

Annexe 11

Installations de gestion des résidus miniers du projet Horne 5 - Analyse des modes de défaillance et de leurs effets

MÉMO TECHNIQUE

DATE : 10 janvier 2020 **Reference No.** GAL127-19125999-19007-MTF-Rev1

DESTINATAIRE : Hélène Cartier, Mayana Kissiova
Falco Resources Ltd.

CC : Dennis Becker

ÉMETTEUR : Marion Habersetzer, Yves Boulianne **COURRIEL :** mhabersetzer@golder.com

INSTALLATIONS DE GESTION DES RÉSIDUS MINIERS DU PROJET HORNE 5 – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE ET DE LEURS EFFETS

L'identification de divergences dans ce rapport, entre la version anglaise et française, devra être portée à l'attention de Golder Associés Ltée. Dans un tel cas, Golder fournira une clarification par écrit.

1.0 INTRODUCTION

Un atelier d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) a été organisé pour les installations de gestion des résidus miniers (IGRM) du projet Horne 5 de Falco Resources Ltd. (Falco). L'AMDE est une technique d'évaluation systématique des structures qui permet de repérer les vulnérabilités et les modes de défaillance, puis d'évaluer la probabilité et les conséquences d'une défaillance. Le présent document technique décrit le processus d'AMDE des IGRM du projet Horne 5 et en présente les conclusions.

2.0 RENSEIGNEMENTS CONTEXTUELS SUR L'INSTALLATION

Falco aménagera le nouveau site des IGRM du projet Horne 5 sur le site de l'ancien parc à résidus Norbec, en Abitibi. L'ancien parc Norbec se trouve dans une zone caractérisée par des collines basses et la présence de lacs.

La construction des IGRM du projet Horne 5 se fera en cinq phases, de 2023 à 2035, par-dessus les digues et résidus miniers existants de la mine Norbec. L'installation permettra de stocker séparément deux types de résidus : les résidus de concentré de pyrite (RCP) et les résidus de flottation de pyrite (RFP). Les IGRM seront divisées en trois cellules principales : cellule de RCP, cellule de RFP et bassin de polissage. Les IGRM se composeront des éléments suivants :

- Digues de confinement – remblai granulaire avec élément à faible perméabilité en amont, pentes de 2H:1V en amont et de 3H:1V en aval, et crête d'une largeur de 12 m
- Digue médiane – remblai granulaire avec élément à faible perméabilité dans l'axe central, pentes de 2H:1V en amont comme en aval et crête d'une largeur de 12 m

- Digue interne – digue perméable et filtrante construite avec du remblai granulaire; pentes de 2H:1V en amont comme en aval et crête d'une largeur de 6 m
- Base de la cellule RCP recouverte d'une membrane d'étanchéité afin de réduire l'exfiltration en-dessous.

Le processus d'émission de permis est en cours pour les activités d'extraction et de traitement prévues démarrées dans les prochaines années, qui devraient être maintenues sur 14,5 ans. Les IGRM sont conçues pour accueillir quelque 80 896 900 tonnes de résidus. Les eaux surnageantes seront acheminées par pompage vers l'usine de traitement des eaux Norbec à partir du bassin interne. Elles seront ensuite réutilisées à l'usine de traitement du minerai ou acheminées vers le bassin de polissage afin d'être rejetées dans l'environnement si leur qualité est jugée adéquate.

Les IGRM sont actuellement au stade d'étude de faisabilité. Une analyse de rupture de digue a été effectuée en 2018 (Golder, 2018) puis mise à jour en 2019 (Golder, 2019).

Les digues des IGRM sont associées à des conséquences « très importantes » selon l'échelle de l'Association canadienne des barrages (ACB, 2014). D'après son niveau de conséquences et sa phase d'exploitation, les IGRM doivent pouvoir résister à une charge sismique dont la période de récurrence est comprise entre 1:2 475 et 1:10 000 ans, pour une accélération maximale du sol de 0,0764 g, ainsi qu'à une crue nominale entrante qui correspond à des précipitations à récurrence de 1:2 000 ans combinées à une fonte de neige à 1:100 ans.

