

 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : E. Fried Révisé par : C. Bélanger		
		Rév	Date	Page
	641991-5000-4WER-0001	PC	31 mai 2017	i

Titre du document :

MODÉLISATION DE L'ÉCOULEMENT DE L'EAU SOUTERRAINE ET DU TRANSPORT DE CONTAMINANTS POUR LA FUTURE HALDE À STÉRILES

--- **PR8.2**

Projet d'exploitation du gisement de graphite naturel du Lac-Guérét dans la MRC de Manicouagan

Client :

MASON GRAPHITE

6211-08-017

Projet :

ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE ET MODÉLISATION NUMÉRIQUE POUR LE SITE DE LA MINE DU PROJET LAC-GUÉRET

Préparé par : Eliane Fried, ing., M.Sc.A

Révisé par : Christian Bélanger, ing., M.Sc.A

Approuvé par : Géraldine Cosset, ing., M.Sc.A.

 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : E. Fried Révisé par : C. Bélanger		
			Rév	Date	Page
	641991-5000-4WER-0001		PC	31 mai 2017	ii

LISTE DES RÉVISIONS APPORTÉES AU DOCUMENT

Révision				Pages Révisées	Remarques
#	Prép.	App.	Date		
PA	EF	CB		Toutes	Émission pour révision interne
PB	EF	CB	19 mai 2017	20 pages	Émission partielle pour client
PC	EF	CB	31 mai 2017	Toutes	Emission pour commentaires du client

AVIS AU LECTEUR

Ce document fait état de l'opinion professionnelle de SNC-Lavalin inc. («SNC-Lavalin») quant aux sujets qui y sont abordés. Son opinion a été formulée en se basant sur ses compétences professionnelles en la matière et avec les précautions qui s'imposent. Le document doit être interprété dans le contexte de la convention en date du 6 octobre 2016 (la «Convention») intervenue entre SNC-Lavalin et Mason Graphite (le «Client»), ainsi que de la méthodologie, des procédures et des techniques utilisées, des hypothèses de SNC-Lavalin ainsi que des circonstances et des contraintes qui ont prévalu lors de l'exécution de ce mandat. Ce document n'a pour raison d'être que l'objectif défini dans la Convention et est au seul usage du Client, dont les recours sont limités à ceux prévus dans la Convention. Il doit être lu comme un tout, à savoir qu'une portion ou un extrait isolé ne peut être pris hors contexte.

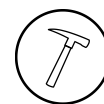
En préparant ses estimations, le cas échéant, SNC-Lavalin a suivi une méthode et des procédures et pris les précautions appropriées au degré d'exactitude visé, en se basant sur ses compétences professionnelles en la matière et avec les précautions qui s'imposent, et est d'opinion qu'il y a une forte probabilité que les valeurs réelles seront compatibles aux estimations. Cependant, l'exactitude de ces estimations ne peut être garantie. À moins d'indication contraire expresse, SNC-Lavalin n'a pas contre-vérifié les hypothèses, données et renseignements en provenance d'autres sources (dont le Client, les autres consultants, laboratoires d'essai, fournisseurs d'équipements, etc.) et sur lesquelles est fondée son opinion. SNC-Lavalin n'en assume nullement l'exactitude et décline toute responsabilité à leur égard.

Dans toute la mesure permise par les lois applicables, SNC-Lavalin décline en outre toute responsabilité envers le Client et les tiers en ce qui a trait à l'utilisation (publication, renvoi, référence, citation ou diffusion) de tout ou partie du présent document, ainsi que toute décision prise ou action entreprise sur la foi dudit document.

 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : E. Fried		
		Révisé par : C. Bélanger		
	641991-5000-4WER-0001	Rév	Date	Page
	PC	31 mai 2017	iii	

TABLE DES MATIÈRES

1.0	Introduction	1
1.1	Contexte	1
1.2	Mandat et objectifs	1
1.3	Méthodologie	1
2.0	Modèle conceptuel	2
2.1	Halde à stériles	2
2.2	Travaux de terrain	2
2.3	Piézométrie	2
2.4	Topographie	3
2.5	Propriétés hydrogéologiques des unités stratigraphiques	3
2.5.1	Couche superficielle	3
2.5.2	Dépôt meuble sableux	4
2.5.3	Dépôt meuble d'origine glaciaire	4
2.5.4	Socle rocheux	4
2.6	Paramètres hydrologiques et calcul de la recharge théorique	4
2.6.1	Ruissellement en amont de la halde	5
2.6.2	Ruissellement dans le secteur de la halde	5
2.6.3	Ruissellement en aval de la halde	5
3.0	Modélisation hydrogéologique	6
3.1	Modèle hydrogéologique et calibration	6
3.1.1	Logiciel de simulation numérique	6
3.1.2	Processus sélectionné pour la calibration	6
3.2	Élaboration et calibration du modèle	6
3.2.1	Élaboration du modèle numérique	6
3.2.2	Calibration du modèle et détermination de la recharge	8
3.2.3	Réseau d'écoulement simulé par le modèle numérique	9
3.3	Modélisation numérique avec la halde à stériles	10
3.3.1	Réseau d'écoulement avec la halde à stériles	10
3.3.2	Débits en fond de halde	10
4.0	Modélisation de transport de contaminants	11
4.1	Géochimie des résidus	11
4.2	Paramètres du modèle de transport	12
4.3	Critères applicables	13
4.4	Teneurs de fond	14
4.5	Panaches de contamination modélisés	14
5.0	Limites et recommandations	15
6.0	Conclusion	16
7.0	Références	17



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : E. Fried Révisé par : C. Bélanger		
		Rév	Date	Page
	641991-5000-4WER-0001	PC	31 mai 2017	iv

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1 : Niveaux d'eau mesurés utilisés pour la carte piézométrique.....	3
Tableau 2-2 : Données hydrologiques et calculs de recharge	5
Tableau 3-1 : Tableau récapitulatif du modèle numérique de la coupe	8
Tableau 3-2 : Infiltration utilisée pour la calibration du modèle	9
Tableau 3-3 : Débits en fond de halde	10
Tableau 4-1 : Paramètres de transport de contaminants.....	13
Tableau 4-2 : Critères prescrits par le MDDELCC pour les concentrations en manganèse dissous dans l'eau souterraine en fonction du récepteur (MDDELCC, 2016)	13
Tableau 4-3 : Teneurs de fond mesurées au site de la mine (Qualitas, 2015)	14
Tableau 4-4 : Résultats des simulations de transport de contaminants.....	15

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A : Figures



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : E. Fried		
		Révisé par : C. Bélanger		
	641991-5000-4WER-0001	Rév	Date	Page
	PC	31 mai 2017	1	

1.0 Introduction

1.1 Contexte

Mason Graphite Inc. (Mason Graphite) a acquis les droits miniers pour l'exploitation d'un gisement de graphite situé près du Lac Guéret à environ 80 km au nord-ouest du barrage Daniel Johnson (Manic 5), dans le nord du Québec. L'exploitation de la mine se fera à ciel ouvert et une halde à stériles sera construite à proximité de la fosse. L'usine de traitement du minerai et le parc à résidus seront construits près de la ville de Baie-Comeau, dans le parc industriel Jean-Noël Tessier à 285 km au sud du site minier (voir figure 1 de l'annexe A).

En septembre 2015, Mason Graphite a complété l'étude de faisabilité et souhaite débiter la construction des infrastructures au site à l'été 2017. À l'égard des exigences sur les eaux souterraines de la Directive 019, une campagne d'investigation géotechnique a été réalisée au site du lac Guéret à l'automne 2014 (Qualitas, 2015).

Mason Graphite a mandaté SNC-Lavalin pour réaliser une modélisation numérique de l'écoulement de l'eau souterraine au site de la future halde à stériles afin de vérifier que sa conception respecte les exigences de la Directive 019, notamment un débit de percolation en fond de 3,3 l/m²/jour. En effet, les résultats de caractérisation géochimique indiquent que les stériles sont potentiellement lixiviables. Des mesures d'étanchéité de niveau A pourraient être requises.

1.2 Mandat et objectifs

Ce mandat est réalisé dans le cadre de la demande d'autorisation pour la construction de la halde à stériles. Les présents travaux de modélisation hydrogéologique se basent sur les données géologiques et hydrogéologiques disponibles. L'objectif du travail est de construire un modèle numérique spécifique au secteur de la halde à stériles qui permettra de :

- > Estimer les conditions actuelles d'écoulement souterrain au site;
- > Évaluer l'impact de la construction de la halde à stériles sur le réseau d'écoulement existant;
- > Déterminer le débit de percolation à la base de la halde à stériles;
- > Prédire le transport de contamination en phase dissoute dans l'eau souterraine par le processus d'advection-dispersion à partir de la halde à stériles;
- > Élaborer des recommandations et un programme de suivi en regard des résultats obtenus.

1.3 Méthodologie

Le travail a été réalisé en deux étapes distinctes, soit la modélisation hydrogéologique de l'eau souterraine avec le logiciel Seep/W 2016 puis la modélisation de transport de contaminants à l'aide du logiciel CTran/W 2016. Les principales étapes du mandat sont les suivantes:

1. Développer un modèle conceptuel du secteur de la future halde à stériles qui permet de construire des modèles numériques 2D en coupe dans Seep/W (figure 4 de l'Annexe A).
2. Calibrer le modèle en coupe sur la base des observations de terrain afin de représenter adéquatement l'écoulement existant;
3. Intégrer la halde à stériles au modèle afin de déterminer le nouveau réseau d'écoulement de l'eau souterraine et de déterminer les débits de percolation en fond de halde (figure 5 de l'Annexe A) ;



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : E. Fried		
		Révisé par : C. Bélanger		
	641991-5000-4WER-0001	Rév	Date	Page
	PC	31 mai 2017	2	

4. Importer le réseau d'écoulement de l'eau souterraine défini à l'aide de Seep/W dans Ctran/W afin de simuler le transport des contaminants en phase dissoute.

2.0 Modèle conceptuel

2.1 Halde à stériles

Localisé à l'est de la future fosse, la halde à stériles aura une superficie approximative de 7,5 hectares et une hauteur maximale de 50 m. Elle sera construite en deux paliers de 25 m de hauteur chacun avec une pente de 36°. Les eaux de ruissellement de la halde seront dirigées vers le bassin de collecte situé au sud-est de celle-ci. Les eaux de ruissellement propres en périphérie seront dérivées vers un bassin de collecte d'eaux propres ou dans le milieu naturel afin de réduire les volumes de lixiviats à gérer.

Les pentes du terrain naturel sous la halde sont de 20 à 30% ce qui favorise grandement le ruissellement de l'eau et réduit donc les quantités d'eau qui pourront s'infiltrer.

2.2 Travaux de terrain

Les forages et installations piézométriques ainsi que les essais suivants réalisés lors de la campagne de terrain de Qualitas (2015), ont été utilisés dans le cadre de ce mandat :

- > Onze (11) forages (BH-14-01i à BH-14-10) avec relevés optique et acoustique ainsi que les mesures de la vitesse des ondes P et S dans huit (8) d'entre eux.
- > Installation de quatre (4) piézomètres à corde vibrante (BH-14-1i, BH-14-03i, BH-14-05i et BH-14-07i);
- > Installation de six (6) puits d'observation (BH-14-02, BH-14-04, BH-14-06, BH-14-08, BH-14-09 et BH-14-10);
- > Détermination de la conductivité hydraulique à l'aide d'essai d'injection de l'eau sous pression (essai "packer") dans huit (8) forages (BH-14-01i à BH-14-08 sauf BH-14-02B).

Essais de laboratoire :

- > Sur les échantillons de sols : Teneur en eau et granulométrie;
- > Sur les échantillons de roc : Essais de compression et résistance mécanique;
- > Sur les échantillons d'eau souterraine : paramètres de base, métaux dissous, hydrocarbures, phénols, composés soufrés et cyanurés, radium 226 et toxicité.

2.3 Piézométrie

Aucune donnée de piézométrie n'est disponible dans le secteur de la halde à stériles au moment de la réalisation de ce mandat. Toutefois, le suivi piézométrique réalisé entre le 29 octobre 2014 et 15 décembre 2014 à partir des instruments placés autour de la future fosse nous ont permis d'observer que l'écoulement de surface se fait du nord-ouest vers le sud-est depuis les affleurements rocheux situés à l'ouest du site vers un ruisseau situé à l'est dans un point bas.

Les résultats du relevé piézométrique réalisé le 11 décembre 2014 donnés au tableau 2-1 ont permis de tracer une carte piézométrique du secteur (voir figure 3 de l'Annexe A) et montre que la profondeur de la nappe au site de la mine est variable. Dans les points bas et les plateaux, la nappe est affleurante alors que dans les points



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : E. Fried Révisé par : C. Bélanger		
			Rév	Date	Page
	641991-5000-4WER-0001		PC	31 mai 2017	3

topographiques élevés, elle peut atteindre plus de 12 m de profondeur. La profondeur moyenne de la nappe est de 5 m. Le gradient hydraulique dans ce secteur est important et est estimé à approximativement 0,1 m/m (10%).

Tableau 2-1 : Niveaux d'eau mesurés utilisés pour la carte piézométrique

Nom	X (m)	Y (m)	Z (m)	Élévation du niveau piézométrique (m)	Profondeur du niveau piézométrique verticale (m)	Date
BH-14-01i	495786	5663925	537,97	533,18	4,79	11 décembre 2014
BH-14-02	495882	5663987	524,34	517,44	6,90	
BH-14-03i	496000	5664082	518,69	512,38	6,31	
BH-14-04	496028	5663916	504,08	502,06	2,02	
BH-14-05i	495959	5663770	504,51	501,49	3,02	
BH-14-06	495837	5663689	504,66	504,66	0,00	
BH-14-07i	495682	5663690	539,34	527,73	11,61	
BH-14-08	495666	5663821	542,76	530,49	12,27	
BH-14-09	496205	5663820	479,00	477,97	1,03	
BH-14-10	495333	5663982	566,00	565,49	0,51	

i = piézomètres inclinés

2.4 Topographie

La topographie a été déterminée à partir d'un Lidar réalisé en 2016. Généralement, le site à l'étude se caractérise par une alternance de buttes rocheuses et de dépressions. La halde à stériles sera appuyée au nord-ouest sur un butte rocheuse dont le sommet s'élève à 530 m. Elle sera installée sur sa pente inclinée vers le sud-est. Le bas de la pile sera localisé sur un plateau dont l'élévation est comprise entre 445 et 448 m. Plus en aval, on retrouve une dépression où se drainent les eaux de ruissellement et de résurgence des buttes rocheuses localisées au nord-est. Un ruisseau intermittent, localisé le long de la limite sud-ouest de la halde tel qu'observé à la figure 2 (Annexe A), sera utilisé pour dériver les eaux propres vers le milieu environnant.

2.5 Propriétés hydrogéologiques des unités stratigraphiques

La stratigraphie du site, présentée dans ce qui suit, a été extraite des rapports de forage BH-14-01 à BH-14-10 provenant de l'étude géotechnique réalisée par Qualitas (Qualitas, 2015).

2.5.1 Couche superficielle

Une couche de matière organique de moins de 0,1 m d'épaisseur a été identifiée au forage BH-14-09 et BH-14-10.



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : E. Fried		
		Révisé par : C. Bélanger		
	641991-5000-4WER-0001	Rév	Date	Page
	PC	31 mai 2017	4	

2.5.2 Dépôt meuble sableux

Un horizon de sable perméable d'une épaisseur de 3,6 m a été rencontré localement dans le forage BH-14-09 situé dans un point bas topographique. La conductivité hydraulique présumée de cet horizon est de 5×10^{-5} m/s (Domenico et Schwartz, 1990).

La méthode de prédiction de la conductivité hydraulique saturée de Chapuis (Chapuis, 2004) a été utilisée pour confirmer cette valeur. Selon les courbes granulométriques réalisées sur quatre (4) échantillons de sable collectés dans le forage BH-14-09, des valeurs de conductivité hydraulique variant de $4,89 \times 10^{-5}$ à $1,65 \times 10^{-5}$ m/s, pour une valeur moyenne de $3,73 \times 10^{-5}$ m/s, sont obtenues.

2.5.3 Dépôt meuble d'origine glaciaire

Un dépôt meuble et peu perméable et de faible épaisseur (moyenne de 4 m) qui limite l'infiltration des eaux de précipitations et de ruissellement est rencontré sur la vaste majorité du futur projet minier à l'étude. En fonction de la granulométrie étalée de ce type de dépôt, la conductivité hydraulique de cette couche stratigraphique a été estimée de l'ordre de 1×10^{-7} m/s. Cette valeur de conductivité hydraulique présumée témoigne d'un milieu superficiel modérément à peu perméable qui réduit en partie la recharge verticale vers le milieu rocheux sous-jacent.

À titre de comparaison, les conductivités hydrauliques typiques pour un till glaciaire sont de l'ordre de 10^{-5} à 10^{-9} m/s (selon Holtz et Kovacks, 1991).

2.5.4 Socle rocheux

Le socle rocheux possède des réseaux de fracturation plus ou moins ouverts dans lesquels les eaux de surface et de la nappe superficielle s'infiltrent sous le couvert meuble et migrent verticalement jusqu'au niveau de la nappe libre. Les eaux d'infiltration s'écoulent ensuite horizontalement suivant la topographie locale vers des zones de résurgences potentielles d'eaux souterraines localisées au sud-est du site.

Les essais « packer » réalisés dans l'unité de roc, ont donné une conductivité hydraulique moyenne de $1,95 \times 10^{-7}$ m/s, avec une plage de valeurs allant de $4,1 \times 10^{-6}$ m/s à des valeurs inférieures à $1,00 \times 10^{-7}$ m/s (limite de l'appareil). Le socle rocheux a été scindé en deux unités stratigraphiques: une unité de roc de surface altéré et une unité de roc profond sain.

2.6 Paramètres hydrologiques et calcul de la recharge théorique

Les données hydrologiques sont tirées du rapport Hatch (2016) sur la gestion des eaux au site du concentrateur. Les données de précipitations proviennent de la station Baie-Comeau (Environnement Canada) et sont la moyenne des valeurs mensuelles obtenues pour la période de 1981-2010. Les données d'évaporation proviennent aussi de l'Atlas hydrologique du Canada (1978). Les coefficients de ruissellement ont été déterminés à partir du tableau de classification hydrologique en zone rurale (MTQ, 1995). La recharge théorique est calculée à partir des paramètres d'hydrologie disponibles. Elle équivaut aux précipitations moins l'évapotranspiration et le ruissellement selon l'équation :

$$\text{Recharge} = \text{Précipitations} - \text{Évapotranspiration} - \text{Ruissellement}$$

Les conditions de ruissellement sont différentes dans les secteurs amont et aval de la halde ainsi que dans l'empreinte de celle-ci. Cette estimation ne présente qu'une appréciation du phénomène de la recharge qui sera ensuite précisée grâce au processus de calibration.



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : E. Fried		
		Révisé par : C. Bélanger		
	641991-5000-4WER-0001	Rév	Date	Page
	PC	31 mai 2017	5	

2.6.1 Ruissellement en amont de la halde

En amont de la halde, il est présumé que la couche superficielle du sol est constituée d'un dépôt meuble peu perméable (classe C) et la topographie est montagneuse. Le coefficient de ruissellement est estimé à 0,56.

2.6.2 Ruissellement dans le secteur de la halde

Étant donné que la halde à stériles sera constituée d'un matériel très perméable, deux surfaces de ruissellement distinctes sont à prendre en compte : le ruissellement sur la halde et le ruissellement à la base de la halde. Les deux coefficients de ruissellement ont été déterminés selon les critères suivants :

- > Ruissellement en surface de la halde : pour un matériel très perméable (classe A) et une topographie plate sans végétation, le coefficient de ruissellement générique est de 0,08.
- > Ruissellement à la base de la halde (sur le terrain naturel) : pour un matériel peu perméable lorsque saturé (classe C) et une topographie montagneuse sans végétation, le coefficient de ruissellement générique est de 0,56.

2.6.3 Ruissellement en aval de la halde

En aval de la halde, il est présumé que la couche superficielle du sol est constituée de sable fin à sable silteux partiellement saturé (classe C) et la topographie est vallonnée (pente de 2,5 à 6 %). Le coefficient de ruissellement est estimé à 0,38.

Les paramètres hydrologiques utilisés et les résultats du calcul de la recharge théorique selon les secteurs sont résumés au Tableau 2-1.

Tableau 2-2 : Données hydrologiques et calculs de recharge

Paramètre	En amont	Sur la halde	En aval
Précipitations (P)	1001 mm/an		
Évapotranspiration (E)	280 à 450 mm/an*		
Ruissellement en amont de la halde (Cr=0,56)	561 mm/an	-	-
Ruissellement sur la halde (Cr=0,08) – plat avec sols du groupe A (sable ou gravier bien drainé)	-	80 mm/an	-
Ruissellement à la base de la halde (Cr=0,56)	-	359 mm/an	-
Ruissellement en aval de la halde (Cr=0,38) – plat de 2.5 à 6% – groupe C (sable fin à sable silteux nappe en surface)	-		380 mm/an
Recharge (R) -	75 mm/an	197 mm/an	256 mm/an

* Valeurs tirées de l'Abaque Hydrologique du Canada et de Hatch (2016).



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : E. Fried		
		Révisé par : C. Bélanger		
	641991-5000-4WER-0001	Rév	Date	Page
	PC	31 mai 2017	6	

3.0 Modélisation hydrogéologique

3.1 Modèle hydrogéologique et calibration

3.1.1 Logiciel de simulation numérique

Dans le cadre de ce mandat, le logiciel Seep/W 2016 (Suite Geoslope International) a été utilisé pour développer un modèle numérique en coupe 2D en condition saturée et régime d'écoulement permanent. Un premier modèle représentant les conditions d'écoulement naturel du site a été construit et calibré en considérant le comportement global de la nappe piézométrique au site de la mine. La halde à stériles a été ajoutée à ce modèle puis les débits d'infiltrations au fond de la halde ont été déterminés.

Par la suite, le modèle numérique d'écoulement de l'eau souterraine avec la halde à stériles a été importé dans le logiciel Ctran/W 2016 (Suite Geoslope International) afin de déterminer le transport potentiel de la contamination en phase dissoute causée par la percolation du lixiviat.

Seep/W est un logiciel d'éléments finis permettant de simuler l'écoulement souterrain de l'eau et la dissipation de pression d'eau interstitielle dans un milieu poreux tel un sol ou le socle rocheux. Il permet d'analyser des conditions d'écoulement simples en régime permanent et milieu saturé, mais aussi des conditions plus complexes avec des milieux saturés et non-saturés en condition transitoire.

Ctran/W est un logiciel d'éléments finis, développé afin d'être utilisé conjointement avec Seep/W, pour simuler le mouvement de contaminants en phase dissoute à travers des matériaux poreux tels un sol ou le socle rocheux (porosité équivalente). Il permet d'analyser des conditions de transport simples (suivi de particules) jusqu'à des procédés de transport plus complexes incluant la diffusion, la dispersion, l'adsorption et la cinétique de dégradation de premier ordre.

Seep/W et Ctran/W sont des logiciels de modélisation reconnus et fréquemment utilisés dans le cadre d'étude et de conception dans le domaine du génie civil, de la géotechnique et de l'hydrogéologie.

3.1.2 Processus sélectionné pour la calibration

Le modèle numérique présentant l'écoulement de l'eau souterraine dans le secteur de la future halde n'a pas pu être directement calibré du fait de l'absence de données de piézométrie dans ce secteur. Ainsi le modèle a été calibré en fonction des données de piézométrie du secteur de la future fosse situé à environ 300 m et jugée représentatif du secteur, des données de la topographie le long de la coupe sélectionnée et du bilan hydrique potentiel.

3.2 Élaboration et calibration du modèle

3.2.1 Élaboration du modèle numérique

La coupe d'orientation nord-ouest / sud-est a été choisie perpendiculairement à la topographie dans l'axe longitudinal de la future halde (voir figure 2 en Annexe A) et dans le sens de l'écoulement souterrain.

Le modèle numérique est basé sur le modèle conceptuel décrit plus haut et déterminé à partir des informations obtenues sur le terrain lors de la campagne réalisée en 2015 (Qualitas, 2015).

Les principaux paramètres du modèle sont les suivants :

- > La géométrie a été construite selon les données stratigraphiques obtenues des forages suivants : BH-14-01i à BH-14-09.



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : E. Fried	
			Révisé par : C. Bélanger	
		Rév	Date	Page
	641991-5000-4WER-0001	PC	31 mai 2017	7

- > Un maillage automatique a été généré par Seep/W avec une contrainte de taille moyenne d'éléments n'excédant pas 5 m.
- > Une unité de dépôt meuble de surface de 4 m constitue la couche de surface du modèle. Cette unité est composée dans les points topographiques plus élevés de till glaciaire ($k = 2 \times 10^{-07}$ m/s) alors que la zone vallonnée au sud-ouest du site est formée de sable ($k = 5 \times 10^{-05}$ m/s) observé au piézomètre BH-14-09.
- > L'unité de roc sous-jacente a été scindée en deux : une unité de roc plus perméable en surface d'environ 50 m d'épaisseur ($k=1 \times 10^{-06}$ m/s) et une unité de roc sain ($k=1 \times 10^{-07}$ m/s) sur l'épaisseur restante du modèle. Ces valeurs de conductivité hydraulique sont conservatrices puisqu'elles se trouvent dans la limite supérieure de l'intervalle de valeurs mesurées sur le terrain.
- > La condition frontière amont est assignée en fonction des résultats de lecture de niveau d'eau dans les puits installés autour de la fosse et de la topographie dans l'axe de la coupe. Il en résulte une condition de charge constante amont approximative de 510 m.
- > La condition frontière aval a été définie à l'intersection de la coupe et d'un ruisseau en aval de la future halde avec une condition de charge constante égale à 432 m (nappe quasi-affleurante).
- > L'infiltration a été ajustée lors du processus de calibration afin de refléter la nature généralement peu perméable des unités hydrogéologiques du till et du socle rocheux.

La figure 4 à l'annexe A présente la distribution spatiale des unités hydrogéologiques ainsi que les conditions frontière assignées au modèle. Le tableau 3-1 suivant résume les caractéristiques du modèle construit.



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : E. Fried		
			Révisé par : C. Bélanger		
			Rév	Date	Page
		641991-5000-4WER-0001	PC	31 mai 2017	8

Tableau 3-1 : Tableau récapitulatif du modèle numérique de la coupe

Paramètre			Valeurs	
Type d'analyse			2D	
Régime			Permanent	
Écoulement			Saturé	
Géométrie	Élévation	Maximale	526	m
		Minimale (ruisseau)	433	m
	Longueur de la coupe		1427	m
Maillage	Éléments		9237	
	Nœuds		9509	
Conductivités hydrauliques sélectionnées	Sable	$K_{\text{saturé}}$	5,00E-05	m/s
	Dépôt glaciaire peu perméable (till)	$K_{\text{saturé}}$	2,00E-07	m/s
	Socle rocheux	K_{surface}	1,00E-06	m/s
		K_{profond}	1,00E-07	m/s
Conditions frontière	Condition de charge constante ($h=cte$)	Amont hydraulique	510	M
		Aval hydraulique (ruisseau)	432	M
	Condition frontière d'exfiltration	Au pied de la future halde		
	Recharge	Obtenue par calibration		

3.2.2 Calibration du modèle et détermination de la recharge

Au cours du processus de calibration, le modèle numérique est ajusté grâce aux paramètres hydrogéologiques existants afin de vérifier qu'il reproduit bien le réseau d'écoulement et les charges hydrauliques mesurées sur le terrain à partir des données d'entrée et des conditions limites appliquées au modèle. Le but de la calibration est de déterminer un ensemble de paramètres entrants du modèle qui minimise la différence entre les charges hydrauliques simulées et mesurées.

Dans ce modèle le paramètre présentant la plus grande incertitude est la recharge et ainsi ce paramètre a été ajusté en modifiant le moins possible les autres paramètres mesurés sur le terrain (conductivités hydrauliques des matériaux, niveaux piézométriques et gradients hydrauliques).

Il est à noter que la valeur sélectionnée pour la conductivité hydraulique du roc de surface correspond à la limite supérieure des valeurs de conductivité mesurées lors des essais « packer ». L'évaluation de l'infiltration à la base de la halde sera donc réalisée dans des conditions conservatrices.



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : E. Fried		
			Révisé par : C. Bélanger		
			Rév	Date	Page
	641991-5000-4WER-0001	PC	31 mai 2017	9	

Les valeurs d'infiltrations utilisées dans le modèle sont présentées au tableau 3-2. Ces valeurs sont relativement plus faibles que les valeurs moyennes théoriques calculées à la section 2.6. Les valeurs théoriques sont des moyennes réalisées sur plusieurs années et donnent un ordre de grandeur de la recharge efficace attendue. En effet, la recharge théorique a été ajustée et calibrée en fonction des aspects suivants du modèle :

- > Pente de la zone du modèle : Une pente abrupte est associée à un taux d'infiltration généralement plus faible.
- > Niveau de la nappe : Lorsque la nappe est au niveau du sol ou au niveau du ruisseau intermittent en aval de la halde, il y a peu de possibilités d'infiltration dans le sol.
- > Conductivité hydraulique du matériau de surface : En présence d'un matériau peu perméable, l'infiltration assignée est peu élevée.

Le tableau 3-2 présente la façon dont a été assigné dans le modèle, les infiltrations nulles à maximales. Les caractéristiques de la zone d'infiltration, la pente, le niveau piézométrique et/ou la conductivité hydraulique du milieu sous-jacent ont été considérées afin que la recharge assignée respecte au mieux et dans la mesure du possible les principes énoncés ci-dessus. Il faut toutefois rappeler que le modèle est une simplification d'un milieu réel plus complexe et que la recharge est un paramètre suffisamment aléatoire pour que les zones d'infiltrations assignées conservent une certaine souplesse en fonction du modèle calibré.

Tableau 3-2 : Infiltration utilisée pour la calibration du modèle

Paramètres	Valeurs		Couleur aux figures 3 à 6	Conditions (topographie, piézométrie, conductivité hydraulique)
	m/s	mm/an		
Infiltration nulle	0	0	N/A	Forte pente et matériau peu perméable (till $k=2 \times 10^{-7}$ m/s) OU Nappe affleurante
Infiltration faible	$3,2 \times 10^{-10}$	10	Bleu pâle	Vallonné et matériel peu perméable (till $k=2 \times 10^{-7}$ m/s)
Infiltration moyenne	$6,3 \times 10^{-9}$	20	Turquoise	Légèrement vallonné, piézométrie en profondeur et matériel peu perméable (till $k=2 \times 10^{-7}$ m/s)
Infiltration plus élevée	$1,3 \times 10^{-9}$	40	Vert	Légèrement vallonné, piézométrie en profondeur et matériel plus perméable (sable $k=5 \times 10^{-5}$ m/s)
Infiltration maximale	$1,9 \times 10^{-9}$	60	Bleu-vert	Terrain plat ou en cuvette, piézométrie en profondeur, et matériel plus perméable (sable $k=5 \times 10^{-5}$ m/s)

3.2.3 Réseau d'écoulement simulé par le modèle numérique

La coupe de la figure 5 de l'Annexe A présente le réseau d'écoulement modélisé pour le site de la future halde à stériles. Le relevé piézométrique réalisé au site de la mine montre que dans les points topographiques élevés la nappe est plus profonde et peut atteindre plus de 12 m de profondeur alors que dans les plateaux et points topographiques bas la nappe est affleurante ou à quelques mètres sous le niveau du terrain. Ainsi, il est observé que, dans l'empreinte de la future halde où le terrain est vallonné et se trouve dans une zone topographique élevée, le niveau de la nappe simulé est relativement profonde (jusqu'à 20 m au niveau du point topographique le plus élevé) alors qu'au pied de la halde dans une zone de plateau la nappe affleure et se trouve à quelques mètres sous la surface. À cet endroit, l'élévation de la nappe modélisée varierait entre 450 et 479 m. Le modèle numérique



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : E. Fried	
			Révisé par : C. Bélanger	
			Rév	Date
	641991-5000-4WER-0001	PC	31 mai 2017	10

de la halde à stériles représente bien les niveaux de nappe attendus en observant le relevé piézométrique au site de la mine. Le gradient hydraulique simulé dans le secteur de la halde est de 5,5%. Il est légèrement inférieur à celui observé dans le secteur de la mine (10%), mais celui-ci demeure dans le même ordre de grandeur.

Il est également observé un écoulement préférentiel dans la couche de sable localisée en aval de l'empreinte de la future halde à stériles (zone de plateau).

3.3 Modélisation numérique avec la halde à stériles

Le modèle numérique d'écoulement souterrain calibré a été modifié pour intégrer la halde à stériles et définir un nouveau réseau d'écoulement souterrain (voir figure 6 de l'Annexe A). Les changements suivants ont été apportés aux modèles :

- > Intégration de la halde à stériles dans sa configuration finale au modèle numérique avec une conductivité hydraulique saturée des stériles de 1×10^{-4} m/s. Cette valeur est la moyenne tirée de l'étude du NEDEM publiée en 1995 sur l'hydrogéologie des halde à stériles (NEDEM, 1995). Le comportement hydrogéologique des stériles est simulé en mode saturé/désaturé à l'aide de fonction de teneur en eau et de conductivité hydraulique standard.
- > Une recharge est appliquée sur le sommet de la halde. Cette valeur de 20 mm/an représente une recharge faible par rapport aux recharges appliquées sur le modèle. Elle a été appliquée en considérant que c'est la surface du till à la base de la halde qui contrôle l'écoulement et correspond à la moyenne de recharge appliquée dans le modèle des conditions naturelles calibré (i.e. avant l'ajout de la halde) dans l'empreinte de la future halde (recharge de 10 mm/an à 20 mm/an). Cette surface présente des pentes abruptes qui limitent l'infiltration.

3.3.1 Réseau d'écoulement avec la halde à stériles

La figure 7 en Annexe A présente le réseau d'écoulement modélisé pour le modèle incluant la halde. Le réseau d'écoulement est relativement similaire à celui simulé antérieurement à la construction de la halde à stériles. Il est toutefois noté qu'au pied de la halde, l'eau fait résurgence tel qu'illustrée par les lignes d'écoulement sur la figure. À cet endroit, le niveau de la nappe est légèrement inférieur à celui qui avait été simulé sans la halde, s'expliquant probablement par la plus faible recharge effective et la résurgence au pied de la halde.

3.3.2 Débits en fond de halde

Le débit d'infiltration modélisé en fond de halde à stériles est présenté dans le tableau 3-3. Pour déterminer ce débit, une ligne de flux a été assignée à la base de la halde afin d'obtenir un débit en m^3/sec , qui a été divisé par la longueur du contact de la halde avec le terrain naturel et converti par la suite en $\text{L}/\text{m}^2/\text{jr}$. Un débit en fond de halde journalier de $0,036 \text{ L}/\text{m}^2/\text{jr}$ a été estimé par le modèle numérique. Il représente uniquement les débits s'exfiltrant de la halde vers les states sous-jacentes. Ce débit est significativement inférieur à la valeur de $3,3 \text{ L}/\text{m}^2/\text{jr}$ prescrite par la Directive 019. De plus, cette valeur de $3,3 \text{ L}/\text{m}^2/\text{jr}$ a été fixée en considérant une tête d'eau de 10 m au sein d'un parc à résidus miniers et ainsi, un milieu saturé, ce qui n'est pas le cas ici.

Tableau 3-3 : Débits en fond de halde

Coupe	Condition simulée	Longueur	Débit	Débit
		(m)	(m^3/s)	($\text{L}/\text{m}^2/\text{jr}$)
Halde à stériles (NO-SE)	Recharge = 20 mm/an	408	1.703×10^{-07}	0,036



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : E. Fried		
		Révisé par : C. Bélanger		
	641991-5000-4WER-0001	Rév	Date	Page
	PC	31 mai 2017	11	

4.0 Modélisation de transport de contaminants

Le modèle numérique en coupe et son réseau d'écoulement modélisé en présence de la halde, a été importés dans le logiciel Ctran/W pour simuler le transport d'éléments en phase dissoute par le processus d'advection-dispersion. Les propriétés de transport des matériaux et des contaminants (coefficient de dispersivité et coefficient d'advection) ainsi que les conditions frontière ont été assignées pour procéder à des simulations en mode transitoire sur une période de 1000 ans. Le phénomène d'adsorption n'a pas été considéré (hypothèse conservatrice).

4.1 Géochimie des résidus

Une quinzaine d'échantillons de stériles ont été caractérisés quant à leur contenu en métaux et métalloïdes, leur potentiel de génération d'acide ainsi que leur lixivibilité. Les résultats sont présentés dans la section ci-dessous et permettront de définir les paramètres du modèle de transport des contaminants. Les résultats ont été interprétés sur l'hypothèse que l'échantillonnage a été réalisé afin de représenter la composition de la future halde.

La concentration moyenne en métaux dans les stériles dépassent la teneur de fond de la province géologique de Grenville pour l'arsenic, le chrome, le cuivre, le cobalt, le molybdène, le nickel, le sélénium et le zinc. La teneur en soufre sous forme de sulfures est comprise entre 0,01 et 1,31% avec une concentration moyenne de 0,23 % et une valeur médiane de 0,04%. Il est également observé des teneurs en sulfates insolubles et soufre organique (0,1 à 12,2%) qui ne contribuent pas au phénomène de drainage minier acide.

Sur les quinze échantillons analysés, neuf d'entre eux sont considérés comme non générateurs d'acidité selon les critères énoncés dans le Manuel de prédiction de la chimie du drainage de matériau géologiques sulfurés (Price, 2009). Cinq échantillons sont considérés comme générateurs et un échantillon est considéré comme à potentiel incertain. Le potentiel de neutralisation des échantillons de stériles est compris entre 1,5 et 106,5 kg CaCO₃/t avec une moyenne de 21,1 kg CaCO₃/t et une valeur médiane de 6,5 kg CaCO₃/t, ce qui représente un potentiel relativement faible.

Les échantillons de stériles ont été soumis à trois essais de lixiviation différents : un essai à l'acide organique (TCLP), un essai aux acides minéraux (SPLP) et un essai à l'eau (CTEU-9). Selon les essais TCLP qui simulent les conditions de lixiviation les plus agressives, les stériles pourraient potentiellement être faiblement lixiviables (selon la définition de la Directive 019) en manganèse et en zinc. Des teneurs en aluminium supérieures au critère de résurgence des eaux souterraines dans les eaux de surface (RES) du MDDELCC sont également observées dans les lixiviats TCLP pour la moitié des échantillons. Toutefois, les résultats des essais SPLP et CTEU-9 qui sont considérés comme simulant les conditions de terrain de façon plus représentative que les essais TCLP, ne confirment pas la présence d'un potentiel de lixiviation.

Dans le cadre du présent projet, le paramètre du manganèse a été retenu pour le transport de contaminants du fait que c'est l'élément qui a été retrouvé en concentration supérieure au critère RES le plus grand nombre de fois dans les lixiviats, et ce pour les trois essais réalisés.

Les lixiviats des essais suivants montrent des concentrations moyennes ainsi que des valeurs médianes en manganèse respectives de :

- > Essais TCLP (18 heures avec une eau acide organique) : 11 mg/L et 3,4 mg/L
- > Essais SPLP (18 heures avec une eau acide inorganique) : 2 mg/L et 0,025 mg/L
- > Essais CTEU-9 (essais de 7 jours avec échantillons pulvérisés et eau neutre déminéralisée) : 6,8 mg/L et 0,044 mg/L.



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : E. Fried		
		Révisé par : C. Bélanger		
	641991-5000-4WER-0001	Rév	Date	Page
	PC	31 mai 2017	12	

Les valeurs moyennes observées sont significativement supérieures aux valeurs médianes du fait d'un nombre d'échantillons restreint dont le lixiviat montre une teneur en manganèse très supérieure aux autres valeurs mesurées. Par exemple, lors des essais TCLP, onze échantillons sur quinze montrent une concentration de lixiviat comprise entre 0,1 et 6,6 mg/L et les quatre autres échantillons des concentrations comprises entre 15 et 83 mg/L. Cette dernière valeur influe significativement sur la moyenne, mais n'est pas représentative de l'ensemble des échantillons de stériles. La moyenne recalculée sans cette valeur élevée devient 6,1 mg/L, ce qui est nettement plus près de la valeur médiane. De plus, les résultats des essais SPLP montrent que la concentration en manganèse dans les lixiviats est inférieure à 5,5 mg/L pour quatorze des quinze échantillons. Le quinzième échantillon montre une concentration de lixiviat de 15 mg/L. La moyenne recalculée sans cette valeur devient 1 mg/L, valeur encore très supérieure à la médiane.

Dans le cas de stériles miniers, l'essai CTEU-9 est très peu représentatif des futures conditions d'exposition des stériles. Lors de cet essai, les échantillons sont pulvérisés à une taille inférieure à 0,149 mm, ce qui augmente énormément la surface de réaction et libère des minéraux qui seraient restés inclus dans le bloc de stériles.

De plus, lorsqu'on considère ces essais en laboratoire, il faut prendre en considération un facteur d'échelle puisque des éléments tel que la température ou le ratio liquide sur solide ont des impacts significatifs sur la réponse géochimique des résidus (Plante et al., 2013) et ainsi sur la concentration de contaminants dans les eaux d'exfiltration.

La concentration du manganèse comme source de contamination au niveau de la pile de résidus dans le modèle a été fixée à 3 mg/L sur la base de la valeur moyenne recalculée pour les lixiviats de TCLP (6,1 mg/L) en intégrant un facteur d'échelle de 2 entre les valeurs obtenues au laboratoire et celles intégrées dans le modèle de terrain (deux fois moindre). Cette valeur de 3 mg/L est considérée comme conservatrice par rapport aux valeurs mesurées lors des trois types d'essais.

4.2 Paramètres du modèle de transport

Le tableau 4-1 présente les paramètres de transport du manganèse et la figure 8 de l'Annexe A présente le modèle numérique de transport. Les hypothèses suivantes ont été considérées :

- > La dispersivité longitudinale est calculée d'après l'équation de Xu et Eckstein (1995) soit $\alpha_L = 0,83 * (\log L)^{2,414}$ avec L correspondant à la longueur de parcours calculée entre le milieu de la halde et le ruisseau récepteur en aval (approximativement 750 m). La dispersivité transversale est égale à 10% de la dispersivité longitudinale et cette approche est basée sur Gelhar et al. (1992);
- > Le transport de contaminants est principalement régi par le processus d'advection. Le phénomène de diffusion moléculaire est un processus de transport négligeable dans les dépôts meubles et le roc à l'échelle du site ;
- > Aucune réaction chimique, dégradation ou adsorption n'est considérée pour le manganèse. Cette approche est considérée conservatrice.
- > Les concentrations à la source pour le manganèse sont tirées des résultats des essais de lixiviation réalisés sur 15 échantillons de stériles (voir section 4.1). Les concentrations ont été appliquées dans Ctran/W comme condition frontière de charge constante au niveau de l'empreinte du parc avec une concentration de 3 mg/l de manganèse, tel que déjà mentionné. La concentration sera gardée constante durant toute la période de la modélisation, ce qui est conservateur.



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : E. Fried		
			Révisé par : C. Bélanger		
			Rév	Date	Page
	641991-5000-4WER-0001	PC	31 mai 2017	13	

Tableau 4-1 : Paramètres de transport de contaminants

Paramètre		Unité	Valeur	Source
Régime		Transitoire		
Condition frontière	Concentration (condition frontière de charge constante) : Manganèse (Mn) C =	mg/L	3	Essais de lixiviation sur échantillons de stériles
	Fonction de sortie de contaminant («Exit review») : Qm = Exit review Qd =	g/sec g/sec	0 >0	
Paramètres associés aux transports des contaminants	Diffusion moléculaire : Manganèse (Mn)	m ² /s	6,88x10 ⁻¹⁰	Domenico et Schwartz (1990)
	Dispersivité longitudinale	m	10,6	Selon Xu et Eckstein (1995) et validée avec le critère du nombre de Peclet
	Dispersivité transversale	m	1,06	Selon Gelhar et al (1992) et validée avec le critère du nombre de Peclet

4.3 Critères applicables

Le site de la mine étant en territoire isolé, il n'y a pas de puits d'alimentation en eau potable en aval de la halde à stériles. Ainsi, le critère actuellement applicable et retenu aux fins de notre évaluation correspond au critère de résurgences dans l'eau de surface (RES) du Guide d'intervention du MDDELCC, qui équivaut au Critère de qualité pour la protection de la vie aquatique, toxicité aigüe (MDDELCC, 2016). À titre indicatif seulement, la concentration maximale acceptable dans l'eau potable tirée de Santé Canada est présentée au tableau 4-2. Ce critère est uniquement esthétique.

Tableau 4-2 : Critères prescrits par le MDDELCC pour les concentrations en manganèse dissous dans l'eau souterraine en fonction du récepteur (MDDELCC, 2016)

Paramètre	Critère de qualité de l'eau souterraine (mg/L)	
	Résurgence dans l'eau de surface (RES)	Aux fins de consommation Humaine – Eau Potable (EC)
Manganèse	1,45*	0,05**

* Ce critère varie en fonction de la dureté du milieu récepteur. La dureté utilisée pour le calcul du critère est 30 mg/L CaCO₃ (annexe 8 du Guide d'intervention).

** Concentration maximale acceptable dans l'eau potable (critère esthétique) tirée de Santé Canada



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : E. Fried		
			Révisé par : C. Bélanger		
			Rév	Date	Page
	641991-5000-4WER-0001	PC	31 mai 2017	14	

4.4 Teneurs de fond

Les concentrations en manganèse mesurées dans les eaux souterraines du secteur de la future fosse lors de l'investigation géotechnique préliminaire réalisée en 2014 (Qualitas, 2015) sont présentées au tableau 4-3. Les résultats d'analyse indiquent que les concentrations sont inférieures au critère RES. Les teneurs de fond obtenues sur le site de la future mine s'échelonnent de 0,024 à 0,18 mg/L avec une moyenne de 0,11 mg/L.

Cette teneur de fond moyenne est près de 27 fois inférieure à la concentration source appliquée au modèle et est donc négligeable par rapport aux concentrations potentielles rencontrées aux environs du site, suite à l'implantation de la halde. Elle n'a donc pas été incluse dans le modèle de transport de contaminants.

Tableau 4-3 : Teneurs de fond mesurées au site de la mine (Qualitas, 2015)

Paramètre	Teneurs de fond (mg/L)					Moyenne	
	Puits	BH14-02	BH14-04	BH14-08	BH14-09		BH14-10
Date d'échantillonnage		18/12/2014	18/12/2014	18/12/2014	18/12/2014	17/12/2014	
Manganèse dissous		0,14	0,18	0,11	0,11	0,024	0,11

4.5 Panaches de contamination modélisés

Les résultats des panaches de contamination pour le fer après 5, 10, 50, 100, 200 et 1000 ans de transport en phase dissoute sont présentés aux figures 9 à 14 de l'Annexe A. Le tableau 4-4 est un résumé des résultats et donne l'évolution de la concentration en manganèse au niveau du ruisseau intermittent localisé en aval de la halde. Ce ruisseau est considéré comme le premier récepteur du milieu environnant en aval de la halde.

La simulation permet d'observer le développement d'un panache en-dessous et au pied de la halde à stériles dans le dépôt meuble peu perméable, le roc fracturé et la couche de sable en aval. Localement, en pied de halde des concentrations comprises entre 0,9 et 3 mg/L sont observées dans le dépôt meuble et jusqu'à l'interface roc fracturé/roc sain au bout de 1000 ans, la concentration décroissant avec l'augmentation de la distance à la source.

Au niveau du ruisseau (frontière aval du modèle numérique situé approximativement à 600 m du pied de la halde), la concentration en manganèse simulée augmente rapidement dans les 50 premières années de la simulation en passant de 0 à 0,81 mg/L puis la concentration se stabilise autour de 0,84 mg/L sur la période 50 à 1000 ans. Cette valeur est inférieure au critère de RES de 1,45 mg/L. Le panache de contamination caractérisé par des concentrations en manganèse supérieures ou égales à 1,5 mg/L n'atteindrait pas le ruisseau. Il se stabiliserait à environ 500 m en amont de celui-ci. La vitesse de déplacement de ce front de concentration serait extrêmement faible : entre $t=50$ ans et $t=1000$ ans, il aurait avancé de 1 m vers l'aval.

Cette stabilisation des concentrations peut être attribuée à la perte de charge en contaminant associée à la résurgence des eaux souterraines au pied de la halde. La majorité du flux d'eau qui entre dans la halde semble faire résurgence à cet endroit. Ainsi les charges sont transportées préférentiellement vers la surface. L'alimentation du panache en contaminant est donc limitée par ce phénomène, ce qui pourrait expliquer l'état quasi stationnaire observé après 50 ans de simulation.

Aussi, les simulations de transport de contaminant réalisées sur une période de 1000 ans ne considèrent aucune décroissance de la source de contamination, aucune adsorption du contaminant lors de sa progression, ni de diminution de l'infiltration sous la halde avec le temps. Ces scénarios donc sont considérés comme conservateurs.



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : E. Fried		
			Révisé par : C. Bélanger		
			Rév	Date	Page
	641991-5000-4WER-0001		PC	31 mai 2017	15

Tel que précédemment mentionné, la teneur de fond moyenne en manganèse est près de 27 fois inférieure à la concentration source appliquée au modèle et est donc négligeable par rapport aux concentrations potentielles rencontrées aux environs du site, suite à l'implantation de la halde. Ainsi, sur la base des résultats de la modélisation, la présence de la halde est susceptible de modifier significativement cette teneur de fond sans toutefois constituer une menace ou un danger appréhendé pour l'environnement.

Tableau 4-4 : Résultats des simulations de transport de contaminants

Contaminant	Critères		Concentration à la source	Au niveau du ruisseau localisé en aval de la halde :	
	EC (mg/L)	RES (mg/L)	mg/L	Nombre d'années de simulation du transport	Concentration (mg/L)
Manganèse	0,05	1,45	3	0	0
				5	0.14
				10	0.40
				50	0.81
				100	0.84
				200	0.84
				1000	0.84

5.0 Limites et recommandations

Lorsqu'on entreprend des travaux de modélisation numérique, il est nécessaire de porter un regard critique sur les résultats obtenus, car :

- > La définition d'un modèle numérique est fonction de la quantité et de la qualité des informations obtenues sur le terrain et les résultats du modèle obtenu ne peuvent être de meilleure qualité que ces données de base.
- > Un modèle numérique est une simplification d'un milieu réel plus complexe et ne peut être employé seul dans le cadre d'un processus décisionnel.

Le modèle développé représente une version conservatrice du système hydrogéologique naturel et de la future halde à stériles qui comporte certaines limitations :

- > Le modèle numérique est une simplification de la stratigraphie et du réseau d'écoulement qui montrent un comportement global et ne détaille pas les zones d'écoulement préférentiel dans les dépôts meubles ou dans les fractures du socle rocheux.
- > Aucune données de stratigraphie et d'hydrogéologie ne sont disponibles dans le secteur de la halde. Pour la construction du modèle les données acquises dans le secteur de la future fosse ont été extrapolées pour être utilisées dans le secteur de la fosse. Cette méthode génère une certaine imprécision. Une investigation supplémentaire permettrait de confirmer les paramètres de la modélisation.
- > La modélisation ne prend pas en compte le réseau de drainage qui ceinturera la halde à stériles. Il permettra de collecter l'eau circulant en amont de la halde. Les modèles exposés dans ce rapport sont donc conservateurs, car avec ce réseau de drainage, le niveau de la nappe sera certainement abaissé.



