

Annexe 10

Bases et historique de conception des installations de gestion des résidus miniers



CONFIDENTIEL

RAPPORT

Bases et historique de conception des installations de gestion de résidus miniers

Projet Horne 5, Rouyn-Noranda, Québec

Soumettre à:

Ressources Falco Ltée

Hélène Cartier, ing. LL.B., ASC
Vice-présidente, Environnement
1100, avenue des Canadiens-de-Montréal, bureau 300
Montréal, Québec H3B 2S2

Proposé par:

WSP Canada Inc.

GAL154-19125999-20008-RF-Rev1

29 juillet 2024



Liste de distribution

Version électronique : Ressources Falco Ltée

Version électronique : WSP Canada Inc.

Historique des versions émises

Version	Date d'émission	Description	Changements par rapport à la version antérieure
A	16 mai 2020	Copie de travail émise pour révision. Adaptation française de l'étude de conception initiale de Golder (2017a) qui avait été rédigée en anglais.	
B	10 juin 2020	Version préliminaire intégrant les commentaires de Falco sur la RevA.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Comparaison des classifications des digues des IGRM qui ont été effectuées en 2017 et en 2019. ▪ Précisions apportées sur l'approche préconisée pour les analyses de stabilité, les conditions pouvant justifier la réalisation d'analyses de déformations, la stratégie de gestion des stériles et le système de drainage des cellules RCP et RFP.
0	22 juin 2021	Version finale intégrant les commentaires de Falco sur la RevB.	
1	29 juillet 2024	Version finale intégrant les commentaires de Falco sur la Rev0 et reflétant l'évolution de l'ingénierie du projet.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Restructuration du rapport. ▪ Présentation des critères de conception et de la conception des IGRM dans des sections distinctes. ▪ Documentation des changements aux éléments de conception.

Afin d'alléger le rapport, l'acronyme MELCCFP, en vigueur depuis octobre 2022 et qui désigne le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (du Québec), a été utilisé dans l'ensemble du rapport. Par le passé, ce ministère a toutefois été désigné par les appellations suivantes :

- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC, de 2018 à 2022).
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC, de 2014 à 2018).
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement de la Faune et des Parcs (MDDEFP, de 2012 à 2014).
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP, de 2005 à 2012).
- Ministère de l'Environnement (MENV, de 1998 à 2005).
- Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec (MEF, de 1994 à 1998).

Table des matières

1.0	INTRODUCTION	1
1.1	Mise en contexte	1
1.2	Installations et infrastructures prévues au site des IGRM	3
1.3	Historique des études réalisées	3
2.0	GUIDES DE RÉFÉRENCE	5
3.0	CONDITIONS DU SITE	5
3.1	Historique du site	5
3.2	Géologie régionale	6
3.3	Topographie	6
3.4	Climat	6
3.5	Hydrographie	7
3.6	Conditions géotechniques	7
3.7	Conditions hydrogéologiques	7
3.8	Unités stratigraphiques	8
3.9	Séismicité	9
4.0	STRATÉGIE DE GESTION DES RÉSIDUS, DES STÉRILES ET DES EAUX DE SURFACE	10
4.1	Répartition des résidus selon leur mode d'entreposage	11
4.2	Stratégie de disposition des stériles	12
5.0	CRITÈRES DE CONCEPTION DES IGRM	13
5.1	Caractérisation des résidus et des stériles	14
5.1.1	Propriétés géotechniques des résidus	14
5.1.2	Propriétés géotechniques des stériles	15
5.1.3	Caractérisation géochimique des résidus et des stériles	16
5.2	Critères de conception des digues	16
5.2.1	Classification des structures de confinement des IGRM	17
5.2.2	Analyse des mécanismes potentiels de défaillance de digue et de leurs effets - Critères de stabilité physique	21

5.2.2.1	Séisme de conception.....	21
5.2.2.2	Facteurs de sécurité concernant la stabilité des pentes.....	22
5.2.2.3	Approche à suivre pour la réalisation d'analyses de stabilité	24
5.2.3	Critères de conception des couches de transition	28
5.3	Gestion des eaux au site des IGRM	30
5.3.1	Prise en compte des changements climatiques	33
6.0	CONCEPTION DES IGRM.....	33
6.1	Planification de la déposition de résidus	33
6.2	Spécifications et quantités des matériaux de construction	34
6.3	Description des aires d'accumulation	35
6.4	Description des digues	37
6.5	Infrastructures de gestion des eaux.....	40
6.5.1	Dimensionnement des infrastructures de gestion des eaux du site des IGRM.....	40
7.0	CONCEPT DE FERMETURE DU SITE DES IGRM	44
7.1	Paramètres et hypothèses de conception pour la fermeture	44
7.2	Critères de conception des infrastructures de gestion des eaux pour la fermeture	46
7.3	Risques et opportunités liés à la fermeture.....	47
8.0	CONTINGENCES.....	47
8.1	Variations dans l'acheminement des résidus et l'épaississement des résidus.....	48
8.2	Production excédant le plan de minage actuel	49
8.3	Difficultés lors de l'entreposage souterrain des résidus (sous forme de remblai hydraulique dans les anciennes ouvertures minières)	49
8.4	Variation des propriétés des résidus.....	49
8.5	Difficultés d'approvisionnement des matériaux de construction	50
9.0	CONCLUSION	50
	RÉFÉRENCES	52

TABLEAUX

Tableau 1 : Taux de production moyen de l'UTM sur la durée de vie de la mine et quantité totale de résidus dont la production est prévue (Falco, 2021)	1
Tableau 2 : Taux de production et quantité totale de résidus dont la production est prévue, par flux (Falco, 2021)	2
Tableau 3 : Taux de production et quantité totale de résidus utilisés pour la conception des IGRM, par flux (Golder, 2017a)	2
Tableau 4 : Quantités de roches stériles à gérer en surface (Golder, 2017a)	3
Tableau 5 : Études relatives aux IGRM réalisées depuis l'étude de sélection de site initiale	4
Tableau 6 : Guides de référence pour la conception des infrastructures du site des IGRM	5
Tableau 7 : Valeurs d'accélération maximale du sol des mouvements sismiques	10
Tableau 8 : Estimation de la quantité de résidus dont la production est prévue, selon leur mode d'entreposage (Falco, 2021)	11
Tableau 9 : Estimation de la quantité de résidus utilisée pour la conception des IGRM, selon leur mode d'entreposage (Golder, 2017a)	12
Tableau 10 : Résultats des essais de densité relative sur les RCP et les RFP et calculs de volume	14
Tableau 11 : Quantité et volume de stériles à entreposer au site des IGRM (Golder, 2019a)	16
Tableau 12 : Comparaison des classifications du site des IGRM réalisées en 2017 et 2019	19
Tableau 13 : Paramètres du séisme de conception	21
Tableau 14 : FS minimaux pour la stabilité des pentes au cours des phases de construction, d'exploitation et de fermeture	23
Tableau 15 : Critères de conception des infrastructures de gestion des eaux de surface au site des IGRM	31
Tableau 16 : Estimation de la quantité de résidus et d'eau entreposés au site des IGRM par étape de déposition selon l'étude de conception initiale (Golder, 2017a)	34
Tableau 17 : Dimensionnement des déversoirs d'urgence du site des IGRM et de leur canal	42
Tableau 18 : Dimensionnement des fossés de collecte du site des IGRM	42
Tableau 19 : Dimensionnement des puisards de pompage du site des IGRM	43
Tableau 20 : Dimensionnement des dérivations du site des IGRM	44
Tableau 21 : Modifications des infrastructures de gestion des eaux prévues pour la fermeture du site des IGRM	46

FIGURES (dans le texte)

Figure 1 : Courbes de distribution granulométrique des RCP et des RFP.....	15
Figure 2 : Résultats de l'essai Proctor standard sur les RFP.....	15
Figure 3 : Approche conventionnelle pour les analyses de stabilité	25
Figure 4 : Approche conventionnelle pour les analyses de déformation sous chargement sismique.....	26

FIGURE (après le texte)

Figure A : Aires d'accumulation et infrastructures de gestion des eaux de surface à la fin de l'exploitation (étape 5 de déposition)

1.0 INTRODUCTION

WSP Canada Inc. (WSP), anciennement Golder Associés Ltée (Golder) lorsque le mandat a été octroyé, a été mandatée par Ressources Falco (Falco) afin de mettre à jour les bases et critères de conception des installations de gestion des résidus miniers (IGRM) présentés dans le rapport de conception des IGRM préparé par Golder en 2017 (Golder, 2017a). Cet exercice vise à :

- Mettre en relief les particularités de chacune des digues et des infrastructures de gestion des eaux;
- Remettre en perspective les stratégies d'opération du site et leur impact sur la conception des IGRM;
Documenter les changements apportés à la conception des IGRM depuis 2017;
- Établir les conditions d'analyses de stabilité géotechnique ainsi que les facteurs de sécurité ciblés pour chaque condition de chargement.

Il est à souligner que les critères de conception des IGRM sont sujets à modification dans le temps. Ce document sera itératif et modifié au besoin selon l'avancement du projet Horne 5 et l'évolution des normes de diligence en matière de conception et d'opération de parcs à résidus miniers.

1.1 Mise en contexte

Le projet Horne 5 propose l'aménagement du complexe minier Horne 5 (CMH5) dans la ville de Rouyn-Noranda. Celui-ci serait situé sur le site de l'ancienne mine Quemont, plus précisément dans le parc industriel Noranda-Nord, où sera installée la majorité des infrastructures minières, y compris la future mine souterraine. Il est prévu que des IGRM soient aménagées sur l'ancien site minier Norbec, à 11 km au nord-nord-ouest du CMH5, dans le quartier D'Alembert.

La future mine Horne 5 a une durée de vie estimée à environ 15 ans. Le tableau 1 présente les données sur lesquelles est basée la conception des IGRM. Le taux de production de l'usine de traitement du minerai (UTM) est le même que celui utilisé dans l'étude de conception initiale (Golder, 2017a). La quantité totale de résidus produits a été estimée sans déduire les tonnes de concentré de cuivre et de zinc dont la production est prévue et qui représentent 2,15 % de la production totale.

Tableau 1 : Taux de production moyen de l'UTM sur la durée de vie de la mine et quantité totale de résidus dont la production est prévue (Falco, 2021)

	Taux de production moyen de l'UTM et de résidus
Quotidien	15 500 tonnes
Annuel	5 657 500 tonnes
Total (sur 15 ans)	80 896 900 tonnes ^(a)

(a) Sans déduction des tonnes de concentré de cuivre et de zinc, qui représentent 2,15 % de la quantité totale.

Le traitement du minerai produira deux types de résidus : les résidus de flottation de pyrite (RFP) et les résidus de concentré de pyrite (RCP). Les proportions de RFP et de RCP ont été revues lors de la mise à jour de l'étude de faisabilité (Falco, 2021) et représenteront respectivement 57 % et 43 % de la quantité totale calculée, en déduisant les tonnes de concentré de cuivre et de zinc. La conception des IGRM est toutefois basée sur les données de l'étude précédente (Falco, 2017), où les flux représentaient respectivement 63 % et 37 % de la production totale de résidus, laquelle a été calculée sans déduire les tonnes de concentré de cuivre et de zinc qui représentaient 2,15 % de la quantité totale. Les deux flux auront été soumis à une lixiviation au cyanure pour la récupération de l'or, suivie d'un procédé de destruction du cyanure dans deux circuits distincts (Falco, 2017, 2021). Le tableau 2 présente les tonnages totaux de résidus pour chacun des flux dont la production est prévue par l'UTM (Falco, 2021) et le tableau 3 présente ceux utilisés pour la conception des IGRM (Golder, 2017a).

Tableau 2 : Taux de production et quantité totale de résidus dont la production est prévue, par flux (Falco, 2021)

	Unité	Taux de production moyen de l'UTM et quantité de résidus produits		
		RFP	RCP	Total
Annuellement	Tonne par an	3 146 900	2 389 000	5 535 900
Production totale de résidus ^(a) (sur 15 ans)	Million de tonnes	45,0	34,2	79,2
Pourcentage du total	%	57	43	100

(a) Excluant les tonnes de concentrés de cuivre et de zinc, estimées à 2,15 %.

RFP = résidus de flottation de pyrite; RCP = résidus de concentré de pyrite.

Tableau 3 : Taux de production et quantité totale de résidus utilisés pour la conception des IGRM, par flux (Golder, 2017a)

	Unité	Taux de production moyen de l'UTM et quantité de résidus		
		RFP	RCP	Total
Annuellement	Tonne par an	3 564 200	2 093 300	5 657 500
Production totale de résidus ^(a) (sur 15 ans)	Million de tonnes	50,9	29,9	80,9
Pourcentage du total	%	63	37	100

(a) Sans déduction des tonnes de concentré de cuivre et de zinc.

RFP = résidus de flottation de pyrite; RCP = résidus de concentré de pyrite.

Outre le minerai, il est estimé qu'environ 1,5 Mt de stériles seront hissées à la surface pendant la période de préproduction. La conception préliminaire des IGRM est toutefois basée sur une estimation préalable de 1,6 Mt, selon le calendrier présenté au tableau 4.

Tableau 4 : Quantités de roches stériles à gérer en surface (Golder, 2017a)

	Année -3	Année -2	Année -1	Total
Quantité (tonne)	489 100	920 900	221 400	1 631 400

Note : La période de préproduction du projet Horne 5 termine à l'année -1 et les activités d'exploitation du projet débutent à l'année 1.

1.2 Installations et infrastructures prévues au site des IGRM

La superficie totale projetée du site des IGRM est estimée à 240 ha. Les aires d'accumulation et infrastructures de gestion des eaux qui devraient y être aménagées sont énumérées ci-dessous et illustrées à la figure A, selon leur configuration, à la fin de la période d'exploitation du projet Horne 5. L'aménagement du site étant conceptuel et préliminaire, l'empreinte du site de même que les installations pourraient changer durant le développement du projet.

- Aires d'accumulation :
 - De résidus miniers. Une description des deux aires d'accumulation et de leurs digues de confinement est fournie aux sections 6.2 à 6.4;
 - De stériles miniers temporaires, stériles qui auront été enfouis sous les RFP pendant les activités minières. La stratégie de disposition des stériles est décrite dans un rapport de Golder (2019a). La section 4.2 en résume les grandes lignes et présente d'autres possibilités de disposition des stériles;
 - De mort terrain et de sol végétal décrit dans le plan de réaménagement et de restauration du site des IGRM (Golder, 2022a).
- Infrastructures de gestion des eaux, qui sont décrites brièvement à la section 6.5 et plus amplement dans le rapport du bilan d'eau (Golder, 2022b) :
 - Des systèmes de dérivation des eaux de surface;
 - Des systèmes de collecte des eaux de contact;
 - Des installations de pompage entre les infrastructures;
 - Une usine de traitement des eaux (UTE);
 - Un bassin de polissage;
 - Des infrastructures de rejet de l'effluent final.

1.3 Historique des études réalisées

Une étude de sélection de site pour l'entreposage en surface de résidus et l'aménagement des IGRM a été réalisée par Golder en 2017 (2017b), puis mise à jour en 2018 (Golder, 2018a). Cette étude a été menée conformément aux lignes directrices relatives à l'évaluation des solutions de rechange pour l'entreposage des déchets miniers publiées en 2011 par Environnement Canada, et aux principes généraux de la Directive 019 sur l'industrie minière (Directive 019, MELCCFP, 2012). Les détails de l'étude de sélection de site, y compris les résultats de l'analyse de sensibilité, sont présentés dans un rapport détaillé préparé par Golder (2018a).

Sur la base de cette étude, le site de l'ancienne mine Norbec a été retenu pour l'aménagement des IGRM. Le tableau 5 présente une liste des études réalisées depuis l'étude de sélection de site initiale (Golder, 2017b). Celles-ci traitent de la gestion des résidus, des stériles miniers et des eaux de surface au site des IGRM, des matériaux présents au site ou de ceux qui seraient utilisés pour la construction des digues.

Tableau 5 : Études relatives aux IGRM réalisées depuis l'étude de sélection de site initiale

Auteur (année)	Sujet	Numéro de référence
Golder (2017a)	Étude de conception initiale des IGRM	028-1774165-3100-4000-Rev0
Golder (2017c)	Analyse climatique	GAL001-1774165-TM-Rev0
Golder (2018a)	Mise à jour de l'étude de sélection de site pour l'entreposage en surface de résidus miniers et l'aménagement des IGRM	GAL031-1774165-3100-RF-Rev2
Golder (2018b)	Analyse de bris de digue initiale	GAL097-1787678-2100-Rev0
Golder (2019a)	Stratégie de disposition des stériles miniers hissés en surface et transportés au futur site des IGRM	GAL121-19125999-19002-Rev0
Golder (2019b)	Rapport factuel des travaux d'investigation géotechnique menés en 2018 et 2019 au site des IGRM	GAL120-19125999-19005-RF-Rev0
Golder (2019c)	Étude hydrogéologique et géochimique du site des IGRM	GAL117-19122243-Rev0
Golder (2019e)	Mise à jour de l'analyse de bris de digue	GAL097-1787678-2100-Rev1
Golder (2019f)	Étude des conséquences d'un hypothétique bris de digue sur la qualité des plans d'eau en aval des IGRM	GAL135-19122243-RF-Rev0
Golder (2019g)	Analyse des modes de défaillance des IGRM et de leurs effets	GAL127-19125999-19007-MTF-Rev0
Golder (2021a)	Étude de conception des digues RFP-1 et Interne ¹	GAL165-19125999-20008-2-MTF-Rev0
Golder (2021b)	Spécifications des matériaux granulaires qui constitueront les digues du site des IGRM et le système de drainage de la cellule RCP	GAL155-19125999-20008-MTF-Rev2
Golder (2021c)	Estimation des quantités de matériaux de construction des digues et du système basal de la cellule RCP du site des IGRM	GAL163-19125999-20008-MTF-Rev0
Golder (2022a)	Plan préliminaire de réaménagement et de restauration du site des IGRM	GAL111-19122243-3-RF-Rev0
Golder (2022b)	Rapport du bilan d'eau du projet Horne 5 tout au long du projet Horne 5, excluant la phase de fermeture passive	GAL113-19122243-RF-Rev2
Golder (2022c)	Classification des matériaux miniers selon les critères de la Directive 019 et du Guide de caractérisation des résidus miniers et du minerai du MELCCFP (2020)	GAL272-2148284001-21003-Rev0

¹ Bien que le document s'intitule « Mise à jour de la conception des digues RFP-1 et Interne », il s'agit plutôt d'une étude de conception qui intègre des données recueillies durant les travaux d'investigation géotechnique menés au site des IGRM en 2018 et 2019.

Golder (2022d)	Évaluation des contraintes liées à la conception des dérivations projetées au site des IGRM	GAL308-2148284007-22001-Rev2
WSP (2023a)	Investigation géotechnique au nord du site des IGRM	GAL292-2148284003-22001-RF-Rev0

2.0 GUIDES DE RÉFÉRENCE

Les bases et critères de conception des infrastructures du site des IGRM s'appuient sur les lignes directrices de deux guides de référence provinciaux. De plus, des informations présentées par l'Association canadienne des barrages (ACB) et Environnement Canada ont également été utilisées pour établir les critères de conception. Les directives de l'ACB spécifiques à l'industrie minière (2019) ont été appliquées puisque les digues du site des IGRM retiendront des résidus miniers potentiellement liquéfiables.

Le tableau 6 présente une brève description des guides de référence utilisés pour définir les lignes directrices de la conception des infrastructures.