Le système de gestion de la sécurité des IGRM du projet Horne 5 comprendra un manuel d'exploitation, d'entretien et de surveillance, un plan d'intervention d'urgence ainsi qu'un plan d'anticipation des risques. Ces éléments restent à élaborer. Des instruments géotechniques seront installés à l'intérieur des digues. Un plan concernant ces instruments sera élaboré au stade de conception détaillée.

3.0 ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE ET DE LEURS EFFETS

L'atelier d'AMDE des IGRM du projet Horne 5 a eu lieu le 26 septembre 2019 dans les bureaux de Falco, à Montréal. Étaient présents les représentants suivants de Falco et de Golder Associés Ltée (Golder) :

- M. Dennis Becker (Golder – animateur de l'atelier et expert géotechnique)
- M. Alexandre Boutin (Golder – directeur de projet)
- M. Yves Boulianne (Golder – ingénieur de projet)
- M^{me} Marion Habersetzer (Golder – ingénieure de projets et secrétaire)
- M^{me} Hélène Cartier (Ressources Falco – vice-présidente, Environnement et développement durable)
- M. John-Paul McGrath (Ressources Falco – Directeur Ingénierie)
- M^{me} Mayana Kissiova (Redevances aurifères Osisko – Directrice - Gestion des résidus miniers et de l'eau)

3.1 Limites de l'étude

Le périmètre physique visé par l'AMDE correspond à la zone délimitée par le pied aval des digues périphériques. Il comprend le bassin de polissage ainsi que les fossés de collecte des eaux de surface situés à proximité. Les plans d'eau naturels et les autres infrastructures minières environnantes (comme les routes et les édifices) ne sont pas compris dans ce périmètre. L'AMDE tient compte de la configuration finale des IGRM et de ses digues périphériques (à un moment dans la phase 5), et non de la configuration prévue à la fermeture du site.

3.2 Identification des dangers et des modes de défaillance

Les modes de défaillance pertinents ont été identifiés à l'aide d'un tableau des défaillances globales et fonctionnelles, présenté à l'Annexe 1. Aux fins de l'AMDE, une « défaillance » est définie comme un déversement non contrôlé du contenu du bassin et des résidus. Le processus d'identification des modes de défaillance tenait compte de dangers externes (conditions météorologiques, conditions sismiques, environnement du réservoir) et internes (confinement des résidus, structures hydrauliques, conditions mécaniques ou électriques). Ces dangers ont été pris en compte pour déterminer les modes de défaillance liés au débordement de la digue, à une défaillance géotechnique de la digue ou de sa fondation (en raison d'une force insuffisante) et au rejet d'eaux d'exfiltration contaminées. Les dangers liés au vandalisme et au sabotage n'ont pas été étudiés dans le cadre de cette analyse.

Dans l'Annexe 1, les modes de défaillance applicables à l'IGRM du projet Horne 5 sont les cases blanches, tandis que les modes de défaillance non applicables sont les cases grises. Les principaux dangers externes sont liés aux conditions météorologiques et à l'environnement du réservoir. Le site se situe dans une zone à faible sismicité. Les principaux dangers internes ont trait au confinement des résidus. L'étude ne tient pas compte des équipements mécaniques ou électriques.

3.3 Analyse des modes de défaillance potentiels

Les modes de défaillance potentiels (MDP) pertinents indiqués à l'Annexe 1 ont été évalués. De plus, les facteurs favorables, c.-à-d. qui réduisent la probabilité du mode de défaillance, et les facteurs défavorables, qui augmentent cette probabilité, ont été recensés. Chacun des MDP a été catégorisé (de I à IV) en fonction de son importance, suivant les définitions du Tableau 1.