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : E. Fried		
		Révisé par : C. Bélanger		
	641991-5000-4WER-0001	Rév	Date	Page
	PC	31 mai 2017	16	

- > Tel qu'indiqué précédemment, aucune décroissance de la source de contamination aucune adsorption du contaminant lors de sa progression, ni de diminution de l'infiltration sous la halde avec le temps. Ces scénarios donc sont considérés comme conservateurs.

6.0 Conclusion

L'objectif de la modélisation hydrogéologique était de déterminer les débits d'eau pouvant potentiellement s'exfiltrer du fond de la future halde à stériles dans sa configuration finale ainsi que l'évolution du panache de contamination. La modélisation visait aussi à vérifier si la conception du parc actuellement envisagée permet de respecter le niveau d'étanchéité de niveau A de la Directive 019 du MDDELCC. Le modèle conceptuel est basé sur la campagne d'investigation géotechnique réalisée en 2015 (Qualitas, 2015). Un modèle numérique a été construit avec le logiciel Seep/W 2016 et calibré pour valider la bonne représentation des conditions actuelles. La calibration a été limitée par l'absence de données de piézométrie dans le secteur à l'étude.

Les débits d'exfiltration anticipés ont été calculés à l'aide du modèle Seep/W. Le débit d'exfiltration en fond de halde obtenu est de 0,036 L/m²/jr. Cette valeur est en deçà de 3,3 L/m²/jr. Ainsi, l'ouvrage respecte les exigences de la Directive 019 du MDDELCC quant à l'étanchéité de niveau A du fond de l'aire d'accumulation.

Un modèle de transport du manganèse en phase dissoute a été développé à partir Ctran/W à partir du réseau d'écoulement de l'eau souterraine modélisé en présence de la future halde. Ainsi, le transport par advection et dispersion du manganèse a été simulé sur une période de 1000 ans pour préciser l'évaluation des modifications potentielles de la qualité de l'environnement, suite à l'implantation projetée de la halde à stériles.

Les résultats des simulations de transport du manganèse en phase dissoute semblent indiquer que la présence d'une zone de résurgence au pied de la halde à stériles induirait un écoulement préférentiel de l'eau ainsi que des charges en manganèse vers la surface. La vitesse de déplacement du panache de contaminant vers l'aval est limitée par ce phénomène. À partir de 50 ans de simulation de transport, le panache de manganèse semble se stabiliser. La concentration observée au niveau du ruisseau ne dépasserait pas le critère de résurgence dans les eaux de surface du MDDELCC.

Sur la base des résultats de la modélisation, la présence de la halde à stériles est susceptible de modifier significativement la teneur de fond dans le secteur en aval de celle-ci sans toutefois constituer une menace ou un danger appréhendé pour l'environnement.



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : E. Fried		
		Révisé par : C. Bélanger		
	641991-5000-4WER-0001	Rév	Date	Page
	PC	31 mai 2017	17	

7.0 Références

Chapuis, R. (2004) Predicting the saturated hydraulic conductivity of sand and gravel using effective diameter and void ratio, *Can Geotech J* 41: 787-795.

Domenico, P.A., Schwartz, F.W. (1990). *Physical and Chemical Hydrogeology*, 1990.

Fetter, C. W. *Contaminant Hydrogeology*, 1992.

Gelhar, L. W., Welty, C., Rehfeldt, K. R., (1992) A critical review of data on field-scale dispersion in aquifers. *Water Resources Research*, Volume 28, Issue 7, July 1992, Pages 1955–1974 .

Geo-Slope International inc (2016). *GeoStudio 2016 – SEEP/W module for seepage analyses*, version 8.16.2.14053.

Hatch (2016). *Gestion des eaux – Concentrateur*. Rapport H347199-0000-05-220-0006, Rév. 0. 22 Juin 2016.

Holtz, R.D. et Kovacks, W.D. (1991). *Introduction à la géotechnique*, traduction de Lafleur, J., juillet 1991.

Ministère du développement durable, de l'Environnement et des parcs (MDDEP) (2012). *Directive 019 sur l'industrie minière*, mars 2012.

Ministère du développement durable, de l'Environnement et Lutte contre les Changements Climatiques (MDDELCC), (2016). *Guide d'intervention – Protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés*, Annexes 7 et 8.

Ministère du développement durable, de l'Environnement et Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) (2014). *Guide de gestion des eaux pluviales, Évaluation quantitative du ruissellement - Aspects hydrologiques – Chapitre 6*, <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/pluviales/chap6.pdf>

NEDEM (1995). *Hydrogeology of waste rock dumps*, MEND Associate Project PA-1, July 1995.

Pêche et Environnement Canada (1978). *Atlas hydrologique du Canada – Planche 25 : Bilan hydrique - précipitation et évapotranspiration dérivées*, 1^{er} janvier 1978.

Plante, B., Bussiere, B, Benzaazoua, M. (2013). Lab to field scale effects on contaminated neutral drainage prediction from the Tio mine, *Journal of Geochemical Exploration* 137 (2014) 37–47, November 2013.

Price, W.A. (2009). *Predicition Manual for Drainage Chemistry from Sulphidic Geologic Materials*, MEND Report 1.20.1, December 2009.

Qualitas (2015). *Geotechnical Investigation Report lac Gueret Project, Quebec, Canada*. Qualitas Project No. : 623409, April 2015.

Xu, M., Eckstein, Y., (1995). Use of Weighted Least-Squares Method in Evaluation of the Relationship Between Dispersivity and Field Scale, *Groundwater*, Volume 33, Issue 6 November 1995, Pages 905–908.





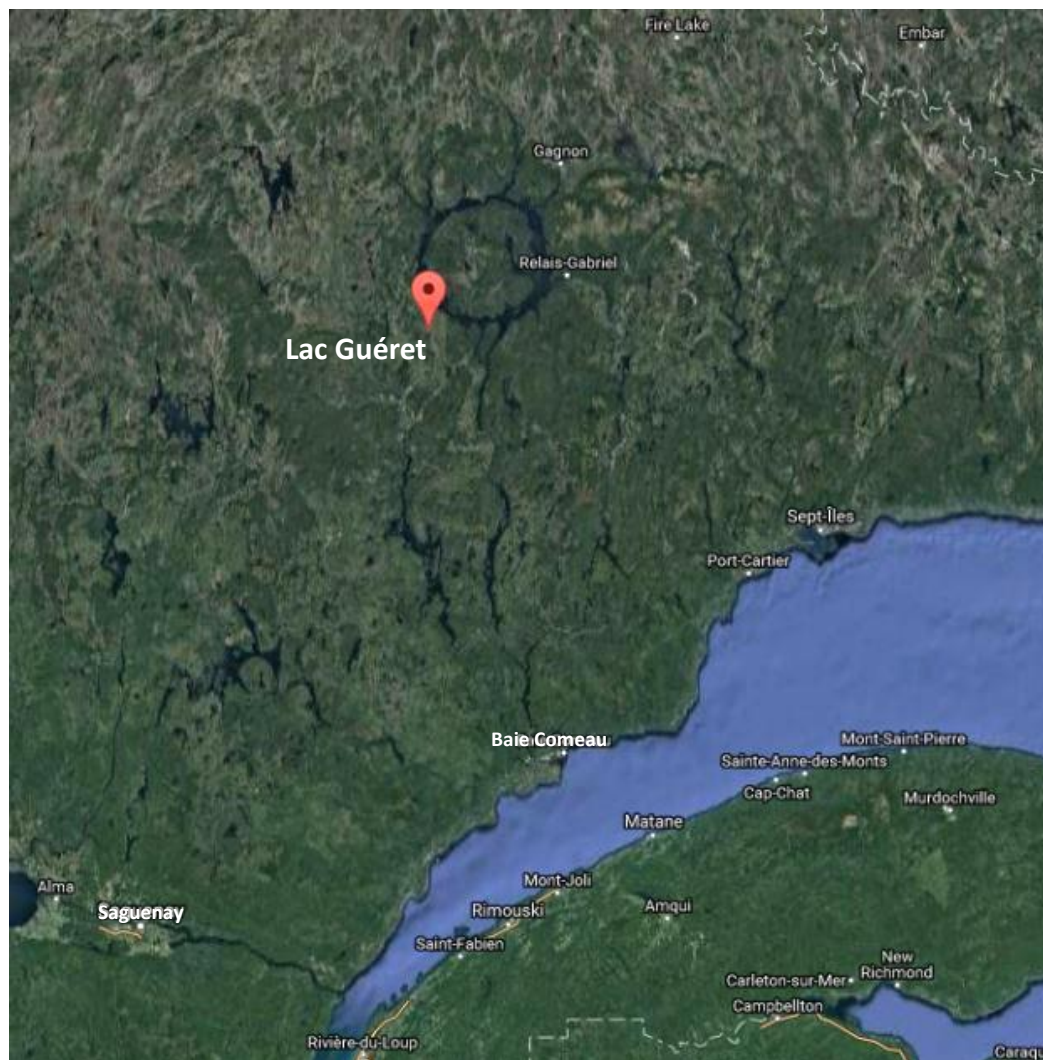
Annexe A

Figures

- Figure 1 : Plan de localisation général
- Figure 2 : Site de la future mine
- Figure 3 : Carte piézométrique au site de la mine
- Figure 4 : Modèle numérique du terrain existant (coupe NO-SE)
- Figure 5 : Réseau d'écoulement modélisé pour le terrain existant
- Figure 6 : Intégration de la halde à stériles dans le modèle numérique
- Figure 7 : Réseau d'écoulement modélisé avec la halde à stériles
- Figure 8 : Modèle numérique de transport de contaminants
- Figure 9 : Transport du manganèse à 5 ans
- Figure 10 : Transport du manganèse à 10 ans
- Figure 11 : Transport du manganèse à 50 ans
- Figure 12 : Transport du manganèse à 100 ans
- Figure 13 : Transport du manganèse à 200 ans
- Figure 14 : Transport du manganèse à 1000 ans



Plan de localisation général



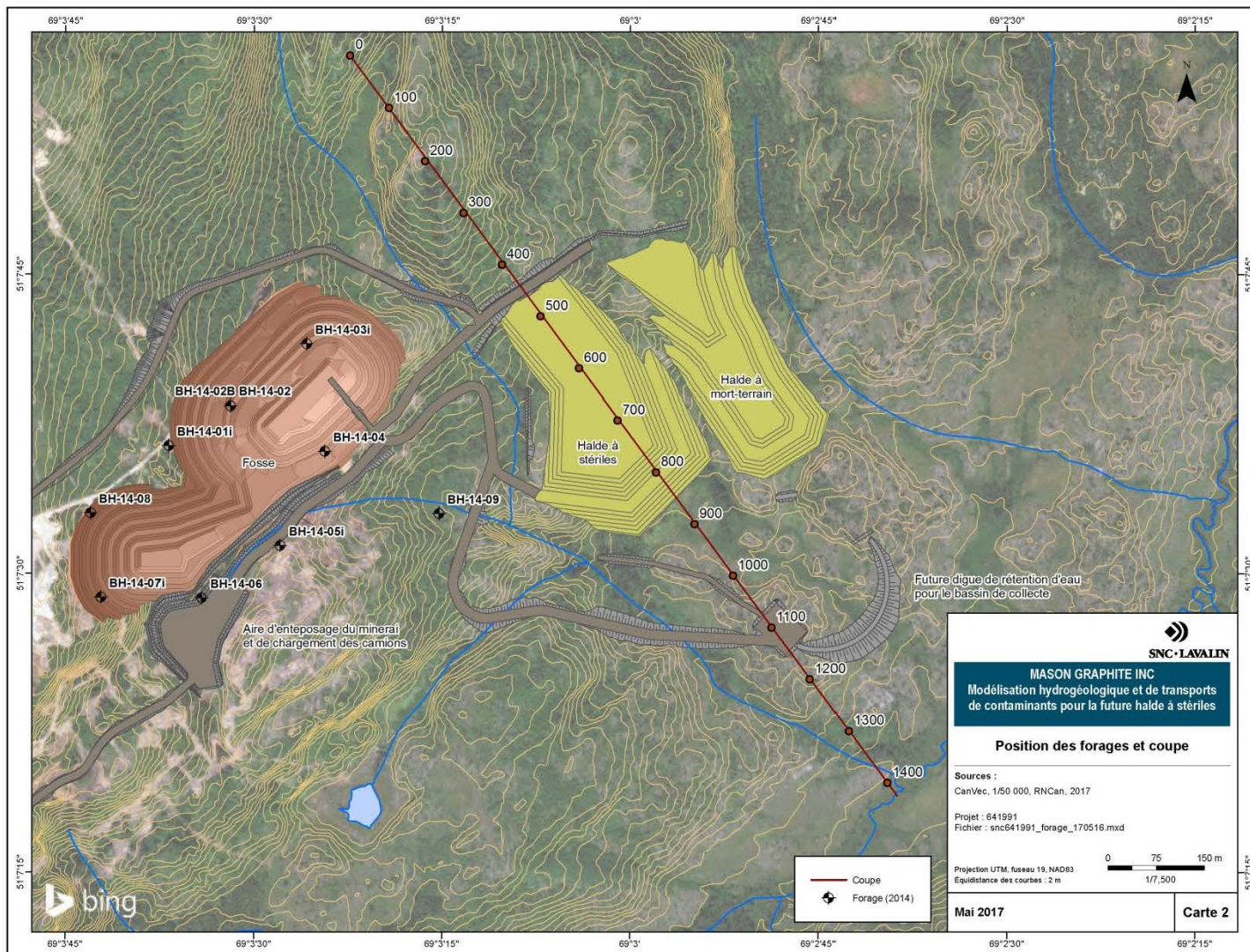
SNC • LAVALIN

Projet Lac Guéret
Modélisation hydrogéologique et de transport de
contaminants pour la future halde à stériles

Projet 641991

Figure 1

Site de la mine



F:\intermedia\fusion\produits\snc641991_forage_170516.mxd



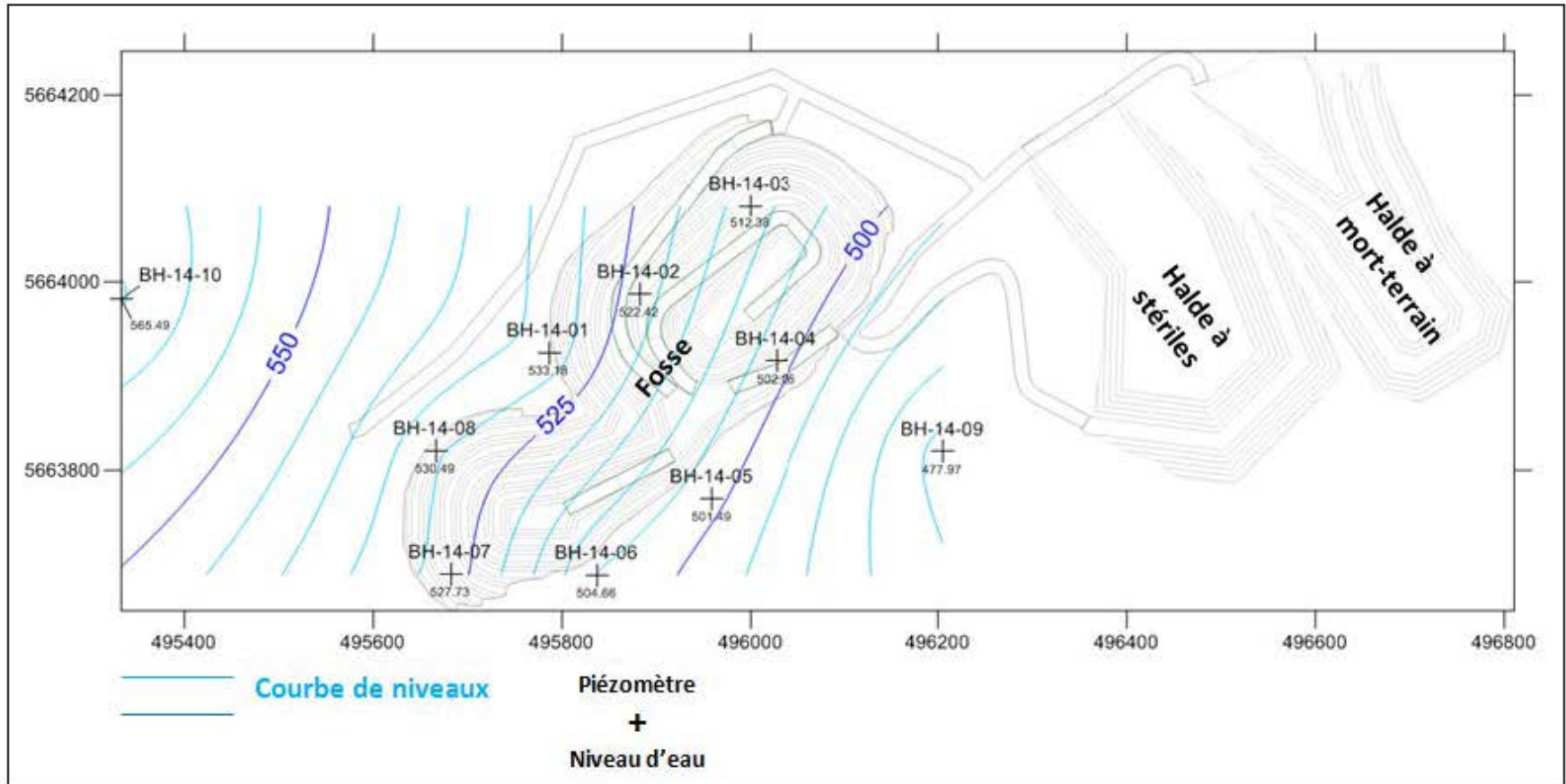
SNC • LAVALIN

Projet Lac Guéret
 Modélisation hydrogéologique et de transport de
 contaminants pour la future halde à stériles

Projet 641991

Figure 2

Carte piézométrique au site de la mine



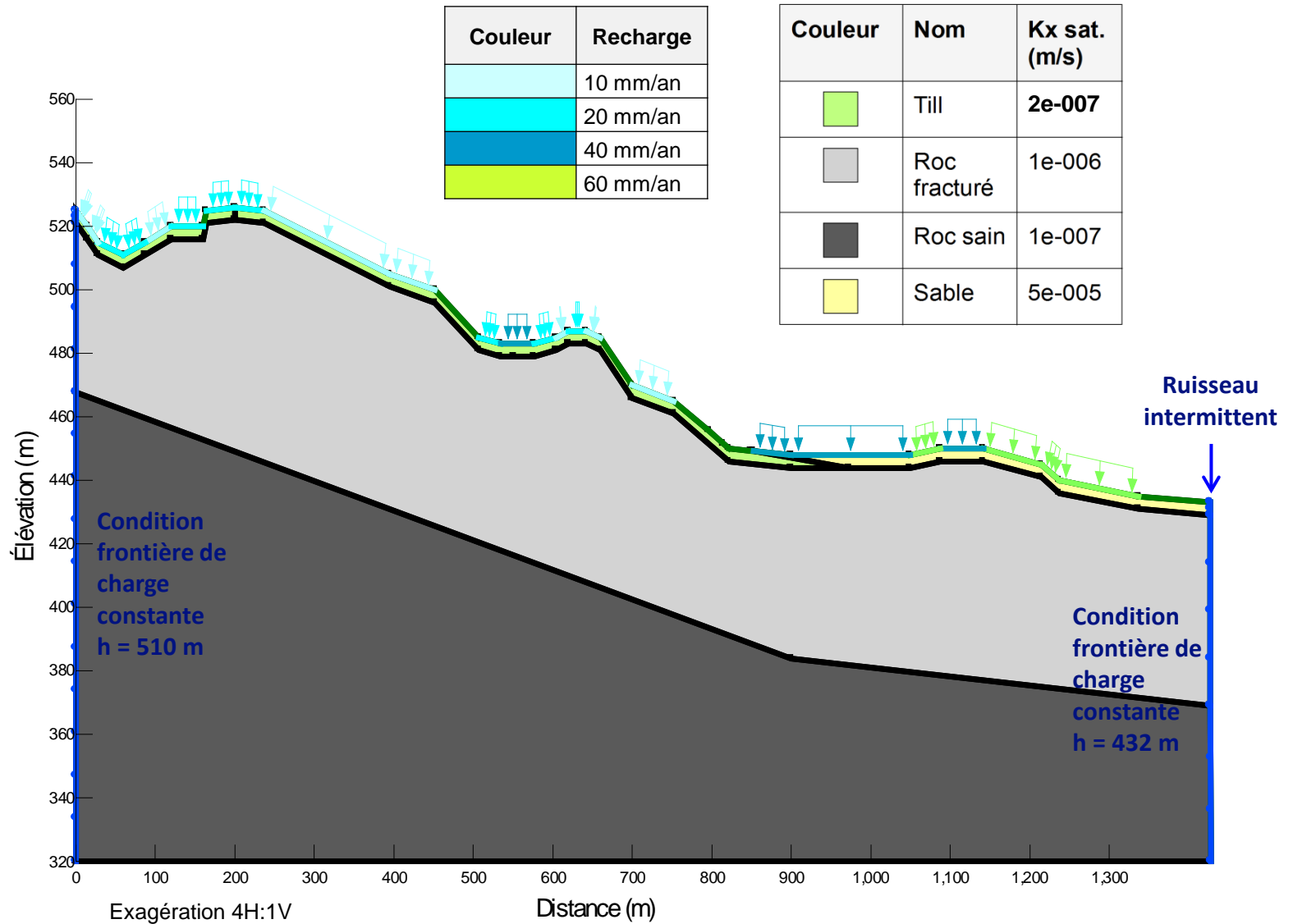
SNC-LAVALIN

Projet Lac Guéret
Modélisation hydrogéologique et de transport de
contaminants pour la future halde à stériles

Projet 641991

Figure 3

Modèle numérique du terrain existant (coupe NO-SE)



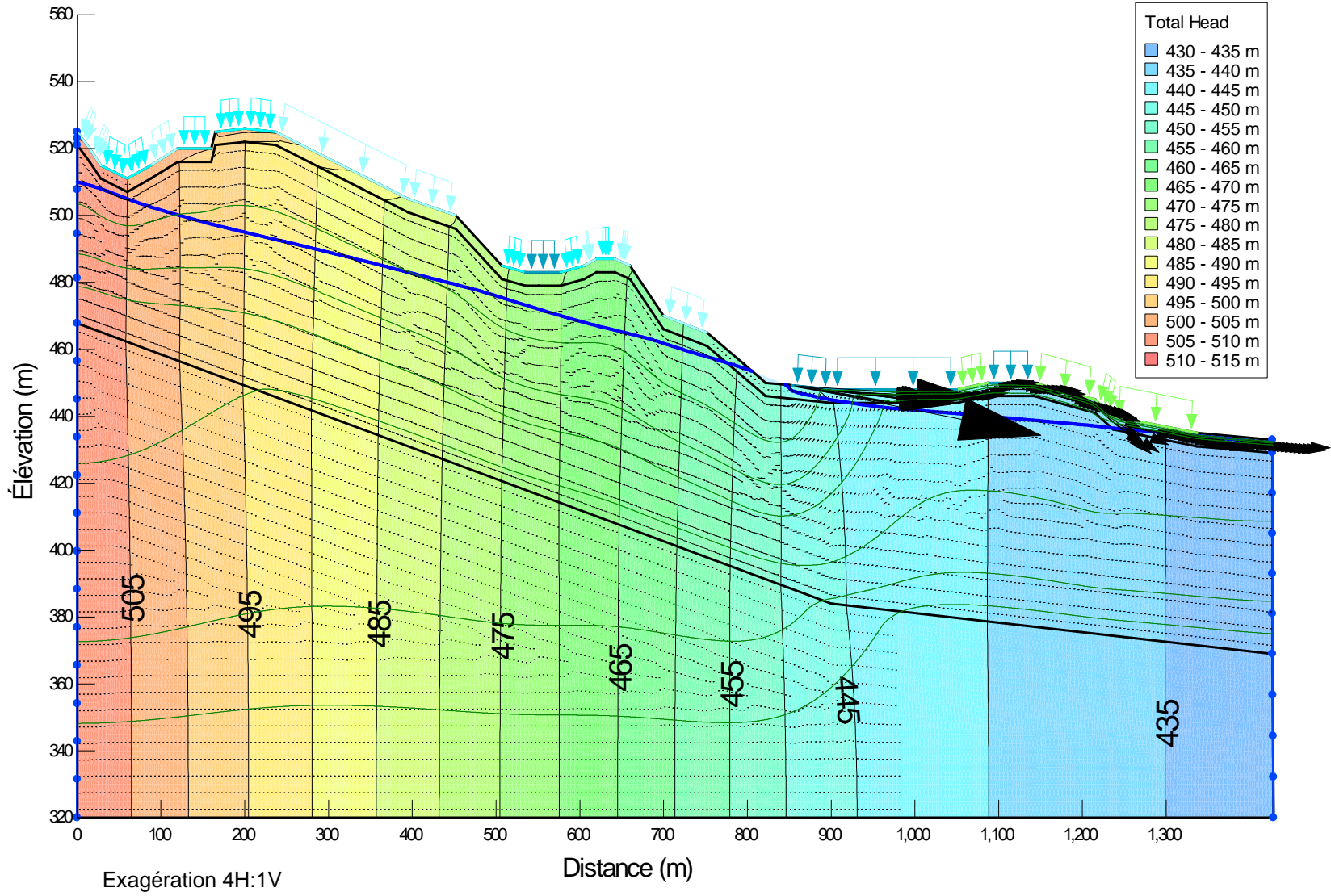
SNC • LAVALIN

Projet Lac Guéret
Modélisation hydrogéologique et de transport de contaminants pour la future halde à stériles

Projet 641991

Figure 4

Réseau d'écoulement modélisé pour le terrain existant



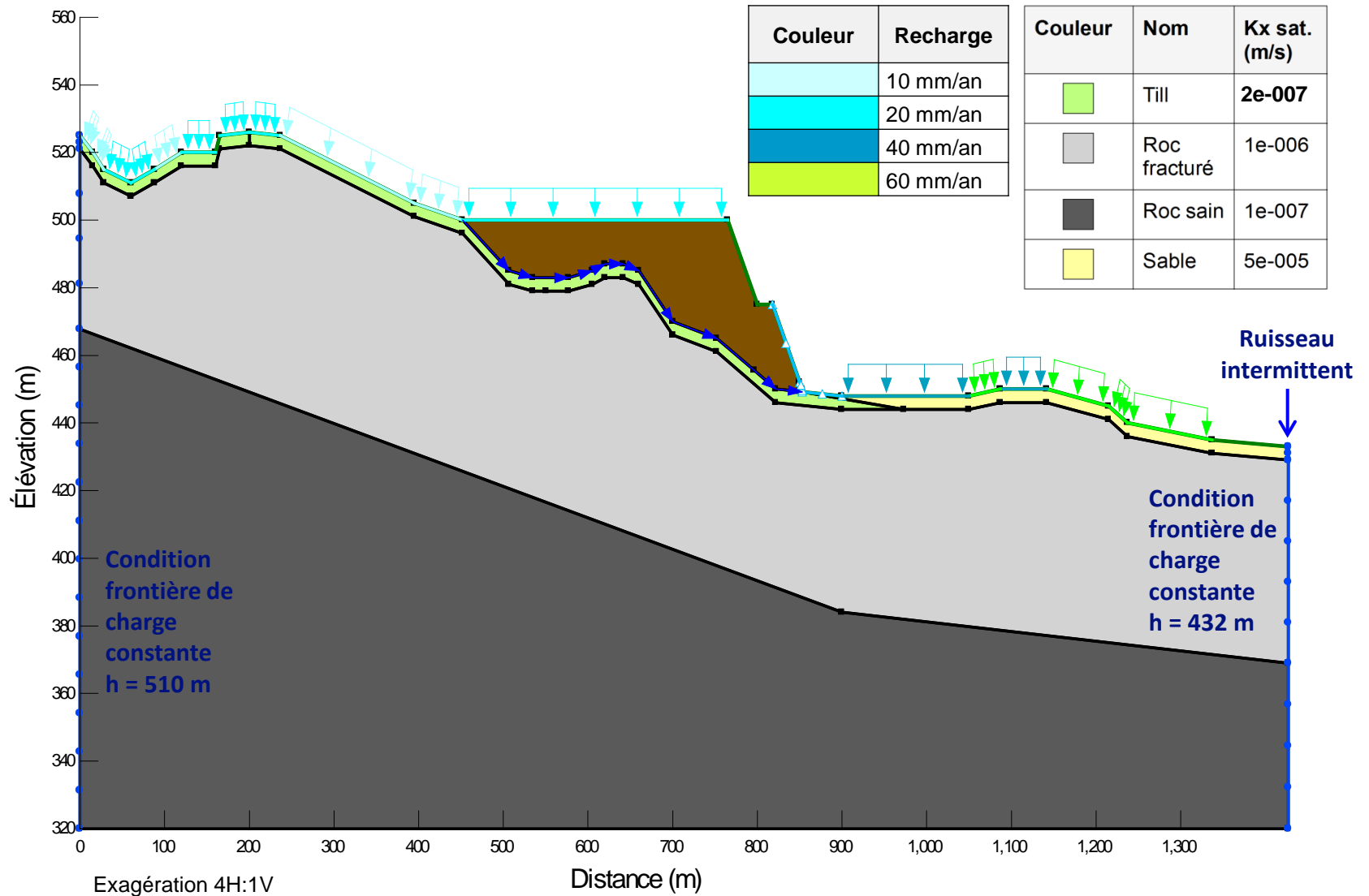
SNC • LAVALIN

Projet Lac Guéret
 Modélisation hydrogéologique et de transport de
 contaminants pour la future halde à stériles

Projet 641991

Figure 5

Intégration de la halde à stériles dans le modèle numérique



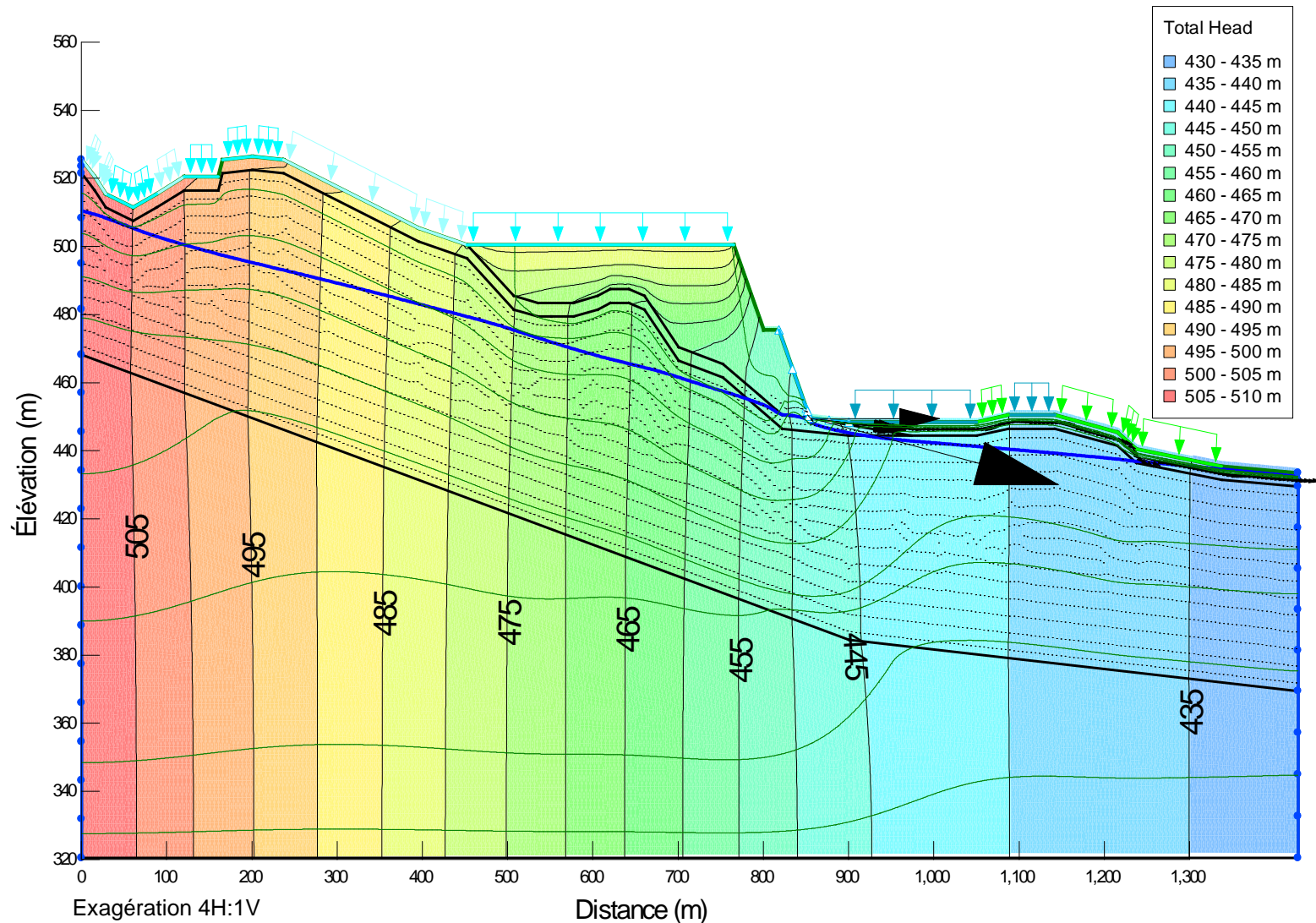
SNC • LAVALIN

Projet Lac Guéret
Modélisation hydrogéologique et de transport de contaminants pour la future halde à stériles

Projet 641991

Figure 6

Réseau d'écoulement modélisé avec la halde à stériles



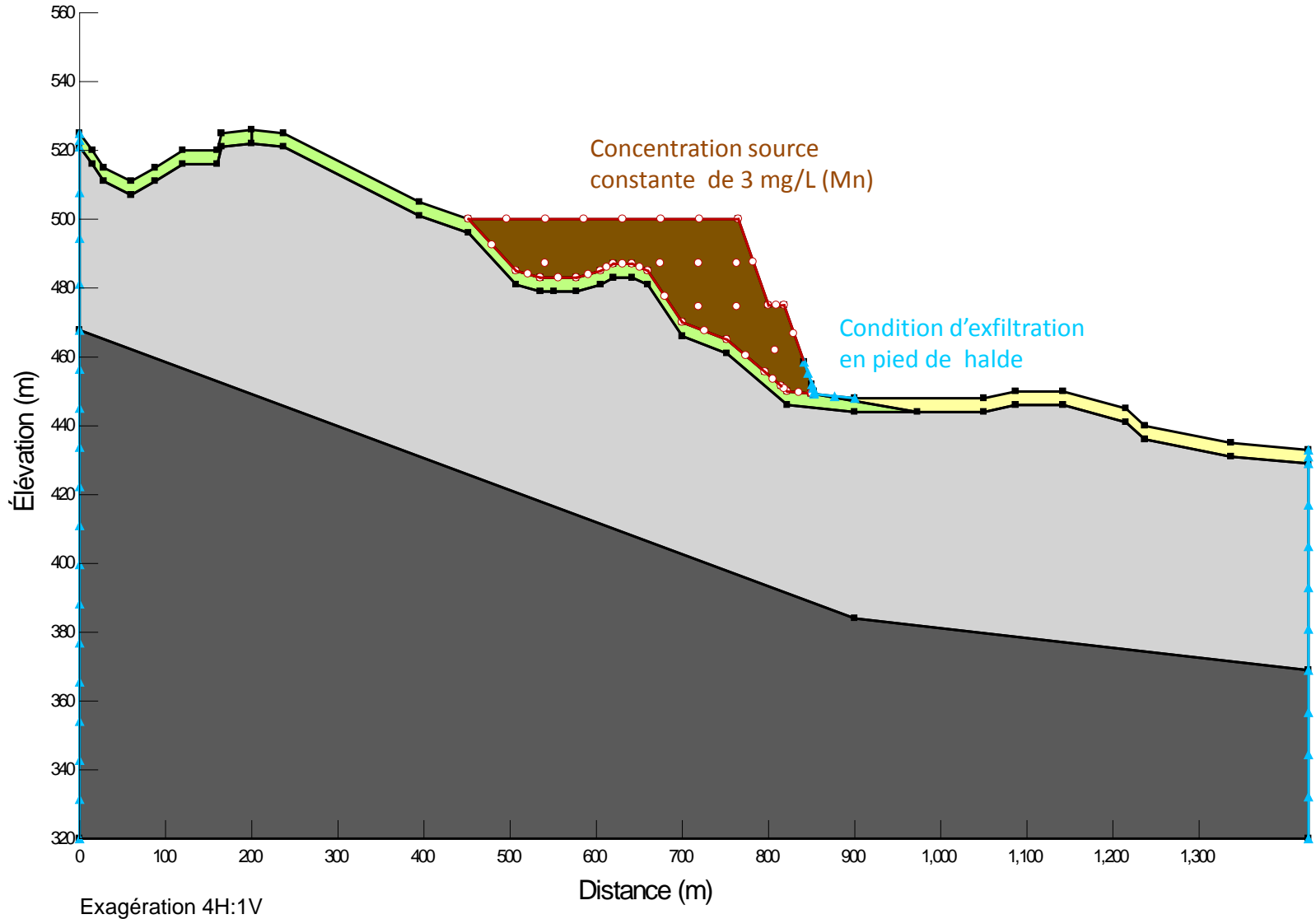
SNC • LAVALIN

Projet Lac Guéret
Modélisation hydrogéologique et de transport de
contaminants pour la future halde à stériles

Projet 641991

Figure 7

Modèle numérique de transport de contaminants



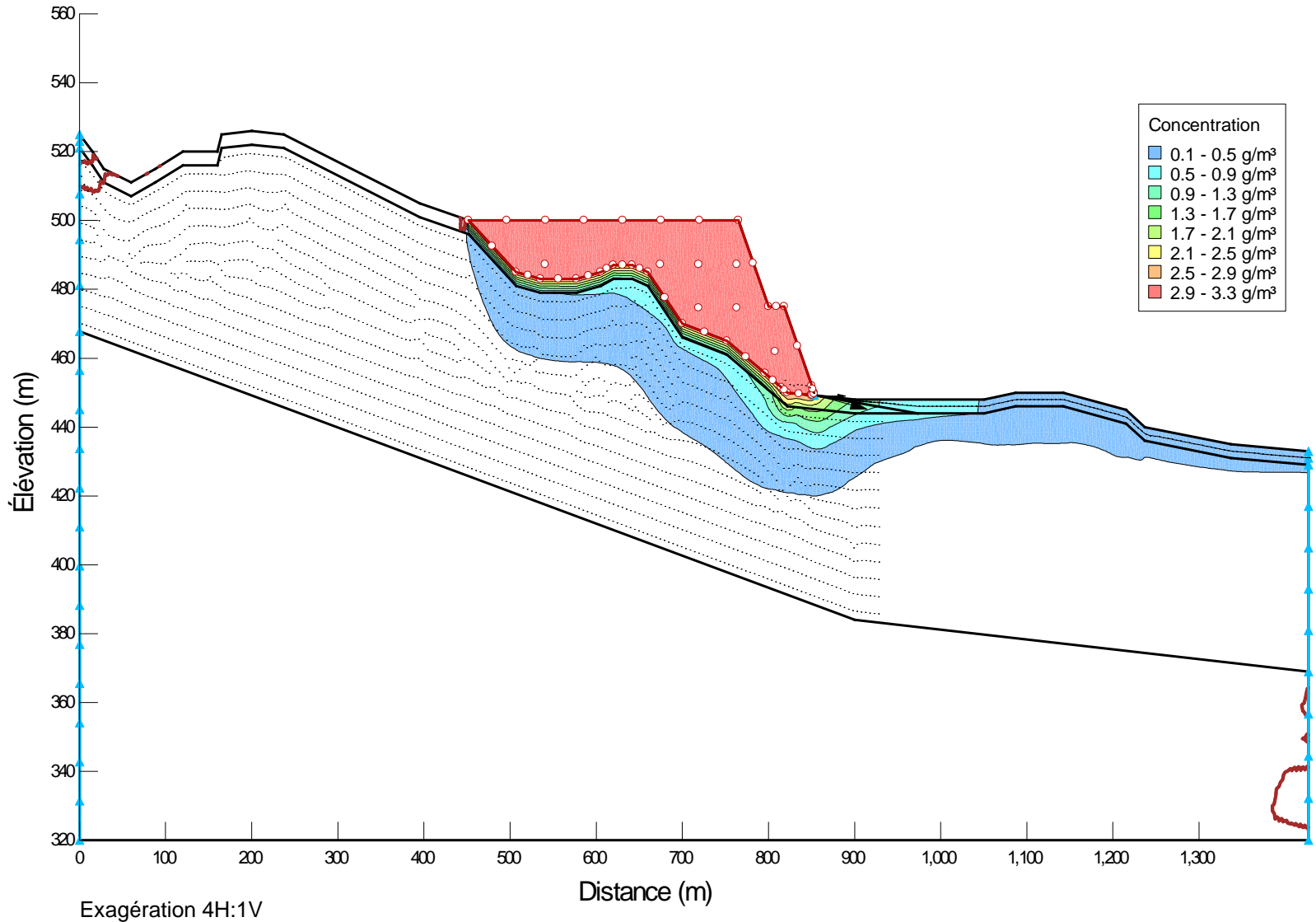
SNC • LAVALIN

Projet Lac Guéret
Modélisation hydrogéologique et de transport de contaminants pour la future halde à stériles

Projet 641991

Figure 8

Transport du manganèse à 5 ans



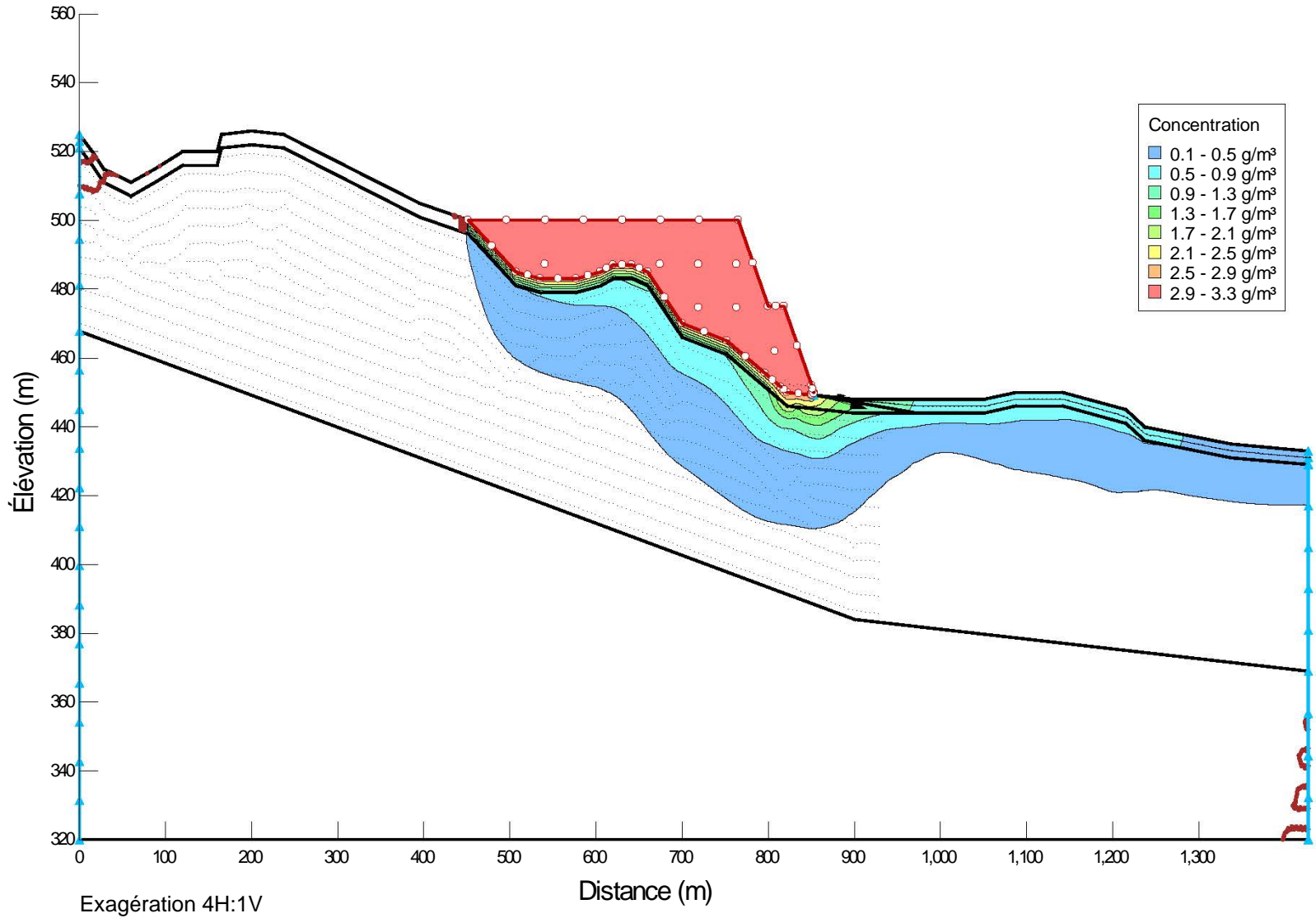
SNC • LAVALIN

Projet Lac Guéret
Modélisation hydrogéologique et de transport de
contaminants pour la future halde à stériles

Projet 641991

Figure 9

Transport du manganèse à 10 ans



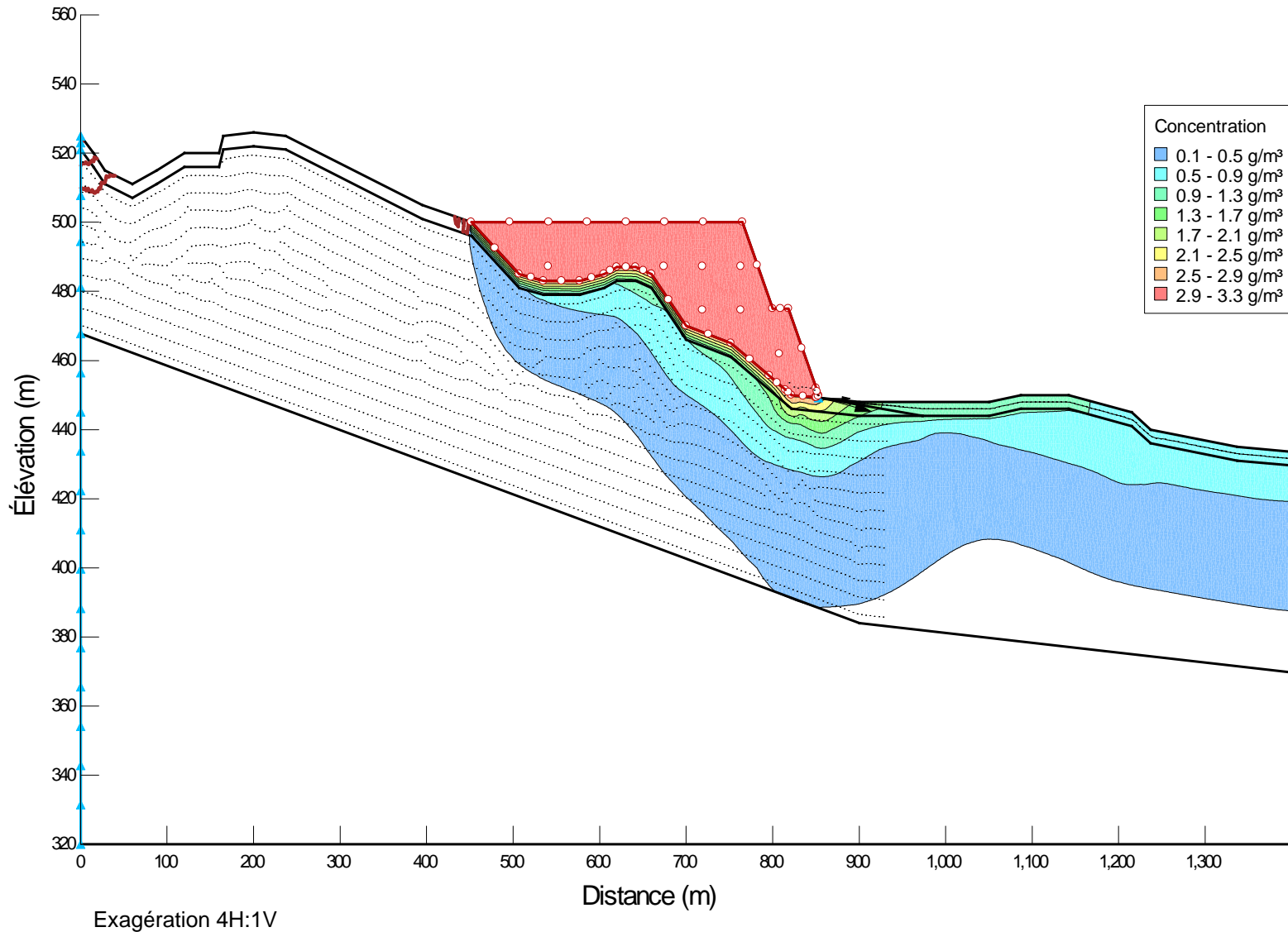
SNC • LAVALIN

Projet Lac Guéret
Modélisation hydrogéologique et de transport de
contaminants pour la future halde à stériles