Tableau 6 : Guides de référence pour la conception des infrastructures du site des IGRM

Guides de référence	Description
Directive 019 sur l'industrie minière (Directive 019), 2012, 3 ^e édition, du MELCCFP	Lignes directrices sur la classification, la gestion environnementale et géotechnique des déchets miniers au Québec.
Guide de préparation du plan de réaménagement et de restauration des sites miniers au Québec (Guide de restauration ci-après), 2017, 2 ^e édition, du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN)	Le document fournit des recommandations sur les exigences pour tous les aspects de la planification et de la mise en œuvre de la fermeture. L'annexe 1, intitulée <i>Stabilité géotechnique des aires d'accumulation</i> , est particulièrement utile pendant la phase de conception.
Application des recommandations de sécurité des barrages aux barrages miniers (bulletin technique ci-après), 2019, 2 ^e édition, en complément des Recommandations de sécurité des barrages, 2013, de l'ACB	Directives de sécurité des barrages miniers. Des recommandations pour les chargements sismiques, la stabilité des pentes et des fondations ainsi que les critères hydrologiques sont fournis.
Code de pratiques écologiques pour les mines de métaux, 2009, d'Environnement Canada.	Fournis notamment des recommandations sur les critères de conception des installations de drainage des eaux de surface.

3.0 CONDITIONS DU SITE

Cette section présente des renseignements relatifs aux conditions actuelles du site prévu pour l'aménagement des IGRM.

3.1 Historique du site

Les IGRM projetées empièteront sur une partie du site de l'ancienne mine Norbec et l'effluent final se situera près du site de l'ancienne mine Vauze. Les paragraphes ci-dessous décrivent brièvement les activités historiques qui ont eu lieu sur ces sites miniers. Une description sommaire des infrastructures minières existantes et de la configuration actuelle du site des IGRM est présentée dans le plan de restauration des IGRM (Golder, 2022a).

Site de l'ancienne mine Norbec

Le site de l'ancienne mine Norbec se trouve sur deux bassins versants communément appelés Duprat et Vauze. Ces bassins versants sont des affluents du lac Dufault via la rivière Duprat (bassin versant Duprat) et via le ruisseau Vauze (bassin versant Vauze).

La mine Norbec a été exploitée par la compagnie *Falconbridge Copper Corporation* à partir de 1964. On y trouvait alors une mine souterraine et une usine de traitement de minerai produisant du cuivre et du zinc. Les activités de la mine souterraine ont cessé en 1976. L'usine a traité du minerai d'autres mines jusqu'à sa fermeture définitive en 1995. Aucune activité minière n'a eu lieu sur le site depuis. Le propriétaire actuel du site est *First Quantum Minerals*. Des travaux de réhabilitation y ont été effectués entre 1996 et le début des années 2000 (Golder, 2000; Geocon, 2004).

Près de 10 Mt de résidus miniers provenant de la mine Norbec et d'autres mines sont entreposées sous forme de pulpe dans deux aires d'accumulation de résidus. Le site des IGRM empiètera sur l'une de ces aires d'accumulation et sur certains des bassins de gestion des eaux de l'ancien site minier.

Site de l'ancienne mine Vauze

Le site de l'ancienne mine Vauze est localisé à l'ouest du site des IGRM, dans le bassin versant de l'effluent final projeté, au lac Waite. Des activités d'exploration ont eu lieu au site en 1957 et ont mené à la découverte de zones minéralisées. Celles-ci ont été exploitées par la compagnie *Vauze Dufault Mines Ltd.* entre 1960 et 1965. Au total, 385 000 tonnes de minerai de cuivre, de zinc, d'argent et d'or ont été extraites. L'ancien site minier Vauze et son parc à résidus n'ont pas fait l'objet de travaux de restauration. Il est inscrit à l'inventaire du passif environnemental de sites miniers du MERN (2021).

3.2 Géologie régionale

Le site des IGRM est associé à un gisement de sulfures massifs encaissés dans une rhyolite et des unités mafiques (basalte et andésite). Le cisaillement d'Alembert, à l'est des IGRM projetées, est un élément structural dominant qui divise le site en différents domaines géologiques. Plusieurs affleurements rocheux ont été répertoriés à l'intérieur et au pourtour du site.

3.3 Topographie

La topographie générale du site des IGRM se présente comme une plaine légèrement ondulée dans sa partie nord et sud. Le relief est plus accidenté dans sa partie centrale, où le sommet Duprat atteint une élévation d'environ 460 m. Le site des IGRM est formé de buttes, de basses collines et de plusieurs affleurements rocheux d'élévation et d'étendues variables. Il est bordé par des boisés de feuillus entrecoupés de milieux humides et de plusieurs plans d'eau dont la nature est souvent liée aux activités des anciennes mines Norbec et Vauze.

Les bassins de gestion des eaux de l'ancien site minier Norbec ont une élévation d'environ 320 m. L'effluent du bassin de polissage existant est le point le plus bas du site des IGRM, avec une élévation d'environ 312 m.

3.4 Climat

Le climat dans la région de Rouyn-Noranda est considéré comme froid puisque la température y demeure en moyenne sous le point de congélation, de novembre à mars. Le climat est humide et caractérisé par des précipitations régulières tout au long de l'année. Les précipitations de pluie, de neige et de grêle totalisent en moyenne 865 mm annuellement (Golder, 2017c).

3.5 Hydrographie

Le secteur d'implantation des IGRM est une zone majoritairement boisée, avec de nombreux lacs situés en tête de bassin versant. Le réseau hydrographique du secteur se draine en partie vers le lac Dufault (écoulement vers l'est via le lac et le ruisseau Vauze) et en partie vers le lac Duprat (écoulement vers le sud-est à partir du lac Waite, dont l'exutoire s'écoule par le ruisseau Waite vers le lac Duprat). L'ensemble de ces cours d'eau se jette, à terme, dans le bassin versant du lac Dufault. La délimitation des bassins versants est indiquée dans le rapport du bilan d'eau (Golder, 2022b).

3.6 Conditions géotechniques

La région du site des IGRM est située dans les limites de l'ancien lac glaciaire Barlow-Ojibway, où les dépressions topographiques sont remplies de sédiments fins glaciolacustres et les collines, couvertes de sédiments plus grossiers. Comme présenté à la section 3.8, des remblais issus d'activités minières antérieures recouvrent le terrain naturel dans certains secteurs. Les sols naturels sont généralement constitués de matériaux organiques surmontant des sols cohérents, suivis d'une couche de till recouvrant le socle rocheux.

La stratigraphie du site des IGRM est détaillée dans un rapport factuel sur l'investigation menée au site à l'automne 2018 et au printemps 2019 (Golder, 2019b). Le rapport factuel de WSP (2023), qui décrit les travaux d'investigation entrepris en mars 2022 au nord du site des IGRM, fournit des informations additionnelles sur la stratigraphie du nord du site. Lors de ces investigations, des épaisseurs de sols cohérents allant jusqu'à 11 m ont été interceptées dans la vallée du ruisseau Vauze, et allant jusqu'à 16 m dans le secteur de la digue interne.

Les propriétés géotechniques des sols dans certains secteurs du site des IGRM ont été interprétées d'après les données géotechniques recueillies lors des campagnes d'investigation de 2018-2019 et 2022 et sont présentées dans les documents énumérés ci-dessous :

- Rapport sur la stratégie de disposition des stériles (Golder, 2019a).
- Étude de conception des digues RFP-1 et Interne (Golder, 2021a).

3.7 Conditions hydrogéologiques

Les conditions hydrogéologiques du site des IGRM ont été définies dans une étude hydrogéologique (Golder, 2019c) s'appuyant sur des données recueillies lors d'investigations antérieures (Golder, 1983, 1998, 2000) et lors des travaux d'investigation menés au site en 2018 et en 2019 (Golder, 2019b,d). Cette dernière investigation a permis l'aménagement de 15 puits d'observation sur le site des IGRM, dans les résidus des deux parcs à résidus existants du site minier Norbec, ainsi que dans les dépôts meubles et dans le roc superficiel. Avant cette campagne, le site comptait quelques puits d'observation installés avant 1995.

La piézométrie de la portion supérieure du roc et les directions d'écoulement à l'échelle du site ont été définies à partir des mesures des niveaux d'eau réalisées en juin 2019, du niveau d'eau des bassins et de la topographie du secteur des IGRM. Les niveaux d'eau souterraine dans le roc mesurés en 2019 sont généralement près de la surface avec des profondeurs comprises entre 0,54 m et 5,10 m. Globalement, les directions d'écoulement de l'eau souterraine dans l'empreinte des IGRM sont contrôlées par la topographie du site et se font en direction du ruisseau Vauze, qui est le cours d'eau dont l'élévation est la plus basse dans le secteur. Une ligne de partage des eaux inférée serait aussi présente à l'ouest du site, à proximité du lac Waite, dans le secteur Vauze.

3.8 Unités stratigraphiques

Les sols rencontrés au site des IGRM lors des investigations récentes et antérieures (Golder, 1983, 1998, 2000, 2019b,d; WSP, 2023) sont les suivants :

- Un remblai de stériles miniers générateurs d'acide, composé de gravier et de sable, parfois mélangé à des résidus miniers oxydés, est présent au-dessus du parc à résidus n° 2 du site de l'ancienne mine Norbec. Ce remblai n'a cependant pas été échantillonné et sa nature devra être confirmée lors d'une investigation ultérieure;
- Des résidus miniers, principalement composés de silt, dans les secteurs des parcs à résidus n°s 1 et 2. Cette unité a été rencontrée sur une épaisseur qui varie entre 8,35 m et 22,10 m. La couche de résidus miniers repose sur les sols naturels. Leur compacité est généralement très lâche et leur teneur en eau est comprise entre 14,8 % et 30,2 %, avec une moyenne de 21,8 %. Quatre résultats d'essais de conductivité hydraulique sont disponibles pour cette unité. La moyenne géométrique de ces essais est de 4×10^{-7} m/s. Les valeurs minimale et maximale sont respectivement de 2×10^{-8} m/s et de 6×10^{-6} m/s;
- Des sols organiques, contenant des débris de bois et de racines, dans tous les secteurs investigués, mis à part celui du bassin de polissage existant. Il est à noter que ces sols se retrouvent également sous les résidus dans les secteurs des parcs à résidus n°s 1 et 2 existants;
- Des sols cohérents et un dépôt de silt et sable, analysés simultanément d'un point de vue hydrogéologique. La moyenne géométrique des données de conductivité hydraulique disponibles pour ces unités est de 6×10^{-9} m/s. Les valeurs minimale et maximale sont respectivement de 5×10^{-1} m/s et de 5×10^8 m/s. Leurs caractéristiques géotechniques ont été décrites séparément et sont présentées ci-dessous :
 - Des sols cohérents composés de matériaux classifiés comme étant une argile silteuse à argile dans tous les secteurs, à l'exception du bassin de polissage existant. Leur épaisseur varie entre 0,19 m et 16,51 m. Ils sont d'une consistance allant de très molle à raide, ont une limite de liquidité variant de 27,0 % à 63,0 %, une limite de plasticité comprise entre 15,7 % et 26,0 % et un indice de plasticité compris entre 9,0 % et 38,0 %;
 - Un horizon de silt et sable présent dans tous les secteurs, inféré sur la base d'une interprétation préliminaire d'essais de pénétration au piézocône et d'observations effectuées en 2023 (WSP, 2023). Cette couche varie entre 0,17 m et 3,40 m d'épaisseur. Les essais de pénétration standard réalisés au sein de cette couche en 2022 indiquent qu'au nord du site des IGRM, le silt et sable est généralement très lâche à lâche. Leur teneur en eau est comprise entre 21,5 % et 33,2 %.

- Un till d'origine glaciaire, composé d'un mélange de silt, de sable, de gravier et de blocs en proportions variables, intercepté dans tous les secteurs. Cette couche repose directement sur le socle rocheux et est d'une compacité allant de compacte à très dense. Le sommet de la couche de till a été rencontré à une élévation variant de 303,38 m à 333,03 m et sur une épaisseur variant de 0,92 m à 6,94 m. Cette couche repose directement sur le socle rocheux. Deux essais de conductivité hydraulique ont été effectués dans des puits d'observation installés dans le till. Les valeurs de conductivité hydraulique obtenues sont de 1×10^{-6} m/s et de 2×10^{-5} m/s. La moyenne géométrique de ces deux valeurs est de 4×10^{-6} m/s;
- Le socle rocheux a été rencontré à l'emplacement de chaque forage, soit directement en surface, sous une mince couche de sols organiques, soit sous les sols cohérents ou le till. Plusieurs affleurements ont également été répertoriés à l'intérieur et au pourtour du site des IGRM. De manière générale, le roc échantillonné est de qualité très mauvaise à bonne, en surface et devient d'excellente qualité, en profondeur. Il est soit légèrement altéré avec quelques fractures, soit sans aucun signe visible d'altération. Les lithologies observées sont de l'andésite, du basalte et du gabbro fracturés. Sept résultats d'essais de conductivité hydraulique sont disponibles pour le roc. La moyenne géométrique de ces essais est de 1×10^{-7} m/s. Les valeurs minimale et maximale sont de 1×10^{-8} m/s et de 4×10^{-6} m/s respectivement.

3.9 Séismicité

Le site des IGRM est situé dans une région continentale qui est stable sur le plan tectonique et caractérisée par une activité sismique relativement faible (Séismes Canada, 2021a, site internet). Les paramètres sismiques présentés dans ce document sont obtenus à partir des données de désagrégation de l'aléa sismique fournies par la Commission géologique du Canada (la Commission, 2019, courriel) et ont été calculés pour l'édition 2015 du Code national du bâtiment du Canada (CNB2015, Conseil national de recherches Canada [CNRC], 2015). Les calculs d'aléa du CNB2015 sont dérivés du modèle probabiliste d'aléa sismique national de cinquième génération.

Il convient de noter que le CNB2015 est entré en vigueur après l'étude de conception initiale (Golder, 2017a), qui elle reposait sur la version 2010 du Code national du bâtiment. En revanche, la conception de l'empilement de stériles (Golder, 2019a) et l'étude de conception des digues RFP-1 et Interne (Golder, 2021a) font usage des calculs d'aléa du CNB2015. Le tableau 7 présente les estimations de l'accélération maximale du sol (AMS) pour le site des IGRM, qui ont été fournies par la Commission (2019, courriel). Les périodes de retour sélectionnées pour la conception des IGRM sont discutées à la section 5.2.2.1.

Il est à souligner que ni la Commission ni la calculatrice d'aléa sismique de Séismes Canada ne fournissent des valeurs d'aléas sismiques pour les périodes de retour plus longues que 1 dans 2 475 ans (1:2475 ans), celles-ci dépassant le cadre du CNB2015. En revanche, Séismes Canada (2021b, site internet) propose une méthodologie simplifiée décrite à la section 5.2.2.1 pour obtenir les valeurs d'aléas sismiques de faible probabilité. Il est attendu que les valeurs d'AMS utilisées pour la conception des IGRM subissent des changements suivant l'adoption de l'édition 2020 du Code national du bâtiment et au fur et à mesure que les modèles d'aléa sismique continueront d'être perfectionnés.

Tableau 7 : Valeurs d'accélération maximale du sol des mouvements sismiques

Récurrence des mouvements sismiques (années)	AMS ^(a) (g)
100	0,010
475	0,030
1 000	0,046
2 475	0,074
10 000	0,093 ^(b)

(a) Valeurs fournies pour un site de classe C d'après l'édition 2015 du Code national du bâtiment du Canada.

(b) Valeur extrapolée à partir des AMS correspondant aux périodes de retour de 1:475 et de 1:2 475 ans.

AMS = accélération maximale du sol; $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

4.0 STRATÉGIE DE GESTION DES RÉSIDUS, DES STÉRILES ET DES EAUX DE SURFACE

La stratégie de gestion des résidus et des stériles a été élaborée en tenant compte notamment des contraintes et des possibilités suivantes :

- Le projet Horne 5 se situe dans l'aire urbaine de la ville de Rouyn-Noranda, offrant très peu d'espace pour l'aménagement d'aires d'entreposage. La majeure partie de la topographie favorable pour la gestion des résidus a déjà été utilisée par d'autres sociétés minières ou est altérée par d'anciennes exploitations;
- Toute installation de gestion des résidus miniers située dans les limites de la ville aura un impact visuel ou affectera la qualité de vie des quartiers voisins;
- Les anciennes mines à proximité présentent des ouvertures souterraines qui pourraient être utilisées pour l'entreposage de résidus;
- L'exploitation de la future mine Horne 5 nécessitera l'utilisation de remblai minier, dans lequel des résidus pourraient être valorisés.

Compte tenu de ces conditions, plusieurs possibilités ont été envisagées et étudiées. La stratégie suivante a été identifiée comme la meilleure :

- Le remblai minier (remblai en pâte) nécessaire pour l'exploitation minière est une opportunité de valorisation très importante qui doit être utilisée autant que possible, en donnant la priorité à l'utilisation des RCP dans la mesure du possible, car ces résidus sont plus réactifs.

- Le remblayage dans les ouvertures souterraines (remblai hydraulique) est une opportunité à utiliser autant que possible pour plusieurs raisons, notamment :
 - Il réduit l'empreinte des aires d'entreposage en surface et ainsi, minimise l'occupation de milieux naturels (zones boisées, milieux humides, etc.) et limite l'impact visuel de ces aménagements;
 - Il assure un meilleur contrôle des risques associés à la stabilité chimique des résidus et à leurs impacts sur la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines, particulièrement lorsque les résidus sont potentiellement générateurs d'acide. Les résidus accumulés sous terre seront envoyés, ce qui est une méthode reconnue de gestion de cette problématique;
 - Il diminue les risques associés à la stabilité physique et les conséquences potentielles d'évènements catastrophiques. Il diminue également les besoins en surveillance et en entretien des ouvrages de rétention des différentes aires d'accumulation en surface;
 - Il réduit le besoin en matériaux requis pour l'aménagement et la restauration des aires d'accumulation en surface et ainsi, l'exploitation de bancs d'emprunt dans des milieux naturels;
 - Il facilite la restauration du site minier à la fin des activités d'exploitation;
 - Il retarde l'entreposage en surface.

4.1 Répartition des résidus selon leur mode d'entreposage

Compte tenu de cette orientation stratégique et sur la base d'études sur les besoins en remblai en pâte et sur la capacité d'entreposage des ouvertures souterraines (Golder, 2017d), les tonnages de résidus selon les différents modes d'entreposage ont été estimés. Le tableau 8 présente la répartition moyenne des résidus dont la production est prévue, selon leur mode d'entreposage sur la durée de vie de la mine. Le tableau 9 présente la répartition utilisée pour la conception des IGRM (Golder, 2017a).

Tableau 8 : Estimation de la quantité de résidus dont la production est prévue, selon leur mode d'entreposage (Falco, 2021)

Type de résidus	Quantité totale ^(a) (Mt)	Entreposage souterrain		Entreposage en surface (site des IGRM) (Mt)
		Remblai hydraulique (Mt)	Remblai en pâte (Mt)	
RFP	44,997	4,725	17,929	22,343
RCP	34,161	1,994	17,929	14,238
Total	79,158	6,719	35,858	36,581

(a) Excluant les tonnes de concentrés de cuivre et de zinc, estimées à 2,15 %.

Mt = millions de tonnes.

Tableau 9 : Estimation de la quantité de résidus utilisée pour la conception des IGRM, selon leur mode d'entreposage (Golder, 2017a)

Type de résidus	Quantité totale ^(a) (Mt)	Entreposage souterrain		Entreposage en surface (site des IGRM) (Mt)
		Remblai hydraulique (Mt)	Remblai en pâte (Mt)	
RFP	50,989	4,725	17,929	28,335
RCP	29,908	1,994	17,929	9,985
Total	80,897	6,719	35,858	38,320

(a) Sans déduction des tonnes de concentrés de cuivre et de zinc.

Mt = million de tonnes.

Selon les estimations, plus de 45 % des résidus seront valorisés dans le remblai en pâte, tout au long de la durée de vie de la mine.

La capacité d'entreposage estimée des anciennes ouvertures souterraines devrait permettre d'y déposer des résidus sous forme de remblai hydraulique pendant une période d'environ deux ans, avant que l'entreposage en surface ne devienne nécessaire. Sur la base de cette stratégie, des tonnages de résidus à entreposer en surface (Golder, 2017d) et des conclusions de l'étude de sélection de site pour l'aménagement des IGRM (Golder, 2018a), le site de l'ancienne mine Norbec a été retenu pour l'aménagement des IGRM.