Tableau 1 : Définition des catégories des modes de défaillance potentiels

Catégorie	Définition
I MDP crédibles de la plus haute importance	La catégorie I regroupe les MDP considérés comme étant de la plus haute importance en raison du besoin de sensibilisation, de leur probabilité, de l'ampleur de leurs conséquences et de la probabilité de conséquences indésirables. Ces MDP sont associés à un risque physique évident, à une faille ou faiblesse fondamentale, ou à des conditions ou événements crédibles pouvant raisonnablement entraîner une défaillance.
II MDP crédibles pris en compte, mais de moindre importance	La catégorie II regroupe les MDP qui, bien que physiquement possibles, nécessitent une intervention moins urgente. On estime que ces MDP sont moins importants et moins probables que ceux de la catégorie I. Il peut s'agir de MDP non étayés par des preuves directes ou indirectes ni par des indications d'un problème potentiel; de MDP avec une charge critique moins probable que celle des MDP de catégorie I; ou encore de MDP aux conséquences moins graves que celles d'un MDP de catégorie I. Habituellement, les MDP de catégorie II nécessitent un programme de surveillance.
III MDP nécessitant une analyse ou des	La catégorie III regroupe les MDP qui n'ont pas pu être classés avec certitude en raison d'un manque d'information. Il est donc recommandé de procéder à une enquête ou à des analyses

renseignements approfondis aux fins de classement	supplémentaires.
IV MDP non retenus	Certains MDP ne sont pas retenus au terme de l'analyse, et ce, pour différentes raisons : ils sont physiquement impossibles; de nouvelles informations écartent les préoccupations à leur origine; ou leur probabilité est si faible qu'il est déraisonnable de les prendre en compte. Puisqu'il est évident que ces MDP sont hautement improbables, le risque de défaillance est négligeable, à tout le moins au cours de la période à l'étude.

Chacun des MDP a été catégorisé en fonction de sa probabilité, suivant les définitions du Tableau 2.

Tableau 2 : Catégories de probabilité

Catégorie		Description
TF	Très faible	Quasi impossible (moins de 1 % de risque que l'incident se produise au moins une fois par 100 années consécutives)
F	Faible	Occurrence peu probable (1 à 10 % de risque que l'incident se produise au moins une fois par 100 années consécutives)
M	Modérée	Occurrence possible (de 10 à 60 % de risque que l'incident se produise au moins une fois par 100 années consécutives)
É	Élevée	Occurrence probable ou documentée (de 60 à 99 % de risque que l'incident se produise au moins une fois par 100 années consécutives)
P	Prévu	Occurrence régulière (plus de 99 % de risque que l'incident se produise au moins une fois par 100 années consécutives)

Un niveau de confiance a été attribué à chaque MDP pour indiquer le degré de certitude à l'égard de la probabilité qu'une défaillance se produise. Les niveaux de confiance sont définis au Tableau 3.

Tableau 3 : Niveaux de confiance

Niveau de confiance		Description
F	Faible	Le niveau de confiance envers l'estimation est faible. Les données réelles pourraient varier de façon importante.
M	Modéré	L'estimation a été faite avec une certaine confiance. Les données réelles pourraient varier modérément ou être extrapolées avec une certaine confiance à partir d'autres données, notamment sur des structures similaires.
É	Élevé	Degré élevé de confiance et faible variation des données.

Chaque MDP a été catégorisé en fonction de l'impact qu'il causerait. Les niveaux d'impact sont définis au Tableau 4.

Tableau 4 : Impact de l'occurrence des MDP

Impact		Description
TF	Très faible	On estime que la dégradation entraînerait des pertes irréparables, quoique avec un faible écart par rapport à l'état nominal. Le cas échéant, les effets sur l'exploitation des installations sont mineurs.
F	Faible	Bien que les composants demeurent intacts, la dégradation entraîne des pertes irréparables considérables par rapport à l'état nominal. Les composants intacts nécessitent des réparations plus importantes. La durée de vie de ces composants laissés intacts pourrait être compromise. Les conséquences sur l'exploitation des installations sont mineures.
		Les composants restent relativement intacts, mais la dégradation nuit considérablement au fonctionnement de l'installation. Il peut même être nécessaire de procéder à une fermeture dans les deux mois suivants pour remplacer les composants affectés.
		Les dommages sont localisés et peuvent atteindre un niveau modéré. L'exploitation de l'installation est perturbée, mais pas nécessairement dans l'immédiat. Certains travaux de reconstruction des composants sont

