

## L'INDUSTRIE MINIERE FACE A LA REVOLUTION INDUSTRIELLE 4.0

Par *Hien Barhyuor Lionel*

### **Résumé :**

*La technologie numérique a le potentiel de transformer le mode de fonctionnement de l'industrie minière et pourrait réduire l'intensité du capital et les coûts de production, rendre la production plus sûre et réduire considérablement l'empreinte environnementale tout en améliorant la performance sociale.*

*La numérisation est devenue un impératif commercial, tirant parti des dernières avancées technologiques pour améliorer le processus opérationnel pour assurer la compétitivité stratégique, réduire les risques et augmenter les performances de l'entreprise. Cependant, il reste difficile pour les opérateurs miniers de décider quelles technologies numériques sont les plus pertinentes pour leur expérience, leurs besoins actuels, priorités et défis.*

*Cet article a pour but de fournir un aperçu descriptif des technologies numériques dans le secteur minier qui sont pertinentes au niveau de l'entreprise et développent un cadre managérial des organisations afin de décrire les dimensions clés qui doivent être considérées pour une mise en œuvre réussie de la stratégie de transformation numérique. Le papier propose en plus des solutions basées sur la technologie. En plus l'article montre les avantages de la transformation numérique pour l'industrie minière sans laisser de côté les stratégies clés d'une transformation numérique réussie. Ces stratégies incluent le développement des capacités de la plate-forme et du réseau et le focus sur la télésurveillance et l'automatisation ainsi que la formation des employés et culture d'entreprise. Le papier montre enfin les risques de ne pas mettre en œuvre une stratégie numérique.*

**Mots clés:** *transformation numérique, exploitation minière; industrie 4.0*

### **Introduction**

Historiquement, l'industrie minière mondiale a progressé de deux manières : en augmentant l'échelle physique des opérations et en adoptant des technologies de séparation pour améliorer la production. Aujourd'hui, alors que l'industrie fait face à des conditions difficiles et que les sociétés minières atteignent leurs limites économiques, beaucoup recherchent de nouvelles façons d'améliorer leur efficacité.

Les technologies numériques peuvent améliorer considérablement les performances dans toutes les fonctions, de l'exploration et du développement à l'approvisionnement, la production, la distribution, les ventes et le commerce, et même la fermeture de mines. En fait, les technologies qui recueillent et fournissent des informations précises peuvent ouvrir d'importantes opportunités pour les sociétés minières de prendre des décisions plus rigoureuses et d'améliorer le rendement du capital investi.

L'industrie minière mondiale est sous pression. À court terme, la chute des prix des matières premières comprime les flux de trésorerie. En ce qui concerne l'avenir, de nombreuses mines existantes arrivent à maturité, ce qui entraîne l'extraction de minerais à plus faible teneur et des distances de transport plus longues depuis le front de taille ; les taux de remplacement des corps minéralisés sont en baisse ; et les délais de développement de nouvelles mines augmentent. En plus de cela, les opérations minières mondiales sont jusqu'à 28 % moins productives aujourd'hui qu'il y a dix ans, et cela après ajustement pour tenir compte de la baisse des teneurs en minerai.

Le but de cet article est de répondre à la question de recherche suivante : Qu'est-ce que la transformation numérique dans le secteur minier dans le contexte de l'industrie 4.0 ?

La méthode de recherche qui a été utilisée dans le cadre de cet article est l'étude de la littérature. Ici les chercheurs décrivent, évaluent et clarifient ce que l'on sait déjà sur le domaine de la recherche. Les auteurs ont utilisé une revue indépendante (Easterby-Smith, Thorpe et Jackson, 2015), afin de fournir un aperçu et une synthèse. Les problèmes et l'influence de la quatrième révolution industrielle sont abordés dans la littérature sujet. Les publications existantes se concentrent généralement uniquement sur le développement de technologies et sur certains aspects des changements technologiques. Liao et al. (2017) indiquent que dans recherche actuelle, l'attention a été portée sur le concept d'intégration informatique (par exemple, verticale, connexion horizontale et à l'échelle de l'entreprise des systèmes informatiques).

### **Qu'est-ce que la transformation numérique dans le secteur minier ?**

La transformation numérique dans le secteur minier est l'intégration de la technologie numérique dans tous les domaines d'une société minière, optimisant les opérations et la création de valeur. Un élément requis d'une transformation numérique minière est également un

changement culturel, les sociétés minières doivent spécifiquement remettre en question le statu quo et se différencier. L'identification et l'utilisation de la technologie dans des cas d'utilisation nouveaux ou améliorés offrent un avantage concurrentiel majeur.