4.2 Stratégie de disposition des stériles

Les stériles produits par le développement souterrain seront prioritairement valorisés en les utilisant pour les activités minières souterraines, comme le remblayage des chantiers minés, ou entreposés sous terre. L'excédent, prévu seulement en période de préproduction, sera hissé à la surface et transporté au site des IGRM.

La conception initiale (Golder, 2017a) prévoyait utiliser ces stériles miniers comme matériaux de construction principaux du corps de la digue médiane (voir section 6.4). Cette approche a été revue pour tenir compte de leurs propriétés géochimiques (voir section 4.2). Il est présentement prévu de les accumuler de façon temporaire dans l'aire du parc à résidus n° 2 de l'ancien site minier Norbec, en attendant la mise en place des IGRM et la déposition des RFP qui recouvriront définitivement tous les stériles avant la fin de l'exploitation. Les détails de la stratégie de gestion des stériles et la configuration de l'empilement proposé sont présentés dans un rapport préparé par Golder (2019a).

La configuration présentement envisagée permet d'entreposer tous les stériles qui sont prévus être acheminés aux IGRM, mais pourrait emmagasiner un volume de stériles plus ou moins grand. La valorisation des stériles comme matériel de construction pour les ouvrages de retenue du site des IGRM demeure une option privilégiée. Leur utilisation dans des conditions respectant les critères de conception et la gestion des risques géotechniques et géochimiques décrits dans les sections suivantes est parmi les opportunités envisagées (voir section 6.4). Dans tous les cas, les stériles hissés à la surface et acheminés aux IGRM seront entièrement recouverts par des résidus à la fin de l'exploitation et confinés après la fermeture et la restauration du site.

5.0 CRITÈRES DE CONCEPTION DES IGRM

La conception des IGRM est abordée selon les critères de conception généraux suivants :

- À la sortie de l'UTM, les RFP auront une teneur en solides massique comprise entre 62 et 63 % masse/masse (m/m), tandis que les RCP auront une teneur en solides massique de 47 % m/m (Golder, 2017d). Le transport des deux types de résidus se fera de façon hydraulique, par le biais de conduites reliant l'UTM au site des IGRM;
- Les RCP et les RFP seront gérés dans deux aires (cellules) distinctes comme le stipulent la Directive 019 (MELCCFP, 2012) et les lignes directrices d'Environnement Canada relatives à l'évaluation de solutions de rechange pour l'entreposage de déchets miniers (2011). En revanche, les eaux surnageant issues du ressuage des deux flux pourront être mélangées;
- Pour les besoins de la conception, il a été supposé que les résidus des deux flux atteignent un indice des vides d'environ 0,85 dans leur cellule respective. Quant à la répartition et aux tonnages totaux de résidus à entreposer dans les IGRM de surface, ils ont été établis selon le tableau 9. Rappelons cependant que depuis l'étude de conception initiale (Golder, 2017a), les tonnages de résidus qui devraient être acheminés au site des IGRM ont été mis à jour et reflètent actuellement les quantités indiquées au tableau 8 (Falco, 2021). La conception des IGRM sera revue à l'étape de l'ingénierie détaillée pour intégrer ces changements et tenir compte des quantités de stériles, de boues de traitement des eaux de surface et de sédiments accumulés dans les fossés et bassins qui devraient également être entreposés dans les aires d'accumulation;
- La méthode de déposition des résidus devra en diminuer la force d'écoulement et promouvoir le développement de plages de résidus élevées et continues le long des structures de confinement;
- L'aménagement des IGRM et la gestion des opérations devront favoriser la consolidation des résidus pour faciliter la pose d'un recouvrement sur les plages de résidus, le plus tôt possible à la fin de l'exploitation. Ceci est d'autant plus crucial pour les RCP en raison de leur caractérisation géochimique (section 5.1.3);
- L'eau surnageante des résidus ne devra jamais être en contact direct avec les digues périphériques externes, en condition normale d'opération. Une digue périphérique externe est définie comme une digue située en périphérie du site des IGRM et dont une hypothétique rupture pourrait entraîner un déversement de résidus à l'extérieur de l'empreinte du site des IGRM. Il s'agit ici des digues RFP-1, RCP-A, RCP-B et de la section nord de la digue RFP-2;
- L'exploitation des aires d'accumulation de résidus et de stériles devra se conformer aux mesures de protection des eaux souterraines de niveau A de la Directive 019 (MELCCFP, 2012). Le débit de percolation quotidien maximal à la base des aires d'accumulation ne devra donc pas dépasser 3,3 L/m²-j. De plus, les aires devront être aménagées et gérées de manière à éviter toute dégradation significative de la qualité des eaux souterraines pendant et après leur exploitation;
- Les matériaux de construction des IGRM ne devront être ni acidogènes ni lixiviables. Des stériles pourraient toutefois être utilisés dans les zones qui demeureront submergées à perpétuité.

5.1 Caractérisation des résidus et des stériles

Les sous-sections suivantes présentent un résumé des propriétés géotechniques et de la caractérisation géochimique des résidus et des stériles.

5.1.1 Propriétés géotechniques des résidus

Le tableau 10 présente les calculs de volume pour les RFP et les RCP ainsi que les résultats des différents essais réalisés pour déterminer la densité des particules solides. Ces valeurs reposent sur des hypothèses déterminées au début de l'étude de sélection de site, à des fins de comparaison des différentes options d'entreposage. Ces hypothèses sont documentées dans un memorandum technique de Golder (2017f). Les paramètres seront réévalués et confirmés en phase de mise en valeur du gisement, lorsque des échantillons seront disponibles.

Tableau 10 : Résultats des essais de densité relative sur les RCP et les RFP et calculs de volume

	RFP	RCP
Indice des vides ^(a)	0,85	0,85
Densité des particules solides (Golder)	2,76	4,44
Densité des particules solides (URSTM)	2,79	4,37
Densité des particules solides (SGS)	2,79	4,63
Masse volumique sèche calculée	1,51 tonnes/m ³	2,36 tonnes/m ³
Quantité totale entreposée au site des IGRM, par flux ^(b)	28,335 millions de tonnes	9,985 millions de tonnes
Volume total entreposé au site des IGRM, par flux ^(b)	18,765 millions de m ³	4,230 millions de m ³

(a) Valeur supposée pour les besoins de la conception.

(b) Tonnages et volumes de résidus utilisés lors de l'étude de conception initiale (Golder, 2017a).

Les informations suivantes ont été obtenues lors de l'étude de conception initiale (Golder, 2017a) :

- Les courbes de distribution granulométrique des résidus obtenues avec trois appareils de mesure différents sont présentées à la figure 1. Les résultats montrent quelques variations pour chaque type de résidus, mais d'un point de vue géotechnique, ces variations sont faibles;
- Un essai de cisaillement direct a été effectué par l'URSTM sur les RFP en conditions drainées. Les résultats montrent un angle de frottement interne de 26 degrés et une cohésion effective de 27,5 kPa;
- Un essai Proctor standard a également été effectué par l'URSTM sur les RFP. Les résultats montrent une densité sèche maximale de 1,69 g/cm³ pour une teneur en eau de 18 %. La figure 2 présente les résultats des essais de compactage.

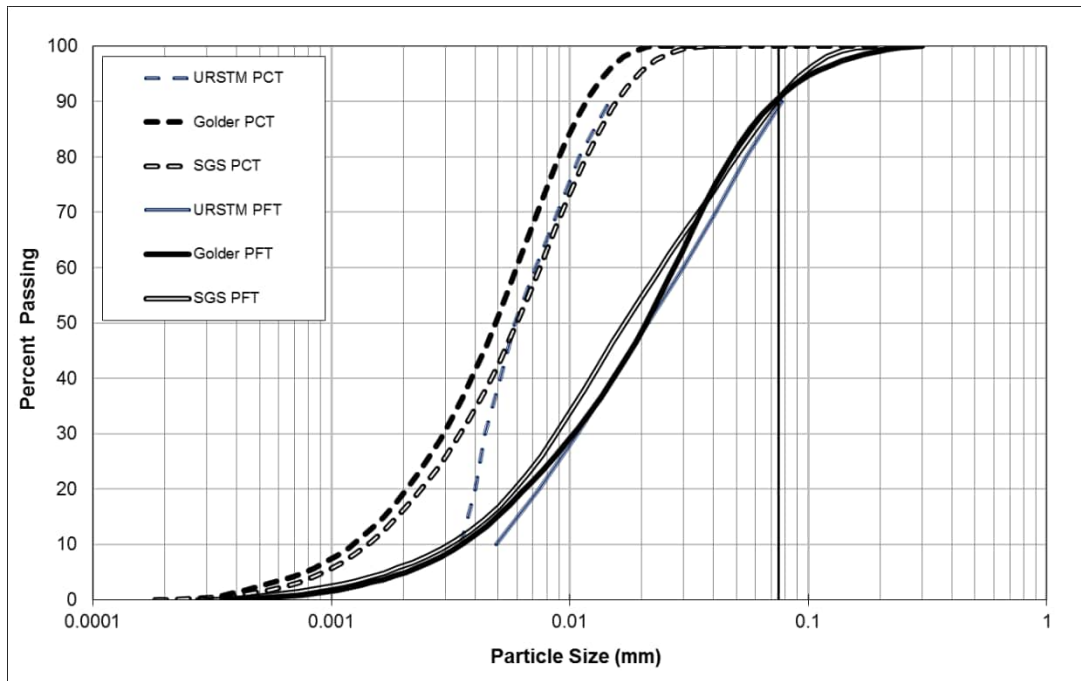


Figure 1 : Courbes de distribution granulométrique des RCP et des RFP

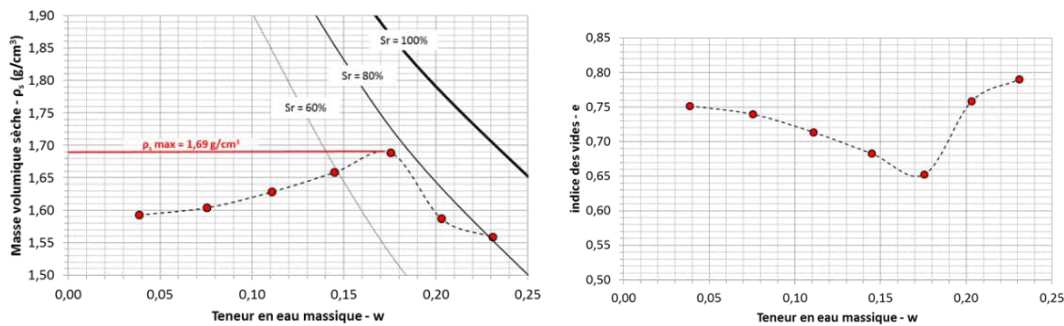


Figure 2 : Résultats de l'essai Proctor standard sur les RFP

5.1.2 Propriétés géotechniques des stériles

Les stériles miniers du projet Horne 5 proviendront de diverses unités lithologiques qu'il n'est pas prévu de ségréger, pour les raisons évoquées à la section 5.1.3. La granulométrie des stériles n'a pas encore été définie à ce stade du projet. Selon notre expérience de projets similaires, il s'agirait de matériaux tout-venant ayant un calibre de 0-600 mm et un pourcentage de particules fines d'environ 15 % (Golder, 2019a).

L'angle de frottement interne des stériles reste à définir à ce stade du projet. D'après notre expérience de projets similaires, nous pouvons raisonnablement supposer que l'angle de frottement interne varierait entre 34 et 37 degrés. En supposant une densité des particules solides de 2,75 et un facteur de foisonnement de 1,3, nous pouvons anticiper une masse volumique sèche de 2,1 t/m³. En utilisant cette masse volumique sèche, les tonnages de stériles estimés lors de l'étude de conception initiale (Golder, 2017a) ont été convertis en volumes pour l'entreposage en surface, comme présenté au tableau 11.

Tableau 11 : Quantité et volume de stériles à entreposer au site des IGRM (Golder, 2019a)

	Année -3	Année -2	Année -1	Total
Quantité (tonnes)	489 100	920 900	221 400	1 631 400
Volume correspondant (m ³)	232 900	438 500	105 400	776 800

Note : La période de préproduction du projet Horne 5 termine à l'année -1 et les activités d'exploitation du projet débutent à l'année 1.

5.1.3 Caractérisation géochimique des résidus et des stériles

Les paragraphes suivants résument les résultats des analyses géochimiques réalisées sur les résidus et les stériles. Ces résultats sont documentés dans un rapport de Golder (2022c) préparé à la suite de la publication du Guide de caractérisation des résidus miniers en 2020 (MELCCFP) :

- Les RFP et les RCP nécessiteront des mesures de protection des eaux souterraines et un mode de gestion conforme aux recommandations de la Directive 019 (MELCCFP, 2012) pour les matériaux acidogènes, lixiviables et cyanurés. Une incertitude demeure quant au potentiel acidogène des RFP et la mobilisation des métaux semble limitée aux premiers cycles de rinçage des essais cinétiques (URSTM, 2019), mais ces derniers sont néanmoins cyanurés. Dans le cas des RCP, les mesures de protection devront être mises en œuvre rapidement, ou peu de temps après leur entreposage, afin de contrôler l'acidification et la lixiviation des métaux puisque les analyses ont démontré qu'ils sont plus réactifs;
- L'ensemble des stériles est classé potentiellement acidogène et lixiviable, mais d'une réactivité faible. L'acidification n'est attendue qu'après un délai d'exposition de plusieurs années, selon les échantillons testés (Golder, 2020a). Comme susmentionné, il n'y aura pas de ségrégation des lithologies lors des activités minières. Les stériles nécessiteront un mode de gestion répondant aux recommandations de la Directive 019 pour les matériaux acidogènes et lixiviables (MELCCFP, 2012).

5.2 Critères de conception des digues

La conception des digues du site des IGRM a été abordée en se donnant les objectifs ci-dessous :

- La configuration des digues sera établie de façon à limiter leur emprise au sol tout en assurant leur stabilité physique. La largeur en crête de digue finale sera de 12 m, afin de permettre la circulation et la mise en place de bermes de sécurité;
- La conception des digues périphériques aura pour effet de limiter les échanges entre les aires d'accumulation et le milieu naturel en aval desdites digues;
- La conception des digues en contact avec des bassins ou plans d'eau tiendra compte du potentiel d'érosion par les vagues;
- Un hypothétique bris des digues intérieures du site des IGRM devra confiner l'écoulement de résidus à un bas point topographique dans l'empreinte du site.

5.2.1 Classification des structures de confinement des IGRM

Comme mentionné à la section 2.0, l'ACB fournit des lignes directrices et des recommandations pour les barrages miniers dans son bulletin technique dont la plus récente version a été publiée en 2019. Les directives de l'ACB classent les barrages miniers en fonction des conséquences d'une hypothétique rupture de digue. Les pertes potentielles en vies humaines, les pertes économiques, les pertes environnementales et les pertes culturelles sont prises en compte dans la classification. Les barrages ou les digues sont classés en fonction du risque de rupture, qui va de faible à extrême, et cette classification a une incidence sur les critères de conception que recommande l'ACB.

Une classification préliminaire des structures de confinement du site des IGRM a d'abord été réalisée en 2017 par Golder (2017a) sur la base du tableau 3-1 de la première version du bulletin technique de l'ACB, publiée en 2014. Notons à ce propos que la méthode de classification des digues de l'ACB est restée inchangée entre les versions 2014 et 2019 du bulletin technique. Cette première classification s'est concentrée sur la digue RFP-1, qui était alors considérée comme la structure qui entraînerait probablement les conséquences les plus importantes en cas de rupture. Des suites de cette évaluation, la classification associée à un risque « très élevé » a été adoptée pour toutes les structures de confinement des IGRM.

Une étude de bris de digue a par la suite été réalisée en 2018 (Golder, 2018b) afin d'établir un portrait général des conséquences en cas de rupture des digues RFP-1 et RFP-2. Une rupture hypothétique a été modélisée sur ces deux structures. En effet, elles retiendront un plus grand volume de résidus que les autres digues et leur bris conduirait aux pires conséquences physiques pour les récepteurs sensibles situés en aval du site. Cette étude a permis de valider la classification préliminaire attribuée au site.

L'étude de bris de digue a ensuite été mise à jour en 2019 (Golder, 2019e) avec de nouveaux scénarios de rupture qui reflètent l'état des connaissances actuelles de l'industrie en matière de bris de digue, puisque ces connaissances avaient évolué depuis l'émission de la version précédente de l'étude (Golder, 2018b). Contrairement aux premières études, l'étude de 2019 montre que la vague d'inondation en cas de rupture serait peu profonde. Golder a ensuite entrepris une étude de l'impact d'un bris sur la qualité de l'eau des cours d'eau situés en aval du site des IGRM (2019f), ainsi qu'une analyse détaillée des conséquences de différents modes de rupture potentiels pour les IGRM (voir section 5.2.2; Golder, 2019g). Selon ces études, le risque associé à un bris de digue est plutôt classifié comme étant « important ».

Les caractéristiques et conséquences estimées d'une rupture de digue selon la classification préliminaire de 2017 et l'étude de bris de digue réalisée en 2019 sont comparées au tableau 12. Ces deux études analysent les conséquences d'un bris à l'étape 5 de déposition de la séquence de développement des IGRM (voir section 6.1), puisqu'alors le parc aura atteint ses dimensions finales et retiendra la totalité des résidus destinés à l'entreposage en surface. Cette configuration conduirait potentiellement aux conséquences les plus défavorables lors d'un bris de digue.

Suivant des discussions entre Falco et Golder, il a été décidé de maintenir une classification « très élevée » pour tous les ouvrages de retenue du site des IGRM, en dépit des conclusions de l'étude de bris de digue qui font entrevoir des conséquences d'une défaillance moins importantes que celles évaluées en 2017. Ce choix est entre autres justifié par le fait que l'hydrographie des secteurs situés en aval des digues est caractérisée par la présence de chemins d'écoulement favorisant le transport de résidus et d'eau contaminée jusqu'aux secteurs jugés les plus critiques, à savoir le quartier D'Alembert, la route 101, le lac Dufault, le lac Waite et le lac Duprat. De même, les pratiques en matière de gestion des résidus miniers et des risques afférents sont évolutives.

Compte tenu de l'incertitude qui leur est rattachée, une conception des structures de confinement selon un niveau de risque « très élevé » a été jugée prudente.

La sélection des niveaux de risque d'inondation et de séisme pour la conception des IGRM repose sur :

- Les critères recommandés par la Directive 019 (MELCCFP, 2012);
- L'évaluation des conséquences d'une rupture potentielle de la digue RFP-1;
- La classification des digues des IGRM découlant de cette évaluation;
- Les recommandations de l'ACB associées à cette classification.

Les considérations relatives aux séismes de conception sont examinées à la section 5.2.2.1. Les niveaux cibles de risque d'inondation sont examinés à la section 5.3 traitant de la gestion de l'eau.

Il convient de souligner que la classification des digues sera revue avec Falco au fur et à mesure de l'évolution du projet, ainsi qu'aux différentes étapes de déposition de la séquence de développement des IGRM.

