

# Mesurer l'impact des nouvelles technologies de forage pour alimenter la réflexion sur l'évolution des stratégies de ressources humaines

LIVRE BLANC



Plutôt que de se demander quelle est la force de leur entreprise, les dirigeants devraient plutôt se demander :

**« Que devons-nous maîtriser aujourd’hui, et que devons-nous maîtriser dans le futur pour exceller dans la trajectoire d’améliorations que les clients jugent importante ? ».**

– Clayton Christensen,  
Harvard Business School  
[traduction libre]

# Table des matières

À propos de l'étude.....	6
Une industrie nichée à l'aube d'une transformation.....	6
Faire évoluer sa posture managériale pour éviter d'aborder de nouveaux défis avec d'anciennes façons de faire.....	7
Un livre blanc qui évolue du diagnostic vers l'analyse.....	8
<b>Notre approche.....</b>	<b>9</b>
<b>1. Tous les ingrédients pour mener l'industrie, pourtant nous prenons du recul.....</b>	<b>10</b>
Une spécialité bien maîtrisée dans un marché cyclique.....	10
Un environnement favorable à l'innovation.....	13
Une dynamique concurrentielle qui ralentit le progrès.....	17
Un secteur niché – Trois niveaux de maturité d'entreprises.....	19
<b>2. Les gisements changent, de nouveaux défis émergent.....</b>	<b>22</b>
Six tendances de fond qui façonnent l'avenir.....	22
Des réserves basses et des défis traditionnels motivent les entreprises à innover et à intégrer de nouvelles technologies.....	23
Des défis traditionnels persistent.....	24
Le choc des cultures.....	26
<b>3. Un agenda de transformation se précise.....</b>	<b>27</b>
L'intégration des technologies existantes ouvre la voie sur un virage numérique.....	27
La prochaine vague d'innovation créera une rupture avec les modèles actuels.....	28
Les grands équipementiers pavent la voie.....	30
L'expérience de secteurs plus avancés permet d'anticiper les changements.....	31
Un virage fondamental des modèles d'affaires.....	36
<b>4. Vers des modèles opératoires en rupture avec la tradition en exploration minière.....</b>	<b>38</b>
Le modèle de demain et les limites d'aujourd'hui.....	38
L'impact de transformer une industrie bien ancrée et performante.....	40
Un virage entrepreneurial, et un virage humain.....	41
L'impact de réapprendre un métier qui se transforme.....	46
<b>5. Plusieurs barrières attendent les entreprises prêtes à se moderniser.....</b>	<b>57</b>
Surpasser la nature cyclique du secteur.....	57
Gérer l'évolution de la main-d'œuvre.....	58
Attendre les conditions gagnantes ou créer un contexte favorable.....	59
Dépasser le discours d'une culture conservatrice.....	60
<b>6. Des recommandations pour agir à l'intersection des transformations anticipées.....</b>	<b>61</b>
Recommandations sectorielles.....	62
Recommandations corporatives.....	64
Recommandations en gestion des ressources humaines.....	67
<b>7. Les bases d'un agenda collaboratif de recherche &amp; développement.....</b>	<b>73</b>
Valorisation des données.....	73
Traçabilité.....	76
Sécurité et environnement de travail.....	77
<b>Annexes.....</b>	<b>78</b>
Liste des entretiens individuels.....	78
Composition du comité de pilotage.....	79
Composition du comité consultatif.....	79
Cadre d'évaluation des impacts en gestion du changement.....	80
Cadre de référence des compétences numériques – INMQ.....	81
Bibliographie.....	83

# Table des figures et tableaux

Figure 1 - Illustration schématisée de la méthodologie .....	9
Figure 2 - Répartition des dépenses d'exploration par région.....	10
Figure 3 - Répartition des méthodes de forage utilisées à travers le monde.....	11
Figure 4 - Évolution des dépenses d'exploration et de mise en valeur selon le type de dépenses.....	12
Figure 5 - Coût unitaire du forage par région .....	12
Figure 6 - Nombre de mètres forés par région .....	12
Figure 7 - Évolution du nombre de mètres forés selon le type de site .....	13
Figure 8 - Financement global du secteur de l'exploration minière.....	15
Figure 9 - Réserves de métaux précieux pour les mines en production .....	15
Figure 10 - Répartition des dépenses .....	16
Figure 11 - Évolution des dépenses d'exploration par type de substance d'exploration pour le lithium.....	16
Figure 12 - Représentation théorique de l'évolution de la main-d'œuvre dans le secteur agricole .....	33
Figure 13 - Les avantages de la codification des connaissances .....	34
Figure 14 - Justification de l'investissement en technologie et implications pour le forage .....	36
Figure 15 - Impacts de la transition 4.0 sur les entreprises de forage .....	40
Figure 16 - Leviers des départements RH.....	45
Figure 17 - Impacts de la transition 4.0 sur les maîtres-foreurs .....	46
Figure 18 - Impacts de la transition 4.0 sur les aides-foreurs .....	46
Figure 19 - Impacts de la transition 4.0 sur les géologues.....	47
Figure 20 - Impacts de la transition 4.0 sur la direction des opérations .....	52
Figure 21 - Impacts de la transition 4.0 sur les directeurs RH d'une entreprise de forage .....	54
Figure 22 - Représentation schématique des 6 groupes de recommandations du livre blanc .....	61
Tableau 1 - Répartition du nombre d'entreprises ayant participé à la présente étude .....	9
Tableau 2 - Principales caractéristiques des foreuses.....	11
Tableau 3 - Analyse de l'environnement d'affaires du forage .....	13
Tableau 4 - Analyse de la dynamique concurrentielle du forage .....	18
Tableau 5 - Critères de décision pour l'embauche d'une entreprise de forage.....	19
Tableau 6 - Trois niveaux de maturité d'entreprise .....	19
Tableau 7 - Sommaire des tendances actuelles dans l'industrie .....	22
Tableau 8 - Réalité de l'industrie et implications .....	23
Tableau 9 - Défis de l'industrie .....	24
Tableau 10 - Impact des défis des entreprises de forage sur leurs initiatives d'innovations .....	25
Tableau 11 - Culture des entrepreneurs en forage et attentes des entreprises d'exploration .....	26
Tableau 12 - Évolution technologique .....	27
Tableau 13 - Prochaine vague d'innovation .....	29
Tableau 14 - Technologies mises en valeur dans d'autres industries .....	30
Tableau 15 - Orientation des équipementiers .....	31
Tableau 16 - Cas d'usage liés à l'augmentation de la connectivité dans le secteur agricole .....	32
Tableau 17 - Programmes d'études appliquées au secteur agricole .....	33
Tableau 18 - Qualifications requises dans le secteur manufacturier 4.0 .....	35
Tableau 19 - Nouveaux modèles d'affaires.....	37
Tableau 20 - Trois grandes transformations.....	39
Tableau 21 - Évolution anticipée chez les entreprises de forage.....	41
Tableau 22 - Revue des implications .....	42

Tableau 23 - De nouvelles possibilités d'affaires .....	43
Tableau 24 - Évolution anticipée chez les géologues .....	48
Tableau 25 - Évolution anticipée chez les maîtres-foreurs .....	50
Tableau 26 - Évolution anticipée chez les aides-foreurs.....	51
Tableau 27 - Évolution anticipée chez les gestionnaires des opérations.....	53
Tableau 28 - Évolution anticipée chez les gestionnaires des ressources humaines .....	55
Tableau 29 - Compétences à développer .....	56
Tableau 30 - Sommaire des défis et barrières anticipées à l'intégration d'innovation .....	57
Tableau 31 - Barrières découlant de la nature cyclique du secteur .....	58
Tableau 32 - Défis derrière la gestion de l'évolution de la main-d'œuvre .....	58
Tableau 33 - Défis techniques à surmonter.....	59
Tableau 34 - Barrières d'une culture conservatrice.....	60
Tableau 35 - Recommandations sectorielles .....	63
Tableau 36 - Recommandations concernant l'évolution des modèles d'affaires .....	65
Tableau 37 - Priorisation dans l'organisation .....	66
Tableau 38 - Posture organisationnelle à adopter .....	68
Tableau 39 - Directeur RH.....	68
Tableau 40 - Directeur des opérations .....	69
Tableau 41 - Maître-foreur.....	69
Tableau 42 - Aide-foreur.....	70
Tableau 43 - Recommandations en gestion des ressources humaines .....	71
Tableau 44 - Projet sur la valorisation des données .....	73
Tableau 45 - Projet sur la traçabilité.....	76
Tableau 46 - Projet sur la sécurité et environnement de travail.....	77
Tableau 47 - Liste des entretiens individuels .....	78
Tableau 48 - Composition du comité de pilotage .....	79
Tableau 49 - Composition du comité consultatif .....	79
Tableau 50 - Cadre d'évaluation des impacts en gestion du changement .....	80
Tableau 51 - Cadre de référence des compétences numériques de l'INMQ.....	81

# À propos de l'étude

Le Groupe MISA, en partenariat avec l'Association de l'exploration minière du Québec (AEMQ) et les entreprises œuvrant en exploration minière, a mandaté Aviseo Conseil pour documenter les stratégies à adopter, notamment au niveau du capital humain, pour favoriser l'implantation des nouvelles technologies et innovations dans le secteur du forage d'exploration au Québec. L'intention poursuivie était de jeter les bases d'un plan directeur pour la mise en œuvre des dernières avancées en matière de forage pour renforcer la compétitivité des entreprises québécoises dans le secteur et pour surmonter les défis actuels de l'industrie.

Pour y arriver, une démarche de consultation a été lancée suivant l'objectif d'engager les parties prenantes de l'industrie, et selon une volonté de co-construction des solutions et des stratégies à déployer. Les objectifs spécifiques poursuivis par la consultation étaient les suivants :

- Documenter les grandes tendances technologiques ayant une incidence significative sur l'évolution des pratiques de gestion
- Engager les parties prenantes des activités de forage dans l'identification des meilleures pratiques favorisant le déploiement des dernières technologies
- Documenter les freins et leviers ainsi que les bénéfices et impacts de la mise en œuvre de nouvelles technologies et innovations
- Faire le point sur les stratégies et pratiques actuelles vs requises (notamment, mais sans s'y limiter, les stratégies RH – ex. modèle de rémunération, pratiques d'affaires, etc.) ayant une incidence positive ou négative sur l'implantation d'innovations

Ce livre blanc est ainsi né de l'ambition de définir une vision commune pour l'avenir du forage d'exploration minière au Québec visant à accroître la compétitivité sectorielle locale contre la concurrence internationale en considérant au sein des entreprises du secteur les :

- Paradigmes opérationnels et commerciaux dominants
- Pratiques d'affaires dans le secteur d'activité et plus spécifiquement des entreprises de forage
- Ressources humaines impliquées dans l'industrie

## Une industrie nichée à l'aube d'une transformation

Le projet a été réalisé alors que les technologies de l'automatisation et de la connectivité sont de plus en plus accessibles et disponibles. Cet état de fait crée un contexte favorable permettant aux entreprises de forage de se moderniser et d'intégrer les principes de l'industrie 4.0 à leurs opérations.

Détailler les implications d'un tel virage pour les entreprises du secteur est un exercice primordial réalisé à un moment charnière. D'un côté, les grands équipementiers internationaux ont déjà commencé à se positionner sur l'intégration des nouvelles technologies et la transformation de leur modèle d'affaires. D'un autre côté, l'émergence d'une nouvelle filière minéralogique liée à la transition énergétique est en voie d'amener de nouveaux capitaux provenant de grands joueurs innovants susceptibles de remettre en question les paradigmes dominants de l'industrie. Très en aval de la chaîne de valeur minière, ces entreprises sont prêtes à prendre des risques onéreux pour protéger l'accès à la matière première critique à leurs opérations. Elles commencent déjà à adopter des approches innovantes qui pourraient prendre une partie de la place du forage dans la chaîne de valeur de l'exploration minière.

Les impacts de ces deux grands courants seront majeurs pour les entreprises de forage dont les modes opératoires ont peu évolué dans les dernières décennies. Les technologies de connectivité et d'automatisation ainsi que l'instrumentation embarquée d'une part, commencent à transformer la relation des entreprises de forage avec leurs clientèles, les manières de forer et même le métier de maître-foreur. D'un autre côté, la convergence croissante des sciences de données avec les disciplines des sciences de la terre génère de nouvelles attentes des géologues envers leurs fournisseurs de service.

Il devient par conséquent impératif pour les entreprises de forage québécois d'agir pour déterminer leur modèle de modernisation, car la transition demandera plusieurs années. Bien entendu, les répercussions de ce modèle naissant paraissent négligeables aujourd'hui alors que les entreprises profitent de fortes positions dans leur marché. Chaque année de retard qui s'accumule représente cependant une perte de compétitivité et de pertinence accumulée pour des entreprises de forage aux yeux des entreprises d'exploration qui s'intéressent de plus en plus aux nouvelles technologies pour les appuyer dans leurs défis.

## **Faire évoluer sa posture managériale pour éviter d'aborder de nouveaux défis avec d'anciennes façons de faire**

Pour les entreprises qui auront l'audace de prendre le virage, les implications sur les pratiques d'affaires et la gestion des ressources humaines seront nombreuses et complexes, mais pas insurmontables. C'est pourquoi ce livre blanc décrit les implications entrepreneuriales, commerciales et humaines que les entrepreneurs en forage devront impérativement considérer.

L'objectif poursuivi est d'offrir des recommandations qui permettront de baliser le travail à accomplir, mais aussi de cadrer l'état d'esprit et la posture managériale à adopter pour s'engager dans la transformation que nous introduisons. Piloter une transformation organisationnelle demande en effet un effort important et une logique de travail souvent différente des valeurs, des processus et des ressources en place traditionnellement. Autrement dit, opérer une entreprise connectée et modernisée demande une approche complètement différente que d'opérer des foreuses très mécaniques comme c'est le cas depuis des décennies.

Nos recommandations sont par conséquent organisées en trois grands thèmes complémentaires et indissociables : la relation de collaboration entre les entreprises de la chaîne de valeur, les transformations corporatives qui sont liées aux réflexions sur le modèle d'affaires et sur la posture managériale, et finalement les actions à considérer en lien avec la gestion des ressources humaines.

Ces trois grands thèmes seront abordés sous l'angle des trois grands leviers de transformation dans ce rapport, soit : la transformation de la relation client, la transformation du forage, et la transformation du métier de foreur.

## Un livre blanc qui évolue du diagnostic vers l'analyse

Organisé en sept chapitres complémentaires, ce livre blanc a été rédigé pour accompagner le lecteur dans la transformation qui attend le secteur du forage d'exploration minière au Québec. Dans les trois premiers chapitres, nous proposons un diagnostic de l'environnement d'affaires de l'exploration minière et du forage. Ce diagnostic nous permet de définir une vision commune pour le forage en exploration minérale au Québec et d'évaluer les bénéfices potentiels de cette vision. Les trois derniers chapitres offrent quant à eux une discussion sur les implications pour les entreprises de forage et leur capital humain de la vision proposée. Ces chapitres visent à mesurer l'écart entre la situation actuelle et la vision proposée. Nous identifions par le fait même des freins et leviers liés à la mise en œuvre de cette dernière. Plus concrètement, le livre blanc est organisé comme suit :

1. Le premier chapitre vise à positionner l'industrie dans son contexte en offrant une lecture de l'environnement d'affaires, de la dynamique concurrentielle et finalement du niveau de maturité des entreprises de forage au Québec. Nous faisons ressortir que malgré un environnement d'affaires globalement favorable à la modernisation du secteur, la faible différenciation des entreprises de forage et le pouvoir de négociation important des clients créent une importante pression à la baisse sur les prix qui diminuent les marges et, par le fait même, le potentiel de modernisation des entreprises.
2. Le second chapitre discute des forces qui appuient la modernisation de l'industrie. Il met en lumière les défis auxquels l'exploration minière est confrontée et qui s'amplifient - comme l'éloignement géographique et la profondeur requise du forage de même que les difficultés techniques qui en découlent. Parallèlement, il rappelle que des défis structurels liés à la main-d'œuvre sont constants dans l'industrie. Nous posons l'hypothèse que tant les défis des explorateurs que ceux des foreurs ont des facteurs de transformation qui orienteront la nature du virage 4.0 attendu.
3. Dans le troisième chapitre, nous définissons et précisons l'agenda de transformation en nous basant sur les tendances observées dans l'industrie et sur les technologies disponibles ou émergentes, mais dont l'implantation tarde. Nous présentons la vision déployée par les grands équipementiers et leaders de l'industrie pour offrir un exemple concret de la trajectoire de l'industrie. Nous décrivons ensuite de quelle manière des transformations pourraient avoir un impact sur le secteur du forage en présentant l'impact de l'intégration des principes d'industrie 4.0 dans les secteurs agricoles et manufacturiers. Nous terminons le chapitre en soulignant que l'intégration des technologies présentées a non seulement un impact sur les ressources humaines des organisations, mais aussi sur les modèles d'affaires qui à leur tour influencent également les besoins en ressources humaines.
4. Le quatrième chapitre engage le lecteur dans les implications concrètes de la transformation 4.0 pour les entreprises de forage. Il y est présenté un modèle projectif de l'évolution attendue pour le forage en exploration minière. Nous démontrons que l'impact de la transformation sera majeur, autant d'un point de vue des modèles d'affaires, que du travail de forage et par le fait même des métiers retrouvés dans les entreprises de forage. Nous complétons le chapitre en offrant un aperçu de l'évolution nécessaire de plusieurs métiers impliqués directement dans les activités de forage en exploration minière en comparant la nature de ces postes selon les modes opératoires d'aujourd'hui à ceux qui seront requis au terme du processus de modernisation de l'industrie.
5. Bien entendu, chaque transformation majeure est parsemée de défis. Dans le cinquième chapitre, nous anticipons les barrières qui attendent les entreprises de forage qui chercheront à se moderniser. Les barrières sont nombreuses et de natures très variées.
6. Dans le chapitre six, nous offrons des pistes de recommandations basées sur les constats réalisés à travers l'étude, de même que sur les meilleures pratiques managériales et de gestion du changement. Nos recommandations sont réparties en trois types : des recommandations sectorielles, des recommandations corporatives et des recommandations liées à la gestion des ressources humaines et à la rémunération.
7. Enfin, dans le septième et dernier chapitre nous proposons des pistes de collaboration sur lesquelles agir dès maintenant pour bâtir sur la dynamique de collaboration engagée grâce à ce rapport.

# Notre approche

Ce livre blanc a été réalisé selon une approche résolument collaborative. Le Groupe MISA et l'AEMQ, en partenariat avec Aviseo Conseil, ont cherché à réaliser une enquête fondée sur des points de vue complémentaires provenant d'entreprises de tailles différentes, de maturités différentes et positionnées dans tout le spectre de la chaîne de valeur. L'étude considère par conséquent l'opinion des entreprises d'exploration jusqu'aux fournisseurs d'instruments, en passant par les institutions financières qui appuient l'industrie.

Les travaux de recherche ont été réalisés entre janvier et juin 2021. Les données proviennent de trois sources principales :

1. **Des données secondaires**, principalement des articles de revues spécialisées, des présentations corporatives d'entreprises publiques et des articles d'actualité. Ces données ont été collectées de janvier à juin 2021 et brossent le portrait de l'industrie tel que perçu durant cette période. Certaines prévisions sont sujettes à changement à mesure que de nouvelles informations sont disponibles. La revue de littérature a également permis d'identifier les grandes tendances de l'industrie et plus particulièrement celles de joueurs les plus importants susceptibles de publier davantage d'information.
2. **Plus de 20 entretiens individuels** réalisés auprès d'entreprises représentant l'ensemble de la chaîne de valeur du forage d'exploration minière au Québec. Les entretiens individuels nous ont permis d'obtenir des perspectives très concrètes sur la réalité du terrain et des opinions quant à l'évolution attendue dans l'industrie basée sur l'expérience personnelle des participants.

**Tableau 1 - Répartition du nombre d'entreprises ayant participé à la présente étude**

Catégorie	Nb.
Exploration minière / géologues	3
Services géoscientifiques	1
Entreprises de forage	5
Acteurs financiers	2
Équipementiers	4
Chercheurs	4
Centre de formation professionnelle	1
Fournisseurs de services	1
Total	21

Les résultats préliminaires – idées et orientations – obtenus via la revue de littérature et les entretiens individuels ont par la suite été commentés, précisés et approfondis via la contribution de deux comités complémentaires de par leur expertise et leur point de vue sur le sujet.

### 3. Sept rencontres ont été réalisées auprès de deux groupes d'intervenants œuvrant dans le secteur :

- Un comité de pilotage composé d'intervenants seniors, chargé d'orienter la démarche et d'offrir des perspectives stratégiques sur l'industrie – la composition du comité est disponible en annexe ;
- Un comité consultatif composé d'intervenants aux postes variés, chargé de discuter d'enjeux très opérationnels liés au thème de l'étude – la composition du comité est disponible en annexe.

**Figure 1 - Illustration schématisée de la méthodologie**

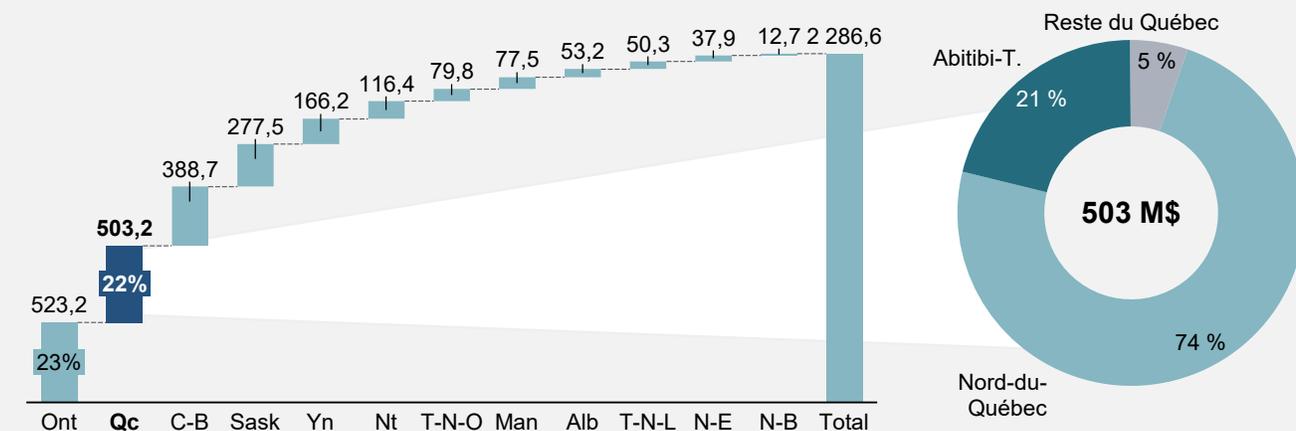


# 1. Tous les ingrédients pour mener l'industrie, pourtant nous prenons du recul

Le Québec est un joueur incontournable de l'exploration minière au Canada. En 2019, plus de 500 millions de dollars y ont été dépensés en travaux d'exploration et de mise en valeur, ce qui en fait la deuxième région minière en importance au Canada, tout juste derrière l'Ontario<sup>1</sup>. Les prévisions pour l'année 2020 sont encourageantes et laissent croire que les investissements en exploration minière sont en forte hausse, tendance qui pourrait se poursuivre pour l'année en cours.

**Figure 2 - Répartition des dépenses d'exploration par région**

Canada, 2019, en millions \$,



Sources : Ressources Naturelles Canada, Institut de la Statistique du Québec, Analyse Aviseo Conseil, 2021

L'un des jalons incontournables de l'exploration minière, le forage d'exploration, profite énormément des périodes haussières dans l'industrie. Malgré un contexte favorable au développement, le secteur tarde pourtant à se moderniser. Dans ce premier chapitre, nous positionnons le forage d'exploration minière au Québec en décrivant son environnement d'affaires, ainsi que la dynamique concurrentielle risquée qui caractérise le secteur. Nous terminons la section en offrant une typologie des types d'entreprises minières de la province pour faire ressortir les niveaux de maturité observés au Québec.

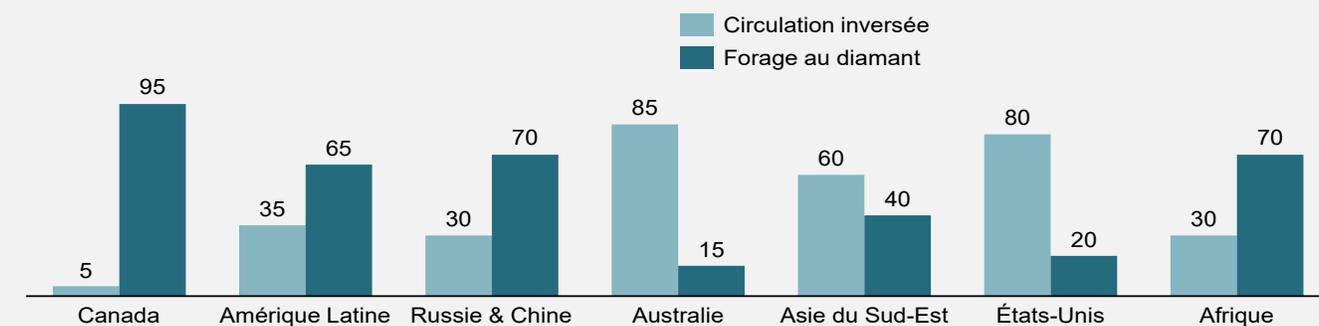
## Une spécialité bien maîtrisée dans un marché cyclique

Le forage est l'une des phases les plus importantes de l'exploration minière. Cette étape sert à produire les données qui permettront de valider les modèles géologiques théoriques et est, entre autres, utilisée pour déterminer l'absence ou la présence de gisement ainsi que pour estimer le tonnage et la teneur de minerai. Au Québec et plus largement au Canada, le forage au diamant est la méthode de choix pour mener à terme les travaux d'exploration. Cette méthode est utilisée dans 95 % des projets, comparativement à seulement 5 % pour le forage par circulation inversée<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Ressources Naturelles Canada, 2020.

<sup>2</sup> Sandvik, 2020.

**Figure 3 - Répartition des méthodes de forage utilisées à travers le monde**  
 Monde, 2019, en %



Sources : Sandvik, Analyse Aviseo Conseil, 2021

Le forage au diamant est à privilégier lorsque l'objectif est de procéder à un échantillonnage très précis, puisque cette méthode permet d'extraire une carotte dont le positionnement et l'orientation sont connus. De son côté, la circulation inversée peut s'avérer pertinente à l'intérieur d'un site minier en exploitation, pour obtenir de l'information sur la teneur en minéraux. Cependant, cette méthode ne permet pas d'atteindre des profondeurs dépassant les quelques centaines de mètres.

**Tableau 2 - Principales caractéristiques des foreuses**

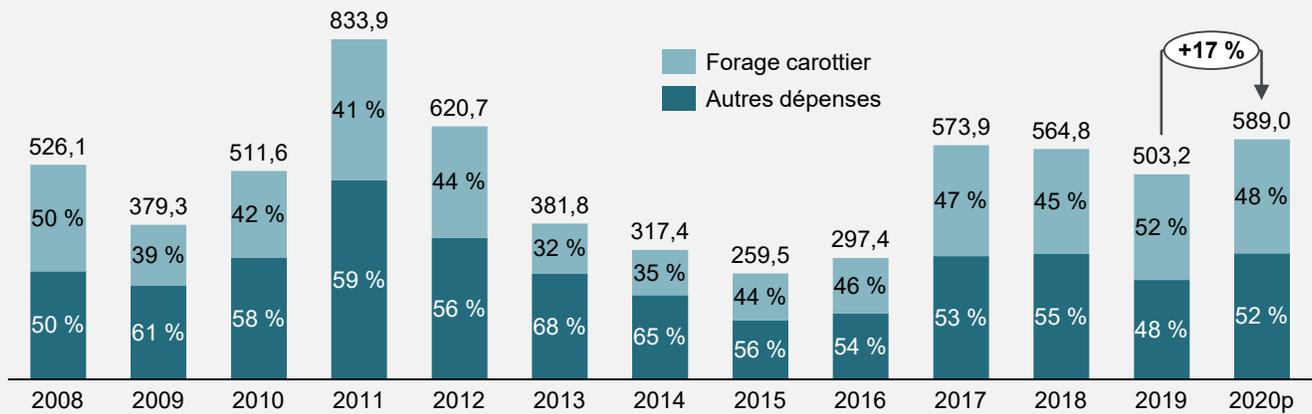
Types de foreuse	Données	Avantages	Désavantages
<b>Circulation inversée</b>	Échantillonnage géomécanique de roches dures et molles à plus de 200 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Grands échantillons</li> <li>– Relativement rapide et économique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Grosses plateformes</li> <li>– Pas de données structurales</li> <li>– Contamination potentielle des données</li> </ul>
<b>Diamant</b>	Échantillonnage de grande qualité à plus de 1000 m et perspective géologique	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Information géologique maximale</li> <li>– Échantillons non contaminés</li> <li>– Données de positionnement précises</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Préparation de site et approvisionnement en eau requis</li> <li>– Petits échantillons</li> <li>– Lent</li> <li>– Dispendieux</li> </ul>

L'importance du forage dans les travaux d'exploration se reflète dans la part des budgets qui y est consacrée. Au cours des dix dernières années, cette étape des projets représente en moyenne 43 % des dépenses d'exploration et de mise en valeur. Cependant, une tendance à la hausse s'observe – cette proportion est passée de 44 % à plus de 52 % entre 2015 et 2019<sup>3</sup>. En se basant sur les estimations de l'année 2020, les dépenses en forage d'exploration ont augmenté de façon importante pour potentiellement atteindre leur plus haut niveau depuis 2012<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> Institut de la Statistique du Québec, 2020.

<sup>4</sup> Ibid.

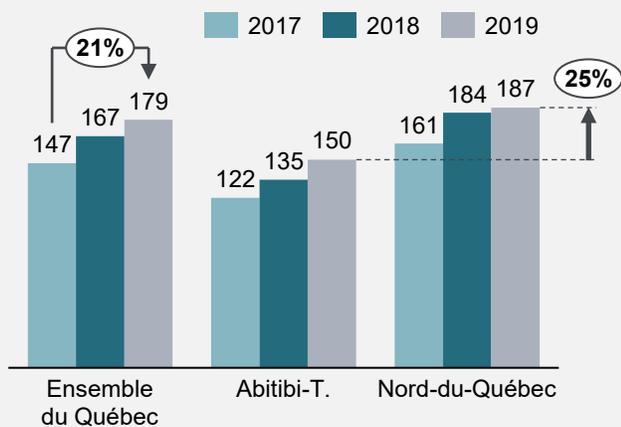
**Figure 4 - Évolution des dépenses d'exploration et de mise en valeur selon le type de dépenses**  
 Québec, 2008-2020p, en millions \$, en %



Sources : Institut de la Statistique du Québec, Analyse Aviseo Conseil, 2021

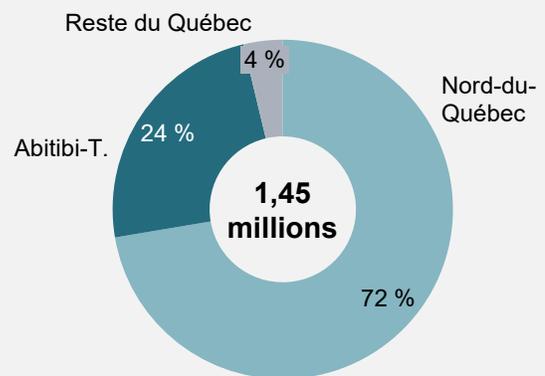
Toutefois, cette hausse des dépenses est principalement attribuable à une augmentation du coût de forage. Depuis 2017, le coût moyen par mètre foré au Québec a augmenté de 21 %<sup>5</sup>. On observe également un écart significatif de plus de 25 % entre le prix dans le Nord-du-Québec et l'Abitibi-Témiscamingue<sup>6</sup>. C'est d'ailleurs dans le Nord-du-Québec, où le coût moyen a grimpé à 187 \$, que près des trois quarts des mètres sont forés<sup>7</sup>. L'éloignement géographique et le manque d'infrastructure dans le Nord-du-Québec sont des enjeux qui créent des pressions à la hausse sur le prix et expliquent l'écart mesuré entre les deux régions. La pénurie de main-d'œuvre actuellement observée dans l'industrie crée également une pression à la hausse sur les prix dans un marché qui en plus est en forte croissance.