	nécessaires, ce qui compromet la disponibilité de l'installation.
M Modéré	Les dommages à la sous-station peuvent atteindre un niveau majeur et nécessiter des réparations ou remplacements. Ces conséquences sont maîtrisables, mais peuvent causer un arrêt forcé immédiat de l'installation. D'importants travaux de reconstruction des composants sont nécessaires, ce qui compromet la disponibilité. Atteinte à la réputation ou à la crédibilité et surveillance réglementaire accrue.
É Élevé	La défaillance entraîne une importante libération d'énergie, une fermeture immédiate de l'installation ainsi que de graves dommages primaires et consécutifs engendrant des coûts de réparation et de remplacement. Certains de ces dommages pourraient être impossibles à contenir, ce qui pourrait poser des risques pour la sécurité du personnel se trouvant à proximité. D'importants travaux de reconstruction des composants sont requis, ce qui compromet la disponibilité. La défaillance entraîne une certaine perte de vie, des répercussions environnementales en aval, entre autres, et la destruction d'infrastructures essentielles appartenant à autrui. Atteinte importante à la réputation et à la crédibilité, couverture médiatique négative à l'échelle de la province ou du pays.
P Extrême	La défaillance entraîne une perte de vie à grande échelle, de nombreuses répercussions environnementales en aval, entre autres, et la destruction d'infrastructures essentielles appartenant à des tiers. Atteinte majeure à la réputation et à la crédibilité, couverture médiatique négative à l'échelle mondiale.

Un niveau de risque global a été attribué à chaque MDP en fonction de sa probabilité et du niveau d'impact qui lui a été attribué. Les trois niveaux de risque, soit acceptable, le plus bas raisonnablement faisable (NBRF) et intolérable, sont illustrés à la Figure 1.