Projet 641991

Figure 10

Transport du manganèse à 50 ans



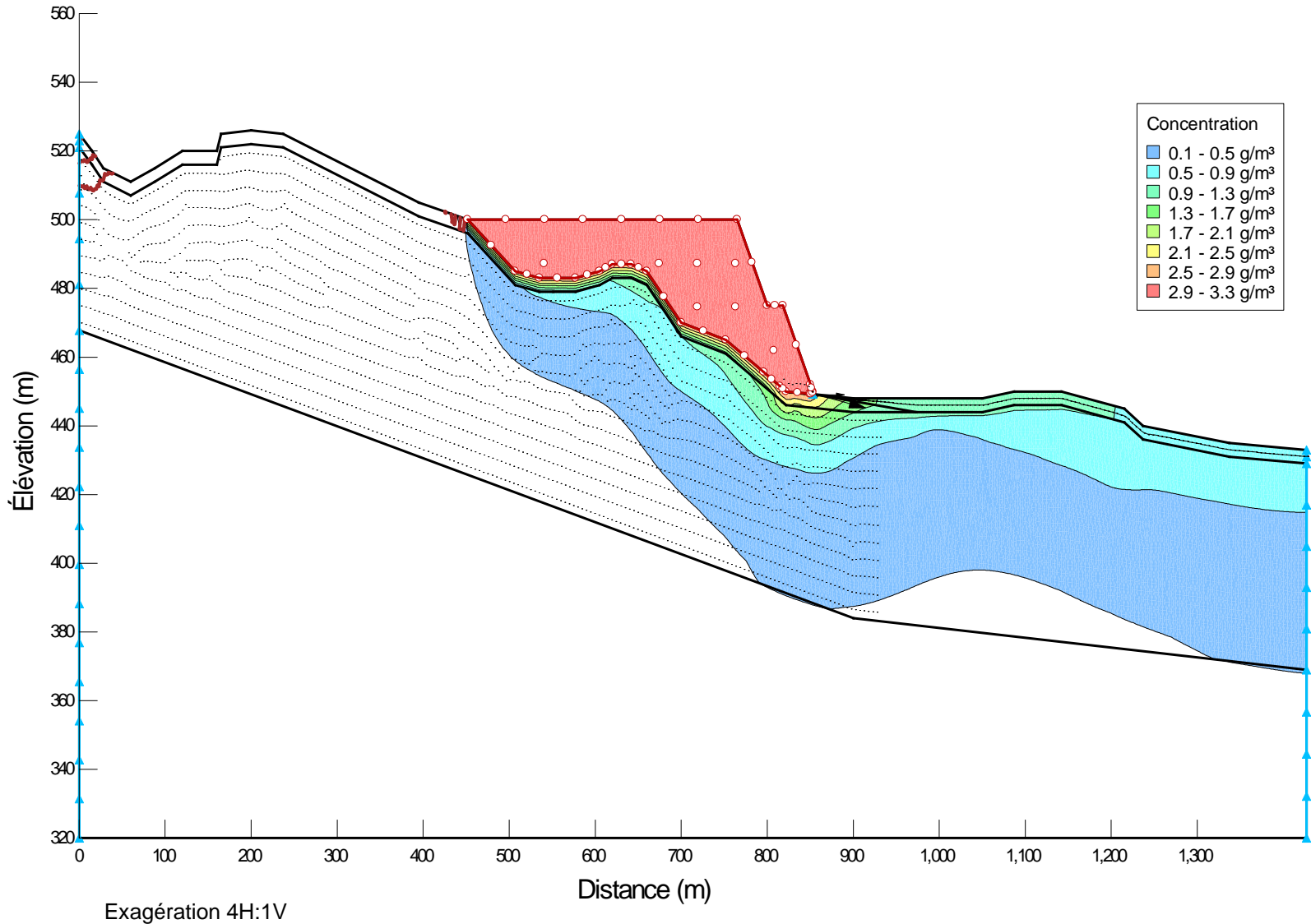
SNC • LAVALIN

Projet Lac Guéret
Modélisation hydrogéologique et de transport de
contaminants pour la future halde à stériles

Projet 641991

Figure 11

Transport du manganèse à 100 ans



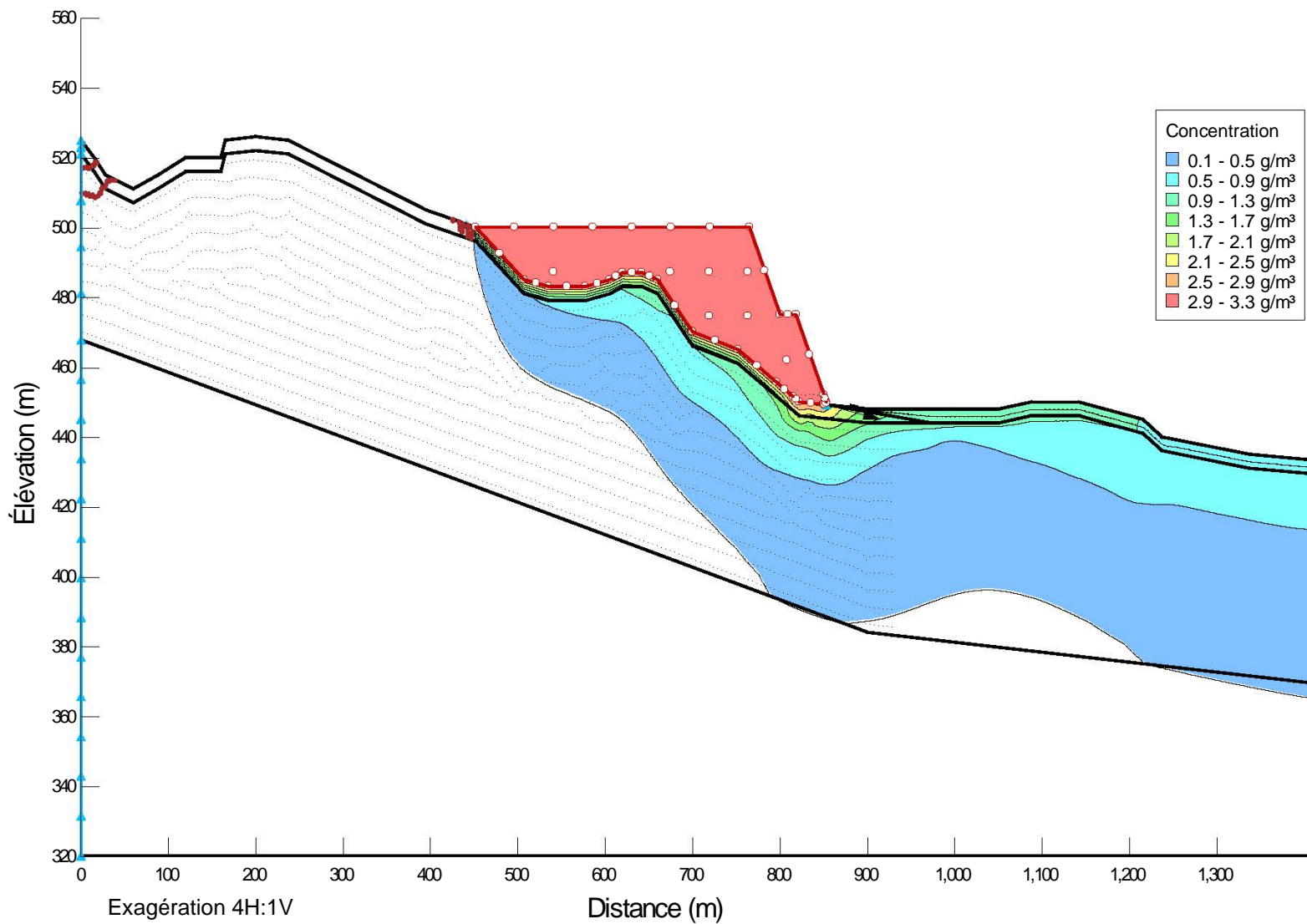
SNC • LAVALIN

Projet Lac Guéret
Modélisation hydrogéologique et de transport de
contaminants pour la future halde à stériles

Projet 641991

Figure 12

Transport du manganèse à 200 ans



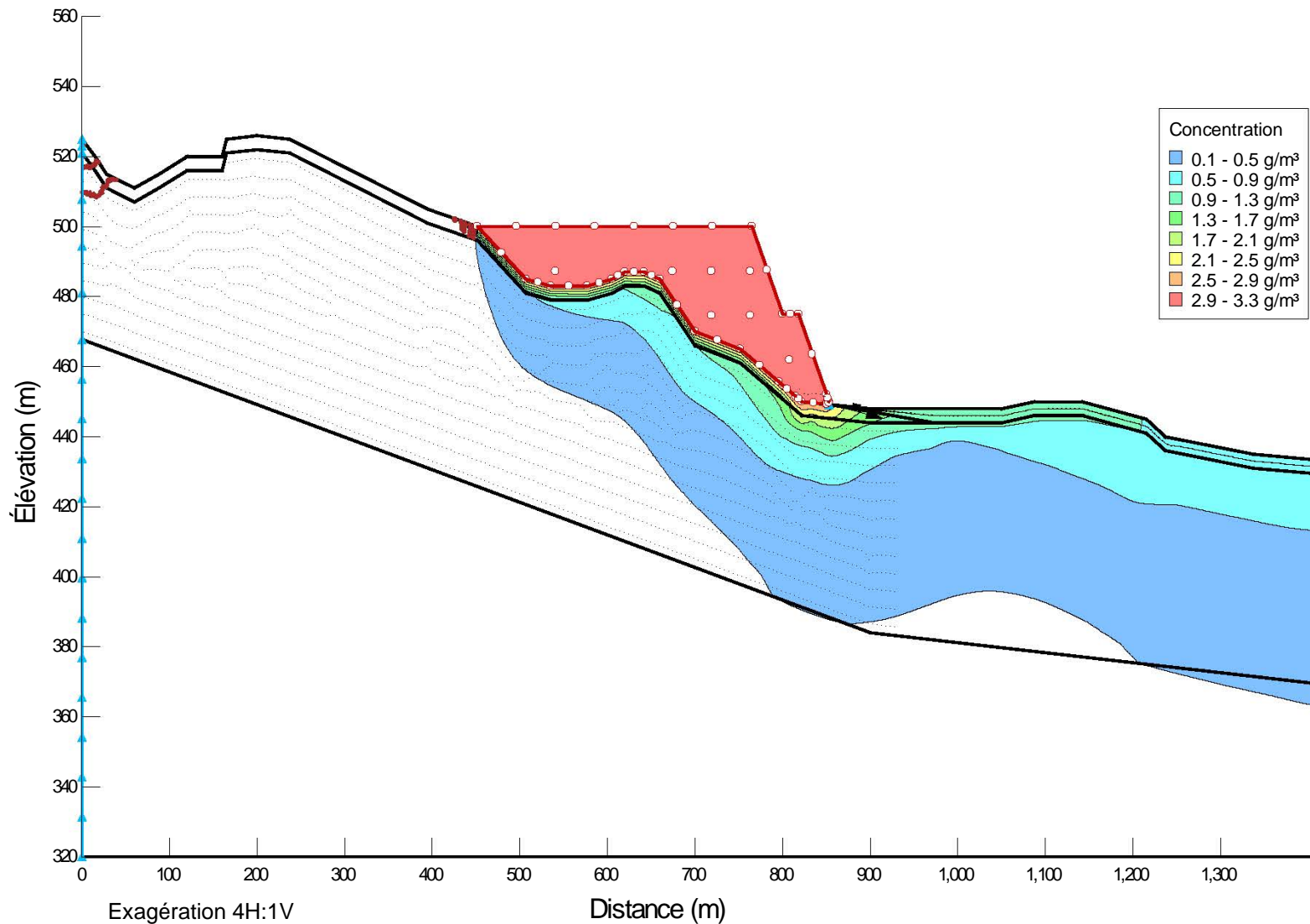
SNC • LAVALIN

Projet Lac Guéret
Modélisation hydrogéologique et de transport de
contaminants pour la future halde à stériles

Projet 641991

Figure 13

Transport du manganèse à 1000 ans



SNC • LAVALIN

Projet Lac Guéret
Modélisation hydrogéologique et de transport de
contaminants pour la future halde à stériles

Projet 641991

Figure 14

 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : V. Fournier Révisé par : C.Bélanger		
		Rév	Date	Page
	641991-0000-4WER-0004	PB	29 mai 2017	i

Titre du document : **MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE DE LA FOSSE**

Client : **MASON GRAPHITE**

Projet : **MODÉLISATION NUMÉRIQUE POUR LE SITE DE BAIE-COMEAU DU PROJET LAC-GUÉRET**

Préparé par : Véronique Fournier, geo. M.Sc.

Révisé par : Christian Bélanger, ing., M.Sc.A.

Approuvé par : Géraldine Cosset, ing., M.Sc.A

 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : V. Fournier Révisé par : C.Bélangier		
	641991-0000-4WER-0004		Rév	Date	Page
			PB	29 mai 2017	ii

LISTE DES RÉVISIONS APPORTÉES AU DOCUMENT

Révision				Pages Révisées	Remarques
#	Prép.	App.	Date		
PA	VF	CB	2017-05-25	Toutes	Émission pour révision interne
PB	VF	CB	2017-05-29	Toutes	Émis pour commentaires du client

AVIS AU LECTEUR

Ce document fait état de l'opinion professionnelle de SNC-Lavalin inc. («SNC-Lavalin») quant aux sujets qui y sont abordés. Son opinion a été formulée en se basant sur ses compétences professionnelles en la matière et avec les précautions qui s'imposent. Le document doit être interprété dans le contexte de la convention en date du 6 octobre 2016 (la «Convention») intervenue entre SNC-Lavalin et Mason Graphite (le «Client»), ainsi que de la méthodologie, des procédures et des techniques utilisées, des hypothèses de SNC-Lavalin ainsi que des circonstances et des contraintes qui ont prévalu lors de l'exécution de ce mandat. Ce document n'a pour raison d'être que l'objectif défini dans la Convention et est au seul usage du Client, dont les recours sont limités à ceux prévus dans la Convention. Il doit être lu comme un tout, à savoir qu'une portion ou un extrait isolé ne peut être pris hors contexte.

En préparant ses estimations, le cas échéant, SNC-Lavalin a suivi une méthode et des procédures et pris les précautions appropriées au degré d'exactitude visé, en se basant sur ses compétences professionnelles en la matière et avec les précautions qui s'imposent, et est d'opinion qu'il y a une forte probabilité que les valeurs réelles seront compatibles aux estimations. Cependant, l'exactitude de ces estimations ne peut être garantie. À moins d'indication contraire expresse, SNC-Lavalin n'a pas contre-vérifié les hypothèses, données et renseignements en provenance d'autres sources (dont le Client, les autres consultants, laboratoires d'essai, fournisseurs d'équipements, etc.) et sur lesquelles est fondée son opinion. SNC-Lavalin n'en assume nullement l'exactitude et décline toute responsabilité à leur égard.

Dans toute la mesure permise par les lois applicables, SNC-Lavalin décline en outre toute responsabilité envers le Client et les tiers en ce qui a trait à l'utilisation (publication, renvoi, référence, citation ou diffusion) de tout ou partie du présent document, ainsi que toute décision prise ou action entreprise sur la foi dudit document.

 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : V. Fournier		
		Révisé par : C. Bélanger		
		Rév	Date	Page
641991-0000-4WER-0004		PB	29 mai 2017	iii

TABLE DES MATIÈRES

1.0	Introduction.....	1
1.1	Contexte	1
1.2	Mandat et objectifs	1
1.3	Méthodologie	1
2.0	Modèle hydrogéologique conceptuel.....	1
2.1	Piézométrie	2
2.2	Topographie	4
2.3	Propriétés hydrogéologiques des unités stratigraphiques	4
2.3.1	Couche superficiel.....	4
2.3.2	Dépôt meuble sableux	4
2.3.3	Dépôt meuble d'origine glaciaire.....	4
2.3.4	Socle rocheux	4
2.4	Paramètres hydrologiques et calcul de la recharge	5
2.5	Géométrie de la fosse	5
2.6	Évaluation préliminaire du débit des infiltrations d'eau souterraine	5
3.0	Modélisation numérique	6
3.1	Modèle numérique.....	6
3.2	Description du modèle numérique et maillage	6
3.3	Paramètres du modèle	7
3.3.1	Piézométrie	7
3.3.2	Conductivité hydraulique.....	7
3.3.3	Recharge.....	8
3.3.4	Conditions frontières latérales	8
3.4	Calibration du modèle numérique	8
4.0	Modélisation numérique des conditions actuelles	9
4.1	Résultats.....	9
4.2	Analyse de sensibilité du modèle	11
5.0	Modélisation numérique avec la fosse	12
5.1	Résultat du modèle avec fosse après 10 ans d'exploitation	13
5.2	Résultat du modèle avec fosse après 25 ans d'exploitation	13
6.0	Limites et recommandations.....	14
7.0	Conclusion	15
8.0	Références	16

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1	: Niveaux piézométriques mesurés aux puits d'observation au site à l'automne 2014	2
Tableau 2-2	: Niveau piézométriques mesurés aux piézomètres à cordes vibrantes au site à l'automne 2014	3
Tableau 2-3	: Données hydrologiques et calcul de recharge	5
Tableau 3-1	: Conductivités hydrauliques des unités stratigraphiques du modèle numérique	8
Tableau 4-1	: Point de mesure du niveau d'eau pour la calibration du modèle	9



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : V. Fournier Révisé par : C.Bélanger		
		Rév	Date	Page
	641991-0000-4WER-0004	PB	29 mai 2017	iv


Tableau 4-2 : Erreurs obtenues pour le calage du modèle hydrogéologique 10

Tableau 4-3 : Résultats de l'analyse de sensibilité 12

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A : Figures



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE		Préparé par : V. Fournier	
	Modélisation hydrogéologique de la fosse		Révisé par : C. Bélanger	
			Rév	Date
	641991-0000-4WER-0004	PB	29 mai 2017	1

1.0 Introduction

1.1 Contexte

Mason Graphite inc. (Mason Graphite) a acquis les droits miniers pour l'exploitation d'un gisement de graphite situé près du Lac Guéret à environ 80 km au nord-ouest du barrage Daniel Johnson (Manic 5), dans le nord du Québec. L'exploitation sera réalisée selon une fosse à ciel ouvert.

En septembre 2015, Mason Graphite a complété l'étude de faisabilité et souhaite débiter la construction des infrastructures au site à l'été 2017. À l'égard des exigences sur les eaux souterraines de la Directive 019, une première campagne géotechnique a été réalisée au site en 2015 (Qualitas 2015a). Suite à ces travaux, le client a mandaté SNC-Lavalin pour réaliser une étude hydrogéologique et une modélisation numérique de l'écoulement de l'eau souterraine au site de la future fosse afin d'évaluer l'impact en termes de débit de pompage ainsi que de la forme et de l'étendue du cône de rabattement qui sera occasionné par le pompage de la fosse.

1.2 Mandat et objectifs

L'objectif principal du mandat est de réaliser le modèle conceptuel hydrogéologique et de construire un modèle numérique qui permettra de :

- > Représenter les conditions actuelles d'écoulement de l'eau souterraine au site de la future fosse;
- > Évaluer l'impact du pompage de cette dernière sur le réseau d'écoulement souterrain existant;
- > Évaluer l'impact en termes de débit de pompage ainsi que de la forme et de l'étendue du cône de rabattement pour un niveau d'exploitation intermédiaire de la fosse (10 ans) et un niveau final (25 ans).


1.3 Méthodologie

Le travail a été réalisé en deux étapes distinctes, soit la modélisation hydrogéologique de l'eau souterraine afin de reproduire les conditions actuelles d'écoulement et ensuite, la simulation des conditions d'écoulement pour deux niveaux d'exploitation de la fosse. De façon spécifique, les étapes ont été réalisées de la façon suivante :

1. Développer le modèle hydrogéologique 3D du site à l'aide du logiciel Visual Modflow 2013 et représenter les conditions actuelles d'écoulement (avant exploitation);
2. Calibrer le modèle sur la base des niveaux piézométriques mesurés sur le terrain afin de reproduire l'écoulement et les niveaux d'eau observés;
3. Intégrer la présence de la fosse à deux niveaux d'exploitation afin de simuler l'impact de celle-ci sur le patron d'écoulement souterrain (cône de rabattement) et faire l'évaluation des débits d'infiltration.

2.0 Modèle hydrogéologique conceptuel

Le modèle hydrogéologique conceptuel est réalisé sur la base des données de sondages, des essais hydrauliques et des niveaux d'eau recueillis dans le cadre d'une étude géotechnique réalisée par Qualitas (Qualitas, 2015a). La stratigraphie et la piézométrie ont été déterminées à partir de 10 forages (BH-14-01 à BH-14-10) dont 4 ont été instrumentés avec des piézomètres à corde vibrante permettant la lecture de niveaux d'eau à plusieurs

 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE			Préparé par : V. Fournier		
	Modélisation hydrogéologique de la fosse			Révisé par : C. Bélanger		
	641991-0000-4WER-0004			Rév	Date	Page
				PB	29 mai 2017	2

profondeurs. Tous les forages sont situés à l'intérieur ou à proximité de la future fosse. La figure 1 de l'annexe 1 présente la localisation des forages.

2.1 Piézométrie

La profondeur de l'eau souterraine au site de la future fosse est variable et se situe généralement dans le socle rocheux. Dans les points bas et les plateaux, elle est affleurante alors que dans les points topographiques élevés, elle peut atteindre jusqu'à 12 m de profondeur. La profondeur moyenne de la nappe est de 4.3 m et les eaux souterraines s'écoulent des hauts topographiques situés au nord-ouest du site vers un ruisseau situé à l'est dans un point bas qui pourrait agir comme un point de résurgence des eaux souterraines.

Un relevé piézométrique réalisé à l'automne 2014 a permis de tracer une carte piézométrique du site. Le tableau 2 -1 donne les niveaux d'eau mesurés au site, utilisés pour tracer la carte présentée à la figure 2 de l'annexe A.

Tableau 2-1 : Niveaux piézométriques mesurés aux puits d'observation au site à l'automne 2014

Puits	Coordonnées UTM		Élévation surface (m)	Lecture p/r surface (m)	Élévation de l'eau (m)	Date	Unité interceptée
	Nord	Est					
BH-14-01	495786	5663925	537,97	4,79	533,18	11/12/2014	Socle rocheux
BH-14-02	495882	5663987	524,35	1,93	522,42	15/12/2014	Socle rocheux
BH-14-03	496000	5664082	518,69	6,31	512,38	12/11/2014	Socle rocheux
BH-14-04	496028	5663916	504,08	2,02	502,06	15/12/2014	Socle rocheux
BH-14-05	495959	5663770	504,51	3,02	501,49	12/11/2014	Socle rocheux
BH-14-06	495837	5663689	504,66	0,00	504,66	16/12/2014	Socle rocheux
BH-14-07	495682	5663690	539,34	11,61	527,73	12/11/2014	Socle rocheux
BH-14-08	495666	5663821	542,76	11,88	530,88	15/12/2014	Socle rocheux
BH-14-09	496205	5663820	479	0,96	478,04	16/12/2014	Socle rocheux
BH-14-10	495333	5663982	566	0,51	565,49	17/12/2014	Socle rocheux



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE			Préparé par : V. Fournier		
	Modélisation hydrogéologique de la fosse			Révisé par : C. Bélanger		
	641991-0000-4WER-0004			Rév	Date	Page
				PB	29 mai 2017	3

Tableau 2-2 : Niveau piézométriques mesurés aux piézomètres à corde vibrante au site à l'automne 2014

Piézomètre à corde vibrante	Coordonnées UTM		Élévation surface	Élévation crépine	Élévation de l'eau	Date	Gradient verticale (i)
	Nord	Est	(m)	(m)	(m)		(m/m)
BH-14-01/1	495786	5663925	537,97	528,39	531,21	17/12/2014	0,58
BH-14-01/2	495786	5663925	537,97	493,40	510,95	17/12/2014	
BH-14-01/3	495786	5663925	537,97	473,40	499,44	17/11/2014	
BH-14-03/1	496000	5664082	518,69	507,05	510,43	17/12/2014	0,58
BH-14-03/2	496000	5664082	518,69	474,05	490,92	17/12/2014	
BH-14-03/3	496000	5664082	518,69	444,05	473,39	17/12/2014	
BH-14-05/1	495959	5663770	504,51	498,57	500,52	17/12/2014	0,58
BH-14-05/2	495959	5663770	504,51	466,57	481,62	17/12/2014	
BH-14-05/3	495959	5663770	504,51	441,57	467,03	17/12/2014	
BH-14-7/1	495682	5663690	539,34	418,78	453,95	17/12/2014	0,71
BH-14-7/2	495682	5663690	539,34	390,18	433,73	17/12/2014	
BH-14-7/3	495682	5663690	539,34	351,48	406,37	17/12/2014	

L'écoulement au pourtour de la future fosse s'effectue de façon générale de l'ouest vers l'est avec un gradient horizontal relativement élevé estimé à 0,1 m/m.

Les mesures des niveaux d'eau prises aux piézomètres à corde vibrante (tableau 2.2) installés à l'intérieur des puits BH-14-01, BH-14-03, BH-14-05 et BH-14-07 indiquent et suggèrent un fort gradient hydraulique vertical descendant évalué à 0,58 m/m aux piézomètres situés à des profondeurs inférieures à 45 m et à 0,71 m/m aux piézomètres situés à des profondeurs de 85 m à 132 m. Ces gradients hydrauliques verticaux peuvent être expliqués par la présence de joints ou failles pouvant favoriser localement l'écoulement vertical.

 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE		Préparé par : V. Fournier	
	Modélisation hydrogéologique de la fosse		Révisé par : C. Bélanger	
			Rév	Date
	641991-0000-4WER-0004	PB	29 mai 2017	4

2.2 Topographie

La topographie a été déterminée à partir d'un Lidar réalisé en 2016 (Hatch, 2016). Le site de la future fosse évolue sur une pente dont le haut topographique au nord-ouest se situe à une élévation d'environ 560 m vers un bas topographique au sud-est d'élévation 475 m.

2.3 Propriétés hydrogéologiques des unités stratigraphiques

La stratigraphie du site, présentée dans ce qui suit, a été extraite des rapports de forage BH-14-01 à BH-14-10 provenant de l'étude géotechnique réalisée par Qualitas (Qualitas, 2015a).

2.3.1 Couche superficielle

Une couche de matière organique de moins de 0,1 m d'épaisseur a été identifiée au forage BH-14-09 et BH-14-10.

2.3.2 Dépôt meuble sableux

Un horizon de sable perméable d'une épaisseur de 3,6 m a été rencontré localement dans le forage BH-14-09. La conductivité hydraulique présumée de cet horizon est de 5×10^{-5} m/s (Domenico et Schwartz, 1997).

La méthode de prédiction de la conductivité hydraulique saturée de Chapuis (Chapuis, 2004) a été utilisée pour confirmer cette valeur. Selon les courbes granulométriques réalisées sur quatre (4) échantillons de sable collectés dans le forage BH-14-09, des valeurs de conductivité hydraulique variant de $4,89 \times 10^{-5}$ à $1,65 \times 10^{-5}$ m/s, pour une valeur moyenne de $3,73 \times 10^{-5}$ m/s, sont obtenues.

2.3.3 Dépôt meuble d'origine glaciaire


Un dépôt meuble peu perméable et de faible épaisseur (moyenne de 4 m) limitant l'infiltration des eaux de précipitations et de ruissellement est rencontré sur la vaste majorité du futur projet minier à l'étude. En fonction de la granulométrie étalée de ce type de dépôt, la conductivité hydraulique de cette couche stratigraphique a été estimée à 1×10^{-7} m/s. Cette valeur de conductivité hydraulique présumée témoigne d'un milieu superficiel modérément à peu perméable qui réduit en partie la recharge verticale vers le milieu rocheux sous-jacent.

À titre de comparaison, les conductivités hydrauliques typiques pour un till glaciaire sont de l'ordre de 10^{-5} à 10^{-9} m/s (Holtz and Kovacs, 1981).

2.3.4 Socle rocheux

Le socle rocheux possède des réseaux de fracturation plus ou moins ouverts dans lesquels les eaux de surface et de la nappe superficielle s'infiltreront sous le couvert meuble et migrent verticalement jusqu'au niveau de la nappe libre. Les eaux d'infiltration s'écoulent ensuite horizontalement suivant la topographie locale vers des zones de résurgences potentielles d'eaux souterraines localisées au sud-est du site.

Les essais « packer » réalisés dans l'unité de roc, ont donné une conductivité hydraulique moyenne de $1,95 \times 10^{-7}$ m/s, avec une plage de valeurs allant de $4,1 \times 10^{-6}$ m/s à des valeurs inférieures à $1,00 \times 10^{-7}$ m/s (limite de l'appareil).

 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE		Préparé par : V. Fournier	
	Modélisation hydrogéologique de la fosse		Révisé par : C. Bélanger	
	641991-0000-4WER-0004	Rév	Date	Page
		PB	29 mai 2017	5

2.4 Paramètres hydrologiques et calcul de la recharge

Les données hydrologiques sont tirées du rapport Hatch (2016) sur la gestion des eaux au concentrateur. Les données de précipitations proviennent de la station Baie-Comeau (Environnement Canada) et sont la moyenne des valeurs mensuelles obtenues pour la période de 1981-2010. Les données d'évaporation proviennent de la station Bonnard pour la période 1951-1981, car aucune donnée de précipitations n'était disponible pour la station de Baie-Comeau. Le coefficient de ruissellement a été déterminé à 0,56 d'après le tableau de classification hydrologique en zone rurale (MTQ, 1995). Il est supposé que le terrain est vallonné et du fait que le niveau de l'eau souterraine est près de la surface et que la conductivité hydraulique estimée relativement faible en surface, le sol a été classé C. La recharge effective est calculée à partir des paramètres d'hydrologie résumés au tableau 2-4. Mentionnons que la recharge équivaut aux précipitations moins l'évaporation et le ruissellement. Cette estimation ne présente qu'une appréciation du phénomène de la recharge qui sera ensuite précisée grâce au processus de calibration.

$$R = P - \text{Évapo.} - \text{Ruissellement}$$

Tableau 2-3 : Données hydrologiques et calcul de recharge

Paramètre	Valeur
Précipitations (P)	1001 mm/an
Évaporation Lacustre (Évapo.)	280 à 450 mm/an*
Ruissellement (Cr=0,34*)	561 mm/an
Recharge (R)	75 mm/an

* Valeurs tirées de l'Abaque Hydrologique du Canada et du rapport de Hatch (2016)

2.5 Géométrie de la fosse

La fosse à son niveau d'exploitation maximale est d'une longueur de 646 m selon l'orientation sud-ouest nord-est et couvre une superficie approximative de 127 454 m² (figure 1, annexe A). Son exploitation se fera à deux niveaux, soit à 480 m (a.s.l) dans sa partie ouest et à 460 m (a.s.l) dans sa partie est, ce qui correspond à des profondeurs par rapport à la surface d'environ 40 m et 60 m respectivement.


Les eaux de ruissellement en périphérie de la fosse seront réorientées avec des ouvrages de drainage appropriés vers un bassin de collecte d'eaux propres ou le milieu naturel afin de réduire les volumes d'eau à gérer.

La fosse sera progressivement exploitée sur une période de 25 ans. Dans le cadre du mandat de modélisation, la représentation de la fosse sera réalisée sur un horizon d'exploitation intermédiaire (10 ans) et finale (25 ans).

2.6 Évaluation préliminaire du débit des infiltrations d'eau souterraine

Un débit d'infiltration d'eau souterraine préliminaire et théorique dans les parois de la mine a été estimé en considérant la Loi de Darcy et les critères suivants :

K conductivité hydraulique moyenne mesurée lors des essais hydrauliques dans l'unité hydrostratigraphique rocheuse (2×10^{-7} m/sec);

 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE		Préparé par : V. Fournier	
	Modélisation hydrogéologique de la fosse		Révisé par : C. Bélanger	
			Rév	Date
	641991-0000-4WER-0004	PB	29 mai 2017	6

- i gradient hydraulique horizontal mesuré selon le sens préférentiel de percolation et la topographie de la surface du terrain (environ 10% vers le sud-est);
- A surface perpendiculaire à l'écoulement des eaux souterraines (m²) et calculée en admettant une hypothèse simplifiée d'une aire de forme rectangulaire sur une hauteur verticale de saturation d'environ 50 m entre le dessus de la nappe libre et le fond de la mine et une longueur de 646 m par une largeur moyenne de 237 m.

Selon ces conditions, le débit d'exfiltration d'eau souterraine dans les parois de la mine a ainsi été évalué de façon préliminaire à une valeur de l'ordre de 150 m³/j après 25 ans d'exploitation.

L'objectif de cette approche était d'établir un ordre de grandeur d'un débit potentiel théorique de base afin de mieux apprécier et de mettre en perspective les résultats de la modélisation.

3.0 Modélisation numérique

Le modèle conceptuel présenté dans les sections précédentes a été utilisé pour construire un modèle numérique afin de représenter les conditions d'écoulement avant exploitation et de simuler ensuite l'exploitation de la fosse à des niveaux représentant 10 ans et 25 ans d'exploitation.

La méthodologie suivie dans le cadre de ce mandat, est la suivante :

- > Calibration du modèle numérique représentant les conditions actuelles du site (sans fosse),
- > Ajout d'une condition de drains au niveau de la fosse à des profondeurs représentant les niveaux d'exploitation 10 ans et 25 ans;
- > Simulation des rabattements et des débits sortants correspondants.


3.1 Modèle numérique

Visual Modflow Classic 2013 a été utilisé pour simuler l'écoulement de l'eau souterraine. Il permet de représenter de façon simplifiée l'écoulement des eaux souterraines à l'aide d'une grille tridimensionnelle utilisant la méthode des différences finies. Le code de calcul a été développé initialement par la commission géologique des États-Unis (USGS). Les équations du modèle sont présentées dans le manuel de référence du modèle (McDonald et Harbaugh, 1988). Ce logiciel est reconnu dans la communauté scientifique et fréquemment utilisé par les chercheurs ainsi que les firmes de génie-conseil pour simuler l'écoulement souterrain et le transport de contaminants.

Le modèle numérique se veut la traduction mathématique du modèle conceptuel. Il a été développé à l'aide des données disponibles après la compilation de l'information existante. Il est à prévoir que ces données ne représentent qu'imparfaitement les réalités géologiques et hydrauliques du site, compte tenu de l'extension spatiale limitée des investigations hydrogéologiques. En ce sens, les résultats de simulation seront tributaires de cette représentation imparfaite de la réalité et recèleront une part d'incertitude, ce qui est le lot de tous les modèles hydrogéologiques.

3.2 Description du modèle numérique et maillage

La zone du modèle numérique, présentée à la figure 3 de l'Annexe A, est plus étendue que celle du modèle conceptuel et ces limites ont été choisies à partir des frontières hydrogéologiques de surface identifiées et de la topographie. La superficie du modèle a aussi été déterminée de façon à conserver une certaine confiance du

 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE		Préparé par : V. Fournier	
	Modélisation hydrogéologique de la fosse		Révisé par : C. Bélanger	
			Rév	Date
	641991-0000-4WER-0004	PB	29 mai 2017	7

domaine simulé en restant à une distance raisonnable des données observées qui serviront à la calibration du modèle.

Le modèle est limité à l'est et au sud par deux rivières se rejoignant vers un même exutoire situé à l'est à une altitude de 428 m (a.s.l.). Au nord et à l'ouest, la frontière du modèle correspond aux limites de sous-bassins versants et suit la ligne de partage des eaux. L'étendue du modèle est de 2125 m de longueur sur 2740 m de largeur. Le modèle couvre une hauteur de 150 m.

Un maillage 3D a été généré à partir des limites du modèle. Le maillage est composé de 197 colonnes et 161 lignes pour un total de 31 717 éléments rectangulaires répartis sur 7 couches.

La discrétisation verticale présentée à la figure 3 de l'Annexe A divise le modèle 3D en 7 couches représentant les différentes unités lithologiques rencontrées soit : les dépôts meubles de surface (couche 1), le roc de surface (couche 2 à 4) et le roc profond (couche 5 à 7). L'épaisseur des dépôts meubles (couche 1) a d'abord été déterminée à partir des élévations mesurées dans les forages réalisés sur le site (~4 m) pour ensuite être augmentée (10 m) jusqu'à obtenir une bonne connexion entre les différentes cellules situées en topographie accidentée. Ceci permet une meilleure convergence du modèle lors du processus de simulation.

La topographie appliquée au modèle numérique provient des données fournies par Hatch selon une précision des courbes topographique au 2 m.

3.3 Paramètres du modèle

3.3.1 Piézométrie

Les niveaux d'eau mesurés en 2014 (Qualitas, 2015a) dans l'ensemble des puits BH-14-01 à BH-14-10 et dans les piézomètres à niveaux multiples localisés à des profondeurs inférieures à 60 m (profondeur maximum du fond de la fosse), ont été utilisés pour calibrer le modèle hydrogéologique. En tout, 15 points d'observation ont permis de représenter les conditions actuelles. Ces points de mesure du niveau de la nappe sont localisés pour la plupart à l'intérieur de la future fosse ou à proximité (figure 1, annexe A).

3.3.2 Conductivité hydraulique

Quatre unités hydrostratigraphiques ont été considérées pour construire le modèle numérique ; Le dépôt meuble peu perméable de surface, le sable de surface, le roc de surface et le roc profond. La distribution spatiale des unités de dépôt meuble n'étant pas connue à l'extérieur de la zone de la future fosse, le dépôt meuble peu perméable a été situé dans la partie ouest et nord (haut topographique) et le sable de surface dans la partie est et sud (bas topographique).

Les conductivités hydrauliques mesurées ou estimées pour chaque lithologie sont présentées à la section 2.3.

Le tableau 3-1 présente les conductivités hydrauliques provenant du modèle conceptuel. La figure 4 de l'annexe A présente la localisation en plan et en coupe des zones déterminées. Les valeurs de conductivité hydraulique du roc de surface et du roc profond correspondent à la valeur moyenne déterminés à partir des essais «Packer» (Qualitas, 2015a). La conductivité hydraulique du dépôt meuble peu perméable et du sable de surface correspondent aux valeurs estimées en fonction de la distribution granulométrique (Qualitas, 2015a).


 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE			Préparé par : V. Fournier		
	Modélisation hydrogéologique de la fosse			Révisé par : C. Bélanger		
	641991-0000-4WER-0004			Rév	Date	Page
				PB	29 mai 2017	8

Tableau 3-1 : Conductivités hydrauliques des unités stratigraphiques du modèle numérique

Unités hydrostratigraphiques	Conductivités hydrauliques (m/s)			Couche	Épaisseur (m)
	Kx	Ky	Kz		
Till	1x10 ⁻⁰⁷	1x10 ⁻⁰⁷	1x10 ⁻⁰⁷	1 (section NO)	10
Sable	5x10 ⁻⁰⁵	5x10 ⁻⁰⁵	5x10 ⁻⁰⁵	1 (section SE)	10
Roc de surface	2X10 ⁻⁰⁷	2X10 ⁻⁰⁷	2X10 ⁻⁰⁷	2 – 4	50
Roc profond	2X10 ⁻⁰⁷	2X10 ⁻⁰⁷	2X10 ⁻⁰⁷	5 - 7	90

3.3.3 Recharge

Une recharge initiale de 75 mm/an, correspondant à la valeur théorique présentée dans le modèle conceptuel (section 2.4) a été appliquée sur l'ensemble du domaine.

3.3.4 Conditions frontières latérales

Une condition frontière de charge constante suivant la topographie a été appliquée au niveau des deux rivières représentant les limites sud et est du modèle. La condition de charge constante a été appliquée sur l'ensemble des couches afin de simuler l'exutoire du système. Aucune condition frontière n'a été appliquée aux limites nord et ouest du modèle afin de représenter la ligne de partage des eaux par une condition d'écoulement nul.

3.4 Calibration du modèle numérique

Le modèle piézométrique est ajusté grâce aux paramètres hydrogéologiques existants afin de vérifier qu'il reproduit bien le réseau d'écoulement et les charges hydrauliques mesurées à partir des données d'entrée et des conditions limites appliquées au modèle (ASTM D5981-96, 2002). Le but de la calibration est de déterminer un ensemble de paramètres entrants du modèle qui minimise la différence entre les charges hydrauliques simulées et mesurées. Le paramètre de calibration choisi pour l'étude est l'erreur NRMSE calculée à l'aide de l'équation 1. Une erreur NRMSE inférieure à 15% est généralement acceptée par l'industrie.

L'erreur quadratique moyenne normalisée (NRMSE) :

$$NRMSE = \frac{1}{(h_{max} - h_{min})} \times \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (h_s - h_m)^2 \right]^{1/2} \quad [\text{eq. 1}]$$

Où:


N: nombre total d'observations

h_s : charge hydraulique simulée [m]

h_m : charge hydraulique mesurée [m]

h_{max} : charge hydraulique mesurée maximum [m]

h_{min} : charge hydraulique mesurée minimum [m]

 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE		Préparé par : V. Fournier		
	Modélisation hydrogéologique de la fosse		Révisé par : C. Bélanger		
			Rév	Date	Page
	641991-0000-4WER-0004	PB	29 mai 2017	9	

4.0 Modélisation numérique des conditions actuelles

4.1 Résultats

La simulation des conditions initiales représentant les conditions d'écoulement observées avant la mise en place de la fosse a été réalisée en régime permanent et en condition d'écoulement saturé.

Les efforts de calibration du modèle se sont concentrés sur l'ajustement de la recharge. L'objectif était de conserver la conductivité hydraulique moyenne du roc qui provient de donnée mesurée (tableau 3.1).

La recharge a été appliquée en divisant le modèle en quatre (4) zones en fonction de la topographie. La figure 5 de l'annexe A présente une vue en plan des zones déterminées. Des recharges variant de 120 mm/an (haut topographique) à 50 mm/an (bas topographique) ont été appliquées à la couche 1 du modèle. Comme la valeur théorique de 75 mm/an présentée dans le modèle conceptuel (section 2.4), ces valeurs sont peu élevées et s'expliquent par la topographie accidentée et la conductivité hydraulique très faible de la couche de surface formée par le dépôt peu perméable qui ne permet pas une recharge importante de la nappe. La valeur plus élevée (120 mm/an) localisée en haut topographique peut être expliquée de façon conceptuelle par la présence d'affleurement rocheux en haut topographique qui permet une recharge plus efficace des eaux d'infiltration. Au niveau du modèle numérique, cette recharge plus élevée s'explique par l'absence de charge en condition frontière.

Les niveaux provenant des piézomètres situés à des profondeurs inférieures à 60 m ont été utilisés lors du processus de calibration afin de concentrer les efforts de représentation à la couche de roc de surface dans laquelle se situera la future fosse.

Les niveaux d'eau de 15 points d'observation ont été utilisés pour la validation du calage du modèle. Ces points de mesures sont présentés dans le tableau 4-1 et leur localisation est montrée à la figure 1 de l'Annexe A. Les résultats du calage sont présentés au tableau 4-2 et donnent un NRMSE (erreur quadratique moyenne normalisée) de 11,42% indiquant que le calage du modèle obtenu est adéquat et représente bien les conditions observées sur le terrain. La charge hydraulique sur l'ensemble du site varie de 473 m à 562 m. L'erreur moyenne sur le modèle est de 4.69 m pour un coefficient de corrélation de 0.91. La figure 7 de l'Annexe A, montre une comparaison entre les charges hydrauliques mesurées sur le terrain versus celles calibrées et indique que celles-ci sont toutes dans le même ordre de grandeur et s'alignent uniformément le long de la courbe unitaire.

La calibration est aussi présentée (figure 7, annexe A) par rapport au puits situés à des profondeurs inférieures à 40 m. Le NRMSE de 7.22 % montre que le modèle représente bien les conditions d'écoulement dans le roc de surface.

Tableau 4-1 : Point de mesure du niveau d'eau pour la calibration du modèle

Puits/Forage	X (m)	Y (m)	Profondeur Crépine (m)	Niveau piézométrique mesuré (m)	Niveau piézométrique calibré (m)	Différence (m)
BH-14-01	495786	5663925	9.58	533.18	527.75	-5.43
BH-14-01/1	495786	5663925	9.58	531.21	527.75	-3.46
BH-14-01/2	495786	5663925	44.57	510.95	527.36	16.41
BH-14-02	495882	5663987	31.80	522.42	521.50	-0.92



Puits/Forage	X (m)	Y (m)	Profondeur Crépine (m)	Niveau piézométrique mesuré (m)	Niveau piézométrique calibré (m)	Différence (m)
BH-14-03	496000	5664082	11,64	512,38	515,22	2,84
BH-14-03/1	496000	5664082	11,64	510,43	515,22	4,79
BH-14-03/2	496000	5664082	44,64	490,92	514,92	24
BH-14-04	496028	5663916	52,20	502,06	504,01	1,95
BH-15-05	495959	5663770	5,94	501,49	504,95	3,46
BH-14-05/1	495959	5663770	5,94	500,52	504,95	4,43
BH-14-05/2	495959	5663770	37,94	481,62	504,66	23,04
BH-14-06	495837	5663689	21,8	504,66	513,14	8,48
BH-14-08	495666	5663821	69,70	530,49	533,73	3,24
BH-14-09	496205	5663820	10,50	477,97	473,18	-4,79
BH-14-10	495333	5663982	18,50	565,49	562,77	-2,72

Tableau 4-2 : Erreurs obtenues pour le calage du modèle hydrogéologique

Paramètre	Erreur sur le modèle calibré	Plage des valeurs acceptables
NRMSE (%) <60 m	11,42 %	10-15 %
NRMSE (%) <40 m	7,22%	10-15 %

Les résultats du modèle indiquent que la piézométrie simulée par le modèle numérique représente le patron d'écoulement et les charges hydrauliques déterminées par l'analyse des données de terrain collectées avant le développement de la fosse. La piézométrie simulée est présentée en plan, en coupe et selon une approche 3D aux figures 6A à 6C de l'Annexe A.

L'eau entre dans le modèle par les précipitations et par les conditions frontières dans le secteur amont des deux rivières et sort du modèle par les exutoires imposés par les conditions frontières représentant le secteur aval des deux rivières à l'est du modèle. Au niveau de la fosse, les courbes piézométriques représentent adéquatement le patron d'écoulement observé.

 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : V. Fournier		
		Révisé par : C.Bélanger		
	641991-0000-4WER-0004	Rév	Date	Page
	PB	29 mai 2017	11	

4.2 Analyse de sensibilité du modèle

L'analyse de sensibilité a été réalisée en utilisant des valeurs pouvant être représentatives du modèle conceptuel. Le tableau 4.3 montre les différentes valeurs utilisées et le NRMSE correspondant.

L'analyse de sensibilité du modèle démontre que celui-ci est sensible à la variation de la conductivité hydraulique de la couche de sable. Également, le modèle est très influencé par la variation de la conductivité hydraulique du roc de surface et du roc profond ainsi qu'à la variation de la recharge au centre du modèle.

Voici le détail de l'analyse :

- › Pour la conductivité hydraulique de la couche de sable : l'erreur passe de 11,5 à 16,2 % lorsqu'on augmente la conductivité hydraulique de 5×10^{-05} à 8×10^{-05} m/s (facteur de 1,6) et de 11,5 % à 17,5 % lorsqu'on diminue la conductivité hydraulique de 5×10^{-05} à 1×10^{-05} m/s (facteur de 2).
- › Pour la conductivité hydraulique de la couche de roc de surface; l'erreur passe de 11,5 à 22,8 % lorsqu'on augmente la conductivité hydraulique de 2×10^{-07} à 5×10^{-07} m/s et de 11,5 % à 30,1 % lorsqu'on diminue la conductivité hydraulique de 2×10^{-07} à 1×10^{-07} m/s. Un NRMSE de 10,3% a été obtenu en utilisant une conductivité hydraulique de 3×10^{-07} m/s. Malgré que la calibration sur l'ensemble des puits soit supérieure avec cette valeur, celle-ci n'a pas été retenue car la charge simulée au puits situé en amont de la future fosse (BH-14-10) est inférieure de 12 m par rapport au niveau mesuré. Étant donné la distribution spatiale très restreinte des puits d'observation, il est apparu nécessaire d'obtenir une bonne représentation du puits BH-14-10 qui est le seul localisé à l'extérieur et en amont de la future fosse.
- › Pour la conductivité hydraulique de la couche de roc profond ; l'erreur passe de 11,5 à 29,8 % lorsqu'on augmente la conductivité hydraulique de 2×10^{-07} à 5×10^{-07} m/s (facteur de 2.5) et de 11,5 % à 38,8 % lorsqu'on diminue la conductivité hydraulique de 2×10^{-07} à 1×10^{-07} m/s (facteur de 2).
- › Pour la recharge, la variation a été appliquée en augmentant la valeur pour chaque zone de façon distincte. Les zones 2 et 3, situées à proximité des puits d'observation sont les plus touchées par l'augmentation; l'erreur passe de 11,5 à 18,2 % et 16,5% lorsqu'on fait varier la recharge d'à peine 5 mm/an.

Les autres paramètres du modèle influencent avec un impact moindre le comportement du modèle.

 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : V. Fournier Révisé par : C. Bélanger		
			Rév	Date	Page
	641991-0000-4WER-0004		PB	29 mai 2017	12

Tableau 4-3 : Résultats de l'analyse de sensibilité

Paramètre modifié	Valeurs calibrées (m/s)	Valeur de l'analyse de sensibilité (m/s)	NRMSE sur l'analyse de sensibilité (%)
Modèle calibré avec l'ensemble des valeurs			11,52
Conductivité hydraulique du till de surface	1x10 ⁻⁷	1x10 ⁻⁶	10,69
		5x10 ⁻⁷	10,99
		1x10 ⁻⁷	11,52
		5x10 ⁻⁸	11,86
Conductivité hydraulique du sable de surface	5x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁴	19,42
		8x10 ⁻⁵	16,18
		1x10 ⁻⁵	17,52
		5x10 ⁻⁶	28,15
Conductivité du roc de surface	2x10 ⁻⁷	5x10 ⁻⁷	22,78
		3x10 ⁻⁷	10,32
		2x10 ⁻⁷	11,52
		1x10 ⁻⁷	30,12
Conductivité du roc profond	2x10 ⁻⁷	5x10 ⁻⁷	29,84
		3x10 ⁻⁷	11,22
		2x10 ⁻⁷	11,52
		1x10 ⁻⁷	38,80
Recharge (mm/an)	120/60/50/80	125/60/50/80	15,68
		120/65/50/80	18,19
		120/60/55/80	16,47
		120/60/50/85	12,44

5.0 Modélisation numérique avec la fosse

Les niveaux d'eau souterraine simulés avec le modèle calibré seront utilisés comme condition initiale pour les simulations avec un modèle numérique réaliste intégrant la fosse. Ce dernier permettra de simuler différents niveaux d'exploitation de cette dernière et ultimement, d'évaluer la forme et la superficie des différents cônes de rabattement simulés.

Pour représenter les conditions lors des activités minières après 10 ans et 25 ans d'exploitation, la zone de la fosse a été modifiée manuellement pour ajouter localement une condition de drain au fond de la fosse. D'après les informations fournies par Mason Graphite, le niveau d'exploitation 10 ans se situe à l'élévation 500 m pour la partie ouest de la fosse et à 495 m dans sa partie est. L'élévation pour le niveau d'exploitation 25 ans se situe à 480 m pour la partie ouest de la fosse et à 460 m dans sa partie est.

 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : V. Fournier Révisé par : C. Bélanger		
			Rév	Date	Page
	641991-0000-4WER-0004		PB	29 mai 2017	13

5.1 Résultat du modèle avec fosse après 10 ans d'exploitation

La figure 8 de l'annexe A présente les rabattements simulés après 10 ans d'exploitation de la fosse. Les résultats illustrés sont ceux de la couche 4 du modèle (première couche saturée) où le fond de la fosse est localisé. Au niveau de la fosse, les rabattements simulés sont respectivement de l'ordre 20 m et 16 m pour la partie ouest et est. En aval de la fosse, les rabattements diminuent rapidement jusqu'à 1 m à un rayon d'environ 400 m de celle-ci et à 10 cm à l'intérieur d'un rayon de 1000 m. Vers l'amont, le cône de rabattement est plus important. Au nord de la fosse, un rabattement de 5 m est observé à environ 450 m. Dans la section ouest, la ligne de rabattement 3 m sort du domaine de modélisation, ce qui ne permet pas d'évaluer précisément la distance exacte d'influence du pompage de la fosse dans ce secteur. Il est important de rappeler que le domaine de modélisation a été déterminé d'une part, en fonction de la topographie et de l'hydrographie du site pouvant être utilisées comme condition frontière au modèle et d'autre part, en fonction de la distribution spatiale des données observées. Dans ce dernier cas, plus le domaine modélisé s'éloigne de la donnée observée, plus l'incertitude sur la représentation augmente.

Au niveau du volume d'eau sortant, le calcul du bilan hydrique permet d'évaluer un débit simulé sortant par la condition de drains de l'ordre de $110 \text{ m}^3/\text{j}$.