**Figure 5 - Coût unitaire du forage par région**  
 Québec, 2017-2019, en \$



Sources : Institut de la Statistique du Québec, Analyse Aviseo Conseil, 2021

**Figure 6 - Nombre de mètres forés par région**  
 Québec, 2019, en millions de mètres



<sup>5</sup> Institut de la Statistique du Québec, 2020.

<sup>6</sup> Ibid.

<sup>7</sup> Ibid.

Historiquement, la vaste majorité du forage prend place à l'extérieur des sites miniers. Depuis 2006, les mètres forés hors des sites miniers ont en moyenne représenté 85 % du forage d'exploration<sup>8</sup>. Cependant, malgré une diminution de 21,1 % du volume total de forage entre 2017 et 2019, les mètres forés sur un site minier ont pour leur part crû de 55,6 % sur la même période, passant de 140 000 mètres à plus de 210 000 mètres forés.

**Figure 7 - Évolution du nombre de mètres forés selon le type de site**

Québec, 2006-2019, en millions de mètres



Sources : Institut de la Statistique du Québec, Analyse Aviseo Conseil, 2021

## Un environnement favorable à l'innovation

La croissance récente des dépenses en exploration minière s'explique par un contexte favorable qui s'installe dans l'industrie. Ce contexte est engendré par une variété de facteurs qui interagissent entre eux — politiques, économiques, sociaux, technologiques, environnementaux et légaux. Certains de ces facteurs sont favorables, alors que d'autres sont plutôt négatifs à court terme et représentent un défi pour l'industrie. Cependant, les effets combinés des différents facteurs étudiés contribuent à créer simultanément un contexte propice à l'innovation et des incitatifs à l'innovation pour les entreprises.

**Tableau 3 - Analyse de l'environnement d'affaires du forage**

Facteur d'analyse	Statut	Tendance
Environnement politique	Favorable	→
Économique	Favorable	↑
Social	Défi	↑
Technologique	Opportunité	↑
Environnemental	Défi	↑
Légal <sup>9</sup>	Favorable	→

Sources : ISQ, Institut Fraser, S&P Global Market Intelligence, Banque Mondiale, Revenu Québec, Analyse Aviseo Conseil, 2021

<sup>8</sup> Ibid.

<sup>9</sup> Excluant la réglementation environnementale



## Environnement politique

L'attitude proactive des gouvernements québécois et canadien contribue au dynamisme du secteur de l'exploration minière. Les différents paliers de gouvernement sont bien au fait des enjeux actuels de l'industrie et tentent d'agir en conséquence pour favoriser le développement de divers projets notamment en misant sur le développement d'infrastructures en régions éloignées et la mise en place d'incitatifs à l'intégration de l'innovation.

Dans l'optique de favoriser la compétitivité du secteur minier canadien ainsi que de permettre sa réussite à long terme, le gouvernement fédéral a rendu public en 2019 le *Plan canadien pour les minéraux et métaux*<sup>10</sup>. L'objectif est de positionner le Canada et de lui faire profiter des opportunités qui se présentent actuellement notamment en lien avec la transition énergétique qui s'opère et les besoins en matières premières pour les appareils électroniques en tout genre.

Plusieurs mesures qui seront mises en place sur l'horizon 2020-2030 par le gouvernement pour concrétiser sa vision auront un impact direct sur le secteur de l'exploration minière et favoriseront l'intégration de l'innovation :

- Investissements dans les infrastructures dans des régions prometteuses
- Développement d'une stratégie collaborative nationale sur données et les connaissances géoscientifiques
- Incitatifs à l'utilisation de la technologie de pointe dans l'ensemble du processus de développement minéral

De son côté, le gouvernement du Québec souhaite continuer à supporter l'ensemble de la filiale minière québécoise ainsi que de miser sur la valorisation des minéraux critiques et stratégiques (MCS) en vue de positionner le Québec comme joueur majeur dans les transitions énergétique et technologique mondiales<sup>11</sup>. Plusieurs priorités du gouvernement bénéficieront à l'exploration minière :

- Intégration d'innovations numériques dans le traitement de données et l'évaluation du potentiel minéral
- Implantation d'un réseau de transport et de télécommunication en territoire nordique
- Bonification du soutien fiscal à l'étape de la mise en valeur pour les MCS

Les résultats du dernier sondage de l'Institut Fraser (2020) démontrent d'ailleurs les impacts bénéfiques des actions des différents paliers de gouvernement sur l'activité du secteur minier au Québec. La province s'est classée au 6<sup>e</sup> rang mondial et deuxième au Canada quant à son attractivité en matière d'investissement minier<sup>12</sup>. Autant le gouvernement provincial que fédéral tentent d'appliquer une approche commune pour réaliser leur vision respective, c'est-à-dire miser sur une perspective de développement durable et responsable tout en favorisant au maximum la prospérité économique basée sur l'acceptabilité sociale, la collaboration des communautés autochtones, la protection de l'environnement et la prise en compte des changements climatiques.

## Contexte économique

Les entreprises d'exploration bénéficient actuellement d'un contexte propice aux investissements en exploration minière, principalement en raison du prix élevé de l'or. De plus, le renouvellement des réserves mondiales représente un enjeu pour les entreprises minières, mais également une opportunité pour les entreprises d'exploration puisque les *majors* tentent impérieusement de trouver des moyens pour accélérer le cycle de nouvelles découvertes.

L'année 2020 a été marquée par une hausse importante du cours de l'or – métaux pour lequel la majorité des dépenses d'exploration sont attribuées – ce qui a eu un impact sur l'attractivité du secteur. Tel qu'indiqué dans le graphique ci-après, il est estimé que le financement global du secteur de l'exploration minière a atteint un sommet de plus de 11 milliards \$ US. Les perspectives sont encourageantes à moyen terme. Plusieurs experts estiment que son prix devrait se maintenir à des niveaux élevés au cours des prochaines années<sup>13</sup>. Historiquement, une forte corrélation existe entre le prix de l'or et les investissements en exploration minière. Entre 2001 et 2011, le prix d'une once d'or est passé de 250 \$ US à 1800 \$ US. Les dépenses d'exploration au Québec ont pour leur part augmenté de 700 % sur la même période<sup>14</sup>. Depuis 2016, on observe une reprise du cours de l'or qui a augmenté de 70 % tandis que le financement du secteur a aussi crû de plus de 40 %. Au Québec, les dépenses en travaux d'exploration pour les métaux précieux ont presque doublé sur la même période. Les perspectives sont encourageantes à moyen terme.

<sup>10</sup> Gouvernement du Canada, 2020.

<sup>11</sup> Plan pour la valorisation des métaux critiques et stratégiques, 2020.

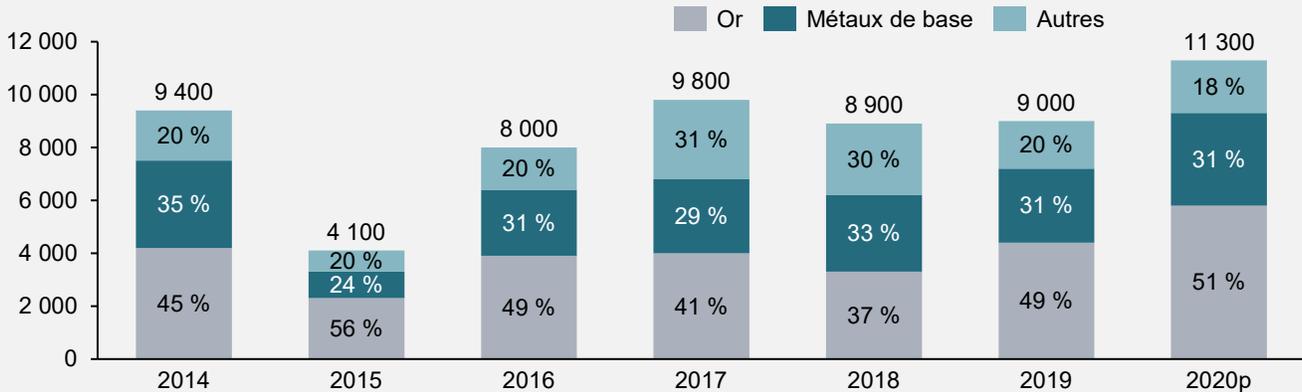
<sup>12</sup> Institut Fraser, 2021.

<sup>13</sup> Banque mondiale, S&P Global Market Intelligence, 2020.

<sup>14</sup> Institut de la Statistique du Québec, 2020.

**Figure 8 - Financement global du secteur de l'exploration minière**

Monde, 2014-2020p, en millions \$ US

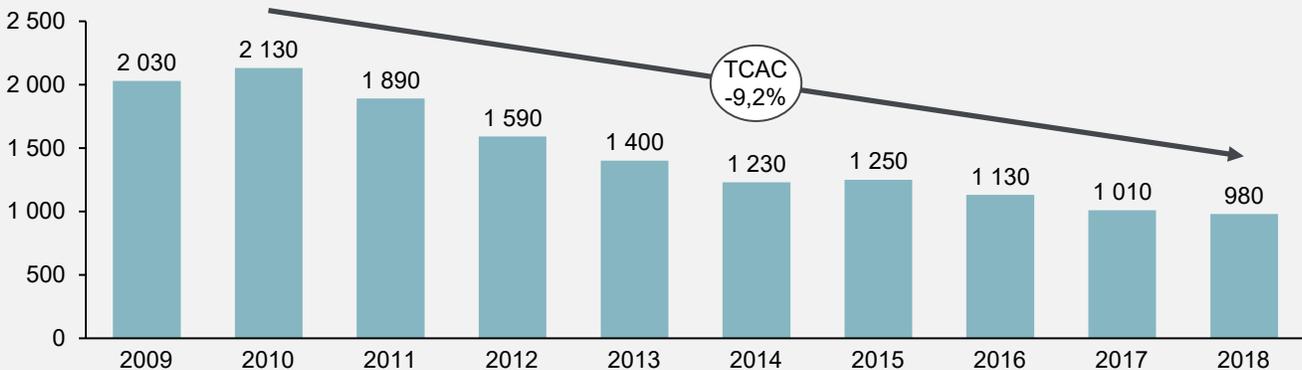


Sources : S&P Global Market Intelligence, Analyse Aviseo Conseil, 2021

Cependant, malgré un contexte financier favorable à l'exploration minière, le renouvellement des réserves minérales demeure un enjeu. Aucune découverte majeure de gisements d'or n'a été recensée dans le monde au cours des trois dernières années<sup>15</sup>. Suivant la même tendance, on dénote une diminution constante des réserves de métaux précieux pour les mines en production au Québec depuis 2010<sup>16</sup>. Des investissements supplémentaires en exploration de la part de grandes compagnies minières devant impérativement renouveler leurs réserves pour maintenir leur niveau d'activité sont attendus dans les prochaines années. Ces entreprises sont de plus en plus enclines à faire des partenariats avec des entreprises innovantes, avec comme objectif de trouver des solutions pour accélérer le cycle de découverte.

**Figure 9 - Réserves de métaux précieux pour les mines en production**

Québec, 2009-2018, en tonnes



Sources : Institut de la Statistique du Québec, Analyse Aviseo, 2021

<sup>15</sup> S&P Global Market Intelligence, 2020.

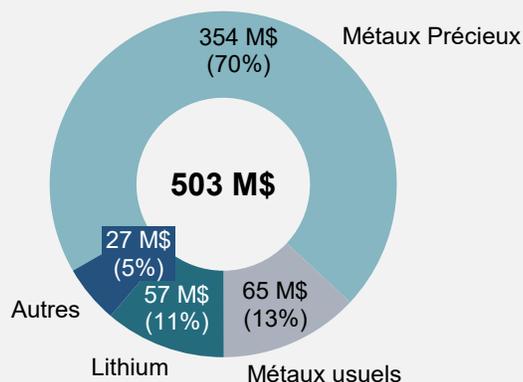
<sup>16</sup> Institut de la Statistique du Québec, 2020.

Le financement pour les projets d'exploration liés aux minéraux critiques et stratégiques (MCS) risque également de s'accroître dans les prochaines années. La croissance attendue pour la demande de ces minéraux est principalement causée par la transition énergétique et l'électrification des transports qui s'opèrent. Pour le lithium par exemple, il est estimé que la demande mondiale devrait croître de 488 % d'ici 2050<sup>17</sup>.

Nous observons déjà au Québec les retombées de cette croissance anticipée sur le secteur de l'exploration minière. Depuis 2013, les dépenses d'exploration pour le lithium ont augmenté à un taux de croissance annuel composé de plus de 54 % pour atteindre 56,8 millions \$ en 2019, soit presque autant que les dépenses pour la recherche de métaux usuels<sup>18</sup>.

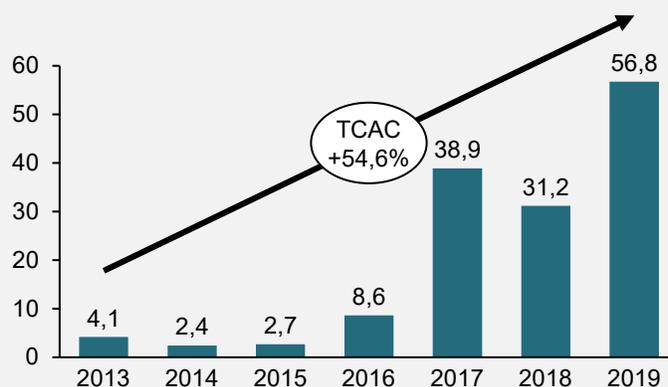
**Figure 10 - Répartition des dépenses d'exploration par type de substance**

Québec, 2019, en millions \$, en %



**Figure 11 - Évolution des dépenses d'exploration pour le lithium**

Québec, 2013-2019, en millions \$



Sources : Institut de la Statistique du Québec, Analyse Aviseo Conseil, 2021.

<sup>17</sup> Banque Mondiale.

<sup>18</sup> Institut de la Statistique du Québec, 2020.

## Contexte social

L'acceptabilité sociale est un facteur qui façonne déjà l'industrie et qui continuera d'avoir un impact croissant sur les activités du secteur minier. À titre d'exemple, une politique de consultation des communautés autochtones propre au secteur minier a d'ailleurs été mise en place pour prendre en compte les préoccupations exprimées ainsi que renforcer les relations et promouvoir le dialogue entre le Québec, ces communautés et les promoteurs<sup>19</sup>. Lors des entretiens que nous avons réalisés auprès de différents joueurs de l'industrie, il a d'ailleurs été mentionné que l'acceptabilité sociale prend une plus grande part des budgets d'exploration qu'auparavant. Des démarches visant à obtenir une acceptabilité sociale des projets doivent être organisées avec les communautés locales dès le tout début d'un projet.

La pénurie de main-d'œuvre observée actuellement dans l'industrie du forage représente également un enjeu social qui découle de la mauvaise réputation du secteur et des conditions de travail difficiles qui y sont associées.

## Environnement

La protection de l'environnement représente un défi pour l'exploration minière. En effet, les normes environnementales auxquelles doivent se soumettre les compagnies d'exploration et de forage exigent de plus en plus de rigueur sur le terrain. Ce cadre réglementaire environnemental est entre autres défini par la Loi sur les mines, la Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier, la Loi sur la qualité de l'environnement et la Loi sur la conservation des milieux humides et hydriques. Plusieurs règles qui découlent de ce cadre impliquent des frais administratifs supplémentaires, notamment pour l'obtention d'autorisations, et nécessitent une surveillance accrue sur le terrain.

## Contexte légal

Le contexte réglementaire du secteur minier est fortement influencé par ses méthodes de financement. Ainsi, plusieurs programmes sont mis en place au Canada pour favoriser et stimuler les investissements dans le secteur. Les sociétés d'exploration peuvent notamment émettre des actions accréditatives pour financer leurs activités. Ces actions

offrent aux investisseurs qui les acquièrent plusieurs incitatifs comme des déductions fiscales et le droit à un crédit d'impôt. Au Québec, le programme d'actions accréditatives est bonifié de deux déductions additionnelles. Le crédit d'impôt relatif aux ressources est également un avantage fiscal propre au Québec et permet aux entreprises d'exploration d'obtenir un taux de déduction allant jusqu'à 38 % de certains frais engagés au cours d'une année<sup>20</sup>.

Du côté de la santé et sécurité, les normes de la CNESST s'appliquent à tous les sites de forage au Québec – les sites de forage étant considérés comme des lieux de travail similaires aux chantiers de construction<sup>21</sup>. Ces normes sont prises au sérieux par les entreprises de forage qui tentent de réduire au minimum les risques de blessures et misent sur la prévention, entre autres en embauchant des coordonnateurs en SST.

## Une dynamique concurrentielle qui ralentit le progrès

Malgré un contexte favorable pour le développement de l'industrie minière au Québec dans toute sa chaîne de valeur, le secteur du forage d'exploration minière semble, pour sa part, limité dans son potentiel en raison de la dynamique concurrentielle observée dans ce segment. Le tableau ci-dessous fait en effet ressortir que l'intensité concurrentielle dans le secteur est très élevée en raison de la faible différenciation des entreprises et du pouvoir de négociation important des clients.

Ce contexte crée une dynamique de compétition fortement orientée sur le prix, qui a par le fait même un effet négatif sur les marges bénéficiaires des entreprises de forage. Ce cercle vicieux a pour effet d'entretenir une dynamique concurrentielle qui bénéficie aux clients qui freine la modernisation de l'industrie.

Parallèlement, les entrepreneurs en forage compétitionnent durement au niveau de la rémunération des travailleurs pour attirer de la main-d'œuvre en temps de pénurie, ce qui crée des pressions à la hausse sur les coûts. Le manque de main-d'œuvre et la forte demande actuelle font en sorte que les exploitateurs doivent parfois payer un prix plus élevé pour réaliser une campagne de forage dans des délais raisonnables.

<sup>19</sup> Loi sur les mines, Gouvernement du Québec.

<sup>20</sup> Revenu Québec.

<sup>21</sup> CNESST.

**Tableau 4 - Analyse de la dynamique concurrentielle du forage**

Facteur d'analyse	Intensité	Tendance	Observations
<b>Menace de nouveaux entrants</b>	Élevée ⊙⊙⊙	Baisse ↓	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Faibles barrières à l'entrée</li> <li>– Coûts de changement faibles</li> <li>– Réglementation croissante (environnementale et en SST) augmente les coûts et ajoute une pression sur les prix</li> </ul>
<b>Menace de produits substitués</b>	Faible ⊙○○	Hausse ↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Industrie conservatrice dont les pratiques d'affaires ont peu évolué dans les dernières décennies</li> <li>– Émergence de nouvelles technologies susceptibles d'avoir un impact sur les capacités de collecte d'information des foreuses</li> <li>– Faible perception de la possibilité de l'émergence de nouveaux modèles d'affaires basés sur des technologies innovantes</li> <li>– Le forage à circulation inversée pourrait prendre plus de place sur le marché</li> <li>– La transition énergétique amène des joueurs non traditionnels dans le secteur qui peuvent changer les façons de faire</li> </ul>
<b>Pouvoir de négociation des acheteurs</b>	Élevée ⊙⊙⊙	Baisse ↓	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Proportion élevée des budgets attribués au forage pousse à une négociation importante</li> <li>– Contraintes financières importantes – notamment chez les juniors</li> <li>– Coûts de changement de fournisseur relativement faibles</li> <li>– Dynamique d'appel d'offres mettant une pression à la baisse sur les prix</li> <li>– Pression « temporelle » à la réalisation des campagnes</li> <li>– Pression tempérée par une pénurie de main-d'œuvre chez les foreurs qui pousse les prix à la hausse</li> </ul>
<b>Pouvoir de négociation des fournisseurs</b>	Faible ⊙○○	Stable →	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Nombreux foreurs intégrés verticalement pour avoir de meilleurs prix et une livraison accélérée des foreuses</li> </ul>
<b>Rivalité dans le forage</b>	Élevée ⊙⊙⊙	Stable →	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Peu de différenciation dans le service</li> <li>– Impact limité de la marque sur la valeur perçue du service</li> <li>– Compétition principalement sur le prix pour obtenir des contrats</li> <li>– Compétition sur la rémunération pour attirer la main-d'œuvre</li> <li>– Coûts fixes très élevés sur les campagnes</li> <li>– Industrie à nature cyclique qui pousse à vendre plus en période de hausse</li> </ul>

Sources : Entretiens individuels, Comités consultatifs, Analyse Aviseo Conseil, 2021

La dynamique concurrentielle décrite se reflète d'ailleurs par les critères de sélection des entreprises de forage par les entreprises d'exploration. Opérant majoritairement sous forme d'appels d'offres, les entreprises d'exploration mettent en concurrence les entrepreneurs en forage pour faire baisser le prix, et utilisent le prix comme un des facteurs de décisions principaux. Bien entendu, d'autres facteurs comme le respect des normes de santé et sécurité au travail et la qualité de la gestion de projet, par exemple, sont aussi pris en compte.

Tableau 5 - Critères de décision pour l'embauche d'une entreprise de forage

Critères de sélection	Descriptions / enjeux
 <b>Respect des règles SST</b>	Plusieurs intervenants ont insisté sur le fait que le respect des normes de santé et sécurité au travail est un enjeu récurrent pour les entreprises de forage – particulièrement chez les jeunes foreurs qui manquent d'expérience. Les entreprises avec une rigueur éprouvée seront privilégiées par les <i>majors</i> .
 <b>Respect des normes environnementales</b>	L'acceptabilité sociale des projets miniers passe par un plus grand respect de l'environnement tout au long du cycle minier, y compris durant l'exploration. La mise en place de la certification environnementale UL ECOLOGO® pour l'exploration minière témoigne de cet état de fait.
 <b>Prix au mètre</b>	Certains explorateurs, notamment les juniors, nous ont partagé que le prix est un facteur hautement déterminant, surtout lorsque les budgets d'exploration sont limités. Cependant, il convient également de noter que pour les <i>majors</i> d'autres facteurs pèsent hautement dans la balance. Par exemple, si les critères SST ou environnementaux ne sont pas respectés, les entrepreneurs ne sont pas considérés dans les appels d'offres. Du côté des foreurs la perception dominante est que leurs clients mettent une pression importante à la baisse sur les prix par la mise en compétition et leur pouvoir de négociation.
 <b>Disponibilité prouvée de l'expertise</b>	En période de pénurie de main-d'œuvre, la capacité de miser sur des foreurs d'expérience est inestimable pour les clients. Inversement, les foreurs sous-expérimentés sont souvent à l'origine de mauvaises manipulations d'équipement qui causent des bris et des déviations des trous de forage – ralentissant par le fait même le programme de forage.
 <b>Gestion de projet</b>	La qualité de la communication et de la gestion de projet en général témoignent de la fiabilité de l'entrepreneur et sont des facteurs prisés par les clients explorateurs.

Sources : Entretiens individuels, Comités consultatifs, Analyse Aviseo Conseil, 2021

## Un secteur niché – Trois niveaux de maturité d'entreprises

Toutes les entreprises de forage d'exploration n'ont pas les mêmes pratiques d'affaires ni les mêmes intentions stratégiques et entrepreneuriales. Nos recherches ont permis de classer ces entreprises selon leur maturité organisationnelle, nous offrant par le fait même une compréhension de leurs points de répartition liés à une éventuelle transformation, et même de tenter d'établir leur intérêt à se transformer à court terme.

Tableau 6 - Trois niveaux de maturité d'entreprise

	Très petites et petites entreprises	Moyennes entreprises	Moyennes et grandes entreprises
<b>Rayonnement</b>	Joueurs locaux	Joueurs régionaux	Joueurs internationaux
<b>Objectif stratégique</b>	<b>Opportunisme</b> : Bénéficier de l'effet d'entraînement des cycles positifs	<b>Performance</b> : Offrir un niveau de qualité élevé	<b>Innovation</b> : Faire avancer l'industrie
<b>Méthodes de forage</b>	Forage au diamant traditionnel	Forage au diamant traditionnel	Variétés d'expertises
<b>Parc de foreuses</b>	Variable	Équipements récents, normes de sécurité implantées	Équipements variés intégrant les nouvelles technologies
<b>Niveau de numérisation des activités</b>	Faible	Limité	Croissant
<b>Objectif court terme</b>	Maximiser les contrats	Gestion de la performance et de la croissance	Transformation numérique des activités
<b>Capacités d'innovation</b>	Inexistantes	Limitées	Élevées

Il y a d'une part les très petites entreprises (TPE) qui entrent localement dans le marché par opportunisme en période haussière grâce à de faibles barrières à l'entrée dans l'industrie. Comme la différenciation dans l'offre de service est faible, des foreurs expérimentés peuvent obtenir des contrats et livrer une qualité de service tout à fait adéquate pour le marché. Ces entreprises ne sont cependant généralement pas organisées pour intégrer les nouvelles innovations et technologies à la même vitesse que les grandes organisations. Leur maturité organisationnelle est très faible et elles sont orientées sur la maximisation des contrats qu'elles peuvent obtenir durant la période haussière de l'industrie.

Viennent ensuite les entreprises de taille moyenne qui œuvrent au niveau régional (ex. Est du Canada). Ces entreprises comptent sur des foreurs d'expériences et bénéficient d'une certaine notoriété dans le marché. Pour ces foreurs, l'objectif stratégique est orienté sur la performance, c'est-à-dire livrer des projets de qualité aux clients (selon les critères énumérés ci-dessus). Les joueurs moyens sont gérés de manière à uniformiser les pratiques et gagner en efficience. Bien que ces entreprises emploient de plus grosses équipes de forage, leur maturité organisationnelle reste limitée et la volonté d'assumer des coûts de gestion pour des projets complexes et onéreux est limitée. De plus, ces entreprises sont représentatives de la culture conservatrice de l'industrie qui contribuent à l'inertie par rapport au changement.

Les entreprises qui ont le plus de potentiel d'innovation et les pratiques les mieux adaptées à cette orientation sont les moyennes et grandes entreprises avec des ambitions mondiales. Ces entreprises sont de plus grande taille et sont beaucoup plus matures au niveau organisationnel. Leurs objectifs à court terme sont moins liés à la performance qu'à la modernisation de leurs pratiques d'affaires.

À travers les entretiens réalisés auprès d'entreprises de toute taille et maturité, nous avons fait ressortir certaines pratiques qui méritent d'être mentionnées pour les bénéfices qu'elles apportent, autant que pour les risques qu'elles soulèvent.

## Pratiques favorisant l'innovation

Les entretiens individuels et les comités de travail ont permis d'identifier des pratiques qui ont aidé les entreprises de forage dans leurs projets d'innovations.

1. **Recueillir l'information du terrain** : au Québec, certaines entreprises sont intégrées verticalement et fabriquent leur propre foreuse. Cette intégration favorise un travail directement avec les foreurs, ce qui est bénéfique pour l'innovation dans la mesure où les équipements deviennent mieux adaptés aux travailleurs qui les utilisent. Parmi les facteurs sur lesquels les entreprises de forage travaillent avec leurs employés : la réduction des accidents, la réduction du temps de non-forage et l'augmentation du confort des travailleurs.
2. **Créer des partenariats avec des entreprises qui possèdent les compétences recherchées** : pour tout ce qui concerne la transformation numérique, il s'agit d'une pratique qui a porté ses fruits. Les technologies numériques sont loin du cœur des activités des foreurs, alors s'adjoindre et éventuellement acquérir un partenaire spécialisé dans les technologies numériques s'avèrent une manière efficace de développer de nouvelles compétences rapidement.
3. **Développer les foreurs les plus ouverts aux changements** : comme la culture des entreprises de forage est très forte et très orientée sur les foreuses traditionnelles, plusieurs entreprises ont partagé qu'il était plus facile d'introduire des nouveautés à des foreurs plus jeunes. Qui plus est, les nouveautés ont souvent pour effet de faciliter l'intégration des foreurs, il s'agit donc d'une approche transitoire favorisant à la fois les entreprises de forage qui forment plus rapidement et pour les jeunes foreurs qui gagnent en expérience plus rapidement. De leur côté, les travailleurs plus expérimentés, moins touchés, se satisfont du statu quo.
4. **Créer un poste de gestionnaire dédié à l'innovation** : rendre une personne imputable de l'innovation au quotidien a favorisé le développement interne d'une stratégie d'innovation orientant les travaux en recherche et développement de l'organisation et jouant un rôle d'ambassadeur des nouvelles technologies. De plus, cette fonction a joué un rôle important dans l'identification d'obstacles à l'adoption de nouvelles technologies.

## Pratiques mettant à risque l'innovation

À l'inverse des pratiques partagées comme favorisant l'innovation, certaines barrières à l'innovation ont été mentionnées et très liées à la culture des entreprises de forage :

1. **Investir en fonction des cycles** : même dans les grandes organisations, l'innovation est financée en fonction des cycles de l'industrie minière. Dans les périodes haussières, elles investissent, tandis qu'en période baissière, on protège l'organisation et les investissements en R&D sont diminués.
2. **Travailler en silo** : il nous est apparu à travers la consultation que les entreprises de forage ont tendance à travailler sur des projets similaires – surtout au niveau de la fabrication des foreuses – pour un marché très ciblé. Nous n'avons pas eu accès aux données financières, mais nous posons la question quant au coût d'opportunité qu'implique cette pratique plutôt que d'investir de manière collaborative, par exemple.
3. **Financer l'innovation à travers les projets réalisés** : de manière générale, les investissements en innovation réalisés dans les entreprises de forage sont amortis à l'intérieur des projets réalisés. L'obtention d'un contrat nécessitant des investissements en innovation est un critère préalable à la réalisation de ces investissements par une entreprise de forage. Il existe pourtant des modèles, issus notamment du secteur manufacturier, où l'innovation est financée différemment en reconnaissant la propriété intellectuelle comme un actif qui fait grandir la valeur des organisations. Ces modèles facilitent le financement de budgets importants dédiés à l'innovation par des sources différentes que l'amortissement à l'intérieur de projets.

**Ce premier chapitre a permis de contextualiser le forage d'exploration minière au Québec** et de démontrer que malgré un contexte socio-économique assez favorable à la modernisation du secteur minier, la forte rivalité entre les entreprises crée une force d'inertie qui contrebalance les forces encourageant l'innovation.

Nous avons également démontré qu'à l'intérieur de l'industrie, toutes les entreprises n'ont pas le même niveau de maturité organisationnelle et ne sont donc pas toutes également outillées pour se moderniser.

Dans la prochaine section, nous nous projetons dans le futur pour anticiper et décrire les défis qui toucheront de plus en plus l'industrie afin de faire ressortir les implications d'affaires concrètes pour les entreprises visées par ce livre blanc.

## 2. Les gisements changent, de nouveaux défis émergent

Ce chapitre met en lumière les grandes tendances en exploration minière qui façonneront l'avenir de toute la chaîne de valeur de l'industrie. Celles-ci s'expliquent d'une part par la réalité d'exploration de plus en plus caractérisée par l'éloignement et la profondeur des gisements, mais aussi par des défis structurels liés notamment à la main-d'œuvre et la nature cyclique de l'industrie qui la caractérisent depuis longtemps.

Dans les prochaines pages, nous définissons chacune des grandes tendances avant de les remettre en contexte par rapport à la réalité actuelle de l'industrie et à ses défis traditionnels. Nous posons l'hypothèse que ces grandes tendances sont des facteurs de transformation qui orienteront la nature de la transformation 4.0 anticipée.

### Six tendances de fond qui façonnent l'avenir

Une recherche documentaire approfondie, des entretiens individuels et des comités de travail nous ont permis d'identifier six tendances de fond liées au forage d'exploration qui appuient le virage vers les technologies d'automatisation et de connectivité dans le secteur.

Certaines de ces tendances découlent d'un contexte lié au marché du travail, dont les enjeux de pénurie de main-d'œuvre et le manque d'expérience de certains travailleurs. D'un autre côté, les tendances comme l'accélération du cycle de découverte et la protection de l'environnement relèvent d'enjeux qui touchent l'ensemble de l'industrie.