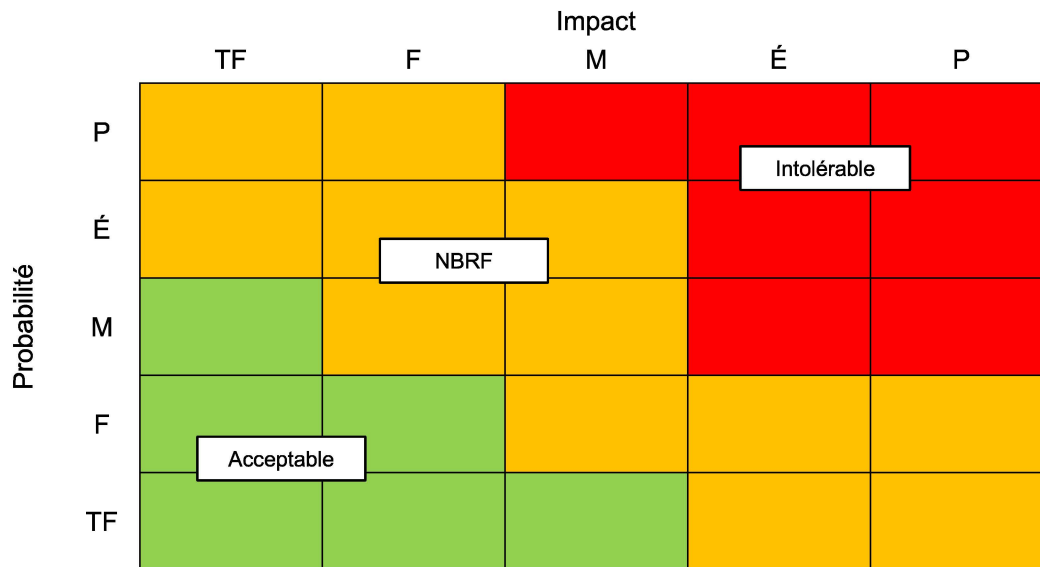


Figure 1 : Matrice des niveaux qualitatifs de risque global

Comme indiqué à l'Annexe 2, treize MDP ont été détectés et analysés. Pour chacun d'entre eux, les participants ont déterminé des mesures d'atténuation potentielles et formulé des recommandations en vue d'évaluations futures, comme requis. La mine devra donner suite à ces recommandations dans les meilleurs délais, particulièrement pour les MDP dont le niveau de risque est « intolérable ».

L'Annexe 2 présente un sommaire de l'AMDE. En voici les principales conclusions :

- Aucun MDP de catégorie I ou de catégorie III n'a été recensé.
- Huit MDP de catégorie II ont été recensés. Deux d'entre eux concernent un débordement de la digue attribuable à une capacité insuffisante de l'évacuateur de crue ou à une gestion inadéquate des débris ou blocages de l'évacuateur de crue. Deux des MDP ont trait au rejet d'eaux d'exfiltration contaminées dans l'environnement. Les quatre MDP restants sont liés à une défaillance géotechnique ou à une force inadéquate. Quatre MDP ont un niveau de risque acceptable, et quatre ont reçu le niveau NBRF.
- Quatre MDP de catégorie IV ont été recensés avec un niveau de risque NBRF.

4.0 CONCLUSION

Ce document technique a été préparé par Golder Associés Ltée en guise de sommaire de l'atelier sur l'AMDE de l'installation de gestion des résidus miniers du projet Horne 5. Nous espérons qu'il répondra à vos exigences actuelles.



Marion Habersetzer, ing., M.Sc.
Ingénieure en géotechnique

MH/YB/jlmc/cd



Yves Boulianne, ing.
Associé, Ingénieur senior en géotechnique

Annexes : Annexe 1 – Fiche de travail pour l'identification des dangers et des modes de défaillance
 Annexe 2 – Résumé de l'analyse des modes de défaillance potentiels

https://golderassociates.sharepoint.com/sites/111527/project/files/6/deliverables/gal127-19125999-19007-mt_analyse_risques_igrm/traduction/gal127-19125999-19007-mtf-rev1_igrm_analyse_de_risque.docx

RÉFÉRENCES

ABC (Association canadienne des barrages). 2014. *Bulletin technique : Application des recommandations de sécurité des barrages aux barrages miniers.*

Golder (Golder Associés Ltée). 2017. *Horne 5 Mine Project – Surface Tailings Management Facility Design Report.* Doc. GAL028-1774165-3100-4000-Rev0, novembre 2017.

Golder. 2018. *Analyse de bris de digues du parc à résidus au site Norbec – Projet Horne 5.* Doc. GAL097-1787678-2100-Rev0, juillet 2018.

Golder. 2019. *Analyse de bris de digue du parc du site de l'IGRM, Projet Horne 5.* Ressources Falco Ltée, Montréal, décembre 2019, 32 p. + annexes. N° de réf. : GAL097-1787678-2100-Rev1.

