

2020-MN-281267

1. TITRE DU PROGRAMME ET CONOURS

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).

Développement de critères hydrogéotechniques et opérationnels pour améliorer la stabilité à long terme des haldes de roches stériles et des ouvrages miniers mettant en valeur les stériles

3.1 MONTANT TOTAL DE L'OCTROI OBTENU

\$ 300 000

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

\$ 378 000

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

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

Le développement de l'industrie minière et l'épuisement des gisements de haute teneur engendrera des quantités de rejets miniers de plus en plus vastes. Ceci implique des surfaces affectées plus étendues, avec des impacts environnementaux potentiellement plus significatifs. Les rejets miniers comprennent les résidus produits au concentrateur et les roches stériles qui n'ont aucune valeur économique, mais qu'il faut extraire afin d'accéder aux zones minéralisées dans un gisement. Dans une mine, le volume des roches stériles peut atteindre de 2 à 3 fois celui du minerai. Elles sont déposées dans des haldes qui peuvent atteindre plusieurs dizaines, voire centaines de mètres de hauteur. Une alternative favorisant un développement minier durable et une économie circulaire consiste à valoriser une partie des roches stériles, en les utilisant pour la construction des ouvrages associés à la mine.

Les roches stériles ont une distribution des tailles des grains très étalée, contenant des particules allant des silts et sables fins jusqu'à des gros blocs de roche. En raison de la surdimensionnée, la caractérisation des propriétés géotechniques des roches stériles ne peut pas se faire suivant les méthodologies standards au laboratoire. Diverses techniques de mise à l'échelle réduite ont été développées pour ces matériaux granulaires grossiers, mais aucune n'a été validée de façon satisfaisante. Ainsi, pour analyser la stabilité physique des haldes et pour la conception des ouvrages géotechniques en roches stériles, les ingénieurs utilisent souvent des paramètres rapportés dans la littérature pour des enrochements divers, ce qui force à considérer des critères conservateurs et implique une grande incertitude sur les valeurs des paramètres.

L'objectif de ce projet a été de développer des critères géotechniques et opérationnels pour améliorer la stabilité à long terme des haldes de roches stériles et des ouvrages miniers mettant en valeur les stériles. Le projet s'inscrit dans la suite des projets précédemment développés au sein de l'Institut de Recherche en Mines et Environnement (IRME).

La méthodologie utilisée a eu des approches de caractérisation physique au laboratoire et sur le terrain, ainsi que des simulations numériques pour mieux comprendre les effets à différentes échelles. Des roches stériles de diverses lithologies ont été échantillonnées sur le site minier d'un des partenaires industriels du projet. Les propriétés mécaniques des matériaux ont été caractérisées au laboratoire de Polytechnique Montréal sur des échantillons granulaires préparés à diverses échelles : tailles caractéristiques de 100, 150 et 300 mm. Aussi, des tests sur des échantillons granulaires de 1200 mm de taille ont été testés in situ, afin d'évaluer le comportement mécanique à une échelle au-delà des possibilités du laboratoire. Ainsi, les résultats ont permis de faire une analyse des effets d'échelle. Les roches stériles ont été testées à un état lâche (non compacté), tel qu'elles se trouvent dans les ouvrages de stockage. En plus, des simulations numériques en éléments discrets ont permis de comprendre les limitations des méthodes de réduction d'échelle, en ce qui concerne la disparité des formes des particules de roche et leur granulométrie.

Les analyses des résultats de laboratoire, de terrain et numériques ont montré que la résistance au cisaillement critique des roches stériles mesurée sur des échantillons réduits ne présente pas d'effet d'échelle ni d'effet de la granulométrie, à condition que la distribution des formes des grains soit équivalente pour les différentes échelles de taille, et que la taille maximale des particules dans un échantillon soit plus petite qu'un 15^{ème} de la taille caractéristique de l'échantillon granulaire. Ces résultats avaient été rarement rapportés dans la littérature et ont permis de mettre en question des pratiques courantes en géotechnique en ce qui concerne les effets d'échelle. Aussi, les conclusions ont montré que les standards de laboratoire proposent des facteurs d'échelle qui ne seraient pas représentatifs et qui pourraient induire des effets d'échelle.

Les résultats sont présentement utilisés par le partenaire industriel du site minier échantillonné afin de caractériser leurs matériaux de déchet, et ensuite designer les ouvrages de stockage avec des données fiables.

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.

1) Résultats attribuables directement aux travaux financés.

Les résultats ont été diffusés dans 7 articles de revues scientifiques et 11 articles de conférences canadiennes et internationales. Le projet a permis de graduer un étudiant au doctorat et un étudiant à la maîtrise recherche, ainsi que de former un stagiaire postdoctoral. De plus, 2 autres étudiants au doctorat sont en cours de finaliser ses études, et devraient graduer en 2024.

2) Décrire clairement toute(s) retombée(s) déjà observée(s) ou confirmée(s) qui découle des travaux.

Le partenaire industriel où les roches stériles minières ont été échantillonnées et analysées au laboratoire et in situ utilise présentement les méthodes de mise à l'échelle proposées par le projet, afin d'analyser la stabilité du remblayage d'une fosse minière avec des roches stériles.

Des compagnies minières ont pris connaissance des avancées du projet grâce à des articles scientifiques publiées et à des présentations de conférence, et nous ont contacté afin d'évaluer la faisabilité d'appliquer les méthodes développées dans leurs opérations.

3) Pistes ou questions de recherche soulevées par les résultats.

- Étude de l'hétérogénéité dans les haldes à stériles à cause de la ségrégation et stratification lors du déversement :

L'hétérogénéité pourrait induire des zones de faiblesse de résistance mécanique, ou des voies de drainage préférentielles. Pourtant, il n'existe pas de méthode de caractérisation ni des études systématiques de ces phénomènes pour les haldes à stériles. La mémoire de maîtrise recherche développée dans ce projet a étudié ce phénomène et a proposé des méthodes expérimentales et numériques qui pourraient être étendues à plus grande échelle pour caractériser le problème réel.

- Mise en question des exigences des normes d'essai géotechnique pour les matériaux grossiers, tels que les roches stériles :

Les analyses des résultats du projet ont montré que la résistance au cisaillement critique des roches stériles ne présente pas d'effet d'échelle si la taille maximale des particules est plus petite que 1/15 de la taille caractéristique de l'échantillon granulaire. Cependant, les normes internationales ne sont pas d'accord sur ce rapport de taille. Par exemple, pour les tests triaxiaux les normes américaine (ASTM D7181-20) et japonaise (JGS 0530 22) recommandent 1/6 et 1/10, respectivement. En conséquence, les résultats suggèrent que les valeurs recommandées par les normes pourraient être trop faibles et devraient être revues après des tests approfondis et sur divers conditions et matériaux.

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
		2	3	1