Dans le tableau qui suit, nous décrivons les six tendances et avons identifié les enjeux qui en découlent — tant au niveau du forage qu'au niveau de l'industrie de l'exploration — et nous avons fait ressortir les implications concrètes quant à l'évolution nécessaire au sein des entreprises de forage.

**Tableau 7 - Sommaire des tendances actuelles dans l'industrie**

Tendances de fond	Enjeux	Implications pour le forage
<b>Accélérer le cycle de découverte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Maintien de l'orientation des trous de forage en profondeur</li> <li>– Réduction du coût des campagnes</li> <li>– Accélération de l'atteinte des cibles</li> <li>– Accélération des méthodes d'analyse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Automatiser pour mieux prévoir la cadence de travail et réduire les imprévus</li> <li>– Instrumenter les foreuses pour la prise de données en temps réel</li> <li>– Transfert de données en temps réel pour une prise de décision accélérée</li> </ul>
<b>Accélérer la prise de décision dans les campagnes de forage</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Visibilité en temps réel sur les campagnes</li> <li>– Sur le projet</li> <li>– Sur le modèle géologique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Numérisation des outils de gestion</li> <li>– Transformation des données géomécaniques en données géologiques</li> </ul>
<b>Augmenter la performance de forage</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Amélioration de la précision et de la vitesse des foreuses</li> <li>– Accélération des manipulations</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Automatisation des foreuses</li> <li>– Diminution des interventions humaines sur les machines</li> </ul>
<b>Pallier la pénurie de main-d'œuvre et l'inexpérience</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Accélération de la formation</li> <li>– Diminution du nombre d'employés requis par foreuse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Électronisation des composantes pour faciliter la manipulation</li> <li>– Automatisation des foreuses</li> </ul>
<b>Se responsabiliser quant à l'empreinte environnementale du forage</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Réduction de l'empreinte écologique des campagnes</li> <li>– Respect de normes et des meilleures pratiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Moteurs plus performants</li> <li>– Foreuses autotractées</li> </ul>
<b>Améliorer l'expérience de travail des maîtres-foreurs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Diminution des manipulations dangereuses</li> <li>– Augmentation du confort des foreurs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Automatisation des foreuses et des manipulateurs de tiges</li> </ul>

Sources : Entretiens individuels, Comités consultatifs, Analyse Aviseo Conseil, 2021

## Des réserves basses et des défis traditionnels motivent les entreprises à innover et à intégrer de nouvelles technologies

Comme indiqué en première partie du document, le renouvellement des réserves minières est un enjeu prioritaire pour l'industrie qui demande aujourd'hui d'atteindre et de maintenir un taux de découverte plus élevé. Or, plusieurs géologues rencontrés nous ont partagé la prémisse selon laquelle les gisements les plus accessibles à travers le monde ont largement été découverts – ce qui a pour effet de complexifier l'exploration minière, et ce pour plusieurs raisons. Notre démarche nous a permis de répertorier les défis auxquels les entreprises d'exploration sont confrontées et de les décrire de manière détaillée.

Nous mettons également en évidence – et de manière qualitative – que les réalités et par conséquent les besoins des différents explorateurs ne sont pas les mêmes. Les moyens et les objectifs d'un *major* ne sont pas les mêmes que celles d'un *junior*, et c'est une réalité qu'il importe de capter, car elle influence la dynamique de l'industrie.

Cela dit, tous les défis n'ont pas le même niveau d'importance selon le type d'explorateur concerné. Les réalités comme la croissance du travail à des profondeurs de plus en plus importantes, l'éloignement géographique, l'accélération des investissements technologiques et l'optimisation des coûts d'exploration demeurent partagées de part et d'autre.

Tableau 8 - Réalité de l'industrie et implications

Réalité	Description	Niveau d'importance perçue	
		Majors	Juniors
 <b>Travaux en profondeur</b>	Dans le secteur minier, les gisements près de la surface ont fait l'objet de nombreux projets d'exploration et ont été découverts. Cela force les compagnies d'exploration à s'orienter vers des recherches plus en profondeur.		
 <b>Éloignement géographique</b>	Les compagnies d'exploration se doivent de mener des travaux dans des régions plus éloignées pour augmenter leur chance de faire de nouvelles découvertes. Historiquement, certaines régions ayant un fort potentiel minéral ont été négligées en raison des coûts de mobilisation des travailleurs et de l'équipement ainsi qu'en raison du manque d'infrastructure.		
 <b>Accélération des investissements technologiques</b>	Plusieurs investissements sont réalisés pour développer des technologies qui permettront l'amélioration des compétences et de la performance des foreurs sur le terrain ainsi que l'analyse de différentes propriétés des roches par les géologues. Le succès de ce virage technologique s'oriente autour de la capacité d'instrumenter les foreuses afin qu'elles collectent des informations pertinentes lors des programmes de forage et les automatisent pour gagner en performance, en constance et en précision. Cette réalité s'inscrit dans une tendance lourde liée aux sciences de la terre qui passent de plus en plus d'une discipline qualitative à une discipline quantitative appuyée par les sciences de la donnée.		
 <b>Optimisation des coûts d'exploration</b>	Les campagnes de forage se complexifient et la structure de coûts évolue. L'acceptabilité sociale, les réglementations environnementales et les normes imposées par l'industrie accaparent une plus grande part du budget. D'un autre côté, le forage en profondeur et les campagnes en régions éloignées engendrent des frais supplémentaires. Ainsi, une optimisation des coûts de l'exploration, qui passe entre autres par une performance accrue du forage, est nécessaire.		



Sources : Entretiens individuels, Comités consultatifs, Analyse Aviseo Conseil, 2021

## Des défis traditionnels persistent

Parallèlement à la réalité complexe dans laquelle les entreprises d'exploration et de forage œuvrent, plusieurs défis de nature plus traditionnelle affectent l'industrie et sa capacité d'évolution. C'est notamment le cas de la disponibilité de la main-d'œuvre qui est un enjeu de plus en plus d'actualité dans un contexte d'accélération de la cadence des campagnes de forage. La collecte d'information et la capacité de mobilité des entrepreneurs sont quant à elles des défis liés à l'éloignement géographique puisque les travaux dans ces régions sont souvent synonymes de difficulté d'accès et de connexion internet limitée, voire inexistante. Pour chacun des défis identifiés, une brève description de la situation est faite en plus de présenter les conséquences qui s'ensuivent sur l'industrie.

Tableau 9 - Défis de l'industrie

Défis	Descriptions / enjeux
 <b>Intégration des technologies chez les entrepreneurs</b>	La durée de vie d'une foreuse, qui dépasse largement la longueur d'un cycle d'innovation technologique, et son prix très élevé freinent les entreprises de forage à adopter ces nouvelles technologies au rythme où elles sont rendues disponibles. L'intégration des technologies viendra modifier l'exécution du travail de forage. De plus, les foreurs d'expérience qui ont développé des connaissances tacites peuvent être réticents face à ce virage.
 <b>Disponibilité de main-d'œuvre</b>	La recherche de gisements à basse teneur de minerai ainsi que le forage en profondeur génèrent une augmentation importante du volume de forage. Ainsi, les contractants doivent être en mesure de répondre à la demande. Cependant, l'industrie est confrontée à une pénurie de main-d'œuvre qui limite sa capacité à livrer les projets rapidement. La forte demande actuelle risque d'ailleurs d'accroître le problème. La pénurie de main-d'œuvre affecte également les géologues, ce qui augmente les délais d'analyses des échantillons recueillis lors du forage.
 <b>Capacité de mobilité des entrepreneurs</b>	Le forage en régions éloignées représente un défi en ce qui a trait à la mobilisation de l'équipement puisque ces endroits sont souvent difficiles d'accès. L'utilisation de foreuses légères et mobiles/héliportables est donc priorisée. Toutefois, les technologies embarquées et la multiplication de l'instrumentation nécessaires pour répondre aux besoins des clients augmentent le poids et la taille des équipements, ce qui en limite la mobilité.
 <b>Maximiser l'information collectée lors du forage</b>	La collecte, la transmission et l'analyse d'informations lors du forage favorisent une prise de décision beaucoup plus rapide, voire en temps réel. Accélérer la cadence du transfert d'information au rythme de l'économie est primordial pour susciter l'intérêt des investisseurs envers le secteur minier. La collecte de données permet également d'augmenter la compréhension des paramètres de forage et d'optimiser la précision du travail.
 <b>Fiabilité et performance</b>	La complexité du forage en profondeur nécessite une augmentation de la puissance des foreuses ainsi que la constance et l'efficacité des foreurs. Cependant, la qualité du travail dans sa forme actuelle dépend grandement de l'expertise individuelle des foreurs. La fiabilité des machines est également un facteur important puisque les bris ralentissent grandement le déroulement d'une campagne.

Sources : Entretiens individuels, Comités consultatifs, Analyse Aviseo Conseil, 2021

Certains défis vécus dans l'industrie vont parfois se renforcer mutuellement et causer des enjeux de performance dans le forage. C'est notamment le cas des enjeux de roulement de main-d'œuvre et de la constance dans la fiabilité du travail réalisé. Traditionnellement, la nature cyclique de l'industrie provoque un recrutement intensif en période haussière, suivie d'un exode des travailleurs en période de creux, créant par le fait même des effets pervers risqués pour l'industrie – et l'accélération de la cadence des campagnes de forage viendra amplifier ce phénomène.

La solution privilégiée face à ces enjeux passe de plus en plus par l'intégration des technologies. Plutôt que de miser sur un recrutement intensif qui comporte son lot d'inconvénients, les entreprises de forage — souvent équipementiers à la fois — cherchent plutôt des manières de réduire l'impact des travailleurs et des cycles miniers sur la performance de forage.

La partie de droite du tableau suivant détaille plus spécifiquement de quelle manière les vagues de recrutement en dents de scie génèrent des augmentations de coûts pour les entreprises de forage sans gain de productivité. Tandis que la partie de gauche décrit de quelle manière la technologie réduit les impacts de l'expérience des maîtres-foreurs sur la performance du forage.

**Tableau 10 - Impact des défis des entreprises de forage sur leurs initiatives d'innovations**

Le recrutement accéléré a un impact sur la performance des foreurs		La technologie réduit les impacts de la pénurie de main-d'œuvre sur la performance des foreurs	
<b>Manque de connaissance</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Respect des normes SST</li> <li>– Respect des normes environnementales</li> <li>– Séquences de travail sous-optimales</li> </ul>	<b>Automatisation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Augmentation de la précision et de la rapidité du forage</li> <li>– Réduction des risques liés à l'inexpérience</li> </ul>
<b>Mauvaise manipulation de l'équipement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Augmentation de la gravité et de la fréquence de déviation des trous</li> <li>– Augmentation de la fréquence de bris d'équipement</li> </ul>	<b>Indicateurs numériques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Meilleur suivi des paramètres de forage et adaptation du comportement</li> </ul>
		<b>Génération de données de forage (géomécanique)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Maintenance prédictive</li> <li>– Accélération de la prise de décision durant les campagnes et réajustement en temps réel</li> </ul>
▼		▼	
<b>Augmentation des coûts sans gain de productivité</b>		<b>Réduction de la dépendance envers les maîtres-foreurs</b>	

## Le choc des cultures

Au-delà de la réalité et des défis de l'industrie, souvent exprimés clairement durant la démarche de consultation, nous avons constaté un clivage fondamental de culture entre les entreprises de forage et leurs clients explorateurs. Le tableau ci-dessous illustre de quelle manière les entrepreneurs en forage se définissent par le produit fini qu'ils offrent, c'est-à-dire des carottes de forage, tandis que pour les entreprises d'exploration, la réelle finalité est d'obtenir rapidement la meilleure information géologique.

Cette division observée entre les entrepreneurs en forage et les entreprises d'exploration se décline ensuite sur les expertises et les équipements valorisés de part et d'autre, de même que sur leurs orientations technologiques.

**Tableau 11 - Culture des entrepreneurs en forage et attentes des entreprises d'exploration**

	Culture des entrepreneurs en forage	Attentes des entreprises d'exploration
Finalité de l'industrie	Forer les meilleures carottes	Obtenir la meilleure information géologique
Gestion de la relation	Exécuter le programme de forage selon les spécifications, à temps et à l'intérieur des budgets	
Expertise valorisée	Manipulation de la foreuse	Compréhension de la roche en temps réel
Équipements valorisés	Foreuse	Foreuse et systèmes embarqués
Focus technologique	Mécanisation/Instrumentation	Automatisation/Numérisation
Modèle de rémunération/récompense	Rapidité	Information de qualité
Facteur de valeur ajoutée	Réduction du temps de non-forage	Accélération de la prise de décision

Sources : Entretiens individuels, Comités consultatifs, Analyse Aviseo Conseil, 2021

L'analyse des réalités et des défis de l'exploration minière met en lumière les grands chantiers autour desquels l'innovation s'organise aujourd'hui. Ce sont ces thématiques qui orientent les travaux des équipementiers qui fabriquent les foreuses et des fabricants d'instruments de relevés géologiques, géophysiques et géomécaniques. Elles doivent également être considérées à l'agenda de transformation des entreprises de forage. À ce titre, nous décrivons dans le prochain chapitre cet agenda de transformation qui se précise pour les foreurs et jetons les bases d'une vision commune pour l'industrie.

### 3. Un agenda de transformation se précise

Après avoir mis en évidence les tendances et les défis auxquels les entreprises d'exploration et de forage font face, ce chapitre se tourne vers les solutions existantes et en développement pour y répondre. Nous définissons et précisons l'agenda de transformation en nous basant sur les tendances observées dans l'industrie et sur les technologies disponibles, en plus de présenter la vision déployée par les grands équipementiers pour offrir un exemple concret de la trajectoire de l'industrie. Nous décrivons ensuite de quelle manière des transformations pourraient avoir un impact sur le secteur du forage en présentant l'impact de l'intégration des principes d'industrie 4.0 dans les secteurs agricoles et manufacturiers. Nous terminons le chapitre en soulignant que l'intégration des technologies présentées a non seulement un impact sur les ressources humaines des organisations, mais aussi sur les modèles d'affaires qui à leur tour influencent également les besoins en ressources humaines.

#### L'intégration des technologies existantes ouvre la voie sur un virage numérique

Différentes technologies commencent déjà à avoir un impact sur les entreprises de forage. Ces technologies sont parfois disponibles depuis plusieurs années et sont de plus en plus utilisées par les leaders mondiaux. Au Québec cependant, les entreprises de forage semblent ne s'être que très peu appropriées ces technologies, malgré leur potentiel de répondre à plusieurs besoins de l'industrie, tels que l'amélioration de la performance de forage, la récolte d'information géologique pertinente aux géologues et même l'accélération de la cadence des campagnes de forage.

Dans le tableau suivant, nous répertorions ces technologies, les capacités qu'elles offrent aux entrepreneurs en forage, leurs bénéfices opérationnels et les implications – qu'elles soient positives ou négatives – dont les entreprises doivent tenir compte dans leurs décisions d'affaires de les implanter ou non.

Tableau 12 - Évolution technologique

Capacités	Bénéfices	Implications pour les entrepreneurs
<b>Électronisation des composantes</b> ● ● ● ●		
<ul style="list-style-type: none"><li>– Passage de commandes hydrauliques et mécaniques à des commandes électroniques</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Faciliter l'intégration des contrôles de sécurité</li><li>– Augmenter la précision des manœuvres réalisées par les foreurs</li><li>– Diminuer l'impact de l'expérience sur la performance</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Gains de productivité pour les foreurs moins expérimentés</li><li>– Complexification de la maintenance et de la réparation des foreuses</li></ul>
<b>Capteurs intégrés aux tiges de forage</b> ● ● ● ●		
<ul style="list-style-type: none"><li>– Collecte de données sur :</li><li>– Taux de pénétration</li><li>– Couple de tiges</li><li>– Poids sur tête de forage</li><li>– Intégration de jauges de données de forage appuyant le travail des foreurs</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Ajouter un niveau de précision supplémentaire dans le travail des foreurs</li><li>– Prendre des décisions basées sur l'analyse de données géologiques</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Intégration accélérée des nouveaux foreurs</li><li>– Amélioration de la performance des campagnes</li><li>– Diminution de l'impact de l'expérience des foreurs sur la performance</li></ul>

Capacités	Bénéfices	Implications pour les entrepreneurs
<b>Outil numérique de gestion des campagnes</b> ● ● ● ●		
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Numérisation et automatisation de tâches administratives de gestion des campagnes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Accélérer l'accès à l'information :               <ul style="list-style-type: none"> <li>– Suivi du budget</li> <li>– Suivi du progrès des travaux</li> </ul> </li> <li>– Réaliser des audits numérisés :               <ul style="list-style-type: none"> <li>– SST</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Meilleur alignement avec le client</li> <li>– Réduction du travail administratif</li> <li>– Meilleur suivi des campagnes</li> </ul>
<b>Manipulateur de tiges automatisé</b> ● ● ● ●		
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Contrôle des tiges de forage sans manipulation humaine</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Libérer un employé pouvant désormais réaliser d'autres tâches</li> <li>– Réduire de façon importante les risques de blessures</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Augmentation de la disponibilité du personnel</li> <li>– Réorganisation du travail sur le terrain</li> <li>– Accélération de la réalisation des contrats</li> </ul>
<b>Forage directionnel</b> ● ● ● ●		
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Atteinte de plusieurs cibles de forage à partir d'un seul trou</li> <li>– Contrôle de la courbe de forage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Permettre de cibler des zones inaccessibles par forage vertical</li> <li>– Augmenter la précision dans des zones comportant divers obstacles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Diminution du nombre de mètres à forer</li> <li>– Meilleure rapidité d'exécution</li> <li>– Diversification de l'offre de service</li> <li>– Diminution de l'impact environnemental</li> </ul>
<b>Niveau d'implantation perçu</b>		Faible < ● ● ● ● > Élevé

## La prochaine vague d'innovation créera une rupture avec les modèles actuels

Malgré un niveau d'intégration faible des technologies existantes au Québec, nos recherches ont mis en évidence qu'une prochaine vague d'innovation émerge rapidement à l'international. Celle-ci sera en rupture complète avec les modèles actuels en faisant du forage et de la géologie des professions qui reposent de manière beaucoup plus intensive sur la génération et l'analyse automatisées de données à l'appui de la prise de décision dans les campagnes de forage et de l'automatisation des foreuses.

Les entretiens réalisés et nos travaux de recherche en cours mettent en évidence à quel point l'industrie cherche des réponses technologiques aux défis actuels, soit l'accélération de nouvelles découvertes majeures, l'amélioration de la fiabilité et de la précision du forage, de même que la difficulté d'accès à la main-d'œuvre.

Au-delà des technologies utilisées, les grands thèmes abordés font ressortir un destin partagé aux impacts différenciés pour les foreurs et les géologues qui est fortement orienté autour de la capacité de capter des données et de les analyser. Pour les foreurs, les données deviennent des intrants qui seront la base d'algorithmes intelligents, qui eux rendront le forage de plus en plus autonome et de plus en plus précis – au point où l'expérience tacite des foreurs deviendra insuffisante pour répliquer la productivité des foreuses autonomes. Pour les géologues, la génération de données géomécaniques, géophysiques et géochimiques rendent les disciplines des sciences de

la terre de moins en moins qualitatives et de plus en plus quantitatives et demandent le développement de capacités et de compétences en sciences de la donnée pour tirer profit des données générées.

Le tableau suivant introduit six technologies, dont quatre sont orientées autour de l'instrumentation des foreuses et des usages tels que l'automatisation et l'accélération de la prise de décision géologique rendus possibles grâce à la traduction de données géophysiques, géomécaniques et géologiques en données numériques qui en résulte. Les deux dernières technologies font plutôt référence à des préoccupations des entreprises liées à la sécurité des travailleurs d'une part et à la performance des campagnes d'autre part.

**Tableau 13 - Prochaine vague d'innovation**

Technologie	Description	Bénéfices
<b>Logiciels d'analyse des données géomécaniques de forage d'un point de vue géologique</b>	– Déduction de l'information géologique à partir de la composition des roches grâce à la géomécanique	– Accélération de la prise de décisions dans le cadre des campagnes de forage
<b>Automatisation du forage basée sur l'apprentissage machine</b>	– Analyse des données géophysiques de forage en temps réel pour ajuster les paramètres de forage automatiquement pendant le forage	– Augmentation de la précision et de la rapidité du forage – Réduction des bris d'équipements – Diminution de l'expérience requise pour manipuler une foreuse
<b>Réduction graduelle des dépendances aux carottes de forage</b>	– Développement d'autres méthodes d'analyse de la roche permettant d'identifier et de confirmer la teneur sans devoir extraire, ni conserver une carotte de forage – forage destructif, forage par circulation inverse (RC)	– Possibilité d'obtenir des résultats plus précis – Rapidité d'analyse et d'exécution – Réduction de l'empreinte environnementale – Diminution du coût des opérations de forage
<b>Diagraphie pendant le forage</b>	– Ajout de capteurs capables d'acquérir l'information géologique automatiquement pendant le forage	– Collecte de données sur plusieurs paramètres permettant la construction de modèles 3D – Favorise une prise de décision informée
<b>Carottiers rétractables</b>	– Permet au foreur d'inspecter et/ou de changer la tête de forage à chaque fois que la carotte est récupérée et sans devoir tirer les tiges	– Diminution du temps de non-forage – Augmentation du taux de pénétration – Diminution du risque de blessures – Réduction des bris – maintenance préventive
<b>Forage par tubes enroulés</b>	– Remplacer les tiges de forage par des tubes enroulés permettant l'élimination complète des tâches de manipulation	– Diminution importante des risques d'accidents de travail – Augmentation de la précision du forage

Sources : MinEx, Epiroc, Sandvik, Imdex

En parallèle, il est également important de considérer que d'autres technologies de nature plus générique auront également un impact sur le secteur minier par l'évolution des manières de travailler qu'elles permettront. Le tableau suivant introduit ainsi trois technologies utilisées dans d'autres industries, les capacités additionnelles qu'elles offriraient aux entrepreneurs en forage, de même que les bénéfices qu'elles promettent.

**Tableau 14 - Technologies mises en valeur dans d'autres industries**

Technologies	Utilisations	Capacités	Bénéfices
<b>Réalité virtuelle, augmentée et mixte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Manufacturier</li> <li>– Aviation et aérospatiale</li> <li>– Santé</li> <li>– Éducation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Maintenance assistée</li> <li>– Visualisation 3D étape par étape</li> <li>– Support en temps réel de partout à travers le monde</li> <li>– Formation à distance, interactive et/ou simulée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Réduction de la durée des arrêts de service</li> <li>– Augmentation du taux de succès des procédures de réparation</li> <li>– Réduction des coûts de mobilisation d'experts sur le terrain</li> <li>– Accélération de la formation de nouveaux travailleurs</li> </ul>
<b>Simulateur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Manufacturier</li> <li>– Aviation et aérospatiale</li> <li>– Transport routier et maritime</li> <li>– Minier</li> <li>– Industrie du pétrole et du gaz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Formation à distance, interactive et/ou simulée</li> <li>– Simulation axée sur les opérations de routine et les situations inattendues</li> <li>– Reproduire la dynamique des fluides, les données géologiques et géophysiques en temps réel ou accéléré</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Accélération de la formation de nouveaux travailleurs</li> <li>– Prévention des blessures et accidents</li> <li>– Standardisation des (bonnes) pratiques</li> </ul>
<b>Services de connectivité par satellite</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Minier</li> <li>– Industrie du pétrole et du gaz</li> <li>– Résidentielle</li> <li>– Gouvernementale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Offre une connexion internet constante dans des régions éloignées où la connectivité est normalement un enjeu – accès non fiable ou inexistant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Augmentation de la vitesse de transmission d'informations</li> <li>– Permet l'utilisation de plusieurs autres technologies</li> <li>– automatisation et gestion des données en temps réel</li> </ul>

Sources : Microsoft, Endeavor Technologies, Norcat, RE'Flekt, SpaceX, Epiroc, Sandvik

## Les grands équipementiers pavent la voie

Les grands équipementiers à l'avant-plan du cycle d'innovation offrent déjà des solutions technologiques orientées autour de l'automatisation, de la numérisation et de la connectivité des équipements et des activités. Nous avons analysé les cas de trois entreprises — Boart Longyear, Epiroc et Sandvik — et résumé leur vision de l'innovation ainsi que les technologies intégrées par chacune d'entre elles.

Chez Boart Longyear, la plus importante entreprise de forage au monde, on observe une évolution des pratiques. L'ajout de capteur sur les foreuses a modifié les processus de prises de décisions des foreurs, mais aussi des géologues et des gestionnaires de campagnes. De plus, l'automatisation de certaines tâches rend disponible le foreur pour en accomplir d'autres, si bien que l'entreprise offre de nouveaux services comme des laboratoires géochimiques sur le site de forage et des outils générant des données géologiques qui sont dans les deux cas manipulés par des foreurs.

Les exemples d'Epiroc et de Sandvik, qui eux sont surtout manufacturiers et n'œuvrent pas à titre de fournisseurs de services comme le fait Boart Longyear, appuient la démonstration des orientations d'automatisation et de connectivité dans le secteur minier.

**Tableau 15 - Orientation des équipementiers**

	Boart Longyear	Epiroc	Sandvik
L'entreprise	Boart Longyear est la plus importante entreprise de forage au monde avec une variété de services. Elle fait également figure de proue dans le développement de nouveaux outils de forage.	Epiroc est un joueur majeur à l'échelle internationale dans le développement et la mise en marché d'équipements miniers, principalement dans le secteur de l'exploitation.	Sandvik est l'un des plus importants fabricants d'équipements et d'outils industriels au monde. Par le biais de plusieurs marques qu'elle possède, l'entreprise offre des solutions hautement technologiques.
Vecteurs d'innovation	<ul style="list-style-type: none"> <li>– La sécurité des foreurs</li> <li>– Le respect des normes environnementales</li> <li>– Les gains en productivité des foreurs moins expérimentés</li> <li>– La constance dans le forage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– L'électrification</li> <li>– L'automatisation</li> <li>– La connectivité et la gestion de l'information</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Équipements et camions à batterie</li> <li>– Gain de productivité</li> <li>– L'automatisation</li> <li>– Connectivité et gestion de l'information</li> </ul>
Technologies intégrées	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Manipulateur de tiges automatisé</li> <li>– Électronisation des composantes</li> <li>– Géochimie et logging</li> <li>– Captation des paramètres de forage en temps réel</li> <li>– Outils d'orientation</li> <li>– Moteurs écoénergétiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Manipulateur de tiges automatisé</li> <li>– Solution numérique de gestion de flotte</li> <li>– Système de contrôle d'engin à distance</li> <li>– Indicateurs électroniques et capteurs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Suivi des opérations en temps réel et à distance</li> <li>– Logiciel d'analyse des données</li> <li>– Foreuse d'exploration à usages multiples</li> <li>– Système de contrôle d'équipement à distance</li> </ul>

Sources : Coring Magazine, Mining Magazine, Boart Longyear, Epiroc, Sandvik,

L'intégration graduelle de ces technologies risque d'engendrer d'importantes conséquences au point de vue des ressources humaines. Que ce soit au niveau de la compréhension, de l'usage, ou de la maintenance des foreuses utilisées de même qu'au niveau de l'analyse et de l'interprétation des données générées, les compétences requises dans ce secteur d'activité évolueront dramatiquement.

D'autres industries ont cependant entamé leur virage 4.0 bien avant le forage et l'exploration minière, permettant par le fait même d'anticiper certaines transformations.

## L'expérience de secteurs plus avancés permet d'anticiper les changements

L'expérience du secteur agricole permet d'apprécier les implications de la numérisation sur les travailleurs du secteur et d'en tirer des leçons. Dans le secteur agricole, la combinaison de réseaux de capteurs et de systèmes d'analyses de données modernes a transformé les pratiques de prises de décisions, tandis que les technologies d'automatisation ont augmenté la performance et la précision du travail. Aujourd'hui, l'accélération de l'innovation dans la robotique, l'internet des objets et l'infonuagique continuent de transformer l'industrie, non sans impacts sur les travailleurs du secteur. Le suivi intelligent des récoltes et de l'élevage ou l'utilisation de drones et de machinerie autonome ne sont que quelques exemples de cas d'usages liés à l'augmentation de la connectivité dans le secteur agricole. La description ainsi que les bénéfices de ces innovations agricoles tels qu'identifiés par McKinsey & Company sont présentés dans le tableau suivant.

**Tableau 16 - Cas d'usage liés à l'augmentation de la connectivité dans le secteur agricole**

Innovation	Description / bénéfices
 <b>Suivi intelligent des récoltes</b>	Irrigation et distribution de nutriments connectées et basées sur des capteurs et l'analyse d'imageries visant l'optimisation des ressources dans les activités de culture grâce à des ajustements en temps réel.
 <b>Drones</b>	Surveillance par drones et interventions à distances basées sur l'analyse d'imageries et des capteurs connectés au drone qui permettent un suivi plus fréquent, précis et abordable facilitant la gestion des terres agricoles.
 <b>Suivi intelligent de l'élevage</b>	Plan d'élevage individualisé basé sur des capteurs connectés au corps suivant le comportement des animaux visant une détection préventive des maladies et une gestion optimale de l'alimentation et de la médication.
 <b>Machinerie agricole autonome</b>	Machinerie autonome et robots capables de réaliser des interventions ciblées basées sur les données de capteurs et de GPS connectés visant l'optimisation de l'usage des ressources et la réduction des besoins en main-d'œuvre directe.
 <b>Maintenance intelligente des actifs</b>	Maintenance prédictive et ajustements en temps réel du comportement des équipements visant à augmenter leur performance, leur durée de vie et leurs impacts environnementaux.

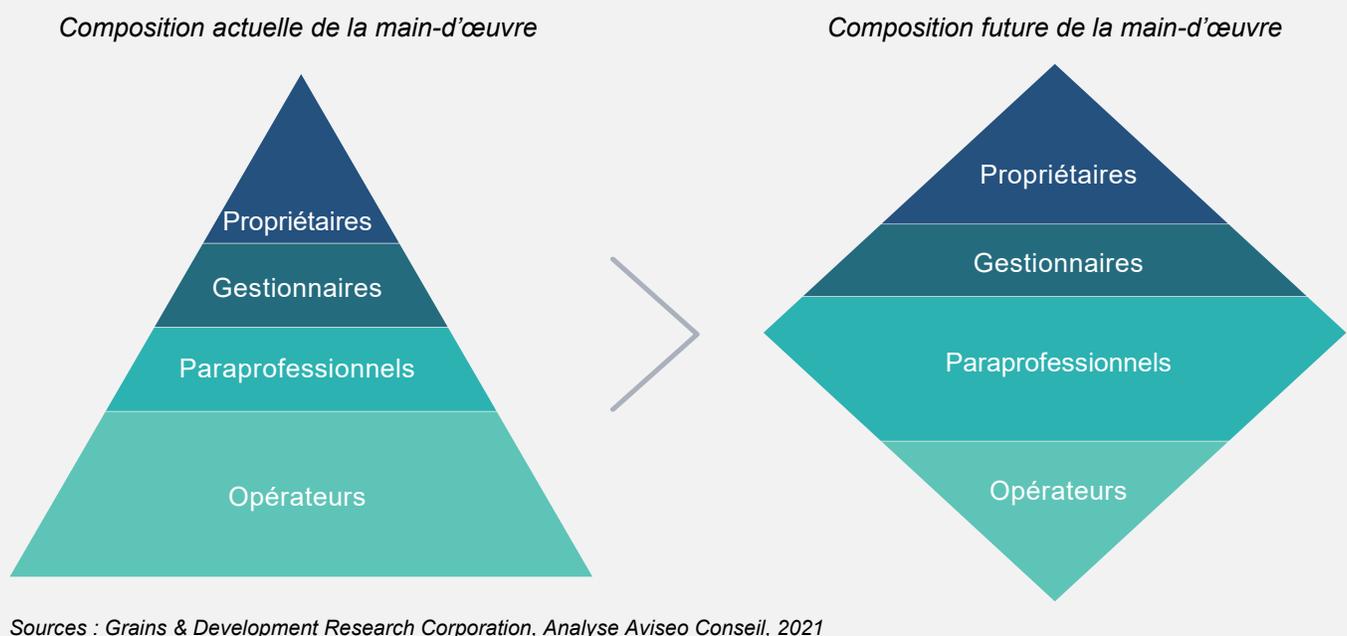
Sources : McKinsey & Company, Analyse Aviseo Conseil, 2021

Une étude australienne datant de 2015 suggère que l'industrie agricole, nécessitant traditionnellement un apport intensif de la main-d'œuvre humaine, s'est transformée à mesure que les nouvelles technologies se sont déployées. La composition de la main-d'œuvre a ainsi évolué vers un modèle où les rôles plus opérationnels diminuent graduellement au profit de travailleurs aux expertises pointues dans des domaines spécifiques<sup>22</sup>. Dans le cas de l'agriculture, la main-d'œuvre spécialisée se concentre sur des thèmes comme l'optimisation de la consommation d'eau, la mise en place de pratiques durables, l'agriculture de précision et la performance animale, par exemple.