### **Résoudre les risques du secteur minier grâce à la technologie**

L'industrie minière a été dans une position précaire ces dernières années en raison des impacts sur la main-d'œuvre de la pandémie de COVID-19, des perturbations de la chaîne d'approvisionnement et des changements dans la demande du marché. En 2020, un rapport a décrit certains des principaux défis qui empêchent les dirigeants et les dirigeants de l'industrie minière de dormir la nuit.

Licence d'exploitation - Il s'agit du facteur de risque le plus important identifié par 44 % des leaders de l'industrie. Alors que les gouvernements du monde entier exercent des pressions et des réglementations supplémentaires sur l'industrie minière, les dirigeants s'attendent à des restrictions supplémentaires dans les années à venir.

Une grande partie de cette réglementation est le résultat d'un examen minutieux du public et des consommateurs, car de plus en plus de personnes prennent conscience des impacts environnementaux et de l'empreinte carbone de l'industrie minière.

Avenir de la main-d'œuvre - Classé deuxième sur la liste des préoccupations (au lieu d'être classé n ° 7 en 2019), les leaders de l'industrie sont préoccupés par l'avenir de leur main-d'œuvre. Premièrement, les pénuries de main-d'œuvre compliquent la recherche et la rétention des talents. En outre, il existe un important déficit de compétences en matière d'utilisation de la technologie.

Optimisation numérique et des données - Les dirigeants miniers ont classé cela comme le troisième risque le plus élevé pour l'industrie. Il est clair que les leaders de l'industrie comprennent l'importance et l'impact que les données auront sur l'avenir de l'industrie minière.

Cependant, beaucoup ont eu du mal à exécuter leur stratégie numérique. Les opérations minières doivent trouver des moyens meilleurs et plus efficaces d'extraire et d'exploiter des informations utiles à partir des données qu'elles collectent.

Augmentation des coûts d'exploitation - Il n'est pas surprenant que les coûts augmentent rapidement en raison de l'inflation, de la hausse des salaires, de la qualité et de la disponibilité du minerai et d'une réglementation plus stricte. L'optimisation de la technologie et des données peut aider les grandes entreprises à mieux contrôler leurs coûts et à améliorer leur efficacité.

### **Avantages de la transformation numérique pour l'industrie minière**

Efficacité opérationnelle améliorée - L'efficacité opérationnelle se concentre sur la réduction de l'impact de nombreuses variables et s'appuie sur une technologie intelligente pour identifier les tendances et ajuster les prévisions et la planification.

En examinant les flux de données communiqués entre les machines minières, ainsi que les résultats des différentes étapes du processus minier, les entreprises peuvent obtenir des informations utiles pour guider la planification et la coordination des activités minières à l'avenir.

Réduction des coûts - Les coûts d'exploitation minière ont considérablement augmenté au cours de la dernière décennie en raison des coûts des matériaux, de l'augmentation de la main-d'œuvre et des processus supplémentaires en raison des exigences réglementaires. La technologie peut aider à réduire les coûts en rendant les processus plus efficaces et en réduisant les déchets.

Découverte et exploration améliorées - L'industrie minière dépend fortement de sa capacité à trouver de nouvelles sources de minéraux et de métaux bruts. Malheureusement, en raison des restrictions de coûts, les budgets d'exploration sont maintenant la moitié de ce qu'ils étaient en 2012. La technologie peut aider à trouver de nouvelles sources de minerai plus efficaces.

Par exemple, les innovations dans le domaine de la tomographie monoïque permettent aux sociétés minières d'effectuer des balayages profonds de la terre qui peuvent améliorer la capacité de trouver des gisements minéraux au lieu de s'appuyer sur des forages « aveugles » pour les carottes. Cela peut avoir d'énormes avantages sur le résultat net puisque 55 % des coûts d'exploration sont associés au forage.

Impact réduit des changements du marché - Les changements dans la technologie et l'application des matières premières peuvent avoir un impact considérable sur l'industrie. Par exemple, un nouveau type de matériau pourrait être découvert qui pourrait affecter l'utilisation de certains types de métaux.

La technologie peut aider à prendre en charge l'exécution de simulations basées sur des scénarios afin que les dirigeants puissent anticiper les bouleversements majeurs de l'entreprise.