5.2 Résultat du modèle avec fosse après 25 ans d'exploitation

La figure 9 (annexe A) présente le cône de rabattement simulé après 25 ans d'exploitation de la fosse. Les rabattements maximaux obtenus à l'intérieur de la fosse dans sa partie ouest et est sont respectivement de 40 m et 50 m. Le rabattement au pourtour de la fosse diminue à 10 m à l'intérieur d'un rayon d'environ 220 m en aval et d'environ 400 m en amont de la fosse. Le rabattement atteint 2 m à environ 400 m en aval de la fosse et 10 cm à l'intérieur d'un rayon de 1200 m, tandis qu'il atteint 6 m à environ 700 m en amont. Encore ici, la ligne de rabattement 6 m sort du modèle de modélisation, ce qui ne permet pas d'évaluer précisément la distance exacte d'influence du pompage de la fosse pour le secteur amont. Afin d'estimer le rayon d'influence dans ce secteur, une extrapolation à l'aide d'une méthode graphique semi-logarithmique a été réalisée à partir des données de rabattements simulés. Les graphiques ainsi obtenus sont présentés à la figure 9 de l'annexe A. L'extrapolation a été réalisée sur deux coupes d'orientation nord-ouest et sud-ouest. D'après les résultats, le rayon d'influence du pompage en amont de la fosse se situe à l'intérieur de 2150 m dans la direction nord-ouest et à l'intérieur de 2300 m dans la direction sud-ouest.

D'après le calcul du bilan hydrique effectué sur la condition de drain, le débit sortant pour l'assèchement de la fosse est de l'ordre de $280 \text{ m}^3/\text{j}$, ce qui est au-dessus de la valeur estimée à l'étape du modèle conceptuel de $150 \text{ m}^3/\text{j}$, mais néanmoins du même ordre de grandeur. Cette dernière a cependant été estimée en admettant une hypothèse très simplifiée pour la représentation de la fosse.

Deux essais supplémentaires ont été réalisés avec des conductivités plus ou moins élevées du socle rocheux. L'objectif était d'estimer l'intervalle de débit sortant correspondant à des conditions plus ou moins conservatrices.

Dans le premier cas, la valeur de conductivité hydraulique du roc de surface a été diminuée à sa valeur minimum mesurée de $1 \times 10^{-7} \text{ m/s}$. La valeur de débit sortant correspondant est de $240 \text{ m}^3/\text{j}$.

Dans le deuxième cas, la valeur de conductivité hydraulique du roc de surface a été augmentée d'un ordre de grandeur pour atteindre $2 \times 10^{-6} \text{ m/s}$. La recharge a aussi été augmentée à 200 mm/an sur l'ensemble du domaine afin de ne pas limiter l'apport d'eau au modèle. La valeur de débit sortant correspondant est de $635 \text{ m}^3/\text{j}$.

 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : V. Fournier		
		Révisé par : C.Bélanger		
	641991-0000-4WER-0004	Rév	Date	Page
	PB	29 mai 2017	14	

6.0 Limites et recommandations

Lorsqu'on entreprend des travaux de modélisation numérique, il est nécessaire de porter un regard critique sur les résultats obtenus, car :

- > La définition d'un modèle numérique est fonction de la quantité et de la qualité des informations obtenues sur le terrain et les résultats du modèle obtenu ne peuvent être de meilleure qualité que ces données de base.
- > Un modèle numérique est une simplification d'un milieu réel plus complexe et ne peut être employé seul dans le cadre d'un processus décisionnel.

Le modèle développé représente une version conservatrice du système hydrogéologique naturel et de la future fosse qui comporte certaines limitations :

- > Le modèle est une simplification de la stratigraphie et du réseau d'écoulement qui montre un comportement global et ne détaille pas les zones d'écoulement préférentiel dans les dépôts meubles ou dans les fractures du socle rocheux.
- > La zone à l'extérieur de l'empreinte de la future fosse est peu ou pas caractérisée (niveau piézométrique et stratigraphie) et ne permet pas d'identifier des zones potentielles d'écoulement préférentiel des eaux souterraines.

Pour ces raisons, il est recommandé de faire le suivi des niveaux d'eau dans les puits d'observation qui seront implantés en périphérie du site et particulièrement en amont de la fosse, où les rabattements simulés sont plus importants. Le puits BH-14-10 serait bien positionné pour un tel suivi. Les données mesurées pourront être utilisées afin de faire la mise à jour du modèle si les débits de pompage réels sont plus importants que ceux présentés dans cette étude.

 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : V. Fournier Révisé par : C. Bélanger		
			Rév	Date	Page
	641991-0000-4WER-0004		PB	29 mai 2017	15

7.0 Conclusion

L'objectif de la modélisation hydrogéologique était de représenter les conditions actuelles d'écoulement souterrain au site de la future fosse et d'évaluer l'impact du pompage de celle-ci sur le réseau d'écoulement souterrain existant pour un niveau d'exploitation intermédiaire de 10 ans et finale de 25 ans.

Le modèle hydrogéologique conceptuel a d'abord été réalisé sur la base des données de sondages, des essais hydrauliques et des niveaux d'eau recueillis dans le cadre d'une étude géotechnique réalisée par Qualitas (Qualitas, 2015a).

Visual Modflow Classic 2013 a été utilisé pour simuler l'écoulement souterrain. Un modèle numérique 3D a d'abord été réalisé afin de représenter les conditions d'écoulement actuel, avant l'exploitation de la fosse. Le modèle a été calibré sur les données piézométriques relevées à l'intérieur des puits d'observation situés à des profondeurs inférieures à 60 m afin de bien représenter l'écoulement au sein du socle rocheux dans lequel sera exploitée la fosse. Les niveaux d'eau de 15 points d'observation ont donc été utilisés pour la validation du calage du modèle. Les résultats du modèle indiquent que la piézométrie créée par le modèle numérique correspond au patron d'écoulement et aux charges hydrauliques déterminées par l'analyse des données de terrain collectées avant le développement de la fosse (NRMSE 11,42 %). L'analyse de sensibilité du modèle démontre que celui-ci est sensible à la variation de la conductivité hydraulique de la couche de sable et très sensible à la variation de la conductivité hydraulique du roc de surface et du roc profond ainsi que de la variation de la recharge au centre du modèle.

Le modèle calibré a ensuite été utilisé comme condition de départ pour développer un modèle numérique intégrant la fosse et de simuler un niveau d'exploitation intermédiaire (10 ans) et un niveau final (25 ans). Pour représenter ces conditions, une condition de drain a été appliquée localement à l'élévation représentant le fond de la fosse.

Après 10 ans d'exploitation, la modélisation a permis d'évaluer un cône de rabattement d'un rayon d'environ 1000 m en aval de la fosse. L'impact du pompage est plus important en amont avec un rabattement de l'ordre de 5 m sur un rayon de 450 m.

Au niveau du volume d'eau sortant, le calcul du bilan hydrique a permis d'évaluer un débit sortant par la condition de drains, qui correspond à un débit d'infiltration par les parois de la fosse, de $110 \text{ m}^3/\text{j}$.

Après 25 ans d'exploitation, la modélisation a permis d'évaluer un cône de rabattement sur un rayon d'environ 1200 m en aval de la fosse. L'impact du pompage est encore ici plus important en amont avec un rabattement de l'ordre de 6 m sur un rayon de 700 m. Une extrapolation des rabattements simulés à l'aide de la méthode graphique semi-logarithmique a permis d'évaluer que le rayon d'influence du pompage se situe à l'intérieur de 2 300 m en amont de la fosse.

Au niveau du volume d'eau sortant, le calcul du bilan hydrique a permis d'évaluer un débit d'infiltration par les parois de la fosse, de $280 \text{ m}^3/\text{j}$. Un intervalle de valeur a ensuite été simulé en faisant varier la conductivité hydraulique du roc de surface, dans lequel se situe la fosse de $1 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ à $2 \times 10^{-6} \text{ m/s}$. Les débits sortants ainsi estimés varient de $240 \text{ m}^3/\text{j}$ à $635 \text{ m}^3/\text{j}$.

Suite au début des activités de pompage de la fosse, il est recommandé de faire le suivi des niveaux d'eau dans les puits d'observation qui seront implantés en périphérie du site et particulièrement en amont de la fosse, où les rabattements simulés sont plus importants. Les données mesurées pourront être utilisées afin de faire la mise à jour du modèle si les débits de pompage réels sont plus importants que ceux présentés dans cette étude.

 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : V. Fournier Révisé par : C.Bélanger		
		Rév	Date	Page
	641991-0000-4WER-0004	PB	29 mai 2017	16

8.0 Références

ASTM, 2002. Standard Guide for Calibrating a Ground-Water Flow Model Application. ASTM D5981-96.

ASTM, 2002. Standard Guide for Conducting a Sensitivity Analysis for a Ground-Water Flow Model Application. ASTM D5981-96.

Chapuis, R. (2004) Predicting the saturated hydraulic conductivity of sand and gravel using effective diameter and void ratio, *Can Geotech J* 41: 787-795.

Domenico P. A., and Schwartz, F. W., (1997) *Physical and Chemical Hydrogeology – 2nd Edition*, John Wiley and Sons Inc. New York.

Hatch (2016). *Gestion des eaux – Concentrateur*. Rapport H347199-0000-05-220-0006, Rév. 0. 22 Juin 2016.

Holtz R. D., and Kovacs W., D. (1981) *An Introduction to Geotechnical Engineering*. Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall, 1981.

McDonald, M.G., and Harbaugh, A.W., 1988, A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model: *Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey*, Book 6, Chapter A1, 586 p.

Ministère du développement durable, de l'Environnement et des parcs (MDDEP) (2012). Directive 019 sur l'industrie minière, mars 2012.

Qualitas (2015a). *Geotechnical Investigation Report Lac Geret Project –Cote-Nord Territory, Quebec, Canada*. Qualitas Project No. : 629409, 17 April 2015.

Qualitas (2015b). *Preliminary Geotechnical Investigation Report Concentrator site - Tailings Management Facility, Baie-Comeau, Quebec, Canada*. Qualitas Project No. : 632622, 17 Decembre 2015.

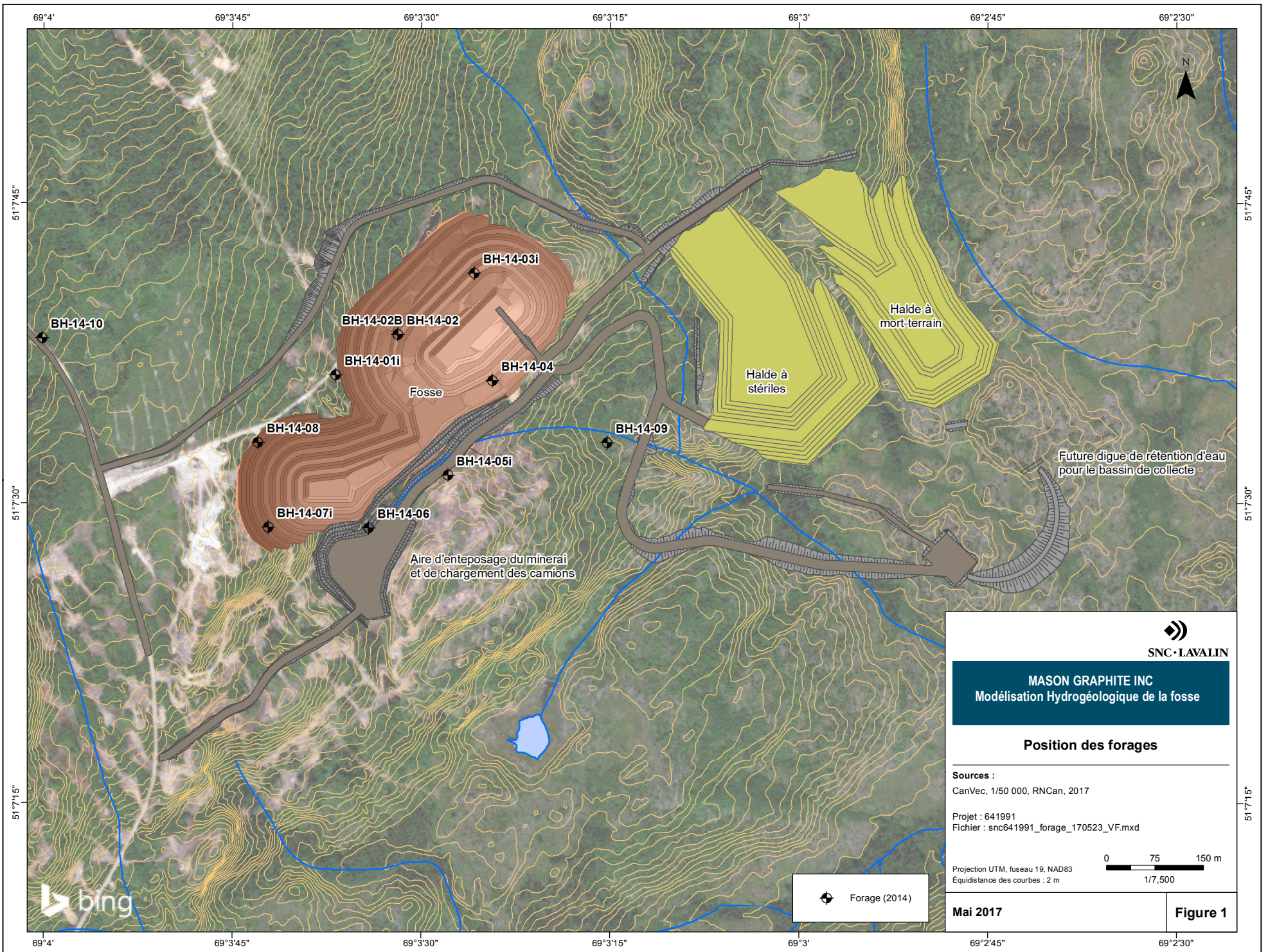
Qualitas (2015c). *Preliminary Geotechnical Investigation Report Concentrator site –Plant, Baie-Comeau, Quebec, Canada*. Qualitas Project No. : 632622, 17 Decembre 2015.




Annexe A

Figures

- Figure 1 : Plan de localisation général
- Figure 2 : Carte piézométrique du site de la mine
- Figure 3 : Plan et coupe du domaine modélisé
- Figure 4 : Plan et coupe des zone de conductivité
- Figure 5 : Plan des zones de recharge et des conditions frontières
- Figure 6 : Plan, coupe et figure 3D de la piézométrie simulée de la couche 4
- Figure 7 : Graphique des charges mesurées/charges simulées
- Figure 8 : Carte des rabattements fosse 10 ans
- Figure 9 : Carte des rabattements fosse 25 ans




SNC-LAVALIN

MASON GRAPHITE INC
 Modélisation Hydrogéologique de la fosse

Position des forages

Sources :
 CanVec, 1/50 000, RNCAN, 2017

Projet : 641991
 Fichier : snc641991_forage_170523_VF.mxd

Projection UTM, fuseau 19, NAD83
 Équidistance des courbes : 2 m

0 75 150 m
 1/7,500

Mai 2017 **Figure 1**

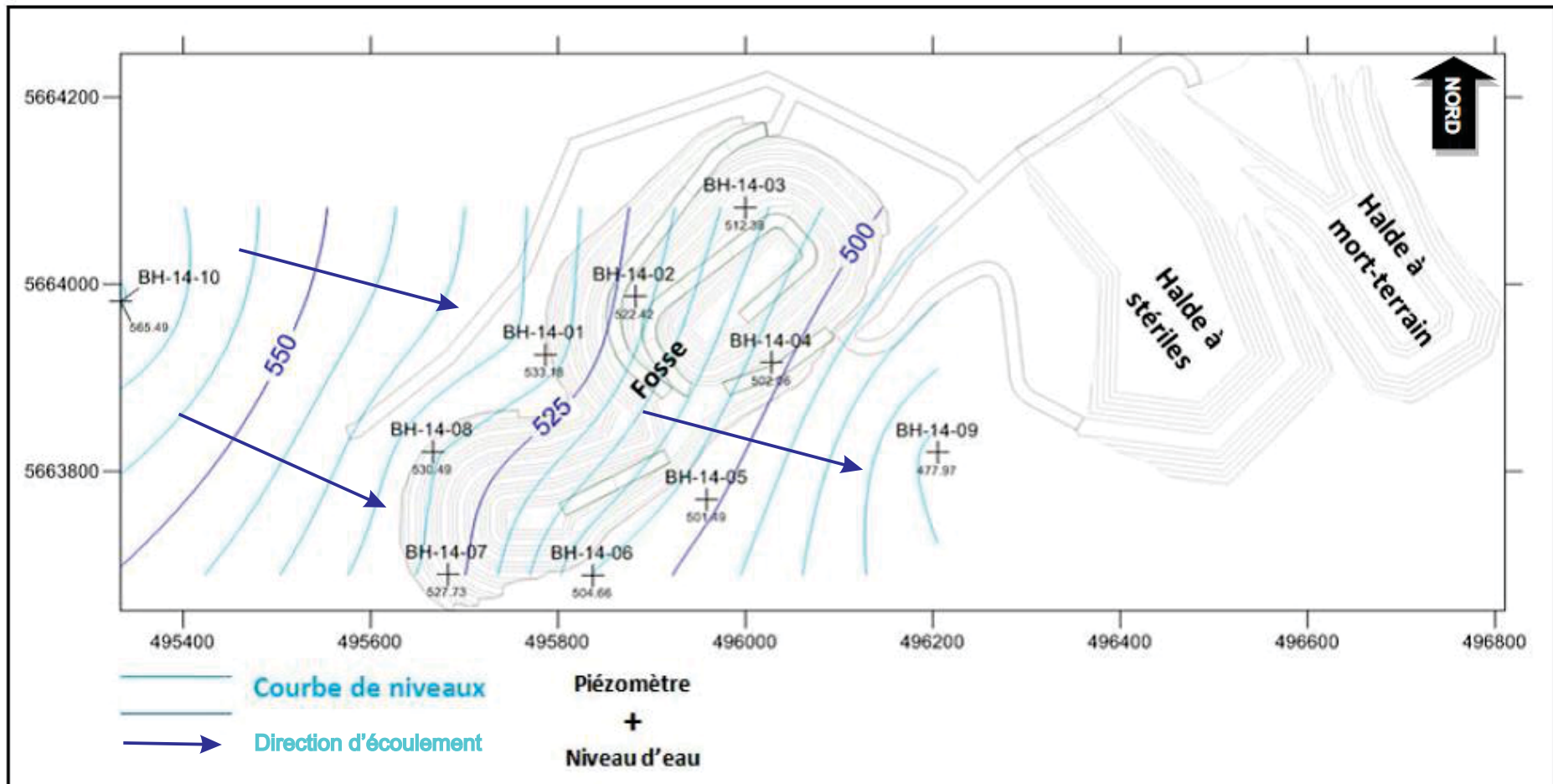


Figure 2 : Carte piézométrique du secteur de la fosse

Source : SNC-Lavalin

Client : Mason Graphite

Projet : Modélisation hydrogéologique de la fosse - Projet du lac Guéret

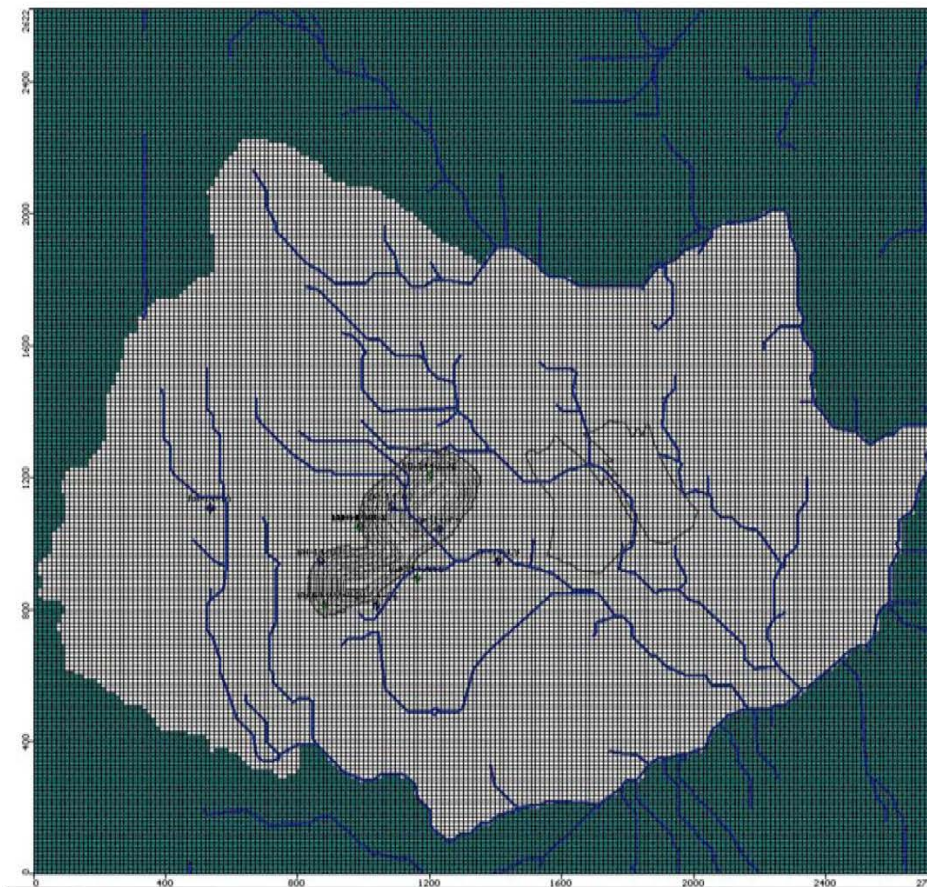
Préparé par : Géraldine Cosset, ing. M.Sc.A.

Vérifié par : Christian Bélanger, ing. M.Sc.A.

Date : 2017-05

No. révision : 00

a)



b)

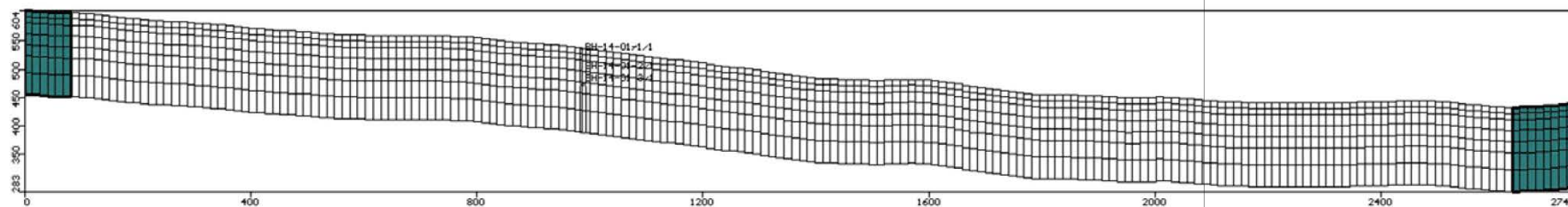


Figure 3 : a) Vue du maillage en plan
b) Vue du maillage en coupe

Client : Mason Graphite

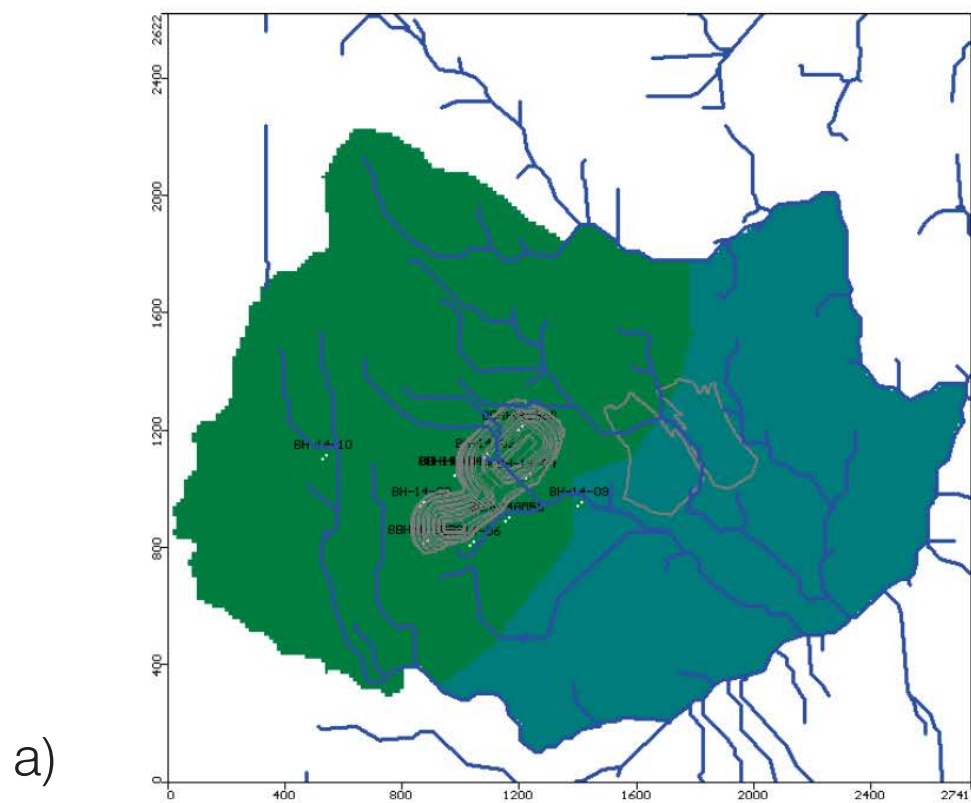
Projet : Modélisation hydrogéologique de la fosse - Projet du lac Guéret

Préparé par : Véronique Fournier, geo. M. Sc.

Vérifié par : Christian Bélanger, ing. M.Sc.A.

Date : 2017-05

No. révision : 00



Zone	Kx [m/s]	Ky [m/s]	Kz [m/s]
1	2E-7	2E-7	2E-7
2	2E-7	2E-7	2E-7
3	1E-7	1E-7	1E-7
4	5E-5	5E-5	5E-5
5	2E-7	2E-7	2E-7

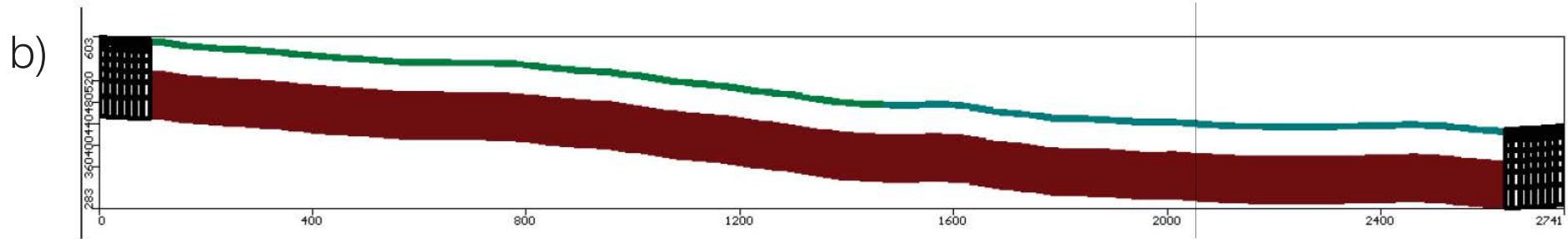


Figure 4 : a) Vue en plan des zones de conductivité hydraulique
 b) Vue en coupe des zones de conductivité hydraulique

Client : Mason Graphite
 Projet : Modélisation hydrogéologique de la fosse - Projet du lac Guéret

Préparé par : Véronique Fournier, geo. M. Sc.
 Vérifié par : Christian Bélanger, ing. M.Sc.A.
 Date : 2017-05
 No. révision : 00



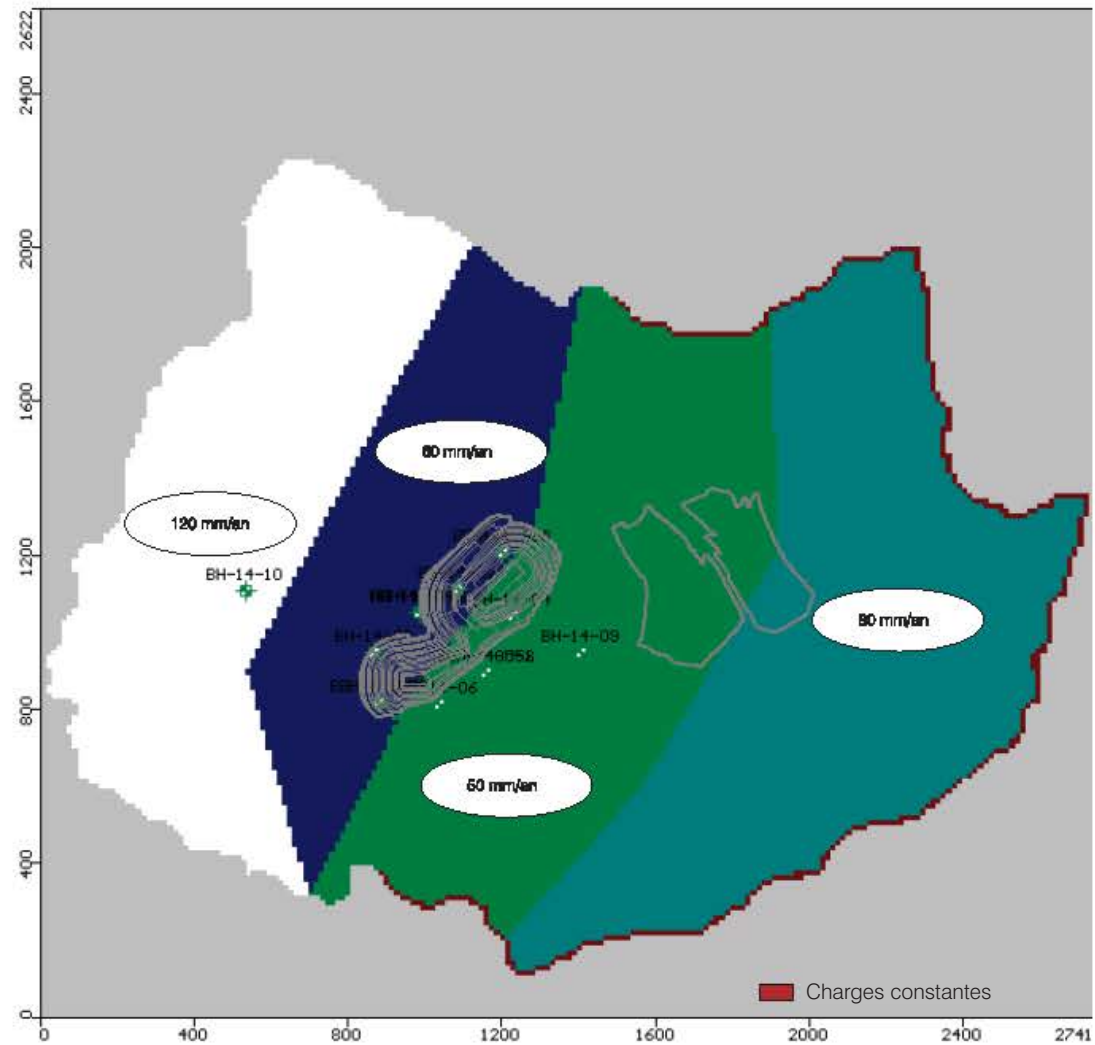


Figure 5 : Vue en plan des zones de recharge et des charges constantes appliquées au modèle

Client : Mason Graphite

Projet : Modélisation hydrogéologique de la fosse - Projet du lac Guéret

Préparé par : Véronique Fournier, geo. M. Sc.

Vérifié par : Christian Bélanger, ing. M.Sc.A.

Date : 2017-05

No. révision : 00

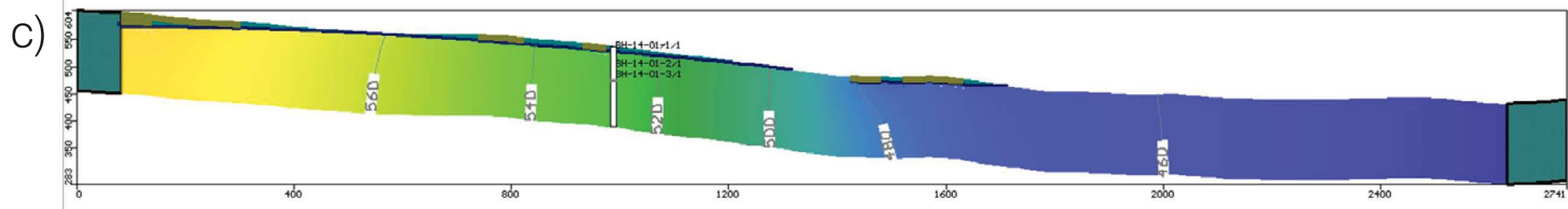
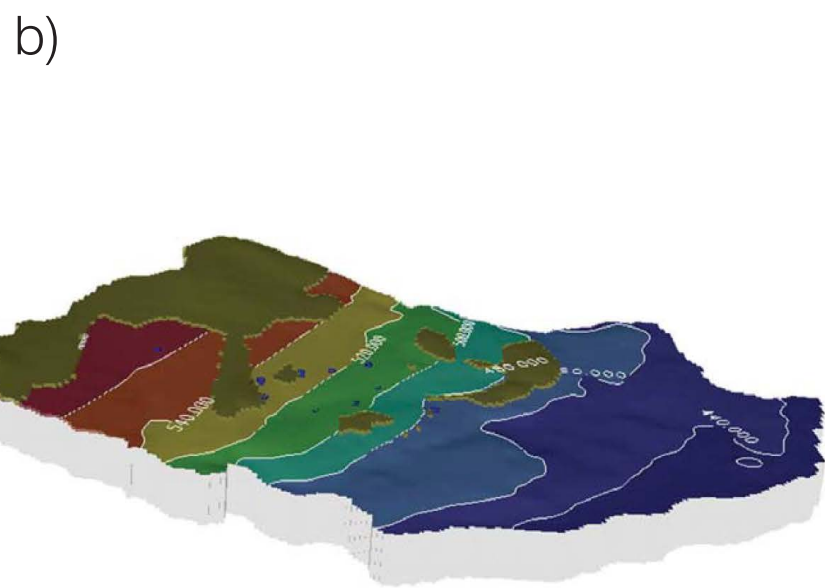
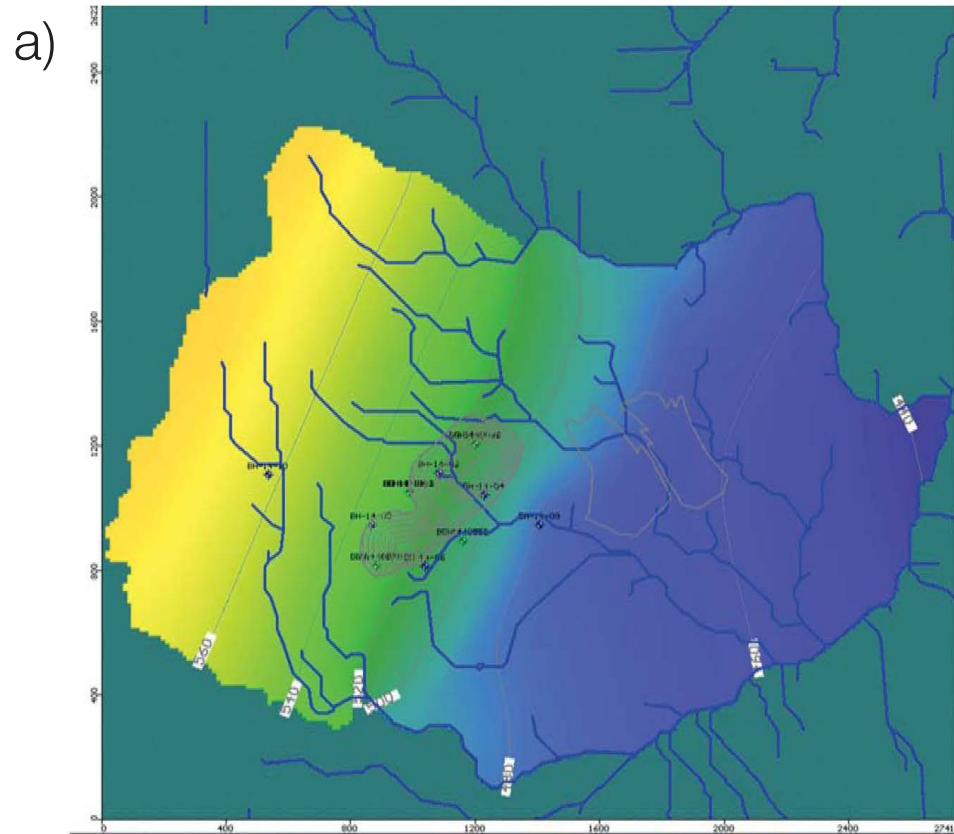
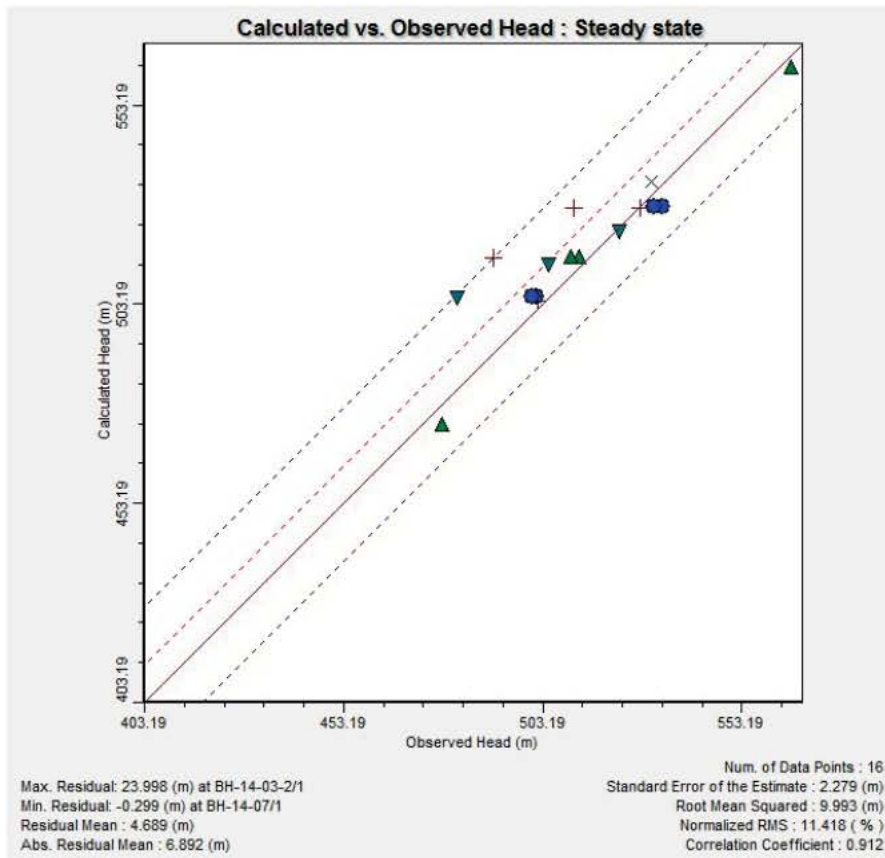


Figure 6 : a) Vue en plan b) Vue en 3D c) Vue en coupe des charges simulées en condition naturelle d'écoulement

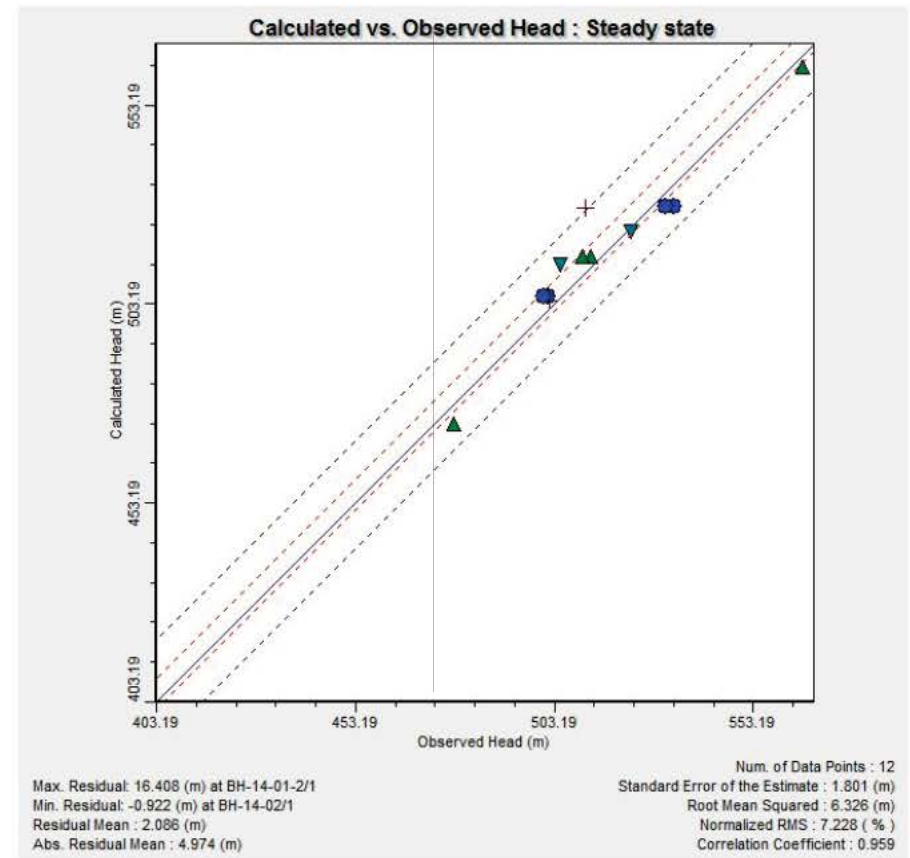
Client : Mason Graphite
 Projet : Modélisation hydrogéologique de la fosse - Projet du lac Guéret

Préparé par : Véronique Fournier, geo. M. Sc.
 Vérifié par : Christian Bélanger, ing. M.Sc.A.
 Date : 2017-05
 No. révision : 00





a) Erreur sur l'ensemble des puits situés à une profondeur inférieure à 60 m



b) Erreur sur l'ensemble des puits situés à une profondeur inférieure à 40 m

Figure 7 : Graphique des charges observées en fonction des charges simulées.

Client : Mason Graphite

Projet : Modélisation hydrogéologique de la fosse - Projet du lac Guéret

Préparé par : Véronique Fournier, geo. M. Sc.

Vérifié par : Christian Bélanger, ing. M.Sc.A.

Date : 2017-05

No. révision : 00

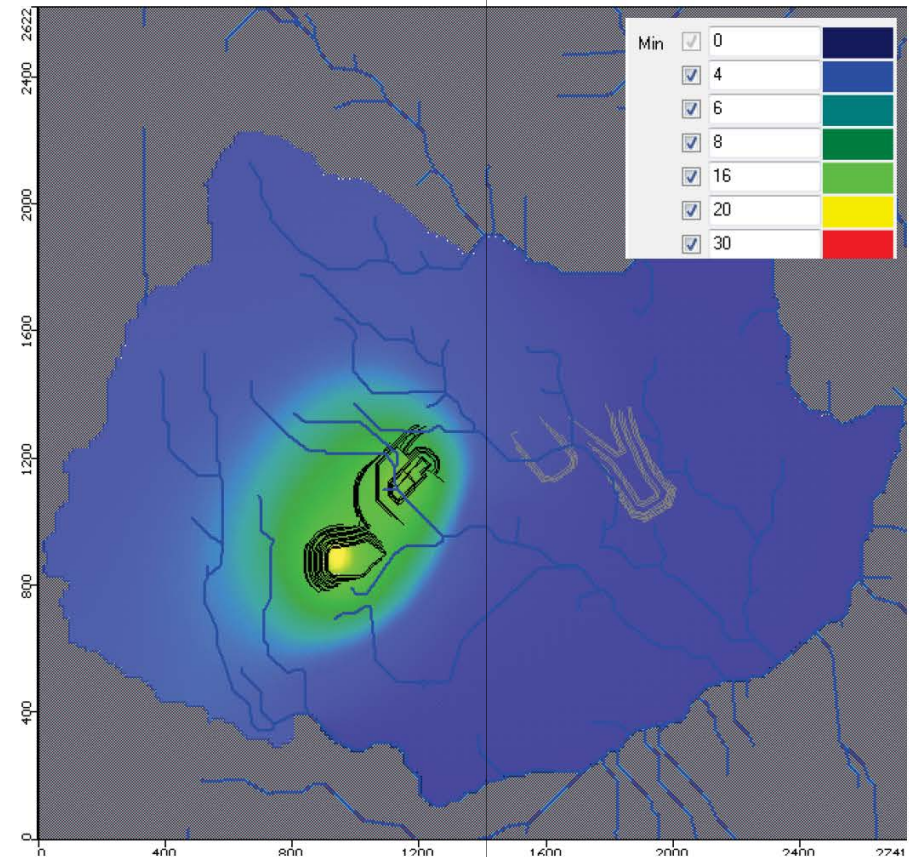
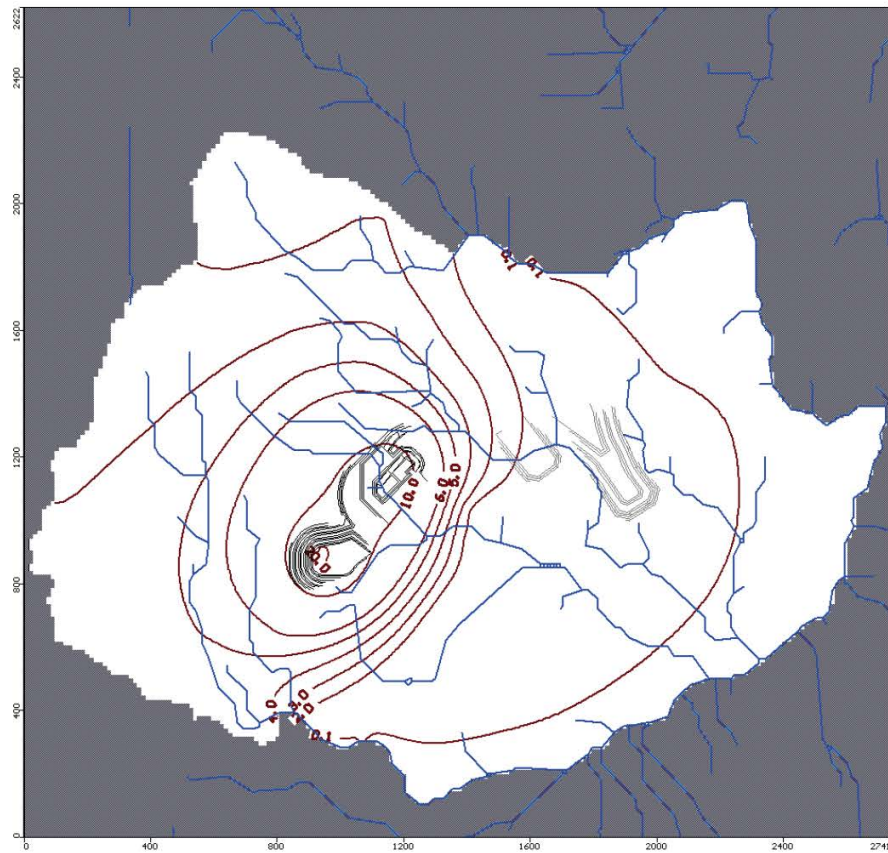


Figure 8 : Rabattement au site de la fosse après 10 ans d'exploitation

Client : Mason Graphite

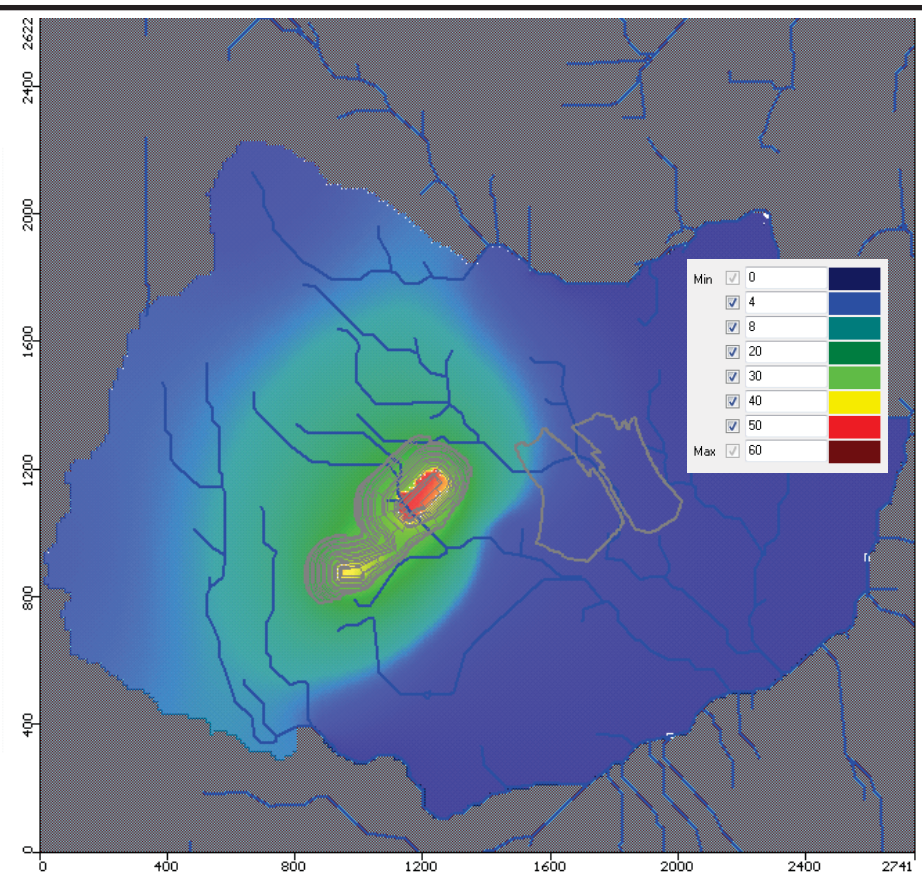
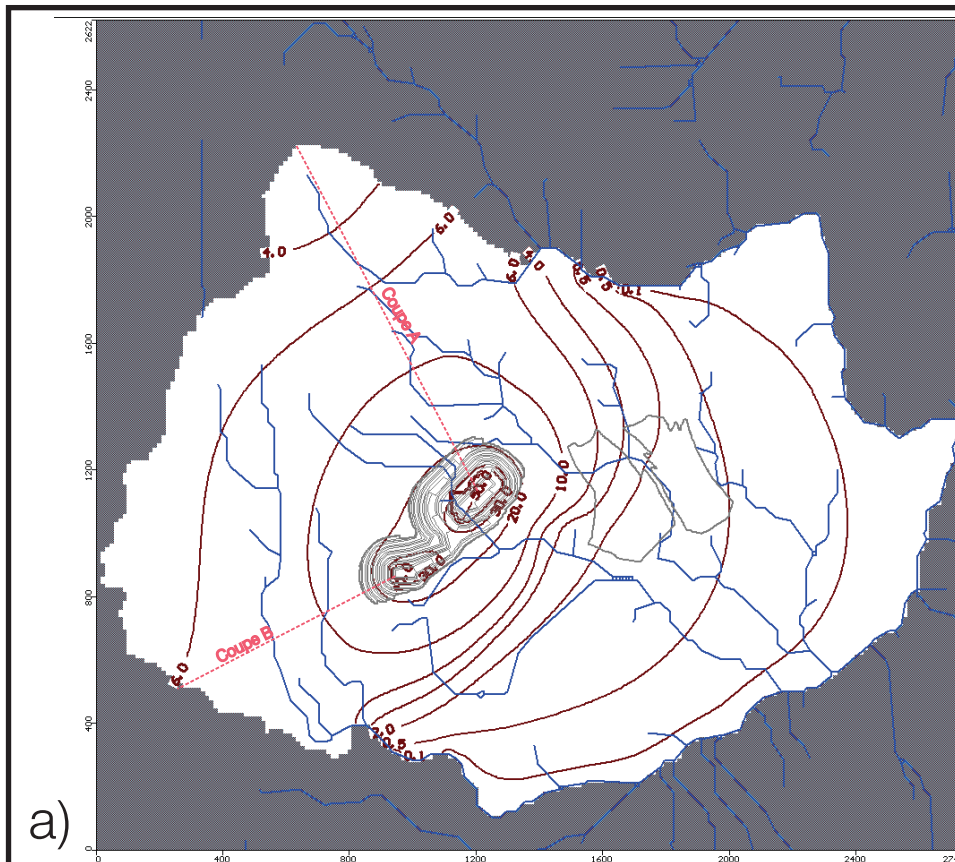
Projet : Modélisation hydrogéologique de la fosse - Projet du lac Guéret

Préparé par : Véronique Fournier, geo. M. Sc.