Tableau 12 : Comparaison des classifications du site des IGRM réalisées en 2017 et 2019

	Classification préliminaire (Golder, 2017a) validée par l'étude de bris de digue de 2018 (Golder, 2018b)	Mise à jour de la classification d'après les études réalisées en 2019 (Golder, 2019e, 2019f)	Classification utilisée pour la conception des IGRM
Mécanismes potentiels de défaillance de la digue ^(a)	<ul style="list-style-type: none"> Érosion interne de la digue RFP-1 et rupture de fondation qui entraîneraient une liquéfaction des résidus et leur écoulement par la brèche formée. 	<ul style="list-style-type: none"> Érosion interne de la digue RFP-1 ou de la digue RFP-2 entraînant la formation d'une brèche dans l'une de ces deux digues, qui se propagerait jusqu'aux fondations. Le bris de digue se produirait lorsque le niveau d'eau dans la cellule RFP serait à l'élévation maximale atteinte lors d'une crue de projet définie selon la Directive 019 (MDDEP, 2012). 	s.o.
Description de la vague d'inondation	<ul style="list-style-type: none"> L'hypothèse sans modélisation supposait une vague résultant d'un bris de la digue RFP-1 se propageant vers l'est du site, qui traverserait la route 101 et le quartier D'Alembert situé à environ 3 km à l'est du site des IGRM, puis se dirigerait vers le sud en direction du lac Dufault, où la vague serait atténuée. 	<ul style="list-style-type: none"> Vague caractéristique d'un mode d'écoulement en boue (<i>mud flow</i>). RFP-1 – Les résidus s'écouleraient le long du ruisseau Vauze, puis s'immobiliseraient à 1,2 km en aval de la digue RFP-1, soit à au moins 1,6 km du quartier D'Alembert, de la route 101 et du lac Dufault, qui sont les endroits jugés les plus critiques. RFP-2– Les résidus s'écouleraient en aval de la digue puis s'immobiliseraient après environ 1 h, à 350 m de celle-ci, soit à 100 m du lac Waite. 	s.o.
Conséquences estimées de la rupture^(b, c)			
Population à risque	<ul style="list-style-type: none"> Permanente (risque élevé à extrême) La vague d'inondation aurait probablement un impact sur les résidences permanentes autour du passage de la route 101 et autour du quartier D'Alembert. 	<ul style="list-style-type: none"> Aucune (risque faible) Aucune résidence ne se situe dans les zones inondables engendrées par la rupture hypothétique des digues RFP-1 ou RFP-2. 	Permanente (risque élevé)
Pertes de vies humaines	<ul style="list-style-type: none"> 100 ou moins (risque très élevé) Des résidences, des bâtiments commerciaux, des voies publiques et une école, tous situés autour du croisement de la route 101 et dans le quartier D'Alembert, pourraient être touchés. 	<ul style="list-style-type: none"> 0 (risque faible) Aucune résidence, ni infrastructure ou aire de loisirs ne se situe dans les zones inondables engendrées par la rupture hypothétique des digues RFP-1 ou RFP-2. 	100 ou moins (risque très élevé)

	Classification préliminaire (Golder, 2017a) validée par l'étude de bris de digue de 2018 (Golder, 2018b)	Mise à jour de la classification d'après les études réalisées en 2019 (Golder, 2019e, 2019f)	Classification utilisée pour la conception des IGRM
Valeurs sur le plan de l'environnement et de la culture	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Perte ou détérioration d'une partie importante de l'habitat piscicole ou faunique. Restauration ou indemnisation en nature très possible (risque élevé). ▪ La rupture de la digue RFP-1 aurait nécessairement un impact sur les zones situées en aval des IGRM. Nous estimons qu'il y aurait une perte ou une détérioration importante de l'habitat du poisson ou de la faune en raison de la nature des résidus et de la proximité du site des IGRM, par rapport au lac Dufault. Il existe un risque que la perte soit permanente. Cependant, nous supposons également que la réhabilitation ou la compensation est très possible. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aucune perte significative ou détérioration de l'habitat piscicole ou faunique. Perte d'habitat marginal seulement. Restauration ou indemnisation en nature très possible (risque important). ▪ Les lacs situés en aval des digues, soit le lac Dufault pour RFP-1 et le lac Waite pour RFP-2, ne sont pas atteints par les résidus. Toutefois, si un événement de pluie survenait au même moment et que Falco n'avait pas le temps d'intervenir, des volumes d'eau potentiellement contaminés s'écouleraient vers ces plans d'eau de même que vers le lac Duprat. 	Perte ou détérioration d'une partie importante de l'habitat piscicole ou faunique. Restauration ou indemnisation en nature très possible (risque élevé) .
Infrastructures et pertes économiques	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pertes économiques élevées touchant les infrastructures, le transport public et les installations commerciales (risque élevé). ▪ La rupture de la digue RFP-1 risquerait d'endommager localement une ligne électrique de 120 kV située à environ 500 m de la digue, de la route 101 et des bâtiments du quartier D'Alembert. La prise d'eau potable de Rouyn-Noranda située au niveau du lac Dufault pourrait être touchée si la qualité de l'eau du lac était affectée par le déversement. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Faibles pertes économiques; zone ne comptant qu'un nombre limité d'infrastructures ou de services (risque faible). ▪ Aucune infrastructure ne se situe dans les zones inondables engendrées par la rupture hypothétique des digues RFP-1 ou RFP-2. 	Pertes économiques élevées touchant les infrastructures, le transport public et les installations commerciales (risque élevé) .

(a) Les mécanismes de défaillance présentés sont ceux menant aux pires conséquences physiques aux récepteurs sensibles, à savoir le quartier D'Alembert, la route 101, le lac Dufault, le lac Waite et le lac Duprat.

(b) Le niveau de risque est présenté entre parenthèses.

(c) Il est prévu que le plan d'intervention du site en cas d'urgence présente des mesures d'atténuation, y compris des structures d'atténuation du débit de pointe potentiel, des systèmes d'alerte et autres, qui seraient mises en œuvre en cas de bris afin d'en limiter les conséquences. Cependant, l'évaluation des risques ne tient pas compte de ces mesures.

5.2.2 Analyse des mécanismes potentiels de défaillance de digue et de leurs effets - Critères de stabilité physique

Comme mentionné à la section 2.0, les critères de conception des digues ont été établis en tenant compte des lignes directrices de différents guides de référence. Trois guides sont applicables à l'élaboration des critères de conception de stabilité physique des digues au site des IGRM, à savoir la Directive 019 (MELCCFP, 2012), le bulletin technique de l'ACB (2019) ainsi que le Guide de restauration (MERN, 2017). Seule l'ACB propose une méthodologie de classification des barrages miniers. Cependant, cette méthodologie est reconnue et recommandée dans la Directive 019 (MELCCFP, 2012) et le Guide de restauration (MERN, 2017).

5.2.2.1 Séisme de conception

L'ACB (2019) stipule que les digues doivent être conçues sur la base d'un mouvement de sol sismique de conception déterminé en fonction des conséquences d'une rupture de digue. Pour une conséquence « très élevée » de la rupture de la structure, le séisme de conception suggéré devrait correspondre à une période de retour à mi-chemin entre 1:2 475 ans et 1:10 000 ans aux phases de construction, d'exploitation et de transition en période de fermeture active. La Directive 019 (MELCCFP, 2012) recommande pour sa part d'utiliser un séisme de conception avec une période de retour d'au moins 1:2 475 ans et qui reflète les risques de rupture de ladite structure. Pour les digues du site des IGRM, la période de retour à mi-chemin entre 1:2 475 ans et 1:10 000 ans a été adoptée pour le séisme de conception. Pour la phase de fermeture passive, la période de retour de 1:10 000 ans a été sélectionnée conformément aux recommandations de l'ACB (ACB, 2019) et du Guide de restauration (MERN, 2017).

Le tableau 13 présente les paramètres des séismes de conception qui seront utilisés dans les analyses. Ils ont été déterminés d'après la méthodologie de Séisme Canada de même que selon les données de désagrégation de l'aléa sismique fournies par la Commission (2019, courriel) et calculées pour le CNB2015 (CNRC, 2015).

Tableau 13 : Paramètres du séisme de conception

Description	Critère	Directive - Source	Commentaire
Séisme de conception aux phases de construction, d'exploitation et de transition en période de fermeture active – AMS	0,093 g	ACB (2019) CNB2015 (CNRC, 2015)	Période de récurrence à mi-chemin entre 1:2 475 et 1:10 000 ans ^(a) , AMS pour un sol de classe C (CNRC, 2015) déterminée par extrapolation ^(b)
Séisme de conception à la phase de fermeture passive – AMS	0,111 g	ACB (2019) CNB2015 (CNRC, 2015) Guide de restauration (MERN, 2017)	Période de récurrence de 1:10 000 ans, AMS pour un sol de classe C (CNRC, 2015) déterminée par extrapolation ^(b)
Facteur de réduction de l'AMS au roc ^(c)	½	Hynes-Griffin et Franklin (1984)	

(a) La valeur extrapolée correspond à la moyenne des AMS des périodes de récurrence de 1:2475 ans et de 1:10 000 ans.

(b) Valeur extrapolée à partir des AMS des périodes de retour de 1:475 ans, et de 1:2475, qui correspondent respectivement à 0,030 g et 0,074 g d'après les fiches de désagrégation d'aléa sismique fournies par la Commission géologique du Canada (2019).

(c) Le roc correspond à un sol de classe A d'après le CNB2015 (CNRC, 2015).

AMS = accélération maximale du sol; g = 9,81 m/s²; 1:2475 ans = 1 dans 2475 ans; CNB2015 = Édition 2015 du Code national du bâtiment du Canada.

5.2.2.2 Facteurs de sécurité concernant la stabilité des pentes

Les facteurs de sécurité (FS) minimaux présentés au tableau 14 ont été sélectionnés en tenant compte des lignes directrices applicables. Les paragraphes suivants apportent des précisions quant à la condition de vidange rapide, la condition où des matériaux subiraient une perte de résistance sous un chargement statique et l'évaluation de la stabilité sismique des digues. Une approche est présentée à la section 5.2.2.3 advenant que les FS minimaux cibles ne soient pas atteints.

- La condition de vidange rapide (condition de chargement 1.1.3 du tableau 14) s'applique aux digues comportant un élément de faible perméabilité et pour lesquelles un rabattement rapide du niveau d'eau dans le réservoir attenant à la digue représente une condition critique. En condition de vidange rapide, le réservoir d'eau n'exercerait plus de force stabilisatrice sur la digue et les pressions interstitielles dans l'élément de faible perméabilité n'auraient pas le temps de s'équilibrer, de sorte que les contraintes effectives dans cet élément demeureraient aussi faibles qu'en conditions normales d'opération;
- La condition de vidange rapide ne s'applique pas aux digues du site des IGRM retenant des bassins d'eau, c'est-à-dire la digue interne dans le cas du bassin Interne, et les digues RFP-2 et RFP-3 dans le cas du bassin de polissage. Cela est valable pour la digue interne puisqu'elle sera constituée d'enrochements et donc perméable, et puisque la stratégie de gestion des eaux prévoit que le bassin Interne soit opéré à un niveau minimal (Golder, 2022b). Il est toutefois prévu que les analyses de stabilité de la digue interne tiennent compte du niveau maximal d'opération du bassin Interne. Dans le cas des digues RFP-2 et RFP-3, il est prévu que le taux de vidange du bassin de polissage n'occasionne pas une condition de vidange rapide;
- Les nouvelles avancées dans le domaine de la géotechnique ont conduit à une meilleure compréhension du comportement des matériaux relativement à leur déformation. Bien qu'aucune norme ne l'exige actuellement, la perte de résistance de certains matériaux sous un chargement statique, causée par leur déformation ou la génération de surpressions interstitielles, sera évaluée dans les analyses de stabilité et un FS cible a été défini pour cette condition de chargement (condition 1.2 du tableau 14);
- La stabilité sismique des digues sera évaluée par le biais de la méthode pseudostatique. Il s'agit d'une méthode préliminaire dont les résultats devraient uniquement être utilisés comme un indice de la performance d'une digue lors d'un séisme. Elle a été développée pour des pentes constituées de matériaux non susceptibles de se liquéfier ou peu susceptibles de subir une perte de résistance à grande déformation. En principe, cette méthode ne s'appliquerait pas aux digues des IGRM puisque leur fondation est constituée de matériaux contractants, soit l'argile et l'unité de silt et sable dans certains secteurs. Des analyses pseudo- statiques seront tout de même effectuées pour se conformer à la Directive 019 (MELCCFP, 2012) et au Guide de restauration (MERN, 2017). Ces analyses permettront des comparaisons avec les résultats obtenus lors de précédentes études (Golder, 2017a, 2021a);
- Le Guide de restauration (MERN, 2017) recommande d'évaluer la stabilité sismique des digues d'après trois mécanismes de défaillance : 1) en simulant les conditions stationnaires à long terme, 2) en réduisant la résistance de certains matériaux dus à la génération de surpressions interstitielles, et 3) en combinant un chargement sismique à une vidange rapide des bassins d'eau. La stabilité sismique des digues du site des IGRM a été évaluée selon le premier de ces mécanismes de défaillance (condition de chargement 2.1 du tableau 14). Quant au troisième mode de défaillance, il n'est pas applicable aux digues du site des IGRM.

Tableau 14 : FS minimaux pour la stabilité des pentes au cours des phases de construction, d'exploitation et de fermeture

Conditions de chargement	Facteur de sécurité minimal visé			
	Site des IGRM ^(a)	ACB (2019)	Directive 019 (MELCCFP, 2012)	Guide de restauration (MERN, 2017)
1. Chargement statique				
1.1 Paramètres au pic				
1.1.1 Construction	1,5 (1,3)	1,3	1,3 à 1,5	1,3 à 1,5
1.1.2 Conditions stationnaires à long terme (exploitation et fermeture)	1,5 (1,3)	1,5	1,5	1,5
1.1.3 Vidange rapide	s.o.	1,2 à 1,3	1,3	1,3
1.1.4 Crue de projet ^(b)	1,3	s.o.	1,3	1,3 à 1,5
1.2 Paramètres postpic mobilisés sous un chargement statique				
1.2.1 Conditions stationnaires – liquéfaction statique des résidus et antiécrouissage statique des sols cohérents de fondation ^(c)	1,3 ^(d)	s.o.	s.o.	s.o.
1.3 Paramètres postpic mobilisés sous un chargement sismique (analyses postséisme)				
1.3.1 Conditions stationnaires – liquéfaction sismique des résidus et antiécrouissage cyclique des sols cohérents de fondation ^(c)	1,3	1,2	1,3	1,3
2. Chargement sismique (analyses pseudostatiques)				
2.1 Conditions stationnaires	1,1	1,0	1,1	1,1-1,25 ^(e)

(a) Les valeurs représentées entre parenthèses correspondent aux FS cibles pour les ruptures sans perte de confinement, ce qui s'applique aux ruptures de la digue interne et aux ruptures locales pour les autres digues du site des IGRM. Un seul FS est représenté lorsque les FS visés sont les mêmes pour les ruptures avec ou sans perte de confinement.

(b) La condition de crue de projet est applicable uniquement à la digue interne. Elle sera modélisée en représentant le niveau d'eau maximal attendu dans la cellule RFP et le bassin Interne lors de la crue de projet. Pour toutes les autres conditions de chargement, le niveau d'opération maximal sera utilisé pour évaluer la stabilité des sections de digues attenantes à des bassins d'eau, c'est-à-dire les digues internes, RFP-1 et RFP-2.

(c) Ces conditions tiennent compte d'une perte de résistance causée par la liquéfaction ou la déformation de certains matériaux sous un chargement statique ou un chargement sismique, selon le cas.

(d) Le FS pourrait être abaissé à 1,1 selon le risque opérationnel acceptable pour les ruptures n'occasionnant pas de perte de confinement.

(e) Le Guide de restauration recommande un FS minimal de 1.1 pour les analyses pseudostatiques lorsque la résistance des matériaux est réduite due à la génération de surpressions interstitielles, et de 1,25 lorsque les paramètres de résistance au cisaillement au pic sont utilisés.

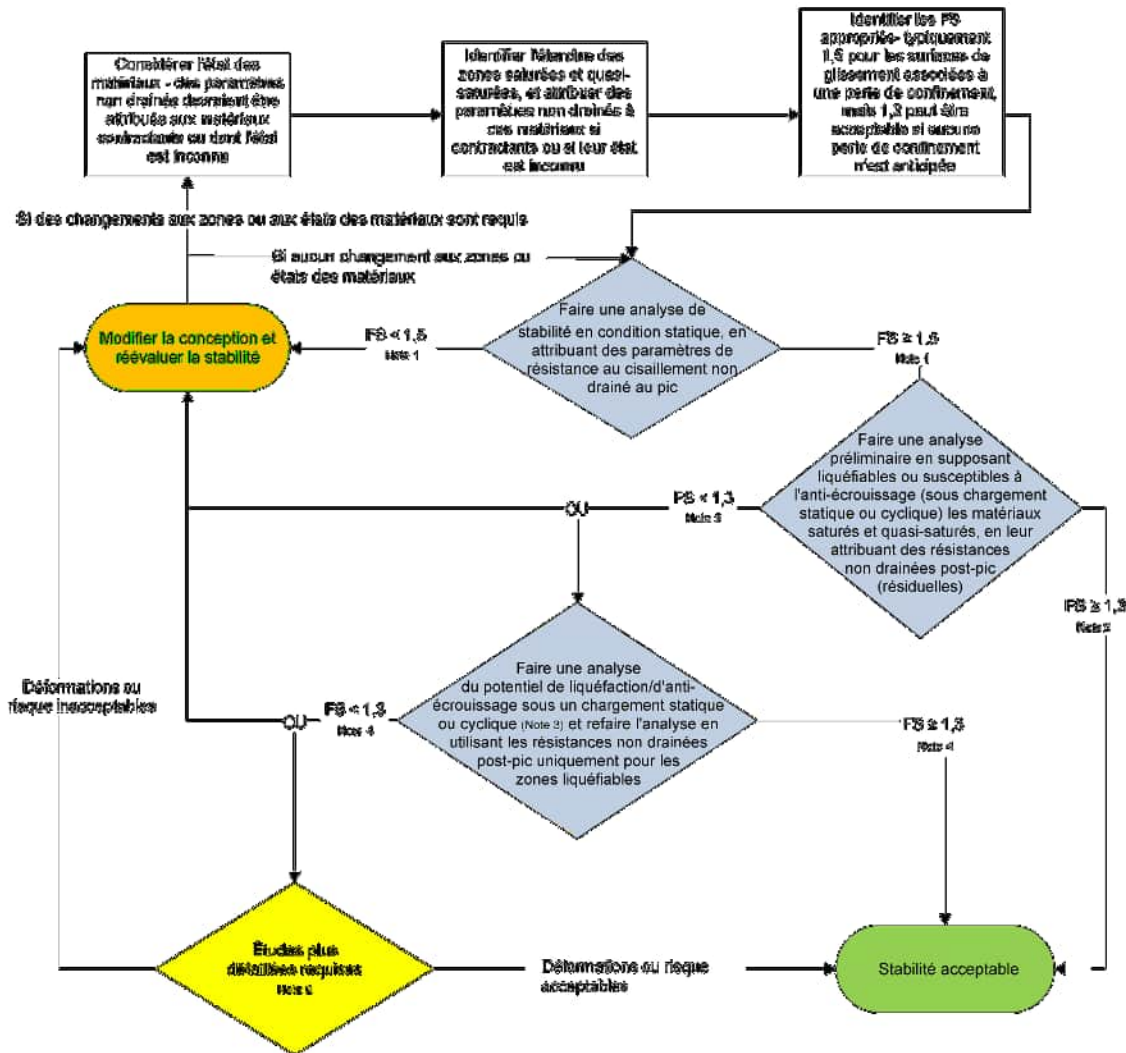
S/O = sans objet, c'est-à-dire qu'aucun FS minimal n'est recommandé pour la condition de chargement.

5.2.2.3 Approche à suivre pour la réalisation d'analyses de stabilité

Pour la conception de la configuration des digues, les analyses de stabilité seront menées selon le diagramme décisionnel présenté à la figure 3.

Dans le cas où les FS n'atteindraient pas les valeurs ciblées au tableau 14, une analyse de déformation serait réalisée pour quantifier l'impact potentiel des ruptures globales sur les structures. Dans le cas des digues Médiane et Interne par exemple, les ruptures globales pourraient traverser l'épaisse couche d'argile qui se trouve dans leur empreinte. L'analyse de déformation fournirait une base de réflexion afin de conclure si les déformations induites dans les sols de fondation et dans les digues seraient acceptables et pour modifier la conception au besoin.

L'estimation des déformations suivant un événement sismique serait évaluée selon l'approche présentée dans le diagramme de flux à la figure 4 et précisée par étape ci-dessous. Une approche semblable serait suivie si les sols s'avéraient susceptibles à la liquéfaction ou à l'antiécrouissage sous un chargement statique.