Risques humains - Il existe des risques importants en ce qui concerne la sécurité des travailleurs dans l'industrie minière. Les entreprises peuvent réduire les taux élevés de décès et de blessures en mettant en œuvre des technologies axées sur la sécurité, telles que des machines automatisées et des capteurs de surveillance.

Communication améliorée - La technologie peut être très bénéfique pour les exploitants miniers qui doivent maintenir des lignes de communication constantes avec leurs travailleurs, les superviseurs miniers et les opérateurs de machines.

### **Stratégies clés d'une transformation numérique réussie**

#### **1. Développez les capacités de la plate-forme et du réseau**

L'une des plus grandes limites technologiques de l'industrie est la capacité de déployer des solutions technologiques dans les nombreux endroits éloignés où se déroulent les opérations minières.

Avec une demande accrue de machines interconnectées et un flux ouvert de données et d'informations critiques, les sociétés minières devront déterminer comment fournir une infrastructure de réseau à la fois suffisamment puissante pour traiter les données nécessaires et suffisamment portable et flexible pour être installée n'importe où. Des solutions telles que le edge computing et le cloud computing peuvent fournir une bonne solution pour réduire les coûts et les limites du stockage des données.

Les équipements miniers étant de plus en plus numérisés et interconnectés, les opérations minières présentent un risque accru de failles de cybersécurité. Dans le passé, les équipements autonomes étaient impossibles à pirater ou à perturber.

Aujourd'hui, davantage d'équipements sont conçus et déployés pour connecter et transmettre des données à des hubs centralisés à des fins de surveillance. Bien que cela apporte de

nombreux avantages, il existe également des risques que les exploitants miniers doivent prendre en compte et atténuer.

Les capacités réseau sont également un élément essentiel pour pouvoir automatiser entièrement ou semi-automatiser les opérations minières. Les opérateurs devront pouvoir se connecter à leurs équipements autonomes pour garantir leur bon fonctionnement et éviter toute interruption due à des problèmes de connectivité.

Cela nécessitera des réseaux sans fil puissants. Des entreprises telles que Nokia travaillent avec des exploitations minières pour construire des réseaux cellulaires Wi-Fi et 5G privatisés auxquels seuls les travailleurs de l'exploitation minière peuvent accéder.

À retenir - Les opérations minières doivent trouver un moyen d'équilibrer l'amélioration de leurs réseaux et de leurs plates-formes technologiques pour améliorer l'interconnectivité tout en fournissant un environnement sûr et sécurisé pour le traitement et le stockage des données.

## **2. Concentrez-vous sur la surveillance à distance et l'automatisation**

Les pressions de la pandémie de COVID-19 et l'augmentation du coût de la main-d'œuvre ont obligé les sociétés minières à réévaluer les ressources humaines nécessaires pour exploiter les mines et autres installations de traitement. Certaines des matières premières les plus durement touchées comme l'uranium, le nickel, le zinc et le cuivre ont obligé les sociétés minières à licencier des milliers de travailleurs.

D'autres qui ont eu la chance d'avoir des impacts moindres ont été poussés par les gouvernements à prendre des mesures pour minimiser la propagation du COVID-19. Les dirigeants se sont retrouvés à équilibrer la santé et le bien-être de leur main-d'œuvre tout en maintenant le flux de l'approvisionnement mondial en minéraux, en métaux précieux et en énergie.

La meilleure solution pour résoudre ces deux défis consiste à tirer parti de la technologie pour permettre une surveillance plus à distance des opérations minières et l'automatisation des équipements et véhicules critiques.

En raison de l'éloignement de nombreuses exploitations minières, la sécurisation des talents a toujours été un défi. Le coût élevé des déplacements et de la relocalisation des employés a toujours représenté une dépense logistique importante.

Alors que de plus en plus d'entreprises ont adopté le travail à distance par nécessité pendant la pandémie de COVID-19, celui-ci a apporté des avantages inattendus. Des ajouts technologiques simples tels que des caméras, des capteurs et des équipements automatisés aident les opérateurs à surveiller les opérations minières sans avoir une présence physique dans de nombreuses situations.

Certaines projections indiquent que cela devrait se poursuivre avec une majorité de la main-d'œuvre de l'industrie minière qui devrait travailler à distance d'ici 2035. La clé de cela sera la capacité d'une entreprise à collecter, traiter et analyser des données qui seront utiles pour travailleurs qui se trouvent dans des endroits du monde entier.

