

2020-MN-285182

1. TITRE DU PROGRAMME ET CONCOURS

Programme : Programme de recherche en partenariat sur le développement durable du secteur minier-II, 1er concours

2. TITRE VULGARISÉ

Indiquez le titre du projet de recherche (doit être rédigé en français).

Titre du projet

Optimisation des opérations minières en temps réel

3.1 MONTANT TOTAL DE L'OCTROI OBTENU

300000\$ + 81000\$ (Frais indirects de recherche)

3.2 MONTANT TOTAL DU PROJET (incluant l'octroi obtenu par le FRQNT et la contribution des partenaires)

348000\$ + 81000\$ (Frais indirects de recherche)

4. RÉSUMÉ VULGARISÉ (doit être rédigé en français. Maximum 1 page).

Veuillez résumer, de façon vulgarisée, votre projet de recherche : introduction, méthodologie, résultats, conclusion.

Les mines souterraines opèrent dans des environnements dynamiques comportant un degré d'incertitude beaucoup plus élevé que dans la plupart des autres secteurs industriels. Cet environnement occasionne fréquemment des événements imprévus qui perturbent l'horaire des activités et que les opérateurs doivent gérer aux meilleurs de leur connaissance. Jusqu'à présent, en raison de l'absence d'un système de communication efficace pour transmettre les données en temps réel, les opérateurs proposent des solutions sans avoir une vision globale du problème, sans connaître les impacts de ces décisions sur les prochains quarts de travail et souvent avec un délai important par rapport à la détection de l'événement. Avec la venue des nouvelles technologies de communication dans les mines souterraines, il sera maintenant possible de réagir en temps réel.

Le programme de recherche propose le développement d'outils proactifs et réactifs utilisant des méthodes analytiques telles que l'apprentissage automatique et l'optimisation pour améliorer la planification et la gestion des opérations minières souterraines. Plus précisément, le programme de recherche a permis de développer :

- [1] un modèle de conception d'une mine intelligente et une approche pour la **sélection de portefeuilles de projet 4.0 pour la transformation numérique d'une mine souterraine** existante;
- [2] un outil d'**optimisation proactif de la fabrication d'horaires de quarts de travail robustes** dans les mines qui intègre la variabilité et l'incertitude sur les données : temps d'opération et disponibilité des équipements;
- [3] un outil d'**optimisation réactif pour le suivi des horaires de quarts de travail en temps réel** qui permet de déterminer l'opportunité de réagir ou non à un événement et, si oui, de proposer la meilleure solution qui permettra de poursuivre les opérations de la meilleure façon tout en prenant en compte les développements et les opérations futurs de la mine ;
- [4] un outil de **simulation du transport du minerai** dans une mine souterraine;
- [5] un outil de **prédiction des temps de transport** des camions dans les opérations minières.

Pour le projet [1], une revue exhaustive de la littérature a permis de définir le concept de mine intelligente autant d'un point de vue scientifique qu'industriel. Pour les projets [2] et [3], la programmation par contraintes a été utilisée pour résoudre les problèmes de fabrication d'horaires de travail proactifs et réactifs. L'outil développé permet la création d'horaires de travail très robustes beaucoup moins sensibles à la variabilité des temps d'exécution des activités de minage. Le temps de résolution très rapide a permis d'intégrer cet outil dans la procédure réactive. Une approche multiagent a permis d'effectuer la gestion des opérations de transport du minerai en temps réel (projet [4]). Finalement, les bibliothèques de valorisation des données sur Python ont permis de caractériser les temps de transport des camions d'un point A à un point B dans des mines souterraines (projet [5]). Cet outil permet également de prédire quels seront les temps de transport des futurs segments de route du réseau. Ces modèles ont été développés et testés grâce à des données réelles de deux opérations minières.

Ce programme de recherche a permis jusqu'à présent la rédaction de six articles scientifiques, deux mémoires de maîtrise et deux thèses de doctorat.

5. SYNTHÈSE DES RÉSULTATS ET RETOMBÉES (doit être rédigé en français. Maximum ½ page).

1) Énoncer très brièvement les résultats attribuables directement aux travaux financés. 2) Décrire clairement, s'il y a lieu, toute(s) retombée(s) déjà observée(s) ou confirmée(s) qui découle des travaux, que ce soit sur le plan scientifique, économique, social, environnemental, politique, culturel, artistique ou technologique. 3) Préciser aussi, s'il y a lieu, les nouvelles pistes ou questions de recherche soulevées par les résultats.

Le projet [1] a permis de bien définir ce qu'est une mine intelligente autant du point de vue industriel que scientifique. Cette revue de la littérature exhaustive a permis de développer une approche pour la sélection de portefeuilles de projet 4.0 pour la transformation numérique d'une mine souterraine et pourra servir de guide aux minières lors de leur transformation numérique.

Les projets [2] et [3] sur la fabrication d'horaires de travail robustes ont permis de développer un premier modèle d'optimisation qui tient compte des aspects stochastiques des opérations minières. Les tests effectués en générant 100 scénarios où les durées des activités étaient générées aléatoirement selon une distribution de probabilité propre à chaque type d'activités ont permis de démontrer que les horaires fabriqués par ce modèle sont beaucoup plus robustes et réalistes comparativement aux modèles déterministes habituellement proposés dans la littérature. De plus les temps de résolution permettent de fabriquer des horaires pour les quarts de travail en moins de 2 minutes. Cette méthode de résolution qui permet d'obtenir rapidement des horaires robustes a été intégrée dans une approche réactive qui permet de réparer des horaires lorsque des délais excessifs surviennent ou encore lorsqu'un bris d'équipement occasionne des retards. Un projet de recherche effectué grâce à une autre subvention FRQNT a permis de développer un outil pour la fabrication des horaires pour les activités de maintenance des équipements miniers. Ce modèle a été intégré dans l'outil de planification robuste de la production ce qui permet le développement d'un outil de planification ayant une vision plus globale des opérations minières contrairement à la pratique actuelle où la planification de la production et de la maintenance sont traitées en silos. Des travaux se poursuivront sur le développement d'outils de planification en temps réel pour intégrer davantage d'éléments (les activités de service entre autres). De plus, les travaux sur l'estimation des temps de transport (projet [5]) seront intégrés au modèle. On souhaite également développer des modèles d'estimation des durées pour d'autres activités de minage, entre autres le forage, afin d'avoir des estimations plus précises des temps d'activités.

Ces projets de recherche seront intégrés dans la conception de jumeaux numériques.

6. ÉTUDIANTS ET ÉTUDIANTES, POSTDOCTORANTS ET POSTDOCTORANTES IMPLIQUÉ(E)S DANS LE PROJET

A) Indiquez le nombre d'étudiant(e)s et de stagiaires postdoctoraux / postdoctorales impliqué(e)s dans la réalisation du projet de recherche par cycle d'études.

Collège / Université	1 ^{er} cycle	Maîtrise	Doctorat	Postdoctorat
Polytechnique	0	3	3	0