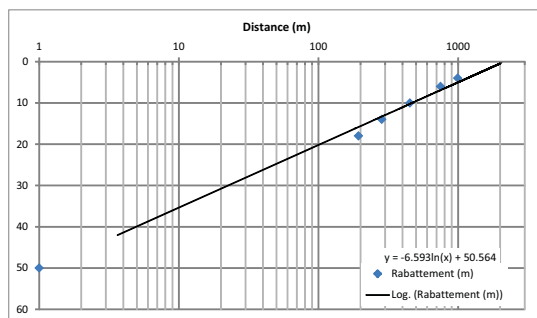
Vérifié par : Christian Bélanger, ing. M.Sc.A.

Date : 2017-05

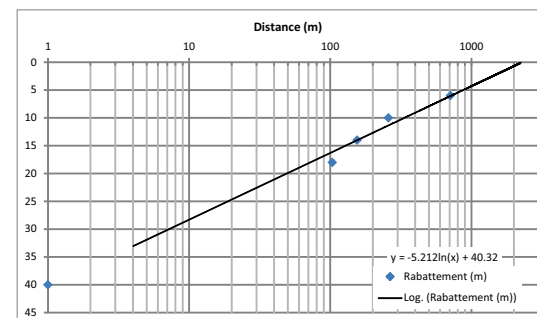
No. révision : 00



a)



b)



c)

Figure 9 : Rabattement au site de la fosse après 25 ans d'exploitation

- a) Vues en plan
 b) Extrapolation des rabattements sur la coupe A
 c) Extrapolation des rabattements sur la coupe B

Client : Mason Graphite

Projet : Modélisation hydrogéologique de la fosse - Projet du lac Guéret

Préparé par : Véronique Fournier, geo. M. Sc.

Vérifié par : Christian Bélanger, ing. M.Sc.A.

Date : 2017-05

No. révision : 00

Note technique de projet

Le 2 juin 2017

DESTINATAIRE : Jacqueline Leroux

EXPÉDITEUR : Luc-Pascal Rozon

cc : Marie-Christine Patoine

Anne Le Sauter

Gisèle Belem



Mason Graphite Inc.

Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social - Projet de la mine de graphite du lac Guéret

Analyse des impacts sur l'environnement du rabattement de la nappe

Si vous êtes en désaccord avec l'information ci-incluse, veuillez nous en aviser dans les meilleurs délais



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

H348328-0000-07-220-0007, Rév. 0

Page 1

Avis au lecteur

Le présent rapport a été préparé, et les travaux qui y sont mentionnés ont été réalisés, par Hatch, exclusivement à l'intention de Mason Graphite Inc., qui a été impliqué directement dans l'élaboration de l'énoncé des travaux et qui en comprend les limites. La méthodologie, les résultats, les conclusions et les recommandations cités au présent rapport sont fondés uniquement sur l'étendue des travaux convenus avec Mason Graphite Inc. et assujettis aux exigences en matière d'échéancier et de budget, telles que décrites dans l'offre de service et dans le contrat gouvernant la production de l'Étude d'impact sur l'environnement. L'utilisation de ce rapport, le recours à ce dernier ou toute décision fondée sur son contenu par un tiers demeure la responsabilité exclusive de ce tiers. Hatch n'est pas responsable d'aucun dommage subi par un tiers suite à l'utilisation en tout ou en partie, de ce rapport ou de toute décision basée sur son contenu.

Les conclusions, les recommandations et les résultats cités au présent rapport :

- I. Ont été élaborés conformément au niveau de compétence attendu de professionnels exerçant des activités dans des conditions et champs d'expertise similaires;
- II. Sont établis selon le meilleur jugement de Hatch en fonction des informations recueillies et disponibles au moment de la préparation de ce rapport;
- III. Sont valides uniquement à la date du rapport;
- IV. Sont fondées en partie sur de l'information obtenues de tiers, dont Hatch, sauf indications contraires, se dégage de toute responsabilité en rapport avec l'exactitude de cette information développée par ces tiers.

Le présent rapport doit être considéré dans son ensemble et ses sections ou ses parties ne doivent pas être utilisées ou comprises hors du contexte de ce rapport. Si des différences venaient à se glisser entre la version préliminaire (ébauche) et la version définitive de ce rapport, la dernière version prévaudrait.

Finalement, rien dans ce rapport n'est mentionné avec l'intention de fournir ou de constituer un avis juridique ou une base d'évaluation financière.



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

1. Introduction

Mason Graphite souhaite développer un site d'extraction, à sa propriété du Lac Guéret, avec une usine de traitement du minerai brut, située à Baie-Comeau. Il est attendu que les opérations d'extraction à la mine pourraient avoir des répercussions sur la qualité des eaux souterraines et leur régime d'écoulement (niveaux d'eau et vitesse). Ces impacts sont discutés en détails à la section 8.5.1.6 du rapport d'Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social (Hatch, 2015).

En mai 2017, SNC-Lavalin a été mandatée pour réaliser une étude hydrogéologique et une modélisation numérique de l'écoulement de l'eau souterraine au site de la future fosse afin d'évaluer l'impact en matière de débit de pompage ainsi que de la forme et de l'étendue du cône de rabattement qui sera occasionné par le pompage de la fosse (SNC-Lavalin, 2017).

La présente note technique vise à faire l'analyse de l'impact environnemental dû au rabattement de la nappe phréatique tel que déterminé par l'étude de SNC-Lavalin.

2. Sommaire du procédé d'extraction

La présente section décrit brièvement les étapes d'exploitation du minerai (Hatch, 2016) et le mode de gestion des eaux d'exhaure (Hatch, 2017).

2.1 Développement de la fosse

Le projet de la mine de graphite naturel du Lac Guéret utilisera une méthode d'extraction conventionnelle du minerai par l'entremise d'une mine à ciel ouvert (fosse).

La première phase du projet (préproduction), s'échelonnant sur 8 mois, comprendra le décapage initial du site de la fosse, incluant le retrait de la végétation et de la couche arable du sol (mort-terrain), qui se poursuivra au cours des années 6 à 10 lors de l'agrandissement de la fosse. Les matériaux (végétation et sol) retirés de la surface seront transportés par camion vers une halde à flanc de colline : la halde de mort-terrain, où ils seront entreposés jusqu'à la fin de l'exploitation de la mine, pour être réutilisés lors de la fermeture du site.

Les phases suivantes de minage consisteront en un agrandissement et un approfondissement graduels de la fosse jusqu'en fin d'exploitation, soit après 25 années d'opération.

L'exploitation débutera par le minage de la zone ouest en priorité; une mine-fosse sera aussi ouverte dans la zone est pour permettre d'ajuster la teneur moyenne du minerai alimenté à l'usine. L'extraction minière se poursuivra de cette manière jusqu'à la fin de l'année 6. C'est aussi au courant de l'année 6 que le décapage sera repris sur la zone est; le décapage sera complété durant l'année 10. À partir de l'année 7, le minage sera concentré dans la partie est et les deux zones de la fosse se rejoindront entre les années 10 et 15 pour former une seule fosse. Durant les premières années d'exploitation, des gisements en surface seront minés, ne produira pas une fosse creuse proprement dite avant la septième année d'exploitation.

Après 25 années d'exploitation, la fosse aura une superficie d'environ 13 ha et une profondeur d'environ 90 m (par rapport au point le plus haut). Les deux sections (est et ouest) de la fosse seront minées par bancs de 10 m de hauteur. Le minerai sera extrait de la fosse une semaine sur deux. En moyenne, environ 1 200 t de minerai seront extraites par jour.



2.2 Gestion des eaux d'exhaure

En début d'exploitation l'excavation se fera à fleur de pente, en priorisant la fosse ouest (pas encore creusée). Les eaux de ruissellement de contact seront interceptées par des fossés collecteurs et dirigées vers un bassin de contrôle temporaire, en vue d'être traitées.

À mesure que les fosses s'approfondissent, des systèmes de pompage seront installés, la fosse est d'abord, puis la fosse ouest. Les eaux d'exhaure de la fosse ouest seront dirigées par des conduites hors terre vers la fosse est, puis de la fosse est vers le réseau de gestion des eaux de surface, pour être ultimement contenues dans le bassin de contrôle permanent, en aval de la halde de stériles.

L'utilisation de systèmes de pompage est nécessaire pour retirer l'eau pouvant s'accumuler au fond des excavations (précipitations et eaux souterraines), ce qui peut causer une entrave aux opérations.

3. Analyse des impacts environnementaux

3.1 Milieu physique

La modélisation hydrogéologique de la fosse (SNC-Lavalin, 2017) conclut que l'exfiltration des eaux dans la fosse créera, après 10 ans d'exploitation, un cône de rabattement d'un rayon d'environ 1 000 m en aval hydraulique de la fosse. L'impact du pompage des eaux pour vider la fosse de ses eaux d'exfiltration sera plus important en amont hydraulique avec un rabattement de l'ordre de 5 m sur un rayon de 450 m. Après 25 ans d'exploitation, lorsque la fosse atteindra sa profondeur maximale de 60 m dans sa partie ouest, le cône de rabattement estimé par SNC-Lavalin atteindra un rayon d'environ 1 200 m en aval de la fosse. L'impact du pompage sera encore ici plus important en amont avec un rabattement de l'ordre de 6 m sur un rayon de 700 m. Une extrapolation des rabattements simulés à l'aide de la méthode graphique semi-logarithmique a permis de déterminer que le rayon d'influence pourrait atteindre, après 25 ans d'exploitation, jusqu'à environ 2 300 m en amont de la fosse.

Le pompage des eaux d'exfiltration de la fosse créera un piège hydraulique changeant la direction naturelle d'écoulement des eaux souterraines pour les diriger vers la fosse. Ce phénomène s'accroîtra au fur et à mesure du creusement de la fosse. Le rayon d'influence du cône de rabattement s'étendra sur plusieurs centaines de mètres. Après plusieurs années d'exploitation, le cône de rabattement des eaux sera tel qu'il collectera en partie les eaux souterraines sous la pile de mort-terrain et de stériles, créant ainsi un impact positif puisque les eaux s'infiltrant dans les piles pour atteindre la nappe souterraine seront ainsi récupérées pour être dirigées vers le bassin de contrôle permanent et l'unité de traitement des eaux.

La création d'un cône de rabattement est toutefois généralement considérée comme un impact négatif puisqu'elle modifiera le réseau hydrique existant. Les eaux souterraines s'écoulent actuellement des hauts topographiques situés au nord-ouest de la future fosse vers le ruisseau sans nom situé au sud-est qui probablement agit comme principal point de résurgence. Les eaux souterraines peuvent aussi ressortir par d'autres points de résurgence situés dans des points bas en aval hydraulique du ruisseau où la nappe est affleurante. Ces résurgences alimentent de petits ruisseaux qui se rejettent dans le ruisseau sans nom et peuvent créer dans des points bas de petites zones humides.



La modification du profil d'écoulement de la nappe souterraine par la création du cône de rabattement vers la fosse de la mine réduira considérablement les apports en eaux de résurgence aux points bas et au ruisseau sans nom. Les principales zones qui seront impactées par cette réduction d'apport en eau sont celles situées en amont du point de rejet de l'usine de traitement des eaux. Il est toutefois à noter que seule une faible partie des eaux de pluie servent à la recharge de la nappe d'eau souterraine. SNC-Lavalin estime que, sur les 1 000 mm/an de précipitation, seuls 75 mm alimentent la recharge de la nappe souterraine. L'apport principal en eau au ruisseau sans nom provient donc surtout des eaux de ruissellement, ce qui représente 561 mm/an. Ces eaux continueront majoritairement à alimenter le ruisseau sans nom, ce qui réduit grandement l'impact de la réduction de l'apport en eau au ruisseau des eaux de résurgence. Il est aussi à noter que la portion du territoire située dans la partie basse du bassin versant alimentant le ruisseau sans nom à des élévations sous le niveau d'élévation de la fosse (qui atteindra au max 460 m) continuera d'alimenter la nappe souterraine laquelle fait probablement résurgence dans le ruisseau sans nom.

D'un point de vue annuel, le volume d'eau s'écoulant dans le ruisseau sans nom après le point de rejet de l'unité de traitement des eaux devrait rester relativement similaire puisque les eaux de pompage de la fosse et les eaux de ruissellement y seront déversées. Des variations journalières sont toutefois à prévoir puisque le débit des eaux rejetées est variable.

L'impact du pompage des eaux d'exfiltration de la fosse sur le réseau hydrologique de surface est considéré comme faible.

La valeur de la composante est faible puisque l'eau souterraine n'a pas d'usage particulier autre que de servir à alimenter le réseau hydrologique de surface. Le degré de perturbation est qualifié de moyen, car on estime que la partie du réseau hydrique du point de rejet subira une réduction perceptible de son débit, mais ne remettant pas en cause son intégrité. L'intensité résultante appréhendée est donc caractérisée comme faible. L'étendue de l'impact est locale puisque l'effet est limité principalement sur une faible partie du réseau hydrique et la durée de l'impact est moyenne, car il durera moins de 25 ans : le cône de rabattement s'installant graduellement au fur et à mesure que la fosse sera creusée.

L'importance de l'impact résiduel est estimée à faible selon la matrice d'évaluation de l'impact. Aucune mesure d'atténuation n'est prévue pour réduire l'impact de cette composante.

Tableau 1 : Impact du pompage des eaux de la fosse sur l'environnement sur le régime hydrogéologique au site de la future fosse

Valeur de la composante	Faible
Degré de perturbation	Modéré
Intensité	Faible
Étendue de l'impact	Locale
Durée	Moyenne
Influence significative de mesure d'atténuation/bonification	Non
Importance de l'impact résiduel	Faible
Nature de l'impact	Négative



3.2 Milieu biologique

Tel que mentionné à la section précédente, les eaux souterraines s'écoulent actuellement des hauts topographiques situés au nord-ouest de la future fosse vers le ruisseau sans nom situé au sud-est qui probablement agit comme principal point de résurgence. Les eaux souterraines peuvent aussi ressortir par d'autres points de résurgence situés dans des points bas en aval hydraulique du ruisseau où la nappe est affleurante. Ces résurgences alimentent de petites zones humides.

Dans l'étude environnementale de base réalisée par Roche, en 2013, une cartographie des communautés végétales selon les cartes écoforestières identifie des zones humides le long du ruisseau sans nom, notamment en aval du site de la mine et de la halde de stériles, et plus en amont (voir la Figure 3-1 – gauche). Par ailleurs, le ruisseau sans nom et certains de ses tributaires peuvent être considérés comme des habitats du poisson (voir Figure 3-1, image de droite). Les stations ST17 et ST20 présenteraient un potentiel moyen à élevé pour la fraie, l'alevinage ou l'alimentation.

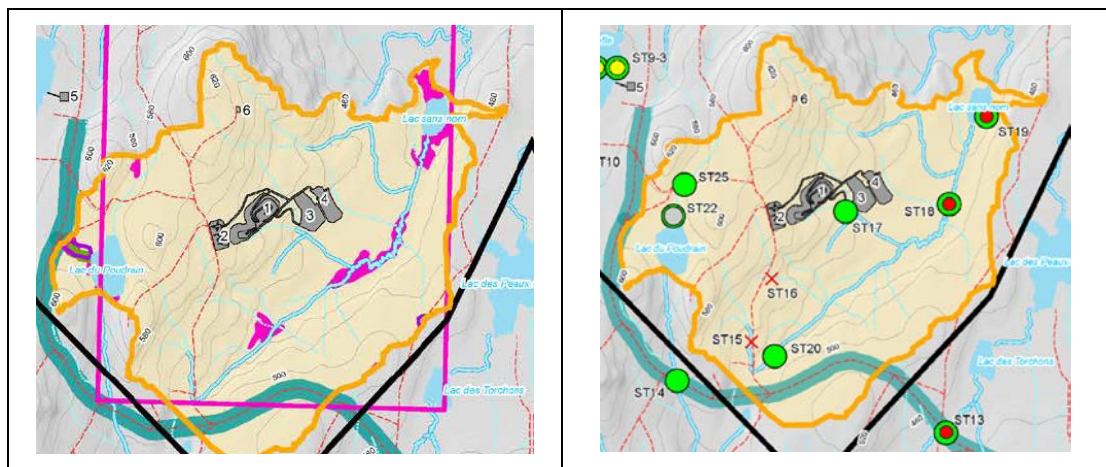


Figure 3-1 : a) Carte des milieux humides (zones en rose); b) Résultats de l'inventaire de l'ichtyofaune (en vert : Omble de fontaine; en rouge : Mulet perlé)¹

Selon l'analyse sur le milieu physique ci-haut, il en ressort que l'impact du pompage des eaux d'exfiltration de la fosse sur le réseau hydrologique de surface peut être considéré comme faible. En matière d'impacts sur le milieu biologique, toutefois, là où il y avait résurgence, un assèchement de certaines portions des milieux humides le long du ruisseau sans nom, surtout dans sa partie amont, peut être anticipé, de même que dans la zone de l'étang à castors.

Un assèchement est également possible pour de sections de cours d'eau qui alimentent le ruisseau sans nom, notamment celui qui traverse le site de l'usine (dans sa partie amont), incluant les deux tributaires qui l'alimentent venant du secteur nord-ouest (dont l'effluent de l'étang à castors), et qui drainent un secteur immédiatement en aval de la fosse minière. Il importe de mentionner, toutefois, que cet impact potentiel dû au rabattement de la nappe d'eau souterraine vient s'ajouter à celui d'abord causé par l'implantation du site et l'agencement des installations, qui va perturber le réseau d'écoulement actuel des eaux de surface.

¹ Figures tirées du rapport d'étude d'impact sur l'environnement et le milieu social de Hatch (2015)

Pour ces raisons, l'impact de la modification du profil d'écoulement de la nappe souterraine sur les écosystèmes aquatiques est considéré comme faible.

En termes de mesures d'atténuation, une partie des pertes en eau en amont du ruisseau qui traverse le site va être compensée par le fait qu'une bonne partie des eaux de ruissellement sans contact, en amont du site de l'usine, seront déviées vers ce cours d'eau, rétablissant ainsi, en partie, le patron naturel d'écoulement des eaux.

De plus, une approche de compensation préliminaire a été développée pour les pertes résiduelles d'habitats sensibles à la mine. Le plan de compensation détaillé sera préparé avec les autorités compétentes et les organismes responsables des projets retenus (p. ex. : Réserve mondiale de la biosphère Manicouagan-Uapishka [RMBMU]) et présenté dans le cadre des demandes d'autorisation (Hatch, 2017).

Finalement, il est à noter que le territoire en aval du site minier avait fait l'objet de peu d'inventaires lors des travaux de Roche (la localisation finale des installations au moment de ces études n'étant pas précisée en 2013), et que des études complémentaires auront lieu à l'été 2017 pour caractériser davantage les écosystèmes aquatiques qui seront impactés par les opérations minières (cours d'eau et milieux humides). Cette analyse des impacts sur le milieu biologique devrait donc être révisée à la lumière des résultats obtenus, et les impacts résiduels identifiés considérés lors de la préparation du plan de compensation final pour le site de la mine.

3.3 Milieu humain

Tel que décrit dans la présentation du milieu humain de l'étude d'impact, le secteur de la mine est peu utilisé par la communauté des Innus de Pessamit. Dans ce secteur, l'eau souterraine n'a donc pas d'usage particulier autre que de servir à alimenter le réseau hydrologique de surface. La pêche n'étant pas une activité pratiquée dans ce secteur, il n'y a donc aucun impact anticipé sur le milieu humain.

4. Références

- Hatch. (2015). *Projet d'exploitation du gisement de graphite naturel du Lac Guéret, Étude d'impact sur l'environnement. Rapport réalisé pour Mason Graphite Inc. 2 novembre 2015. 2 volumes. Pagination par section et annexes.*
- Hatch. (2016). *Projet d'exploitation du gisement de graphite naturel du Lac Guéret, Étude d'impact sur l'environnement. Chapitre 5 : Description de projet (révision 1).*
- Hatch. (2017). *Projet d'exploitation du gisement de graphite naturel du Lac Guéret, Étude d'impact sur l'environnement. Approche de compensation préliminaire aux sites de la mine et du concentrateur, 13 p. et annexe.*
- Hatch. (2017). *Projet d'exploitation du gisement de graphite naturel du Lac Guéret, Étude d'impact sur l'environnement. Note technique sur la Gestion des eaux de surface aux sites de la mine et du concentrateur, 46 p. et annexes.*
- SNC-Lavalin. (2017). *Note technique : Modélisation hydrogéologique de la fosse. Rapport préparé pour Mason Graphite dans le cadre de l'Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social, 16 p. et annexe.*



Impact du pompage de la fosse sur l'environnement physique

La modélisation hydrogéologique de la fosse faite par SNC Lavalin (SNC Lavalin, 29 mai 2017) conclut que l'exfiltration des eaux dans la fosse créera, après 10 ans d'exploitation, un cône de rabattement d'un rayon d'environ 1000 m en aval hydraulique de la fosse. L'impact du pompage des eaux pour vider la fosse de ses eaux d'exfiltration sera plus important en amont hydraulique avec un rabattement de l'ordre de 5 m sur un rayon de 450 m.

Après 25 ans d'exploitation, lorsque la fosse atteindra sa profondeur maximale de 60 m dans sa partie ouest, le cône de rabattement estimé par SNC Lavalin atteindra un rayon d'environ 1200 m en aval de la fosse. L'impact du pompage sera encore ici plus important en amont avec un rabattement de l'ordre de 6 m sur un rayon de 700 m. Une extrapolation des rabattements simulés à l'aide de la méthode graphique semi-logarithmique a permis de déterminer que le rayon d'influence pourrait atteindre après 25 ans d'exploitation jusqu'à environ 2300 m en amont de la fosse.

Le pompage des eaux d'exfiltration de la fosse créera un piège hydraulique changeant la direction naturelle d'écoulement des eaux souterraines pour les diriger vers la fosse. Ce phénomène s'accroîtra au fur et à mesure du creusement de la fosse. Le rayon d'influence du cône de rabattement s'étendra sur plusieurs centaines de mètres. Après plusieurs années d'exploitation le cône de rabattement des eaux sera tel qu'il collectera en partie les eaux souterraines sous la pile de mort terrain et de stériles, créant ainsi un impact positif puisque les eaux s'infiltrant dans les piles pour atteindre la nappe souterraine seront ainsi récupérées pour être dirigées vers l'unité de traitement des eaux.

La création d'un cône de rabattement est toutefois généralement considérée comme un impact négatif puisqu'elle modifiera le réseau hydrique existant. Les eaux souterraines s'écoulent actuellement des hauts topographiques situés au nord-ouest de la future fosse vers le ruisseau sans nom situé au sud-est qui probablement agit comme principal point de résurgence. Les eaux souterraines peuvent aussi ressortir par d'autres points de résurgence situés dans des points bas en aval hydraulique du ruisseau où la nappe est affleurante. Ces résurgences alimentent de petits ruisseaux qui se rejettent dans le ruisseau sans nom et peuvent créer dans des points bas de petites zones humides.

La modification du profil d'écoulement de la nappe souterraine par la création du cône de rabattement vers la fosse de la mine réduira considérablement les apports en eaux de résurgence aux points bas et au ruisseau sans nom. Les principales zones qui seront impactées par cette réduction d'apport en eau sont celles situées en amont du point de rejet de l'usine de traitement des eaux. Il est toutefois à noter que seule une faible partie des eaux de pluie servent à la recharge de la nappe d'eau souterraine. SNC-Lavalin estime que sur les 1000 mm/an de précipitation, seulement 75 mm alimente la recharge de la nappe souterraine. L'apport principal en eau au ruisseau sans nom est certes les eaux de ruissellement qui représentent 561 mm/an. Ces eaux continueront majoritairement à alimenter le ruisseau sans nom ce qui réduit grandement l'impact de la réduction de l'apport en eau au ruisseau des eaux de résurgence.

Il est aussi à noter que la portion du territoire située dans la partie basse du bassin versant alimentant le ruisseau sans nom à des élévations sous le niveau d'élévation de la fosse (qui atteindra au max 460 m) continuera d'alimenter la nappe souterraine laquelle fait probablement résurgence dans le ruisseau sans nom.

D'un point de vue annuel, le volume d'eau s'écoulant dans le ruisseau sans nom après le point de rejet de l'unité de traitement des eaux devrait rester relativement similaire puisque les eaux de pompage de la fosse et les eaux de ruissellement y seront déversées. Des variations journalières sont toutefois à prévoir puisque le débit des eaux rejetées est variable.

L'impact du pompage des eaux d'exfiltration de la fosse sur le réseau hydrologique de surface est considéré faible.

La valeur de la composante est faible puisque l'eau souterraine n'a pas d'usage particulier autre que de servir à alimenter le réseau hydrologique de surface. Le degré de perturbation est qualifié de moyen car on estime que la partie du réseau hydrique du point de rejet subira une réduction perceptible de son débit mais ne mettant pas en cause son intégrité. L'intensité résultante appréhendé est donc caractérisée comme faible. L'étendue de l'impact est locale puisque l'effet est limité principalement sur une faible partie du réseau hydrique et la durée de l'impact est moyen car il durera moins de 25 ans : le cône de rabattement s'installant graduellement au fur et à mesure que la fosse sera creusée.

L'importance de l'impact résiduel est estimée à faible selon la matrice d'évaluation de l'impact. Aucune mesure d'atténuation n'est prévue pour réduire l'impact de cette composante.

Impact du pompage des eaux de la fosse sur l'environnement	
Valeur de la composante	Faible
Degré de perturbation	Modéré
Intensité	Faible
Étendue de l'impact	Locale
Durée	Moyenne
Influence significative de mesure d'atténuation/bonification	Non
Importance de l'impact résiduel	Faible
Nature de l'impact	Négative

[1] SNC-Lavalin (2017). Note technique : Modélisation hydrogéologique de la fosse. Rapport préparé pour Mason Graphite dans le cadre de l'Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social, 16 p. et annexe.

Note technique de projet

Le 30 mai 2017

DESTINATAIRE : Jacqueline Leroux

EXPÉDITEUR : Romy Bacon-Savard

cc : Marie-Christine Patoine



Mason Graphite Inc.

Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social - Projet de la mine de graphite du lac Guéret

Aire d'accumulation des résidus miniers au site du concentrateur (Baie-Comeau)

Si vous êtes en désaccord avec l'information ci-incluse, veuillez nous en aviser dans les meilleurs délais



H348328-0000-07-220-0004, Rév. 0

Page 1

Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

Note technique de projet

Le 30 mai 2017

DESTINATAIRE : Jacqueline Leroux

EXPÉDITEUR : Romy Bacon-Savard

cc : Marie-Christine Patoine



Mason Graphite Inc.

Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social - Projet de la mine de graphite du lac Guéret

Aire d'accumulation des résidus miniers au site du concentrateur (Baie-Comeau)

Si vous êtes en désaccord avec l'information ci-incluse, veuillez nous en aviser dans les meilleurs délais



H348328-0000-07-220-0004, Rév. 0

Page 1

Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

Avis au lecteur

Le présent rapport a été préparé, et les travaux qui y sont mentionnés ont été réalisés, par Hatch, exclusivement à l'intention de Mason Graphite Inc., qui a été impliqué directement dans l'élaboration de l'énoncé des travaux et qui en comprend les limites. La méthodologie, les résultats, les conclusions et les recommandations cités au présent rapport sont fondés uniquement sur l'étendue des travaux convenus avec Mason Graphite Inc. et assujettis aux exigences en matière d'échéancier et de budget, telles que décrites dans l'offre de service et dans le contrat gouvernant la production de l'Étude d'impact sur l'environnement. L'utilisation de ce rapport, le recours à ce dernier ou toute décision fondée sur son contenu par un tiers demeure la responsabilité exclusive de ce tiers. Hatch n'est pas responsable d'aucun dommage subi par un tiers suite à l'utilisation en tout ou en partie, de ce rapport ou de toute décision basée sur son contenu.

Les conclusions, les recommandations et les résultats cités au présent rapport :

- I. Ont été élaborés conformément au niveau de compétence attendu de professionnels exerçant des activités dans des conditions et champs d'expertise similaires;
- II. Sont établis selon le meilleur jugement de Hatch en fonction des informations recueillies et disponibles au moment de la préparation de ce rapport;
- III. Sont valides uniquement à la date du rapport;
- IV. Sont fondées en partie sur de l'information obtenues de tiers, dont Hatch, sauf indications contraires, se dégage de toute responsabilité en rapport avec l'exactitude de cette information développée par ces tiers.

Le présent rapport doit être considéré dans son ensemble et ses sections ou ses parties ne doivent pas être utilisées ou comprises hors du contexte de ce rapport. Si des différences venaient à se glisser entre la version préliminaire (ébauche) et la version définitive de ce rapport, la dernière version prévaudrait.

Finalement, rien dans ce rapport n'est mentionné avec l'intention de fournir ou de constituer un avis juridique ou une base d'évaluation financière.



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

Table des matières

1. Introduction	5
2. Classification des résidus miniers	5
2.1 Propriétés physiques	6
2.2 Résidus miniers lixiviables.....	8
2.2.1 Essais statiques	9
2.2.2 Essais cinétiques	9
2.3 Résidus miniers acidogènes.....	9
2.4 Potentiel d'autochauffage	10
2.5 Résidus miniers pas à risques élevés	11
3. Mode de disposition adopté	12
3.1 Approche générale de gestion des résidus	12
3.1.1 Drainage minier acide	13
3.1.2 Rupture de digue.....	13
3.1.3 Disposition des résidus filtrés	13
3.2 Conception de l'aire d'accumulation des résidus miniers.....	14
3.3 Développement du PAR	15
3.4 Construction du PAR et stabilité	19
3.5 Drainage minier acide	19
3.6 Restauration progressive du PAR	20
4. Mesures de protection des eaux souterraines	20
4.1 Mesures d'étanchéité retenues.....	20
4.2 Cellule test de confinement des résidus.....	23
4.3 Validation du respect des objectifs de protection de l'eau souterraine	28
5. Suivi environnemental	29
6. Références	31

Liste des figures

Figure 2-1 : Distribution granulométrique des résidus (tiré de Golder, 2015).....	7
Figure 2-2 : Hausse de la température de l'échantillon de résidus pendant l'essai d'autochauffage (tirée de Nassetech, 2015)	10
Figure 3-1 : Répartition des particules de différente taille dans les résidus en fonction de leur ségrégation	14
Figure 3-2 : Parc à résidus – Année 1	16
Figure 3-3 : Parc à résidus – Année 5	16
Figure 3-4 : Parc à résidus – Année 10	17
Figure 3-5 : Parc à résidus – Année 15	17
Figure 3-6 : Parc à résidus – Année 20	18
Figure 3-7 : Parc à résidus – Année 25	18
Figure 4-1 : Critères à considérer pour déterminer les mesures d'étanchéité à appliquer à une aire d'accumulation de résidus miniers (tirée de la Directive 019, MDDEP, 2012).....	21
Figure 4-2 : Mesures d'étanchéité à appliquer pour la protection des eaux souterraines – Niveau A (tirée de la Directive 019, MDDEP, 2012)	22
Figure 4-3 : Schéma d'aménagement de la cellule test au PAR (année 3).....	24



Figure 4-4 : Aménagement général des membranes et du drain géocomposite.....	26
Figure 4-5 : Aménagement général des ponceaux.....	26
Figure 4-6 : Aménagement général des fossés temporaires.....	27
Figure 4-7 : Aménagement général des fossés permanents.....	27
Figure 4-8 : Diagramme décisionnel pour la construction du PAR avec ou sans membrane	28

Liste des tableaux

Tableau 2-1 : Analyses réalisées sur les résidus miniers.....	5
Tableau 2-2 : Caractéristiques physiques des résidus (tiré de Golder, 2015).....	7
Tableau 2-3 : Composition minéralogique des résidus (fourni par Mason Graphite, 2016)	7
Tableau 2-4 : Composition chimique du composite de résidus (tiré de URSTM, 2016).....	8
Tableau 2-5 : Critères pour la détermination des résidus à risques élevés (tiré de la Directive 019, MDDEP, 2012)	8
Tableau 2-6 : Concentration dans les résidus (3 échantillons) des paramètres listés au Tableau 1 de la Directive 019 et comparaison avec les critères pour la détermination des résidus miniers à risques élevés	12
Tableau 3-1 : Caractéristiques des cinq (5) phases du PAR au site du concentrateur.....	15

Liste des annexes

Annexe A : Étude environnementale de base – Propriété Lac Guéret (Roche, 2013)
Annexe B : Geochemical Characterization of the Lac Guéret Pilot Plant Tailings (Golder Associates, 2015)
Annexe C : Self-Heating Tests – Mason Graphite Inc project (Nessetech, 2015)
Annexe D : Essais cinétiques sur rejets miniers de Mason Graphite (URSTM, 2016)
Annexe E : Modélisation hydrogéologique et de transport de contaminants pour le futur parc à résidus (SNC-Lavalin, 2017)
Annexe F : Figure 5-11 (révisée) : Schéma d'aménagement général au concentrateur – Fin de l'exploitation (année 25)

1. Introduction

Cette note a pour but de présenter les critères de conception préliminaires et l'approche de développement retenus pour l'aire d'accumulation des résidus (appelé « parc à résidus » ou « PAR » dans le présent document). Les éléments décrits dans les sections qui suivent remplacent les descriptions fournies antérieurement dans le cadre de l'étude d'impact pour présenter une option optimisée de développement du PAR avec les mesures d'atténuation et de suivi environnemental adaptées pour répondre aux questions et attentes du MDDELCC. Ces mesures incluent, notamment, l'implantation d'une cellule test de confinement des résidus au début de l'exploitation du PAR (années 1 à 3), au site du concentrateur à Baie-Comeau.

Les résidus miniers de Mason Graphite seront disposés dans un PAR situé sur un terrain adjacent au concentrateur, au nord de ce dernier. Les résidus seront disposés conformément aux exigences de la Directive 019 sur l'industrie minière (MDDEP, mars 2012).

Les informations présentées dans ce document reflètent les détails fournis au stade d'ingénierie actuel du projet, et pourraient faire l'objet de modifications ou ajustements en fonction de l'ingénierie détaillée à venir. Ces modifications ou ajustements seront évidemment documentés dans la demande de Certificat d'autorisation qui sera soumise au MDDELCC avant le début des travaux de construction.

2. Classification des résidus miniers

Tel que prescrit à l'Annexe II – *Caractérisation des résidus miniers* de la Directive 019, plusieurs analyses ont été effectuées à ce jour sur les échantillons de résidus produits lors des essais pilotes de validation du procédé proposé par Mason Graphite.

Un sommaire des analyses réalisées sur les résidus miniers est présenté au Tableau 2-1.

Tableau 2-1 : Analyses réalisées sur les résidus miniers

Référence	Essai réalisé	Annexe
Roche, 2013	Composés du carbone (graphitique, inorganiques, organique dissous) Paramètres physico-chimiques de base (ex. : pH, conductivité, etc.) Ions majeurs et nutriments Contenu en métaux et métalloïdes Contenu en métaux et métalloïdes lixiviables Lixiviation pour évaluer la mobilité des espèces inorganiques (essai TCLP) Lixiviation simulant l'effet des pluies acides (essai SPLP) Lixiviation à l'eau (essai CTEU-9) Test de potentiel de génération d'acide Test de potentiel de neutralisation	A
Golder, 2015-2016	Distribution granulométrique Essais de compactage (« standard proctor test ») Essai de résistance à la compression triaxiale du sol consolidé et non drainé Essai de consolidation (« oedometer test ») Détermination de la courbe caractéristique de l'eau du sol Détermination de la courbe de retrait Test de cisaillement Essais de perméabilité Essais de conductivité hydraulique	B

Référence	Essai réalisé	Annexe
	Composition minéralogique par diffraction Test de potentiel de génération d'acide Test de potentiel de neutralisation Paramètres physico-chimiques de base (ex. : pH, conductivité, etc.) Contenu en ions majeurs et nutriments Contenu en métaux et métalloïdes Contenu en métaux et métalloïdes lixiviables Lixiviation pour évaluer la mobilité des espèces inorganiques (essai TCLP) Lixiviation simulant l'effet des pluies acides (essai SPLP) Lixiviation à l'eau (essai CTEU-9)	
Nessetech, 2015	Contenu en carbone Contenu en sulfures Composition minéralogique Potentiel d'autochauffage à 70 °C et 140 °C	C
URSTM, 2016	Distribution granulométrique Densité relative par pycnomètre à l'hélium Surface spécifique par adsorption d'hélium Surface spécifique estimée pour les matériaux grossiers Analyse minéralogique semi-quantitative (DRX) Contenu en silicium par fluorescence des rayons X Test de potentiel de génération d'acide Test de potentiel de neutralisation Contenu en soufre et carbone totaux par fournaise à induction Contenu en soufre sulfate Essais cinétiques en colonne (contenu en métaux et métalloïdes lixiviables)	D

Suivant les critères de classification fournis dans la Directive 019 et les résultats des essais réalisés, les résidus miniers de Mason Graphite sont acidogènes et lixiviables. Par contre, les résultats obtenus indiquent qu'ils ne sont pas cyanurés, contaminés par des composés organiques, radioactifs, inflammables ou à risques élevés. Les résidus présentent par ailleurs un potentiel d'autochauffage associé au dégagement de chaleur de la réaction d'oxydation des sulfures.

2.1 Propriétés physiques

La granulométrie des résidus miniers, les paramètres physiques et la composition minéralogique sont montrés à la Figure 2-1 ainsi qu'au Tableau 2-2, au Tableau 2-3 et au Tableau 2-4.



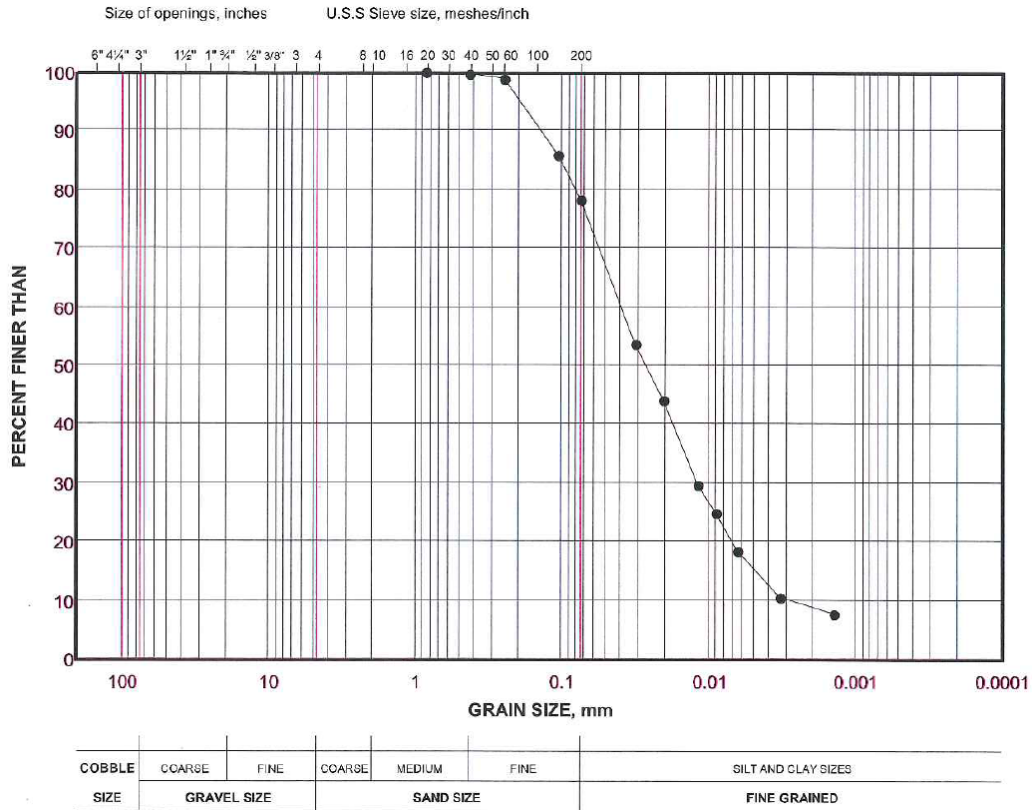


Figure 2-1 : Distribution granulométrique des résidus (tiré de Golder, 2015)

Tableau 2-2 : Caractéristiques physiques des résidus (tiré de Golder, 2015)

Paramètres	Résultats
Densité maximale (masse sèche)	1 729 kg/m ³
Teneur naturelle en eau	40,8 %
Teneur optimale en eau ¹	20,6 %
Fraction de vide	0,8 à 1
Teneur en eau des résidus (humidité du gâteau filtre) ²	14 à 16 %
Conductivité hydraulique	1,8 x 10 ⁻⁸ à 5 x 10 ⁻⁷ cm/s

Tableau 2-3 : Composition minéralogique des résidus (fourni par Mason Graphite, 2016)

Espèce minérale	Proportion (%)	Espèce minérale	Proportion (%)
Graphite	2	Hypersthène (silicate)	13
Quartz (silicate)	26	Pyrrhotite (sulfure)	8
Plagioclase (silicate)	31	Pyrite (sulfure)	3
Orthoclase (silicate)	17	Total	100

¹ Teneur eau qui permet d'obtenir un compactage maximum du matériau

² Teneur en eau calculée à partir des résultats de Golder (2015-2016)



Tableau 2-4 : Composition chimique du composite de résidus (tiré de URSTM, 2016)

Élément	Unités	LDM	Composition du résidu	Élément	Unités	LDM	Composition du résidu
Al	mg/kg	60	27 800	Pb	mg/kg	5	293
As	mg/kg	30	110	S _{total} ICP	mg/kg	200	115 100
Ba	mg/kg	5	258	Sb	mg/kg	5	439
Be	mg/kg	1	12	Se	mg/kg	5	607
Bi	mg/kg	5	204	Sn	mg/kg	5	154
Ca	mg/kg	60	15 910	Te	mg/kg	2	< 2
Cd	mg/kg	5	35	Ti	mg/kg	25	8 814
Co	mg/kg	5	88	Zn	mg/kg	55	3 165
Cr	mg/kg	5	458	C _{total}	% p/p	0,05	11,55
Cu	mg/kg	10	525	S _{total} IR	% p/p	0,009	11,31
Fe	mg/kg	10	206 200	S _{sulfates}	% p/p	n.a.	0,20
K	mg/kg	n.d.	14 600	S _{sulfures}	% p/p	n.a.	11,11
Mg	mg/kg	15	9 867	PA	kg CaCO ₃ /t	n.a.	347
Mn	mg/kg	5	1 389	PN	kg CaCO ₃ /t	n.a.	0
Mo	mg/kg	5	203	PNN	kg CaCO ₃ /t	n.a.	-347
Na	mg/kg	n.d.	2 740	PN/PA	-	n.a.	0
Ni	mg/kg	5	349				

2.2 Résidus miniers lixiviables

Selon la Directive 019, les résidus miniers sont lixiviables lorsque « mis à l'essai conformément à la méthode d'analyse de lixiviation MA.100-Lix.com.1.1 (TCLP), produisent un lixiviat contenant un contaminant dont la concentration est supérieure aux critères applicables pour la protection des eaux souterraines sans produire un lixiviat contenant un contaminant dont la concentration est supérieure aux critères énoncés au Tableau 2-5 suivant.

Tableau 2-5 : Critères pour la détermination des résidus à risques élevés (tiré de la Directive 019, MDDEP, 2012)

PARAMÈTRE	CRITÈRE (mg/l)	PARAMÈTRE	CRITÈRE (mg/l)
Arsenic	5,0	Mercure	0,1
Baryum	100	Nitrates + nitrites	1000
Bore	500	Nitrites	100
Cadmium	0,5	Plomb	5,0
Chrome	5,0	Sélénium	1,0
Fluorures totaux	150	Uranium	2,0

Les résultats obtenus aux tests statiques ont démontré que les résidus miniers de Mason Graphite sont lixiviables au sens de la Directive 019. Des essais cinétiques ont par la suite été réalisés afin d'évaluer la vitesse de réaction. Les résultats de ces essais sont présentés dans les sections suivantes.



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

2.2.1 *Essais statiques*

Les tests statiques de lixiviation (TCLP) effectués par Maxxam (dans Roche, 2013) ont démontré que les résidus miniers sont lixiviables pour trois (3) métaux : cadmium (Cd), nickel (Ni) et zinc (Zn). Les tests statiques SPLP et CTEU-9 ont aussi démontré la lixiviation de métaux au-delà des critères de protection des eaux souterraines, et ce, pour le cadmium (Cd), le fer (Fe), le nickel (Ni) et le zinc (Zn). Le rapport contenant les résultats détaillés est présenté à l'Annexe A.

Les tests statiques de lixiviation (TCLP) effectués par Golder (2015) ont démontré que les résidus miniers sont lixiviables pour cinq (5) métaux : cadmium (Cd), cuivre (Cu), plomb (Pb), zinc (Zn) et nickel (Ni). Les autres tests statiques réalisés (SPLP et CTEU-9) ont aussi démontré la lixiviation de métaux, tels que le fer (Fe), le nickel (Ni) et le zinc (Zn). Le rapport contenant les résultats détaillés est présenté à l'Annexe B.

2.2.2 *Essais cinétiques*

Les résultats obtenus aux essais de caractérisation des résidus effectués par l'URSTM (2016) sont montrés au Tableau 2-4. L'URSTM n'a pas procédé à un test statique de caractérisation des lixiviats (TCLP), mais plutôt à des essais cinétiques en colonnes à travers lesquelles de l'eau est circulée mensuellement (rinçage) et recueillie pour analyse (quantification des métaux par ICP-AES, principalement) sur une période de douze (12) mois. Les résultats des tests cinétiques ont confirmé que les résidus miniers sont lixiviables pour les métaux normés suivants : cuivre (Cu), fer (Fe), nickel (Ni), plomb (Pb) et zinc (Zn). Ces essais ont également indiqué que la lixiviation était rapide et apparaissait dès les premiers mois. Le rapport contenant les résultats détaillés est présenté à l'Annexe D.

2.3 **Résidus miniers acidogènes**

Au sens de la Directive 019, les résidus miniers sont considérés acidogènes lorsqu'il s'agit de résidus miniers contenant du soufre (S_{total}) en quantité supérieure à 0,3 % et dont le potentiel de génération acide a été confirmé par des essais de prévision statiques, en répondant à au moins une des deux (2) conditions suivantes :

- Le potentiel net de neutralisation (PNN) d'acide est inférieur à 20 kg CaCO_3 /tonne de résidus;
- Le rapport du potentiel de neutralisation d'acide sur le potentiel de génération d'acide (PN/PA) est inférieur à 3.

Au sens de la Directive 019, les résidus miniers présentement à l'étude sont considérés comme potentiellement générateurs d'acide.

Tous les échantillons de résidus miniers analysés par Roche (2013) pour déterminer le potentiel de génération d'acide ont démontré que les résidus sont considérés comme générateurs d'acide. En effet, le contenu en soufre total dépasse 0,2 % (les résultats variant entre 8,47 % et 8,99 %). Les ratios PN/PA des résidus se sont avérés nuls, car aucun potentiel de neutralisation n'a été mesuré lors des tests. Les PNN calculés varient entre -112,2 et -103,6 kg CaCO_3 /tonne. Le rapport contenant les résultats détaillés est présenté à l'Annexe A.

Les test de détermination du potentiel de génération d'acide et de neutralisation des résidus effectués par Golder (2015) ont démontré que les résidus sont générateurs d'acide et qu'ils possèdent un bas potentiel de neutralisation. Les analyses réalisées ont montré une concentration en soufre total de 13,5 %, un ratio PN/PA nul (absence de potentiel de neutralisation) et un PNN de -379,9. Le rapport contenant les résultats détaillés est présenté à l'Annexe B.

Les résultats des test de détermination du potentiel de génération d'acide et de neutralisation des résidus réalisés par URSTM (2016) montrés au Tableau 2-4 précédent démontrent que les résidus sont générateurs d'acide. En effet le contenu en soufre total est supérieur à 0,3 % (11,31 % dans l'échantillon composite de résidus) et le PNN est de - 347. Le rapport contenant les résultats détaillés est présenté à l'Annexe D.

2.4 Potentiel d'autochauffage

Selon les résultats obtenus de Nessesetech (2015), les niveaux d'autochauffage des résidus pour les stades A (exposition à 70 °C pendant 50 heures) et B (exposition à 140 °C pendant 50 heures) sont 44,5 J/g et 225 J/g, respectivement. La hausse de température de l'échantillon de résidus pendant le test de laboratoire est montré à la Figure 2-2. Ces résultats correspondent à des résidus de risque 5, pour lesquels une action préventive est recommandée. Le rapport d'autochauffage des résidus et les résultats obtenus par Nessesetech (2015) sont présentés à l'Annexe C.