Ces technologies permettent désormais aux sociétés minières d'élargir leur recherche de talents disponibles à l'échelle mondiale, au lieu de se limiter à leur territoire d'exploitation normal. Cela donne aux sociétés minières la possibilité de trouver des travailleurs de haute qualité à moindre coût, les seuls facteurs limitants étant la langue et l'accès à Internet.

### **3. Mettre en œuvre des solutions simples et durables**

La mise en œuvre d'une transformation numérique à grande échelle peut avoir un coût élevé et nécessiter des changements majeurs dans les procédures opérationnelles et la culture d'entreprise. La bonne nouvelle est que la plupart des sociétés minières peuvent tirer des avantages majeurs de simples changements numériques.

Par exemple, les réseaux de capteurs qui évaluent et enregistrent les conditions de la mine, les performances des équipements et les taux de production sont relativement peu coûteux et peuvent fournir une multitude de points de données utiles.

Les employés se familiarisent également avec les appareils portables tels que les téléphones portables, qui peuvent facilement être équipés d'outils et d'applications leur permettant de

fournir et d'accéder à des informations précieuses sur la planification, les activités de maintenance et les défis du flux de travail.

Une fois les données collectées, les entreprises peuvent mieux décider comment exploiter ces informations pour prendre des décisions concernant leurs opérations. Cela peut ensuite être amélioré avec l'IA pour fournir des informations prédictives telles que des alertes de maintenance préventive ou des défis potentiels de la chaîne d'approvisionnement.

L'adaptabilité est un obstacle majeur car les technologies numériques doivent être personnalisables pour chaque site minier. Chaque site et installation peut être différent avec différents niveaux de compétences des travailleurs, la qualité du minerai, les procédés de fabrication et l'accès aux réseaux technologiques et aux technologies.

De nombreuses entreprises ont eu recours au déploiement de solutions numériques prêtes à l'emploi, mais celles-ci ont une capacité limitée à avoir un impact ou à tenir compte des variations de chaque opération. Selon une étude du BCG, seulement 25 % des opérations minières ont mis à profit des outils numériques personnalisables.

Point clé à retenir - Les opérations minières devraient se concentrer sur l'exploitation de solutions technologiques simples et durables plutôt que sur des plateformes technologiques complexes et universelles. Cela fournira la flexibilité nécessaire pour créer des solutions personnalisées pour chaque installation tout en maintenant les coûts technologiques à un faible niveau.

#### **4. Formation des employés et culture d'entreprise**

L'industrie minière remonte à des centaines d'années. De nombreux processus et équipements utilisés sont obsolètes et fournissent des solutions de faible technologie. Sans un accès généralisé aux dernières technologies, la main-d'œuvre de l'industrie minière est désavantagée.

Bien que le déploiement de la meilleure technologie puisse avoir ses avantages, les entreprises doivent réfléchir à la manière dont elles fourniront la formation et le support de gestion appropriés pour faire évoluer la culture de l'entreprise afin d'embrasser la transformation numérique.

Pour les organisations qui ne font que commencer leur parcours de transformation numérique, elles peuvent faire face à une certaine résistance de la part des travailleurs qui connaissent les processus de travail traditionnels et les efforts manuels.

Formation - Environ 21 % des dirigeants de l'industrie minière ont identifié qu'une utilisation accrue de la technologie avec leur main-d'œuvre est essentielle pour améliorer la productivité, la sécurité et les opérations minières. De nombreux employés de l'industrie minière sont des cols bleus et sont moins familiarisés avec la technologie.

Ce déficit de compétences a attiré l'attention des cadres qui cherchent à mettre en œuvre une stratégie numérique. La plupart des organisations du secteur commencent à peine à mettre en œuvre ces stratégies, 30 % n'ayant pas de plan de perfectionnement numérique et 45 % commençant tout juste à se concentrer sur des initiatives de formation.

Acquisition de talents - Les sociétés minières devraient continuer à concentrer leurs efforts sur l'attraction de talents axés sur la technologie. Étant donné que ce type de talent est difficile à trouver dans le bassin de ressources existant de l'industrie, les sociétés minières peuvent avoir besoin d'embaucher des personnes extérieures à l'industrie pour combler ce besoin.