- Note 1 : Le FS peut être de 1,3 s'il n'y a pas de perte de confinement.
- Note 2 : Dépendamment de la précision des paramètres.
- Note 3 : L'analyse du potentiel de liquéfaction/d'anti-écrouissage dépend du stade de conception et des données disponibles.
- Note 4 : Le FS pourrait être abaissé à 1,1 selon le risque opérationnel acceptable s'il n'y a pas de perte de confinement.
- Note 5 : Certaines peuvent inclure des investigations géotechniques supplémentaires et/ou des essais de laboratoire avancés et/ou des modélisations de la déformation et/ou des analyses de bits de digue.

Figure 3 : Approche conventionnelle pour les analyses de stabilité

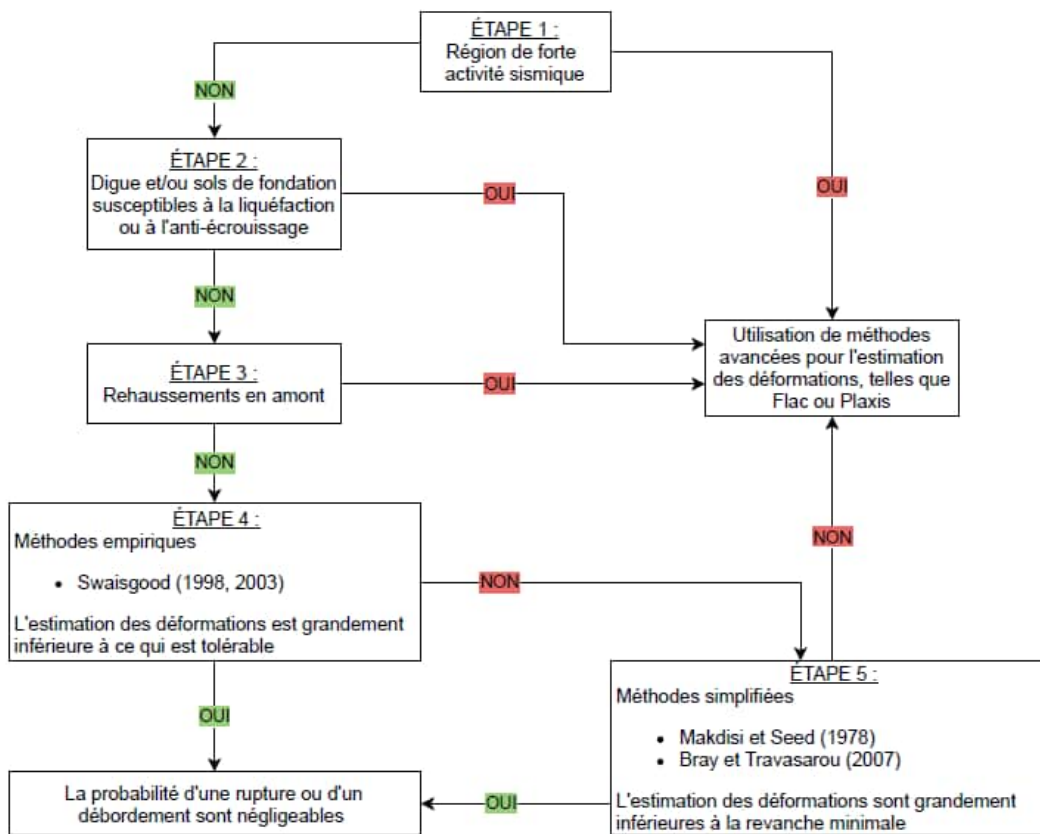


Figure 4 : Approche conventionnelle pour les analyses de déformation sous chargement sismique

Étape 1 – Activité sismique

L'emplacement géographique du site des IGRM est associé à un niveau d'activité sismique faible ne requérant pas d'études additionnelles.

Étape 2 – Potentiel de liquéfaction

Cette étape demanderait l'analyse du potentiel de liquéfaction ou d'antiécrouissage sismique des sols granulaires et cohérents. Si des sols de fondation susceptibles de subir une perte de résistance sous un chargement sismique étaient décelés, des analyses dynamiques de déformation en contraintes effectives devraient être réalisées à l'aide de modèles numériques dynamiques tels que FLAC (Itasca, 2011) ou PLAXIS (2012). Si aucun potentiel de liquéfaction, de génération de surpressions interstitielles ou d'anti-écrouissage n'était identifié, une méthode empirique pourrait être utilisée pour évaluer les déformations.

Une analyse préliminaire du potentiel de liquéfaction et d'antiécrouissage sismique, documentée dans un memorandum de Golder (2021a), a montré que les sols de fondation des digues RFP-1 et Interne sont généralement susceptibles de subir une perte de résistance sous les séismes de conception. De telles évaluations préliminaires pourraient également être effectuées dans le cadre d'études de conception des autres digues du site des IGRM.

Aucun essai en laboratoire visant à caractériser le comportement dynamique des sols cohérents n'a été effectué jusqu'à présent. Lors de l'ingénierie détaillée, de tels essais seront réalisés à la suite de travaux d'investigation géotechnique. Les paramètres des séismes de conception ne seront plus établis par extrapolation comme indiqué à la section 5.2.2.1, mais plutôt définis par le biais d'une étude probabiliste sismique spécifique au site (SSSHA, de l'anglais *Site-Specific Seismic Hazard Assessment*) et d'analyses de propagation des ondes. Les hypothèses émises dans l'étude de conception initiale (Golder, 2017a) ou l'étude de conception des digues RFP-1 et Interne (Golder, 2021a) quant aux paramètres du séisme de conception et à la réponse sismique du sol seront alors validées. De plus, des analyses approfondies du potentiel de liquéfaction ou d'antiécrouissage sismique seront réalisées.

Les analyses dynamiques de déformation réalisées pour les digues qui présenteraient des sols susceptibles à la liquéfaction ou à l'antiécrouissage sismique intègreraient les résultats de la SSSHA. Ces analyses permettraient aussi d'évaluer la réponse sismique du sol et le comportement des résidus et des sols de fondation sous les séismes de conception, au même titre que les évaluations de propagation des ondes et du potentiel de liquéfaction ou d'antiécrouissage sismique. Il est donc attendu que les résultats de ces évaluations soient validés par les analyses dynamiques de déformation. Ces dernières nécessiteraient toutefois davantage de temps et d'efforts, en plus d'exiger une caractérisation exhaustive du comportement contrainte-déformation des matériaux constituant le modèle numérique. Enfin, les analyses dynamiques de déformation conduiraient à une meilleure compréhension de l'impact des séismes de conception sur la stabilité et l'état de service des digues, puisqu'elles estimeraient les déformations induites par ces séismes. Les discussions entourant les résultats tiendraient compte de leur vulnérabilité aux déformations, comme leur hauteur de revanche ou la présence d'éléments fragiles comme des couches de transition drainantes.

Étape 3 – Méthode de rehaussement des digues

Les digues seront rehaussées selon la méthode aval, qui assure une meilleure stabilité des structures et une plus grande flexibilité relativement au calendrier de construction. Ce type de rehaussement est compatible avec les méthodes empiriques d'évaluation des déformations.

Étape 4 – Évaluation empirique des déformations

Si les déformations estimées par les méthodes empiriques s'avéraient largement inférieures aux valeurs tolérables, c'est-à-dire que les tassements en crête étaient inférieurs à la revanche disponible avant le séisme, la probabilité d'une perte de confinement des résidus serait jugée négligeable pour la charge sismique étudiée. Cette étape complèterait alors l'analyse de déformation.

En revanche, si les déformations estimées induites par le séisme excédaient la revanche disponible, il pourrait y avoir une perte de confinement et un déversement de résidus liquéfiés. Un déversement d'eau contaminée pourrait advenir si le séisme survenait en même temps qu'un événement de précipitation extrême. Dans de telles conditions, le recours à la méthode simplifiée d'évaluation des déformations décrite à l'étape 5 ci-dessous serait nécessaire. Le déversement potentiel discuté ci-dessus et les conséquences associées ne sont pas comparables aux scénarios de rupture résumés à la section 5.2.1 et présentés dans la mise à jour de l'analyse de bris de digue (Golder, 2019e).

Étape 5 – Méthode simplifiée d'évaluation des déformations

Si l'évaluation des déformations par une méthode simplifiée révélait que les déformations estimées étaient inférieures à la revanche disponible, la probabilité d'un débordement serait jugée négligeable pour la charge sismique étudiée. Au besoin, cette étape serait répétée au cours des différentes étapes de déposition de la séquence de développement des IGRM, selon le séisme de conception adapté à la classification des structures.

Si les déformations estimées excédaient la revanche disponible pour la charge sismique maximale considérée, il conviendrait alors d'appliquer des méthodes de gestion du risque pour déterminer les mesures de mitigation à mettre en place pour réduire les déformations. Une autre méthode d'analyse numérique avancée, par le biais des logiciels FLAC (Itasca, 2011) ou PLAXIS (2012), pourrait aussi être utilisée afin de préciser les déformations attendues avant de procéder à la détermination des mesures de mitigation.

5.2.3 Critères de conception des couches de transition

La conception des spécifications des couches de transition des digues s'articule autour des objectifs suivants :

- Assurer une transition entre le corps des digues en enrochement grossier, l'élément de faible perméabilité (le cas échéant) et les résidus miniers;
- Fournir une assise adéquate à l'élément de faible perméabilité pour assurer sa performance et la protéger;
- Permettre la filtration des résidus en cas de défaillance de l'élément de faible perméabilité, afin d'assurer le confinement de ces derniers;
- Laisser s'écouler l'eau sans risque d'érosion interne en tout temps dans le cas de la digue interne (voir section 6.4), et en cas de défaillance de l'élément de faible perméabilité dans le cas des autres digues;
- Fournir une protection contre l'érosion causée par l'eau et la glace pour les digues en contact l'eau surnageant les résidus.

Les critères suivants devront être utilisés pour concevoir les couches de transition et établir l'endroit où elles seront installées :

- Disponibilité du matériel – une recherche de bancs d'emprunt et de carrières potentielles menée par Falco permettra d'établir quels sont les matériaux granulaires pouvant être utilisés pour la construction des couches de transition. L'utilisation de différents types de géotextile comme matériel de transition est également envisagée;
- Critères de compatibilité établis par Fell et al. (2015) :
 - Filtration – il s'agit du critère prioritaire; le système filtrant devra empêcher la migration des particules de résidus;
 - Drainage – le système devra être suffisamment perméable pour laisser s'écouler l'eau;
 - Ségrégation et uniformité – la distribution granulométrique des matériaux granulaires devra permettre leur approvisionnement, leur transport et leur placement sans occasionner de ségrégation, de façon à obtenir un matériau en place bien étalé.

- Pente des digues – elle orientera la méthode d’installation préconisée.

L’épaisseur totale et la répartition spatiale du système de couches de transition varieront selon les digues, l’élévation et les aspects suivants :

- Conditions opérationnelles de chaque digue :
 - Gradient maximal exercé sur la digue au cours de la période de développement des IGRM – les couches de transition agissant comme des filtres se concentreront sur les zones associées à un fort gradient hydraulique;
 - Présence d’eau contre la structure en conditions normales d’opération ainsi qu’en crue de projet – rappelons qu’un des critères de conception des IGRM (section 4.2) stipule que l’eau surnageant les cellules RFP et RCP ne devra jamais être en contact avec les digues périphériques externes en conditions normales d’opération. Ce critère ne s’applique pas à la condition de crue de projet ou aux digues intérieures dont une hypothétique rupture ne causerait pas de déversement de résidus à l’extérieur de l’empreinte du site des IGRM.
- Risque de défaillance de l’élément de faible perméabilité ou du système de couches de transition :
 - Écoulements attendus en cas de rupture de l’élément de faible perméabilité ou du système de couches de transition;
 - Qualité géochimique des résidus confinés par la digue, le cas échéant;
 - Impact d’une défaillance sur les opérations;
 - Impact sur la stabilité de la digue.
- Risque de rupture de la digue :
 - Volume de résidus déversés en cas de rupture de la digue;
 - Chemins d’écoulement des résidus;
 - Présence de milieux récepteurs sensibles en aval de la digue;
 - Impact sur les opérations;
 - Impact sur la population à risque, l’habitat piscicole ou faunique et pertes économiques.
- Risque opérationnel acceptable.
- Résultats des analyses de stabilité et des analyses de déformation, le cas échéant.

Comme rapporté dans un mémorandum de Golder (2019g), l’absence de couches de transition respectant les critères de Fell et al. (2015) dans les zones à haut gradient hydraulique pourrait entraîner l’érosion interne (phénomène de renard) des couches de transition granulaires ou du dépôt de silt à sable retrouvé dans la fondation des digues. Ce phénomène se produirait en cas d’une hypothétique défaillance de l’élément de faible perméabilité de la digue et d’exfiltrations excessives à travers la digue. En conséquence, les zones à haut gradient hydraulique potentiel seront relevées pour tenir compte de ces considérations lors de l’ingénierie détaillée.

5.3 Gestion des eaux au site des IGRM

La stratégie de gestion des eaux de surface au site des IGRM a été développée conjointement avec celle des résidus miniers en suivant les orientations des lignes directrices des guides de références présentées au tableau 6 (section 2.0). La stratégie est présentée en détail dans le rapport documentant la modélisation du bilan d'eau (Golder, 2022b).

La stratégie élaborée vise à limiter les risques pour l'environnement et à maximiser la réutilisation de l'eau à toutes les étapes du projet. Elle s'articule autour des éléments suivants :

- Limiter les quantités d'eaux de contact en limitant les apports d'eaux en provenance de l'extérieur du site, en dérivant les eaux de surface qui s'écoulent actuellement vers les IGRM projetées;
- Collecter les eaux de contact, pour prévenir leur rejet dans l'environnement, et en permettre la réutilisation lorsque possible;
- Prioriser la recirculation de l'eau, pour limiter les besoins en eau fraîche et en traitement d'eau;
- N'avoir qu'un seul effluent.

Le tableau 15 présente un résumé des critères de conception pris en compte dans la conception des infrastructures de gestion des eaux de surface au site des IGRM.

Tableau 15 : Critères de conception des infrastructures de gestion des eaux de surface au site des IGRM

Aspect	Composante	Critère	Commentaires - Hypothèses
Drainage des eaux : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Systèmes de dérivation des eaux de surface (constitués de fossés et d'installations de pompage). ▪ Systèmes de collecte des eaux de contact périphériques (constitués de fossés collecteurs et de puisards de pompage). 	Capacité de stockage des fossés, des puisards et des systèmes de pompage de l'eau.	Gestion d'une crue de récurrence de 100 ans sans débordement.	Tel que recommandé par le Code de pratiques écologiques pour les mines de métaux (Environnement Canada, 2009) et la Directive 019 (MELCCFP, 2012).
	Hauteur de revanche.	Minimum de 0,3 m.	Définie au-dessus de l'élévation de l'eau prévue.
Collecte des eaux : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bassins de collecte des eaux de contact et leur système de pompage et déversoirs respectifs (bassin Interne, bassin de pompage de la cellule RCP, bassin de pompage de l'extension de la cellule RFP). ▪ Bassin pour la collecte et le suivi des eaux traitées (bassin de polissage). 	Capacité de stockage des bassins et des systèmes de pompage de l'eau.	Niveau d'eau normal en exploitation basé sur le bilan hydrique pour les conditions climatiques moyennes.	Le niveau d'eau normal en exploitation est calculé à partir de la capacité maximale de stockage du site des IGRM pour la moyenne climatique annuelle en période de production.
		Endiguement de la crue de projet sans déversement dans l'environnement.	Tel que défini dans la Directive 019 (MELCCFP, 2012). La crue de projet est la combinaison d'une averse de pluie de 24 h d'une récurrence de 1:2 000 ans et de la fonte des neiges accumulées pendant 30 jours d'une récurrence de 1:100 ans.
	Hauteur de revanche (mesurée entre le niveau de la crue de projet et la crête de la digue).	1,5 m pour les digues des cellules de dépôt des résidus.	Tel que recommandé par la Directive 019 (MELCCFP, 2012) lorsqu'un site est situé en amont de composantes du milieu sensibles.
		1,0 m pour les digues du bassin de polissage.	Revanche plus basse pour le bassin de polissage, justifiée par le fait que l'eau sera traitée avant son stockage. La qualité anticipée de l'eau sera supérieure ou égale aux critères de qualité pour un rejet à l'environnement.

Aspect	Composante	Critère	Commentaires - Hypothèses
Collecte des eaux (suite) : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bassins de collecte des eaux de contact et leur système de pompage et déversoirs respectifs (bassin Interne, bassin de pompage de la cellule RCP, bassin de pompage de l'extension de la cellule RFP) ▪ Bassin pour la collecte et le suivi des eaux traitées (bassin de polissage) 	Déversoir d'urgence	Doit pouvoir évacuer l'eau de la crue maximale probable sans débordement par-dessus la crête des digues.	Niveau initial de l'eau = niveau du seuil du déversoir.
		Le seuil déversant du déversoir d'urgence sera au minimum 0,5 m en dessous de la plus basse crête de digue.	Aucun déversoir d'urgence ne sera aménagé à l'étape 1 de déposition (section 6.1), puisqu'un débordement à cette étape se ferait sur le terrain naturel en direction du lac Waite, sans surverse au-dessus des digues périphériques du site.
		Pour la cellule RCP, le seuil du déversoir sera situé au-dessus du niveau d'eau normal d'exploitation.	Lors d'une crue, le déversoir permettra une connexion hydraulique entre le bassin Interne, la cellule RFP et la cellule RCP.
		Pour le bassin de polissage, le seuil du déversoir sera au moins 1,0 m en dessous de la crête de la digue RFP-2.	

5.3.1 Prise en compte des changements climatiques

De façon préliminaire, pour prendre en compte l'augmentation potentielle des précipitations annuelles causée par les changements climatiques, les valeurs de précipitation liquide (pluie) seront augmentées de 18 %, en conformité avec les recommandations du MELCCFP (2017). Ce facteur d'augmentation devrait être revu dans les prochaines étapes de développement du projet ainsi que durant les opérations pour assurer une prise en compte des changements climatiques adéquate et spécifique au projet.

Le scénario de crue de projet est modélisé afin d'évaluer les besoins de stockage d'eau et de s'assurer que les infrastructures de gestion des eaux sont dimensionnées de manière appropriée pour la gestion d'un tel évènement.

6.0 CONCEPTION DES IGRM

La conception proposée des IGRM a été développée conformément aux critères énoncés à la section 4.2. Certaines descriptions des éléments de conception présentées dans cette section ont été reprises de l'étude de conception initiale (Golder, 2017a). D'autres concepts ont évolué depuis cette étude, au fur et à mesure de l'avancement de l'ingénierie du projet, et sont précisément décrits dans certaines des études énumérées au tableau 5 de la section 1.3.

Lors de l'ingénierie détaillée et aux différentes étapes de déposition de la séquence de développement des IGRM, la conception des IGRM sera revue et se précisera en fonction des informations suivantes :

- Les informations géotechniques et hydrogéologiques obtenues sur les sols de fondation, les résidus et les matériaux de construction à la suite d'investigations ou une fois que l'exploitation aura débuté;
- La caractérisation géochimique des résidus et des matériaux de construction;
- Les données issues de la recherche de bancs d'emprunt;
- Le programme d'assurance qualité et de contrôle qualité lors de la construction;
- Les inspections périodiques par le concepteur et par Falco, ainsi que par de tierces parties.

La conception d'un parc à résidus est un processus évolutif tout au cours des étapes d'ingénierie préliminaire. Les éléments présentés ci-dessous sont tous sujets à changement selon l'accumulation de données supplémentaires, la mise à jour des études techniques ultérieures et l'évolution de la science.

6.1 Planification de la déposition de résidus

Un plan de déposition conceptuel des résidus a été préparé dans le cadre de l'étude de conception initiale (Golder, 2017a) à l'aide du logiciel Muk3D développé par MineBridge Software (2011). Rappelons cependant que depuis cette étude, les tonnages de résidus qui devraient être acheminés au site des IGRM ainsi que la proportion de RCP ont été revus à la hausse. De même, la stratégie de gestion des IGRM prévoit actuellement que des stériles, des boues de traitement des eaux de surface et des sédiments soient également entreposés dans les aires d'accumulation. Le plan de déposition et la configuration des IGRM seront donc revus au cours de la phase d'ingénierie détaillée, pour intégrer ces changements.

