog.com/f/benefices-simulateurs.html>.
- <http://www.finning.co.uk/ecodrive/>.



*Institut national
des mines*

Québec