Soutien exécutif - Une stratégie de transformation numérique ne peut être efficace que si les dirigeants au sommet de l'organisation soutiennent pleinement les initiatives. Les exécutifs ont le pouvoir d'approuver les budgets et de montrer le soutien public à la nouvelle direction.

Soutien à la direction - Bien que le leadership de la direction aide, les cadres intermédiaires joueront un rôle essentiel en aidant l'ensemble de la main-d'œuvre à adopter les nouvelles technologies.

La formation devrait être étendue aux niveaux de gestion pour s'assurer qu'ils sont éduqués sur la stratégie numérique, comment communiquer et appliquer la transformation numérique de l'entreprise et encourager l'utilisation.

Culture d'entreprise - Changer la culture d'une entreprise, en particulier dans une industrie qui n'est pas habituée aux changements rapides, peut être difficile. Les dirigeants doivent se concentrer sur la promotion d'un environnement axé sur la technologie. Exprimer les avantages

et l'objectif de la transformation numérique peut aider les employés à avoir une vue d'ensemble et les rendre plus susceptibles d'adopter la nouvelle culture d'entreprise.

Par exemple, montrez-leur comment la technologie améliorera leur sécurité dans les mines, les rendra plus productifs ou réduira les coûts pour l'entreprise. L'inspiration plutôt que le contrôle est un moyen plus efficace de motiver les employés à adopter la technologie.

Exécution de la stratégie numérique - Les outils et techniques utilisés pour exécuter la stratégie numérique sont tout aussi importants que la technologie elle-même. Les entreprises qui souhaitent tirer le meilleur parti de la transformation numérique doivent tirer parti des outils d'exécution de la stratégie pour planifier et suivre les initiatives numériques.

À retenir - Les dirigeants du secteur minier devront prendre des mesures importantes pour changer la culture de l'industrie et doter leur main-d'œuvre existante de la formation nécessaire pour déployer et adopter avec succès les outils numériques.

## **5. Développez-vous au-delà des opérations minières**

Étant donné que de nombreuses sociétés minières ne font que commencer leur transformation numérique, les efforts immédiats se concentrent sur le niveau opérationnel. C'est la bonne approche au départ car le plus d'avantages peuvent être obtenus ici.

Cependant, les responsables de la transformation numérique doivent réfléchir à la manière dont ils s'adresseront aux autres divisions ou départements au-delà des opérations minières. La création d'une feuille de route ou d'une stratégie numérique complète aidera à guider l'équipe à mesure qu'elle progresse dans la transformation numérique.

Environ 75 % des entreprises ont déclaré s'appuyer sur des processus manuels au sein de leurs services d'approvisionnement, ce qui en fait un excellent domaine sur lequel se concentrer après les opérations. Les autres domaines clés incluent la chaîne d'approvisionnement, la prévision de la demande et la planification financière. Dans l'ensemble, la technologie peut aider à améliorer les flux de travail et l'analyse des données pour une meilleure prise de décision.

Se concentrer sur plusieurs départements et groupes au sein de l'organisation peut également aider à réduire les limitations liées au cloisonnement de la technologie. L'objectif est de créer des systèmes et des plates-formes technologiques pouvant s'étendre à l'ensemble de l'organisation.

À retenir - La transformation numérique des opérations minières devrait être la priorité des entreprises. Cependant, les dirigeants ne doivent pas perdre de vue les avantages qui peuvent découler de la fourniture de technologies et d'outils numériques à d'autres parties de l'organisation.

### **Les risques de ne pas mettre en œuvre une stratégie numérique**

Les sociétés minières doivent agir rapidement pour mettre en œuvre des stratégies numériques afin d'éviter de prendre du retard sur l'industrie. Heureusement, les entreprises qui se lancent immédiatement peuvent rester en tête alors que l'industrie continue de progresser lentement vers l'avenir numérique. Une transformation numérique bien planifiée peut présenter de nombreux avantages et les coûts de ne pas adopter la technologie peuvent être élevés.

Conformité réglementaire - La technologie facilite grandement l'adaptation aux nouvelles réglementations. Un retard technologique pourrait entraîner des interruptions de fonctionnement en raison de pressions gouvernementales ou de non-conformité.

Coûts d'exploitation plus élevés - La mise en œuvre d'une stratégie de transformation numérique a un coût. Cependant, le fait de s'appuyer sur des processus et des équipements manuels continuera d'augmenter les coûts d'exploitation.

