

2020-MN-286397

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).

Comportement hydrogéotechnique de parcs à résidus miniers filtrés en conditions nordiques

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)

518 000\$

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

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

L'industrie minière fait face à plusieurs défis hydrogéotechniques associés à l'entreposage des résidus miniers. Pour réduire les risques associés à la stabilité physique des ouvrages, on propose de plus en plus de réduire la quantité d'eau avant la déposition en filtrant les résidus. En parallèle, la tendance actuelle veut qu'un nombre croissant de projets miniers se développent dans les hautes latitudes du Canada et du Québec en particulier. Ainsi, il devient impératif de développer les connaissances reliées au comportement hydrogéotechnique des aires d'entreposage des résidus miniers filtrés situés en conditions nordiques.

L'objectif principal du projet visait à comprendre le comportement thermo-hydrogéotechnique du parc à résidus miniers filtrés de Mine Raglan. Afin d'atteindre l'objectif principal, ce projet a été divisé en 4 objectifs spécifiques (OS). L'OS1 visait d'abord à caractériser au laboratoire les propriétés physiques, hydrogéologiques, thermiques et mécaniques de résidus miniers filtrés gelés et non gelés. Ensuite, l'OS2 visait à quantifier l'ampleur et l'évolution dans le temps des déformations de l'aire d'entreposage en utilisant différents instruments et outils d'auscultation. Basé sur les résultats de suivi du comportement in situ et des propriétés déterminées au laboratoire obtenu, l'OS3 consistait à prédire à l'aide d'outils numériques le comportement thermohydromécanique de la structure d'entreposage. Finalement, l'OS4 propose des lignes directrices pour la conception de recouvrements miniers en conditions nordiques afin de prendre en compte des déformations à long terme dans le choix du mode de restauration. L'ensemble de ces OS ont été réalisés (ou sont en cours de réalisation) via trois projets étudiants, soit un stagiaire postdoctoral (PHQ Nujaim) et deux personnes au niveau du doctorat (PHQ Abbadi et PHQ Souza). PHQ Nujaim a d'abord rassemblé l'ensemble des données in situ disponibles auprès de la minière et des consultants impliqués en géotechnique. Cette phase de compilation a permis de définir les plages de variabilité des propriétés in situ à utiliser lors des phases plus avancées de caractérisation, et ainsi la représentativité des essais de caractérisation et de la modélisation par rapport aux conditions de terrain. PHQ Nujaim a ensuite développé un appareil de mesure du fluage des résidus miniers gelés à l'aide d'essais de fluage uniaxiaux à température contrôlée. PHQ Souza a ensuite utilisé cet appareil pour évaluer le comportement en fluage des résidus miniers filtrés gelés de la mine Raglan et évaluer les principaux paramètres d'influence. Les résultats montrent que le degré de saturation a un impact significatif sur la résistance au fluage – les résidus saturés montrent des résistances au fluage à court et long terme plus importantes que les résidus non saturés. Plusieurs essais de compression uniaxiale à température contrôlés ont aussi été réalisés sur des échantillons de résidus miniers gelés et à des degrés de saturation variables afin de déterminer leur résistance mécanique et contextualiser le comportement en fluage. PHQ Souza travaille à développer les lois de comportement de fluage des résidus filtrés gelés. Le suivi des instruments installés sur l'aire de stockage par PHQ Nujaim a permis de déterminer que le comportement thermique est près de l'équilibre, que l'ensemble de la pente SUD est assez stable, mais que les inclinomètres et monuments d'arpentage de la pente EST montrent des signes de mouvement légers. Certains mouvements de surface sont attribués aux cycles de gel-dégel saisonniers tandis qu'une légère déflexion vers le bas de la pente est observé à partir de la profondeur de dégel. Une analyse des causes de cette déflexion par rapport aux processus thermohydriques des régions froides est en cours. Une approche de suivi des déformations de la surface de l'aire de stockage par relevés satellitaires (InSAR) a aussi été utilisée. Pour ce faire, une méthodologie de traitement des données satellitaires spécifiquement adaptée aux conditions de pergélisol a dû être développée. Les résultats des analyses des données disponibles ont montré que, globalement, les déformations de la surface de l'aire de stockage sont très faibles (<5 mm/an). Finalement, PHQ a développé et optimisé un modèle thermique calibré aux données de terrain qui décrit l'évolution (simulation de la séquence de déposition) du comportement thermique de l'aire de stockage. Ces données serviront de base pour un couplage avec le comportement mécanique de l'ouvrage. L'avancement des travaux nous amène à recommander d'incorporer des analyses et un suivi de déformations dans les méthodologies de conception des recouvrements miniers.

Les travaux réalisés jusqu'à présent ont permis de statuer sur l'état des déformations à la surface de l'aire de stockage de Raglan ainsi que de développer des méthodes de télédétection (InSAR) et de laboratoire (fluage) originales. Les données de laboratoires représentent les premières données de fluage disponibles pour des résidus miniers filtrés gelés. Ultimement, les connaissances développées dans ce projet seront applicables à l'ensemble des sites miniers situés en conditions de pergélisol continu.

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.

Les principaux résultats obtenus jusqu'à présent sont :

- Une évaluation avec différentes approches de mesure (satellitaire, Lidar, monuments d'arpentages, inclinomètres) des mouvements de l'empilement de rejets filtrés Raglan.
- L'évaluation du comportement au fluage des résidus miniers Raglan et comparaison avec des modèles de comportement existants.
- Le développement d'un modèle thermique numérique qui permet de décrire l'évolution thermique de l'empilement de résidus miniers filtrés Raglan.

Les principales retombées du projet sont :

- Le développement d'un système de mesure au laboratoire du fluage des résidus miniers Raglan.
- Une meilleure compréhension du comportement en fluage de résidus miniers filtrés gelés.
- Le développement d'une approche multiméthode pour évaluer le mouvement d'un empilement de résidus miniers filtrés.
- Une confirmation qu'il n'y a pas de mouvements rapides de l'empilement qui seraient indicatifs d'un problème de stabilité mais plutôt des mouvements lents de l'ordre de <5 mm/an.

Pistes pour des projets futurs:

- Déterminer de façon plus précise la structure de l'empilement à l'aide d'outils non destructifs
- Évaluer les possibles mouvements causés par les futurs changements climatiques
- Mesurer les tassements de nouvelles sections du parc dès le départ (tout de suite après la mise en place) en utilisant les mêmes approches que celles utilisées dans le projet.

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	1