La figure suivante illustre le virage que nous décrivons. Il s'agit en fait d'une migration de la masse critique des employés vers des postes où les compétences plus techniques deviennent plus importantes et une réduction importante de postes requérant des compétences plus facilement automatisables.

<sup>22</sup> Grain & Development Research Corporation

Figure 12 - Représentation théorique de l'évolution de la main-d'œuvre dans le secteur agricole



L'évolution de la main-d'œuvre dans le secteur agricole au niveau des compétences nécessaires et recherchées a forcé le secteur académique à s'y adapter graduellement. Le développement de l'agriculture intelligente a poussé les établissements scolaires — non seulement universitaires — à repenser leurs programmes d'études en reconnaissant l'omniprésence des technologies dans un métier traditionnel. Des échos du terrain suggèrent une absence de travailleurs qualifiés capables de comprendre la nature des activités agricoles et les capacités des technologies appliquées à l'agriculture. Des programmes appliqués multidisciplinaires apparaissent avec des objectifs très ciblés sur les besoins concrets des secteurs d'activités, tels que présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 17 - Programmes d'études appliquées au secteur agricole

Établissement	Old's College, Alberta		Lakeland College, Alberta
Diplôme	<b>Agriculture de précision – Diplôme de <i>techronomie</i></b>	<b>Certificat avancé d'intégration des technologies agricoles</b>	<b>Diplôme de technologies agricoles</b>
Compétences clés	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Opérer et évaluer des équipements d'agriculture de précision</li> <li>– Intégrer et analyser des données agricoles dans des solutions logicielles et offrir des recommandations</li> <li>– Intégrer les principes d'agronomie dans les pratiques d'agriculture de précision</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Installer, calibrer et réparer des logiciels et des équipements d'agriculture de précision</li> <li>– Faciliter l'interface entre l'équipement agricole et les nouvelles technologies</li> <li>– Développer l'expertise et l'état d'esprit nécessaires au maintien et à l'acquisition de connaissances en technologies agricoles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Développer des compétences techniques en :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– Systèmes de données de précisions</li> <li>– Robotique</li> <li>– Bio-ingénierie</li> <li>– Robotique</li> <li>– I.A.</li> </ul> </li> </ul>
Lancement	2019	2019	2021

Sources : Old's College, Lakeland College, AG Canada, Analyse Aviseo Conseil, 2021

L'une des craintes du secteur agricole liées à l'intégration des nouvelles technologies était la perte des connaissances tacites des travailleurs quant aux méthodes de travail et aux réflexes acquis avec l'expérience qui permettent de travailler efficacement. Le déplacement du type de main-d'œuvre illustré précédemment démontre d'ailleurs clairement que le risque de perte de connaissances opérationnelles est réel. La perte de ces connaissances ne représente toutefois pas un enjeu réel pour l'industrie.

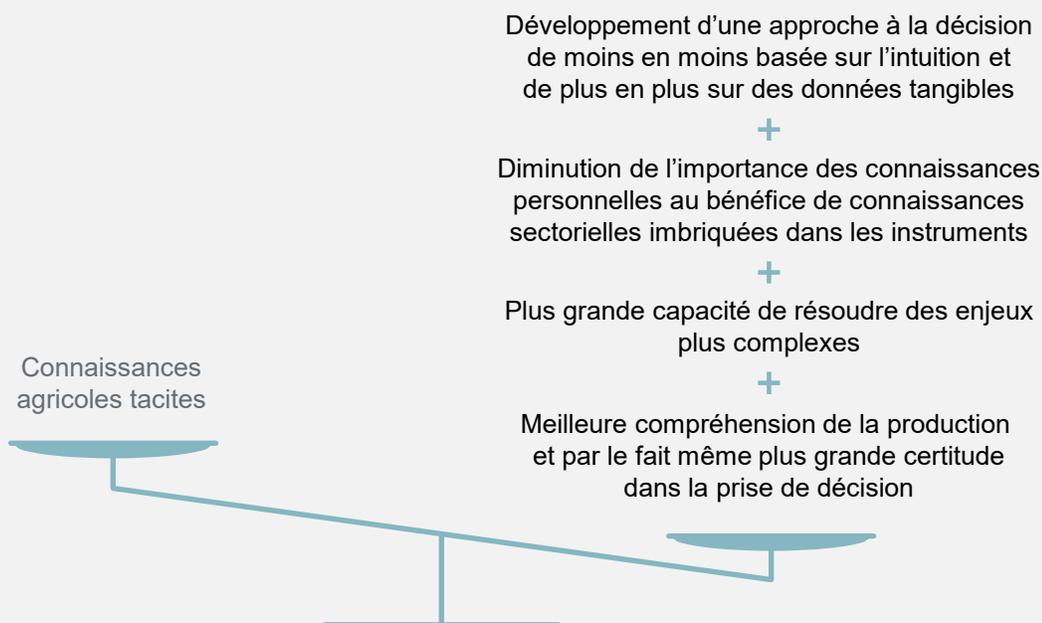
En effet, en imbriquant les connaissances ou l'expertise liée à la réalisation de tâches à faible valeur ajoutée dans des machines qui les réalisent automatiquement, la même tâche est réalisée plus efficacement et de manière moins risquée au niveau de la santé et de la sécurité des travailleurs. Les entreprises bénéficient finalement de gains de productivité en acceptant la relative perte de connaissances.

La libération humaine découlant d'activités réalisées par des robots, ou des mécanismes automatisés, est pour sa part bénéfique dans la mesure où elle laisse place à des activités à plus forte valeur ajoutée. C'est d'ailleurs ce qui est représenté plus en détail dans la figure ci-dessous.

Bien que le déploiement des nouvelles technologies de numérisation et d'automatisation engendre une perte de connaissances tacites, la recherche suggère que les bénéfices de ces technologies à moyen et long terme dépassent largement ces pertes à court terme chez les opérateurs. De plus, les données démontrent que les nouvelles technologies supportent la prise de décision, sans toutefois remplacer les travailleurs.

Les bénéfices de la codification des connaissances tacites et de leur intégration dans des technologies d'automatisation dépassent largement les risques.

**Figure 13 - Les avantages de la codification des connaissances**



Sources : *Frontiers in Sustainable Food Systems, Analyse Aviseo Conseil, 2021*

Des conclusions similaires sont tirées de la transition 4.0 dans le secteur manufacturier où les nouvelles technologies contribuent à l'émergence de nouveaux types d'emplois dont les tâches sont souvent moins répétitives, à plus forte valeur ajoutée, et réalisées dans un contexte de travail amélioré. Grâce à la mécanisation, à l'électronisation et à l'automatisation, les machinistes en entreprises manufacturières se concentrent aujourd'hui à optimiser les processus, le rendement matière et la productivité, plutôt que sur la réalisation de tâches routinières.

Ce virage demandera évidemment des travailleurs qu'ils développent de nouvelles compétences, malgré que l'on s'attende à ce que le noyau de qualifications acquis par les travailleurs durant leur formation technique ou professionnelle demeure important. Les compétences qui seront requises peuvent être classées en quatre grandes catégories présentées dans le tableau suivant.

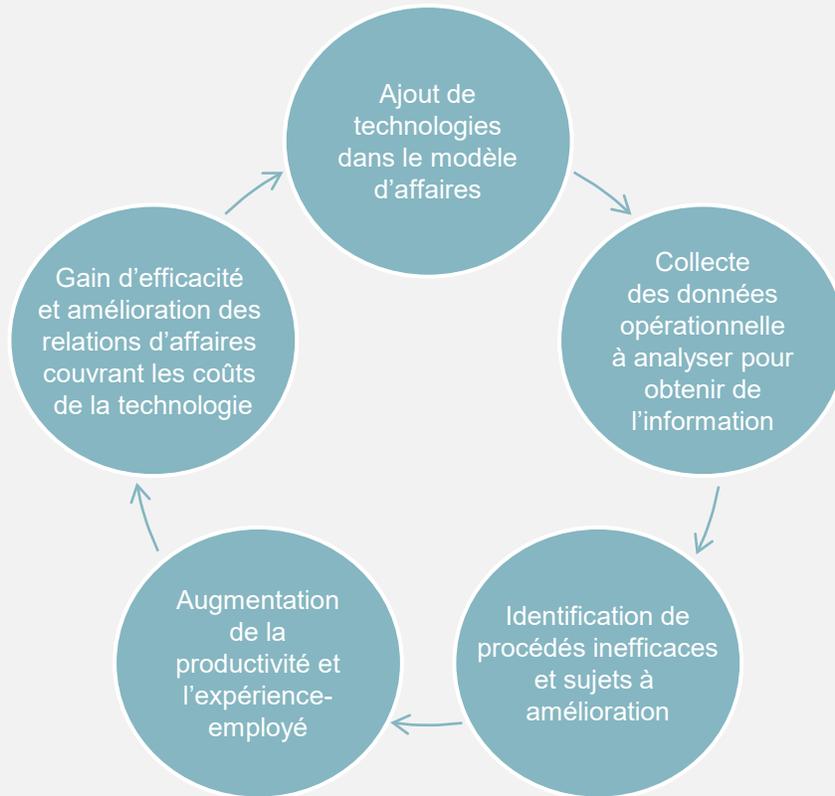
**Tableau 18 - Qualifications requises dans le secteur manufacturier 4.0**

Qualifications importantes	Description
 <b>Connaissances sur les technologies de l'information et de la communication</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Connaissances de base en technologie de l'information</li> <li>– Capacité à utiliser et à interagir avec les ordinateurs et des machines intelligentes               <ul style="list-style-type: none"> <li>– robots, tablettes, etc.</li> </ul> </li> <li>– Comprendre la communication « machine-to-machine », la sécurité informatique et la protection des données</li> </ul>
 <b>Habilité à travailler avec les données</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Être en mesure de traiter et d'analyser des données ainsi que de l'information transmise par les machines               <ul style="list-style-type: none"> <li>– connaissances de base en statistiques</li> </ul> </li> <li>– Comprendre et procéder à la visualisation de données</li> <li>– Prendre des décisions basées sur l'analyse de données</li> </ul>
 <b>Savoir-faire technique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Connaissances interdisciplinaires et génériques sur la technologie</li> <li>– Compréhension des activités manufacturières et des processus mis en place</li> <li>– Capacité à procéder à l'ajustement ou à la maintenance des machines</li> </ul>
 <b>Compétences personnelles</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Adaptabilité et capacité à changer</li> <li>– Compétences en communication               <ul style="list-style-type: none"> <li>– prise de décision et travail d'équipe</li> </ul> </li> <li>– Changement de mentalité pour l'apprentissage tout au long de la vie</li> </ul>

Sources : McKinsey & Company, BRICS Business council, Analyse Aviseo Conseil, 2021

La transformation numérique qui s'est opérée dans le secteur manufacturier montre également que des bénéfices sont engendrés par les investissements en technologie. La numérisation des activités rend possible la collecte de données opérationnelles qui peuvent être analysées et ainsi permettre une optimisation des procédés mis en place. L'augmentation de la productivité ainsi que les gains d'efficacité qui s'ensuivent ont un impact direct sur la qualité du produit et les délais de fabrication. Les réductions de coûts et l'augmentation du volume d'affaires qui en découlent couvrent ainsi l'investissement technologique initial.

Figure 14 - Justification de l'investissement en technologie et implications pour le forage



Sources : McKinsey & Company, BRICS Business council, Analyse Aviseo Conseil, 2021

## Un virage fondamental des modèles d'affaires

Un autre bénéfice directement lié à la connectivité et l'instrumentation est le développement de la possibilité d'imaginer et de déployer de nouveaux types de modèles d'affaires reposant sur l'exploitation de données. L'expérience du secteur manufacturier, notamment, a démontré dans quelle mesure la connectivité croissante des machines et les données qu'elles génèrent créent de nouvelles opportunités d'analyse et de mise en marché de l'information. Il existe plusieurs manières de monétiser les données générées par les machines ou de les mettre en valeur pour faciliter la vente de projets.

Le tableau suivant exprime neuf approches à la valorisation des données reposant d'une part sur des orientations et d'autre part sur des types d'usage.

**Tableau 19 - Nouveaux modèles d'affaires**

	Différenciation basée sur l'information	Courtage d'information	Appuyer la force de vente
Orientation d'affaires	<p><b>Créer de nouveaux services</b></p> <p>Les données générées par les machines offrent une opportunité supplémentaire de mise en marché</p>	<p><b>Vendre des données brutes</b></p> <p>Selon le modèle adopté par les entreprises de logiciels de l'industrie, les données pourraient être vendues en format brut</p>	<p><b>Faciliter les ententes</b></p> <p>La mise en valeur de données historiques et bien organisées à des fins de vente représente un atout supplémentaire dans le cadre d'appels d'offres ou d'approche de nouveaux clients</p>
Orientation client	<p><b>Satisfaire les clients</b></p> <p>Offrir des sources d'information et une analyse des campagnes basée sur des données tangibles créent une relation plus transparente pour les clients et offrent une base de discussion pour la gestion des campagnes</p>	<p><b>Offrir des bases de comparaison</b></p> <p>Selon les contextes anticipés de forage, des stratégies pourraient être anticipées en amont permettant ainsi de mieux prévoir les budgets et les risques liés aux campagnes</p>	<p><b>Faciliter les ententes</b></p> <p>Les données générées par les machines offrent des preuves tangibles des performances passées et peuvent devenir des arguments de vente convaincants</p>
Orientation analyse	<p><b>Offrir une pertinence supplémentaire basée sur le contexte</b></p> <p>L'information générée peut créer des signaux applicables à la maintenance préventive ou à des moments décisionnels qui créent ainsi de la valeur pour les clients et les foreurs</p>	<p><b>Offrir des analyses</b></p> <p>Créer des tableaux de bord d'analyse des campagnes en temps réel identifiant clairement le progrès, les enjeux, les sources de difficultés, et intégrant des données géologiques pourrait être imaginé et monétisé pour le forage</p>	<p><b>Créer des opportunités de publicité</b></p> <p>La combinaison de données analysées peut être utilisée pour créer des études de cas ou être présentée dans de grands congrès bénéficiant ainsi à la visibilité des entreprises de forage</p>

Sources : Harvard Business Review, Analyse Aviseo Conseil, 2021

**À la lumière des changements étudiés**, il devient clair que les nouvelles technologies créeront une rupture avec les modes opératoires actuels au niveau de la relation avec les clients, au niveau du travail des entreprises de forage et au niveau du métier de foreurs :

- L'instrumentation croissante attendue des foreuses mènera à une capacité sans précédent de collecte de données en temps réel qui, de concert avec les technologies de connectivité, permettront aux entreprises d'offrir à leurs clients des données à intégrer dans leurs modèles géologiques et ainsi accélérer la prise de décision dans le cadre de campagnes
- Pour les entreprises de forage, l'automatisation des foreuses, combinée à la génération de données de forage, remet en question leur modèle d'affaires traditionnel basé sur un prix au mètre foré, alors qu'il devient possible de valoriser les données de forage générées et que les foreurs seront de moins en moins imputables de la qualité du forage
- Enfin, pour les maîtres-foreurs, et même les aides-foreurs, les nouvelles technologies demanderont d'acquérir de nouvelles connaissances, et rendront certaines connaissances désuètes, dans la mesure où elles seront imbriquées dans des technologies embarquées

Le prochain chapitre décrit plus en détail les implications de l'agenda technologique qui se dessine en forage d'exploration pour les entreprises du secteur qui chercheront à les intégrer.

## 4. Vers des modèles opératoires en rupture avec la tradition en exploration minière

À la lumière de l'agenda de transformation présenté dans le chapitre précédent, nous agrégeons les informations analysées pour construire un modèle projectif de l'évolution attendue pour le forage en exploration minière. Nous démontrons que l'impact de la transformation sera majeur, autant au point de vue de la relation client, de la nature des activités de forage que du fait même du métier de foreur.

---

Le modèle proposé est suivi des implications managériales attendues pour les entreprises qui s'engageront dans cette transformation. Celles-ci rejoignent l'engagement entrepreneurial des entreprises sous-jacent à une quelconque démarche de modernisation, l'importante réflexion à avoir sur l'évolution des modèles d'affaires, de même que les considérations qui en découlent au niveau de la gestion des ressources humaines.

Enfin, nous complétons l'analyse des impacts du changement en offrant un aperçu de l'évolution nécessaire de plusieurs métiers impliqués directement dans les activités de forage en exploration minière en comparant la nature de ces postes selon les modes opératoires d'aujourd'hui à ceux que nous anticipons devenir requis lorsque l'industrie aura complété sa modernisation.

### Le modèle de demain et les limites d'aujourd'hui

À la lumière des défis de l'industrie et de l'agenda de transformation introduits dans le chapitre précédent, nous proposons une vision pour l'industrie qui cherche à réconcilier les avancées des dernières années et les travaux d'innovation en cours aux besoins non comblés des entreprises d'exploration. Cette vision implique un virage culturel complet appuyé par la technologie, déplaçant le focus actuel de l'industrie sur la production des meilleures carottes à un modèle visant la livraison d'informations géologiques de qualité.

Ce virage s'articule autour de trois grandes transformations : la transformation de la relation client, la transformation de la pratique du forage et finalement la transformation du métier de foreur. Le tableau suivant décrit chacune de ces transformations en les associant à leurs implications technologiques et à leurs implications d'affaires respectives pour les entreprises de forage.

Cette proposition n'est pas associée à une ligne du temps spécifique, mais se veut un outil permettant d'orienter les démarches d'innovation des organisations qui s'y intéresseront.

Tableau 20 - Trois grandes transformations

	Transformation de la relation client	Transformation de la pratique du forage	Transformation du métier de foreur
	Vers des programmes de forage numérisés	Vers un forage autonome	Vers un forage instrumenté
Description	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Forage complètement connecté et suivi en temps réel par les gestionnaires de campagnes avec une rapidité de communication accrue et une prise de décision accélérée pour chaque trou de forage lancé.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Forage quasi automatisé grâce à une foreuse dotée de capteurs connectés à des programmes de forages intelligents qui s'adaptent en temps réel aux conditions géologiques.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– L'automatisation croissante libérera les foreurs pour faire d'autres tâches comme la manipulation d'instruments géoscientifiques préprogrammés par des experts dans le cadre des opérations de forage et laboratoires d'analyse sur le site.</li> </ul>
Implications technologiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Transposition en temps réel des données géomécaniques de forage en données géologiques</li> <li>– Adoption généralisée des plateformes numériques de gestion des campagnes</li> <li>– Amélioration de la connectivité en régions éloignées</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Développement de programmes de forage faisant appel à l'apprentissage machine</li> <li>– Amélioration des capteurs</li> <li>– Intégration de capteurs directement dans le tube de forage</li> <li>– Disparition des tiges de forage au profit de tubes enroulés</li> <li>– Diminution de l'usage de la carotte au profit d'autres technologies</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Développer une maîtrise de certains instruments de diaggraphie (ex. : XRF Boart Longyear)</li> </ul>
Implications d'affaires	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Monétisation des données</li> <li>– Développement d'une infrastructure de gestion des données</li> <li>– Intégration de capteurs de mesure géomécanique sur les foreuses et éventuellement géophysique et géologique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Modernisation complète des flottes de foreuses</li> <li>– Libération graduelle du temps de travail des foreurs sur le terrain</li> <li>– Diminution de la dépendance sur l'expérience des maîtres-foreurs</li> <li>– Refonte complète des postes de foreurs et d'aides-foreurs dans la planification des besoins</li> <li>– Requalification et développement de compétences des travailleurs de terrain</li> <li>– Révision des pratiques de gestion de la performance</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Refonte complète des postes de foreurs et d'aides-foreurs dans la planification des besoins</li> <li>– Requalification et développement de compétences des travailleurs de terrain</li> <li>– Révision des pratiques de gestion de la performance</li> <li>– Révision des critères de recrutement</li> <li>– Formation d'une nouvelle vague de foreurs</li> <li>– Intégration horizontale par les entreprises de forage de certaines tâches d'entreprises de services géoscientifiques</li> </ul>

Sources : Entretiens individuels, Comités consultatifs, Analyse Aviseo Conseil, 2021

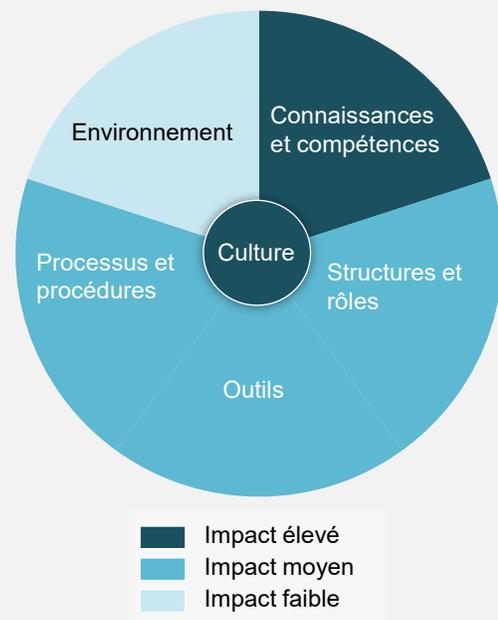
## L'impact de transformer une industrie bien ancrée et performante

Malgré les avancées présentées et le modèle d'évolution proposé, les travaux de consultations ont fait ressortir un sentiment de confiance des entrepreneurs en forage québécois quant à leur performance actuelle et à leur positionnement dans le marché. Nos recherches démontrent cependant que le modèle traditionnel est en décalage grandissant avec les attentes des entreprises d'exploration qui évoluent.

En effet, les attentes grandissantes des géologues quant au partage de données de forage et à la réalisation de tâches techniques demanderont un ajustement conséquent de l'offre de services et des modes opératoires. Les entreprises de forage passeront de contractants pour les entreprises d'exploration à occuper un rôle d'expert-conseil et de support à la planification des campagnes. Il sera ainsi attendu qu'ils contribuent à l'accélération de la prise de décision par les géologues. En plus de livrer des carottes de qualité, il sera attendu d'eux qu'ils soient en mesure de générer des données de forage qui pourront garnir les modèles d'analyses des géologues et devront par conséquent développer une capacité de captation, d'organisation et de mise en marché des données. L'évaluation des impacts du changement sur les entreprises de forage se retrouve dans le tableau qui suit.

*Représentation schématique des impacts RH attendus liés à l'intégration de nouvelles technologies dans le secteur du forage d'exploration*

**Figure 15 - Impacts de la transition 4.0 sur les entreprises de forage**



*Sources : Entretiens individuels, Comités consultatifs, Analyse Aviseo Conseil, 2021*

**Tableau 21 - Évolution anticipée chez les entreprises de forage**

Aujourd'hui	Vision
<b>Connaissances et compétences requises</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fournir des carottes de qualité</li> <li>- Offrir une performance constante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fournir des carottes de qualité</li> <li>- Offrir une performance constante</li> <li>- Fournir des informations sur la campagne de forage en temps réel (gestion et données de forage)</li> <li>- Contribuer à l'accélération de la prise de décision par les géologues</li> <li>- Capacité de collecter et d'acheminer des données de forage (géomécaniques, géophysiques, géologiques) aux clients</li> </ul>
<b>Processus et procédures</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fabrication d'équipement de forage</li> <li>- Gestion d'équipement de forage</li> <li>- Gestion de carottes de forage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fabrication d'équipement de forage</li> <li>- Partenariats avec des entreprises d'instrumentation</li> <li>- Gestion d'équipement de forage</li> <li>- Gestion de fournisseurs électriques/électroniques</li> <li>- Gestion d'instrumentation géologique</li> <li>- Fournir des données géologiques, géomécaniques et géophysiques</li> </ul>
<b>Structures et rôles</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contractant pour les entreprises d'exploration</li> <li>- Gestion de la logistique sur le site                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- campement, transport</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rôle d'expert-conseil</li> <li>- Support à la planification de la campagne</li> <li>- Gestion de la logistique sur le site                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- campement, transport</li> </ul> </li> </ul>
<b>Culture</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valorisation des normes environnementales et de SST</li> <li>- Attitude réactive face à la demande</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valorisation des normes environnementales et de SST</li> <li>- Approche proactive – développer de nouvelles solutions</li> </ul>
<b>Outils</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plateforme de forage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plateforme de forage</li> <li>- Plateforme de gestion de projet</li> <li>- Plateformes de gestion de bases de données</li> <li>- Tableaux de bord de campagnes de forage</li> <li>- Instruments de diagraphie</li> </ul>
<b>Environnement</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Travail en régions éloignées</li> <li>- Plateforme de forage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Travail en régions éloignées</li> <li>- Plateforme de forage</li> </ul>

Sources : Entretiens individuels, Comités Consultatifs, Analyse Aviseo Conseil, 2021

## Un virage entrepreneurial, et un virage humain

La transformation qu'implique l'évolution proposée des modes opératoires des entreprises de forage au niveau de la relation client, du forage et du métier de foreur est majeure. Sans une vision entrepreneuriale et un support organisationnel suffisant, la réussite de ce virage est improbable.

Les témoignages obtenus durant la démarche, une revue de littérature de même que les apprentissages tirés des expériences vécues dans d'autres industries, permettent de définir trois groupes majeurs d'implications. Ils sont présentés dans le tableau suivant et les prochaines pages élaborent plus en détail chacun des trois groupes.

**Tableau 22 - Revue des implications**

Leadership entrepreneurial	Transformation des modèles d'affaires	Gestion des ressources humaines
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Volonté de tester et d'intégrer de nouvelles technologies</li> <li>– Financer l'innovation de manière soutenue</li> <li>– Apprendre à collaborer avec des joueurs non traditionnels</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Évolution des modèles de revenus</li> <li>– Élargissement de la gamme de services</li> <li>– Transformation du positionnement</li> <li>– Développement de nouvelles expertises</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Acquisition et développement de nouvelles compétences</li> <li>– Évolution des mesures de performance et de rémunération</li> <li>– Créer une nouvelle culture de travail où des détenteurs de compétences diverses collaboreront</li> <li>– Développer chez les foreurs une capacité d'adaptation entre les technologies</li> <li>– Mettre la table pour gérer une transformation importante</li> <li>– Modification des critères de recrutement</li> </ul>

Sources : Entretiens individuels, Comités consultatifs, Analyse Aviseo Conseil, 2021

## Les entrepreneurs sont-ils prêts ?

L'analyse de l'expérience des secteurs manufacturier et agricole montre que ce ne sont pas toutes les entreprises ni toutes les régions qui ont entamé leur modernisation. Il n'en demeure pas moins qu'une transition 4.0 menée par la convergence des nouvelles technologies de robotisation, par les capteurs de données et par la science des données crée un nouveau contexte qui transforme fondamentalement les modes d'opération des entreprises les plus modernes.

Pour démarrer cette transition technologique, un engagement des entreprises à se transformer doit être l'élément déclencheur. Elle demande une volonté des entrepreneurs ou des équipes de directions de se moderniser et de consacrer l'énergie nécessaire en termes financiers, d'allocations des ressources ainsi qu'en termes de positionnement auprès des clients – en plus de toutes les implications RH présentées dans les prochaines pages.

L'incertitude quant aux périodes haussières et baissières dans l'industrie a fréquemment été citée comme une importante barrière à la modernisation qui limite les capacités financières pouvant être consacrées à la transformation. Malgré tout, la priorisation des investissements en innovation est une implication majeure sous-jacente à une transformation réussie dans le contexte actuel de modernisation internationale de l'industrie 4.0.

Enfin, et comme ce fut le cas dans le secteur manufacturier et agricole, de nouveaux fournisseurs d'équipement et de services apparaîtront sur le marché avec des offres innovantes. Apprendre à s'organiser pour identifier et collaborer avec de nouveaux joueurs deviendra une capacité différenciatrice pour les entreprises.

## Passer d'un statut de commodité à une entreprise spécialisée

L'intégration de nouvelles technologies viendra également offrir de nouvelles possibilités d'affaires pour les entreprises de forage qui souhaiteront entamer leur modernisation. La valorisation des données et l'émergence des technologies de traçabilité remettent complètement en question le paradigme selon lequel une carotte de forage est requise pour prouver l'existence de gisements à haut potentiel. Cette implication est majeure et permettrait aux entreprises de forage de se rapprocher d'un modèle d'affaires répondant directement au besoin des entreprises d'exploration d'obtenir les meilleures informations géologiques.

À ce changement il faut ajouter que les tâches réalisées aujourd'hui seront réalisées demain de manière beaucoup plus précise et efficace avec un effort moindre grâce aux technologies d'automatisation en cours de développement dans le secteur du forage.

Dans ce contexte, les entreprises devront considérer comment mettre en marché des données de forage, quelles données commercialiser, et cela implique de comprendre comment ces données créent de la valeur pour leurs clients. Les entreprises devront apprendre à capturer, transporter, traiter, archiver, référencer et visualiser les données et devront également considérer les questions de propriétés des données. Cela implique de développer des capacités d'intelligences d'affaires qui dépassent les compétences traditionnelles des entreprises de forage.

Bien qu'il s'agisse d'un défi de modernisation et de transformation majeure, cela représente surtout une formidable opportunité pour les entreprises de forage de s'éloigner d'un positionnement de service de commodité coûteux à un service à haute valeur ajoutée pour les entreprises d'exploration.

**Tableau 23 - De nouvelles possibilités d'affaires**

Situation actuelle	Situation possible	Types de gains
<p><b>Un mal nécessaire</b></p> <p>Passer d'un service perçu comme une commodité dispendieuse</p>	<p><b>Un incontournable</b></p> <p>À un service à valeur ajoutée hautement différencié qui répond concrètement aux attentes des clients</p>	<p><b>Gains perceptuels</b></p> <p>Premier choix / top-of-mind</p>
<p><b>Compétitionner sur le prix</b></p> <p>Passer d'un contexte où les fournisseurs sont interchangeables</p>	<p><b>Se différencier par une offre de service bonifiée</b></p> <p>À un contexte où la spécialisation est tellement valorisée par les clients qu'ils sont prêts à payer le prix pour en bénéficier</p>	<p><b>Gains sur les marges bénéficiaires</b></p> <p>Différenciation valorisée</p>
<p><b>Une industrie enracinée dans ses pratiques</b></p> <p>Passer d'une pratique qui a peu évolué dans les dernières décennies</p>	<p><b>Des entrepreneurs qui font partie de la solution</b></p> <p>À une pratique qui s'arrime aux défis et aux opportunités actuelles liées à l'exploration minière et aux technologies de géologie qui sont déployées par de nouveaux joueurs</p>	<p><b>Positionnement</b></p> <p>Partenaire stratégique plutôt que contracteur</p>
<p><b>Une expertise qui se perd et se reconstruit en fonction des cycles</b></p> <p>Passer d'une industrie où la main-d'œuvre entre et quitte les entreprises en fonction des cycles, générant des écarts importants dans la maîtrise des équipements et de la pratique</p>	<p><b>Une expertise qui repose sur des technologies et des processus maîtrisés</b></p> <p>À une industrie où les connaissances sont imbriquées dans les équipements, limitant par le fait même la durée de formation et l'impact des erreurs et de la discipline sur la rentabilité des campagnes</p>	<p><b>Gains opérationnels</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Réduction des coûts de formation</li> <li>– Augmentation de l'efficacité</li> <li>– Diminution des erreurs</li> <li>– Diminution des arrêts non planifiés</li> </ul>



Nous pouvons prendre l'exemple de **Devico** qui, grâce à une protection de sa propriété intellectuelle, s'est positionné comme un expert-conseil en forage de précision hautement prisé et dont les concurrents ne sont pas en mesure de reproduire la même offre. Cette entreprise a investi énormément en recherche et développement pour développer un concept de forage directionnel et d'études de forage pour atteindre en partie le positionnement d'évolution suggéré dans ce rapport. L'entreprise compte aujourd'hui sur une expertise à la fois opérationnelle en forage et numérique qui lui a permis de gagner une réputation internationale et une position dominante dans le marché.