Annexes

Fiche de travail pour l'identification des dangers et des modes de défaillance

Modes de défaillance globale	Défaillance d'élément	Défaillance fonctionnelle	Dangers externes			Dangers internes (conception, construction, entretien, exploitation)			
			Météorologiques	Séismes	Environnement du réservoir	Confinement des résidus	Structures hydrauliques	Mécaniques/électriques	
Défaillances de la digue attribuables à un débordement (augmentation du niveau du réservoir)	Capacité d'évacuation inadéquate de l'ouvrage	Règles d'exploitation du réservoir inadéquates							
		Capacité de débit entrant supérieure à la somme de la capacité de retenue et du débit sortant							
	Capacité d'évacuation disponible inadéquate	Probabilité de défaillance fonctionnelle à la demande (interruption aléatoire du fonctionnement)							
		Capacité d'évacuation non maintenue							
	Revanche inadéquate	Dissipation des vagues dues au vent	Courte surface d'approche						
		Élévation excessive en raison d'un glissement de terrain	Collines basses						
Défaillance non détectée par les mesures de protection	Problème non détecté ni corrigé par les plans d'exploitation, d'entretien et de surveillance				compris dans un autre MDP	compris dans un autre MDP	compris dans un autre MDP		
Défaillances de la digue attribuables à une force insuffisante (effondrement de la digue)	Stabilité inadéquate pour les charges appliquées	Mouvement en masse (stabilité externe : déplacement, érosion, inclinaison, résistance sismique)							
		Soutien inadéquat (défaillance de la fondation ou de la culée)							
	Faible durabilité et résistance aux fissures inadéquates	Changement d'état instantané (liquéfaction statique, fracturation hydraulique, fissuration ou liquéfaction d'origine sismique)							
		Affaiblissement structurel (érosion interne, affaissement, perte de force graduelle)							
	Étanchéité inadéquate (exfiltration à travers la digue)	Défaillance des ouvrages de contrôle des eaux d'exfiltration à travers la digue (filtres, drains, pompes)							
		Exfiltration près des interfaces (culées, fondation, bandes d'étanchéité)							
Défaillance non détectée par les mesures de protection	Problème non détecté ni corrigé par les plans d'exploitation, d'entretien et de surveillance								
Déversement des eaux d'exfiltration contaminées	Déversement des eaux d'exfiltration contaminées (DRA)	Écoulement de contaminants à travers la digue ou la fondation							
	Défaillance non détectée par les mesures de protection	Problème non détecté ni corrigé par les plans d'exploitation, d'entretien et de surveillance							

Note: Les modes de défaillance applicables à l'IGRM du projet Horne 5 sont les cases blanches, tandis que les modes de défaillance non applicables sont les cases grises.