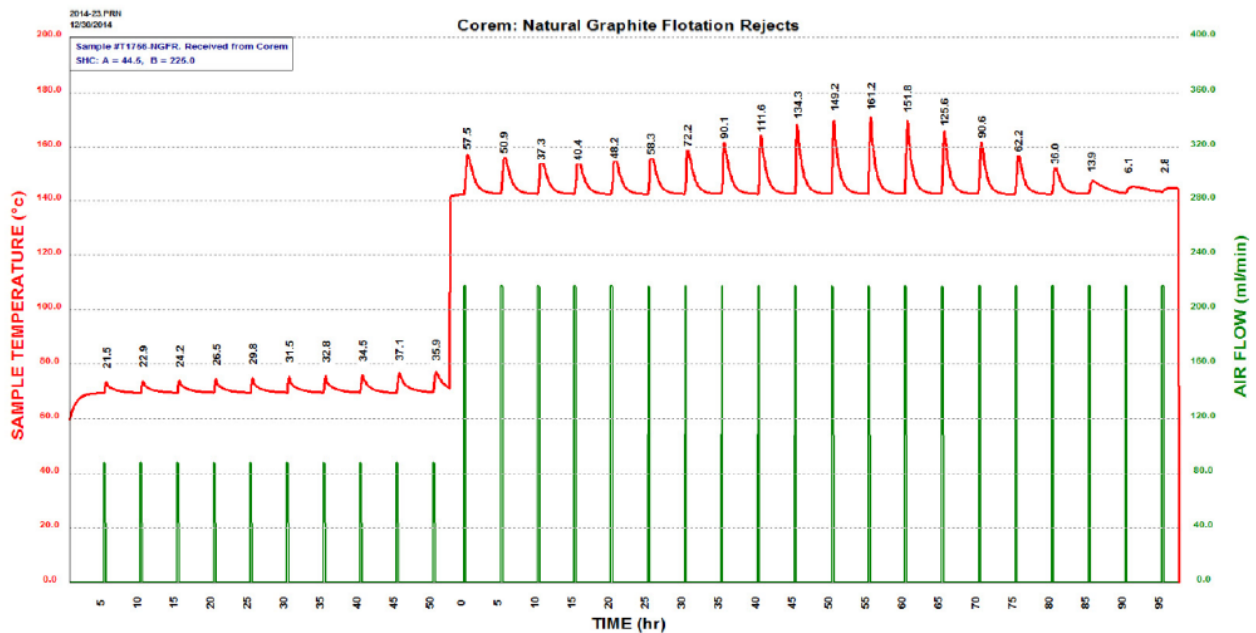


Figure 2-2 : Hausse de la température de l'échantillon de résidus pendant l'essai d'autochauffage (tirée de Nessesetech, 2015)

Sur la base de la chaleur dégagée par les réactions mesurée par Nessesetech, une réaction d'oxydation complète des sulfures générerait suffisamment d'énergie pour évaporer l'humidité contenue dans les résidus filtrés et augmenter la température de la masse totale de résidus de 5 °C. Ainsi, à la température ambiante, la réaction d'oxydation des sulfures n'entraînerait pas d'augmentation de température des résidus suffisamment élevée pour provoquer la combustion des sources de carbone organiques présentes à proximité. Notons ici que le résidu lui-même ne comporte pas de carbone de forme organique pouvant brûler sous l'effet d'une source d'ignition.

Selon les nombreuses études réalisées par Nessesetech³, sur des résidus, minerais et concentrés, le processus d'autochauffage est particulièrement favorisé par les conditions suivantes :

- Pénétration de l'oxygène;
- Présence d'eau entre 3 et 10 %; et
- Accumulation de chaleur dans la masse de résidus.

Afin de limiter le phénomène d'autochauffage, les résidus seront :

- Filtrés sous forme de « gâteaux » dont le teneur en humidité variera entre 14 % et 16 %;
- Compactés de manière à limiter la pénétration de l'oxygène et de l'eau dans la pile;
- Exposés aux conditions climatiques ambiantes favorisant leur refroidissement; et
- Surveillés par caméra thermique pour repérer tout point de surchauffe.

2.5 Résidus miniers pas à risques élevés

Selon la Directive 019, les résidus miniers sont considérés à risques élevés si, lorsqu'ils sont soumis à l'essai conformément à la méthode d'analyse de lixiviation MA.100-Lix.com.1.1 (TCLP), produisent un lixiviat contenant un contaminant dont la concentration est supérieure aux critères énoncés au Tableau 2-5.

Les résultats obtenus avec les résidus de Mason Graphite « lorsqu'ils sont mis à l'essai conformément à la méthode d'analyse de lixiviation MA.100-Lix.com.1.1 (TCLP) » (Roche, 2013) sont repris au Tableau 2-6 suivant; ils ne montrent aucun dépassement des « critères énoncés dans le Tableau 1 » de la Directive 019.

³ Selon la méthode établie par Rosenblum, Nesseset et Spira (Bulletin CIM, Novembre et Décembre 2001)

Tableau 2-6 : Concentration dans les résidus (3 échantillons) des paramètres listés au Tableau 1 de la Directive 019 et comparaison avec les critères pour la détermination des résidus miniers à risques élevés

Paramètre	Concentration maximale mesurée (mg/l)	Critère du Tableau 1 (D019)	% du critère Tableau 1 (D019)	Paramètre	Concentration maximale mesurée (mg/l)	Critère du Tableau 1 (D019)	% du critère Tableau 1 (D019)
Arsenic	0,003	5,0	0,06	Mercure	< 0,0005	0,1	< 0,5
Baryum	0,096	100	0,096	Nitrates + nitrites	n.d.	1 000	-
Bore	< 0,05	500	< 0,01	Nitrites	n.d.	100	-
Cadmium	0,016	0,5	3,2	Plomb	0,023	5,0	0,46
Chrome	< 0,007	5,0	< 0,14	Sélénium	0,004	1,0	0,4
Fluorures totaux	n.d.	150	-	Uranium	0,36	2,0	18

3. Mode de disposition adopté

La construction et l'opération du PAR de Mason Graphite sont conformes aux exigences de la Directive 019, comme stipulé à la section 2.9 – *Gestion des résidus miniers*. Les mesures ont été prises par Mason Graphite pour assurer la préservation de la qualité de l'environnement au site du concentrateur ainsi que la sécurité de la population et des travailleurs de l'usine.

3.1 Approche générale de gestion des résidus

Afin d'éliminer les risques de bris de digue en cours d'opération du concentrateur, le PAR ennoyé, initialement proposé pour contrôler l'oxydation des résidus, a été remplacé par un PAR filtrés et empilés.

Les résidus miniers seront gérés de façon à limiter et contrôler les phénomènes de génération d'acide. La méthode de disposition permettra aussi de prévenir l'autochauffage associé à l'oxydation des sulfures (voir la section 2.3) et le phénomène de lixiviation des métaux qui pourraient en résulter. Le procédé de flottation comportera l'ajout de chaux qui servira à augmenter le potentiel de neutralisation du résidu envoyé au PAR.

La construction du PAR se conformera aux règles de l'art dans le domaine afin de prévenir la contamination des eaux souterraines.

Les principales préoccupations environnementales exprimées par les communautés locales au fil de la conception du projet concernaient le mode de gestion des résidus (initialement prévu sous forme de parc ennoyé). Mason Graphite a tenu compte de ces préoccupations pour changer son mode de disposition des résidus afin de réduire le plus possible les enjeux inhérents à la gestion des résidus miniers.

3.1.1 *Drainage minier acide*

Le drainage minier acide est une préoccupation importante lors de l'entreposage de résidus miniers. En effet, lorsque les études ont démontré, dans les années 80, les causes et mécanismes du drainage acide, l'option s'avérant la plus simple était d'empêcher l'apport d'oxygène aux sulfures des résidus via l'enneiement. Par exemple, la mine Louvicourt, ouverte au début des années 90, a géré ses résidus acidogènes par cette méthode. Très efficace à court terme pour prévenir la génération d'acide, cette méthode offre toutefois peu de sécurité à long terme.

3.1.2 *Rupture de digue*

Des ruptures de digues surviennent malgré des conceptions éprouvées techniquement, et ce, un peu partout dans le monde. Dans tous les cas de rupture, l'eau est le vecteur commun. Les ruptures arrivent régulièrement à la suite d'événements extrêmes, mais peuvent survenir aussi lorsque le temps est sec. La rupture de la digue Samarco s'est produite à la suite de petites secousses sismiques qui ont mené à la liquéfaction des résidus miniers et à une défaillance de certains éléments du design. En 2007, Peck publiait un article faisant état d'une statistique alarmante : on enregistrait en moyenne 1,7 rupture de digue par an dans l'industrie depuis 30 ans. Cette statistique a mené des groupes comme ICOLD (International Commission on Large Dams) à étudier la situation. Ils ont analysé les cas de 221 incidents en lien avec les digues de résidus miniers. Plusieurs leçons ont été tirées de ces études, mais encore aujourd'hui, les digues se rompent. Donc, suite aux catastrophes de ruptures de digue récentes, que ce soit celle du Brésil, qui a dévasté le village de Mariana; celle de Mount Polley, en Colombie-Britannique; ou la rupture de la digue au Québec à Chapais, la communauté internationale des experts en ouvrages de rétention de résidus miniers en est arrivée à la conclusion suivante : la seule façon d'éliminer le risque de rupture de digues est de ne pas avoir de digue avec retenue de boues⁴. La solution à la disposition de résidus en éliminant les digues est donc d'entreposer les résidus sous forme solide, avec un faible pourcentage d'eau en la retirant par filtration.

3.1.3 *Disposition des résidus filtrés*

Après études et recherches de la fin de 2015 au début de 2016, Mason Graphite a trouvé des arguments techniques et scientifiques en faveur du mode de gestion des résidus miniers filtrés, et ce, même s'ils sont potentiellement générateurs d'acide. La littérature scientifique est effectivement d'avis que le potentiel de génération d'acide sera contrôlé par les éléments suivants :

1. Tel que présenté à la section 2.1, les résidus de Mason Graphite sont composés de particules de faible dimension (80 % inférieurs à 100 microns) : la filtration en filtre-pressé produira donc un gâteau avec une faible portion de vide (0,79 à 1,01,) et une faible conductivité hydraulique ($K_{20} = 1,8 \times 10^{-8}$ à 5×10^{-7} cm/s), minimisant l'infiltration de l'eau et de l'air requis pour que la réaction de génération d'acide se produise.
2. La première lixiviation de l'oxydation des sulfures est neutralisée par l'ajout de chaux dans le procédé à la première étape de broyage. Ceci a pour but de protéger les équipements dans l'usine et d'assurer que l'acidité présente au départ dans le minerai soit neutralisée.

⁴ Référence : Tailings and Mine waste '16, the Independent Expert Engineering Investigation and Review Panel, Kossoff et al., 2014 - Mine Tailings Dams Failures

3. Les résidus produits par un procédé continu de broyage et de flottation ne seront pas ségrégués; tous les résidus seront envoyés au même système de récupération et filtration. La répartition des particules plus grosses et celle des particules plus petites seront par conséquent homogènes, ce qui diminuera d'autant les vides entre les particules, donc la diffusion de l'oxygène (voir la Figure 3-1). Sans apport d'oxygène, il ne peut y avoir d'oxydation, donc de génération d'acide, ni d'autochauffage.

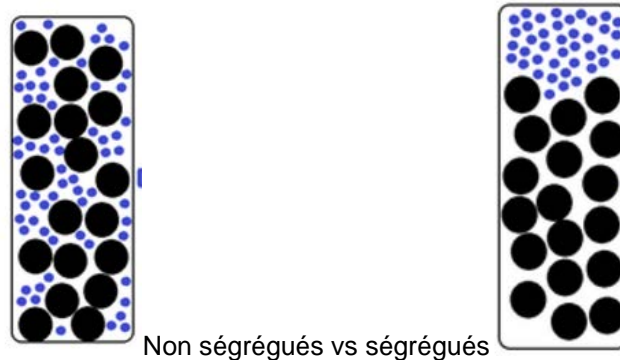


Figure 3-1 : Répartition des particules de différente taille dans les résidus en fonction de leur ségrégation

4. Les résidus déposés sur la pile seront compactés mécaniquement à l'aide d'un bouteur et/ou d'un compacteur lors de leur mise en place dans l'aire de disposition, ce qui réduira les vides entre les particules et diminuera la vitesse de pénétration de l'oxygène, donc l'oxydation des sulfures ainsi que la production potentielle d'acide ou de chaleur générée par la réaction exothermique.
5. Les résidus sous la couche superficielle en surface se retrouveront en conditions quasi saturées à cause de l'eau interstitielle qui se logera entre les particules de résidus, empêchant l'oxygène de se rendre aux particules de sulfures de fer, donc de production d'acide, ou d'initier la réaction d'autochauffage.

3.2 Conception de l'aire d'accumulation des résidus miniers

La méthode retenue consiste à empiler les résidus filtrés par couches successives avec étanchéisation (si requise) des cellules de disposition et restauration progressive, selon les étapes suivantes :

1. Décantation et filtration des résidus dans le bâtiment du concentrateur;
2. Transport des gâteaux filtrés par camion entre le concentrateur et le PAR, via un chemin de services situé sur le site du concentrateur de Mason Graphite;
3. Disposition et compactage des résidus pour minimiser la pénétration d'oxygène et d'eau afin de réduire l'oxydation subséquente des sulfures et de permettre l'étalement sur une superficie limitée aplanie;
4. Surveillance de l'autochauffage facilitant l'intervention ponctuelle (pelletage, brassage de la couche superficielle [1 m] et répartition en surface plane pour favoriser le refroidissement) en cas de développement de zone de chauffage localisée via les caméras thermiques;

5. Empilement de couches successives de résidus pour recouvrir les zones compactées, minimisant ainsi l'exposition à l'air et à l'eau des couches sous-jacentes;
6. Disposition, au besoin, de couches d'étanchéisation supplémentaires (argile ou autre matière étanche) pour minimiser le contact avec l'air et l'eau des superficies exposées, si les conditions hydrauliques des résidus diffèrent de celles observées lors des essais de laboratoire; et
7. Profilage dès le début de la construction du périmètre de la cellule de résidus en vue d'un recouvrement pour étanchéisation et d'une revégétation progressive. Le profilage tient aussi compte des voies d'accès pour l'équipement et les camions et du drainage.

L'aménagement général, à la fin de l'exploitation (année 25), récemment précisé au site du concentrateur est montré à l'Annexe F. Le PAR sera situé à une distance minimale de 60 m de la ligne naturelle des hautes eaux de tout cours d'eau à débit intermittent ou régulier, tel que stipulé dans la Directive 019 sur l'industrie minière (2012).

Les études géotechniques réalisées sur le terrain du site du PAR indiquent que le terrain est constitué d'un socle rocheux avec conductivité hydraulique limitée (entre $1,8 \times 10^{-8}$ à 5×10^{-7} cm/s). Le site sera inspecté durant sa préparation et toute situation pouvant présenter un risque pour les eaux souterraines sera adéquatement corrigée. Ainsi, il est attendu que le risque d'infiltration des eaux d'exfiltration de la pile de résidus soit naturellement limité et qu'une membrane d'étanchéisation ne soit pas requise sous la pile. Cependant, cette hypothèse sera dûment validée au cours de la première phase de développement du PAR par l'implantation d'une cellule test de disposition des résidus.

3.3 Développement du PAR

Le PAR sera construit en cinq (5) phases au fil des années d'exploitation. Sur la base d'une densité minimale à sec de $1,65 \text{ t/m}^3$ et d'une production nominale de 153 300 t/an de résidus, les phases distinctes du PAR auraient les caractéristiques présentées au Tableau 3-1.

Tableau 3-1 : Caractéristiques des cinq (5) phases du PAR au site du concentrateur

Phase	Année de démarrage	Années d'exploitation	Hauteur de la pile (m)	Volume disponible (m^3)	Volume cumulatif (m^3)	Superficie de drainage (m^2)	Superficie réhabilitée (m^2)	Superficie active (m^2)
1	0	3	15	279 000	279 000	50 100	0	50 100
2	3	5	20	465 000	744 000	45 500	24 416	63 127
3	8	5	24	465 000	1 209 000	25 100	46 438	65 677
4	13	5	24	465 000	1 674 000	26 600	60 578	77 655
5	18	7	24	650 000	2 324 000	45 400	90 597	91 916

L'évolution du PAR en fonction des années d'exploitation est montrée à la Figure 3-2 (année 1), à la Figure 3-3 (année 5), à la Figure 3-4 (année 10), à la Figure 3-5 (année 15), à la Figure 3-6 (année 20) et à la Figure 3-7 (année 25). Les limites des cellules du PAR y sont montrées en rouge.

La Phase 1 (années 0 à 3) du PAR constituera la cellule test de disposition des résidus miniers.



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation



Figure 3-2 : Parc à résidus – Année 1



Figure 3-3 : Parc à résidus – Année 5



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation



Figure 3-4 : Parc à résidus – Année 10



Figure 3-5 : Parc à résidus – Année 15



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation



Figure 3-6 : Parc à résidus – Année 20



Figure 3-7 : Parc à résidus – Année 25



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

3.4 Construction du PAR et stabilité

La mise en pile de résidus filtrés peut parfois être associée à une problématique de cohésion de la pile et à l'affaissement ou le déversement des résidus. Pour parer à cette problématique, la pile de 2,3 Mm³ sera aménagée de manière à ne pas dépasser 25 m au-dessus du niveau du sol environnant. En cas d'affaissement, cet empilement produirait une chute localisée des résidus filtrés. Ainsi, la conception de la pile sera optimisée de manière à protéger l'environnement et la population locale (ainsi que les travailleurs) en cas d'accident. La construction de la pile se fera de manière graduelle (sous forme de paliers uniformes et horizontaux) et de manière contrôlée (p. ex. : vitesse d'empilement, élévation des paliers, etc.) pour limiter la génération de pression interstitielle dans les résidus qui pourrait diminuer la stabilité de la pile. La hauteur de l'empilement sera limitée à une augmentation de 2 m par année, sauf dans les premières années d'exploitation pour limiter l'empreinte du PAR exposée à l'air et à l'eau; un suivi de l'empilement sera alors géré à partir d'installations et instrument additionnels. La pile sera construite avec une pente maximale de 4H : 1V pour en assurer la stabilité.

La cohésion de la pile de résidus filtrés pourrait aussi être affectée par la génération d'acide, la production d'eau qui en résulte et par l'infiltration d'eau de précipitations qui pourrait entraîner une liquéfaction de la base. Afin de réduire au maximum la génération d'acide et l'infiltration d'eau dans la pile, les sections du PAR seront recouvertes par une membrane et végétalisées graduellement au fil des années (restauration progressive à partir d'un couvert végétal reconnu pour ses propriétés stabilisatrices des pentes). La première phase de la pile (années 0 à 3), c'est-à-dire la cellule test, sera recouverte en entier après cinq (5) ans d'opération.

La densité et la stabilité de la pile seront améliorées par la compaction et le nivellement progressif de la surface des couches successives de résidus. Ces mesures permettront de limiter l'infiltration d'eau en favorisant le ruissellement des précipitations à la surface de la pile. Lors des périodes froides, toutes les surfaces exposées seront déneigées avant l'ajout de résidus filtrés et humides, qui seront compactés rapidement avant qu'ils ne gèlent.

Un matériau granulaire sera conservé à proximité de la pile pour recouvrir les chemins d'accès des camions contenant les résidus filtrés et ainsi maximiser la traction des roues sur la pile et en prévenir l'orniérage.

Afin d'atténuer l'emportement de poussières par le vent, les sections de pile de résidus non revégétées seront arrosées périodiquement, et au besoin, avec des abat-poussières de type agglomérant reconnus par le MDDELCC.

3.5 Drainage minier acide

La génération d'acide issue de la pile de résidus filtrés, suite à l'exposition du résidu à l'infiltration d'eau et l'exposition à l'air, sera limitée en appliquant les mesures suivantes :

- Ajout de chaux au procédé de broyage, qui augmentera le potentiel de neutralisation des résidus;
- Maintien d'une pente d'environ 14° (4H : 1V) pour les talus de la pile et d'une pente douce (environ 2°) au sommet pour favoriser le ruissellement en surface et empêcher la formation de flaques d'eau;



- Compaction et nivellement de la surface de la pile tout au long des opérations;
- Déneigement de la pile de résidus en hiver avant d'en empiler davantage; et
- Recouvrement progressif et végétalisation graduelle de la pile au fil de l'exploitation.

3.6 Restauration progressive du PAR

La restauration progressive du PAR débutera dès la fin de la Phase 1 du PAR (3^{ème} année), et la première cellule (cellule test) sera complètement recouverte dès la 5^e année. Cette restauration pourrait inclure les activités suivantes :

- Reprofilage et nivellement des zones complétées du PAR pour faciliter le recouvrement et en assurer l'intégrité;
- Recouvrement graduel du PAR ce qui minimisera l'empreinte physique exposée à l'eau et à l'air et donc diminuera l'infiltration de l'eau, la diffusion de l'oxygène et incidemment la production de DMA;
- Modification du patron d'aménagement des fossés périphériques de collecte des eaux au fil du développement du PAR pour séparer les eaux de ruissellement non contaminées ^[1] (issues des zones recouvertes) des eaux de contact issues des zones du PAR en cours d'empilement (résidus exposés à l'eau et à l'air); et
- Construction d'un moyen de dérivation (fossé, drain souterrain, etc.) pour rediriger les eaux issues des zones complétées et recouvertes du PAR, donc n'étant pas entrées en contact avec les résidus, vers l'environnement et ségréger les eaux de contact.

4. Mesures de protection des eaux souterraines

Tel qu'exigé par la Directive 019, l'aire d'accumulation de résidus miniers acidogènes et lixiviables doit être conçue de manière à empêcher le transport de contaminants vers les eaux souterraines. Un réseau de captage adéquat des eaux doit être installé afin de recueillir toutes les eaux potentiellement contaminées et les diriger vers les installations de traitement de l'eau. Les sections suivantes fournissent l'information sur les mesures d'étanchéité qui ont été retenues pour la construction du PAR.

4.1 Mesures d'étanchéité retenues

Suivant le processus décisionnel de la Directive 019 repris à la Figure 4-1 qui suit, le PAR sera conçu avec des mesures d'étanchéité de niveau A.

^[1] Les eaux non contaminées seront détournées à l'environnement en aval du site, ce qui permettra de réduire le volume d'eau à traiter.

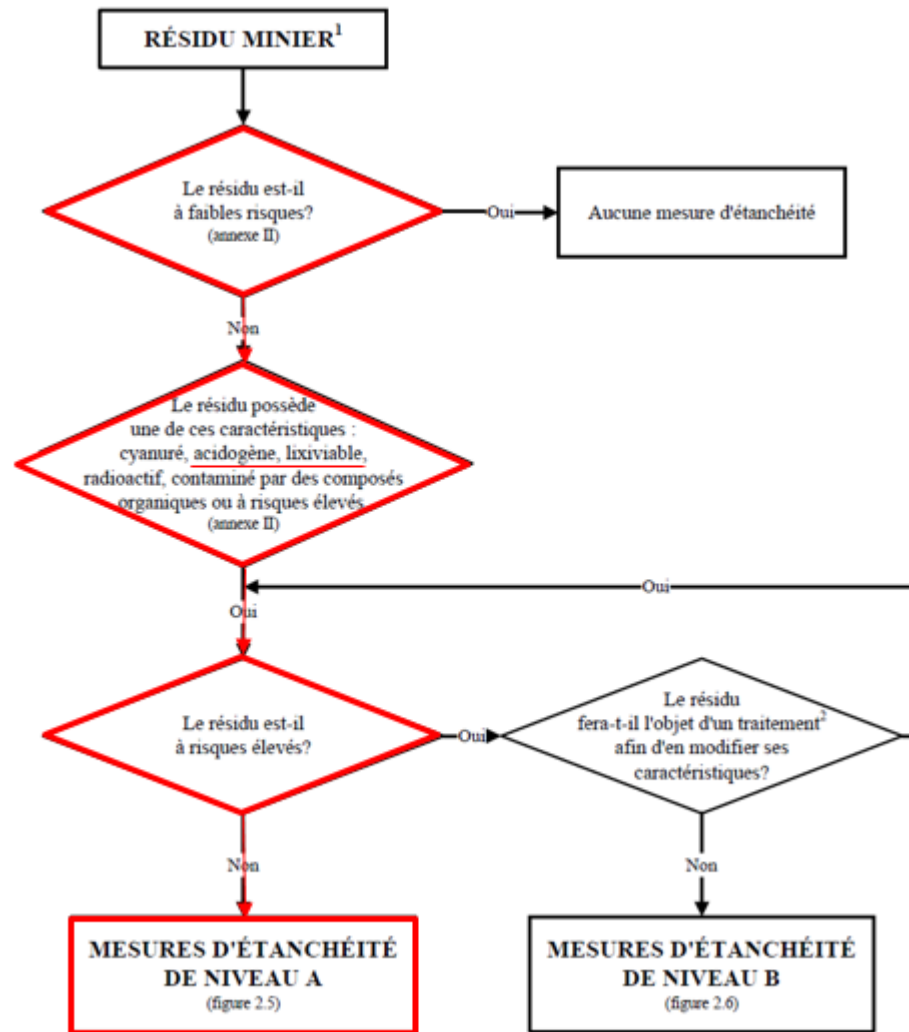


Figure 4-1 : Critères à considérer pour déterminer les mesures d’étanchéité à appliquer à une aire d’accumulation de résidus miniers (tirée de la Directive 019, MDDEP, 2012)

Les mesures d’étanchéité de niveau A requises ont été déterminées en appliquant l’approche de la Directive 019 montrée à la Figure 4-2.

Suivant les conditions géotechniques en place et les propriétés du résidu, le débit de percolation quotidien au fond du PAR est évalué inférieur à 3,3 L/m² : les débits d’exfiltration au fond du PAR estimés varient entre 0,017 L/m²/jour et 0,280 L/m²/jour selon la coupe étudiée (SNC-Lavalin, 2017; fournie à l’Annexe E). De plus, l’évaluation d’un cas plus critique avec une tête d’eau de cinq (5) mètres dans le PAR résulte en des débits de percolation qui varient entre 0,077 L/m²/jour et 0,653 L/m²/jour selon la coupe étudiée; demeurant sous le critère de 3,3 L/m²/jour de la Directive 019 (voir l’Annexe E).

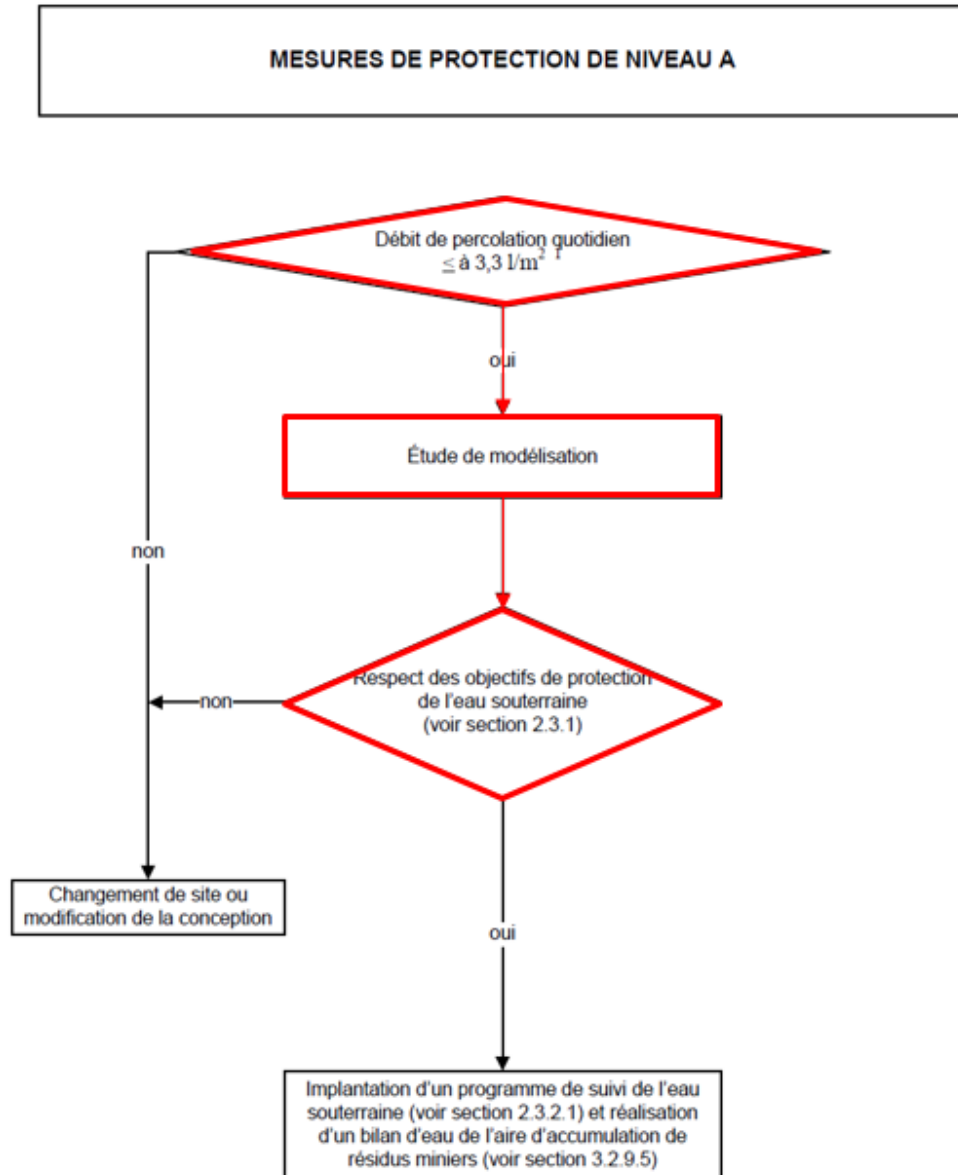


Figure 4-2 : Mesures d'étanchéité à appliquer pour la protection des eaux souterraines – Niveau A (tirée de la Directive 019, MDDEP, 2012)

Une modélisation hydrogéologique a été effectuée et est documentée dans le rapport fourni à l'Annexe E (SNC-Lavalin, 2017). Le transport de contaminants (fer, nickel, plomb et zinc ont été utilisés) a été simulé sur une période de 200 ans. Les résultats obtenus montrent une variabilité en fonction de la coupe à l'étude. En effet, pour les coupes AA' et BB', après 200 ans, il est simulé que le panache de contamination vers le sud et l'ouest du site atteindra le ruisseau intermittent entre le PAR et le concentrateur, mais qu'aucune contamination ne sera décelée dans le ruisseau Petit-Bras en aval du ruisseau intermittent. Par contre, dans le cas de la coupe CC', le panache de contamination vers l'est atteindrait le lac Petit-Bras dès la 20^e année d'exploitation. Par contre, la coupe CC' vers le lac Petit-Bras n'a pas été calibrée à cause d'un manque de données géotechniques et, ainsi, les résultats ne sont qu'une appréciation du phénomène.

Suite à cette analyse, Mason Graphite s'engage à respecter les objectifs de protection des eaux souterraines et propose la mise en place d'une cellule test sur membrane étanche pour la première phase de développement du PAR.

4.2 Cellule test de confinement des résidus

Malgré le fait que les résultats de la modélisation hydrogéologique aient démontré que le débit de percolation quotidien (0,017 à 0,28 L/m²/jour) est bien en deçà du seuil de protection de niveau A (3,3 L/m²/jour), Mason Graphite a pris l'engagement d'installer une mesure de protection additionnelle pour les eaux souterraines. La première phase du PAR (années 1 à 3) impliquera la mise en place d'une membrane étanche qui permettra d'atteindre les objectifs suivants :

- 1) Vérifier les caractéristiques physiques et géochimiques de l'empilement des résidus filtrés;
- 2) Confirmer le comportement géochimique des résidus miniers et établir le portrait réel de lixiviation des résidus miniers dans les conditions d'opérations quotidiennes (caractérisation physico-chimique des lixiviats);
- 3) Valider le bilan d'eau autour du PAR et le débit de percolation au fond;
- 4) Établir la qualité réelle de l'eau de percolation à travers la pile de résidus;
- 5) Établir le risque réel de contamination des eaux souterraines et prendre des décisions éclairées par des résultats factuels quant à la nécessité de mesures d'étanchéité à implanter pour les phases 2 à 5 de développement de l'AAR (p. ex. : installation d'une géomembrane étanche);
- 6) Réviser le modèle hydrogéologique en utilisant les concentrations réellement observées au site et valider les résultats de la modélisation;
- 7) Refaire l'analyse de transport de contaminants dans l'eau souterraine pour confirmer le respect des objectifs de protection de l'eau souterraine;
- 8) Si requis, tester, au cours de la 2^e année d'exploitation, des méthodes de traitement des résidus (stabilisation ou fixation), l'ajout de chaux ou l'utilisation de couches d'étanchéisation en fonction des observations et besoins identifiés durant la première année d'exploitation.

Tous les résidus produits pendant les 2 premières années d'exploitation de l'usine seront disposés dans la cellule test. Les résultats de suivi de la cellule test permettront ainsi de guider les critères de conception des phases subséquentes de développement du PAR afin de respecter les exigences en vigueur en matière de protection de l'environnement.

Le schéma d'aménagement général de la cellule test à la fin de la Phase 1 (année 3) est montré à la Figure 4-3. Toutes les eaux d'exfiltration et de ruissellement de la cellule test seront interceptées et analysées sur une base régulière suivant un plan de caractérisation préapprouvé par le MDDELCC.

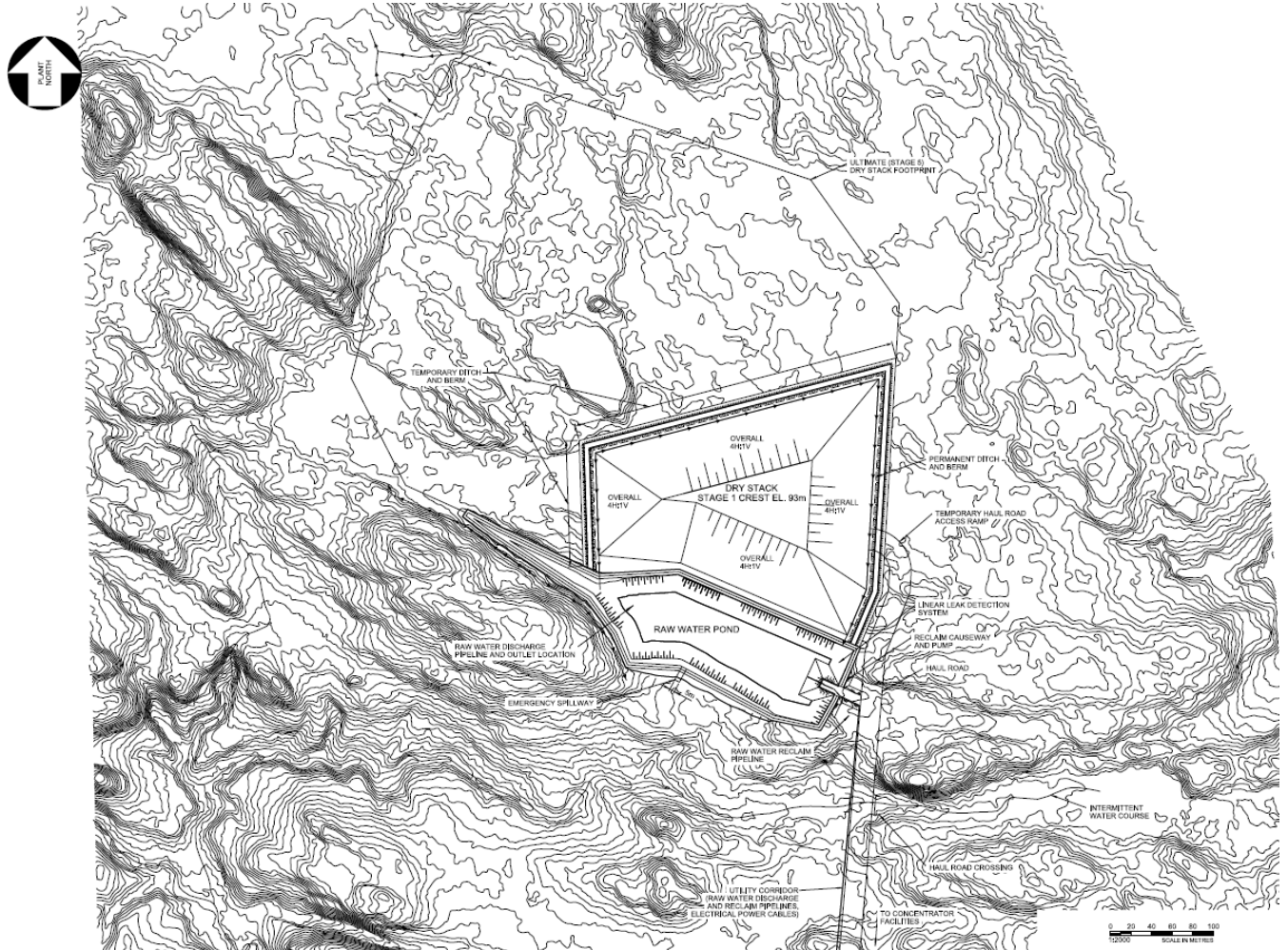


Figure 4-3 : Schéma d'aménagement de la cellule test au PAR (année 3)

La cellule sera dotée d'une géomembrane placée sur une couche de sable pour éviter que celle-ci soit endommagée par les dépôts angulaires de roc sous-jacents. Les résidus filtrés seront placés directement sur la toile; des protocoles de transport et déchargement des résidus miniers seront mis en place pour éviter que les opérateurs des équipements de disposition des résidus endommagent la toile.

Un drain de géocomposite sera installé à la base de la pile au-dessus de la membrane, ce qui permettra de maintenir la stabilité de la pile de résidus et un suivi efficace de la qualité des eaux de contact (infiltration et lixiviation). Les eaux de ruissellement sur la pile (dites « de contact ») seront recueillies dans les fossés périphériques et dirigées vers la réserve d'eau brute au sud de la cellule test (voir « *Raw Water Pond* » à la Figure 4-3, au sud du PAR). Ces éléments de configuration de la cellule test permettront de calculer un bilan des eaux de l'aire d'accumulation des résidus miniers et de vérifier le débit de percolation à travers la pile de résidus.

Un suivi de la qualité des eaux de contact de la pile permettra de vérifier le taux réel de lixiviation des métaux et de génération d'acide. Comme démontré par les essais cinétiques en colonnes, les résidus miniers ne montrent pas de temps de latence avant que les phénomènes de lixiviation et de génération acide s'enclenchent. Ainsi, les données sur la qualité de l'eau issue du PAR devraient indiquer rapidement, après le début de l'exploitation du concentrateur, la présence ou non de réaction de lixiviation.

Un schéma de l'aménagement prévu de la cellule test, des membranes et du drain géocomposite est montré à la Figure 4-4 (en anglais).

Des fossés périphériques et des ponceaux seront aménagés pour permettre l'écoulement de l'eau vers la réserve d'eau brute et empêcher l'accumulation d'eau au fond de la cellule. L'aménagement des ponceaux sous la pile de résidus au moment de la restauration finale est montré à la Figure 4-5 (en anglais). Les fossés périphériques permanents seront aménagés avec un empierrement afin de protéger les talus de la pile et la berme. Cet empierrement sera en place sur une couche de géotextile dans le but de protéger la membrane qui assure l'étanchéité des fossés. Les schémas d'aménagement généraux des fossés temporaires et permanents sont montrés à la Figure 4-6 et à la Figure 4-7, respectivement (en anglais).

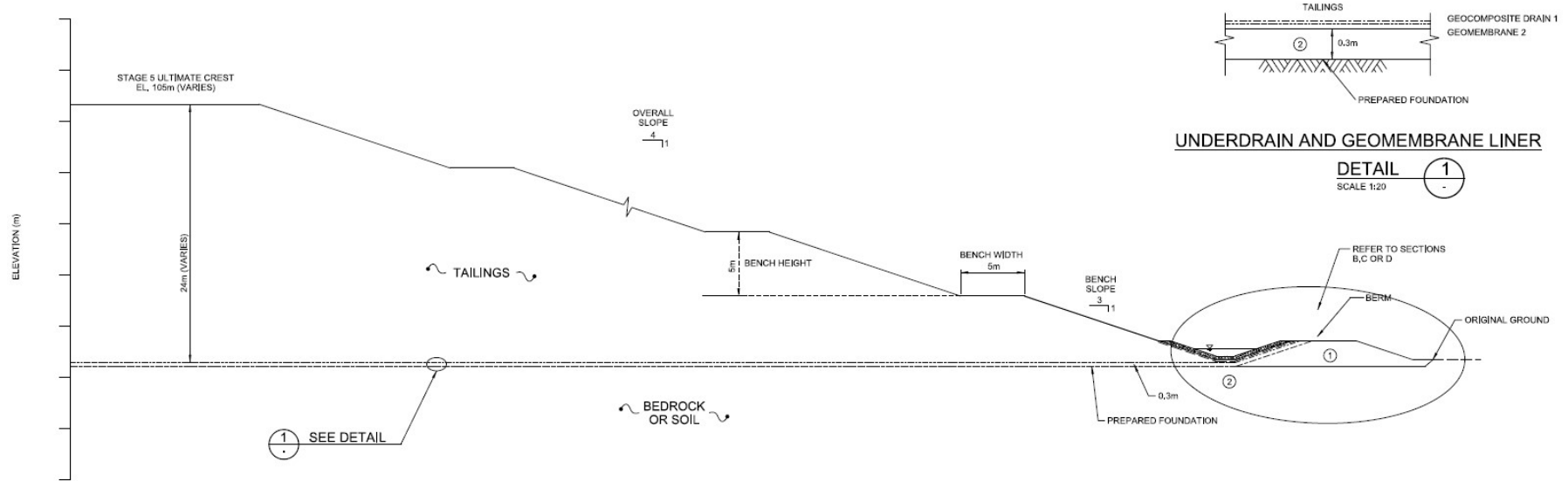


Figure 4-4 : Aménagement général des membranes et du drain géocomposite

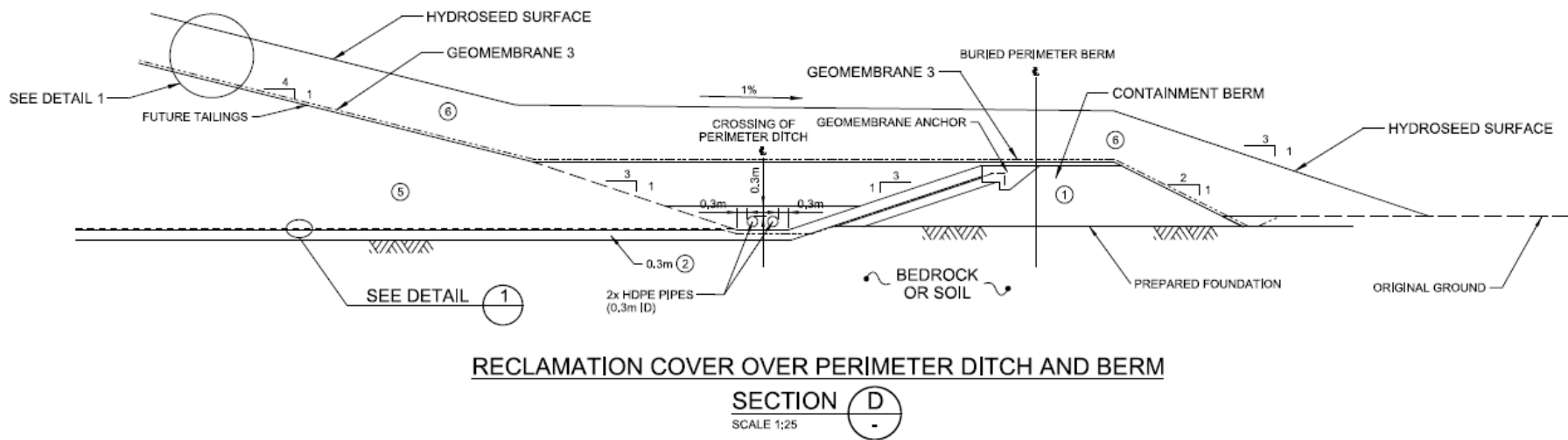


Figure 4-5 : Aménagement général des ponceaux



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

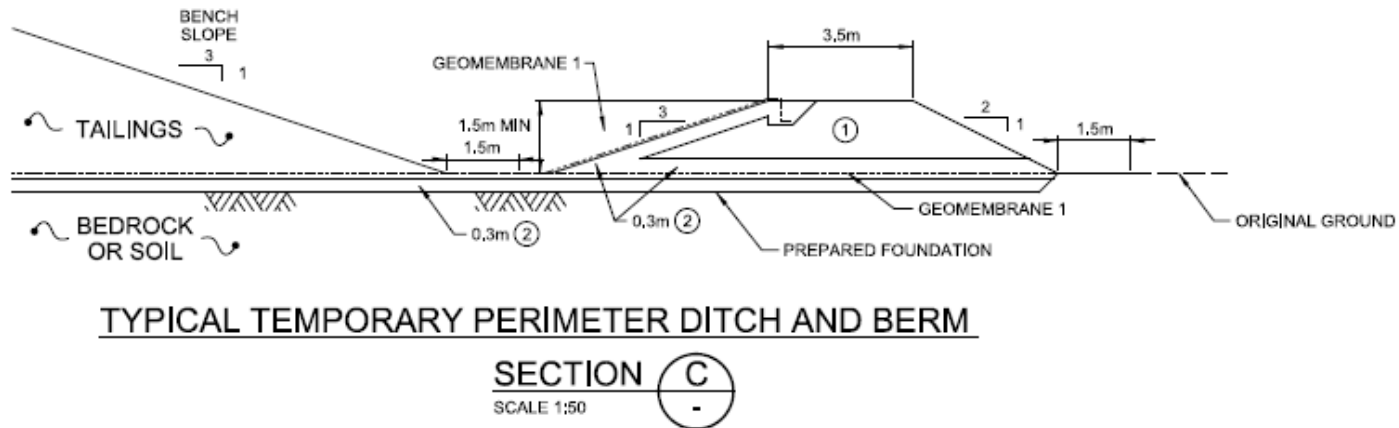


Figure 4-6 : Aménagement général des fossés temporaires

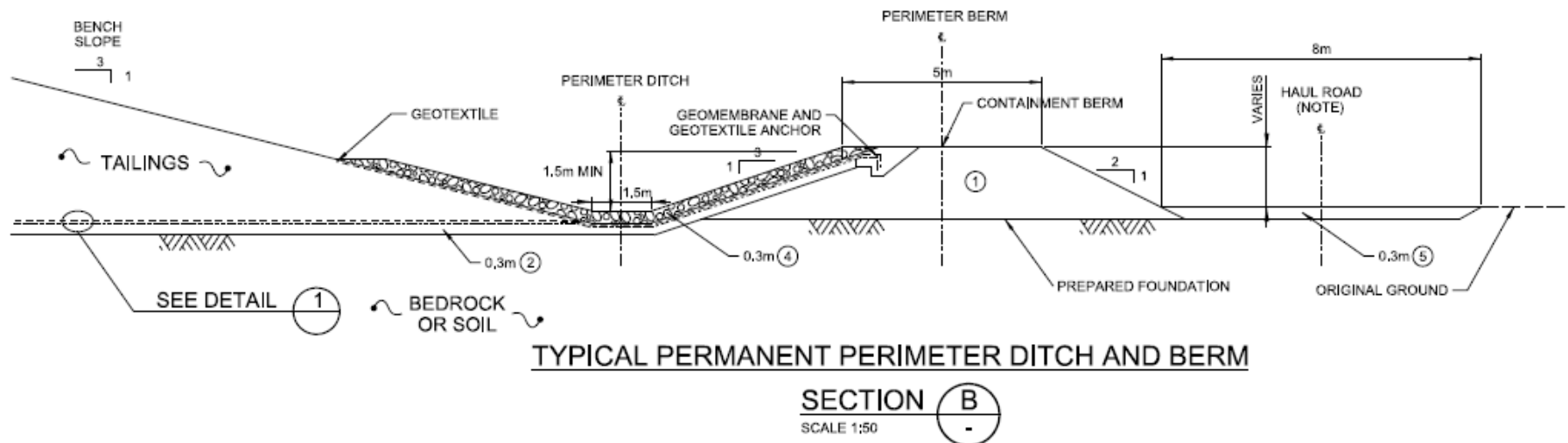


Figure 4-7 : Aménagement général des fossés permanents



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

La cellule test fera également l'objet d'une surveillance à l'aide de caméras thermiques afin de bien caractériser le processus d'autochauffage des résidus.

Elle pourra enfin être utilisée comme source de matériel pour effectuer des essais de mesures d'atténuation de la génération d'acide. L'ajout de chaux pourra notamment y être étudié afin de valider son efficacité dans le contrôle de la génération d'acide à travers la pile. La cellule test permettra également de valider le niveau de saturation en eau de la pile de résidus.

Toutes les mesures de construction et de protection de l'environnement décrites dans le présent document seront appliquées à la cellule test. Des modifications seront apportées à l'ensemble des phases subséquentes de construction du PAR en fonction des expériences acquises lors des premières années d'exploitation (années 0 à 3).

4.3 Validation du respect des objectifs de protection de l'eau souterraine

Pendant et à la suite des trois (3) premières années d'exploitation, la cellule test permettra la compilation de résultats précis sur la qualité de l'eau d'infiltration dans le PAR. Le bilan d'eau autour de l'installation sera aussi compilé. Mason Graphite appliquera le processus décisionnel illustré au diagramme de la Figure 4-8, afin de déterminer si les mesures d'étanchéité doivent être implantées en vue de protéger les eaux souterraines. Des modifications pourraient alors être apportées à la conception des phases subséquentes du PAR (phases 2 à 5). Prendre note que l'abréviation « AAR » à la Figure 4-8 réfère à l'aire d'accumulation des résidus, appelée PAR dans le présent document.

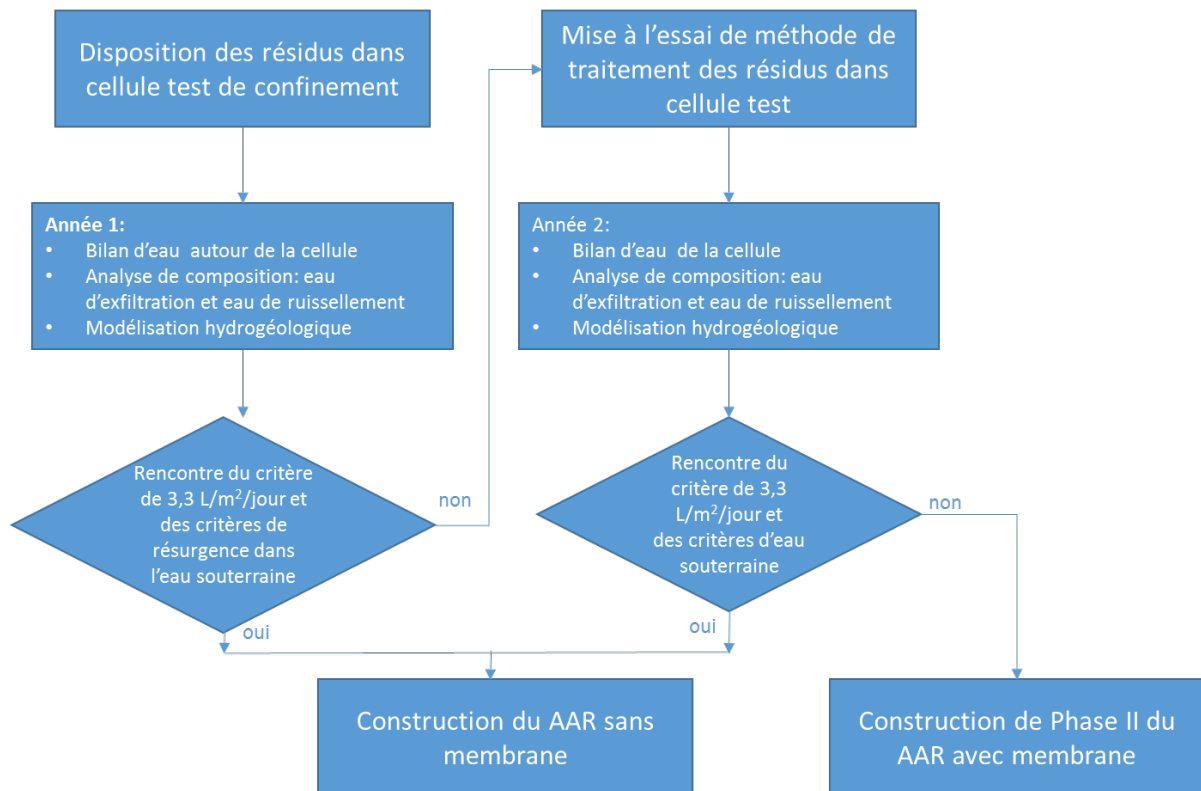


Figure 4-8 : Diagramme décisionnel pour la construction du PAR avec ou sans membrane

Une modélisation hydrogéologique révisée sera fournie pour démontrer le respect des exigences en matière de protection des eaux souterraines. Les résultats seront analysés afin de vérifier le respect des critères de protection des eaux souterraines, c'est-à-dire les critères de l'Annexe 7 – Grille des critères de qualité des eaux souterraines du Guide d'intervention – Protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés (MDDELCC, 2016). Cette analyse permettra de statuer définitivement sur la nécessité d'installer ou non une membrane étanche sous le PAR, suivant la démarche présentée au diagramme décisionnel montré à la Figure 4-8.