---

L'élargissement de la gamme de services remettra cependant en question l'ordre établi dans la chaîne de valeur de l'industrie et pourrait entraîner une compétition vive de la part de joueurs non traditionnels. La prise en charge de la manipulation d'instruments par les foreurs remettra en question certaines activités normalement offertes par des firmes de services géoscientifiques.

## **Embarquer les équipes dans le changement**

Tous les changements mentionnés et l'évolution anticipée des modèles d'affaires en forage auront un impact inévitable sur les ressources humaines et les entreprises devront s'y préparer. Telle qu'observée lors de la transformation 4.0 réalisée dans d'autres industries, la gestion des ressources humaines se trouve à un point névralgique de la transition.

Souvent confinées à un rôle transactionnel de recrutement et de gestion des tâches administratives liées aux ressources humaines, les périodes de transformation représentent des opportunités pour les fonctions RH d'occuper un rôle stratégique de conseil dans la transition. Nous anticipons que les fonctions RH auront le rôle d'accompagner la haute direction et la présidence dans la transition technologique en prenant en charge l'aspect culturel et humain de la transition.

D'une part, l'évolution des foreuses grâce aux technologies de connectivité et d'automatisation demandera des maîtres-foreurs qui développent de nouvelles compétences comme la compréhension des composantes électroniques ou la capacité à les remplacer, par exemple. De plus, grâce à l'automatisation, les profils recherchés s'ouvriront par la diminution des prérequis physiques. Puisque les parcs de foreuses évolueront — des foreuses plus mécaniques et d'autres plus technologiques cohabiteront pendant un certain temps — il deviendra également très important de s'assurer que les foreurs sont polyvalents dans leurs capacités et dans les contextes d'interventions où ils peuvent être mobilisés.

Ensuite, l'automatisation croissante remettra en question le modèle d'évaluation et de rémunération traditionnel du forage et déplacera la performance du foreur vers d'autres facteurs dont certains sont définis, et d'autres pas encore. L'intégration graduelle de nouvelles tâches, comme la manipulation d'instrumentation géologique, pourra être intégrée aux modèles d'évaluation de la performance des foreurs. Le respect des normes SST et des normes environnementales influencent également la performance de forage et sont d'autres facteurs qui pourraient être considérés.

En parallèle, la transformation anticipée du secteur basée sur les technologies et les attentes des clients pourrait éventuellement mener à l'émergence de métiers de conseil chez les entreprises de forage, demandant ainsi des profils de compétences différents. Des techniciens dans l'interprétation ou la manipulation de données de forage ainsi que du personnel TI seront convoités.

Dans le contexte hautement compétitif du secteur du forage, où sévit une grave pénurie de main-d'œuvre, la transformation des entreprises et ses implications sur les modèles de performance pourraient mettre de la pression sur les emplois. Un plan de gestion du changement clair devra être développé et arrimé avec les processus de transformation.

Le Boston Consulting Group fait ressortir quatre leviers sur lesquels les départements de gestion des ressources humaines peuvent se concentrer : la gestion de la quantité du personnel, la gestion du coût des ressources humaines, la gestion de la qualité du personnel, et finalement la transformation et la gestion. Le schéma suivant exprime les implications de chacun de ces leviers.

**Figure 16 - Leviers des départements RH**



Sources : BCG, Analyse Aviseo Conseil, 2021

Au niveau de la gestion des coûts du personnel, le développement d'une capacité à donner une vision détaillée de l'offre de rémunération globale de l'entreprise, mais surtout d'anticiper des scénarios de transformation pour les adapter aux budgets futur de l'entreprise telle qu'elle pourrait opérer dans le futur.

La gestion de la qualité du personnel est également un élément fondamental à maîtriser. Il dépend de la capacité des fonctions RH à identifier et développer les compétences essentielles pour les organisations et à créer et entretenir des programmes de formation susceptibles de résorber les écarts identifiés. Les équipes de gestion RH qui performent sur ce levier sont capables de prioriser les meilleures approches d'allocation des ressources pour générer les retombées les plus positives pour leurs opérations.

La maîtrise de ces trois premiers piliers amène les entreprises à réagir efficacement dans un contexte où les marchés évoluent rapidement et leur permet d'anticiper les tendances et les transformations à venir, et ainsi d'intervenir convenablement.

Enfin, le levier transformation et gestion revient à la capacité des organisations à utiliser les équipes de ressources humaines de manière plus stratégique pour faciliter l'implantation de transformation, l'établissement de processus de planification de la main-d'œuvre et aussi pour légitimer les changements dans les organisations.

Au final, ce rôle plus prédominant des équipes de gestions des ressources humaines sera fondamental, car les changements pour les rôles joués à l'intérieur de l'organisation seront majeurs. Nous introduisons ces changements dans le prochain chapitre où prendront tout leur sens les implications RH présentées.

## L'impact de réapprendre un métier qui se transforme

L'interaction des trois transformations que nous anticipons, soit la transformation de la relation client, la transformation du forage et la transformation du métier de foreurs, toutes trois appuyées, voire provoquées par l'innovation technologique, impliquera l'évolution des rôles et responsabilités dans la chaîne de valeur de l'exploration minière. Du géologue à l'aide-foreur, les professions évolueront à différents égards.

Pour illustrer les évolutions anticipées, nous avons décliné les implications attendues sur cinq métiers spécifiques, à savoir celui de géologue, celui de maître-foreur, celui d'aide-foreur, celui de directeur des opérations dans les entreprises de forage et celui de directeur des RH dans les entreprises de forage. Les implications abordent cinq facteurs clés liés à la pratique d'un métier dans son contexte : les connaissances et les compétences requises, les structures et les rôles, les outils utilisés, les processus et les procédures suivis, l'environnement de travail et la culture entourant le poste<sup>23</sup>. En ce qui concerne les rôles techniques, nous démontrons que les nouvelles technologies impliquent de profonds changements de compétences et de connaissances requises, au niveau de la culture de travail, ainsi qu'au niveau des outils utilisés. Pour les postes de gestion, la structure et les rôles, de même que la culture sont les facteurs qui évoluent le plus.

Les prochaines pages décrivent en détail les implications attendues pour chaque métier.

Représentation schématique des impacts RH attendus liés à l'intégration de nouvelles technologies dans le secteur du forage d'exploration

Figure 17 - Impacts de la transition 4.0 sur les maîtres-foreurs

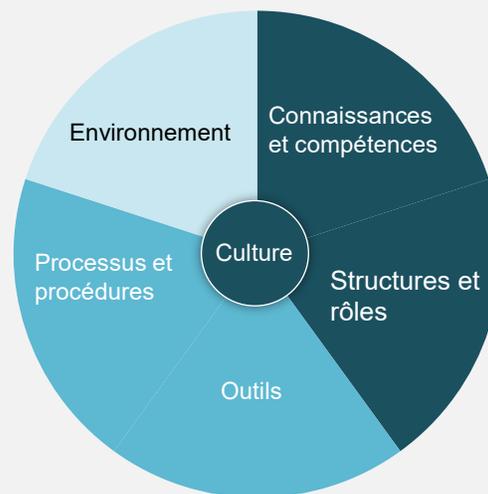
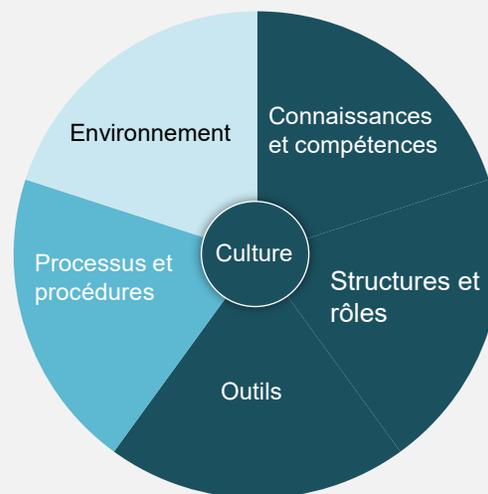


Figure 18 - Impacts de la transition 4.0 sur les aides-foreurs

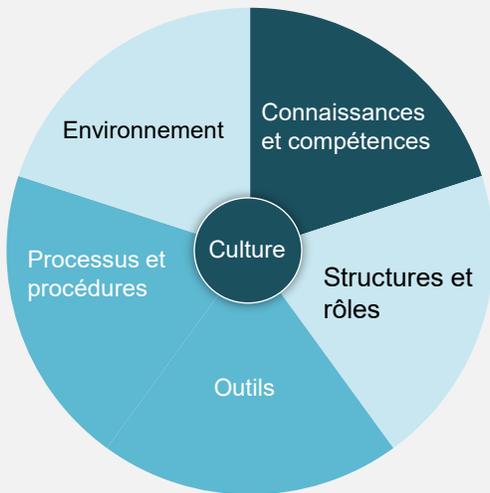


■ Impact élevé  
■ Impact moyen  
■ Impact faible

Sources : Entretiens individuels, Comités consultatifs, Analyse Aviseo Conseil, 2021

<sup>23</sup> Une description de ces facteurs est disponible en annexe pour alléger le texte.

Figure 19 - Impacts de la transition 4.0 sur les géologues



Sources : Entretiens individuels, Comités consultatifs, Analyse Aviceo Conseil, 2021

## Géologues

Les sciences de la terre ont énormément évolué ces dernières années notamment grâce à la démocratisation et à l'adaptation des capacités des sciences de la donnée à différents secteurs d'activités. Disciplines traditionnellement qualitatives, la géologie et plus généralement les sciences de la terre deviennent graduellement de plus en plus quantitatives. Fondamentalement, le rôle et les responsabilités des spécialistes de la géologie resteront les mêmes, cependant les outils qu'ils utilisent, les méthodes de travail qu'ils emploient, et les attentes qu'ils ont envers leurs fournisseurs de services seront de plus en plus orientés sur la capacité de capter, de transmettre, de gérer et d'analyser des données géologiques.

À ce titre, le terme « sciences de la terre numérique, ou *digital geosciences* » fait même son apparition dans la littérature pour décrire la combinaison de la théorie quantitative en géologie et des technologies de l'information et des télécommunications<sup>24</sup>. L'objectif sera de révéler les anomalies géologiques par l'extraction d'informations clés provenant de bases de données géologiques variées pour ainsi identifier et prédire des structures géologiques et des gisements profondément enfouis sous la terre.

<sup>24</sup> Zhao et Chen (2021)

**Tableau 24 - Évolution anticipée chez les géologues**

Aujourd'hui	Vision
<b>Connaissances et compétences requises</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Études universitaires en géologie, géochimie ou autres</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Études universitaires en géologie, géochimie ou autres</li> <li>– Connaissances des applications géologiques et géophysiques des sciences de la donnée</li> <li>– Connaissances en mathématiques et en statistiques</li> <li>– Connaissances des bénéfices et applications potentielles de l'apprentissage machine à la géologie</li> <li>– Connaissances des logiciels de gestion de campagnes de forage</li> </ul>
<b>Processus et procédures</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Planifier et diriger des campagnes géologiques, géochimiques et géophysiques et des programmes de forage et d'essais géologiques et y participer ;</li> <li>– Planifier et mener des études analytiques de carottes, de déblais de forage et d'échantillons de roches pour en déterminer la composition chimique, minérale, biologique et la composition en hydrocarbures et pour évaluer l'environnement sédimentaire et l'âge géologique ;</li> <li>– Évaluer l'étendue, l'orientation et la composition des gisements de minéraux et d'hydrocarbures ;</li> <li>– Identifier et fournir des conseils sur les risques naturels prévisibles tels que l'érosion des pentes, les glissements de terrain, l'instabilité des sols, l'affaissement de terrains, les tremblements de terre et les éruptions volcaniques ;</li> <li>– Superviser, au besoin, et coordonner les travaux de forage, d'achèvement et de reconditionnement des puits ainsi que les activités minières.</li> <li>– Planifier et diriger l'analyse des données rassemblées lors des relevés géologiques, géochimiques et géophysiques, des résultats des diagraphies et d'autres tests, des cartes, des notes et des coupes transversales, et y participer ;</li> <li>– Planifier et diriger des programmes de relevés sismiques, électromagnétiques, magnétiques, gravimétriques, radiométriques, par radar et par autres moyens de télédétection, et y participer ;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– La majorité des tâches des géologues demeureront, mais les outils utilisés et les analyses réalisées seront de plus en plus influencés par les sciences de la donnée et la capacité d'utiliser les technologies qui permettent d'en tirer profit.</li> <li>– S'assurer de l'intégrité des données générées par les fournisseurs</li> <li>– Gérer les bases de données géologiques</li> <li>– Intégrer les prédictions générées par l'analytique aux modèles géologiques</li> </ul>
<b>Structures et rôles</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Donneur d'ordre dans les campagnes d'exploration</li> <li>– Suivi et gestion des campagnes</li> <li>– Responsabilité décisionnelle dans la réalisation des campagnes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Donneur d'ordre dans les campagnes d'exploration</li> <li>– Suivi et gestion des campagnes</li> <li>– Responsabilité décisionnelle dans la réalisation des campagnes</li> </ul>
<b>Culture</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Relation très contractuelle avec les entrepreneurs en forage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Relation plus partenariale avec les entreprises de forage et avec les foreurs</li> </ul>

Aujourd'hui	Vision
<b>Outils</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Outils et matériel de terrain</li> <li>– Carnet, GPS, marteaux, etc.</li> <li>– Laboratoire et équipements d'analyse</li> <li>– Logiciels de modélisation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– En plus de tous les outils et équipements utilisés actuellement, une grande partie du travail du géologue sera orienté autour de la gestion et de l'analyse des données : <ul style="list-style-type: none"> <li>– Bases de données</li> <li>– Logiciels d'analyse et de modélisation</li> <li>– Logiciels de gestion de campagnes</li> </ul> </li> </ul>
<b>Environnement</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Régions éloignées</li> <li>– Sites de forage</li> <li>– Bureaux de l'entreprise représentée</li> <li>– Campements miniers</li> <li>– Carothèques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Régions éloignées</li> <li>– Sites de forage</li> <li>– Bureaux de l'entreprise représentée</li> <li>– Campements miniers</li> <li>– Carothèques</li> </ul>

Source : Entretiens individuels, Comités Consultatifs, Analyse Aviseo Conseil, 2021

## Maîtres-foreurs

Les nouvelles technologies d'automatisation, de capture de données et de communication pourraient fondamentalement changer la nature du métier de maître-foreur. L'automatisation et les instruments embarqués changeront la nature même de l'outil manipulé par le foreur avec comme incidence positive de faciliter le travail de manipulation du forage. Cependant, l'ajout de ces technologies complexifiera considérablement les tâches connexes de maintenance en raison de leur plus haut degré d'électronisation et d'électrification. Le maître-foreur devra par conséquent apprendre à faire confiance à la foreuse et orienter son rôle sur le maintien des conditions permettant à la foreuse de performer de manière automatique.

À partir de ces changements d'outils découleront des implications au niveau des connaissances requises, des procédures à suivre, et de la culture même associée au métier. Un seul facteur demeurera constant, soit l'environnement de travail. Une analyse détaillée des implications d'une nouvelle vision est présentée dans le tableau suivant.

**Tableau 25 - Évolution anticipée chez les maîtres-foreurs**

Aujourd'hui	Vision
<b>Connaissances et compétences requises</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Connaissance et maîtrise des meilleures pratiques de manipulation d'une plateforme de forage</li> <li>– Pression sur la tête de forage</li> <li>– Connaissance et maîtrise de l'utilisation des lubrifiants</li> <li>– Connaissance et maîtrise des types de tête de forage à utiliser selon le contexte</li> <li>– Connaissance et maîtrise des séquences de forage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Travail moins physique</li> <li>– Fortes capacités de communication</li> <li>– Manipulation de la foreuse basée sur la lecture d'indicateurs numériques</li> <li>– Compétences électriques et électroniques</li> <li>– Capacité d'utiliser des outils numériques de suivi de campagnes pour collaborer</li> <li>– Interagir, échanger et communiquer des informations, à partir des technologies numériques.</li> <li>– Connaître les mesures de sécurité dans un environnement numérique, prendre en compte la fiabilité et la protection des données et protéger les appareils et le contenu numérique des véhicules autonomes.</li> </ul>
<b>Processus et procédures</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Intégrer des éléments de l'aide-foreur</li> <li>– Préparer et réaliser de façon sécuritaire des opérations de forage au diamant dans le roc (en surface et sous terre) et dans le mort- terrain.</li> <li>– Utiliser les termes géologiques associés à l'industrie du forage au diamant.</li> <li>– Transporter et déplacer du matériel ou de l'équipement de forage.</li> <li>– Installer différents types de foreuses au diamant.</li> <li>– Préparer l'ancrage d'une foreuse au diamant dans une excavation.</li> <li>– Faire fonctionner l'équipement de forage en conformité avec les règles de sécurité.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Utiliser des outils numériques de suivi de projet pour une gestion en temps réel</li> <li>– Maintenir de manière préventive et réparer les foreuses aux nombreuses composantes électriques et électroniques</li> <li>– Apporter des modifications mineures aux programmes de forage</li> </ul>
<b>Structures et rôles</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tributaire de la performance du forage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tributaire de la performance de la machine</li> </ul>
<b>Culture</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Travail difficile et physique</li> <li>– Fort lien entre métrage et rémunération</li> <li>– Intégration très rapide</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Des campagnes dépendant davantage de la capacité à lire des indicateurs de forage plutôt que sur l'expérience des maîtres-foreurs</li> <li>– Fort lien entre disciplines, performance et rémunération</li> </ul>
<b>Outils</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Foreuses hydrauliques et mécaniques</li> <li>– Formulaires administratifs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Numérisation des outils de gestion de projet</li> <li>– Foreuses plus électriques et électroniques et plus automatisées</li> <li>– Manipulation d'outils de diagraphie</li> <li>– Plateforme de forage plus confortable et mieux conçue en fonction des besoins et des attentes des foreurs</li> </ul>
<b>Environnement</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Travail en régions éloignées</li> <li>– Plateforme de forage</li> <li>– Campements miniers</li> <li>– Carothèques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Travail en régions éloignées</li> <li>– Plateforme de forage</li> <li>– Campements miniers</li> <li>– Carothèques</li> </ul>

Source : Entretiens individuels, Comités Consultatifs, Analyse Aviseo Conseil, 2021

## Aides-foreurs

Nous anticipons une évolution assez importante du rôle des aides-foreurs à mesure que les foreuses s'automatiseront, autant au niveau du forage qu'au niveau de la manipulation des tiges de forage. L'automatisation libérera du temps des aides-foreurs qui devra être alloué à des tâches à plus forte valeur ajoutée que celles qui étaient réalisées auparavant – notamment certaines tâches traditionnellement réalisées par des techniciens en géologie comme la manipulation d'outils de diagraphie.

Ces nouvelles tâches demanderont des aides-foreurs qu'ils maîtrisent des compétences et des connaissances supplémentaires et affecteront par conséquent la culture de ce poste. À un métier très physique, mais moins risqué grâce à une diminution de la manipulation d'équipements de forage, s'ajouteront des tâches techniques nécessitant des capacités et des connaissances cognitives plus importantes.

**Tableau 26 - Évolution anticipée chez les aides-foreurs**

Aujourd'hui	Vision
<b>Connaissances et compétences requises</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Règles SST</li> <li>– Règles environnementales</li> <li>– Utilisation d'outils</li> <li>– Utilisation d'équipements de levage</li> <li>– Méthodes d'installation des systèmes d'alimentation en eau</li> <li>– Manipulation de carottes de forage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– En plus des connaissances et compétences à maîtriser aujourd'hui :</li> <li>– Capacité d'utiliser des instruments traditionnellement manipulés par des techniciens en géologie ou en minéralogie</li> <li>– Connaissances techniques en géologie</li> <li>– Connaître les mesures de sécurité dans un environnement numérique, prendre en compte la fiabilité et la protection des données et protéger les appareils et le contenu numérique des véhicules autonomes.</li> </ul>
<b>Processus et procédures</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aider le maître-foreur au diamant à préparer le site de forage en surface</li> <li>– Aider le maître-foreur au diamant à installer ou à désinstaller l'équipement de forage</li> <li>– Installer le système d'alimentation en eau</li> <li>– Aider le maître-foreur à effectuer les travaux de forage en surface</li> <li>– Assurer la propreté du site de forage en surface</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– En plus des processus et procédure à maîtriser aujourd'hui :</li> <li>– Utiliser des instruments et de l'équipement de diagraphie de sondage et de levés géophysiques et en assurer l'entretien ;</li> <li>– Participer aux vérifications environnementales et à des activités connexes de protection de l'environnement ;</li> </ul>
<b>Structures et rôles</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aider le maître-foreur en réalisant toutes les tâches de soutien au forage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aider le maître-foreur en réalisant toutes les tâches de soutien au forage</li> <li>– Jouer un plus grand rôle dans l'évaluation de l'impact environnemental et dans les activités connexes de protection de l'environnement</li> </ul>
<b>Culture</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Apprentissage sur le terrain</li> <li>– Modèle de partage de connaissances basé sur l'expérience de terrain (en majorité)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Des formations spécifiques sur l'usage et la valeur ajoutée des instruments de diagraphie, de sondage et de levés géophysiques, couplés à des apprentissages sur le terrain</li> </ul>
<b>Outils</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Instruments traditionnels d'une plateforme de forage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Instruments et équipements de diagraphie de sondage et de levés géophysiques pré-réglés et en assurer l'entretien ;</li> </ul>
<b>Environnement</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Travail en régions éloignées</li> <li>– Plateforme de forage</li> <li>– Campements miniers</li> <li>– Carothèques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Travail en régions éloignées</li> <li>– Plateforme de forage</li> <li>– Campements miniers</li> <li>– Carothèques</li> </ul>

Source : ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur, Entretiens individuels, Comités Consultatifs, Analyse Aviseo Conseil, 2021

## Direction des opérations

Le virage attendu dans le forage d'exploration minérale entraînera un besoin de gestion du changement important dans une industrie où les pratiques sont profondément imbriquées dans les traditions. Pour un directeur des opérations dans une entreprise de forage, cela impliquera de développer de nouvelles compétences pour comprendre et maîtriser les technologies numériques et l'instrumentation ajoutées aux foreuses de manière à appuyer leur légitimité et par le fait même faciliter leur déploiement.

Les nouvelles technologies liées au suivi en temps réel des foreuses devraient également leur offrir une meilleure visibilité sur le travail de leurs équipes sur le terrain, et ainsi mieux les outiller pour assurer leur rôle de gestion de la performance et de la qualité au quotidien.

Par ailleurs, nous nous attendons que dans un contexte de transformation des capacités des foreuses, mais aussi de la pratique de la géologie, le directeur des opérations des entreprises de forage devrait jouer un rôle plus important au niveau de la relation avec les clients pour mieux comprendre leurs besoins et leurs enjeux. Pour appuyer ce virage, le développement de compétences de base en géologie serait une piste à explorer permettant de réduire l'écart entre les deux pratiques.

*Représentation schématique des impacts RH attendus liés à l'intégration de nouvelles technologies dans le secteur du forage d'exploration*

**Figure 20 - Impacts de la transition 4.0 sur la direction des opérations**



*Sources : Entretiens individuels, Comités consultatifs, Analyse Aviseo Conseil, 2021*

**Tableau 27 - Évolution anticipée chez les gestionnaires des opérations**

Aujourd'hui	Vision
<b>Connaissances et compétences requises</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Plusieurs années d'expérience en forage dans une évolution progressive de rôles</li> <li>– Expérience managériale</li> <li>– Un diplôme universitaire en management ou dans une discipline connexe est un atout</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Meilleure compréhension des besoins des géologues</li> <li>– Capacité d'utiliser les outils numériques de gestion de campagnes</li> <li>– Compréhension des nouveaux éléments d'instrumentation des foreuses et de leur impact sur les campagnes de forage</li> <li>– Connaître les mesures de sécurité dans un environnement numérique, prendre en compte la fiabilité et la protection des données et protéger les appareils et le contenu numérique des véhicules autonomes.</li> </ul>
<b>Processus et procédures</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Planifier, organiser, diriger, contrôler et évaluer les activités de forage pour lesquelles son entreprise a été mandatée</li> <li>– Coordonner les équipes de surintendants et de superviseurs sur les sites de forage</li> <li>– Développer et assurer la mise en place d'initiatives visant à améliorer les processus de forage, le respect des normes SST</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– En plus des processus et procédures actuels : <ul style="list-style-type: none"> <li>– Rôle de conseil dans la conception des campagnes</li> <li>– Assurer une veille technologique auprès des entreprises d'instrumentation, des grands équipementiers et des centres de recherche à travers le monde</li> <li>– Collaborer avec l'équipe de développement d'affaires pour identifier des projets propices à l'expérimentation de nouvelles pratiques et contribuer à bâtir des argumentaires convaincants pour les clients</li> <li>– Collaborer directement avec les clients pour mieux comprendre comment les entreprises de forage peuvent répondre à leurs besoins</li> <li>– Assurer un arrimage entre les opérations traditionnelles et des fonctions émergentes</li> <li>– Assurer un arrimage avec le ou les responsables RH au niveau de la formation des maîtres-foreurs</li> <li>– Travailler avec l'équipe de vente et/ou les fournisseurs marketing pour décrire la valeur ajoutée des innovations mises en place</li> <li>– Collaborer avec l'équipe RH et les opérations pour créer un agenda de transformation</li> </ul> </li> </ul>
<b>Structures et rôles</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Responsable de la performance et du déroulement des projets de forage en conformité avec les ententes-clients</li> <li>– Imputable du comportement des équipes de forage sur le terrain</li> <li>– Responsable de la résolution des enjeux de forage</li> <li>– Coordonner les équipes de surintendants</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– En plus du rôle déjà existant, d'autres responsabilités risquent de s'ajouter pour ce poste : <ul style="list-style-type: none"> <li>– Imputable de l'intégration et de l'usage approprié par les foreurs des nouvelles technologies de gestion de projet, d'instrumentation et de connectivité</li> <li>– Courroie de transmission entre les clients et les équipes technologiques pour mettre en évidence les besoins de l'industrie et les opportunités d'innovation</li> </ul> </li> </ul>
<b>Culture</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Perpétuation des pratiques bien ancrées dans l'industrie</li> <li>– Très orienté sur les foreurs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Rôle plus important dans la planification des campagnes de forage en support au client</li> <li>– De plus en plus orienté sur la collaboration avec le client pendant les campagnes</li> </ul>
<b>Outils</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Travail basé sur les contrats avec les clients</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Visibilité en temps réel et à distance sur la performance de toute la flotte de foreuses grâce à l'instrumentation des foreuses et la connectivité des machines</li> </ul>
<b>Environnement</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Déplacements fréquents sur le terrain</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Diminution des déplacements sur le terrain grâce aux technologies numériques</li> <li>– Augmentation du niveau d'interface avec le client</li> </ul>

Source : Entretiens individuels, Comités Consultatifs, Analyse Aviseo Conseil, 2021

## Directeurs RH d'une entreprise de forage

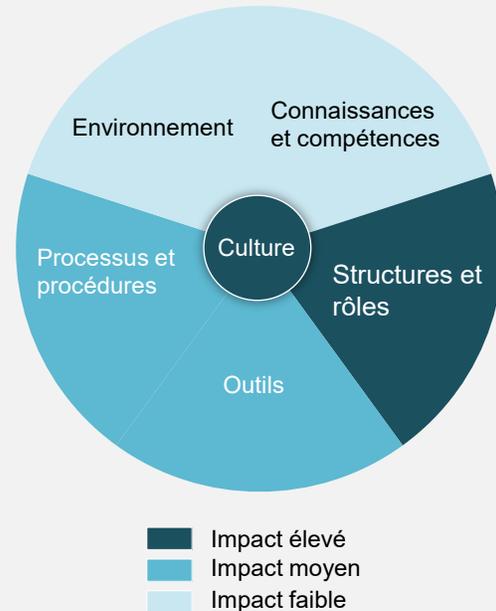
Les équipes RH des entreprises de forage jouent un rôle traditionnellement très transactionnel dans leur entreprise, comme la gestion du recrutement et de la paie. Ces responsabilités occupent une place très importante compte tenu de la nature cyclique de l'industrie qui demande par phase l'intégration rapide de beaucoup de travailleurs.

Ces équipes sont cependant moins sollicitées pour les questions d'appui au changement – ce qui s'explique notamment par leur petite taille et par la faible évolution de l'industrie lors des dernières décennies. Le portrait réalisé à travers cette étude permet cependant d'anticiper de nombreux changements à prévoir et par conséquent le besoin de revoir le positionnement des équipes RH dans le forage pour en faire des joueurs plus impliqués dans la transformation et la planification des nouveaux besoins en compétences et en connaissances pour les foreurs de la prochaine génération.

L'implication principale de ce virage repose sur un élargissement du rôle de la fonction, et par conséquent du directeur RH, au sein de l'entreprise pour lui permettre de jouer un rôle plus stratégique, notamment dans la prévision des besoins et dans la gestion continue du changement causée par l'intégration de nouvelles technologies et la transformation anticipée de nombreux postes dans l'organisation.

*Représentation schématique des impacts RH attendus liés à l'intégration de nouvelles technologies dans le secteur du forage d'exploration*

**Figure 21 - Impacts de la transition 4.0 sur les directeurs RH d'une entreprise de forage**



*Sources : Entretiens individuels, Comités consultatifs, Analyse Aviseo Conseil, 2021*

**Tableau 28 - Évolution anticipée chez les gestionnaires des ressources humaines**

Aujourd'hui	Vision
<b>Connaissances et compétences requises</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Un diplôme universitaire dans une discipline liée à la gestion du personnel, comme l'administration des affaires, les relations industrielles</li> <li>– Plusieurs années d'expérience progressives en ressources humaines ou postes connexes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Un diplôme universitaire dans une discipline liée à la gestion du personnel, comme l'administration des affaires, les relations industrielles</li> <li>– Plusieurs années d'expérience progressives en ressources humaines ou postes connexes</li> </ul>
<b>Processus et procédures</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Planifier, organiser, diriger, contrôler et évaluer les activités d'un service du personnel ou des ressources humaines</li> <li>– Planifier les besoins en ressources humaines de concert avec les directeurs des différents services</li> <li>– Coordonner les activités de formation interne et externe et les activités de recrutement</li> <li>– Élaborer et mettre en œuvre les politiques et les procédures sur les relations de travail et négocier des conventions collectives</li> <li>– Administrer les programmes de perfectionnement, de formation linguistique et de santé et de sécurité des employés</li> <li>– Conseiller et aider les différents directeurs de service à interpréter et à administrer les politiques et les programmes du personnel</li> <li>– Voir à la classification et à l'évaluation des postes</li> <li>– Organiser et diriger les réunions d'information sur les politiques d'emploi, la rémunération et les avantages sociaux et participer activement à divers comités paritaires</li> <li>– Gérer le programme de gestion de la qualité de l'entreprise</li> <li>– S'assurer que les lois relatives au travail, telles que la Loi sur l'équité salariale, soient respectées.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tous les éléments censés être pris en charge par les directions RH demeureront, mais d'autres tâches devraient s'ajouter : <ul style="list-style-type: none"> <li>– Rôle de conseil supplémentaire à la direction générale et opérationnelle dans la gestion du changement</li> </ul> </li> <li>– Planifier, organiser, diriger, contrôler et évaluer les initiatives de gestion de changement</li> <li>– Assurer un lien constant entre la stratégie organisationnelle et la gestion des RH</li> </ul>
<b>Structures et rôles</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Rôle très transactionnel dans les entreprises de forage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Rôle de conseil auprès du président dans la préparation de la transformation</li> <li>– Rôle de planification et de pilotage dans la gestion du changement</li> </ul>
<b>Culture</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Environnement fortement influencé par les cycles miniers</li> <li>– Perpétuation d'une culture orientée sur la performance de forage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Augmentation considérable de la variabilité dans les rôles</li> <li>– Initiatives de recrutement orientées sur un plus large bassin de travailleur</li> <li>– Développement d'une culture basée sur la qualité du forage, la discipline sur le site de forage (SST et environnement)</li> </ul>
<b>Outils</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Évaluations reposant sur la performance avérée des foreuses</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Évaluations basées sur des données collectées en temps réel sur les foreuses</li> </ul>
<b>Environnement</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sièges sociaux des entreprises de forage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sièges sociaux des entreprises de forage</li> </ul>

Source : Entretiens individuels, Comités Consultatifs, Analyse Aviseo Conseil, 2021

## Compétences à développer

Le passage à l'environnement 4.0 est déjà bien entamé dans le secteur de l'exploitation minière. L'automatisation des mines et les technologies numériques intégrées dans ce secteur ont un impact sur la manière de travailler. En ce sens, une démarche conjointe de l'INMQ et l'AMQ a permis de regrouper plusieurs acteurs du milieu afin d'identifier les compétences qui seront nécessaires à l'ère du numérique. La connaissance des technologies et de leur utilisation est bien sûr un prérequis à la maîtrise de ces compétences.