Résumé de l'analyse des modes de défaillance potentiels

Catégorie de défaillance	Description du mode de défaillance potentiel (MDP)	Zones de risques à maîtriser	Facteurs favorables	Facteurs défavorables	Délai d'avertissement (heures, jours, semaines)	Barrières/contrôles	Catégorie de MDP	Conséquences	Probabilité d'occurrence	Niveau de confiance	Niveau de risque	Recommandations et commentaires
Défaillances de la digue attribuables à un débordement (augmentation du niveau du réservoir)	Précipitations abondantes dépassant la crue nominale entrante et la capacité des évacuateurs de crues, ce qui entraîne un débordement et une érosion de la digue et, par le fait même, la défaillance de confinement et l'écoulement vers des éléments critiques.	Digues externes	Digue en enrochement, importante capacité de retenue de l'eau au sein de l'IGRM, évacuateurs de crues conçus pour des précipitations importantes (PMP), bassin versant de petite taille	Changements climatiques (fréquence ou intensité des événements)	De quelques heures à une journée	Surveillance des niveaux d'eau, recours à des instruments (station météorologique), plan de gestion de l'eau, plan d'anticipation des risques	II	É	TF	É	NBRF	Passer en revue et mettre à jour la conception en fonction des informations sur les changements climatiques, au besoin
	Gestion des débris inadéquate dans les évacuateurs de crue, ce qui entraîne un défaut de fonctionnement, un débordement et une érosion de la digue et, par le fait même, la défaillance de confinement et l'écoulement vers des éléments critiques.	Digues externes	Évacuateurs de crues conçus pour des précipitations importantes (PMP), digue en enrochement, bassin versant de petite taille pouvant capter des débris, importante capacité de retenue de l'eau au sein de l'IGRM	Changements climatiques (fréquence ou intensité des événements), talus boisés propices aux débris à proximité de l'IGRM	Quelques jours	Inspections, procédures et retrait des débris dans le plan d'exploitation, d'entretien et de surveillance; caméras de surveillance	II	É	TF	É	NBRF	Mettre en œuvre des procédures en matière d'exploitation, d'entretien et de surveillance; accroître la fréquence d'inspection et d'entretien au besoin; assurer l'enlèvement rapide des débris
	Mauvaise gestion des systèmes de pompage, ou défaillance mécanique ou électrique de l'équipement de pompage, ce qui entraîne une hausse des niveaux d'eau suivie d'un débordement de la digue, de la défaillance de confinement et d'un écoulement vers des éléments critiques.	Cellule de RCP, bassin de polissage	Évacuateurs de crues, importante capacité de retenue de l'eau au sein de l'installation de gestion des résidus miniers, bassin versant de petite taille (dans le cas de l'IGRM) ou inexistant (dans le cas du bassin versant)	IGRM éloignée	Quelques jours	Redondance de l'équipement de pompage, entretien adéquat et calibrage de l'équipement	IV	É	TF	É	NBRF	Installer des unités de pompage de rechange
	Hausse du niveau piézométrique à l'intérieur des digues causée par des précipitations abondantes, ce qui entraîne une réduction de la résistance au cisaillement du matériau de la digue et, conséquemment, une rupture géotechnique de la digue par cisaillement, la défaillance de confinement et un écoulement vers des éléments critiques.	Digues externes	Digue en enrochement (perméable et drainant), absence de connexion hydraulique entre les digues et la cellule (couche à faible perméabilité en amont), aucun bassin contigu aux digues externes, talus adéquatement plats	Aucun	Quelques jours	Collecte et pompage des eaux d'exfiltration, surveillance des niveaux d'eau	IV	É	TF	É	NBRF	Installer des instruments appropriés
	Hausse du niveau piézométrique à l'intérieur de l'IGRM causée par des précipitations abondantes, ce qui entraîne une réduction de la résistance au cisaillement de la fondation et, conséquemment, une rupture géotechnique des fondations de la digue par cisaillement et un écoulement vers des éléments critiques.	Digues externes	Aucune construction sur l'ancienne IGRM, talus adéquatement plats	Présence de fondation argileuse	Quelques semaines	Étude géotechnique détaillée, amélioration des sols, surveillance de la pression d'eau	II	É	F	É	NBRF	Mener des analyses détaillées et envisager l'amélioration des sols