L'impact de la migration modélisée des contaminants vers les eaux souterraines sera analysé en fonction de la caractérisation des eaux souterraines que Mason Graphite s'engage à compléter suivant les commentaires et exigences du MDDELCC.

5. Suivi environnemental

La stabilité de la pile, le drainage minier acide, le phénomène d'autochauffage et la protection des eaux souterraines feront l'objet de suivis rigoureux qui seront détaillés dans le plan de suivi environnemental de Mason Graphite. Ce plan, qui sera soumis pour approbation avec la demande de CA inclura, entre autres, les éléments suivants :

- Installer un réseau de surveillance des eaux souterraines d'au moins trois (3) puits d'observation implantés en amont et en aval des aménagements à risque en n'excédant pas une distance de 150 m de ces éléments (l'emplacement préliminaire proposé des puits d'observation est montré à l'Annexe F;
- Prélever deux (2) fois par année, au printemps et à l'été, les échantillons d'eau souterraine pour procéder aux analyses physico-chimiques (pH, ions majeurs, métaux extractibles, cyanures totaux, hydrocarbures C₁₀-C₅₀ et conductivité électrique);
- Procéder à des inspections fréquentes (de routine) pendant les phases de construction et d'opération du concentrateur pour s'assurer que les plans de développement de la pile de résidus filtrés soient conformes aux plans d'ingénierie, pour optimiser l'entretien, pour prendre connaissance rapidement des problématiques potentielles et pour avoir suffisamment de temps pour apporter des correctifs, si nécessaire;
- Repérer et signaler toutes observations d'altération de l'intégrité de la pile (p. ex. : fissure de tension ou zone d'affaissement);
- S'assurer qu'il n'y ait aucun obstacle à l'écoulement de l'eau dans le drain et les fossés périphériques;
- Procéder au suivi des niveaux piézométriques des zones critiques (p. ex. : centre de la pile et sols sous-jacents), le cas échéant, et surveiller l'abaissement de la hauteur de la pile après la fermeture;
- Au minimum, trois (3) puits d'observation seront installés afin de suivre la qualité de l'eau en amont et aval hydraulique du PAR – les puits seront installés selon un axe perpendiculaire à la direction d'écoulement de l'eau souterraine; et



- Installer des caméras thermiques autour du PAR afin de détecter en continu toute augmentation de la température dans la pile de résidus. Si une augmentation était détectée, des mesures de contrôle de la température aux points de chauffage seront appliquées (par exemple, refroidissement par brassage de la couche superficielle de résidus et épandage, compactage local, refroidissement avec de l'eau au besoin, etc.).

La taille et la configuration des piles de résidus pourraient aussi être ajustées en conséquence du comportement géochimique des résidus observé pendant les trois (3) premières années d'exploitation du concentrateur (cellule test).



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

6. Références

- [1] Critères de conception préliminaires – Traitement de l'eau (mine et concentrateur), Note technique réalisée pour le compte de Mason Graphite inc., H348328-0000-07-220-0003, Rév. 0, Hatch, avril 2017, 18 pages et annexes.
- [2] Réponses aux questions du MDDELCC du 29 avril 2016, Mason Graphite – Étude d'impact environnemental, H348328-0000-07-124-0003, Rév. 0, Hatch, juillet 2016, 91 pages et annexes.
- [3] Réponses aux questions du MDDELCC du 20 janvier 2017, Projet d'exploitation d'un gisement de graphite naturel du Lac Guéret sur le territoire de la Municipalité régionale de comté de Manicouagan par Mason Graphite inc., Dossier 3211-16-016, H348328-0000-07-236-0006, Rév. 0, Hatch, avril 2017, 154 pages et annexes.
- [4] Gestion des eaux – Concentrateur, Rapport de projet réalisé pour le compte de Mason Graphite inc., H347199-0000-05-220-0006, Rév. 0, Hatch, juin 2016, 12 pages et annexes.
- [5] Mason Graphite – Feasibility Study Report, Rapport de projet réalisé pour le compte de Mason Graphite inc., H347199-0000-00-124-001, Rév 1, Hatch, octobre 2016 (mise à jour), 60 pages.
- [6] Dessins en plan – Parc à résidus, Réalisés pour le compte de Mason Graphite inc., H347199-6100-10-042-0101 à H347199-6100-10-042-0103 et H347199-6100-10-035-0101 à H347199-6100-10-35-0103, Hatch, août 2016.
- [7] Directive 019 sur l'industrie minière, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), Révision 2012, 66 pages et annexes. [Disponible en ligne].
http://www.mddep.gouv.qc.ca/milieu_ind/directive019/
- [8] Alternatives à l'ennoisement des résidus, Note de service de projet réalisée pour le compte de Mason Graphite inc., H347199-0000-05-220-0004, Hatch, février 2016, 10 pages.
- [9] Self-heating tests – Mason Graphite Inc project, Rapport technique réalisé pour le compte de Mason Graphite inc., COREM, Nessesetech, avril 2015, 13 pages.
- [10] Étude environnementale de base – Propriété Lac Guéret, Étude réalisée pour le compte de Mason Graphite inc., N/Réf. : 102440.001, Roche Ltée, Groupe-conseil, novembre 2013, 269 pages et annexes.
- [11] Geochemical characterization of the lac Guéret pilot plant tailings, Note technique réalisée pour le compte de Mason Graphite inc., N/Réf. : 15-26332, Rev. 0, Golder Associates, juillet 2015, 13 pages.
- [12] Essais cinétiques sur rejets miniers de Mason Graphite, Rapport réalisé pour le compte de Mason Graphite inc., N/Réf. : PU-2014-12-946, Unité de recherche et de service en technologie minérale (URSTM), Université Rouyn-Noranda, juillet 2016, 20 pages et tableaux de résultats (Excel).

RBS :mpc



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

Annexe A

Extraits de l'Étude environnementale de base – Propriété Lac Guéret (Roche, 2013)



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

3.4 Géologie

La géologie régionale comprend la partie la plus au sud-ouest du groupe de Gagnon qui incluent la stratigraphie traditionnelle de la formation de fer du district Wabush-Mont-Reed (Roche, 2012). La partie sud-est de l'anticlinorium de Manicouagan est composé d'un cœur de marbre dolomitique de la formation de Denault qui se trouve en-dessous de la formation de fer de Sokoman et au-dessus d'une plate-forme composée de métasédiments pélitiques de la formation de Katsao.

Les faciès riches en quartz avec oxydes de fer et de fer-silicate de la formation de Sokoman forment des anticlinaux et synclinaux repliés. Les quartzites sans oxydes de fer de la formation de Sokoman recouvrent les faciès riches en oxydes de fer. La partie supérieure de cette formation présente un contact avec les sédiments pélitiques de Menihek. La partie inférieure de la formation de Menihek est appelée informellement le «membre du Lac Guéret» de la formation de Menihek. Les formations gnessiques de Katsao et Menihek ont une proportion significative de feldspath potassique, tandis que le paragneiss et le schiste du Groupe de Gagnon sont pauvres en K_2O .

Les métasédiments graphitiques sont concentrés dans le membre du Lac Guéret situés sous les dépôts de fer de la formation de Sokoman. Le graphite est présent dans des lamines formées dans les roches clastiques qui se sont déposées en conditions anoxiques dans un bassin sédimentaire qui a permis la préservation du carbone organique et la précipitation des sulfures primaires, principalement de la pyrrhotine associée au graphite. Les sulfures se retrouvent essentiellement dans ces conditions de déposition et ne se retrouvent pas dans les roches hôtes qui sont en dehors de ces dépôts. La constitution des formations telles que les dépôts d'oxydes de fer et de graphite a été modifiée par cinq périodes de déformation reliées à l'orogénèse du Grenville. Lors de l'épisode d'extension tardive, la pyrite a été formée à partir de la pyrrhotite originale.

Le graphite du gisement du Lac Guéret se présente sous forme de lentilles et de lits de plus de 2 000 m de long et de 10 à 80 m d'épaisseur déposé dans les roches sédimentaires d'origine du début du dépôt sédimentaire. Les concentrations en carbone graphitique (Cgr) varient de traces à 53,5 %. Aucun carbonate n'a été observé dans la gangue.

Dans le minerai à plus faible teneur, les flocons de graphite sont de taille moyenne à grossière dans une matrice gneissique à feldspath-biotite riche en quartz. Dans le minerai à plus forte teneur, le graphite change d'aspect pour inclure une portion importante en grains de graphite très fins. Le potentiel économique de cette unité est probable par l'extraction de cette matrice graphitique. Les sulfures observés dans le minerai comprennent la pyrrhotine, la pyrite, la chalcopryrite, la sphalérite et la molybdénite.

3.4.1 Caractérisation environnementale des stériles, du minerai et des résidus de traitement

La Directive 019 définit un résidu minier comme :

« Toute substance solide ou liquide, à l'exception de l'effluent final, rejetée par l'extraction, la préparation, l'enrichissement et la séparation d'un minerai, y compris les boues et les poussières résultant du traitement ou de l'épuration des eaux usées minières ou des émissions atmosphériques [...] ».

Cette section présente les résultats du programme de caractérisation environnementale des résidus miniers qui seront générés dans le cadre du projet du Lac Guéret. L'objectif principal de ce programme de caractérisation est de classer les différents résidus miniers selon les critères et exigences de la Directive 019 sur l'industrie minière (MDDEP, 2012a) en vue d'établir un plan de gestion de ces matériaux. Un deuxième objectif consiste à identifier les paramètres chimiques d'intérêt qui pourraient affecter la qualité de l'eau sur le site minier.

3.4.1.1 Processus de caractérisation des résidus miniers selon la Directive 019

Le processus de classification des résidus miniers selon la Directive 019 est illustré à la figure 3.4.1.

Un résidu minier est considéré à **faibles risques** lorsque les concentrations en métaux de ces résidus n'excèdent pas les critères de niveau A indiqués au tableau 1 de l'annexe 2 de la Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés (PPSRTC) (MDDEFP, 2013a). Ces critères représentent les teneurs de fond pour les substances inorganiques et pour la province géologique où se situe le projet. Le projet du Lac Guéret est notamment situé dans la province géologique de Grenville.

Un résidu est considéré **à risque élevé** si, lorsqu'il est mis à l'essai conformément à la méthode d'analyse de lixiviation MA.100-Lix.com.1.1 (TCLP), il produit un lixiviat contenant un contaminant dont la concentration est supérieure aux critères énoncés dans le tableau 1 de l'annexe II de la Directive 019. La liste des paramètres présentés à l'annexe II est toutefois limitée.

Un résidu minier est défini comme **lixiviable** lorsque, pour un paramètre donné, le contenu excède le bruit de fond géologique (Critère A) et qu'il produit un lixiviat, selon la méthode TCLP, contenant un contaminant dont la concentration est supérieure au critère applicable pour la protection des eaux souterraines. Toutefois, si pour un paramètre donnée, le contenu est inférieur au critère A de la PPSRTC, le résidu est considéré non lixiviable même si le lixiviat obtenu avec le test TCLP est supérieur au critère de protection de l'eau souterraine applicable. Finalement, il est à noter qu'il n'existe pas de critère A pour plusieurs paramètres dont l'aluminium et le fer. Pour ces paramètres, seules les concentrations observées suite au test de lixiviation TCLP sont considérées.

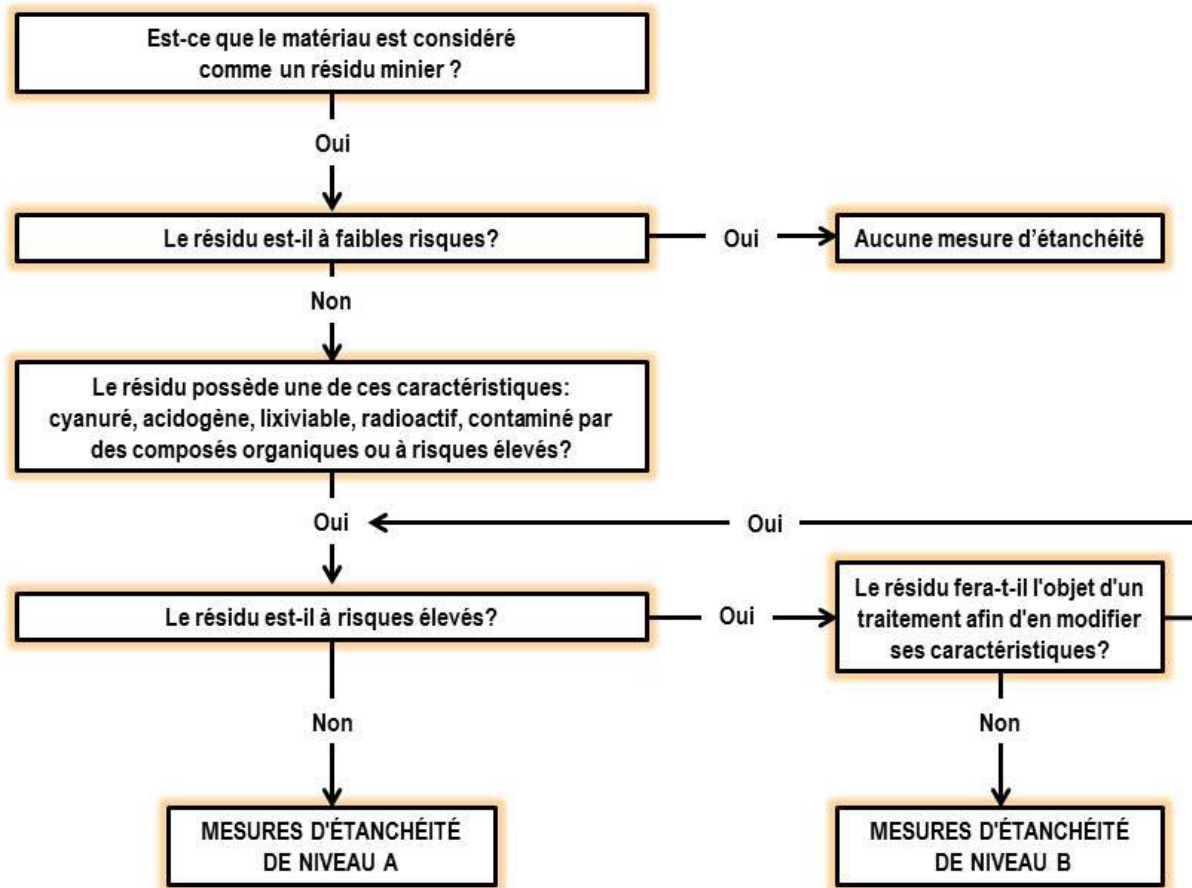


Figure 3.4.1 Processus de caractérisation des résidus miniers selon la Directive 019

Dans le cas de la présente étude, le critère de résurgence des eaux souterraines dans les eaux de surface (ci-après « critère de résurgence ») est le critère qui a été retenu pour définir le caractère lixiviable des résidus miniers. Ces critères sont tirés du document « Critères de qualité de l'eau de surface au Québec » (MDDEFP, 2013b). Selon la PPRSTC, la valeur retenue pour chaque paramètre correspond à la plus basse des valeurs suivantes :

- 1 × critère de vie aquatique aiguë;
- 100 × critère de vie aquatique chronique;
- 100 × critère de prévention de la contamination des organismes aquatiques;
- 100 × critère de faune terrestre piscivore.

Dans la majorité des cas, la valeur retenue correspond au critère de vie aquatique aiguë. Toutefois, dans la plus récente version du document sur les critères de qualité de l'eau de surface du MDDEFP (mis à jour en 2013), le critère de vie aquatique aiguë pour le fer a été retiré. Ainsi, le nouveau critère de résurgence pour le fer correspond maintenant à une valeur de 100× le critère de prévention de la contamination des organismes aquatiques, soit une valeur de 30 mg/l.

Finalement, un résidu minier est défini comme **acidogène** lors que son contenu en soufre total est supérieur à 0,3 % et qu'il a un potentiel de génération acide qui a été confirmé par des essais de prévision statiques, en répondant à au moins une des deux conditions suivantes :

- le rapport du potentiel de neutralisation d'acide (PN) sur le potentiel de génération d'acide (PA), soit le ratio PN/PA est inférieur à 3;
- le potentiel net de neutralisation (PNN=PN-PA) est inférieur à 20 kg CaCO₃/tonne de résidus.

Donc, un résidu contenant moins de 0,3 % de soufre total n'est pas considéré potentiellement générateur d'acide quel que soit le PNN et le ratio PN/PA. De la même manière, un résidu contenant plus de 0,3 % de soufre total est jugé non potentiellement générateur d'acide si le ratio PN/PA est supérieur à 3 et que le PNN est supérieur à 20 kg CaCO₃/t.

Il est à noter que les critères présentés dans la Directive 019 ne font référence à aucune documentation scientifique. Par contre, le « Guide de caractérisation des résidus miniers et du minerai – version préliminaire » (MDDEP, mai 2003) qui présente ces mêmes critères réfère au document de Price (1997). Dans ce document, M. Price affirmait qu'un résidu contenant moins de 0,3 % de sulfures (et non pas de soufre total) ne pouvait être considéré potentiellement générateur d'acide. Il affirmait de plus qu'un résidu montrant un ratio PN/PA entre 2 et 4 pouvait présenter un potentiel de génération d'acide. Le critère de ratio PN/PA de 3 de la Directive 019 provient très probablement de cette source. Dans le cadre du programme *Mine Environment Neutral Drainage* (NEDEM), une mise à jour du rapport de M. Price a été rendue publique en décembre 2009. Cette mise à jour a été commanditée par l'Association minière du Canada, Ressources Naturelles Canada, ainsi que les gouvernements de la Colombie-Britannique, de l'Ontario et du Yukon. Le document intitulé « *Prediction Manual for Drainage Chemistry from Sulphidic Geologic Materials* » (Price, 2009) est devenu la référence dans le reste du Canada et est explicitement citée comme référence dans les directives pour la réalisation d'études d'impact sur l'environnement de projets miniers qui sont produites par Environnement Canada. Suite à la revue de l'ensemble de la littérature récente, M. Price conclut qu'un résidu contenant moins de 0,3 % de sulfures peut être potentiellement générateur d'acide en absence d'un potentiel de neutralisation suffisant. Il affirme de plus qu'un résidu montrant un ratio PN/PA supérieur à 2 ne devrait pas présenter de potentiel de génération d'acide, Finalement, il mentionne que le PNN n'est pas utile car il ne tient pas compte du ratio PN/PA. Les critères de Price (2009) se résument comme suit :

- Non générateur d'acide : PN/PA >2 ;
- Zone d'incertitude (ZI) : 1 < PN/PA < 2;
- Générateur d'acide : PN/PA < 1.

Il n'existe pas de concept de zone d'incertitude dans la Directive 019.

3.4.1.2 Méthodologie

3.4.1.2.1 Sélection des échantillons

Afin de caractériser les résidus miniers, des tests et analyses ont été réalisées sur quinze échantillons de stériles, cinq échantillons de minerai et trois échantillons de résidus de traitement du minerai. Les échantillons de stériles et de minerai ont été prélevés à partir de carottes de forage d'exploration par des géologues de Mason Graphite.

Les pulpes de résidus ont été générées à l'usine-pilote de SGS à Lakefield en Ontario. Les fractions solides et liquides des résidus de traitement du minerai ont été caractérisées séparément après filtration afin d'en définir leurs propriétés spécifiques.

3.4.1.2.2 Protocoles analytiques

Les tests suivants ont été réalisés sur tous les échantillons solides :

- Contenu en carbone graphitique des échantillons solides selon la méthode par combustion et dosage par spectrophotométrie infrarouge (MA.310-CS 1.0);
- Contenu en métaux pour Al, Ag, As, B, Ba, Be, Bi, C, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, U, V et Zn selon la méthode MA.200-Mét.1.2 et selon la méthode MA.200 Hg 1.1 pour le mercure ainsi que le contenu en métaux des lixiviats. Cette méthode permet d'obtenir des contenus partiels comparables aux critères A, B et C de la PPSRTC du Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP);
- Lixiviation pour l'évaluation de la mobilité des espèces inorganiques (Toxicity Characteristic Leaching Procedure, TCLP ou EPA 1311, MA. 100- Lix.com. 1.1). Cette méthode sert à évaluer si un résidu est considéré comme une matière lixiviable selon la Directive 019. Cette lixiviation se fait à un pH initial qui se situe entre 4,9 et 5,0;
- Lixiviation simulant l'effet des pluies acides (Synthetic Precipitation Leaching Procedure, SPLP ou EPA 1312, MA. 100- Lix.com. 1.1) qui sert à déterminer la concentration des espèces inorganiques susceptibles d'être lixiviées par les pluies acides afin d'évaluer les possibilités de valorisation des résidus industriels non dangereux. Cette analyse se fait à un pH acide de 4,2;
- Lixiviation à l'eau (CTEU-9, MA. 100- Lix.com. 1.1) sert à déterminer la concentration des espèces inorganiques susceptibles d'être lixiviées en contact avec l'eau afin d'évaluer les possibilités de valorisation des résidus industriels non dangereux. Cette lixiviation se fait à pH neutre (pH = 7,0);
- Test de potentiel de génération d'acide selon la méthode ASTM D2492-02. Cette méthode a historiquement été utilisée pour déterminer le contenu en sulfures et en sulfates solubles dans les mines de charbon. Elle a été adaptée par Maxxam Analytique de Burnaby pour déterminer de potentiel de génération d'acide des résidus miniers de tous types;
- Test de potentiel de neutralisation par la méthode Modified Acid base Accounting.

La fraction liquide des résidus de traitement a été analysée pour les paramètres suivants :

- Paramètres physico-chimiques de base (pH, conductivité, acidité, alcalinité et dureté);
- Composés du carbone (carbones inorganique et organique dissous);
- Ions majeurs et nutriments (phosphore, nitrates et nitrites, azote ammoniacal, fluorures, chlorures, sulfates, thiosulfates, cyanures totaux);
- Métaux et métalloïdes (Al, Ag, As, B, Ba, Be, Bi, C, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, U, V et Zn).

Les méthodes utilisées pour analyser ces paramètres sont indiquées dans les certificats d'analyse (annexe 3.4.1).

De manière générale, les tests en laboratoire ont été effectués par le laboratoire Maxxam Analytique de Québec. Les tests de potentiel de génération d'acide ont été effectués par le laboratoire Maxxam Analytique de Burnaby (Colombie-Britannique). Finalement, la détermination du carbone sous forme de graphite a été réalisée aux installations de COREM à Québec.

Les certificats d'analyse ainsi que les contrôles de qualité du laboratoire d'analyse sont présentés à l'annexe 3.4.1.

3.4.1.2.3 Critères de classification

Afin de définir les propriétés des résidus miniers solides selon la Directive 019, les contenus des échantillons ont été comparés aux critères A (pour la province de Grenville), B et C de la PPRSTC.

Les concentrations mesurées dans les lixiviats ont été comparées au critère de protection des eaux souterraines applicable, soit le critère de résurgence des eaux souterraines dans les eaux de surface. Étant donné que la dureté de l'eau du milieu récepteur a un impact sur la toxicité de plusieurs métaux, plusieurs critères de protection de la qualité de l'eau varient en fonction de cette valeur. Dans cette étude, une dureté moyenne de 30 mg/l a été considérée pour le calcul des critères. Cette valeur correspond à la dureté moyenne mesurée dans les plans d'eau de l'aire d'étude du projet du Lac Guéret (voir section 3.5.3.1.5).

Les résultats des tests de potentiel de génération d'acide ont été comparés aux critères définis dans la Directive 019 à l'annexe II ainsi qu'aux critères définis dans Price (2009).

Finalement, les résultats d'analyse de la fraction liquide des résidus de traitement ont été comparés au critère de résurgence.

3.4.1.2.4 Statistiques descriptives

Pour chaque groupe d'échantillons, des statistiques descriptives ont été calculées afin de synthétiser les résultats. À cette fin, pour chaque paramètre, le minimum, la médiane, la moyenne et le maximum ont été calculés lorsqu'au moins cinq résultats étaient disponibles. Afin de tenir compte de la présence de valeurs plus petites que les limites de détection, ces valeurs ont été considérées en les substituant par la moitié de la limite de détection de la méthode d'analyse (ex. <1 mg/l a été substitué par 0,5 mg/l).

3.4.1.5 Fraction solide des résidus de traitement

Le contenu en métaux disponibles pour l'environnement de la fraction solide des échantillons composés des résidus de traitement est présenté dans le tableau 3.4.14, les résultats des tests de lixiviation sont présentés dans le tableau 3.4.15 alors que les résultats des tests de potentiel de génération d'acide des stériles sont présentés dans le tableau 3.4.5.

3.4.1.5.1 Contenus en métaux

Le tableau 3.4.14 présente les résultats des analyses de contenus en métaux des trois échantillons composés de la fraction solide des résidus de traitement alors que le tableau 3.4.16 présente le résumé des dépassements observés. Pour ce type de résidus, les valeurs moyennes et médianes n'ont pas été calculées étant donné que seulement trois échantillons ont été caractérisés.

Le métal le plus abondant dans la fraction solide des échantillons de résidus de traitement était le fer (110 000 à 120 000 mg/kg). Les autres métaux présents en plus forte concentration (>1 000 mg/kg) dans ces échantillons étaient (en ordre décroissant d'abondance), l'aluminium, le calcium, le magnésium, le potassium et le titane. La concentration en carbone (graphite) de la fraction solide était plus faible que dans les résidus et que dans le minerai, soit de 0,22 à 0,26 % (tableau 3.4.14).

L'ensemble des contenus en métaux disponibles pour l'environnement dépassaient le critère A pour l'argent, l'arsenic, le cadmium, le chrome, le cobalt, le cuivre, le mercure, le molybdène, le nickel, le plomb, le sélénium et le zinc (tableaux 3.4.14 et 3.4.16). Les contenus en cadmium, cuivre, nickel et zinc dépassaient généralement le critère B alors que les contenus en arsenic, en molybdène et en sélénium étaient plus élevés que le critère C (tableau 3.4.14).

Tableau 3.4.14 Contenus (digestion partielle) en carbone graphite et en métaux des échantillons de résidus de traitement du projet du Lac Guéret

Paramètre	Unité	Limite de détection	Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés			Résidus (fraction solide) - Contenu		
			Critère A ¹	Critère B	Critère C	F-20	F-21	F-22
Carbone	%	-	-	-	-	0,26	0,25	0,22
Métaux et métalloïdes								
Aluminium (Al)	mg/kg	20	-	-	-	9 100	9 100	9 900
Antimoine (Sb)	mg/kg	0,1	-	-	-	9,8	9,0	10,0
Argent (Ag)	mg/kg	0,5	2	20	40	3,0	2,8	3,2
Arsenic (As)	mg/kg	2	10	30	50	78	91	88
Baryum (Ba)	mg/kg	4	200	500	2 000	35	33	36
Béryllium (Be)	mg/kg	0,1	-	-	-	0,6	0,6	0,6
Bismuth (Bi)	mg/kg	2	-	-	-	<2	<2	<2
Bore (B)	mg/kg	2	-	-	-	3	<2	<2
Cadmium (Cd)	mg/kg	0,1	0,9	5	20	5	7	8
Calcium (Ca)	mg/kg	20	-	-	-	7 900	7 800	8 400
Chrome (Cr)	mg/kg	1	45	250	800	94	86	86
Cobalt (Co)	mg/kg	1	15	50	300	30	30	34
Cuivre (Cu)	mg/kg	1	50	100	500	230	220	250
Etain (Sn)	mg/kg	1	-	-	-	2	1	2
Fer (Fe)	mg/kg	100	-	-	-	110 000	110 000	120 000
Magnésium (Mg)	mg/kg	5	-	-	-	7 800	7 600	7 800
Manganèse (Mn)	mg/kg	20	1 000	1 000	2 200	570	570	790
Mercure (Hg)	mg/kg	0,01	0,4	2	10	1,4	1,8	1,7
Molybdène (Mo)	mg/kg	0,5	6	10	40	57	48	54
Nickel (Ni)	mg/kg	0,5	30	100	500	260	230	260
Plomb (Pb)	mg/kg	1	50	500	1 000	71	63	72
Potassium (K)	mg/kg	20	-	-	-	2 700	2 700	2 900
Sélénium (Se)	mg/kg	0,5	3	3	10	16	16	16
Sodium (Na)	mg/kg	10	-	-	-	130	130	140
Titane (Ti)	mg/kg	20	-	-	-	1 700	1 600	1 700
Uranium (U)	mg/kg	2	-	-	-	81	77	82
Vanadium (V)	mg/kg	2	-	-	-	940	870	930
Zinc (Zn)	mg/kg	5	100	500	1 500	740	880	930

Gras Résultat supérieur au critère A
Gras Résultat supérieur au critère B
Gras Résultat supérieur au critère C

¹ Teneurs de fond (critère A) pour la province géologique de Grenville selon la Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés

Tableau 3.4.15 Résultats des tests de lixiviation réalisés sur des échantillons de résidus de traitement du projet du Lac Guéret

Paramètre	Unité	Limite(s) de détection	Directive 019		Résidus (phase solide) - TCLP 1311			Résidus (phase solide) - SPLP 1312			Résidus (phase solide) - CTEU 9		
			Risque élevé	Résurgence dans les eaux souterraines ¹	F-20	F-21	F-22	F-20	F-21	F-22	F-20	F-21	F-22
Paramètres physico-chimiques de base													
Poids de l'échantillon	g	-	-	-	20	20	20	20	20	20	25	25	25
pH du pré-test	-	-	-	-	1,9	1,89	1,94	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
pH final du lixiviat	-	-	-	-	4,52	4,44	4,73	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Volume fluide d'extraction 1	ml	-	-	-	400	400	400	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Volume du fluide d'extraction	ml	-	-	-	N/A	N/A	N/A	400	400	400	N/A	N/A	N/A
pH du fluide d'extraction	-	-	-	-	N/A	N/A	N/A	4,3	4,3	3,7	N/A	N/A	N/A
Volume du fluide d'extraction	ml	-	-	-	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	100	100	100
pH après 7 jours de mélange	-	-	-	-	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5	4,9	4,8
Métaux et métalloïdes													
Aluminium (Al)	mg/l	0,03	-	0,75 ^a	0,20	0,27	0,09	0,11	0,05	0,62	<0,03	<0,03	<0,03
Antimoine (Sb)	mg/l	0,006	-	1,1	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
Argent (Ag)	mg/l	0,0003	-	0,00026 ^b	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Arsenic (As)	mg/l	0,002	5,0	0,34 ^d	0,003	0,003	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Baryum (Ba)	mg/l	0,005	100	0,35 ^b	0,096	0,085	0,064	0,022	0,016	0,027	0,033	0,019	0,025
Béryllium (Be)	mg/l	0,002	-	0,0001 ^b	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Bismuth (Bi)	mg/l	0,05	-	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Bore (B)	mg/l	0,05	500	28	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Cadmium (Cd)	mg/l	0,001	0,5	0,00063 ^b	0,013	0,016	0,008	0,007	0,004	0,014	<0,001	<0,001	<0,001
Calcium (Ca)	mg/l	0,5	-	-	1,7	1,8	1,2	1,9	2,3	1,8	31	26	35
Chrome (Cr)	mg/l	0,007	5,0	0,016	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007
Cobalt (Co)	mg/l	0,01	-	0,37	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,05	<0,01	<0,01	<0,01
Cuivre (Cu)	mg/l	0,003	-	0,0045 ^b	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Étain (Sn)	mg/l	0,05	-	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Fer (Fe)	mg/l	0,1; 1	-	30	15	25	1,4	84	98	92	1 400	1 300	1 300
Magnésium (Mg)	mg/l	0,2	-	-	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	5,5	4,9	7,4
Manganèse (Mn)	mg/l	0,003; 0,03	-	1,45 ^b	1,0	1,1	1,1	1,0	1,1	1,3	15	12	15
Molybdène (Mo)	mg/l	0,01	-	29	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Mercuré (Hg)	mg/l	0,0005	0,1	0,0016 ^g	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Nickel (Ni)	mg/l	0,006	-	0,17 ^b	0,63	0,72	0,56	0,66	0,74	0,73	0,10	0,03	0,08
Plomb (Pb)	mg/l	0,001	5,0	0,03 ^b	0,019	0,023	0,010	<0,001	<0,001	0,006	<0,001	<0,001	<0,001
Potassium (K)	mg/l	0,2	-	-	5,9	5,6	4,8	2,5	2,4	2,5	12	8,5	9,4
Sélénium (Se)	mg/l	0,001	1,0	0,062 ^f	0,004	0,004	0,004	0,002	0,002	0,002	0,015	0,016	0,015
Sodium (Na)	mg/l	0,2; N/A	-	-	N/A	N/A	N/A	0,6	0,6	0,7	N/A	N/A	N/A
Titane (Ti)	mg/l	0,05	-	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Uranium (U)	mg/l	0,0006	2,0	0,32 ^g	0,29	0,36	0,24	0,029	0,014	0,18	0,023	0,014	0,027
Vanadium (V)	mg/l	0,01	-	0,11	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Zinc (Zn)	mg/l	0,005	-	0,043 ^b	1,2	1,5	0,83	1,3	1,6	1,7	5,8	6,5	6,7

Gras Résultat supérieur au critère de résurgence dans les eaux souterraines mais le contenu total de cet échantillon est inférieur au critère A (voir tableau 3.4.6)

Gras Résultat est supérieur au critère de résurgence dans les eaux souterraines mais il n'existe pas de critère A pour ce paramètre

Gras Résultat est supérieur au critère de résurgence dans les eaux souterraines et le contenu total de cet échantillon est supérieur au critère A (voir tableau 3.4.6)

¹ Selon la Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés, critères applicables aux cas de contamination des eaux souterraines. Les notes relatives à ces critères sont présentées à l'annexe 3.4.2.

Tableau 3.4.16 Nombre d'échantillons de résidus de traitement dont le contenu dépasse le critère A de la PPSRTC

Nombre d'échantillons	Nombre de dépassements
3	Ag (3), As (3), Cd (3), Cr (3), Cu (3), Co (3), Mo (3), Ni (3), Hg (3), Pb (3), Se (3), Zn (3)

() : Nombre d'échantillons composés de résidus excédant le critère A

3.4.1.5.2 Potentiel de lixiviation

En raison des valeurs moyennes obtenues avec le test de lixiviation TCLP, les échantillons de résidus de traitement seraient classifiés comme «lixivable» selon la Directive 019 pour le cadmium, le nickel et le zinc (tableau 3.4.15). Par ailleurs, la valeur mesurée (0,36 mg/l) dans l'échantillon F-21 dépassait légèrement le critère de résurgence qui est recommandé pour l'uranium (0,32 mg/l).

Suite au test de lixiviation SPLP qui simule les pluies acides, les trois échantillons de résidus ont généré des résultats en cadmium, en fer, en nickel et en zinc supérieurs aux critères de résurgence et au critère A de la PPSRTC (tableau 3.4.15).

Tous les échantillons de résidus de traitement analysés suite au test de lixiviation à l'eau déminéralisée (CTEU-9) ont présenté des concentrations en fer et en zinc supérieures aux critères de résurgence et au critère A de la PPSRTC (tableau 3.4.15).

Le tableau 3.4.17 présente le nombre de dépassements pour les divers tests de lixiviation.

Tableau 3.4.17 Nombre de paramètres dont la teneur dans le lixiviat excède le critère de résurgence (échantillons de résidus de traitement)

Test	Nb d'échantillons	Nombre d'échantillons excédant le critère de résurgence dans les eaux souterraines	
		Supérieur au critère A de la PPSRTC	Pas de critère A
TCLP 1311	3	Cd (3), Ni (3), Zn (3)	U (1)
SPLP 1312		Cd (3), Ni (3), Zn (3)	Fe (3)
CTEU-9		Zn (3)	Fe (3)

() = Nombre d'échantillon composés de résidus excédant les critères

3.4.1.5.3 Potentiel de génération d'acide

L'ensemble des échantillons de résidus avaient un contenu en soufre total dépassant le critère de 0,3 % de la Directive 019 (tableau 3.4.5). Les résultats obtenus variaient entre 8,47 et 8,99 %. D'après les

analyses de contenu des différentes formes de soufre, la grande majorité du soufre se trouvait sous forme de sulfates insolubles à l'acide chlorhydrique et de soufre organique. Les contenus en sulfures variaient, quant à eux, entre 0,72 et 0,79 %.

Les ratios PN/PA des résidus étaient nuls car aucun potentiel de neutralisation n'a été mesuré. Les PNN étaient compris entre -112,2 et -103,6 kgCaCO₃/t. **Ainsi, tous les échantillons de résidus de traitement seraient considérés comme générateur d'acide selon les barèmes de la Directive 019.**

3.4.1.6 Fraction liquide des résidus de traitement

Les fractions liquides des résidus de traitement qui ont été analysées étaient plus acides (de 3,80 à 4,16) que le critère de résurgence de l'eau souterraine dans les eaux de surface (de 6 à 9) (tableau 3.4.18). De plus, les valeurs de dureté (de 150 à 180 mg/L de CaCO₃) et de conductivité (de 1 400 à 1 500 µS/cm) étaient largement supérieures aux valeurs mesurées dans le milieu récepteur (voir section 3.5.2). Il est à noter que la toxicité de plusieurs métaux (Cu, Pb, Ni, Zn, etc.) diminue avec une augmentation de la dureté.

Le fer était le métal le plus abondant dans les fractions liquides analysées (de 370 à 400 mg/l). Les autres métaux les plus abondants (>1 mg/l) étaient, en ordre décroissant d'abondance, le calcium, le sodium, le manganèse, le magnésium, le potassium, l'aluminium, le zinc et le nickel. Les concentrations en antimoine, en argent, en béryllium, en bismuth, en bore, en chrome, en étain, en mercure, en molybdène et en vanadium étaient toutes faibles, soit égales ou près de la limite de détection de la méthode d'analyse.

Pour les trois échantillons, des dépassements des critères de résurgence dans les eaux de surface ont été observés pour les sulfates, l'aluminium, le cadmium, le cuivre, le fer, le manganèse, le molybdène et le zinc.

Tableau 3.4.18 Caractéristiques physico-chimiques des échantillons de résidus de traitement (fraction liquide) du projet du Lac Guéret

Paramètre	Unité	Limite de détection	Résurgence dans les eaux souterraines ¹	Résidus (fraction liquide)		
				F-20	F-21	F-22
Paramètres physico-chimiques de base						
pH	pH	-	^a	4,16	3,97	3,8
Conductivité	µS/cm	0,001	-	1 400	1 500	1 500
Acidité (en CaCO ₃)	mg/L	10	-	820	820	700
Alcalinité Totale (en CaCO ₃) pH 4.5	mg/L	1	-	<1	<1	<1
Dureté totale (CaCO ₃)	mg/L	1000	-	180	160	150
Composés du carbone						
Carbone inorganique dissous	mg/L	0,4	-	<0,4	<0,4	<0,4
Carbone organique dissous	mg/L	0,4	-	15	14	15
Ions majeurs et nutriments						
Phosphore total	mg/L	0,01	-	<0,01	<0,01	<0,01
Nitrates et Nitrites (en N)	mg/L	0,2	-	<0,2	<0,2	<0,2
Azote ammoniacal (N-NH ₃)	mg/L	0,05	^b	0,13	0,34	0,37
Fluorures (F)	mg/L	0,1	⁴ ^c	0,6	0,6	0,5
Chlorures (Cl)	mg/L	0,05	860 ^d	15	14	13
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	mg/L	0,5	500 ^e	800	880	860
Sulfures (S ²⁻)	mg/L	0,02	-	2,8	3,0	2,9
Thiosulfates (S ₂ O ₃ ²⁻)	mg/L	1	-	<1	<1	<1
Cyanures totaux (CN)	mg/L	0,003	-	<0,003	<0,003	<0,003
Métaux et métalloïdes						
Aluminium (Al)	mg/L	0,01	0,75 ^f	4,4	4,2	3,9
Antimoine (Sb)	mg/L	0,001	1,1	<0,001	<0,001	<0,001
Argent (Ag)	mg/L	0,001	0,0002 ^g	<0,001	<0,001	<0,001
Arsenic (As)	mg/L	0,001	0,34 ^h	0,0047	0,0045	0,0037
Baryum (Ba)	mg/L	0,002	0,29 ^g	0,093	0,073	0,061
Béryllium (Be)	mg/L	0,002	0,006 ^g	<0,002	<0,002	<0,002
Bismuth (Bi)	mg/L	0,001	-	<0,001	<0,001	<0,001
Bore (B)	mg/L	0,05	28	<0,05	<0,05	<0,05
Cadmium (Cd)	mg/L	0,0002	0,0005 ^g	0,028	0,026	0,024
Calcium (Ca)	mg/L	0,5	-	56	50	45
Chrome (Cr)	mg/L	0,005	-	<0,005	<0,005	<0,005
Cobalt (Co)	mg/L	0,001	500	0,18	0,16	0,15
Cuivre (Cu)	mg/L	0,001	0,004 ^g	0,038	0,039	0,023
Étain (Sn)	mg/L	0,002	-	0,004	<0,0020	0,0029
Fer (Fe)	mg/L	0,06	30	400	410	370
Magnésium (Mg)	mg/L	0,1	-	10	9,5	8,4
Manganèse (Mn)	mg/L	0,01	1,23 ^g	12	12	13
Mercure (Hg)	mg/L	0,00001	0,0016 ⁱ	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Molybdène (Mo)	mg/L	0,001	29	<0,001	<0,001	<0,001
Nickel (Ni)	mg/L	0,002	0,15 ^g	2,4	2,3	2,0
Plomb (Pb)	mg/L	0,0005	0,028 ^g	0,028	0,025	0,026
Potassium (K)	mg/L	0,5	-	10,0	9,1	8,0
Sélénium (Se)	mg/L	0,003	0,062 ^j	0,0096	0,0110	0,0087
Sodium (Na)	mg/L	0,5	-	22	20	18
Titane (Ti)	mg/L	0,01	-	<0,01	<0,01	<0,01
Uranium (U)	mg/L	0,001	2,3 ^k	0,74	0,72	0,70
Vanadium (V)	mg/L	0,002	-	<0,0020	0,0022	<0,0020
Zinc (Zn)	mg/L	0,007	0,037 ^g	4,4	4,3	3,7

Gras

Résultat supérieur au critère de résurgence dans les eaux souterraines

¹ Selon la Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés, critères applicables aux cas de contamination des eaux souterraines. Ces critères sont basés sur les critères de qualité de l'eau de surface du MDDEP (2009, mis à jour en avril 2012). Les notes relatives à ces critères sont présentées à l'annexe 3.4.2.

3.4.1.7 Conclusions et recommandations

Les résultats des tests de caractérisation géochimiques montrent que :

- Aucun échantillon de stériles miniers, de minerai ou de résidus de traitement ne seraient classifiés comme un résidu minier à risque élevé tel que défini dans la Directive 019;
- Les stériles seraient considérés «lixiviables» pour l'aluminium, le manganèse et le zinc. Six des quinze échantillons de stériles analysés seraient considérés comme acidogènes selon les critères du ratio PN/PA de la Directive 019. Toutefois, pour l'ensemble des quinze échantillons le ratio moyen est de 3,0, ce qui correspond exactement au critère de la Directive 019 et est largement supérieur au critère de 2,0 de Price (2009).
- Le minerai seraient considérés «lixivable» pour le cadmium, le manganèse, le nickel, le plomb et le zinc. Le minerai seraient, de plus, considérés potentiellement générateurs d'acide.
- Les résidus de traitement seraient considérés «lixiviables» pour le cadmium, le nickel, l'uranium et le zinc. Les résidus seraient, également, jugés potentiellement générateurs d'acide.
- La fraction liquide de résidus de traitement montre une acidité dépassant le critère de résurgence dans les eaux de surface. Les teneurs en sulfates, aluminium, cadmium, cuivre, fer, manganèse, molybdène et zinc dépassent également les critères correspondants.

Il est important de noter que les tests de lixiviation statiques CTEU-9 et SPLP sont habituellement plus représentatifs des conditions réelles de terrain que test de lixiviation TCLP (ex. pH moins agressif, ratio solide/liquide, solution lixiviante non tamponné, etc.). Dans ce contexte, il est recommandé d'effectuer des tests cinétiques. Ce type de test se déroule sur une plus longue période, est réalisé avec de l'eau déminéralisée et avec des granulométries plus grossières. Ce type de test est donc plus représentatif des conditions réelles de terrain.

Dans un premier temps, l'emphase devrait être mise sur les stériles. Le nombre de tests à réaliser sera fonction du nombre de lithologies composant les stériles. La différenciation entre les divers types de stériles sera particulièrement intéressante s'il est possible de discriminer sur le terrain des différentes lithologies de manière à obtenir une gestion distincte pour les stériles qui seraient générateurs d'acides et/ou lixiviables et pour les stériles «inertes» d'un point de vue environnemental.

Des tests cinétiques pourraient aussi être réalisés sur des échantillons de minerai et de résidus de traitement principalement pour déterminer leur réel potentiel de lixiviation des métaux.

Annexe B

Geochemical Characterization of the Lac Guéret Pilot Plant Tailings (Golder Associates, 2015)



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

DATE July 24, 2015**PROJECT No.** 15-26332 Rev 0**TO** Jean L'Heureux, ing.
Mason Graphite Inc.**FROM** Martin Van Den Berghe
Caroline-Emmanuelle Morisset
Valérie Bertrand**EMAIL** cemorisset@golder.com**GEOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF THE LAC GUÉRET PILOT PLANT TAILINGS****Introduction**

Mason Graphite Inc. is planning to develop the Lac Guéret Graphite Mine Project (the Project), which is a graphite ore deposit located approximately 300 km north of Baie-Comeau, Québec. Mason Graphite has contacted Golder Associates Ltd (Golder) to characterize one sample of tailings provided by Mason Graphite, generated from a metallurgical pilot test. The objectives of the geochemical characterization carried out by Golder are to: 1) classify the tailing sample according to the guidance provided in *Directive 019 sur l'Industrie Minière* (Directive 019; Québec, 2012) as required for tailings management planning; and, 2) identify chemicals of potential environmental interest in the framework of estimating potential future tailings contact water quality.

Methods

Soutex Inc. provided an ore sample to COREM to perform metallurgical assays. The residue of these assays was sent to SGS analytical laboratory as a representative tailings sample of Lac Guéret mine tailings.

Static tests were performed on these tailings according to the methods prescribed by the *Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec* (CEAEQ), as recommended by the Directive 019. They were performed at the SGS laboratory in Lakefield, ON, accredited by the CEAEQ.

Geochemical analyses include these following methods:

- X-Ray Diffraction for quantitative mineralogy identification;
- Acid Base Accounting (ABA) and acid generating potential determination tests as per MA. 110 ACISOL 1.0 protocol (CEAEQ, 2010a);
- Four-step sequential Net Acid Generation (NAG) test as per AMIRA (2002);
- Solid phase extractable metals as per MA. 200 – Mét. 1.2 (dilute aqua regia) (CEAEQ, 2010b): F, Br, Hg, Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Ma, Ni, P, Pb, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Ti, Tl, U, V, Zn;



- The following metal leaching tests described in MA. 100 – Lix.1.1 (CEAEQ, 2010c):
 - TCLP: Toxicity Characteristic Leaching Procedure simulating underground acidic environments;
 - SPLP: Synthetic Precipitation Leaching Procedure simulating acid rain environment; and,
 - CTEU-9: neutral-water leaching tests simulating neutral fresh water precipitation.
- The following parameters were analysed in leachates from each leach test: pH, conductivity, alkalinity, carbonate and bicarbonate, nitrate and nitrite, sulphate, phosphate, Cl, Br, F, Hg, Al, As, Ag, Ba, B, Be, Bi, Ca, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, U, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Ti, Tl, V, Zn.

Classification of Mine Wastes under Directive 019

Directive 019 provides a framework to classify mine wastes based on their potential environmental risks, and provides guidance for the management of these wastes.

Acid Rock Drainage (ARD) Classification

Under the Directive 019, tailings are classified as Potentially Acid Generating (PAG) if the total sulphur content in wastes is above 0.3 wt.%, and either one of these conditions are met:

- The Net Neutralizing Potential (NNP) is below 20 kg CaCO₃/ton; and/or,
- The ratio of neutralising potential to acid potential (neutralisation potential ratio, NPR) is less than 3.

If a mine waste product is classified as PAG, Directive 019 recommends it to be disposed of in a containment facility that meets Level A aquifer protection measures.

Chemical Composition and Risk Level

The chemical composition of the sample is compared to the soil criteria presented in *Politique de protection des sols et de réhabilitation des sites contaminés* (PPSRTC) established by the *Ministère du Développement Durable, Environnement et Lutte contre les Changements Climatiques* (MDDELCC). Criteria A represent, in this context, background levels for the Grenville Province.

Mine wastes will classify as “Low Risk” if concentrations of extractable metal (MA. 200) are lower than PPSRTC-A criteria. Mine wastes can also be classified as “Low Risk,” even if some parameters exceed PPSRTC-A criteria, if the TCLP (MA. 100– Lix.1.1) leachate concentrations for the said parameters do not exceed water quality criteria applicable for the mine site (PPRSTC, Annex 2).

Furthermore, in order to be “Low Risk,” mine wastes need to not be potentially acid generating (PAG), not be inflammable, not have undergone cyanide treatment, not be contaminated by deleterious organic materials, nor be radioactive.

If the TCLP leachate test generates values exceeding the criteria defined in Table 1, Annex II of *Directive 019* for the parameters that exceed soil criteria A, then the sample is classified as “High Risk”, where level B aquifer protection measures are recommended.

Leaching Risk

Mine wastes are considered leachable if both of the following conditions are met:

- MA. 200 solid phase extractable metals test generate value(s) exceeding PPSRTC-A soil criteria; and,
- TCLP (MA. 100– Lix.1.1) leachate tests generate concentrations for the same metal(s) that exceed applicable water quality criteria.

If TCLP leachate tests exceed criteria in certain parameters, while the same parameters are not exceeding PPSRTC-A criteria in MA. 200 extractable metals test, the sample is not considered leachable.