Les entreprises de forage et leurs fonctions RH pourront se servir de ce cadre de référence comme un point de départ à l'élaboration des profils de compétences qui seront requis à la suite des transformations. Plus de détails sur chacune des familles de compétences se retrouvent dans le tableau ci-dessous. De plus, nous rendons disponible en annexe une description concrète des compétences spécifiques à développer pour les opérateurs de foreuses en surface.

**Tableau 29 - Compétences à développer**

Compétences	Description
<b>Communiquer</b>	Interagir, échanger et communiquer des informations, à partir des technologies numériques
<b>Collaborer</b>	Utiliser des outils et des technologies numériques pour la co-construction et la co-création de ressources et de connaissances
<b>Analyser et solutionner</b>	Utiliser des outils et des technologies numériques pour acquérir des connaissances, innover et résoudre des problèmes
<b>Utiliser des technologies numériques</b>	Choisir, manipuler et utiliser efficacement les outils numériques
<b>Protéger</b>	Connaître les mesures de sécurité dans un environnement numérique, prendre en compte la fiabilité et la protection des données et protéger les appareils et le contenu numérique des véhicules autonomes
<b>Apprendre, se développer et s'améliorer</b>	Planifier et gérer de manière active son propre développement en fonction de ses possibilités, intérêts et ambitions et en s'enrichissant continuellement par de nouvelles idées et approches, compétences et connaissances

Sources : INMQ, Analyse Aviseo Conseil, 2021

## 5. Plusieurs barrières attendent les entreprises prêtes à se moderniser

Les entreprises qui souhaitent entamer leur transformation feront face à plusieurs défis qui risqueront de ralentir, voire de freiner, le changement. Pour chacun de ces défis, de nombreuses barrières à la modernisation ont été identifiées ainsi que leurs implications quant à la capacité d'évolution des entreprises de forage. Alors qu'aucun défi ne semble impossible à surmonter aux yeux des entreprises rencontrées dans le cadre de cette démarche, la nature cyclique de l'industrie est identifiée comme étant l'enjeu le plus menaçant. Plus de détails sur chacun des défis constatés se retrouvent dans les pages suivantes.

**Tableau 30 - Sommaire des défis et barrières anticipées à l'intégration d'innovation**

Défis constatés	Barrières anticipées	Niveau de difficulté perçue <sup>25</sup>
<b>Nature cyclique de l'industrie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Financer l'innovation de manière soutenue</li> <li>– Stabiliser les effectifs à travers les cycles</li> </ul>	
<b>Évolution de la main-d'œuvre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Modèle de rémunération attirant, mais désuet</li> <li>– Développer la maîtrise de plus d'appareils</li> <li>– Le développement en silo de technologies complique la formation de base</li> </ul>	
<b>Défis techniques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Difficulté à trouver des projets pilotes</li> <li>– Le contexte technologique demeure problématique</li> <li>– Fiabilité à prouver de certaines innovations</li> <li>– Durée de vie et prix des foreuses</li> <li>– Processus de maintenance complexifiés</li> </ul>	
<b>Culture conservatrice</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Modèle contractuel centré sur le prix</li> <li>– Focus culturel de l'industrie basé sur la carotte</li> <li>– Nature du travail</li> <li>– Financement de l'innovation à même les dépenses</li> </ul>	

**Niveau de difficulté perçue**



### Surpasser la nature cyclique du secteur

La nature cyclique de l'industrie crée un cercle vicieux de circonstances conjoncturelles qui éloigne le focus de l'innovation et de l'intégration technologique dans l'industrie minière. Les périodes creuses demandent un resserrement financier au sein des entreprises, alors qu'inversement, les périodes haussières mettent beaucoup de pression sur les structures. Dans ce contexte, les deux principales barrières à surmonter pour les entreprises de forage seront le financement continu de l'innovation et la stabilisation des effectifs qui y sont consacrés, et ce, indépendamment les cycles.

<sup>25</sup> Analyse basée sur un sondage réalisé durant les comités consultatifs

**Tableau 31 - Barrières découlant de la nature cyclique du secteur**

Barrières	Description	Implications observées
<b>Financement continu de l'innovation</b>	La modernisation de l'industrie dépend d'investissements importants en technologies et de l'allocation de ressources dédiées à l'innovation. Or, en période de creux, les entreprises de forage contrôlent leurs dépenses et en période haussière, toutes les ressources sont mobilisées à la livraison des projets.	L'incertitude pénalise les investissements plus risqués à long terme au profit d'investissements promettant des bénéfices plus clairs et plus rapides.
<b>Stabiliser les effectifs</b>	La force des cycles génère des vagues d'embauche suivies de réductions rapides des effectifs par les entreprises de forage. Ce phénomène est amplifié par la pénurie de main-d'œuvre actuelle dans ce secteur de moins en moins prisé des travailleurs.	L'expertise de forage disparaît en période creuse par manque de travail, et inversement est à rebâtir à chaque période haussière.

Sources : Entretiens individuels, Comités Consultatifs, Analyse Aviseo Conseil, 2021

## Gérer l'évolution de la main-d'œuvre

Au niveau de la main-d'œuvre, l'attraction de nouveaux travailleurs dans l'industrie est problématique en raison de la nature difficile et solitaire du travail, notamment. Dans ce contexte, les salaires élevés combinés à une courte, voire aucune, formation sont des atouts sur lesquels misent les entreprises de forage. Les nouvelles technologies risquent de remettre en question cet état de fait et pourraient avoir un impact sur le niveau de rémunération et de formation pour être foreur. Les nouvelles compétences requises devront également se refléter dans une modernisation de la formation pour des postes qui évoluent.

**Tableau 32 - Défis derrière la gestion de l'évolution de la main-d'œuvre**

Barrières	Descriptions	Implications pour les entrepreneurs
<b>Modèle de rémunération attirant, mais désuet</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Les modèles de rémunération utilisés peuvent varier d'une entreprise de forage à une autre, mais ils incitent tous principalement à une forte productivité de creusage et donc à miser sur la rapidité d'exécution</li> <li>– Ces modèles récompensent le foreur pour sa performance grâce à des bonus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Les foreurs d'expérience sont réticents à l'idée de devoir manipuler des foreuses plus technologiques puisqu'ils ont plutôt confiance en leur façon de faire</li> <li>– Plusieurs d'entre eux craignent une perte d'expertise et donc une diminution de leur performance, ce qui aurait un impact direct sur la rémunération</li> </ul>
<b>Développer la maîtrise de plus d'appareils</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Les foreuses traditionnelles ont l'avantage d'être simples et connues par les équipes</li> <li>– Il semble une priorité pour certaines entreprises de forage de standardiser leur parc de foreuses pour maximiser les capacités des foreurs sur chaque projet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– La majorité des foreurs sont en mesure d'opérer n'importe quelle machine, maximisant ainsi les compétences de chacun et permettant une meilleure transition d'un projet à l'autre</li> <li>– Les entreprises possédant un petit nombre de foreuses peuvent craindre des impacts importants sur la productivité globale dès les premières étapes de la transition</li> </ul>
<b>Le développement en silo de technologies complique la formation de base</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Les formations offertes au Centre Professionnel (CFP) et à l'interne ne visent qu'à préparer un aide-foreur</li> <li>– Les technologies développées et utilisées par les entreprises sont gardées à l'interne</li> <li>– La technologie viendra modifier les compétences nécessaires aux foreurs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Le CFP ne dispose pas encore d'équipement adapté au virage technologique que prend l'industrie</li> <li>– Une formation mal arrimée à la réalité de l'industrie augmente le risque qu'une mauvaise utilisation des nouveaux outils survienne et que des interprétations erronées ainsi que des bris en découlent</li> </ul>

Sources : Entretiens individuels, Comités Consultatifs, Analyse Aviseo Conseil, 2021

## Attendre les conditions gagnantes ou créer un contexte favorable

Au niveau des défis techniques, nous avons identifié plusieurs barrières de natures variées, allant de la collaboration client-fournisseur à la gestion de l'évolution du contexte technologique.

**Tableau 33 - Défis techniques à surmonter**

Barrières	Descriptions	Implications pour les entrepreneurs
<b>Difficulté à trouver des projets pilotes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– L'intégration de nouveaux services demande d'être capable de trouver un projet de forage pour les tester. Les campagnes de forage sont coûteuses et les entreprises d'exploration ont souvent peu d'intérêt à supporter ce genre d'activité</li> <li>– Les entreprises d'exploration doivent maximiser les ressources financières qu'elles possèdent et sont tributaires des marchés financiers</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Les entreprises majeures ont plus de facilité à tester, mais il y a tout de même une difficulté à prouver la fiabilité et la valeur ajoutée des innovations visées</li> <li>– Ces entreprises opèrent près de leurs sites miniers, dans des conditions différentes des projets d'exploration en régions éloignées ou en terrains difficiles</li> </ul>
<b>Contexte technologique demeure problématique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Les technologies de connectivité et de partage d'information en temps réel dépendent de réseaux internet accessibles et fonctionnels même en régions éloignées. Or la couverture des réseaux demeure problématique dans la réalité des entreprises de forage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– La vision d'innovation connectée repose sur une capacité de transfert de données instantanée qui n'est pas atteinte pour l'instant. Des personnes rencontrées estiment cependant que ces défis sont pris en charge par des joueurs des télécommunications</li> </ul>
<b>Fiabilité à prouver de l'innovation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Certaines innovations ont été développées à l'étranger et sont fonctionnelles, mais leur fiabilité reste à prouver avec le type de roche et le climat du Québec</li> <li>– Des facteurs tels que la température, l'humidité, les précipitations ont un impact réel sur la fiabilité des composantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Les innovations existantes ne sont pas exposées aux fournisseurs de services locaux qui développent leurs propres innovations en silo</li> </ul>
<b>Durée de vie et prix des foreuses</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Le prix très élevé des équipements de forage limite la capacité d'une entreprise à acquérir du nouvel équipement sur une base régulière</li> <li>– La durée de vie d'une foreuse — allant de 10 à 20 ans — dépasse largement la durée d'un cycle d'innovation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– L'incertitude quant à la direction technologique que prendra l'industrie d'ici le moment où la flotte d'une entreprise sera à renouveler fait en sorte qu'une position de « wait and see » est adoptée lorsque de nouvelles technologies sont rendues disponibles</li> </ul>
<b>Maintenance</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– De nouveaux requis apparaîtront dans les processus d'entretien et de réparation à mesure que les équipements s'électroniseront</li> <li>– Une plus grande expertise qui n'est actuellement pas disponible à l'interne pour une majorité d'entreprises est nécessaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Le recours à des techniciens spécialisés de l'externe pour procéder à des réparations est coûteux</li> <li>– L'impossibilité de procéder à certaines réparations directement sur le terrain peut créer des délais importants</li> <li>– La fragilité et le coût des pièces de rechange font en sorte qu'une quantité très limitée peut être conservée en stock</li> </ul>

Sources : Entretiens individuels, Comités Consultatifs, Analyse Aviseo Conseil, 2021

## Dépasser le discours d'une culture conservatrice

La nature conservatrice de l'industrie est l'une des barrières qui revenait de manière récurrente dans les discussions avec les acteurs de l'industrie durant la démarche. Ce conservatisme se reflète d'ailleurs sous différentes facettes, à savoir : au niveau réglementaire, au niveau contractuel et au niveau de la nature même du travail des foreurs et des géologues.

**Tableau 34 - Barrières d'une culture conservatrice**

Barrières	Descriptions	Implications pour les entrepreneurs
<b>Modèle contractuel centré sur le prix</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– L'importance majeure accordée au prix au mètre par les clients des entreprises de forage met une pression à la baisse sur les prix</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Même en période haussière, les entreprises de forage sont très soucieuses des prix demandés dans les appels d'offres et les marges bénéficiaires demeurent basses, réduisant ainsi le potentiel d'investissements en innovation</li> </ul>
<b>Réglementation basée sur la carotte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tant et aussi longtemps que les carottes seront exigées et reconnues comme source la plus fiable pour identifier et confirmer les teneurs en minéraux, l'innovation demeurera incrémentale et non transformationnelle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Dans ce contexte, l'innovation ne visera qu'à améliorer la performance pour recueillir des carottes et non à imaginer des méthodes de forage potentiellement plus performantes</li> <li>– La disponibilité des technologies ne suffira pas au déploiement à grande échelle de méthodes destructrices de forage ainsi qu'à la numérisation de la géologie</li> </ul>
<b>Nature du travail</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Les entreprises de forage veulent avant tout livrer un service fiable et constant à leurs clients</li> <li>– Les géologues veulent encore toucher une roche pour bien la comprendre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Il y a des standards dans l'industrie qui sont bien établis et un changement de mentalité devra être réussi pour espérer modifier la nature du travail</li> </ul>

Sources : Entretiens individuels, Comités Consultatifs, Analyse Aviseo Conseil, 2021

Si les barrières identifiées sont nombreuses et parfois hors du seul contrôle des entreprises de forage, elles ont été développées pour exprimer de manière structurée un discours partagé par l'industrie. Nous espérons ainsi donner une base de réflexion aux acteurs du milieu répartis à travers la chaîne de valeur de l'industrie minière pour trouver, dans leurs moyens et leur rayon d'activités, des solutions permettant de créer un contexte favorable à l'innovation. En ce qui concerne plus spécifiquement les entreprises de forage, nous proposons dans la prochaine section des recommandations conçues pour guider leurs actions de modernisation.

## 6. Des recommandations pour agir à l'intersection des transformations anticipées

À la lumière du diagnostic de l'industrie et de la vision partagée dans ce livre blanc, ce dernier chapitre propose aux entreprises de forage d'explorer des recommandations visant à jeter les bases d'un plan directeur pour la mise en œuvre des dernières avancées en matière de forage.

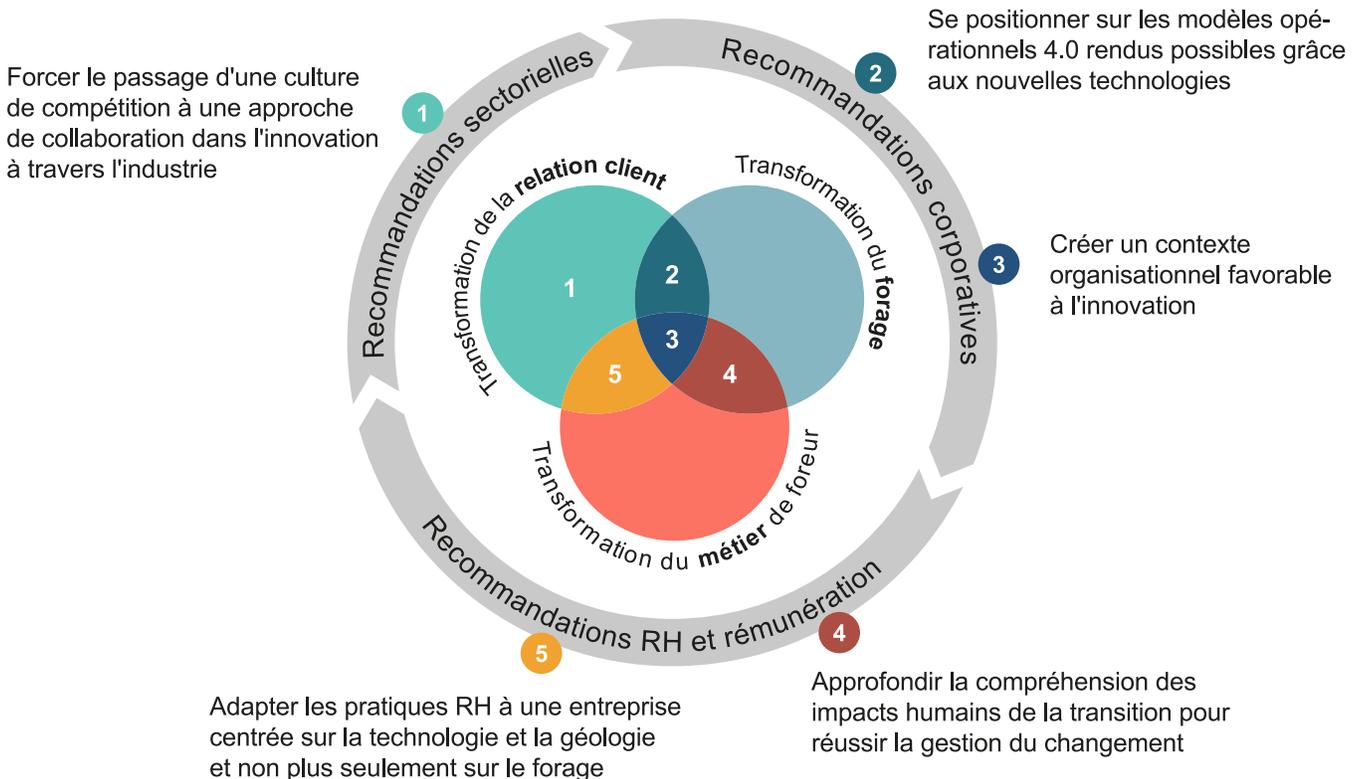
L'objectif n'est pas de recommander la mise en place de technologies spécifiques, ni même de suggérer un horizon stratégique de mise en œuvre. Nous proposons plutôt des pistes de solutions pour intervenir sur les trois grands leviers de transformation présentés au début du chapitre 4 et rendus possibles grâce aux nouvelles technologies, à savoir la transformation de la relation client, la transformation du forage, et la transformation du métier du foreur.

À ce titre, nous postulons que le défi pour les entreprises sera d'arrimer chaque transformation entre elles. Nos recommandations se situent par conséquent à l'intersection de ces dernières, comme illustrées dans le schéma ci-dessous. Cela signifie que les trois transformations sont interreliées, complémentaires et indissociables.

Également, nous organisons nos recommandations selon trois thèmes clés :

- Les recommandations sectorielles visant la collaboration entre les joueurs du secteur
- Les recommandations corporatives qui s'intéressent au contexte managérial mis en place pour appuyer l'intégration de nouvelles technologies et aux enjeux prioritaires sur lesquels se pencher
- Les recommandations concernant les ressources humaines pour appuyer l'évolution de rôles clés dans les entreprises et l'intégration des technologies auprès de la main-d'œuvre

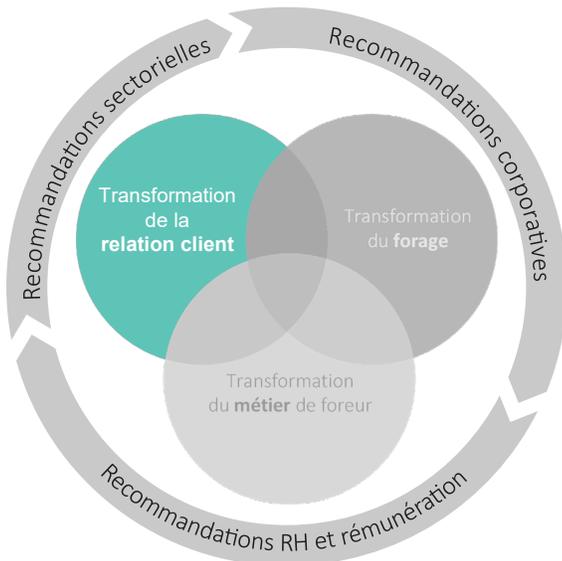
Figure 22 - Représentation schématique des 6 groupes de recommandations du livre blanc



## Recommandations sectorielles

### Passer d'une culture de compétition à une approche de collaboration

Le premier axe de collaboration abordé concerne la transformation de la relation entre les entreprises de forage et leurs clients, mais aussi – et plus largement – la transformation de la relation entre les joueurs de l'industrie pour passer d'une posture de compétition et d'indépendance à une posture de collaboration.



Nous avons constaté dans l'analyse de la dynamique concurrentielle une très forte rivalité entre les entreprises combinée à un fort pouvoir de négociation des acheteurs intégré dans une relation très contractuelle. Ensemble, ces éléments contribuent à réduire les marges des entreprises et par le fait même les ressources qui pourraient être mobilisées pour moderniser les équipements et les manières de faire du secteur au Québec.

À ce titre, plusieurs besoins de modernisation ont été identifiés allant de l'amélioration des mesures de prévention en santé et sécurité, à l'intégration d'instruments de mesure aux séquences de forage et jusqu'à l'électronisation des foreuses. Or, devant la forte concurrence et l'incertitude relative quant aux standards qui émergeront dans l'industrie au niveau technologique, les entreprises demeurent prudentes et ne testent pas suffisamment de nouveaux concepts susceptibles de les différencier, préférant se concentrer sur la maximisation des revenus à l'intérieur des paradigmes traditionnels de l'industrie.

À ces enjeux, il faut rajouter que l'intégration de nouvelles technologies demandera d'ajouter des expertises traditionnellement inexistantes dans les entreprises de forage, notamment au niveau électrique, électronique et au niveau des sciences de la donnée. À ce titre, une meilleure compréhension des besoins des géologues contribuerait à harmoniser l'utilisation des technologies aux besoins de l'industrie.

Dans ce contexte, nous recommandons fortement aux joueurs de l'industrie – les entreprises de forage entre elles, les entreprises d'exploration et les fournisseurs manufacturiers associés à l'industrie – de renforcer leurs relations de collaboration. L'intention stratégique liée à cette collaboration est d'accélérer la modernisation de l'industrie grâce à la mutualisation de ressources permettant ainsi d'atteindre à moindres coûts et plus rapidement des objectifs qui sont partagés et qui peuvent faire avancer l'industrie<sup>26</sup>.

À la lumière de nos constats, nous proposons trois axes de collaboration à considérer par les joueurs de l'industrie et posons les bases d'un agenda de travail orienté sur trois thèmes clés : la valorisation des données, la traçabilité et la santé et la sécurité en contexte de forage.

<sup>26</sup> Les objectifs et les défis partagés sont identifiés dans le chapitre « Les gisements changent, de nouveaux défis émergent »

**Tableau 35 - Recommandations sectorielles**

Recommandations	Descriptions
<b>Inciter les donneurs d'ordres à mieux communiquer leurs besoins et les technologies explorées</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Les donneurs d'ordres les plus importants jouent un rôle d'investissements importants dans les nouvelles technologies. En diffusant largement leurs besoins à l'industrie, ils contribuent à orienter la réaction du marché, en l'occurrence les entrepreneurs en forage.</li> </ul>
<b>Réunir les entreprises du secteur, les donneurs d'ordres et leurs proches collaborateurs dans un effort commun d'innovation ouverte et collaborative</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Faire rayonner l'expertise québécoise et renforcer notre positionnement</li> <li>– Mutualiser les ressources pour mitiger les risques de l'innovation</li> <li>– Réduire la pression sur les RH en période forte</li> <li>– Réduire la pression financière en période de creux</li> <li>– Augmenter la prévisibilité sur les technologies et les modèles adoptés par l'industrie</li> </ul>
<b>Approfondir les partenariats dans un réel partage de risque – mais se positionner pour créer de la valeur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Assurer un partage planifié de besoins et de solutions potentielles permettant d'orienter les travaux d'innovation et d'intégration des technologies</li> <li>– Identifier des contextes favorisant les tests pour des technologies innovantes</li> <li>– S'engager mutuellement dans la conception et le développement de solutions (entreprise de forage) et dans leur mise en application en contexte réel</li> </ul>
<b>Développer des approches partenariales avec les fournisseurs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Renforcer les relations avec les fournisseurs dans un contexte de marché niché pour créer un intérêt mutuel à bénéficier de l'innovation dans l'industrie.</li> </ul>

### *L'exemple Australien de MinEx CRC*

Dans un marché tel que celui du forage d'exploration qui est à la fois niché et fondamental à une industrie minière d'une importance stratégique à l'échelle internationale, les cycles ont un effet important sur les investissements en innovation. Confrontée à une croissance exponentielle des coûts de forage, l'Australie a mis en place un programme de recherche collaboratif appelé MinEx CRC.

Ce modèle de collaboration est un exemple duquel s'inspirer, car il regroupe des joueurs très variés de la chaîne de valeur (gouvernements, universités, majors, équipementiers et fournisseurs de services) pour répondre à des enjeux concrets de l'industrie. Ensemble, ces partenaires définissent un agenda d'innovation et financent des projets de recherche qui reconnaissent la capacité de payer de chaque participant. Le nombre de projets sur lesquels une entreprise possède de la visibilité est donc déterminé par le montant total des fonds octroyés.

Aujourd'hui, MinEx CRC se concentre sur de nouvelles méthodes d'identification de gisements, sur l'augmentation de la performance de forage au niveau de la sécurité et de la transformation numérique ainsi que sur l'optimisation de l'identification des cibles de forage.

Ce modèle a l'avantage de mobiliser l'expertise d'universitaires pour ensuite la combiner à l'expertise opérationnelle et aux enjeux concrets de l'industrie, en plus de faciliter la participation des PME au sein de démarches de recherches collaboratives.

Cependant, l'un des enjeux identifiés est la capacité de commercialiser les innovations qui découlent des travaux de recherche opérationnelle réalisés. Un entretien individuel avec un collaborateur du programme MinEx CRC a mis en évidence que des technologies existent et sont fonctionnelles, mais des partenaires de commercialisation demeurent absents pour compléter les étapes finales de tests de fiabilité et pour la mise en marché.

## Recommandations corporatives

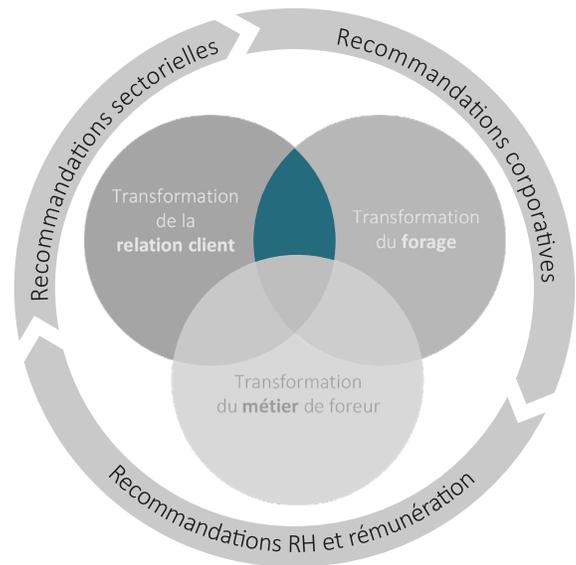
Alors qu'une collaboration plus grande au sein de l'industrie doit contribuer à créer un contexte plus favorable à l'innovation à l'échelle de la province, des changements significatifs devront également être réalisés au sein même des entreprises de forage pour réaliser le virage anticipé dans l'industrie.

D'une part, les entreprises devront opérer un changement fondamental de paradigme opérationnel. Traditionnellement concentrées à générer des carottes de qualité de manière autonome, les entreprises de demain se concentreront plutôt à générer de l'information géologique de qualité à travers des programmes de forage supervisés de manière beaucoup plus serrée. Les entrepreneurs devront apprendre à gérer leur entreprise de manière à réussir ce changement de paradigme, et les implications organisationnelles sont nombreuses à cet égard.

### Se positionner sur les modèles opérationnels 4.0

L'agenda de transformation mis en évidence dans ce rapport démontre que les technologies numériques de connectivité combinées à une instrumentation d'analyse intégrée à la foreuse ou opérée par des foreurs transformeront profondément les manières de faire à la fois du côté des foreurs et du côté des entreprises d'exploration. Nous recommandons par conséquent aux entreprises de forage de considérer plusieurs questions fondamentales dès maintenant à savoir :

- 1. Quel modèle d'affaires adopter pour commercialiser des données de forage ?** L'un des constats des chapitres précédents est que les entreprises de forage seront appelées à concevoir leur offre de service non pas en fonction de ce qu'une foreuse peut offrir, mais en fonction de ce que les différents types de clients explorateurs ont besoin pour obtenir une meilleure information géologique. S'il est clair que l'intégration des technologies permettra de capter et de vendre des données ainsi que de suivre de manière plus serrée les campagnes, la façon dont les données seront valorisées demeure imprécise et pourrait se matérialiser sous plusieurs formes différentes. Le modèle d'affaires retenu pour mettre en valeur cette transformation doit donc encore être travaillé.
- 2. Comment assurer une transition entre un parc de foreuses traditionnelles et l'émergence de foreuses de nouvelle génération ?** La demande pour le forage traditionnel ne disparaîtra pas du jour au lendemain et le service rendu par l'industrie demeure très important dans la chaîne de valeur. Les entreprises de forage devront donc déterminer comment intégrer les offres basées sur les modèles d'affaires 4.0. Le fait de créer en parallèle une offre de service, voire une division, consacrée à un modèle d'affaires innovant misant sur les nouvelles technologies, par exemple, favoriserait une transition réaliste et patiente d'un modèle traditionnel vers le nouveau modèle du forage.
- 3. Quels sont les prérequis pour devenir une entreprise qui vend des données ?** La collecte de données directement sur des foreuses connectées créera de nouvelles opportunités de commercialisation d'information qui pourraient remettre en question les modèles contractuels dominants dans l'industrie. Les implications d'une telle transition sont majeures sur plusieurs aspects comme l'évolution des modèles de revenus, les enjeux de confidentialité de données, etc. Nous recommandons donc aux entreprises de forage d'explorer les concepts de « machine-data-as-a-service » pour bien comprendre les implications des nouveaux modèles d'affaires et d'évaluer les opportunités qui s'appliquent à eux.



Le tableau suivant résume trois recommandations concrètes pour répondre à la discussion présentée.

**Tableau 36 - Recommandations concernant l'évolution des modèles d'affaires**

Recommandations	Description
<b>S'éloigner d'un modèle qui valorise les meilleurs trous et tendre vers un modèle qui cherche à livrer la meilleure information géologique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Mettre en évidence et adresser l'écart qui existe entre la culture du forage et les attentes des explorateurs</li> </ul>
<b>Explorer les concepts d'économie de la fonctionnalité « <i>Machine-data-as-a-service</i> »</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Comprendre les implications des nouveaux modèles d'affaires sur:               <ul style="list-style-type: none"> <li>– Les modèles de revenus</li> <li>– Les enjeux de confidentialité des données</li> <li>– La gestion du changement chez les travailleurs</li> <li>– Les modèles de livraison de données</li> <li>– L'adoption de formats de données partagés dans l'industrie</li> <li>– Les expertises requises</li> <li>– L'opérationnalisation</li> </ul> </li> <li>– Possibilité de prix variables en fonctions des données géophysiques, géochimiques ou géomécaniques partagées.</li> <li>– Déterminer la disponibilité technologique des équipements requis pour générer ce genre de données en temps réel</li> </ul>
<b>Intégrer les offres basées sur les modèles d'affaires 4.0 comme une offre parallèle à l'offre traditionnelle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– La demande pour le forage traditionnel ne disparaîtra pas du jour au lendemain</li> <li>– Créer une offre parallèle qui pourra:               <ul style="list-style-type: none"> <li>– Évoluer dans un modèle économique qui lui est propre</li> <li>– Fonctionner selon sa propre logique de coûts</li> <li>– Viser des clients spécifiques avec une approche de développement adaptée</li> </ul> </li> </ul>

Résoudre ces questions est cependant un exercice complexe et qui demande une allocation importante de ressources pour un projet de transformation dans une industrie qui, faut-il le rappeler, est fortement ancrée dans la tradition. La prochaine section suggère donc des pistes de recommandations organisationnelles pour créer une structure capable d'opérer cette transition.