Selon le plan de déposition conceptuel, le site des IGRM sera développé en cinq étapes de déposition qui dureront chacune de deux à quatre ans. Les RFP et les RCP devraient être déposés simultanément dans leur cellule respective et viendront s'appuyer graduellement sur les digues ceinturant les cellules. Un système de points de déposition multiples, tels que des *spigots*, sera utilisé. Conformément à l'un des critères énoncés à la section 4.2, ce système permettrait de diminuer la force d'écoulement de résidus et promouvoir le développement de plages de résidus élevées et continues le long des structures de confinement.

Le tableau 16 présente les tonnages totaux et volumes correspondants de résidus et d'eau entreposés dans les cellules de déposition à chaque étape de déposition.

Tableau 16 : Estimation de la quantité de résidus et d'eau entreposés au site des IGRM par étape de déposition selon l'étude de conception initiale (Golder, 2017a)

Étapes de déposition de la séquence de développement des IGRM	Cellule RCP		Cellule RFP	
	Tonnage (Mt)	Volume (M m ³)	Tonnage (Mt)	Volume (M m ³)
Étape 1 (T1 année 3 à T1 année 5)	1,69	0,72	5,05	3,34
Étape 2 (T2 année 5 à T1 année 7)	1,63	0,69	4,62	3,06
Étape 3 (T2 année 7 à T1 année 9)	1,64	0,69	4,58	3,03
Étape 4 (T2 année 9 à T3 année 13)	3,75	1,59	10,51	6,96
Étape 5 ^(a) (T4 année 13 à T1 année 16)	1,27	0,54	3,57	2,36
Cumulatif	9,98	4,23	28,33	18,76

(a) À l'étape 5 de déposition, l'ancien bassin de polissage deviendra une extension de la cellule RFP et des RFP y seront déposés (figure A).
Mt = millions de tonnes; M m³ = millions de m³.

6.2 Spécifications et quantités des matériaux de construction

Les spécifications des géosynthétiques (géomembrane, géotextile) et des matériaux granulaires (enrochement, matériaux de transition) qui seront utilisés pour la construction des digues et l'aménagement de la cellule RCP sont documentées dans un memorandum de Golder (2021b). L'estimation des quantités de ces matériaux de construction est présentée dans un document distinct (Golder, 2021c).

Les spécifications granulométriques ainsi que les quantités de matériaux granulaires ont été fournies à l'équipe de Falco afin d'appuyer le développement de bancs d'emprunt et d'une carrière, le cas échéant. Ces informations ont également été utilisées dans le cadre de la mise à jour de l'étude de faisabilité du projet Horne 5 pour estimer les coûts de construction des IGRM (Falco, 2021).

La conception préliminaire des digues a été revue en 2020 dans le cadre d'une série d'études visant à avancer l'ingénierie du projet (Golder, 2021a,b,c). La mise à jour de l'estimation des quantités des matériaux de construction (Golder, 2021c) réalisée à cette époque tenait compte des modifications apportées à la géométrie de certaines digues. Elle ne tenait cependant pas compte du fait qu'une plus grande proportion de RCP devra être entreposée au site des IGRM que ce que prévoyait l'étude de faisabilité initiale (Falco, 2017, 2021).

Ce changement a été intégré à la mise à jour de l'estimation des coûts de construction des IGRM par le biais d'une provision (Falco, 2021). Pour les besoins de l'estimation des coûts, il a été supposé que la quantité additionnelle de RCP à entreposer serait assurée en déplaçant la digue médiane de quelques mètres vers le sud. Ceci aurait pour effet de diminuer la capacité d'entreposage de la cellule RFP et d'accroître celle de la cellule RCP. La longueur de la digue médiane s'en trouverait également augmentée, ce qui hausserait les coûts de construction des digues et de la cellule RCP.

La provenance et les caractéristiques physicochimiques des matériaux seront déterminées durant la phase d'ingénierie détaillée. Leurs spécifications pourraient être réévaluées selon la disponibilité du matériel de banc d'emprunt ou de carrière. Les quantités de matériaux de construction pourraient être revues pour intégrer les changements, le cas échéant.

6.3 Description des aires d'accumulation

Les aires d'accumulation seront constituées de cellules et de bassins qui seront confinés par des digues décrites à la section 6.3. Les paragraphes suivants fournissent une description de chacune des cellules de déposition ainsi que quelques informations sur la gestion de l'eau surnageant les résidus. Les aires d'accumulation sont illustrées à la figure A selon leur configuration à la fin de la période d'exploitation.

Cellule RCP

La fondation de cette cellule sera couverte par un élément de faible perméabilité pour limiter l'infiltration de l'eau interstitielle des résidus dans la fondation. Cette mesure permettra également de respecter les mesures de protection des eaux souterraines de niveau A de la Directive 019 (MELCCFP, 2012) qui devront être satisfaites étant donné la caractérisation géochimique des RCP (section 5.1.3). L'utilisation d'une géomembrane bitumineuse comme élément de faible perméabilité avait été proposée dans l'étude de conception initiale (Golder, 2017a) et est toujours envisagée. L'estimation des quantités et des coûts d'aménagement des IGRM (Golder, 2021c; Falco, 2021) s'appuie d'ailleurs sur l'utilisation d'une telle géomembrane. Lors de l'ingénierie détaillée, ce choix sera étudié et les spécifications du géosynthétique sélectionné seront précisées.

La déposition se fera initialement à partir de la digue RCP-A et plus tard à partir des digues RCP-A et RCP-B. Cette mesure favorisera le drainage de l'eau vers la digue médiane et évitera que l'eau ne s'accumule sur les parois amont des digues RCP-A et RCP. L'eau surnageante des RCP sera en contact avec la digue médiane et sera transférée vers le bassin Interne, soit par pompage ou via un déversoir d'urgence permettant le passage d'une crue exceptionnelle en cas d'excès d'eau.

Il est prévu de mettre en place un système de drains souterrains constitués de matériaux granulaires, au fond de la cellule RCP, soit entre les RCP et la géomembrane bitumineuse qui couvrira le fond de la cellule. L'eau qui s'accumulera au sein de la couche granulaire sera pompée vers le bassin Interne à l'aide d'un deuxième système de pompage. Le processus de consolidation des RCP s'en trouvera accéléré, minimalement au cours des premières années de déposition. Cela aura pour effet de diminuer la perméabilité de la couche basale de RCP et donc d'assurer une bonne étanchéité de la cellule. Il n'est pas garanti que la performance du système de drains permette la mise en place d'un recouvrement le plus rapidement possible en période de restauration, bien qu'un effet bénéfique soit anticipé.

Soulignons qu'au vu de la réactivité des RCP, il serait souhaitable que la cellule RCP figure parmi les premières infrastructures restaurées lors de la transition vers la fermeture active. Le plan de restauration du site des IGRM (Golder, 2022a) fournit de plus amples informations sur le scénario de restauration actuel tandis que la section 7.0 de ce document en dresse un résumé.

L'estimation des quantités et des coûts d'aménagement des IGRM réalisées en 2021 (Golder, 2021c; Falco, 2021) tient compte du système de drainage basal de la cellule RCP. En revanche, il n'a pas été intégré au bilan d'eau du site des IGRM (Golder, 2022b). En ingénierie détaillée, une étude de consolidation sera réalisée pour démontrer la performance d'un tel système. S'il s'avère nécessaire d'accélérer la consolidation de la base des RCP pour en diminuer la perméabilité et qu'il permet une prompte restauration de la cellule, le concept sera approfondi et incorporé au bilan d'eau.

Cellule RFP

La cellule RFP permettra l'entreposage des RFP et, dans de moindres proportions, des stériles miniers hissés à la surface en période de préproduction, des boues de traitement de l'UTE et des sédiments accumulés dans les fossés et bassins. Le confinement de ces matériaux tirera parti de plusieurs points hauts topographiques. À la première étape de déposition de la séquence de développement, il est prévu que les RFP soient déposés à partir de la digue RFP-1, repoussant ainsi l'eau loin de la structure. Lors des étapes de déposition ultérieures, les RFP seront déposés à la fois à partir des points hauts topographiques et des deux digues de confinement RFP-1 et RFP-2, de façon à assurer un écoulement gravitaire vers le bassin Interne.

L'étude de conception initiale entrevoyait la mise en place d'un système de faible perméabilité sur le tiers de la fondation de la cellule RFP (Golder, 2017a). Cette mesure d'imperméabilisation supplémentaire n'est plus requise puisqu'une modélisation hydrogéologique (Golder, 2019c) a démontré que le substrat de fondation de la cellule RFP satisfait aux mesures de protection des eaux souterraines de niveau A de la Directive 019 (MELCCFP, 2012).

Au même titre que la cellule RCP, il est envisagé d'installer un système de drainage souterrain dans la cellule RFP afin de réduire la perméabilité de la base des RFP et d'en accélérer la consolidation. Une étude de consolidation devra être réalisée pour démontrer la pertinence d'une telle infrastructure pour cette cellule. L'estimation des quantités et des coûts d'aménagement des IGRM (Golder, 2021c; Falco, 2021) ne tient pas compte de ce système.

Extension de la cellule RFP

À l'étape 5 de déposition, l'ancien bassin de polissage deviendra une extension de la cellule RFP (figure A). Les RFP y seront déposés à partir de la digue RFP-3 et de hauts points topographiques. Une fois l'extension entièrement remplie, la déposition des RFP reprendra dans la cellule RFP à partir des hauts points topographiques.

L'eau surnageante des résidus de l'extension sera en contact avec les digues RFP-2 et RFP-3 en conditions normales d'opération, comme illustré à la figure A. Cette eau sera acheminée par pompage vers le bassin Interne. Il est à noter que les sections de digue sur lesquelles s'appuiera l'eau surnageante des résidus ne sont pas considérées comme des digues périphériques externes, puisque leur hypothétique rupture ne causerait pas de déversement de résidus ou d'eau de contact à l'extérieur de l'empreinte du site des IGRM.

6.4 Description des digues

Mis à part quelques spécificités décrites ci-après, les digues qui borderont les cellules d'entreposage des résidus et les bassins seront construites de façon semblable.

En cas de modification ultérieure de la géométrie des digues, leur alignement devra être revu en s'assurant de ne pas excéder l'empreinte actuelle du site des IGRM projeté et le plan de déposition devra être vérifié, car une telle modification pourrait affecter la capacité d'entreposage du site des IGRM. Au besoin, l'élévation en crête des digues aux différentes étapes de déposition sera ajustée.

Digues de confinement périphériques de la cellule RFP (RFP-1 et RFP-2)

Les digues RFP-1 et RFP-2 retiendront les RFP et leur eau interstitielle. Elles seront situées en périphérie de la cellule RFP. Pendant les quatre premières étapes de déposition de la séquence de développement, la portion sud de la digue RFP-2 agira comme séparateur entre le bassin de polissage initial (étapes 1 à 4) et la cellule RFP.

Les digues RFP-1 et RFP-2 devraient être construites selon une coupe transversale consistant en un remblai granulaire et un élément de faible perméabilité sur la pente amont. L'utilisation d'une géomembrane bitumineuse comme élément de faible perméabilité était considérée dans l'étude de conception préliminaire (Golder, 2017a) et l'est demeurée dans les études subséquentes (Golder, 2021b,c). La géomembrane bitumineuse serait installée sur une fondation appropriée offrant une transition entre le matériel grossier du corps des digues et la géomembrane. Le type de géosynthétique sera confirmé et ses spécifications seront précisées lors de la conception détaillée. Une épaisseur de géotextile pourrait être ajoutée au besoin, sous le géosynthétique.

L'épaisseur totale de ce système ainsi que sa répartition spatiale varieront selon les digues, l'élévation, et plus particulièrement, l'intensité du gradient hydraulique en cas de rupture de la géomembrane et du risque associé à une telle rupture. L'installation de filtres se concentrera sur les zones associées à un fort gradient hydraulique. Un filtre inverse sera inclus dans la fondation afin de la protéger contre l'érosion. Les spécifications relativement aux couches de transition sont fournies dans un mémorandum technique distinct portant sur la conception des couches de transition (Golder, 2021b).

Une largeur en crête finale de 12 m, correspondant à la largeur requise pour l'opération des structures et des pentes amont de 2 Horizontal : 1 Vertical (2H:1V) est prévue pour les digues à ce stade de la conception. La pente aval serait de 3H:1V pour la digue RFP-1. Quant à la digue RFP-2, sa pente aval a été réduite de 3H:1V à 2,5H:1V en 2020 (Golder, 2021c) pour réduire les quantités de matériaux de construction en début de projet.

À la suite d'analyses de stabilité réalisées en 2020 (Golder, 2021a), la configuration de la digue RFP-1 a été modifiée et comprend maintenant une clé et des bermes de stabilisation dans certains secteurs. Les bermes seraient construites avec du matériau de remblai granulaire à différentes étapes de déposition et feraient partie des rehaussements ultérieurs. La configuration de la digue RFP-1, y compris son alignement, pourrait être ajustée selon les données d'investigations ultérieures recueillies et les résultats des analyses de stabilité effectuées lors de l'ingénierie détaillée. Il pourrait également être opportun de modifier la séquence de construction du site des IGRM et (ou) de consolider les fondations avant la construction des digues, dans les secteurs jugés potentiellement critiques.

L'élévation en crête de la digue RFP-2 à chacune des étapes de déposition sera revue à l'ingénierie détaillée, afin de s'assurer que sa revanche est suffisante pour emmagasiner la crue de projet du bassin de polissage initial situé immédiatement en aval de la digue. Il est attendu que le pied de la digue RFP-2 soit inondé tant que ce bassin est en opération. Une berme en amont (du côté de la cellule RFP) pourrait donc être nécessaire pour ajouter du poids et éviter le soulèvement de la géomembrane sous l'effet de la pression hydrostatique causée par la colonne d'eau présente dans le bassin de polissage initial. Cet aspect sera évalué une fois l'ingénierie plus avancée.

Digues de confinement périphériques de la cellule RCP (RCP-A et RCP-B)

Les digues RCP-A et RCP-B retiendront les RCP et seront situées en périphérie de la cellule RCP. Il est prévu que les digues RCP-A et RCP-B aient une conception similaire à celle des digues RFP-1 et RFP-2, à l'exception du fait que leur système de faible perméabilité s'étendra au-delà du pied amont des digues sur toute l'empreinte de la cellule RCP. Ce système serait également composé d'une géomembrane bitumineuse et de matériaux de transition granulaire.

En période de fermeture passive, la pente aval de la digue RCP-A sera submergée dans les eaux d'un nouvel étang d'eau ou zone humide suivant l'arrêt du pompage au site des IGRM. Ce plan d'eau sera situé en aval hydraulique du lac Vauze existant. La pente aval de la digue RCP-A sera protégée adéquatement à cette étape, en raison du potentiel d'érosion par les vagues (voir section 7.0).

Digue de confinement du bassin de polissage de l'étape 5 de déposition (RFP-3)

La digue RFP-3 retiendra les eaux du nouveau bassin de polissage qui sera aménagé à l'étape 5 de déposition de la séquence de développement (bassin de polissage final), ainsi que les RFP entreposés dans l'extension de la cellule RFP aménagée dans l'empreinte de l'ancien bassin de polissage (bassin de polissage initial). Cette digue sera construite selon une coupe transversale similaire à celle des digues RFP-1 et RFP-2.

Il est à noter qu'en 2017, la construction d'une autre digue (RFP-4) au sud de l'extension de la cellule RFP (ancien bassin de polissage) était prévue, mais l'étude de conception initiale (Golder, 2017a) a démontré qu'elle n'était pas nécessaire.

Digue de confinement entre le bassin Interne et les cellules RCP et RFP (Médiane)

L'étude de conception initiale (Golder, 2017a) prévoyait que la digue médiane soit construite avec des stériles générateurs d'acide et comprenne une paroi étanche constituée de sol-bentonite protégée par des matériaux granulaires. Un système de pompage devait être aménagé du côté de la cellule RCP (en amont) pour recueillir l'eau de consolidation des résidus et l'acheminer au bassin Interne. La conception de la digue médiane a toutefois été revue ultérieurement et documentée dans un memorandum de Golder (2021c).

La conception actuelle prévoit que la digue médiane soit construite de façon semblable aux digues périphériques. Son corps sera principalement constitué d'enrochements quoique des stériles acidogènes et potentiellement lixiviables pourraient être utilisés pour sa construction, mais uniquement dans les zones qui devraient perpétuellement être submergées. Le zonage précis de ces stériles sera précisé lors de la conception détaillée.

La digue médiane comprendra une géomembrane bitumineuse reposant sur une assise granulaire du côté de la cellule RCP (amont). Ce système assurera une séparation hydraulique entre les cellules RFP et RCP. Une couche de protection granulaire contre l'eau et la glace s'ajoutera à ce système, toujours du côté amont de la digue. Enfin, une largeur de crête finale de 12 m est prévue pour la digue médiane.

Digue de séparation entre la cellule RFP et le bassin interne (digue interne)

Cette structure retiendra les RFP tout en permettant à leur eau interstitielle et à l'eau surnageante de la cellule RFP de s'écouler vers le bassin Interne. La conception des IGRM prévoit d'ailleurs qu'en cas de rupture de la digue interne, l'eau et les résidus de la cellule RFP s'écouleront par gravité vers le bassin Interne, qui est situé dans une dépression du site.

Il est prévu de construire la digue interne comme une structure entièrement perméable, en utilisant de l'enrochement comme corps de la digue. Des stériles pourraient être utilisés dans les zones qui demeureront perpétuellement submergées.

Un système de couche de transition est prévu en amont (vers la cellule RFP) de la digue interne. Ce système de couche de transition sera constitué de plusieurs couches granulaires et d'un géotextile, afin d'assurer la transition entre les résidus fins et l'enrochement et d'empêcher la migration de particules fines vers le bassin Interne. L'épaisseur du système et le nombre de couches ont été définis dans un mémorandum technique (Golder, 2021b) et seront confirmés lors de la conception détaillée.

La conception de la digue interne a été revue en 2020 pour tenir compte de la présence d'un dépôt d'argile de 8 à 16 m dans son axe (Golder, 2021a). Les changements apportés à sa configuration comprennent l'ajout d'une clé et d'une berme de stabilisation et l'adoucissement de la pente aval de la digue de 2H:1V à 3H:1V. La pente amont sera de 2H:1V, comme ce que prévoyait l'étude de conception initiale (Golder, 2017a).

Les changements apportés à la géométrie de la digue ainsi que les analyses de stabilité à l'équilibre aux limites réalisées en 2020 ne peuvent toutefois pas garantir sa stabilité physique. Comme expliqué dans le mémorandum de Golder (2021a), des travaux d'investigation fournissant davantage de données géotechniques et une série d'analyses supplémentaires devront être effectués lors de l'ingénierie détaillée pour établir une configuration de la digue Interne satisfaisant aux critères de stabilité.

6.5 Infrastructures de gestion des eaux

Le site des IGRM prévoit la mise en place des infrastructures de gestion des eaux suivantes, identifiées sur la figure A :

- Des systèmes de dérivation des eaux de surface, constitués de fossés et d'installations de pompage, pour limiter les apports d'eaux de surface provenant des bassins versants périphériques, vers les IGRM;
- Des bassins de collecte des eaux de contact et leurs systèmes de pompage et déversoirs respectifs, ce qui comprend :
 - La cellule RCP et son bassin de pompage, pour le dépôt des RCP;
 - La cellule RFP et son extension, pour le dépôt des RFP;
 - Le bassin Interne, pour la collecte des eaux de ruissellement et de ressuage des cellules RFP (par drainage gravitaire) et RCP (par pompage). Le bassin Interne recueillera également les eaux de contact qui auront été collectées dans l'extension de la cellule RFP et les systèmes de collecte périphériques.
- Des systèmes de collecte des eaux de contact périphériques, constitués de fossés collecteurs et de puisards de pompage pour la collecte des eaux de ruissellement et des exfiltrations en périphérie des aires d'accumulation et leur transfert vers le bassin Interne;
- Une unité de traitement des eaux (UTE);
- Un bassin de polissage, pour la collecte et le suivi des eaux traitées avant leur rejet à l'environnement;
- Des infrastructures de rejet de l'effluent final, localisées à la sortie du bassin de polissage.

