



2020-MN-281678

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).

Nouvelles approches d'évaluation et de réduction des risques géotechniques pour les résidus miniers réactifs entreposés en surface

3.1 MONTANT TOTAL DE L'OCTROI OBTENU

313690

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

331690



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

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

Sur les 100 dernières années, le taux de rupture des parcs à résidus miniers est près de 100 fois plus élevé que celui des barrages hydrauliques avec environ 1.2% des ouvrages ayant rompu. Ainsi, depuis 1960, 333 ruptures de structures d'entreposage des résidus miniers ont eu lieu à travers le monde. Ce taux inacceptable pour des événements qui engendrent des désastres humains et environnementaux majeurs, découle d'un manque de compréhension des mécanismes de rupture de ces ouvrages, qui sont à risque durant l'opération de la mine, mais également après la fermeture. Les causes de rupture sont nombreuses, et l'une des principales implique un phénomène appelé la liquéfaction statique durant lequel les résidus perdent leur résistance et deviennent liquide. Ce phénomène mal compris est à l'origine de plusieurs désastres récents tels que le barrage de Fundão en 2015, et, en janvier 2019, la rupture du barrage de Feijão, qui a causé la mort de 256 personnes. La liquéfaction statique est difficile à prendre en compte lors de la conception car c'est aussi bien une cause de rupture en elle-même, que la conséquence d'autres contraintes sur le parc à résidus, et sa modélisation dans les logiciels de calcul est complexe. Ce projet de recherche se concentre sur l'amélioration de la compréhension des mécanismes de rupture et la création de modèles de comportement pour pouvoir modéliser les résidus miniers dans des simulations de manière à pouvoir modéliser la liquéfaction statique de manière précise.

Afin d'étudier les mécanismes de rupture des simulations numériques ont été utilisées afin d'approfondir les connaissances en ce qui a trait à la stabilité des parcs à résidus miniers et au phénomène de liquéfaction statique. Deux géométries ont été utilisées soit une géométrie générale d'un parc à résidus miniers et la géométrie de la section du Barrage de Fundão ayant cédé tel que présenté par le rapport d'experts. Les simulations numériques ont été effectuées dans RS2 de RocScience qui est un logiciel par éléments finis et avaient pour but d'identifier les mécanismes de rupture les plus probables et les conditions sous lesquelles ils se développent. Des analyses par la méthode d'équilibre limite dans Slide2 de RocScience ont également été effectuées afin d'évaluer la stabilité statique de l'ouvrage. Plusieurs mécanismes de déclenchement ont été simulés : le rehaussement de la digue, la perte de résistance de la fondation et celle de la digue, l'érosion et le déplacement de la digue.

Ces simulations ont montré que l'état des résidus miniers est un des paramètres les plus importants avec le niveau d'eau. Il est donc crucial d'effectuer des mesures régulières du niveau de l'eau dans le parc et de concevoir des solutions de drainage. Les simulations ont également montré que les mécanismes de rupture les plus fréquents étaient le rehaussement de la digue et la perte de résistance de la digue.

La deuxième partie du projet s'est concentré sur le développement de lois de comportement pouvant être utilisées lors de simulations numériques afin de modéliser le comportement des résidus miniers de manière fidèle. Les précédents modèles étaient limités dans leur capacité de simuler la liquéfaction statique de manière précise. Le nouveau modèle utilise un nouveau paramètre d'entrée permettant plus de flexibilité tout en retenant la simplicité des précédents modèles. Avec le nouveau modèle mis à leur disposition, les ingénieurs de la pratique seront à même de concevoir des parcs à résidus de manière plus sûre.

Globalement les résultats de ce projet de recherche permettent de mieux comprendre comment les ruptures des parcs à résidus peuvent se développer sous l'effet d'une liquéfaction statique, et fournissent des outils pour mieux modéliser la liquéfaction statique.

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 de recherche a déjà mené à plusieurs résultats qui devraient avoir des retombées utiles pour l'industrie minière. Ces résultats peuvent être classés dans deux catégories principales :

1) Amélioration de la compréhension des mécanismes de rupture des parcs à résidus

Un ensemble de simulations numériques a été réalisée afin d'étudier différents mécanismes de rupture de parcs à résidus miniers liés à la liquéfaction statique. Les mécanismes étudiés étaient : le rehaussement de la digue, la perte de résistance de la fondation et celle de la digue, l'érosion et le déplacement de la digue. Ces simulations ont mis en lumière que tous les mécanismes pouvaient induire une rupture lorsque les résidus sont lâches, et que plus le paramètre d'état attribué aux résidus miniers ou le niveau d'eau sont élevés, moins il faut de perturbation au modèle afin de provoquer la rupture, et que les mesures en continu du niveau d'eau dans le parc sont cruciales. Les simulations ont aussi montrées que les mécanismes de rupture les plus susceptibles de se produire sont la liquéfaction suivant le rehaussement de la digue ou la perte de résistance de la fondation. Pour ces deux mécanismes, la perturbation nécessaire pour induire une rupture complète était plus beaucoup plus petite que pour les autres mécanismes.

Ces informations permettent de mieux comprendre comment les ruptures des parcs à résidus peuvent se développer sous l'effet d'une liquéfaction statique. Ce travail pose les bases d'études futures pour développer des méthodes d'entreposage qui optimisent la stabilité du parc à résidus quant à la liquéfaction statique.

2) Développement de loi de comportement pour les résidus miniers.

Deux lois de comportement ont été développés afin de pouvoir simuler le comportement des résidus miniers de manière plus précise que les lois existantes en particulier à ce qui a trait à la liquéfaction statique. Ces lois de comportement sont facilement utilisables en pratique car elles ne contiennent que peu de paramètres d'entrée qui peuvent être calibrés facilement.

Ces lois de comportement ont été codés dans le logiciel de simulation numérique FLAC, largement utilisé par les ingénieurs de la pratique. Une fois que les dernières vérifications sur la stabilité des modèles seront terminées, les modèles seront distribués en accès libre afin que les ingénieurs puissent les utiliser pour la conception de nouveaux ouvrages. Un guide d'utilisation est en cours de rédaction afin de simplifier leur utilisation. Ces lois de comportement permettront de réaliser des simulations plus précises permettant de mieux limiter les risques associés à de tels ouvrages.

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 Montréal		2	2	