### **Créer un contexte organisationnel favorable à l'innovation**

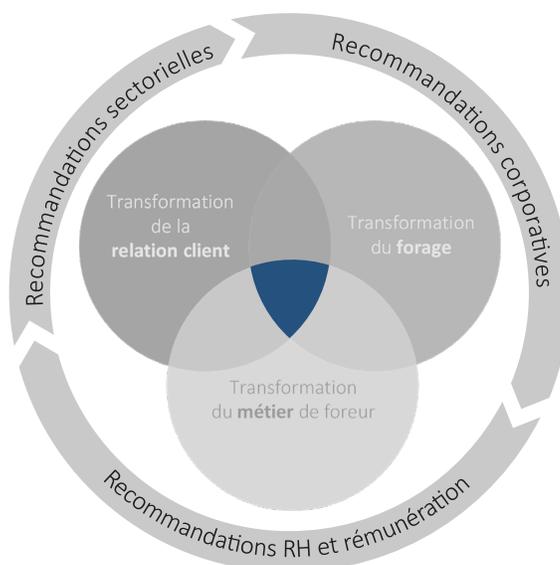
Les entreprises qui visent à se transformer et à s'engager résolument dans la modernisation de leur modèle d'affaires doivent consacrer des ressources significatives pour y arriver – et ce dans toute l'organisation. Cela implique un engagement soutenu des propriétaires qui se décline dans la structure organisationnelle et dans les rôles et responsabilités de l'équipe de direction.

Nos recommandations liées à ce thème prennent donc deux formes; les premières se concentrent sur la priorisation, et les secondes sur la posture organisationnelle à adopter.

Lorsqu'il est question de priorisation dans l'organisation, le président et/ou le propriétaire a un grand rôle à jouer pour déterminer l'allocation des ressources et fournir le cadre de décisions à l'intérieur duquel ses gestionnaires agiront. Il est par conséquent impératif que le président joue le rôle de pilote de la transformation et qu'il délègue les opérations courantes. En effet, dans une période de transformation et de perturbation, les forces d'inertie des organisations combattent souvent celles qui poussent au changement et dans ce contexte, piloter les affaires courantes et les changements de manière ambidextre est un exercice risqué dans lequel les deux fronts finiront par n'être pilotés qu'à moitié, faute de capacité.

Une fois ce rôle approprié, nous suggérons qu'il opère des changements organisationnels fondamentaux par rapport aux manières de faire courantes dans l'industrie. Ces changements proposés répondent aux impératifs liés à la posture de l'organisation par rapport à l'innovation, aux rôles et responsabilités de l'équipe de gestion, en plus de l'allocation des ressources au quotidien.

Ensemble, ces facteurs contribuent à créer ou à freiner l'innovation dans les organisations. Évidemment, ces implications demandent d'allouer beaucoup de ressources à des activités dont le retour sur investissement est incertain et lointain. Il s'agit cependant d'un impératif pour gagner en maturité organisationnelle et ainsi se donner les moyens pour réussir à orchestrer une transformation majeure tout en pilotant au quotidien un modèle d'affaires éprouvé et rentable.



**Tableau 37 - Priorisation dans l'organisation**

Recommandations	Description
<b>Instituer une gestion stratégique de l'innovation dans l'organisation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Adopter une posture de planification liée à l'innovation qui se répercute dans : <ul style="list-style-type: none"> <li>– L'allocation des budgets</li> <li>– L'allocation du temps des employés</li> <li>– L'allocation du temps de l'équipe de direction</li> <li>– L'évaluation de la performance</li> </ul> </li> <li>– Créer un contrepoids aux forces d'inertie qui caractérisent beaucoup d'organisations</li> <li>– Dessiner une vision pour l'industrie basée sur les trois grandes transformations proposées ci-contre</li> </ul>
<b>Consacrer l'énergie des ressources à la modernisation de l'organisation et les protéger des impératifs opérationnels du quotidien</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Identifier des experts internes qui comprennent les opérations et ont un potentiel et un intérêt à comprendre les nouvelles technologies</li> <li>– Allouer un rôle et des responsabilités spécifiques dans un poste consacré à l'innovation</li> <li>– Protéger cette personne/équipe des impératifs du quotidien sans la déconnecter de la réalité</li> <li>– Allouer des ressources suffisantes pour avoir des résultats</li> <li>– Positionner des individus à haut potentiel</li> </ul>
<b>Élargir le mandat de la fonction RH pour lui permettre d'assumer un rôle plus stratégique dans un contexte de transformation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Mandater la fonction RH de comprendre les implications des nouvelles technologies pour les employés et suggérer en conséquence des modifications à : <ul style="list-style-type: none"> <li>– La requalification</li> <li>– Le recrutement et marque employeur</li> <li>– La révision des modèles de rémunération</li> <li>– La révision des modèles de gestion de performance</li> <li>– La gestion du changement</li> </ul> </li> </ul>
<b>Tester continuellement de nouveaux produits/services – même à petite échelle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Approche par petits pas à l'intérieur d'une vision concrète</li> </ul>

Concrètement, ces changements impliquent qu'une partie du budget de l'organisation ne sera plus déployée sur les opérations courantes, que certains des meilleurs employés seront écartés des projets courants, que certaines fonctions de support verront leur autorité augmentée et surtout que le président devra s'éloigner des opérations pour que le virage qu'il cherche à accomplir soit réussi. Il s'agira en d'autres mots de créer une équipe en qui la direction a confiance et de la mandater de planifier le futur de l'organisation en lui allouant les ressources nécessaires pour y parvenir.

Le dernier chapitre de recommandations aborde en détail les implications de ces changements au niveau des rôles et responsabilités de même qu'au niveau de l'implantation des changements.

## Recommandations en gestion des ressources humaines

Les changements envisagés dans l'industrie auront de profonds impacts sur les modèles d'affaires des entreprises de forage minier et ces impacts se déclineront au quotidien dans la réalité de leurs salariés. Les équipes de ressources humaines auront dans ce contexte un rôle important à jouer pour adapter les pratiques des entreprises, développer les connaissances, recruter de nouveaux talents. Nos recommandations à ce sujet se divisent en deux : dans un premier temps, la mise en place d'une démarche de gestion du changement considérant l'ampleur des transformations à réaliser aux postes existants et dans un deuxième temps, l'adaptation nécessaire des pratiques RH qui appuieront et accéléreront la transition requise.

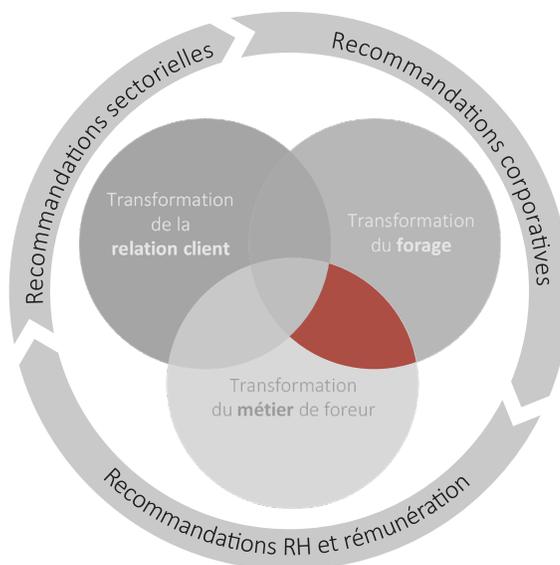
### Approfondir la compréhension des impacts humains de la transition

À l'intersection entre la transformation du forage et celle du métier de foreur, il importe pour les entreprises de forage d'approfondir la compréhension d'une évolution de l'industrie sur les différents rôles occupés dans l'entreprise et d'anticiper une démarche de gestion de changement qui s'y arrime.

Bien que ce rapport propose déjà des pistes de réflexion déduites de notre démarche de recherche, ces éléments devront être approfondis par l'industrie.

Bien préparer les scénarios d'impacts internes est un exercice essentiel pour planifier les orientations à prendre pour chaque partie prenante qui se verra en période de gestion de changement au niveau des communications et de l'implication dans le changement.

Cet exercice s'inscrit dans une démarche plus large de planification et de gestion du changement qui aborde à la fois l'analyse du changement anticipé, la construction de la vision souhaitée au niveau des rôles et responsabilités, des processus et des procédures sous-jacents à l'atteinte de la vision, de même qu'un plan concret de communication et de transformation. Nous décrivons ci-dessous les implications de chacune de ces recommandations, puis offrons une base d'évolution des principaux rôles des entreprises de forage qui sont appelés à évoluer, à savoir ceux de directeur RH et de directeur des opérations au niveau managérial, et ceux de maître-foreur et d'aide-foreur au niveau opérationnel.



**Tableau 38 - Posture organisationnelle à adopter**

Recommandations	Descriptions
<b>Gestion du changement</b>	
<b>Répertorier les compétences requises pour opérer la prochaine génération de flottes de foreuses et préparer les plans de formation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bâtir – entre autres – sur le travail réalisé par l'INMQ au niveau de l'intégration des compétences du numérique dans le secteur minier pour déterminer les compétences concrètes qui seront requises dans un environnement de plus en plus numérique et automatisé.</li> </ul>
<b>Mesurer l'impact concret des changements anticipés sur toutes les parties prenantes de l'organisation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bâtir – entre autres – sur le travail réalisé dans ce livre blanc pour développer des scénarios d'impacts internes quant à l'effort de changement à réaliser et à la compréhension des préoccupations des parties prenantes affectées par le changement</li> </ul>
<b>Développer une vision du changement, un plan de transition et un plan de communication</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Vision du changement: créer une vision claire, partagée et sur laquelle des actions concrètes seront lancées</li> <li>– Plan de transition : ordonnancer les activités dans une séquence temporelle claire et responsabiliser des individus spécifiques à la réalisation de chaque action</li> <li>– Plan de communication : assurer une diffusion transversale de l'information dans toute l'organisation pour garantir une compréhension partagée des objectifs poursuivis et des moyens pour y arriver.</li> </ul>
<b>Considérer les facteurs humains de la transition avec attention</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– La transformation repose sur des changements de comportements à l'échelle individuelle</li> <li>– Garantir une compréhension de la légitimité des changements par les personnes affectées</li> </ul>

**Tableau 39 - Directeur RH**

<b>Rôle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– En plus de son rôle traditionnel comme la gestion du recrutement et de la paie, le directeur des ressources humaines devra jouer un rôle stratégique en s'impliquant activement dans la transformation de l'entreprise</li> </ul>
<b>Nouvelles descriptions des tâches</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Appui supplémentaire à la direction générale et opérationnelle dans la gestion du changement</li> <li>– Prévisions des impacts de la transformation anticipée pour de nombreux postes dans l'organisation</li> <li>– Planification des nouveaux besoins en compétences et en connaissances pour les foreurs de la prochaine génération</li> <li>– Planification des besoins en effectifs causés par l'intégration de nouvelles technologies</li> </ul>
<b>Nouvelles compétences à maîtriser</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Développer la vision stratégique de l'entreprise</li> </ul>
<b>Nouveaux indicateurs clés de performance (KPI)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Écart du taux de rétention entre la moyenne du marché et les taux constatés lors de la transformation</li> <li>– Taux de mobilisation des employés avant et après le début des initiatives</li> <li>– Adhésion des employés à la vision et au changement</li> <li>– Montant investi en formation en période de changement par rapport à la moyenne (peut aussi être mesuré en heures allouées à la formation)</li> </ul>

**Tableau 40 - Directeur des opérations**

<b>Rôle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Le directeur des opérations occupera un rôle central dans la gestion du changement de l'organisation en plus de tenir une place plus importante au niveau de la relation avec les clients</li> </ul>
<b>Nouvelles descriptions des tâches</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Assurer une veille technologique</li> <li>– Collaborer directement avec les clients pour mieux comprendre comment les entreprises de forage peuvent répondre à leurs besoins</li> <li>– Collaborer avec l'équipe RH et les opérations pour créer un agenda de transformation</li> <li>– Faciliter le déploiement des nouvelles technologies dans l'entreprise en identifiant des projets propices à leur expérimentation</li> <li>– Rôle plus important dans la planification des campagnes ainsi que le support et la collaboration avec les clients</li> </ul>
<b>Nouvelles compétences à maîtriser</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Maîtrise des technologies numériques</li> <li>– Meilleure compréhension des besoins des géologues</li> <li>– Compréhension des impacts dans les campagnes de l'ajout d'instrumentation sur les foreuses</li> </ul>
<b>Nouveaux indicateurs clés de performance (KPI)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Imputabilité face à l'intégration et l'usage approprié des nouvelles technologies par les équipes</li> <li>– Pourcentage des revenus liés aux nouveaux services</li> <li>– Nombre de technologies implantées</li> <li>– Variation du type de relation entretenu avec la clientèle</li> <li>– Évolution des taux d'arrêts machine</li> <li>– Imputable de la performance des équipes au niveau de leurs résultats sur les indicateurs de performance définis par l'organisation : performance, SST, environnement, service client, qualité, respect des ententes d'acceptabilité sociale, etc.</li> </ul>

**Tableau 41 - Maître-foreur**

<b>Rôle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tributaire de la performance de la machine</li> </ul>
<b>Nouvelles descriptions des tâches</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Manipulation de la foreuse basée sur la lecture d'indicateurs numériques</li> <li>– Maintenance et réparation d'équipement électronique plutôt qu'hydraulique</li> <li>– Numérisation et transmission d'informations relatives aux travaux de forage</li> </ul>
<b>Nouvelles compétences à maîtriser</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Capacité à lire des indicateurs numériques</li> <li>– Connaissance sur le fonctionnement des composantes électroniques</li> <li>– Manipulation d'outils d'instrumentation</li> <li>– Forte capacité à communiquer de l'information en personne et à distance</li> </ul>
<b>Nouveaux indicateurs clés de performance (KPI)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Productivité</li> <li>– Satisfaction client</li> <li>– Respect des normes environnementales</li> <li>– Qualité</li> <li>– Santé et sécurité</li> </ul>

**Tableau 42 - Aide-foreur**

<b>Rôle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– L'aide-foreur continuera à occuper le rôle de soutien au maître-foreur. Cependant, l'automatisation de certains processus libérera du temps des aides-foreurs qui sera alloué à certaines tâches traditionnellement réalisées par des techniciens en géologie</li> </ul>
<b>Nouvelles descriptions des tâches</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Utiliser des instruments et de l'équipement de diagraphie de sondage et de levés géophysiques et en assurer l'entretien</li> <li>– Jouer un plus grand rôle et même participer à l'évaluation de l'impact environnemental et à des activités connexes qui s'y rattachent</li> </ul>
<b>Nouvelles compétences à maîtriser</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Capacité à utiliser des instruments traditionnellement manipulés par des techniciens en géologie ou en minéralogie</li> <li>– Participer aux vérifications environnementales et aux activités connexes de protection de l'environnement</li> </ul>
<b>Nouveaux indicateurs clés de performance (KPI)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Productivité</li> <li>– Satisfaction client</li> <li>– Respect des normes environnementales</li> <li>– Qualité</li> <li>– Santé et sécurité</li> </ul>

## Adapter les pratiques RH à la transformation de l'entreprise

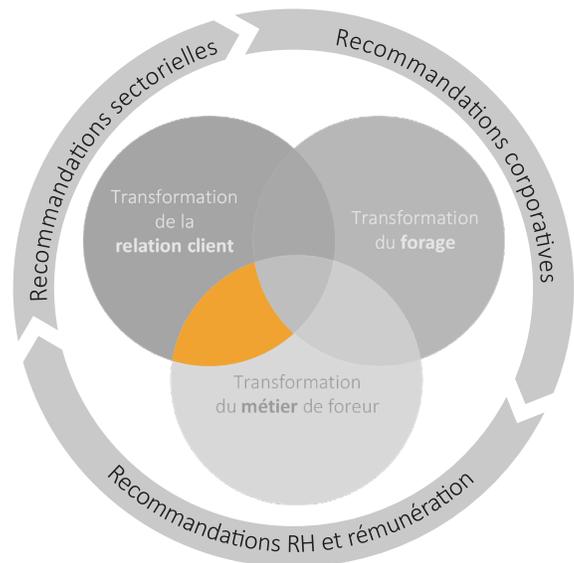
Puisque l'ajout de technologies dans le forage aura pour impact de transformer le métier de foreur, les entreprises de forage doivent adapter leurs pratiques RH à une entreprise qui sera dorénavant centrée sur la technologie et la géologie et non plus seulement sur le forage. Par ailleurs, les flottes de foreuses ne se transformeront pas du jour au lendemain. Les nouvelles compétences critiques à posséder peuvent par conséquent être partagées en priorité aux foreurs les plus susceptibles de les appliquer le plus longtemps et le plus habilement possible. Ainsi, la requalification des travailleurs existants est une étape cruciale du processus de transformation.

Les technologies peuvent également venir jouer un rôle majeur dans les programmes de formation. L'enseignement virtuel et la réalité augmentée sont des pratiques bien implantées dans de nombreuses industries et qui peuvent être mises à profit dans le forage. Une fois la connectivité disponible, le coaching en temps réel pourra également être très utile, tout comme l'utilisation des données de forage – permettant de mettre en place des processus de formation continue.

Au niveau du recrutement, les nouvelles technologies ont été identifiées comme un levier qui rejoint les travailleurs. Cela aura pour effet de moderniser l'image du forage. Les entreprises de forage devraient agir en conséquence et mettre l'accent sur la technologie dans leurs initiatives de recrutement.

Les besoins en main-d'œuvre vont également évoluer au-delà des postes qui étaient traditionnellement nécessaires aux opérations. Les entreprises de forage doivent donc préparer le recrutement de nouvelles expertises telles que des techniciens en intelligence d'affaires ainsi que des techniciens en génie électrique et électronique.

Enfin, au niveau de la gestion de la performance, les entreprises de forage devront changer fondamentalement leur approche. À mesure que les foreuses s'automatiseront, les foreurs seront de moins en moins imputables de la



performance de la foreuse, remettant par le fait même en question le modèle où la rémunération est basée uniquement sur la performance. Ce poste demeurera néanmoins très important pour s'assurer que la foreuse fonctionne convenablement et potentiellement pour réaliser d'autres tâches apparentées à celles de techniciens en géologie. Les mesures de performance et par le fait même de rémunération devront donc être revues.

Le tableau suivant offre des détails supplémentaires quant aux éléments de recommandations décrits dans cette section, à savoir le développement des compétences, le recrutement, et la gestion de la performance.

**Tableau 43 - Recommandations en gestion des ressources humaines**

Recommandations	Description
<b>Développement des compétences</b>	
<b>Manipulation des foreuses</b> Mettre en place un programme de développement des compétences à deux vitesses	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Concentrer les efforts de formation ou de requalification sur les foreurs les plus ouverts aux changements (généralement les employés les plus récemment entrés dans la profession) et plus à l'aise avec les technologies numériques</li> <li>– Inversement, les foreurs plus expérimentés continuent de travailler à partir de foreuses plus traditionnelles qu'ils maîtrisent bien et apprécient.</li> </ul>
<b>Outils de gestion</b> Développer la dextérité numérique de tout le personnel	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Développer des plans de requalification et de développement de la dextérité numérique chez les foreurs appelés à utiliser des outils numériques de gestion de campagnes.</li> <li>– L'INMQ recommande à ce propos plusieurs pistes de compétences à développer pour le secteur minier. Les départements RH pourront s'inspirer de ce cadre.</li> </ul>
<b>Compétences de gestion</b> Appuyer les gestionnaires RH et d'opérations dans leur rôle de gestion étendu pour aider à la réalisation de la transformation	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Amener les directeurs d'opérations à prendre conscience de l'importance de l'intégration des technologies et développer leur compréhension des approches de collaboration en contexte d'innovation, de la chaîne de valeur de l'innovation et des meilleures pratiques de gestion en innovation</li> <li>– Amener les directeurs des ressources humaines à développer leurs compétences en gestion du changement et en design organisationnel pour être en mesure d'appuyer et de piloter le changement du point de vue RH</li> </ul>
<b>Utilisation des nouvelles technologies dans la formation</b> Profiter des nouvelles technologies développées dans des secteurs adjacents au forage pour repenser la formation	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Grâce aux nouvelles technologies de réalité augmentée, les simulateurs et les visioconférences, de nouvelles avenues de formation et d'accompagnement des travailleurs s'ouvrent.</li> <li>– Bien qu'elles dépendent d'une connectivité internet de qualité, ces technologies existent et deviennent des outils très utiles pour travailler en collaboration dans un contexte d'éloignement, comme le vivent les maîtres-foreurs au quotidien.</li> </ul>
<b>Recrutement</b>	
<b>Renforcer et diffuser la marque employeur pour augmenter l'attractivité des entreprises de forage</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Le métier de foreur traîne une réputation de métier physique et très traditionnel. L'intégration des nouvelles technologies et la transformation des modèles d'affaires anticipés créent de nouvelles opportunités d'emplois et permettent de rejoindre un bassin beaucoup plus large de travailleurs. Ces derniers devront par conséquent être rejoints, être mobilisés et attirés près des entreprises de forage.</li> </ul>
<b>Orienter le recrutement sur les possibilités offertes et les besoins créés par les nouvelles technologies</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tirer profit de l'attrait lié à l'implantation de nouvelles technologies de forage et des technologies numériques pour attirer des travailleurs dans le milieu</li> <li>– Tirer profit du fait que le travail de maître-foreurs deviendra de moins en moins demandant physiquement pour élargir le bassin de travailleurs visés pour occuper ce poste.</li> </ul>
<b>Considérer le développement de nouveaux postes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Le développement de relations partenariales plus fortes avec les clients et les fournisseurs, de même que l'intégration de technologies demanderont le développement de nouveaux postes dans les entreprises de forage qui seront à définir, mais dont nous pouvons d'ores et déjà tracer les contours : <ul style="list-style-type: none"> <li>– Spécialistes en services-conseils: géologie, instrumentation et forage</li> <li>– Techniciens en intelligence d'affaires capables de transposer les données en information concrète</li> <li>– Techniciens en génie électrique et électronique</li> </ul> </li> </ul>

Recommandations	Description
<b>Gestion de la performance et rémunération</b>	
<b>Revoir les critères d'évaluation de la performance en s'inspirant de nos propositions</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– L'intégration de nouvelles technologies dans les entreprises de forage et plus spécifiquement sur les foreuses diminuera l'impact du maître-foreur sur la performance de la machine. Son poste demeurera néanmoins très important pour s'assurer que la foreuse fonctionne convenablement et potentiellement pour réaliser d'autres tâches apparentées à celles de techniciens en géologie.</li> <li>– Plusieurs éléments de disciplines ont été identifiés comme demeurant problématiques sur les sites de forage, notamment le respect des normes SST et des normes environnementales.</li> <li>– Par conséquent, les foreurs opérant de nouvelles machines liées à de nouveaux modèles d'affaires devraient opérer sous un modèle de gestion de la performance multidimensionnel plutôt qu'unidimensionnel et intégrer des critères de : qualité, santé et sécurité, respect de l'environnement et service client.</li> </ul>
<b>Revoir les critères de rémunération pour considérer le nouveau rôle du maître-foreur de manière holistique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– En fonction de l'évolution des modes d'évaluation de la performance, les entreprises de forage pourront s'éloigner d'un mode de rémunération basé sur la performance de forage en profondeur ou mètre marginal.</li> <li>– La culture forte de rémunération variable en fonction de la performance pourrait demeurer, mais aurait intérêt à s'élargir pour intégrer des critères de : qualité, santé et sécurité, respect de l'environnement et service client qui seront de plus en plus faciles à suivre grâce à la numérisation des outils de suivi de campagnes.</li> </ul>

## 7. Les bases d'un agenda collaboratif de recherche & développement

L'intention poursuivie par la publication de ce livre blanc était de documenter les stratégies à adopter, notamment au niveau du capital humain, pour favoriser l'implantation des nouvelles technologies et innovations dans le secteur du forage d'exploration au Québec. Le Groupe Misa, en partenariat avec l'AEMQ souhaitait jeter les bases d'un plan directeur pour la mise en œuvre des dernières avancées en matière de forage pour renforcer la compétitivité des entreprises québécoises dans le secteur et pour surmonter les défis actuels de l'industrie.

À travers le travail de recherche et de consultation réalisé, nous avons mis en lumière des opportunités de recherche & développement collaborative pour le secteur. Dans ce dernier chapitre, nous souhaitons introduire trois projets potentiels qui découlent directement des tendances observées. Ces projets visent à permettre à l'industrie québécoise d'exploration minière de progresser sur des thèmes clés qui sont au cœur de la modernisation du secteur à l'échelle internationale.

Les trois projets visés s'attarderont sur : la valorisation des données, la traçabilité et la sécurité et l'environnement de travail. Pour chaque projet, nous proposons une fiche décrivant le projet, ses objectifs, des exemples d'entreprises et de parties prenantes de l'industrie qui pourraient s'impliquer, les livrables attendus, ainsi qu'une description du lien direct identifiés avec les enjeux de l'industrie.

### Valorisation des données

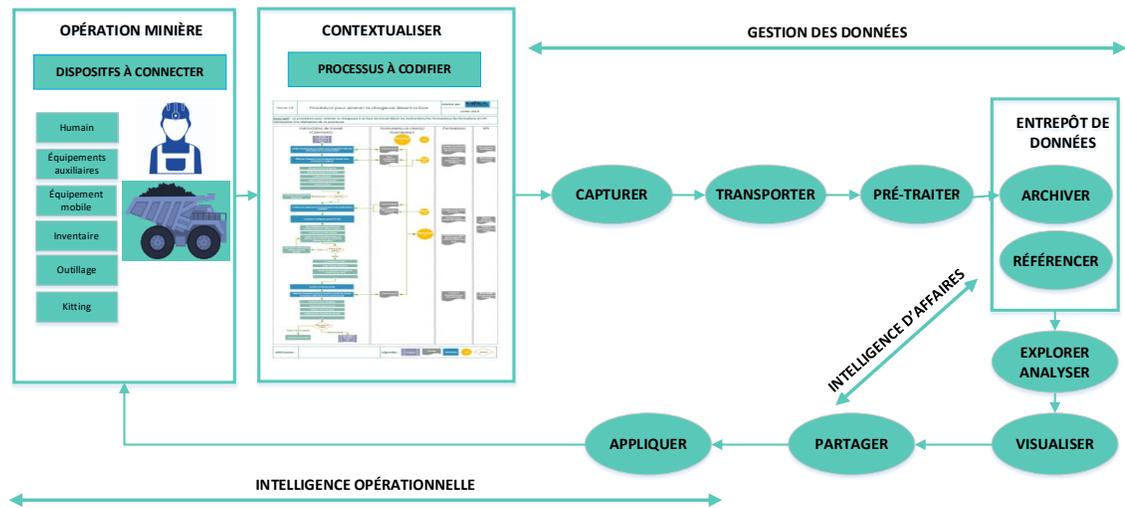
Le premier projet vise à développer un modèle répliquable de collecte de transfert et de valorisation de données liées aux campagnes de forage d'exploration minière.

**Tableau 44 - Projet sur la valorisation des données**

<b>Description</b>	<p>Les sociétés d'exploration et les entrepreneurs en forage ont des visions différentes d'une campagne d'exploration. Les premiers souhaitent obtenir des données rapidement pour établir le modèle géologique optimal. Les seconds souhaitent forer à un coût compétitif et l'objectif est de fournir des mètres forés. Sans être incompatibles, ces deux approches ne maximisent pas la possibilité de faire de nouvelles découvertes. L'écart entre ces visions risque de générer une rupture dans l'industrie puisque la valorisation des données est une préoccupation de plus en plus importante à toutes les étapes du processus de développement minéral. La valorisation des données promet une optimisation des opérations, et même une vision intégrée et systémique de ce processus.</p> <p>Une large part de l'expertise repose sur la capacité d'interpréter les données géologiques recueillies. De plus, aujourd'hui, les données minéralogiques ont une valeur géologique, ainsi que pour une gestion optimale des activités d'extraction et de restauration.</p> <p>La gestion des données est un savoir et des savoir-faire. Une courbe d'apprentissage est requise, de meilleures pratiques doivent être bonifiées, pour gérer et valoriser les données, c'est-à-dire les transformer en information et décision.</p>
<b>Objectif</b>	<p>Les technologies de connectivité et d'automatisation ouvrent de multiples opportunités de valorisation des données. Certes, les opérations de forage sont souvent localisées à des endroits difficiles aux communications. La problématique est réelle, mais n'épargne pas l'obligation d'évaluer et de préparer les solutions d'affaires qui ajouteront de la valeur aux services de forage. Les questions sont alors de savoir :</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Est-il possible d'implanter une procédure de géolocalisation numérisée des données minéralogiques ?</li><li>2. Est-ce que la collecte des données d'opération (ex. comportement de la machine, de ses composantes, des consommables, etc.) sont les bases de programme de maintenance préventive ? D'un suivi des opérations à distance ? De programme de formation ? De modèle prédictif sur le suivi de la campagne d'exploration ?</li></ol>

	<ol style="list-style-type: none"> <li>3. Comment intégrer les données géomécaniques dans les modèles géologiques ?</li> <li>4. Est-il possible d'implanter des technologies d'optique pour le recensement des données minéralogiques du tableau périodique ?</li> <li>5. Comment gérer ces données à toutes les étapes de la gestion du projet ?</li> <li>6. Comment mutualiser les données pour accélérer le déploiement d'applications en intelligence artificielle ?</li> <li>7. Comment assurer la disponibilité des données aux corporations qui s'activent aux différentes étapes du processus de développement minéral ?</li> </ol> <p>Voilà quelques-unes des questions relatives à la gestion des données qui dépassent largement le cadre de la géoscience.</p>			
<b>Entreprises innovantes</b>	– Consortium de sociétés d'exploration			
<b>Parties prenantes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Entreprises de services géoscientifiques</li> <li>– Universités</li> <li>– Entreprises de forage</li> </ul>			
<b>Livrables</b>	<p>Ce projet collaboratif mènera à l'édition d'une veille technologique et 3 guides de meilleures pratiques en gestion des données :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Veille technologique sur le potentiel des technologies d'optique (réf. : LIBS, Hyperspectral, etc.) pour (1) recenser et (2) géolocaliser, sur un mode numérique, les données du tableau périodique ;</li> <li>2. Guide sur les meilleures pratiques de gestion des données : (1) nomenclature (2) contextualisation (3) gestion de la qualité des données :</li> </ol> <table border="1" data-bbox="316 898 1458 1587"> <tr> <td data-bbox="316 898 695 1587"> <p>Quel type de données sont recherchées :</p> <p><b>DE PERFORMANCE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> État des dispositifs connectés</li> <li><input type="checkbox"/> Nombre de cycle</li> <li><input type="checkbox"/> Émission de chaleur</li> <li><input type="checkbox"/> Émission de vibration</li> <li><input type="checkbox"/> Autres données ? Spécifiez :</li> </ul> <p><b>DE GÉOLOCALISATION</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Accessibilité et disponibilité des équipements</li> <li><input type="checkbox"/> Alarme de proximité</li> <li><input type="checkbox"/> Sécurité des travaux</li> <li><input type="checkbox"/> Modélisation des flux logistiques</li> <li><input type="checkbox"/> Autres données ? Spécifiez :</li> </ul> <p><b>DE PRODUCTIVITÉ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Volume de la matière (minéral, eau, air, etc.)</li> <li><input type="checkbox"/> Caractéristiques de la matière (minéral, eau, air, etc.)</li> <li><input type="checkbox"/> Autres données ? Spécifiez :</li> </ul> <p><b>DE SÉCURITÉ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Géolocalisation des personnes</li> <li><input type="checkbox"/> Suivi des signes vitaux</li> <li><input type="checkbox"/> Autres données ? Spécifiez :</li> </ul> </td> <td data-bbox="699 898 1073 1587"> <p>Pourquoi les données sélectionnées apportent des informations utiles pour l'usagé ?</p> </td> <td data-bbox="1078 898 1458 1587"> <p>Où collecter les données ?</p> <p>Comment les collecter ?</p> <p>Comment assurer la qualité des données ?</p> </td> </tr> </table>	<p>Quel type de données sont recherchées :</p> <p><b>DE PERFORMANCE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> État des dispositifs connectés</li> <li><input type="checkbox"/> Nombre de cycle</li> <li><input type="checkbox"/> Émission de chaleur</li> <li><input type="checkbox"/> Émission de vibration</li> <li><input type="checkbox"/> Autres données ? Spécifiez :</li> </ul> <p><b>DE GÉOLOCALISATION</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Accessibilité et disponibilité des équipements</li> <li><input type="checkbox"/> Alarme de proximité</li> <li><input type="checkbox"/> Sécurité des travaux</li> <li><input type="checkbox"/> Modélisation des flux logistiques</li> <li><input type="checkbox"/> Autres données ? Spécifiez :</li> </ul> <p><b>DE PRODUCTIVITÉ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Volume de la matière (minéral, eau, air, etc.)</li> <li><input type="checkbox"/> Caractéristiques de la matière (minéral, eau, air, etc.)</li> <li><input type="checkbox"/> Autres données ? Spécifiez :</li> </ul> <p><b>DE SÉCURITÉ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Géolocalisation des personnes</li> <li><input type="checkbox"/> Suivi des signes vitaux</li> <li><input type="checkbox"/> Autres données ? Spécifiez :</li> </ul>	<p>Pourquoi les données sélectionnées apportent des informations utiles pour l'usagé ?</p>	<p>Où collecter les données ?</p> <p>Comment les collecter ?</p> <p>Comment assurer la qualité des données ?</p>
<p>Quel type de données sont recherchées :</p> <p><b>DE PERFORMANCE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> État des dispositifs connectés</li> <li><input type="checkbox"/> Nombre de cycle</li> <li><input type="checkbox"/> Émission de chaleur</li> <li><input type="checkbox"/> Émission de vibration</li> <li><input type="checkbox"/> Autres données ? Spécifiez :</li> </ul> <p><b>DE GÉOLOCALISATION</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Accessibilité et disponibilité des équipements</li> <li><input type="checkbox"/> Alarme de proximité</li> <li><input type="checkbox"/> Sécurité des travaux</li> <li><input type="checkbox"/> Modélisation des flux logistiques</li> <li><input type="checkbox"/> Autres données ? Spécifiez :</li> </ul> <p><b>DE PRODUCTIVITÉ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Volume de la matière (minéral, eau, air, etc.)</li> <li><input type="checkbox"/> Caractéristiques de la matière (minéral, eau, air, etc.)</li> <li><input type="checkbox"/> Autres données ? Spécifiez :</li> </ul> <p><b>DE SÉCURITÉ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Géolocalisation des personnes</li> <li><input type="checkbox"/> Suivi des signes vitaux</li> <li><input type="checkbox"/> Autres données ? Spécifiez :</li> </ul>	<p>Pourquoi les données sélectionnées apportent des informations utiles pour l'usagé ?</p>	<p>Où collecter les données ?</p> <p>Comment les collecter ?</p> <p>Comment assurer la qualité des données ?</p>		

3. Guide des meilleures pratiques de la chaîne de valeur des données ;



4. Tableau de bord intégré des données géophysiques, géomécaniques ou toutes autres données à valeur ajoutée pouvant soutenir le développement de modèles géologiques.