Résumé de l'analyse des modes de défaillance potentiels

Catégorie de défaillance	Description du mode de défaillance potentiel (MDP)	Zones de risques à maîtriser	Facteurs favorables	Facteurs défavorables	Délai d'avertissement (heures, jours, semaines)	Barrières/contrôles	Catégorie de MDP	Conséquences	Probabilité d'occurrence	Niveau de confiance	Niveau de risque	Recommandations et commentaires
Défaillances de la digue attribuables à une force insuffisante (effondrement de la digue)	Exfiltration excessive à travers le talus en raison de précipitations ou d'une saturation des résidus avec défaut de la membrane d'étanchéité, ce qui cause une érosion interne du système de filtration (et possiblement de la canalisation), laquelle entraîne l'écoulement de résidus à travers la digue et une défaillance partielle de confinement (sans écoulement vers des éléments critiques).	Digues externes	Aucun bassin contigu aux digues externes, structure en enrochement, couches de transition, matériau de protection sur la membrane d'étanchéité	Risque d'erreurs humaines ou de construction, disponibilité limitée des matériaux compatibles	Quelques jours	Assurance ou contrôle de la qualité de la construction, inspections	II	M	TF	É	Acceptable	Mettre en place un programme de gestion de la qualité des membranes d'étanchéité et des filtres durant la construction
	Exfiltration excessive à travers le talus en raison de précipitations ou d'une saturation des résidus, ce qui cause une érosion interne de la fondation en sable (et possiblement de la canalisation), laquelle entraîne la défaillance de la digue, la liquéfaction des résidus et la défaillance de confinement, suivie d'un écoulement vers des éléments critiques.	Digues externes pour la cellule de RCP	Aucun bassin contigu aux digues externes, faibles pentes prévues, construction par étapes de l'IGRM	Variabilité des matériaux de fondation	Quelques jours	Assurance ou contrôle de la qualité de la construction, ce qui comprend la schématisation de la fondation, l'évaluation de la possibilité de cimenter, les inspections et la surveillance	II	M	TF	É	Acceptable	Effectuer une surveillance appropriée et gérer toute exfiltration lors des premières phases de construction
	Déformation du talus et de la fondation en raison d'un événement sismique, ce qui entraîne une réduction de la revanche, un débordement, la défaillance de confinement et un écoulement vers des éléments critiques.	Digues externes	Zone de faible sismicité, enrochement, aucune construction sur d'anciens résidus, revanche importante (1,5 m)	Présence de fondation argileuse	Quelques heures	Aucun	II	É	TF	É	NBRF	Confirmer que la déformation sismique attendue est faible, et recommander l'exécution d'une analyse des risques, d'une inspection et d'un entretien propres au site après un éventuel incident.
	Réduction de la force du talus et liquéfaction des résidus en raison d'un événement sismique, ce qui entraîne une défaillance du talus et du confinement et, par le fait même, un écoulement vers des éléments critiques.	Digues externes	Zone de faible sismicité, enrochement, aucune construction sur d'anciens résidus	Risque de liquéfaction des résidus	Quelques heures	Conception robuste	IV	É	TF	É	NBRF	Confirmer les analyses de liquéfaction, l'inspection et l'entretien après un éventuel incident
	Réduction de la force de la fondation et liquéfaction des résidus en raison d'un événement sismique, ce qui entraîne une rupture géotechnique de la fondation par cisaillement ainsi que la défaillance de confinement et, par le fait même, l'écoulement vers des éléments critiques.	Digues externes	Zone de faible sismicité, sols de fondation non liquéfiables	Variabilité des matériaux de fondation	Quelques heures	Conception robuste	IV	É	TF	É	NBRF	Caractériser les sols de fondation; confirmer l'analyse de liquéfaction, l'inspection et l'entretien après un éventuel incident

Résumé de l'analyse des modes de défaillance potentiels

Catégorie de défaillance	Description du mode de défaillance potentiel (MDP)	Zones de risques à maîtriser	Facteurs favorables	Facteurs défavorables	Délai d'avertissement (heures, jours, semaines)	Barrières/contrôles	Catégorie de IMDP	Conséquences	Probabilité d'occurrence	Niveau de confiance	Niveau de risque	Recommandations et commentaires
Déversement des eaux d'exfiltration contaminées	Débordement dans les structures de collecte des eaux en raison d'une obstruction, ce qui entraîne le déversement des eaux d'exfiltration contaminées provenant de l'IGRM dans les cours d'eau à proximité et la dégradation de la qualité de l'eau des eaux souterraines, des cours d'eau et des lacs.	Digues externes; fossés et puisards périphériques	Inspections usuelles, entretien, peu d'exfiltration prévue	Présence de faune (site non clôturé), végétation dense, climat froid (glace, neige)	Quelques jours	Inspections	II	TF	TF	É	Acceptable	La défaillance n'est pas d'origine physique; incident isolé.
	Infiltration dans la fondation en raison d'une défaillance de la membrane d'étanchéité, ce qui entraîne le déversement des eaux d'exfiltration contaminées provenant de l'IGRM dans les eaux souterraines et la contamination des eaux souterraines, des cours d'eau et des lacs.	Digues externes; fossés et puisards périphériques	Système de membrane d'étanchéité, surveillance de la qualité de l'eau, peu d'exfiltration prévue, fondation argileuse, faible perméabilité du substrat rocheux	Variabilité potentielle de la perméabilité de la fondation	Quelques mois	Schématisme de la fondation, assurance ou contrôle de la qualité de la construction, surveillance	II	F	F	M	Acceptable	La défaillance n'est pas d'origine physique