Adaptabilité - Les opérations et les processus miniers changent rapidement car les entreprises doivent être en mesure de s'adapter aux changements dans les processus opérationnels, aux augmentations ou diminutions importantes des taux de production et aux changements dans les habitudes d'achat des consommateurs. La technologie rend cela beaucoup plus facile et plus efficace.

Incapacité à répondre à la demande - La demande poursuivra probablement sa tendance à la hausse au cours des prochaines décennies. Les opérations minières qui n'innovent pas grâce à la technologie peuvent avoir du mal à faire face aux pénuries d'approvisionnement.

L'avenir des opérations minières continue d'être prometteur pour les entreprises qui adoptent la transformation numérique. L'industrie étant positionnée pour passer de 1 800 milliards de dollars à près de 2 500 milliards de dollars au cours des prochaines années, les entreprises qui saisiront l'opportunité d'optimiser leurs opérations avec des outils et des technologies numériques en tireront le meilleur parti.

## **Conclusion**

Les défis auxquels les entreprises du secteur minier ont été confrontées au cours des dernières décennies ont été dans le contexte des mutations économiques technologiques, sociales et structurelles qui ont été provoqués, dans une large mesure, par des innovations numériques perturbatrices dans tous les secteurs.

Réaliser une percée en matière de performances de productivité exige de repenser l'entreprise modèle qui rassemble une stratégie d'entreprise et des opérations dans un cadre qui place les valeurs d'orientation vers la durabilité, la responsabilité sociale et l'activité d'innovation au cœur du processus décisionnel. Le potentiel de réaliser une telle percée dans l'industrie pourrait être assurée grâce à des innovations numériques et technologiques capables de transformer les aspects clés de l'exploitation minière, renforcer la dimension technologique de la production et contribuer au développement de l'innovation pour des résultats durables et gains de productivité. Dans les réalités de l'Industrie 4.0, également connue sous le nom de Smart l'industrie ou la quatrième révolution industrielle, les activités axées sur l'innovation peuvent être considéré comme le seul moyen de survivre sur le marché concurrentiel. La situation causée par la pandémie de COVID-19 peut servir d'exemple qui montre clairement que des entreprises sont en mesure de poursuivre leurs activités grâce à l'innovation et aux technologies même dans des conditions économiques mondiales difficiles et exigeantes. Tout cela souligne la nécessité d'examiner les facteurs spécifiques à l'industrie qui influencent la performance de l'innovation dans le secteur minier dans une économie numérique et en réseau et souligne la pertinence de la application intégrée appropriée des technologies numériques modernes devenues disponibles pour les acteurs de l'industrie minière, ainsi que des outils et techniques

pertinents de gestion pour renforcer les capacités d'innovation des sociétés minières et renforcer leur compétitivité stratégique.

Bien qu'il y ait une large reconnaissance de l'importance de la transformation numérique avec concernant les industries extractives, les échéanciers, ainsi que les aspects organisationnels et managériaux les aspects d'une telle transformation ne sont pas encore suffisamment clairs et doivent être améliorés compris à tous les niveaux.

## **Bibliographie**

1. Productivité dans les opérations minières : Inverser la tendance à la baisse (Bulletin AusIMM. Australasian Institute of Mining et Métallurgie, 2016)
2. A. Lala, M. Moyo, S. Rehbach et H. Durrant-Whyte, R. Geraghty, F. Pujol et R. Sellschop. Comment l'innovation numérique peut améliorer la productivité minière (McKinsey & Company, 2015)
3. M. Kurkkio, J. Frishammar, P. Söderholm, T. Ejdemo. Cartographier l'exploitation minière nordique et de l'industrie métallurgique dans le but d'améliorer et de développer son innovation Capacité (Document présenté à Luleå tekniska universitet, 2014)
4. Exploitation minière intelligente. Offrir une valeur réelle (Deloitte Touche Tohmatsu Limited, 2018)
5. P. Khan, S.K. Johl et S.K. Johl. Stratégie d'entreprise et environnement, 1 (2021)
6. P. Mitchell, A. van Dinter, R. Stall. Les 10 principaux risques et opportunités d'affaires pour l'exploitation minière et métaux en 2021 (Ernst & Young Services (Pty) Limited, 2021)
7. L. Barnewold, B.G. Lottermoser. Journal international des sciences minières et Technologie, 30(6), 747 (2020)
8. Liao et al. Concept d'intégration informatique 30(6), 747 (2017)