6.5.1 Dimensionnement des infrastructures de gestion des eaux du site des IGRM

Cette section décrit les paramètres et hypothèses de conception utilisés pour le dimensionnement des infrastructures de gestion des eaux de surface du site des IGRM, établis lors de la conception initiale (Golder, 2017a).

Certains paramètres, comme les volumes et niveaux de crue au site des IGRM, ont été revus dans le cadre de la modélisation du bilan d'eau (Golder, 2022b). Certaines infrastructures intégrées aux IGRM après la conception initiale n'ont toutefois pas encore été dimensionnées. Lors de l'ingénierie détaillée, la conception des infrastructures de gestion des eaux sera revue et l'estimation des quantités et des coûts d'aménagement de ces ouvrages intégrera les changements.

Déversoirs d'urgence

Comme l'exige la Directive 019 (MELCCFP, 2012), les déversoirs du site des IGRM ont été conçus pour évacuer une crue maximale probable en toute sécurité. Les déversoirs ou canaux de déversoir qui n'étaient pas prévus en 2017 (Golder, 2017a) n'ont pas encore été dimensionnés. Les infrastructures suivantes seront équipées d'un déversoir :

- La cellule RFP – Le canal du déversoir suivra le même tracé que le prévoyait l'étude de conception initiale (Golder, 2017a);
- L'extension de la cellule RFP – Un déversoir d'urgence n'était pas prévu en 2017 (Golder, 2017a), mais a été intégré aux IGRM de même qu'au bilan d'eau (Golder, 2022b);
- La cellule RCP – La conception initiale prévoyait qu'un déversoir opérationnel soit construit entre la cellule RCP et le bassin Interne, plus précisément sur la crête de la portion ouest de la digue médiane. Selon le concept actuel, il s'agira plutôt d'un déversoir d'urgence;
- Le bassin Interne – Le concept actuel prévoit qu'un seuil de surverse soit aménagé sur la digue interne et que le canal du déversoir de la cellule RFP soit prolongé jusqu'au bassin interne à l'étape 5 de déposition;
- Le bassin de polissage initial (étapes de déposition 1 à 4) et le nouveau bassin de polissage (étape 5 de déposition) – aucun changement n'a été apporté au tracé du déversoir et de son canal depuis l'étude de conception initiale (Golder, 2017a).

Les hypothèses suivantes ont été prises en compte pour le dimensionnement des déversoirs et de leurs canaux :

- Il a été supposé que les déversoirs d'urgence du site des IGRM seront excavés dans le roc, car ils seront situés le long de digues;
- Il a été supposé que le déversoir de la cellule RCP sera protégé avec de l'enrochement afin d'empêcher l'érosion du canal;
- Les déversoirs auront une largeur minimale de quatre mètres afin de réduire la probabilité d'obstruction par des débris;
- Les déversoirs excavés dans le roc auront une largeur minimale de six mètres afin de permettre un espace suffisant pour la construction.

Les détails de dimensionnement des déversoirs, selon leur configuration initiale (Golder, 2017a), sont résumés au tableau 17.

Tableau 17 : Dimensionnement des déversoirs d'urgence du site des IGRM et de leur canal

Paramètre de conception	Unité	Cellule RFP ^(a)			Cellule RCP	Bassin de polissage	Site des IGRM
		Étape 2	Étape 3	Étape 4			
Longueur du canal	m	270	370	400	100	800	s.o.
Seuil du déversoir	m	334,0	336,0	341,0	341,0	334,3	340,5
Débit de conception ^(b)	m ³ /s	4,2	3,7	3,0	1,5	5,2–11,4	2,7
Largeur du fond du canal	m	6,0	6,0	6,0	4	6–12	6,0
Pente latérale du canal (=H:1V)	m/m	0,1 dans le roc et 2,5 dans le sol					
Profondeur minimale ^(b)	m	1–1,1	1,0	1,0	1,0	0,3–1,4	1,0

(a) Le seuil du déversoir d'urgence de la cellule RFP ne sera pas construit à l'étape 1 des IGRM, dû au fait que le bassin Interne aura une capacité suffisante pour stocker la crue de projet et la précipitation maximale probable (Golder, 2017a).

(b) Des plages de valeurs sont indiquées, car les dimensions varient sur la longueur du canal du déversoir.

Étape = étape de déposition de la séquence de développement des IGRM; H : 1V = Horizontal : 1 Vertical; s.o. = sans objet.

Fossés de collecte et puisards de pompage des systèmes de collecte des eaux de contact périphériques

Des fossés de collecte le long du pied des digues recueilleront les exfiltrations et les eaux de ruissellement s'écoulant à travers les digues vers l'aval. Ils seront protégés par une membrane de faible perméabilité, recouverte d'une couche d'enrochement.

Le tableau 18 et le tableau 19 résument les détails de dimensionnement et les paramètres géométriques des fossés de collecte et des puisards de pompage. Les systèmes de pompage de la cellule RCP et de l'extension de la cellule RFP qui collecteront l'eau surnageante des résidus, de même que les fossés et puisards de pompage de la digue RFP-3, ne figurent pas parmi les infrastructures dimensionnées puisqu'elles ont été intégrées aux IGRM après la conception initiale (Golder, 2017a).

Tableau 18 : Dimensionnement des fossés de collecte du site des IGRM

Paramètre de conception	Unité	RFP-1	RFP-2	RCP-A	RCP-B
Longueur du fossé	m	820	660	460	170
Débit de conception ^(a)	m ³ /s	0,1–0,4	0,1–0,65	0,5–1,1	0,1
Largeur du fond du fossé	m	0,5	0,5	0,5	0,5
Pente latérale du fossé (=H:1V)	m/m	2,5	2,5	2,5	2,5
Profondeur minimale ^(a)	m	0,6–0,9	0,8–1,1	0,9–1,1	0,6–0,7

(a) Des plages de valeurs sont indiquées, car elles varient sur la longueur du fossé.

Tableau 19 : Dimensionnement des puisards de pompage du site des IGRM

Paramètre de conception	Unité	Puisard de pompage RCP-A (PP-RCP-A)	Puisard de pompage RCP-B (PP-RCP-B)	Puisard de pompage RFP-1 (PP-RFP-1)	Puisard de pompage RFP-2 (PP-RFP-2)
Débit de pompage ^(a)	m ³ /s	0,5	0,1	0,5	0,2
Empreinte totale	m ²	2 700	800	4 500	2 500
Profondeur totale	m	5,7	4,5	4,3	4,5
Volume non actif ^(b)	m ³	4 500	700	4 000	2 500
Volume actif ^(a,c)	m ³	1 100	200	2 900	1 400
Volume mort ^(d)	m ³	200	20	800	300
Volume total	m ³	5 800	920	7 700	4 200

(a) Le débit de pompage et le volume actif ont été fixés de manière à gérer la crue de projet de façon adéquate.

(b) Le volume non actif correspond au volume au-dessus du niveau d'eau maximal prévu (en raison des contraintes hydrauliques et de construction).

(c) Le volume actif correspond à la capacité effective d'entreposage d'eau dans un bassin.

(d) Le volume mort correspond à la capacité de stockage des sédiments au fond du bassin et, de ce fait, est indisponible pour le stockage provisoire.

Systèmes de dérivation des eaux de surface

Des fossés de dérivation seront aménagés pour dévier les eaux des bassins versants se drainant vers le site des IGRM. La dérivation sud-est sera imperméabilisée au moyen d'une membrane protégée par une couche d'enrochement, et la dérivation Vauze sera excavée dans le roc.

Les détails de dimensionnement de ces dérivations et leurs paramètres géométriques sont résumés dans le tableau 20. Bien qu'un tracé conceptuel des dérivations nord-ouest et sud-ouest ait été établi, celles-ci n'ont pas été dimensionnées lors de l'étude de conception initiale (Golder, 2017a). Un memorandum de Golder, rédigé à la suite d'une visite de terrain effectuée en juin 2022, rend compte des contraintes liées à la conception et à la construction des dérivations selon leur tracé actuel (Golder, 2022d). Il est entendu que les dérivations seront revues à l'étape de l'ingénierie détaillée.

Selon le plan actuel, les dérivations devraient être construites avant le début de l'opération du site des IGRM, à l'exception de la dérivation Vauze, qui ne sera requise qu'en fermeture.

Tableau 20 : Dimensionnement des dérivations du site des IGRM

Paramètre de conception	Unité	Sud-est	Vauze
Longueur du fossé	m	660	1000
Débit de conception	m ³ /s	6,9	2,8
Largeur du fond du fossé	m	6,0	6,0
Pente du côté du fossé (=H:1V)	m/m	2,5	0,1
Profondeur minimale	m	1,4	1,1

7.0 CONCEPT DE FERMETURE DU SITE DES IGRM

Le plan préliminaire de réaménagement et de restauration du site des IGRM (Golder, 2022a) présente le concept de restauration envisagé à ce stade du projet. Ce plan se veut une version conceptuelle et préliminaire des mesures de protection, de réaménagement et de restauration prévues à la fin de l'exploitation au site des IGRM et le long du tracé des conduites de résidus et d'eau de recirculation. Il a été développé selon les prescriptions et recommandations du Guide de restauration (MERN, 2017) et conformément aux dispositions de l'article 232.1 de la Loi sur les mines (LégisQuébec, à jour au 18 mars 2021).

La conception du site des IGRM intègre des considérations relatives à la fermeture. Cette conception englobe les impacts prévisibles des IGRM et identifie les principales questions susceptibles d'influencer l'orientation stratégique du projet, pendant la planification de sa fermeture.

7.1 Paramètres et hypothèses de conception pour la fermeture

Les principaux enjeux sont liés à la présence de matériaux acidogènes et lixiviables (voir section 5.1.3).

Étant donné qu'il reste encore plusieurs années avant la mise en service des IGRM, et que certaines hypothèses et analyses reposent sur une quantité limitée de données, le scénario de restauration présenté dans le plan de restauration préliminaire (Golder 2022a) est conceptuel et n'a encore fait l'objet d'aucune analyse comparative détaillée. Les concepts présentés visent tous à réduire les impacts environnementaux liés à la présence de matériaux acidogènes et lixiviables qui devraient être entreposés dans les aires d'accumulation. Ces concepts seront analysés plus en détail avec l'évolution de l'ingénierie et des études de support. Les données et l'expérience acquise durant les années de production sans IGRM seront mises à profit pour préciser la gestion des résidus et de l'eau, et par conséquent la sélection de scénarios de restauration appropriés.

Les paragraphes suivants résument les concepts présentement intégrés à la conception en vue de la fermeture du site.

- Cellule RCP – les RCP sont potentiellement générateurs d'acide et lixiviables. Il est donc prévu de recouvrir la cellule RCP d'une géomembrane qui limitera l'infiltration d'eau et la diffusion d'oxygène. Les RCP étant des résidus très fins, il est attendu qu'ils retiennent l'eau. Le système de pompage des eaux issues de la consolidation des résidus devrait être maintenu opérationnel pendant la période de transition et la période de fermeture active, pour drainer le plus d'eau possible et accélérer la consolidation des RCP. Advenant que le système de drainage basal de la cellule soit aménagé et opéré tout au long de la phase d'exploitation, celui-ci pourrait également demeurer opérationnel durant les périodes de transition et de fermeture active. Une fois la cellule RCP entièrement recouverte et le suivi environnemental terminé, des fossés de drainage y seront aménagés afin de collecter les eaux de ruissellement et les acheminer par le déversoir de la cellule RCP vers un cours d'eau recréé au sein de la zone restaurée de l'ancien bassin Interne;
- Cellule RFP et extension de la cellule RFP – les derniers travaux de caractérisation géochimique (URSTM, 2019) ont révélé que les RFP désulfurés (CRT) sont non acidogènes et que la mobilisation des métaux était faible à long terme. Le scénario de restauration envisagé pour la cellule RFP et l'extension de la cellule RFP est un recouvrement pour limiter l'infiltration d'eau et la gestion des eaux de ruissellement. Des fossés de drainage seront aménagés afin de collecter les eaux de ruissellement et les acheminer vers la digue interne et le bassin de polissage restauré;
- Dignes des cellules RCP et RCP – Les matériaux de la halde à mort terrain temporaire seront graduellement utilisés pour les activités de restauration, notamment pour la restauration progressive des digues de confinement des cellules de résidus, qui seront recouvertes dès qu'elles auront atteint leur élévation finale;
- Stériles miniers – La restauration de l'empilement de stériles situé dans la cellule RFP, plus précisément dans le secteur du parc à résidus n° 2, sera progressive, puisque l'empilement sera enfoui sous les RFP avant la fin des opérations;
- Gestion de l'eau – Le bassin Interne et le bassin de polissage devront être maintenus opérationnels pendant les phases de transition et de fermeture active pour surveiller la qualité de l'eau pendant la mise en place des recouvrements des cellules RCP et RFP. La durée pendant laquelle il faudra maintenir ces bassins pendant la fermeture active est estimée à 3 ans, mais devra être réévaluée. La stratégie de fermeture proposée vise à éliminer progressivement la nécessité d'un traitement d'eau actif et donc à démanteler le bassin de polissage, tandis que le bassin Interne demeurera l'exutoire naturel des eaux de ruissellement.

7.2 Critères de conception des infrastructures de gestion des eaux pour la fermeture

À la fermeture, les infrastructures de gestion des eaux de surface du site des IGRM seront soit démantelées, soit modifiées, comme décrit au tableau 21 de la page suivante. Le démantèlement des infrastructures sera effectué conformément au plan de gestion des eaux en phase de transition, de fermeture active et passive, ainsi qu'en période post-restauration, comme présenté dans le plan de restauration (Golder, 2022a).

À noter que les dénominations mentionnées ci-dessus (fossé et canal) se réfèrent à celles utilisées lors des opérations, mais qu'en période de fermeture, l'ensemble de ces structures fera partie d'un système hydrographique continu, recréant des axes de drainage aussi naturels que possible : thalwegs, ruisseaux et cours d'eau intermittents ou non.

Tableau 21 : Modifications des infrastructures de gestion des eaux prévues pour la fermeture du site des IGRM

Infrastructure	Modifications requises pour la fermeture
Fossés de collecte	À préserver pour drainer la pente aval des digues. Si nécessaire, les pentes seront stabilisées et un concept de fermeture définitive sans entretien sera appliqué.
Puisards de pompage	À démanteler, puis à remblayer afin de recréer des zones naturelles boisées ou des zones humides et étangs d'eau sans digues.
Systèmes de dérivation	À conserver comme dérivations permanentes, en appliquant un concept de fermeture définitive sans entretien.
Déversoirs d'urgence	À conserver en tant que canaux et à modifier en fonction du plan de gestion des eaux aux phases de fermeture active et passive, ainsi qu'en période post-restauration, en appliquant un concept de fermeture définitive sans entretien.
Systèmes de pompage	Pompes et conduites à démanteler et à retirer du site.
Digue RFP-3 (portion ouest)	À démanteler afin de rétablir un drainage gravitaire jusqu'au lac Waite, par le canal du déversoir de l'extension de la cellule RFP.
Digue interne	En période de fermeture passive, une brèche sera pratiquée dans la digue interne afin de permettre un écoulement gravitaire des fossés de drainage de la cellule RFP vers le cours d'eau recréé au sein de la zone restaurée de l'ancien bassin Interne.

7.3 Risques et opportunités liés à la fermeture

Les risques et opportunités à prendre en compte lors des prochaines étapes de développement du plan de restauration du site des IGRM comprennent les éléments suivants :

- Comportement des résidus à long terme – Les essais géochimiques sur les résidus doivent être poursuivis afin de fournir une estimation raisonnable du délai potentiel avant l'activation du drainage minier acide;
- Recouvrements – Une analyse comparative de diverses options de recouvrement doit être entreprise afin de concevoir des systèmes de recouvrement permettant d'atteindre les objectifs du plan de restauration et d'établir les spécifications des matériaux constituant ces recouvrements. Les options envisagées incluent l'utilisation de RFP désulfurés (CRT) comme couche de faible perméabilité dans un recouvrement multicouche, par exemple pour la cellule RCP. Plusieurs aspects des différentes options de recouvrement seront étudiés, à savoir la performance des matériaux, la disponibilité du matériel, l'acceptabilité, les risques et les coûts. Les résultats seront présentés dans les versions futures du plan de restauration;
- Traitement de l'eau – le traitement de l'eau doit être maintenu jusqu'à ce que le pompage de la cellule RCP soit terminé et aussi longtemps que la qualité de l'eau collectée ne satisfera pas aux critères applicables. La durée pendant laquelle ce traitement sera requis est estimée à 3 ans, mais devra être réévaluée suivant la revue des recouvrements et la modélisation de la qualité d'eau.

8.0 CONTINGENCES

La conception proposée pour le site des IGRM a été préparée en vue d'offrir une flexibilité et de faciliter les opérations. Pour ce faire, des contingences sont nécessaires, notamment pour permettre des variations temporaires dans les quantités de matériaux produits, ou pour tenir compte de différences dans les propriétés des résidus ou des matériaux de construction.

Les contingences par rapport aux scénarios prévisibles de gestion des résidus miniers du projet Horne 5 sont décrites ci-dessous. Les scénarios comprennent :

- La production de stériles et de résidus miniers dans des proportions qui diffèrent du plan de minage (excès ou manque de stériles, excès de résidus);
- Une production qui dépasse le plan de minage actuel ou des difficultés lors de l'entreposage souterrain;
- Des différences dans les propriétés des résidus et la gestion des eaux;
- Des difficultés d'approvisionnement des matériaux de construction des IGRM.

8.1 Variations dans l'acheminement des résidus et l'épaississement des résidus

La conception actuelle prévoit que les résidus seront produits à un taux constant qui dépendra du rendement de l'usine. Les équipements de l'usine, y compris le circuit de broyage, les pompes, les réservoirs, les conduites et le circuit d'extraction, ont un taux de production qui varie rarement sans modifications majeures. Cependant, la quantité de résidus acheminée au site des IGRM variera considérablement en raison de sa dépendance à la demande de remblai en pâte pour la mine souterraine. Il est également possible que les proportions prévues de RCP et de RFP à entreposer chaque année varient dans le temps si le remblai en pâte nécessite des ajustements pour modifier ses propriétés mécaniques ou si l'espace censé servir à l'entreposage souterrain des résidus n'est pas disponible.

La conception actuelle prévoit au moins deux ans de déposition, à chaque étape de la séquence de développement du site des IGRM. Si l'un des deux flux de résidus est acheminé aux IGRM en quantité supérieure à celle prévue, les cellules auront une durée de vie plus courte et le rehaussement des digues devra se faire plus rapidement. Toutefois, les méthodes de rehaussement aval ont été choisies en partie pour répondre à ce type d'incertitude et permettre une construction indépendante de l'opération. Les cellules RFP et RCP sont indépendantes l'une de l'autre et peuvent être rehaussées séparément sans compromettre la gestion globale du site. Il convient de mentionner que des variations annuelles peuvent survenir dans l'utilisation du remblai en pâte. Toutes les ouvertures créées par l'exploitation de la mine Horne 5 devraient néanmoins être comblées avec du remblai en pâte, ce qui devrait permettre de respecter le scénario global de distribution des résidus.