Liens avec les enjeux de l'industrie

Le projet doit être en mesure de développer un modèle répliquable de collecte, de transfert et de valorisation de données

## Traçabilité

Le second projet vise à déterminer si d'autres alternatives plus rapides et moins coûteuses que l'extraction de carottes de forage sont viables et conformes aux exigences réglementaires liées au financement des entreprises d'exploration.

**Tableau 45 - Projet sur la traçabilité**

<b>Description</b>	<p>Le forage d'exploration minière génère des volumes importants de carottes de forage. La production de carottes est requise pour répondre aux exigences réglementaires qui visent, en premier lieu, l'intégrité des données géologiques, la validité des tests minéralogiques et la protection des investisseurs. La réglementation actuelle a été implantée à la suite des événements Bre-X Minerals et a subi des modifications régulièrement depuis ce temps.</p> <p>La production de carottes conditionne fortement les technologies de forage. Ces technologies comptent pour près de 50 % des investissements en exploration minière. De plus, elle génère des processus d'opération onéreux : frais de transport, frais d'entreposage, infrastructure de carothèque, frais d'archivage.</p> <p>Il apparaît possible que les technologies d'optique, de connectivité et de traçabilité aujourd'hui disponibles soient susceptibles de générer des gains de productivité, et même, de qualité des données, qui réduiront les coûts d'une campagne de forage et amélioreront la qualité des modèles géologiques. Cependant, il faut démontrer que la numérisation de ces processus d'opération respecte, voire rend encore plus robuste, l'intégrité des données géologiques et la protection des investisseurs.</p>
<b>Objectif</b>	<p>Le projet questionne un puissant paradigme de l'industrie. Pourquoi produire une carotte de forage ? La réponse à cette question permettra d'explorer les questions suivantes :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Est-ce que des technologies destructives sont susceptibles d'augmenter les performances de forage ?</li> <li>2. Est-il possible de géo-référencer l'extrant de forage issu d'une technologie de forage destructive ?</li> <li>3. Comment gérer la traçabilité de ces données géoréférencées afin de répondre aux exigences réglementaires ?</li> </ol>
<b>Entreprises innovantes</b>	<p>Consortium d'entreprises d'exploration et d'extraction</p>
<b>Parties prenantes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Entreprises de services géoscientifiques</li> <li>– Centre de recherche en gestion des données</li> <li>– Entreprise en traçabilité</li> <li>– Institut national d'optique</li> <li>– Entreprise de forage</li> </ul>
<b>Livrables</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Étude d'impact des technologies de forage destructif, gain de productivité et impact sur les coûts d'une campagne de forage</li> <li>– Veille technologique sur les technologies de traçabilité appliquées aux opérations de poudre de forage</li> <li>– Étude de faisabilité d'une technologie de traçabilité et de numérisation des inventaires des poudres de forage répondant aux exigences réglementaires</li> </ul>
<b>Liens avec les enjeux de l'industrie</b>	<p>Le projet doit permettre de conclure si d'autres alternatives plus rapides et moins coûteuses que l'extraction de carottes de forage sont viables et conformes aux exigences réglementaires en matière d'intégrité des données</p>

## Sécurité et environnement de travail

Le troisième projet vise à étudier la faisabilité et les implications de l'instrumentation des composantes, ainsi que d'un forage mécanisé, automatisé ou intelligent.

**Tableau 46 - Projet sur la sécurité et environnement de travail**

<b>Description</b>	<p>La mécanisation du travail rendra plus facile et accessible le travail sur le terrain, mais également plus attrayant du point de vue de la possibilité d'y faire carrière. Cela réduira le taux de roulement pharaonique actuel et permettra de développer de nouvelles approches basées sur les compétences techniques et non pas physiques.</p> <p>Le futur proche sera probablement un opérateur par foreuse et un spécialiste de l'entretien technique (électronique) pouvant superviser plusieurs foreuses sur le site. Cet opérateur sera branché en temps réel avec le géologue qui sera en mesure de recevoir des données d'analyse et ainsi prendre des décisions plus rapidement. Les gains seraient de maximiser les activités de forage et le rendement des entreprises d'exploration.</p> <p>L'automatisation de certaines tâches rendra disponible le foreur pour en accomplir d'autres, si bien que l'entreprise pourrait offrir de nouveaux services comme des laboratoires géochimiques sur le site de forage et des outils générant des données géologiques qui sont dans les deux cas manipulés par des foreurs.</p>
<b>Objectif</b>	<p>Les objectifs de ce projet sont de :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Établir la faisabilité de l'instrumentation des composantes d'un équipement de forage</li> <li>2. Définir la nomenclature des données de performance et de productivité générées par les composantes connectées</li> <li>3. Recenser les faisabilités de fonctions mécanisées ou automatisées des composantes connectées</li> <li>4. Définir une feuille de route des développements technologiques requis devant mener au concept de foreuse connectée</li> <li>5. Évaluer la faisabilité des avantages compétitifs de la foreuse connectée selon les bénéfices perçus du point de vue du géologue</li> </ol>
<b>Entreprises innovantes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Équipementiers</li> <li>– Consortium d'entreprises de forage</li> </ul>
<b>Parties prenantes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Entreprises exploration et exploitation</li> <li>– Fournisseurs de services (gestion de la campagne de forage)</li> <li>– Centre de formation professionnelle, CSMO Mines</li> <li>– Services Québec – Communautés autochtones</li> <li>– Société du Plan Nord (connectivité nordique)</li> </ul>
<b>Livrables</b>	<p>Une feuille de route qui déclenchera une série de projets collaboratifs et d'innovations sur les champs d'expertises et opportunités suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Veille sur les opportunités d'instrumentation menant à un forage mécanisé ou automatisé</li> <li>– Développement technologique de foreuse connectée fournissant des informations géologiques de qualité et disponibles en temps réel</li> <li>– Proposer une liste de fonctions mécanisées, automatisées ou intelligentes pour le forage</li> <li>– Supporter le développement d'expertise (entreprises et centres de formation professionnelle)</li> </ul>
<b>Liens avec les enjeux de l'industrie</b>	<p>Le forage représentant 50 % des coûts en exploration minière et en capital lors de l'étape de la mise en valeur des projets. Il s'agit avec le financement de l'enjeu le plus prioritaire.</p>

# Annexes

## Liste des entretiens individuels

Tableau 47 - Liste des entretiens individuels

#	Nom	Poste	Entreprise	Thème
1	<b>Julian Waingortin</b> <sup>27</sup>	Directeur du développement des affaires	Epiroc	Équipements de forage
2	<b>Éric Beauchesne</b> <b>Patrick Marchand</b>	PDG Chargé de projet	Arkys	Codification des modèles de rémunération
3	<b>Steven Bowles</b>	Directeur principal, Mines et ressources naturelles	Investissement Québec (Ressources Québec)	Financement
4	<b>Luc Thiboutot</b>	Directeur Adjoint	CFP de Val d'Or	Formation
5	<b>Benoît Lafrance</b>	Directeur	Consorem	Collaboration académique
6	<b>Pietro de Ciccio</b>	Directeur général	Versadrill/GtechDrill	Équipementier
7	<b>Yasmine Mohamed</b>	Professeure	UQAT	Rémunération
8	<b>Gervais Perron</b> <b>Michelle Carey</b>	Principal Geologist Head of product mngmt.	IMDEX	Équipementier
9	<b>Soren Soe</b>	Project manager	MinEx (Australie)	Collaboration intersectorielle
10	<b>Julien Davy</b>	PDG	Tarku Resources	Exploration
11	<b>Vincent Boileau</b>	D.D.A	CMAC-Thyssen	Foreur/équipementier
12	<b>Michel Jébrak</b>	Professeur titulaire	UQAM	Contexte, enjeux et solutions
13	<b>Guillaume Julien</b>	Directeur produits et ventes	CMAC Thyssen	Innovation et changement
14	<b>Steve Larouche</b>	Vice-Président	Forages Chibougamau	Vision forage et changement
15	<b>Nico Brière</b>	Président	Forage Nordik	Vision forage et changement
16	<b>Yanic Bernier</b>	Président	Forage FTE	Vision forage et changement
17	<b>Réjean Girard</b>	Géologue	IOS Services géoscientifiques	Services géoscientifiques
18	<b>Marc Bardoux</b>	Principal Geologist	Barrick Gold	Explorateur
19	<b>François Robert</b>	Géologue	À son compte	Explorateur
20	<b>Serge Côtes</b>	Directeur, Mines et ressources naturelles	Fonds de solidarité FTQ	Financement
21	<b>Marc Landry</b>	VP Innovation et logistique	Major Drilling	Vision forage et changement

<sup>27</sup> répondant à nos questions sous son nom et pas celui d'Epiroc

## Composition du comité de pilotage

Tableau 48 - Composition du comité de pilotage

Nom	Titre	Entreprise	Rôle dans l'industrie
<b>Alain Beauséjour</b>	Directeur général	Groupe MISA	Pôle d'excellence
<b>Alain Poirier</b>	Directeur de projet	AEMQ	Association sectorielle
<b>Daniel Larose</b>	Directeur – Opérations sous-terre	Orbit Garant	Entreprise de forage
<b>Mario Rouiller</b>	Président Directeur Général	Forages Rouiller	Entreprise de forage
<b>Mathieu Dionne</b>	Directeur, Ventes et développement d'affaires	AVD Foreuse	Équipementier
<b>Daniel Misiano</b>	Président / CEO	MBI Global	Équipementier
<b>Olivier Grondin</b>	Directeur, Exploration	Agnico Eagle	Donneur d'ordres
<b>Christian J. Dupuis</b>	Professeur agrégé	Université Laval	Expert en géologie
<b>Yasmine Mohamed</b>	Professeure	UQAT	Relations industrielles
<b>François Rousseau-Clair</b>	Associé	Aviseo Conseil	Accompagnement de la démarche de concertation
<b>Jérôme Gonthier</b>	Consultant principal	Aviseo Conseil	Accompagnement de la démarche de concertation

## Composition du comité consultatif

Tableau 49 - Composition du comité consultatif

Nom	Titre	Entreprise	Rôle dans l'industrie
<b>Stéphane Villeneuve</b>	Géologue régional	Agnico Eagle	Donneur d'ordres
<b>Gabrielle Rochefort</b>	Directrice adjointe – bureau de Chibougamau	Soquem	Explorateur
<b>François Goulet</b>	PDG	Harfang Exploration	Explorateur
<b>David Morel</b>	Directeur des ressources humaines	Orbit Garant	Entreprise de forage
<b>Shany Harvey</b>	Recrutement	Forage Rouiller	Entreprise de forage
<b>Mathieu Dionne<sup>28</sup></b>	Directeur ventes et développement des affaires	AVD Foreuses	Équipementier

<sup>28</sup> A quitté cette entreprise depuis la démarche

## Cadre d'évaluation des impacts en gestion du changement

Tableau 50 - Cadre d'évaluation des impacts en gestion du changement

	Définitions	Exemples
<b>Connaissances et compétences requises</b>	Impacts liés à l'acquisition de compétences/connaissances nouvelles	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Apprentissages du fonctionnement de nouveaux instruments</li> <li>– Développement de nouveaux savoir-faire :               <ul style="list-style-type: none"> <li>– Relationnel</li> <li>– Technique</li> </ul> </li> </ul>
<b>Processus et les procédures</b>	Impacts liés aux changements dans l'organisation du travail	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Intégration de nouvelles tâches dans la séquence</li> <li>– Élimination de tâches traditionnelles</li> <li>– Nouveaux critères d'évaluation de performance</li> </ul>
<b>Structure et rôles</b>	Impacts sur la structure organisationnelle, les rôles et responsabilités qui seront nécessaires pour soutenir le nouveau processus	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Rôles dans la chaîne de valeur</li> <li>– Conditions de travail (RH)</li> <li>– Postes et classifications</li> </ul>
<b>Culture</b>	Impacts liés à la culture et aux valeurs de l'organisation	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Comportements</li> <li>– Habitudes</li> <li>– Façon de concevoir son rôle</li> <li>– Relations avec collègues et clients</li> <li>– Cadre décisionnel</li> </ul>
<b>Outils</b>	Impacts liés à l'utilisation des nouveaux instruments (l'outil utilisé et ses composantes)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Implantation de nouvelles technologies</li> <li>– Modification des technologies utilisées</li> </ul>
<b>Environnement</b>	Impacts des changements d'environnements internes	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Lieu de travail</li> <li>– Conditions de travail quotidiennes</li> </ul>

## Cadre de référence des compétences numériques – INMQ

Tableau 51 - Cadre de référence des compétences numériques de l'INMQ

	Compétences à maîtriser	Implications pour les foreurs
<b>Communiquer</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Lire et comprendre les paramètres des machines sur des écrans numériques ou des imprimés</li> <li>– Porter un jugement critique fondé sur les informations issues du système</li> <li>– Partager des informations et des contenus à qui de droit par divers canaux de communication</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Lire des plans et identifier la position de machines ou d'humains sur un support numérique</li> <li>– Comprendre les instructions relatives à une tâche à l'aide d'un écran d'ordinateur, d'une tablette ou d'un téléphone cellulaire</li> <li>– Analyser et évaluer de manière critique les données, les informations et le contenu numérique</li> <li>– Synthétiser de l'information</li> <li>– Communiquer l'information verbalement ou au moyen d'un téléphone intelligent</li> </ul>
<b>Collaborer</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Montrer et transmettre ses connaissances, ses idées et ses méthodes de travail à des collègues</li> <li>– Utiliser des outils et des technologies numériques pour des processus collaboratifs</li> <li>– Influencer et mobiliser les personnes au service d'un objectif partagé</li> <li>– Manifester de l'intérêt, de la curiosité et de la compréhension pour les personnes et les idées qui diffèrent en partie ou totalement de soi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Utiliser les appareils numériques (téléphone intelligent, tablette, ordinateur) pour communiquer verbalement ou envoyer des messages texte</li> <li>– Collaborer avec des tiers pour résoudre des problèmes dans un environnement numérique</li> <li>– Recommander des changements de méthodes de travail, de procédures et d'équipement en vue d'améliorer l'efficacité globale</li> <li>– Comprendre son rôle dans le système intégré de l'entreprise et son impact sur les autres utilisateurs</li> <li>– Adopter une attitude ouverte à l'égard d'autres méthodes de travail</li> </ul>
<b>Analyser et solutionner</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Valoriser des données et utiliser la statistique pour alimenter le processus de résolution de problème</li> <li>– Traiter et résoudre les problèmes de manière autonome, chercher des solutions de rechange et mettre en œuvre les solutions</li> <li>– Effectuer un choix entre plusieurs solutions, en fonction des objectifs fixés et des informations dont on ne peut disposer</li> <li>– Présenter des actions concrètes au moyen des technologies numériques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Analyser, comparer et évaluer de manière critique la crédibilité et la fiabilité des sources de données, d'information et de contenu numérique</li> <li>– Proposer des solutions de rechange lorsque des problèmes surgissent dans la réalisation des tâches</li> <li>– Identifier des solutions à un problème sans attendre nécessairement des instructions</li> <li>– Percevoir des liens entre des données traitées</li> <li>– Prioriser les actions à mettre en place</li> </ul>

	Compétences à maîtriser	Implications pour les foreurs
<b>Utiliser des technologies numériques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Juger de la pertinence de la source et de son contenu pour stocker, gérer et organiser des données, informations et contenus numériques</li> <li>– Manipuler efficacement un ordinateur et les technologies de l'information numérique</li> <li>– Télécommander des appareils, des équipements ou des systèmes à distance sans avoir une vue directe des opérations et suivre le déroulement sur un écran tout en corrigeant les manœuvres si requis</li> <li>– Entretien et offrir des services de dépannage électromécanique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Comprendre l'information de capteurs intelligents pour améliorer la performance des équipements, en faire la maintenance ou les remplacer</li> <li>– Utiliser efficacement les TIC (logiciels, équipements)</li> <li>– Utiliser les différentes fonctions des logiciels et des appareils numériques</li> <li>– Opérer un équipement à distance à l'aide d'un écran, d'un ordinateur ou d'une tablette numérique</li> <li>– Vérifier les informations et les données pour prévenir les bris majeurs</li> <li>– Diagnostiquer les pannes et planifier les réparations</li> </ul>
<b>Protéger</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Utiliser de façon sécuritaire et préventive des équipements dans un environnement numérique</li> <li>– Appliquer des lois et des politiques relatives à la protection des informations nominatives ou de l'entreprise</li> <li>– Se comporter avec éthique et dignité sur les réseaux sociaux ou dans ses échanges numériques</li> <li>– Identifier les événements dont la concrétisation aurait un impact positif ou négatif sur le travail</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Se protéger et protéger les autres des dangers potentiels dans les environnements numériques</li> <li>– S'assurer d'avoir une autorisation des services de sécurité pour communiquer de l'information à des tiers</li> <li>– Prendre en compte les règles d'éthique dans ses échanges virtuels</li> <li>– Agir dès qu'il y a une situation de cyberintimidation</li> <li>– Surveiller les risques résiduels et identifier les nouveaux risques</li> </ul>
<b>Apprendre, se développer et s'améliorer</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Être à l'affût d'opportunités de se développer et d'acquérir de nouvelles habiletés</li> <li>– Apprendre de manière autonome au moyen d'outils d'apprentissage virtuels</li> <li>– Adopter une attitude souple face à des circonstances et des situations changeantes et, si nécessaire, s'y adapter</li> <li>– Envisager un problème sous un angle tout à fait nouveau. Apporter des idées nouvelles qui ne découlent pas de ce qui est déjà connu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Suivre l'évolution des avancées technologiques et se former en fonction des besoins professionnels</li> <li>– Saisir les opportunités d'apprendre et de faire évoluer sa carrière</li> <li>– Trouver des informations en ligne à l'aide d'un fureteur</li> <li>– Utiliser des simulations virtuelles pour apprendre</li> <li>– Proposer de nouvelles façons d'utiliser la technologie pour améliorer l'efficacité et l'efficience des opérations</li> <li>– Analyser les situations avec une perspective originale</li> <li>– Intégrer les idées des autres dans une nouvelle perspective</li> </ul>

## Bibliographie

- Amira International (2017). « Unlocking Australia's Hidden Potential: An Industry Roadmap ». In collaboration with Uncover Australia.
- Association Minière du Québec (2015). *Mémoire : Chantier sur l'acceptabilité sociale*. Présenté au ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles.
- Australian Government: Grains Research & Development Corporation (2019). « The shifting landscape of human resource management in Australian agriculture ».
- Aviseo Conseil (2019). Étude des retombées économiques et des besoins de main-d'œuvre dans le secteur de l'exploration minière au Québec. Mandat réalisé pour l'association de l'exploration minière du Québec.
- BCG (2015). « Implementing HR Excellence: Four Levers to Improve Human Resources Performance ». <https://www.bcg.com/publications/2015/people-organization-implementing-hr-excellence-four-levers-improve-human-resources-performance>.
- BCG (2018). « The New Technology Frontier in Mining ».
- Boart Longyear (2021). « Full Year 2020 Results ». <https://www.boartlongyear.com/fr/company/investors/earnings-reports>.
- Boart Longyear. <https://www.boartlongyear.com/fr>. Consulté en avril 2021.
- Canadian Mining Journal (2021). « Exyn integrates data into Sandvik OptiMine in mining milestone ». <http://www.canadianminingjournal.com/news/exyn-integrates-data-into-sandvik-optimine-in-mining-milestone>.
- Comité Sectoriel de main-d'œuvre de l'industrie des mines (2019). *Guide et outils de gestion pour le développement des compétences numériques du secteur minier*.
- Compétences Québec. *Forage au diamant*. <https://www.inforoutefpt.org/progSecDet.aspx?prog=5253&sanction=5>. Consulté février 2021.
- Coring Magazine (2020). « Lantern introduces new tools to help drillers, mining & exploration companies work better, together ». <https://coringmagazine.com/article/lantern-help-drillers-companies>.
- Deloitte (2016). « Business Ecosystems in Exploration ». Project mandated by PDAC & Canada Mining Innovation Council.
- Emploi Québec. *Information sur la profession : Géoscientifiques et océanographes (CNP 2113)*. [http://imt.emploi.quebec.gouv.qc.ca/mtg/inter/noncache/contenu/asp/mtg122\\_sommprofs\\_01.asp](http://imt.emploi.quebec.gouv.qc.ca/mtg/inter/noncache/contenu/asp/mtg122_sommprofs_01.asp). Consulté en mai 2021.
- Endeavor Technologies. <https://endeavor-tech.ca>. Consulté en mars 2021.
- Epiroc (2020). « Capital Markets Day Fika 2020 ».
- Epiroc. <https://my.epiroc.com>. Consulté en mars 2021.
- Finance et Investissement (2020). *Démystifier les actions accréditives*. <https://www.finance-investissement.com/nouvelles/actualites/demystifier-les-actions-accreditives>.
- Foraco (2020). « Investor Presentation ».

Fraser Institute (2021). « Annual Survey of Mining Companies, 2020 ». Disponible au <https://www.fraserinstitute.org/studies/annual-survey-of-mining-companies-2020>.

Glacier FarmMedia (2021). « Alberta's Lakeland to offer ag tech degree ». <https://www.agcanada.com/daily/albertas-lakeland-to-offer-ag-tech-degree>.

Gouvernement du Canada. *Comment fonctionne le programme des actions accréditatives (AA) ?* <https://www.canada.ca/fr/agence-revenu/services/impot/entreprises/sujets/actions-accreditives/investisseurs/comment-fonctionne-programme-actions-accreditives.html>. Consulté en mars 2021.

Gouvernement du Québec (2020). *Plan pour la valorisation des minéraux critiques et stratégiques 2020-2025*.

Harvard Business Review (2012). « What a Big-Data Business Model Looks Like ». <https://hbr.org/2012/12/what-a-big-data-business-model>.

Imdex. <https://www.imdexlimited.com>. Consulté en avril 2021.

Ingam, J., & Maye, D. (2020). « What Are the Implications of Digitalisation for Agricultural Knowledge? ». *Frontiers in Sustainable Food System*, 66 (4).

Institut de Développement Durable des Premières Nations (2020). *Explorer les géosciences – Forage : Principales étapes du cycle minier*.

Institut de la Statistique du Québec (2020). *Mines en chiffres*.

Institut de la Statistique du Québec (2020). *Recensement annuel sur l'investissement minier*.

Institut National des Mines (2019). *Le cadre de référence des compétences à l'ère numérique dans le secteur minier*.

Institut National des Mines (2019). *Portrait numérique de l'industrie minière au Québec*.

Investing News (2019). « Leading Edge: Innovation in Mineral Exploration Programs ». <https://investingnews.com/innspired/innovation-in-mineral-exploration-technology>.

Jébrak, M. (2012). « Innovations in mineral exploration: Targets, methods and organization since the first globalization period ».

Job, A., & Ross Mcaree, P. (2017). « Three case studies on the implementation of new technology in the mining industry ». Iron Ore Conference. Perth, Australia.

Kobold Metals. <https://www.koboldmetals.com>. Consulté en avril 2021.

Lakeland College. <https://www.lakelandcollege.ca>. Consulté en avril 2021.

Lantern. <https://drillwithlantern.com>. Consulté en mars 2021.

LégisQuébec (2020). *Loi sur les Mines*. Publication Québec. <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/showdoc/cs/m-13.1>.

Major Drilling (2020). « Investor Presentation: December 2020 ».

McCarthy, B. (2016). « Successfully Implementing Technology-driven Change in the Mining Environment ». International Mine Management Conference. Brisbane, Australia.

McKinsey & Company (2020). « Building the vital skills for the future of work in operations ». <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/building-the-vital-skills-for-the-future-of-work-in-operations>.

McKinsey & Company (2020). « Industry 4.0: Reimagining manufacturing operations after COVID-19 ». <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/industry-40-reimagining-manufacturing-operations-after-covid-19>.

McKinsey & Company (2021). « Agriculture's connected future: How technology can yield new growth ». <https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/agricultures-connected-future-how-technology-can-lead-new-growth>.

Microsoft. <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>. Consulté en avril 2021.

MinAlliance (2012). « 100 Innovations in the Mining Industry ».

Mines Canada (2020). « The Canadian Minerals and Metals Plan ».

MinEx Consulting (2019). « Trends in exploration ». International Mining and Resource Conference (IMARC), Melbourne, Australia.

MinEx CRC. <https://minexcrc.com.au>. Consulté en avril 2021.

Mining Industry Human Resources Council (2020). « The Changing Nature of Work: Innovation, Automation and Canada's Mining Workforce ».

Mining Magazine (2020). « Boart Longyear on the digitalisation of drill rigs ». <https://www.miningmagazine.com/technology-innovation/news/1397523/boart-longyear-on-the-digitalisation-of-drill-rigs>.

Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur. *Répertoire des métiers semi-spécialisés*. <http://www1.education.gouv.qc.ca/sections/metiers/index.asp>. Consulté en mai 2021.

Ministère de l'Énergie et des Ressources Naturelles. Gros plan sur les mines : Actions accréditatives. <https://mern.gouv.qc.ca/mines/fiscalite/fiscalite-mesures-actions.jsp>. Consulté en mars 2021.

Norcat. <https://www.norcat.org>. Consulté en mars 2021.

Norme Canadienne 43-101 : Information concernant les projets miniers, CVMQ, Vol. 31, N° 46.

Old's College. <https://www.oldscollege.ca>. Consulté en avril 2021.

Orbit Garant (2019). « Investor Presentation: November 2019 ».

PricewaterhouseCoopers (2019). *Mine Canadienne 2019 : Un paysage en Évolution*.

PricewaterhouseCoopers (2020). *Diagnostic sectoriel de l'industrie minière du Québec*. Mandat réalisé pour le comité sectoriel de main-d'œuvre de l'industrie des mines, Québec.

Prospectors & Developers Association of Canada (2016). « Unlocking Northern Resource Potential: The role of Infrastructure ».

Prospectors & Developers Association of Canada (2021). « State of Mineral Finance 2020: Canada holding ground ». Disponible au <https://www.pdac.ca/priorities/access-to-capital>.

Re'Flekt. <https://www.re-flekt.com>. Consulté en mars 2021.

Ressources Naturelles Canada (2020). Le Canada et les États-Unis mettent la dernière main à leur plan d'action conjoint pour la collaboration dans le domaine des minéraux critiques. <https://www.canada.ca/fr/ressources-naturelles-canada/nouvelles/2020/01/l-e-canada-et-les-etats-unis-mettent-la-derniere-main-a-leur-plan-daction-conjoint-pour-la-collaboration-dans-le-domaine-des-mineraux-critiques.html>.

Revenu Québec. Émission d'actions accréditives. <https://www.revenuquebec.ca/fr/entreprises/mesures-particulieres/emission-dactions-accreditives>. Consulté en février 2021.

Rolan Berger (2016). « Skill Development for Industry 4.0 ». BRICS Skill Development Working Group.

S&P Global Market Intelligence (2020). « A Decade of Underperformance for Gold Discovery ». <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/blog/a-decade-of-underperformance-for-gold-discoveries>.

Sanchez, F., & Hartlieb, P. (2020). « Innovation in the Mining Industry: Technological Trends and a Case Study of the Challenges of Disruptive Innovation ». *Mining, Metallurgy & Exploration*, 37.

Sandvik. <https://www.rocktechnology.sandvik/en/products/automation/optimize-information-management-system>. Consulté en mars 2021

Simard, M. (2018). L'industrie minière au Québec : situation, tendances et enjeux. *Études Canadiennes : Le Canada, refuge américain ?* N° 85.

SRK Consulting (2020). « Application of Machine Learning to Mineral Exploration ». Webinar in collaboration with PDAC. [https://www.pdac.ca/docs/default-source/members-membership/webinars/srk\\_pdac\\_mlwebinarjan2020](https://www.pdac.ca/docs/default-source/members-membership/webinars/srk_pdac_mlwebinarjan2020). Consulté en avril 2021.

Starlink. <https://www.starlink.com>. Consulté en mars 2021.

Statistique Canada (2019). *Tableau 33-10-0214-01 : Nombre d'entreprises canadiennes, avec employés*.

The World Bank. Research and Outlook: Commodity Markets. <https://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets>. Consulté en février 2021.

Trudel, J. (2011). Des pratiques de GRH favorisant la contribution des employés aux besoins de flexibilité des organisations. *Revue internationale sur le travail et la société*, Vol. 9 No 2.

Zhao, P., & Chen, Y. (2021). « Digital Geosciences and Quantitative Mineral Exploration ». *Journal of Earth Science*, 32 (2).