Lorsque le remblai en pâte est produit, des tonnages moins importants de résidus seront acheminés au site des IGRM. Cependant, d'après notre compréhension, lors de ces périodes, des quantités supplémentaires d'eau seront ajoutées aux résidus; les RCP et les RFP pourraient donc être acheminés au site des IGRM avec une teneur en solides significativement inférieure aux valeurs de référence de 47 % et de 62 %, respectivement. Dans un tel cas, on pourrait s'attendre aux changements suivants à la stratégie de gestion des eaux du site des IGRM :

- De plus grands volumes d'eau arrivant à la cellule RCP entraîneraient le transfert de volumes d'eau plus importants par pompage, vers le bassin Interne. Bien que la sédimentation et la consolidation des résidus puissent prendre plus de temps, il n'est pas anticipé que la capacité d'entreposage de la cellule soit excédée;
- De plus grands volumes d'eau arrivant à la cellule RFP nécessiteraient très probablement une capacité de pompage accrue, pour le bassin Interne. Il est important de rappeler que le bassin Interne est conçu pour fonctionner à un niveau d'opération d'eau très bas (voire vide; Golder, 2022b) afin de maximiser le drainage de la cellule RFP. Le bassin Interne ne devra pas être opéré comme un bassin d'eau minière, mais plutôt comme un bassin de pompage. Par conséquent, il est improbable que les volumes d'eau supérieurs affectent les performances de la cellule RFP, si le bassin Interne est équipé d'un système de pompage adéquat.

8.2 Production excédant le plan de minage actuel

La plupart des projets miniers visent à prolonger la durée de vie de la mine. L'aménagement du site des IGRM est compatible avec des rehaussements supplémentaires, mais cela devra être appuyé par des études appropriées. La zone environnante du site des IGRM offre d'excellentes possibilités d'agrandissement de l'empreinte du site comme alternative au rehaussement. Par exemple, une hypothétique expansion des IGRM vers le lac Vauze allant jusqu'à son empiètement complet était envisagée dans l'étude de sélection de site (Golder, 2018a). Ces scénarios apportaient une flexibilité accrue à la stratégie de gestion des résidus puisqu'ils permettaient de confiner complètement des quantités additionnelles de RCP sans augmenter la hauteur des structures de confinement du site. L'impact environnemental de ces scénarios devrait toutefois être réévalué.

8.3 Difficultés lors de l'entreposage souterrain des résidus (sous forme de remblai hydraulique dans les anciennes ouvertures minières)

Il est prévu d'entreposer les RFP et les RCP ne pouvant être utilisés dans le remblai en pâte, dans les ouvertures souterraines disponibles dans les anciennes mines avoisinant le gisement Horne-5, avant que l'entreposage à la surface ne commence. Bien qu'un effort important ait été fait pour estimer les volumes disponibles, il est reconnu que ceux-ci constituent des estimations et que les ouvertures souterraines pourraient fournir une capacité inférieure à celle prévue. En outre, des problèmes opérationnels ou des retards de distribution pourraient éventuellement ralentir ou retarder l'entreposage souterrain des résidus.

Si ces situations se produisaient, la mise en opération du site des IGRM pourrait être requise plus tôt que prévu. Bien qu'il est prévu que la construction des IGRM commence à la deuxième année de production, une capacité d'entreposage pourrait être rapidement obtenue en ne construisant que partiellement les digues, de manière similaire à une digue de départ plus basse. L'opération du site des IGRM, et plus particulièrement la déposition des résidus, pourrait alors commencer dès la finalisation de la construction de ces digues de départ. Si, par la suite, une perte permanente de la capacité souterraine est confirmée, le tonnage excédentaire de résidus sera géré par la stratégie décrite à la section 8.2.

8.4 Variation des propriétés des résidus

La conception du site des IGRM offre de la flexibilité et tient compte des quantités variables de résidus à entreposer sur le site. La variabilité des propriétés des résidus pourrait se manifester sous la forme de pentes de déposition différentes à celles attendues, une teneur en solides plus faible, une consolidation plus lente, etc. Tous ces éléments pourraient être gérés, car la conception actuelle des digues est indépendante de la performance des résidus. Cependant, les pentes de déposition des résidus pourraient nécessiter des ajustements au plan de déposition. Le système de pompage de la cellule RCP et le maintien d'un niveau d'eau d'opération le plus bas possible dans le bassin Interne devraient permettre d'augmenter le ressuage de l'eau interstitielle des résidus et leur consolidation. Ces mesures et l'installation de systèmes de drains souterrains dans les cellules pour favoriser davantage le drainage de l'eau devraient faciliter la gestion des conséquences potentielles de variations dans les propriétés des résidus.

8.5 Difficultés d'approvisionnement des matériaux de construction

Il était initialement prévu d'utiliser les stériles hissés à la surface en période de préproduction pour la construction du corps de certaines digues (Golder, 2017a). Cette option est actuellement envisagée dans des zones limitées des digues médiane et interne puisque l'ensemble des stériles est considéré comme potentiellement générateur d'acide et lixiviable et nécessite donc une stratégie de gestion conforme aux recommandations de la Directive 019 (MELCCFP, 2012). Les digues seront donc principalement constituées d'enrochements provenant d'une carrière et, dans de moindres proportions, d'une série de couches de transition filtrantes.

Si la recherche de bancs d'emprunt ne permet pas de trouver des matériaux granulaires conformes aux spécifications requises ou en assez grande quantité, la conception des digues devra être revue. Si Falco éprouve des difficultés d'approvisionnement pour les matériaux constituant les couches de transition, alors le concassage des roches pour produire des granulats ou le triage des matériaux de bancs d'emprunt afin d'obtenir des filtres adéquats serait considéré.

La zone propice au développement d'une carrière reste à être précisée, mais il serait souhaitable de la situer dans l'empreinte du site des IGRM. L'implantation d'une carrière (pour la production de matériaux de construction pour les digues, les routes d'accès, la plateforme de l'UTE, etc.) dans l'empreinte des cellules de déposition fournira un espace de stockage supplémentaire ou permettra de réduire la hauteur totale des digues. Des mesures supplémentaires de protection des eaux souterraines pourraient être nécessaires avant d'utiliser cet espace. Ces mesures seraient compensées par le gain de capacité d'entreposage et la diminution de la distance de transport de matériaux de construction.

9.0 CONCLUSION

Cette mise à jour des critères de conception des IGRM a été préparée afin de préciser les particularités des infrastructures qu'il est prévu de construire aux IGRM, de remettre en perspective les stratégies d'opération du site et leur impact sur la conception des digues, et d'intégrer les résultats des études réalisées depuis 2017. Ce document devra être consulté lors de la mise à jour de la conception de quelque ouvrage que ce soit du site des IGRM.

Page Signatures

WSP Canada Inc.



Estelle Nkamegue, ing., M.Sc.A.
Ingénieure en géotechnique



Yves Boulianne, ing.
Principal, ingénieur en géotechnique et gestion des résidus miniers

EN/YB/as

RÉFÉRENCES

- Association canadienne des barrages (ACB), 2013. *Recommandations de sécurité des barrages*, 2e éd., 84 p.
- ACB, 2014. *Application des recommandations de sécurité des barrages aux barrages miniers*, bulletin technique, 1ère éd., 46 p.
- ACB, 2019. *Application des recommandations de sécurité des barrages aux barrages miniers*, bulletin technique, 2e éd., 43 p.
- Bray, Jonathan D. et Thaleia Travararou, 2007. « Simplified procedure for estimating earthquake-induced deviatoric slope displacements », *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 133, p. 381-392.
- Commission géologique du Canada (la Commission), 2019. *Désagrégation d'aléa sismique*, Service d'information sur les dangers naturels au Canada, Séismes Canada, Ressources naturelles Canada, 26 août 2019, 44 p.
- Conseil national de recherches Canada (CNRC), 2015. *Code national du bâtiment, Canada, 2015*, Commission canadienne des codes du bâtiment et de prévention des incendies, Institut de recherche en construction, Ottawa, 2010, 2 v.
- Environnement Canada, 2009. *Code de pratiques écologiques pour les mines de métaux*, 108 p.
- Environnement Canada, 2011. *Guide sur l'évaluation des solutions de rechange pour l'entreposage des déchets miniers*, Division des mines et du traitement, septembre 2011. Date de modification: 23-12-2016.
- Fell, Robin, MacGregor, Patrick, Stapledon, David, Bell, Graeme et Mark Foster, 2015. *Geotechnical Engineering of Dams*, 2e éd., Londres, CRC Press, 1348 p.
- Geocon, 2004. *Mise à jour du Plan de restauration, Site minier du Lac Dufault*, rapport préparé pour Corporation Minière Inmet, Rouyn-Noranda, juin 2004, 32 p. et annexes. No de réf. : M-6808 (603451).
- Golder Associates Ltd. (Golder), 1983. *Subsurface Investigation and Stability Analyses of Existing Tailings Dams, Norbec Tailings Area*, rapport préparé pour Corporation Falconbridge Copper, Division Lac Dufault, Noranda, juillet 1983, 8 p. et annexes. No de réf. : 841-1169.
- Golder Associés Ltée (Golder), 1998. *Plan de restauration environnementale du site Norbec d'Alembert*, rapport préparé pour Corporation minière Inmet, Division Lac Dufault, Rouyn-Noranda, février 1998, 128 p. et annexes. No de réf. : 971-7075.
- Golder, 2000. *Rapport de conception – Réhabilitation des digues Nord, Principale, G, H et X*, rapport préparé pour Corporation minière Inmet, Division Lac Dufault, Rouyn-Noranda, mai 2000, 28 p. et annexes. No de réf. : 001-7030.
- Golder, 2017a. *Horne-5 Mine Project, Surface Tailings Management Facility Design Report*, rapport préparé pour Ressources Falco Ltée, Montréal, novembre 2017, 39 p., figures et annexes. No de réf. : 028-1774165-3100-4000-Rev0.
- Golder, 2017b. *Étude de sélection de site, Entreposage des résidus miniers en surface, Projet Horne 5*, rapport préparé pour Ressources Falco Ltée, Montréal, 22 juin 2017, 32 p., figures et annexes. No de réf. : GAL031-1774165-3100-RF-Rev0.

- Golder, 2017c. *Horne 5 Feasibility Study – Climate Analysis*, mémorandum technique préparé pour Ressources Falco Ltée, novembre 2017. No de réf. : GAL001-1774165-TM-Rev0.
- Golder, 2017d. *Dewatering and rheology results and backfill design basis*, lettre préparée pour Redevances Aurifères Osisko, Val-d'Or, 9 p. et annexes. No de réf. : GAL160-1541337-23190-Rev2.
- Golder, 2017e. *Gestion des résidus et des stériles, Projet Horne 5 – Sélection de stratégie de gestion*, mémorandum technique préparé pour Ressources Falco Ltée, Montréal, 17 novembre 2017, 15 p. et figure. No de réf. : GAL124-1541337-Rev0.
- Golder, 2017f. *Mémorandum d'étape : Projet Horne 5, options d'entreposage des résidus miniers en surface*, mémorandum technique préparé pour Ressources Falco Ltée, Montréal, 17 novembre 2017, 12 p., figure et annexes. No de réf. : GAL154-1541337-Rev0.
- Golder, 2018a. *Mise à jour de l'étude de sélection de site, Entreposage des résidus miniers en surface, Projet Horne 5*, rapport préparé pour Ressources Falco Ltée, Montréal, 14 juin 2018, 33 p., figures et annexes. No de réf. : GAL031-1774165-3100-RF-Rev2.
- Golder, 2018b. *Analyse de bris de digue du parc à résidus au site Norbec, Projet Horne 5*, rapport préparé pour Ressources Falco Ltée, juillet 2018, 33 p., figures et annexes. No de réf. : GAL097-1787678-2100-Rev0.
- Golder, 2019a. *Élaboration d'une stratégie de gestion des stériles miniers hissés en surface au futur site des IGRM, Projet Horne 5*, rapport préparé pour Ressources Falco Ltée, Montréal, décembre 2019, 25 p., figures et annexes. No de réf. : GAL121-19125999-19002-Rev0.
- Golder, 2019b. *Travaux d'investigation géotechnique de 2018 et 2019 réalisés au site des IGRM du projet Horne 5*, rapport préparé pour Ressources Falco Ltée, Montréal, 14 novembre 2019, 25 p., figures et annexes. No de réf. : GAL120-19125999-RF-Rev0.
- Golder, 2019c. *Étude hydrogéologique et géochimique du secteur des IGRM, Projet Horne 5*, rapport préparé pour Ressources Falco Ltée, Montréal, 18 décembre 2019, 53 p., figures et annexes. No de réf. : GAL117-19122243-Rev0.
- Golder, 2019d. *Sommaire de la qualité de l'eau souterraine suite aux travaux d'investigation hydrogéologique réalisés en 2018 et en 2019 sur le site des IGRM du projet Horne 5*, mémorandum technique préparé pour Ressources Falco Ltée, Montréal, 12 décembre 2019, 12 p., figure, tableau et annexes. No de réf. : GAL115-1787678- Rev1.
- Golder, 2019e. *Analyse de bris de digue du parc du site de l'IGRM, Projet Horne 5*, rapport préparé pour Ressources Falco Ltée, 6 décembre 2019, 31 p., figures et annexes. No de réf. : GAL097-1787678-2100-Rev1.
- Golder, 2019f. *Étude de l'impact d'une rupture de digue sur la qualité de l'eau dans les cours d'eau en aval du parc à résidus Norbec, Projet de la mine d'or Horne 5*, rapport préparé pour Ressources Falco Ltée, 17 décembre 2019, 27 p., figures et annexes. No de réf. : GAL135-19122243-RF-Rev0.
- Golder, 2019g. *Installations de gestion des résidus miniers du projet Horne 5 – Analyse des modes de défaillance et de leurs effets (traduction)*, mémorandum technique préparé pour Ressources Falco Ltée, Montréal, 19 décembre 2019, 7 p. et annexe. No de réf. : GAL127-19125999-19007-MTF-Rev0.

- Golder, 2020a. Caractérisation géochimique du minerai et des stériles de la propriété Horne 5, rapport préparé pour Ressources Falco Ltée, Montréal, 10 juin 2020, 26 p., figures et annexes. No de réf. : GAL118-19122243-RF-Rev2.
- Golder, 2021a. *Étude de conception des digues RFP-1 et Interne, Projet Horne 5, Rouyn-Noranda, Québec*, mémorandum technique préparé pour Ressources Falco Ltée, Montréal, 22 juin 2021, 16 p., figures et annexes. No de réf. : GAL165-19125999-20008-2-MTF-Rev0.
- Golder, 2021b. *Matériaux granulaires qui constitueront les digues du site des infrastructures de gestion des résidus miniers et le système de drainage de la cellule RCP – Projet Horne 5*, mémorandum technique préparé pour Ressources Falco Ltée, Montréal, 21 juin 2021, 13 p., figures et pièces jointes. No de réf. : GAL155-19125999-20008-MTF-Rev1
- Golder, 2021c. *Évaluation des quantités de matériaux de construction des digues et du système de drainage basal de la cellule RCP du site des IGRM*, mémorandum technique préparé pour Ressources Falco Ltée, Montréal, 21 juin 2021, 18 p. et annexe. No de réf. : GAL163-19125999-20008-MTF-Rev0.
- Golder, 2022a. *Plan préliminaire de réaménagement et de restauration du site des IGRM, Projet Horne 5, Rouyn-Noranda, Québec*, rapport préparé pour Ressources Falco Ltée, Montréal, 1er mars 2022, 74 p., figures et annexes. No de réf.: GAL111-19122243-3-RF-Rev0.
- Golder, 2022b. *Rapport du bilan d'eau du projet Horne 5*, rapport préparé pour Ressources Falco Ltée, Montréal, 25 février 2022, 37 p. et annexes. No de réf. : GAL113-19122243-RF-Rev2.
- Golder, 2022c. *Projet Horne 5 – Revue de la classification géochimique de matériaux miniers selon le Guide de caractérisation des résidus miniers et du minerai (MELCC, 2020)*, mémorandum technique préparé pour Ressources Falco Ltée, Montréal, 25 février 2022, 12 p. et tableau. No de réf. : GAL272-2148284001-21003-Rev0.
- Golder, 2022d. *Compte-rendu de visite de site pour l'évaluation des contraintes liées à la conception des fossés de dérivations projetés au site des IGRM*, mémorandum technique préparé pour Ressources Falco Ltée, Montréal, 13 octobre 2022, 15 p. et figure. No de réf. : GAL308-2148284007-22001-Rev2.
- Hynes-Griffin, Mary E. et Arley G. Franklin, 1984. *Rationalizing the Seismic Coefficient Method*, préparé pour Department of the Army, US Army Corps of Engineers, Vicksburg, juillet 1984, 21 p.
- Itasca, 2011. FLAC, version 7.
- LégisQuébec, Publications Québec. *Article 232.1 de la Loi sur les mines, chapitre M 13.1*, à jour au 18 mars 2021.
- Makdisi, F. I. et H. B. Seed. 1978. « Simplified procedures for estimating dam and embankment earthquake-induced deformations », *Journal of the Geotechnical Engineering*, Division-ASCE, vol. 104, p. 849-867.
- MineBridge Software, 2011. *Muk3D*.
- Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN), 2017. *Guide de préparation du plan de réaménagement et de restauration des sites miniers au Québec*, Direction de la restauration des sites miniers, 2e éd., Québec, novembre 2017, 56 p. et annexes.

- MERN, 2021. *Plan de travail 2021-2022 – Restauration des sites miniers abandonnés*, juillet 2021 [consulté le 23 novembre 2021], https://mern.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/PL_restoration_site_minier_2021-2022.pdf, 13 p.
- Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP), 2012. *Directive 019 sur l'industrie minière*, Québec, 66 p. et annexes.
- MELCCFP, 2017. Manuel de calcul et de conception des ouvrages municipaux de gestion des eaux pluviales, Québec, mars 2017 (rév. avril 2017), 102 p. et annexes.
- MELCCFP, 2020. *Guide de caractérisation des résidus miniers et du minier*, Québec, juin 2020, 52 p.
- Plaxis, 2012. *Plaxis*.
- Ressources Falco Ltée (Falco), 2017. *NI 43-101 Technical Report, Feasibility Study, Horne 5 Gold Project, Rouyn-Noranda, Québec, Canada*, 5 octobre 2017. No de réf. : 3532003-000000-40-ERA-0002-R00.
- Falco, 2021. *NI 43-101 Technical Report, Feasibility Study Update, Horne 5 Gold Project, Rouyn-Noranda, Québec, Canada*, 28 avril 2021. No de réf. : 3532009-000000-40-ERA-0001-R00.
- Séismes Canada, 2021a. *Les zones sismiques dans l'Est du Canada*, site internet, [modifié le 6 avril 2021, consulté le 21 février 2023], <https://www.seismescanada.rncan.gc.ca/zones/eastcan-fr.php?wbdisable=true>.
- Séismes Canada, 2021b. *Aléa sismique à faible probabilité et Code national du bâtiment du Canada*, site internet [modifié le 6 avril 2021, consulté le 13 février 2023] <https://earthquakescanada.rncan.gc.ca/hazard-alea/interpolat/lowprobability-fr.php>.
- Swaisgood, J. R. 1998. *Seismically induced deformation of embankment dams*, 6th US National Conference on Earthquake Engineering, Seattle, Washington.
- Swaisgood, J. R. 2003. *Embankment Dam Deformations Caused by Earthquakes*, 2003 Pacific Conference on Earthquake Engineering, Paper #14.
- Unité de recherche et de service en technologie minérale de l'Abitibi-Témiscamingue (URSTM), 2019. *Programme d'essais sur les remblais cimentés et pâte et la disposition de rejets sulfureux du projet Horne 5 : Essais complémentaires*, rapport intermédiaire préparé pour Ressources Falco Ltée, Villeneuve, M. et M. Benzaazoua, Rouyn-Noranda, janvier 2019, 37 p. No de réf. : PU-2015-05-1067.
- WSP Canada Inc. (WSP), 2023a. *Investigation géotechnique au nord du site des IGRM, Projet Horne 5, Rouyn-Noranda, Québec*, rapport préparé pour Ressources Falco Ltée, Montréal, 13 janvier 2023, 22 p., figures et annexes. No de réf. : GAL292-2148284003-22001-RF-Rev0.

FIGURE A

**Aires d'accumulation et
infrastructures de gestion des eaux
de surface à la fin de l'exploitation
(étape 5 de déposition)**