Although they are not described in the Directive 019 characterization protocol, SPLP and CTEU-9 leachate test results are performed to evaluate the propensity of the mine waste to release chemicals to the environment when weathered. These tests reproduce geochemical environments more similar to those for which mine wastes can be subjected to. Indeed, the TCLP test is meant to simulate typical landfill environments, while SPLP and CTEU-9 are meant to simulate typical acid and neutral rains, respectively.

Applicable water quality criteria

In this context, water quality criteria are “Résurgence dans les eaux de surface ou l’infiltration dans les égouts” (RESIE: PPSRTC, Annex 2). Some leachate criteria vary depending on water hardness. A hardness of 30 mg/L was used in this report so to be representative of local conditions. This value was provided by Mason Graphite in a personal communication on May 13th, 2015.

Directive 019 effluents criteria are used for comparative purposes only as these criteria will need to be met at final discharge locations of the future mine. Also for comparative purposes, data were compared to groundwater criteria for human consumption (fins de consommation or FC: PPSRTC, Annex 2).

Results

Laboratory certificates of analyses are provided in attachment to this document.

The results of all the tests performed on the Lac Guéret tailings are displayed in Tables 1 to 6. Table 1 shows the results of the X-Ray diffraction (XRD) analysis for the tailings sample.

Table 1: X-Ray Diffraction results of Lac Guéret Tailings sample

Lac Guéret-Pilot Plant Tailings - XRD		
Mineral	wt.%	Formulae
Quartz	41.6	SiO ₂
Pyrrhotite (monoclinic)	25.3	Fe _(1-x) S
Anorthite	7.4	CaAl ₂ Si ₂ O ₈
Orthoclase	5.5	KAlSi ₃ O ₈
Muscovite	5.3	KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂
Pyrite	4.2	FeS ₂
Goethite	3.2	αFeO·OH
Lepidocrocite	2.6	FeOOH
Albite	1.7	NaAlSi ₃ O ₈
Biotite	1.6	K(Mg,Fe) ₃ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂
Pyrrhotite (hexagonal)	1.4	Fe _(1-x) S
Ilmenite	0.2	FeTiO ₃
Total	100	

The most abundant phases are quartz and sulphides (predominantly pyrrhotite, subject to rapid oxidative dissolution). All other phases are silicates, oxides and hydroxides which offer little to no acid buffering capacity (MEND, 2009).

Table 2 shows the relative abundance of major elements, and loss on ignition of tailings via X-Ray fluorescence.

Table 2: Major Elements Analysis of Lac Guéret Tailing sample

Parameters	Units	Lac Guéret-Pilot Plant Tailings
		XRF
SiO ₂	wt. %	41.7
Al ₂ O ₃	wt. %	6.23
Fe ₂ O ₃	wt. %	28.4
MnO	wt. %	0.22
CaO	wt. %	2.78
MgO	wt. %	2.1
K ₂ O	wt. %	2.06
Na ₂ O	wt. %	0.54
TiO ₂	wt. %	0.54
P ₂ O ₅	wt. %	0.54
V ₂ O ₅	wt. %	0.35
Cr ₂ O ₃	wt. %	0.03
LOI	wt. %	13.6
Sum	wt. %	99.1

XRF results are in agreement with XRD mineralogy results, with silica being the main chemical component representing quartz and other silicates, iron coming from the iron sulphide phases and loss on ignition (LOI) probably representing the sulphur volatilisation from sulphides along with potential hydroxides from hydrous phases. Additional chemical components represent other aluminosilicates, oxides and hydroxides.

Table 3 shows concentrations in extractable metals for the tailing sample compared to the soil criteria A, B and C from the PPSRTC.

Table 3: MA200 Leachable Metals, Compared to PPSRTC Guidelines

Parameters	Units	Criteria			Lac Guéret-Pilot Plant Tailings
		PPSRTC-A ¹	PPSRTC-B ²	PPSRTC-C ³	MA. 200
F	µg/g	-	-	-	5.75
Br	µg/g	-	-	-	< 1.5
Hg	µg/g	0.4	<u>2</u>	10	<u>7.3</u>
Ag	µg/g	2	<u>20</u>	40	<u>2.9</u>
Al	µg/g	-	-	-	7900
As	µg/g	10	<u>30</u>	50	<u>170</u>
B	µg/g	-	-	-	2
Ba	µg/g	200	<u>500</u>	2000	15
Be	µg/g	-	-	-	1
Bi	µg/g	-	-	-	0.38
Ca	µg/g	-	-	-	11000
Cd	µg/g	0.9	<u>5</u>	20	<u>32</u>
Co	µg/g	15	<u>50</u>	300	<u>33</u>
Cr	µg/g	45	<u>250</u>	800	<u>78</u>
Cu	µg/g	50	<u>100</u>	500	<u>480</u>
Fe	µg/g	-	-	-	130000
K	µg/g	-	-	-	1500
Li	µg/g	-	-	-	9
Mg	µg/g	-	-	-	5900
Mn	µg/g	1000	<u>1000</u>	2200	<u>1200</u>
Mo	µg/g	6	<u>10</u>	40	<u>130</u>
Na	µg/g	-	-	-	150
Ni	µg/g	30	<u>100</u>	500	<u>210</u>
P	µg/g	-	-	-	2300
Pb	µg/g	50	<u>500</u>	1000	<u>64</u>
Sb	µg/g	-	-	-	12
Se	µg/g	3	<u>3</u>	10	<u>12</u>
Si	µg/g	-	-	-	2500
Sn	µg/g	5	<u>50</u>	300	1.1
Sr	µg/g	-	-	-	14
Ti	µg/g	-	-	-	1300
Tl	µg/g	-	-	-	1.8
U	µg/g	-	-	-	81
V	µg/g	-	-	-	940
Zn	µg/g	100	<u>500</u>	1500	<u>3500</u>

Notes : ¹ Soil criteria A (background levels; MDDELCC, 2001) for the Grenville province, *Politique de protection des sols et de réhabilitation des sites contaminés* Annex 2 Table 2.

² Soil criteria B (limits for residential areas; MDDELCC, 1998), *Politique de protection des sols et de réhabilitation des sites contaminés* Annex 2 Table 1.

³ Soil criteria C (limits for commercial and industrial areas; MDDELCC, 1998), *Politique de protection des sols et de réhabilitation des sites contaminés* Annex 2 Table 1.

⁴ Concentrations that are bolded, underlined and/or highlighted exceed matching criteria.

Eleven elements exceed PPSRTC criteria A (arsenic, cadmium, cobalt, chromium, copper, manganese, molybdenum, nickel, lead, selenium and zinc). Consequently, the TCLP leaching test results must be considered for risk classification.

Table 4 shows leachate concentrations resulting from TCLP, SPLP and CTEU-9 tests on tailings sample.

Table 4: TCLP, SPLP and CTEU-9 leachable elements, compared to Directive 019 criteria

Parameters	Units	Criteria				Lac Gueret-Pilot Plant Tailings ⁶		
		Table 1, Annex II (D-019) ¹	RESIE ^{2,3}	Fins de Consommation ⁴	Effluents (D-019) ⁵	TCLP	SPLP	CTEU-9
Initial pH		-	-	-	-	4.93	5.41	4.58
pH		-	-	-	<6 >9.5	4.94	5.51	5.39
Initial Conductivity	µS/cm	-	-	-	-	4940	81.8	1053
Conductivity	µS/cm	-	-	-	-	4510	170	1650
Alkalinity	mg/L as CaCO ₃	-	-	-	-	1190	< 2	< 2
HCO ₃	mg/L as CaCO ₃	-	-	-	-	1190	< 2	< 2
CO ₃	mg/L as CaCO ₃	-	-	-	-	< 2	< 2	< 2
SO ₄	mg/L	-	-	-	-	63	52	620
Cl	mg/L	-	<u>860</u>	-	-	< 20	< 2	13
NO ₂	as N mg/L	100	<u>0.06</u>	-	-	< 0.3	< 0.3	< 0.3
NO ₃	as N mg/L	-	<u>200</u>	-	-	< 0.6	< 0.6	< 0.6
NO ₂ + NO ₃	as N mg/L	1000	-	-	-	< 0.6	< 0.6	< 0.6
Br	mg/L	-	-	-	-	< 3	< 3	< 3
F	mg/L	150	<u>4000</u>	-	-	0.06	0.07	0.57
PO ₄	mg/L	-	<u>3</u>	-	-	< 0.03	< 0.03	0.03
Hg	mg/L	0.1	-	0.001	-	< 0.00001	< 0.00001	< 0.00001
Al	mg/L	-	<u>0.75</u>	-	-	0.06	< 0.01	0.02
As	mg/L	5.0	<u>0.34</u>	0.025	0.2	0.0041	0.0002	0.0009
Ag	mg/L	-	<u>0.00026</u>	0.1	-	0.000011	0.000012	0.000234
Ba	mg/L	100	<u>0.35</u>	1	-	0.0872	0.0111	0.0289
B	mg/L	500	-	-	-	0.0034	0.0035	0.0312
Be	mg/L	-	-	-	-	0.000323	0.000014	0.000097
Bi	mg/L	-	-	-	-	0.00001	< 0.000007	0.000008
Ca	mg/L	-	-	-	-	3.18	3.5	57.6
Cd	mg/L	0.5	<u>0.0006</u>	0.005	-	<u>0.0262</u>	0.000274	<u>0.00125</u>
Cr	mg/L	5.0	<u>Cr(VI): 0.016</u>	0.05	-	0.00063	< 0.00003	0.00004
Co	mg/L	-	<u>0.5</u>	-	-	0.01	0.00114	0.000503
Cu	mg/L	-	<u>0.0045</u>	1	0.3	<u>0.0141</u>	<u>0.0052</u>	<u>0.0106</u>
Fe	mg/L	-	-	-	3	1.73	31.5	309
K	mg/L	-	-	-	-	2.04	0.945	38.7
Li	mg/L	-	-	-	-	< 0.1	< 0.1	< 0.1

Parameters	Units	Criteria				Lac Gueret-Pilot Plant Tailings ⁶		
		Table 1, Annex II (D-019) ¹	RESIE ^{2,3}	Fins de Consommation ⁴	Effluents (D-019) ⁵	TCLP	SPLP	CTEU-9
Mg	mg/L	-	-	-	-	2.13	1.96	54.4
Mn	mg/L	-	-	0.05	-	3.32	2.7	33.4
Mo	mg/L	-	<u>0.00013</u>	0.07	-	0.00005	0.00002	0.00001
Ni	mg/L	-	<u>0.17</u>	0.02	0.5	1.14	0.769	0.0895
P	mg/L	-	-	-	-	0.038	0.025	< 0.009
Pb	mg/L	5.0	<u>0.018</u>	0.01	0.2	0.0572	0.00037	0.038
U	mg/L	2.0	-	-	-	0.0752	0.000147	0.000681
Sb	mg/L	-	<u>Sb(III): 0.088</u>	0.006	-	0.0006	< 0.0002	< 0.0002
Se	mg/L	1.0	<u>0.02</u>	0.01	-	0.004	< 0.001	0.006
Si	mg/L	-	-	-	-	1.24	0.57	17.4
Sn	mg/L	-	-	-	-	0.00033	0.00013	0.00075
Sr	mg/L	-	-	-	-	0.0205	0.0136	0.191
Ti	mg/L	-	-	-	-	0.00006	< 0.00005	0.00011
Tl	mg/L	-	-	-	-	0.00111	< 0.000005	< 0.000005
V	mg/L	-	-	-	-	0.00006	0.00002	0.00004
Zn	mg/L	-	<u>0.043</u>	5	0.5	2.04	0.126	1.02

Notes :

¹ Table 1, Annex II, *Directive 019*.

² Groundwater criteria "Résurgence dans les Eaux de Surface ou Infiltration dans les Égouts" (RESIE), *Politique de protection des sols et de réhabilitation des sites contaminés*, Annex 2.

³ Criteria for Ag, Ba, Cd, Cu, Ni, Pb and Zn are calculated as required for a hardness of 30 mg/L.

⁴ Groundwater criteria "Aux Fins de Consommation" (FC), *Politique de protection des sols et de réhabilitation des sites contaminés*, Annex 2.

⁵ Final effluents, monthly acceptable concentrations, *Directive 019*.

⁶ Concentrations that are bolded, underlined, highlighted and/or coloured exceed matching criteria.

No leachate parameters exceed the Table 1 Annex II criteria of the *Directive 019*, thus excluding the tailings from a "High Risk" classification. However, five metals (cadmium, copper, lead, zinc and nickel) exceed both the RESIE criteria for the TCLP test and the PPSRTC-A soil criteria in the MA. 200 test (Table 3). Three metals (manganese, nickel and lead) also exceed the FC criteria and the PPSRTC-A soil criteria in the MA. 200 test (Table 3). Thence, the tailings are classified as "leachable" for cadmium, copper, lead, zinc and nickel and potentially for manganese and lead if the FC criteria applies (see section Application water quality criteria).

CTEU-9 and SPLP leachate tests also show parameters exceeding RESIE and/or Effluents criteria and/or FC, namely, pH, cadmium, copper, iron, manganese, nickel, lead and zinc. Such results suggest that should the tailings contact water be released to the receiving environment, there could be a need to capture and treat this water prior to discharge to meet the effluent and receiving water quality criteria.

Table 5 shows results of acid-base accounting and the potential for acid generation.

Table 5: Acid-base accounting (ABA) results and acid generation potential

Sample	Total sulphur	Sulphides	AP	NP	NPR	NNP	Classification
	wt.%	wt.% S ²⁻	kg CaCO ₃ /ton				
Directive 019 criteria¹	> 0.3				< 3	< 20	
Lac Guéret-Pilot Plant Tailings ²	13.5	11.9	422	42	0.1	-379.9	PAG

Notes :

¹ Table 1, Annex II, *Directive 019*.

² Concentrations that are bolded exceed the respective criteria.

PAG: potentially acid generating according to Directive 019 criteria

ABA results are in line with mineralogy (Table 1) and leachate tests (Table 4), showing acid-generating potential and very low neutralizing potential. Total sulphur, NPR and NNP all exceed the Directive 019 criteria, thus classifying the tailing sample as potentially acid generating (PAG).

Table 6 shows the results of the four step sequential NAG test, including pH, water parameters, % sulphur consumed and metals release into solution.

Table 6: Results from a Sequential Net Acid Generation Test (4 Steps) with Metal Analyses.

Sample	Material	Total Sulphur		NAG-Step	pH	Conductivity	Alkalinity	Acidity	Sulphates (SO ₄)	Sulphates (SO ₄)	S Fraction in SO ₄	Total S Consumed
		wt. %	g									
Lac Guéret-Pilot Plant Tailings	Tailings	13.5	0.3	1	2.2	4110	< 2	1570	1600	0.40	0.13	72
				2	2.1	3870	< 2	824	860	0.22	0.072	
				3	2.4	2040	< 2	323	340	0.085	0.028	
				4	3.0	431	< 2	97	89	0.022	0.0074	
NAG sum									2889	0.72	0.24	

Sample	Material	Total Sulphur		NAG-Step	Al	Ag	As	Ba	Be	Bi	B	Ca	Cd	Co	Cr
		wt. %	g												
Lac Guéret-Pilot Plant Tailings	Tailings	13.5	0.3	1	11	0.000022	0.020	0.030	0.0016	0.0000080	0.15	25	0.24	0.094	0.10
				2	6.2	0.0021	0.0064	0.025	0.0011	< 0.000007	0.058	25	0.059	0.14	0.075
				3	4.2	0.0014	0.0037	0.021	0.0011	< 0.000007	0.070	13	0.0066	0.088	0.083
				4	1.5	0.00029	0.00050	0.020	0.00061	< 0.000007	0.047	8.9	0.00064	0.0023	0.057
NAG sum				22	0.0038	0.031	0.095	0.0043	0.0000080	0.32	71	0.31	0.32	0.32	

Table 7 (cont'd): Results from a Sequential Net Acid Generation Tests (4 Steps) with Metal Analyses.

Sample	Material	Total Sulphur		NAG-Step	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb
		wt. %	g		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Lac Guéret-Pilot Plant Tailings	Tailings	13.5	0.3	1	3.7	470	2.9	0.0067	4.2	7.8	0.00094	0.80	2.2	0.13	0.096
				2	1.1	91	1.9	0.0049	3.2	1.1	0.0016	0.49	0.71	0.35	0.026
				3	0.16	4.9	1.2	0.0040	2.6	0.35	0.33	0.31	0.19	0.028	0.010
				4	0.014	0.12	1.6	0.0030	2.7	0.27	0.092	0.26	0.017	0.022	0.023
NAG sum				5.0	566	7.6	0.019	13	9.5	0.42	1.9	3.1	0.53	0.16	

Sample	Material	Total Sulphur		NAG-Step	Sb	Se	Si	Sn	Sr	Ti	Tl	U	V	Zn
		wt. %	g		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Lac Guéret-Pilot Plant Tailings	Tailings	13.5	0.3	1	0.0010	0.085	23	0.00023	0.045	0.13	0.0062	0.65	0.58	31
				2	0.00040	0.044	12	0.000080	0.034	0.066	0.0035	0.069	0.34	6.7
				3	0.0012	0.023	12	0.00045	0.028	0.90	0.0025	0.058	2.5	0.55
				4	0.00050	0.010	8.6	0.00016	0.010	0.071	0.0013	0.00048	0.95	0.035
NAG sum				0.0031	0.16	56	0.00092	0.12	1.2	0.014	0.77	4.4	39	

Throughout the four steps, pH levels remain very low (between 2 and 3). Acidity is over 1,500 mg/L CaCO₃ in the first step. Furthermore, in four steps only 72% of the total sulphur (or 81% of all sulphides) was consumed, indicating that this NAG test did not liberate all the acid potential of the sample, affirming the acid generating potential of the tailings.

Table 7 summarizes all the parameters that exceed its respective criterion

Table 8: Parameters exceeding respective criteria

Tests & criteria	MA200	PPSRTC-A ¹	Hg, Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Zn
	TCLP	D-019 Annex II ²	---
		RESIE ^{3,4}	Cd, Cu, Pb, Ni, Zn
		D-019 Effluents ⁵	pH, Ni, Zn
	SPLP	RESIE ^{3,4}	Cu, Zn, Ni
		D-019 Effluents ⁵	pH, Fe, Ni
	CTEU-9	RESIE ^{3,4}	Cd, Cu, Pb, Ni
		D-019 Effluents ⁵	pH, Fe, Zn
	Static ABA	Total S (%)	13.5
		NNP	-379.9
		NPR	0.1
		PAG/non-PAG	PAG

Notes :

¹ Soil criteria A (background levels; MDELCC, 1998) for the Grenville province, *Politique de protection des sols et de réhabilitation des sites contaminés* Annex 2 Table 2.

² Criteria defined in *Directive 019*, Annex II Table 1.

³ Groundwater criteria "Résurgence dans les eaux de surface ou infiltration dans les égouts" (RESIE), *Politique de protection des sols et de réhabilitation des sites contaminés*, Annex 2.

⁴ Criteria for Ag, Ba, Cd, Cu, Ni, Pb and Zn are calculated for a hardness of 30 mg/L.

⁵ Final effluents, monthly mean concentrations, *Directive 019*.

ABA results and NAG test results indicate the PAG tailing sample has a large potential for sulphide oxidation with very little neutralizing capacity. The tailing sample is classified as leachable on 5 metals (cadmium, copper, lead, zinc and nickel). The other leaching tests SPLP and CTEU-9 show criteria exceedances that suggest that attenuation of nickel, zinc and/or iron may be needed prior to discharge of tailings contact waters into the receiving environment.

Conclusions and Recommendations

The Lac Guéret pilot plant tailings have significant acid generation potential with effectively no neutralizing potential. They are classified as "Potentially Acid Generating" under *Directive 019*. They are also classified as "Leachable" on 5 metals but not "High Risk." Hence they will need to be contained in a storage facility that will meet Level A aquifer protection measures and be managed in a way to minimize the potential for ARD generation in the long term.

It is recommended a kinetic weathering test be initiated on the tailings to determine the lag time to the onset of acidic drainage and evaluate the chemical loading that may be generated from the tailings prior to and as a result of ARD. This would help to define the timing for implementation of ARD and leaching control measures.

Limitations

This report was prepared for the exclusive use of Mason Graphite Inc. The report, including all tables is based solely on information from samples provided to Golder Associés Ltd. by Mason Graphite Inc. at the time of the report preparation.

Except where specifically stated to the contrary, any contextual and/or relevant information provided to Golder Associés Ltd. about the project studied in this report has not been independently verified or otherwise examined by Golder Associés Ltd. to determine its accuracy or completeness. Golder Associés Ltd. has relied in good faith on this information and does not accept responsibility for any deficiency, misstatements, or inaccuracies contained in the reports as a result of omissions, misinterpretation, fraudulent acts or the persons interviewed or contacted or errors or omissions in the reviewed documentation.

The work plan designed for this project has been developed in a manner consistent with that level of care and skill normally exercised by other members of the geoscience profession currently practising under similar conditions, subject to the time limits and financial and physical constraints applicable to the services. Any use which a third party could make of this report, or any reliance upon, or decisions made from it, are the sole responsibilities of such third parties. Golder Associés Ltd. accepts no responsibility for damages, if any, suffered by any third party as a result of decisions made or actions based on this report.

The content of this report is based on information collected during our investigation, our present understanding of the site conditions, and our professional judgement in light of such information at the time of this report. This report provides a professional opinion and therefore no warranty is either expressed, implied, or made as to the work plan, advice and recommendations offered in this report. This report does not provide a legal opinion regarding compliance with applicable laws. With respect to regulatory compliance issues, it should be noted that regulatory statutes and the interpretation of regulatory statutes are subject to change.

This work plan is valid only as of the date of this report. If new information is discovered in future work, including excavations, borings, or other studies, Golder Associés Ltd. should be requested to re-evaluate the work plan, and to provide amendments as required.

Closure

If you have any questions regarding this memo, please contact the undersigned.

GOLDER ASSOCIATES LTD.



Martin Van Den Berghe, B.Sc.
Stagiaire



Valérie Bertrand, M.Sc., géo
Géochimiste, Associé



Caroline-Emmanuelle Morisset, Ph.D., géo.
Géochimiste

MVB/CEM/VJB/sg

\\golder.gds\gal\montreal\actif\2015\3 proj\1526332 mason tailings testwork lac gueret\5 preparation of deliverables\001-memo technique\rev0\001-1526332 rev0_tma_geoch-tail_24jul2015.docx

References

- AMIRA 2002. ARD Test Handbook. Project P387A Prediction & Kinetic Control of Acid Mine Drainage. 11p.
- Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ) (2010a). *Détermination du pouvoir neutralisant, du potentiel de génération d'acide et du potentiel acidogène d'un solide*. Method MA. 110 - ACISOL 1.0, Rév. 2. Government of Québec. 17 p.
- Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ) (2010b). *Détermination des métaux : méthode par spectrométrie de masses à source ionisante au plasma d'argon*. Method MA. 200 – Mét. 1.2. Government of Québec. 34 p.
- Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ) (2010c). *Protocole de lixiviation pour les espèces inorganiques*. Method MA. 100 – Lix.com. 1.1. Government of Québec. 17 p.
- MEND (2009). *Prediction Manual for Drainage Chemistry from Sulphidic Geologic Materials*. MEND Report 1.20.1. *Mining Environment Neutral Drainage Program*, Natural Resources Canada. December 2009.
- Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques (MDDELCC), 1998. *Politique de Protection des Sols et Réhabilitation des Terrains Contaminés*. Ministère de l'Environnement, Direction des politiques du secteur industriel, Service des lieux contaminés. 124 pp.
- Québec, 2012. Directive 019 sur l'Industrie minière. Gouvernement du Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte Contre les Changements Climatiques. Envirodoq: ENV/2005/0120. April 2005. Preliminary version modified in March 2012.

LABORATORY COMPACTION TEST

ASTM D422 / D698 Method A

FIGURE

Test Results Summary

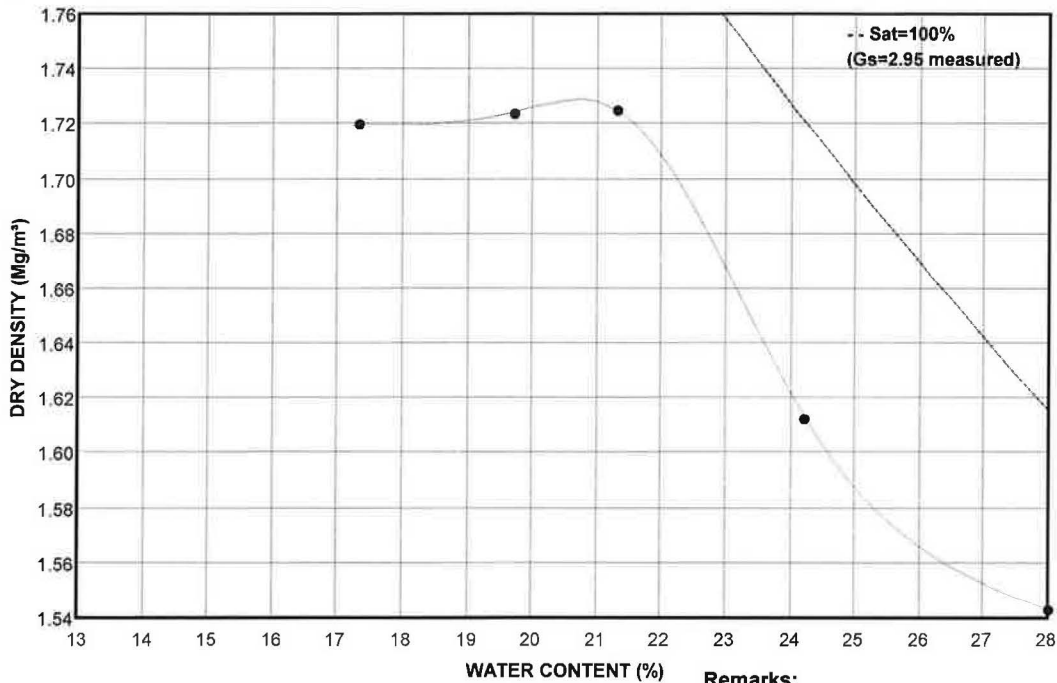
TEST: Standard

NATURAL WATER CONTENT(%): 40.8

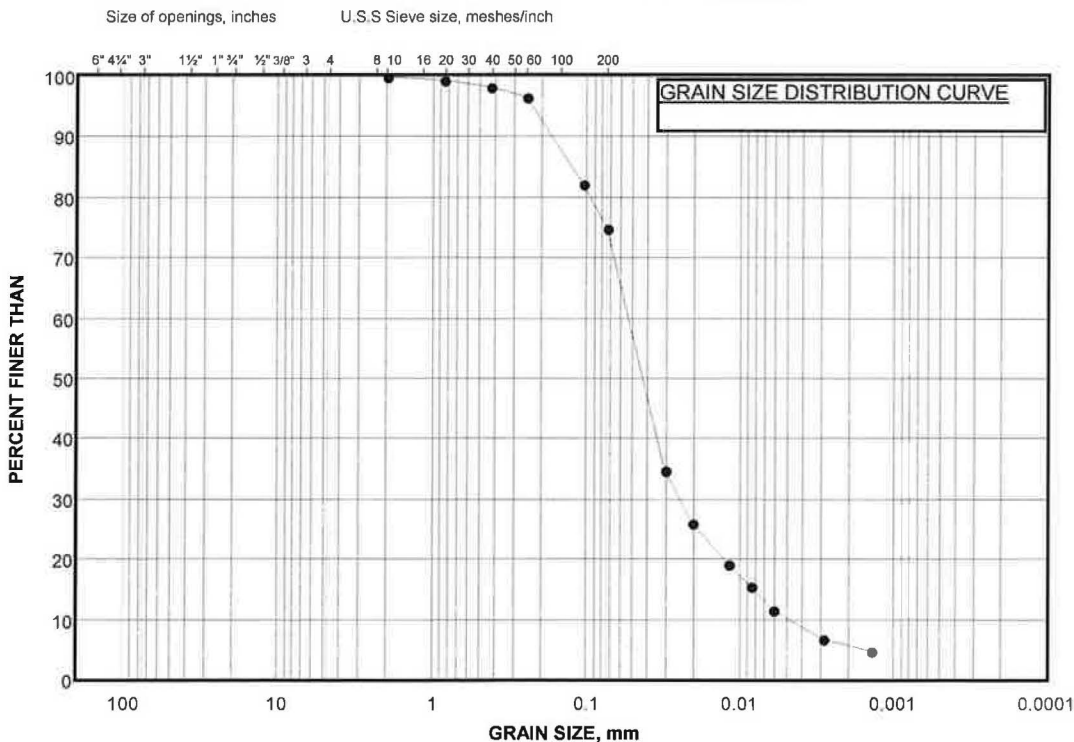
SAMPLE: Graphite Flotation Rejects

MAX. DRY DENSITY(Mg/m³): 1.729

OPTIMUM WATER CONTENT(%): 20.6



Remarks:



COBBLE	COARSE	FINE	COARSE	MEDIUM	FINE	SILT AND CLAY SIZES
SIZE	GRAVEL SIZE		SAND SIZE			FINE GRAINED

Project Number: 1526332

Checked By: _____

Ro

Golder Associates

LABID: '15-465'

Date: 07-Apr-15

CONSOLIDATION SUMMARY - ROWE CELL

SAMPLE IDENTIFICATION

Project Number	1526332	Sample Number	Mason Graphite
----------------	---------	---------------	----------------

TEST CONDITIONS

Test Type	Rowe Cell
Cell	UWO
Date Started	5/22/2015
Date Completed	6/11/2015

SAMPLE DIMENSIONS AND PROPERTIES - INITIAL (AFTER DRAINAGE)

Sample Height, cm	3.95	Unit Weight, kN/m ³	17.13
Sample Diameter, cm	15.24	Dry Unit Weight, kN/m ³	12.14
Area, cm ²	182.41	Specific Gravity, measured	2.95
Volume, cm ³	720.08	Solids Height, cm	1.656
Water Content, %	41.14	Volume of Solids, cm ³	302.12
Wet Mass, g	1257.90	Volume of Voids, cm ³	417.96
Dry Mass, g	891.25		

TEST COMPUTATIONS

Pressure kPa	Corr. Height cm	Void Ratio	Average Height cm	t ₉₀ sec	cv. cm ² /s	mv m ² /kN	k cm/s
0.00	3.948	1.383	3.948				
5.00	3.922	1.368	3.935	28	1.17E-01	1.29E-03	1.48E-05
10.00	3.780	1.282	3.851	97	3.24E-02	7.19E-03	2.29E-05
20.00	3.639	1.197	3.710	128	2.28E-02	3.57E-03	7.98E-06
40.00	3.497	1.111	3.568	228	1.18E-02	1.80E-03	2.09E-06
80.00	3.386	1.044	3.442	797	3.15E-03	7.03E-04	2.17E-07
160.00	3.274	0.977	3.330	2932	8.02E-04	3.55E-04	2.79E-08
200.00	3.240	0.956	3.257	3458	6.50E-04	2.15E-04	1.37E-08
160.00	3.239	0.955	3.239				
40.00	3.257	0.966	3.248				
10.00	3.291	0.987	3.274				

Notes:

- Sample placed in cell and allowed to drain until consistency was sufficient for test to be performed
- All calculations based on height after drainage
- Initial sample height = 5.87 cm; initial weight = 1609.9 g; volume of water drained = 352 cc
- k calculated using cv based on t₉₀ values

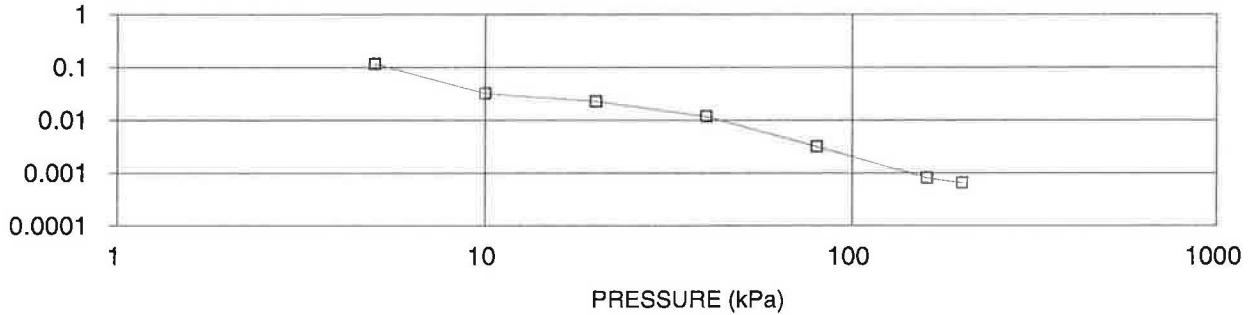
SAMPLE DIMENSIONS AND PROPERTIES - FINAL

Sample Height, cm	3.29	Unit Weight, kN/m ³	19.06
Sample Diameter, cm	15.24	Dry Unit Weight, kN/m ³	14.56
Area, cm ²	182.41	Specific Gravity, measured	2.95
Volume, cm ³	600.24	Solids Height, cm	1.656
Water Content, %	30.88	Volume of Solids, cm ³	302.12
Wet Mass, g	1166.47	Volume of Voids, cm ³	298.12
Dry Mass, g	891.25		

ROWE CELL TEST SUMMARY

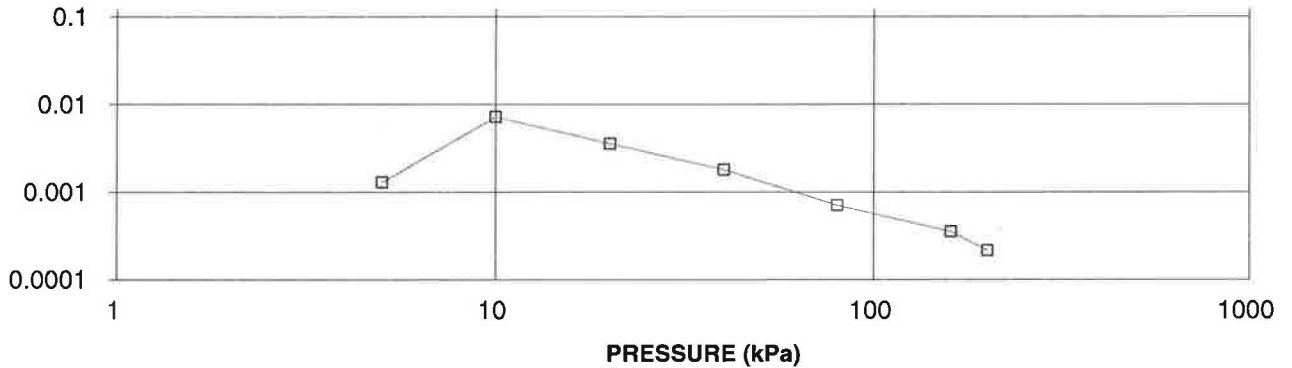
ROWE CELL TEST
cv cm²/s vs PRESSURE (kPa)
SA MASON GRAPHITE

COEFFICIENT OF
CONSOLIDATION, cm²/s



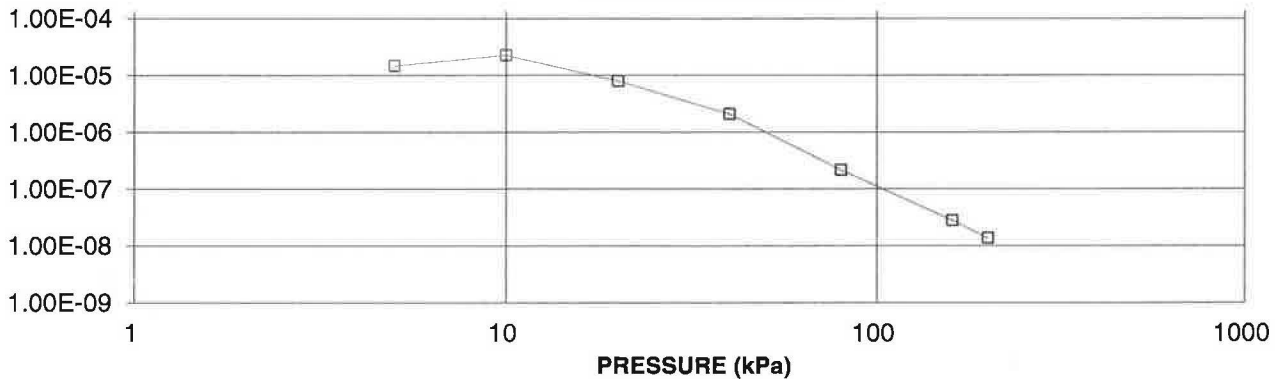
ROWE CELL TEST
mv, m²/kN vs PRESSURE (kPa)
SA MASON GRAPHITE

VOLUME COMPRESSIBILITY,
m²/kN



ROWE CELL TEST
HYDRAULIC CONDUCTIVITY vs PRESSURE
SA MASON GRAPHITE

HYDRAULIC CONDUCTIVITY,
cm/s



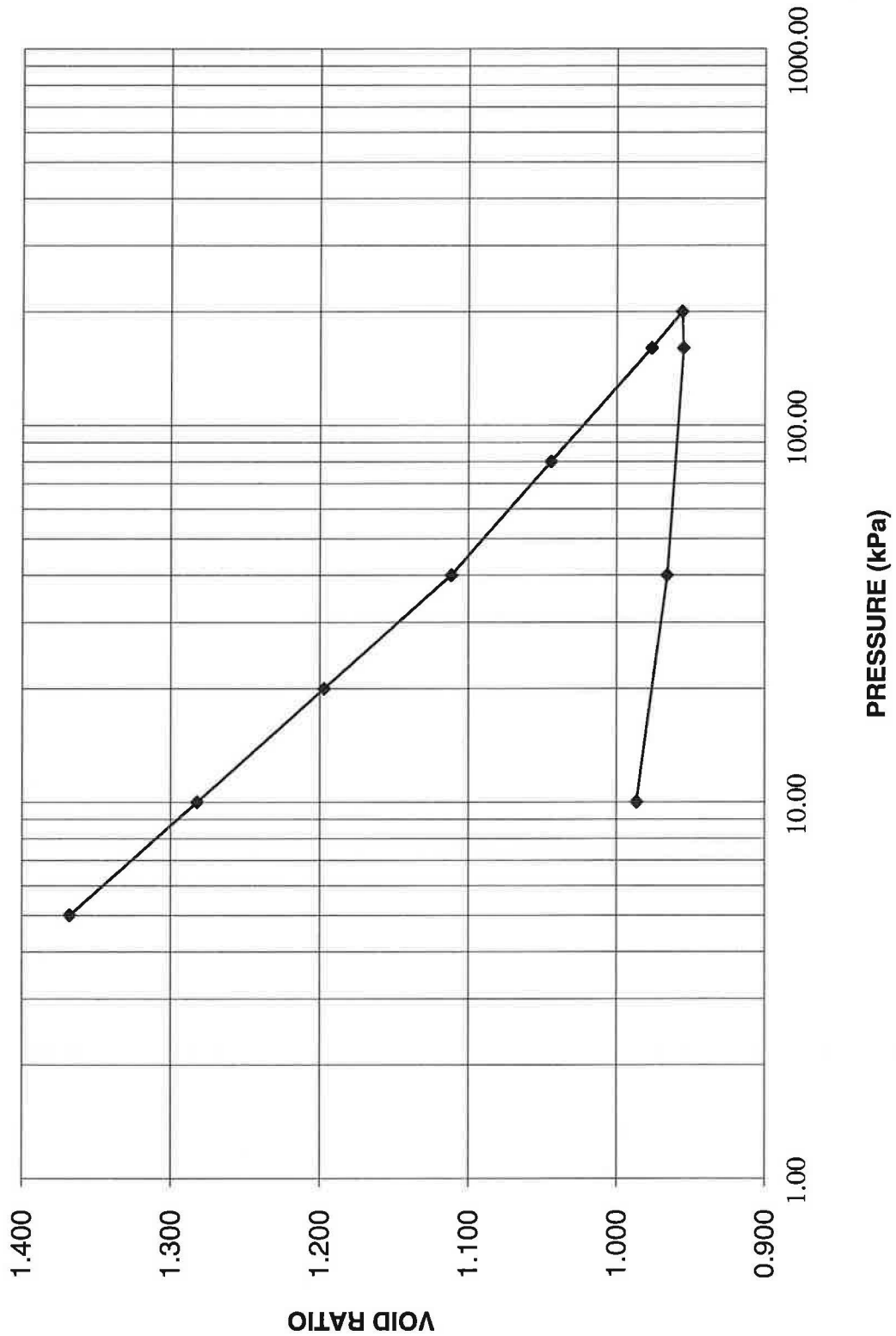
Project No. 1526332

Checked By: *hb*

VOID RATIO VS. LOG PRESSURE

FIGURE

VOID RATIO VS. LOG PRESSURE
SA MASON GRAPHITE



HYDRAULIC CONDUCTIVITY TEST

ASTM D 5084 (CONSTANT HEAD)

SAMPLE IDENTIFICATION

PROJECT NUMBER	1526332	SAMPLE	Mason Graphite
PROJECT TITLE	-	SAMPLE DEPTH, m	-
BOREHOLE NUMBER	-	DATE	5/29/2015

SPECIMEN PROPERTIES AND DIMENSIONS (INITIAL)

SAMPLE HEIGHT, cm	3.64	UNIT WEIGHT, kN/m ³	17.75
SAMPLE DIAMETER, cm	15.24	DRY UNIT WEIGHT, kN/m ³	13.17
SAMPLE AREA, cm ²	182.41	SPECIFIC GRAVITY, assumed	2.70
SAMPLE VOLUME, cm ³	663.81	VOLUME OF SOLIDS, cm ³	330.09
TOTAL MASS, g, calculated	1201.63	VOLUME OF VOIDS, cm ³	333.71
DRY MASS, g, measured	891.25	VOID RATIO	1.01
WATER CONTENT, %	34.8		

SATURATION STAGE

CELL PRESSURE, kPa	-	EFFECTIVE CONSOLIDATION STRESS, kPa	-
HEAD PRESSURE, kPa	-	DURATION, min	-
BACK PRESSURE, kPa	-	B COEFFICIENT	-

CONSOLIDATION STAGE

CELL PRESSURE, kPa	60	EFFECTIVE CONSOLIDATION STRESS, kPa	40
HEAD PRESSURE, kPa	20	DURATION, min	25,462
BACK PRESSURE, kPa	-	VOLUME CHANGE, cm ³	
		DRAINAGE	Bottom

SPECIMEN PROPERTIES AND DIMENSIONS (AFTER CONSOLIDATION)

SAMPLE HEIGHT, cm	3.64	SAMPLE AREA, cm ²	182.41
SAMPLE DIAMETER, cm	15.24	SAMPLE VOLUME, cm ³	663.81

HYDRAULIC CONDUCTIVITY STAGE

CELL PRESSURE, kPa	63	EFFECTIVE CONSOLIDATION STRESS, kPa	40
HEAD PRESSURE, kPa	23	DURATION, min	704
BACK PRESSURE, kPa	20	HYDRAULIC GRADIENT, i	9

SPECIMEN PROPERTIES AND DIMENSIONS (FINAL)

SAMPLE HEIGHT, cm	3.51	UNIT WEIGHT, kN/m ³	18.06
SAMPLE DIAMETER, cm	15.24	DRY UNIT WEIGHT, kN/m ³	13.67
SAMPLE AREA, cm ²	182.41	SPECIFIC GRAVITY, assumed	2.70
SAMPLE VOLUME, cm ³	639.36	VOLUME OF SOLIDS, cm ³	330.09
TOTAL MASS, g, calculated	1177.18	VOLUME OF VOIDS, cm ³	309.27
DRY MASS, g, measured	891.25	VOID RATIO	0.94
WATER CONTENT, %	32.1		

TEST RESULTS

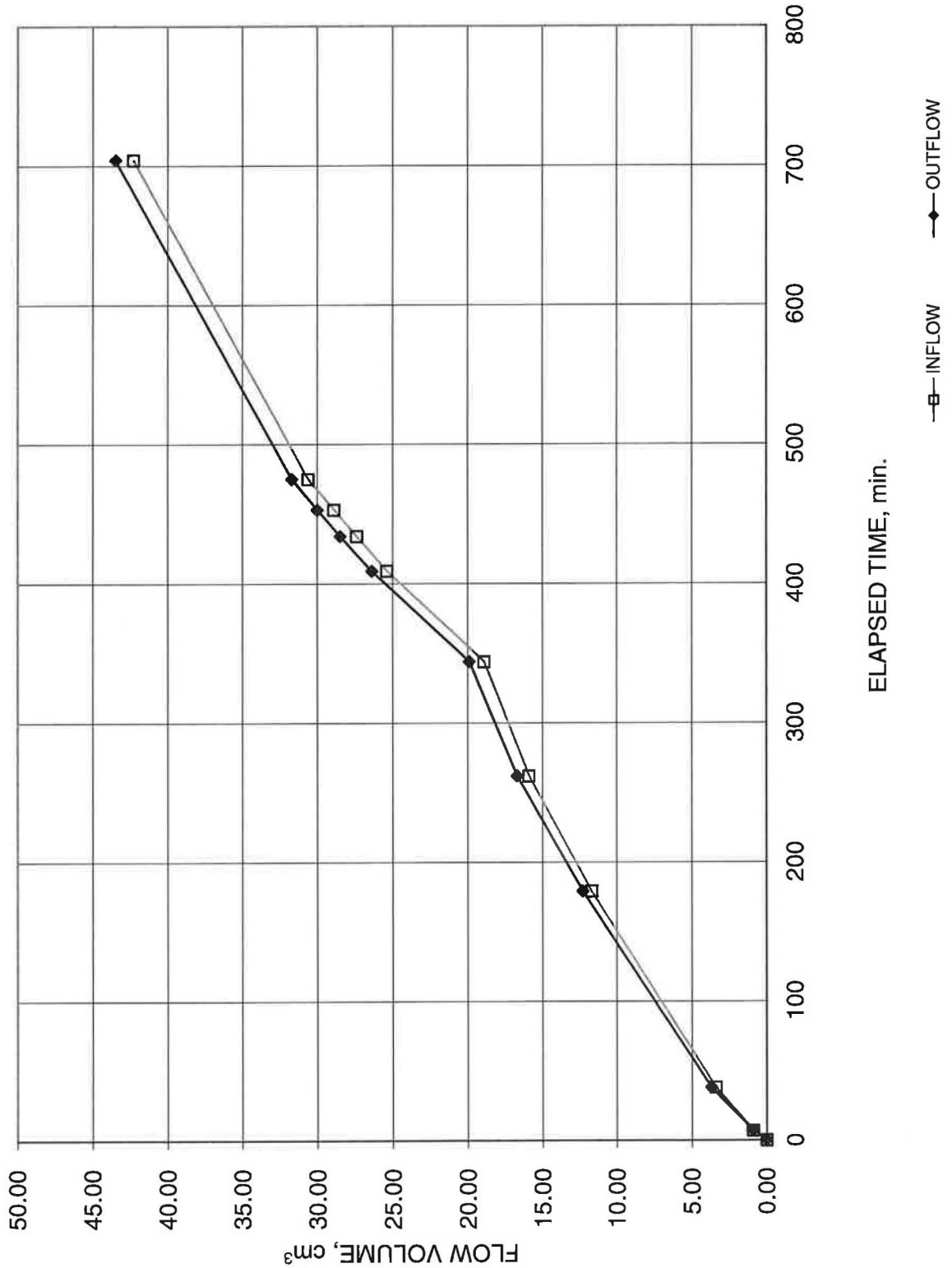
ELAPSED TIME TO STEADY STATE FLOW (min)		0.0
DURATION OF STEADY STATE FLOW (min)		704
INFLOW VOLUME UNDER STEADY STATE FLOW (cm ³)		42.3
OUTFLOW VOLUME UNDER STEADY STATE FLOW (cm ³)		43.5
OUTFLOW TO INFLOW RATIO		1.0
HYDRAULIC CONDUCTIVITY (INFLOW) (cm/s)		6.29E-07
HYDRAULIC CONDUCTIVITY (OUTFLOW) (cm/s)		6.47E-07
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K, cm/s		6.38E-07
HYDRAULIC CONDUCTIVITY AT STANDARD TEMPERATURE, K ₂₀ , cm/s		5.94E-07

NOTES:

PERMEANT FLUID	Deaired tap water
AVERAGE TEST TEMPERATURE	23.0 °C

HYDRAULIC CONDUCTIVITY TEST

Sample Mason Graphite 40 kPa



HYDRAULIC CONDUCTIVITY TEST

ASTM D 5084 (CONSTANT HEAD)

SAMPLE IDENTIFICATION

PROJECT NUMBER	1526332	SAMPLE	Mason Graphite
PROJECT TITLE	-	SAMPLE DEPTH, m	-
BOREHOLE NUMBER	-	DATE	5/29/2015

SPECIMEN PROPERTIES AND DIMENSIONS (INITIAL)

SAMPLE HEIGHT, cm	3.50	UNIT WEIGHT, kN/m ³	18.07
SAMPLE DIAMETER, cm	15.24	DRY UNIT WEIGHT, kN/m ³	13.70
SAMPLE AREA, cm ²	182.41	SPECIFIC GRAVITY, assumed	2.70
SAMPLE VOLUME, cm ³	637.90	VOLUME OF SOLIDS, cm ³	330.09
TOTAL MASS, g, calculated	1175.72	VOLUME OF VOIDS, cm ³	307.81
DRY MASS, g, measured	891.25	VOID RATIO	0.93
WATER CONTENT, %	31.9		

SATURATION STAGE

CELL PRESSURE, kPa	-	EFFECTIVE CONSOLIDATION STRESS, kPa	-
HEAD PRESSURE, kPa	-	DURATION, min	-
BACK PRESSURE, kPa	-	B COEFFICIENT	-

CONSOLIDATION STAGE

CELL PRESSURE, kPa	103	EFFECTIVE CONSOLIDATION STRESS, kPa	80
HEAD PRESSURE, kPa	23	DURATION, min	-
BACK PRESSURE, kPa	-	VOLUME CHANGE, cm ³	-
		DRAINAGE	Bottom

SPECIMEN PROPERTIES AND DIMENSIONS (AFTER CONSOLIDATION)

SAMPLE HEIGHT, cm	3.39	SAMPLE AREA, cm ²	182.41
SAMPLE DIAMETER, cm	15.24	SAMPLE VOLUME, cm ³	618.39

HYDRAULIC CONDUCTIVITY STAGE

CELL PRESSURE, kPa	106	EFFECTIVE CONSOLIDATION STRESS, kPa	80
HEAD PRESSURE, kPa	26	DURATION, min	172
BACK PRESSURE, kPa	23	HYDRAULIC GRADIENT, i	9

SPECIMEN PROPERTIES AND DIMENSIONS (FINAL)

SAMPLE HEIGHT, cm	3.39	UNIT WEIGHT, kN/m ³	18.34
SAMPLE DIAMETER, cm	15.24	DRY UNIT WEIGHT, kN/m ³	14.14
SAMPLE AREA, cm ²	182.41	SPECIFIC GRAVITY, assumed	2.70
SAMPLE VOLUME, cm ³	618.20	VOLUME OF SOLIDS, cm ³	330.09
TOTAL MASS, g, calculated	1156.02	VOLUME OF VOIDS, cm ³	288.11
DRY MASS, g, measured	891.25	VOID RATIO	0.87
WATER CONTENT, %	29.7		

TEST RESULTS

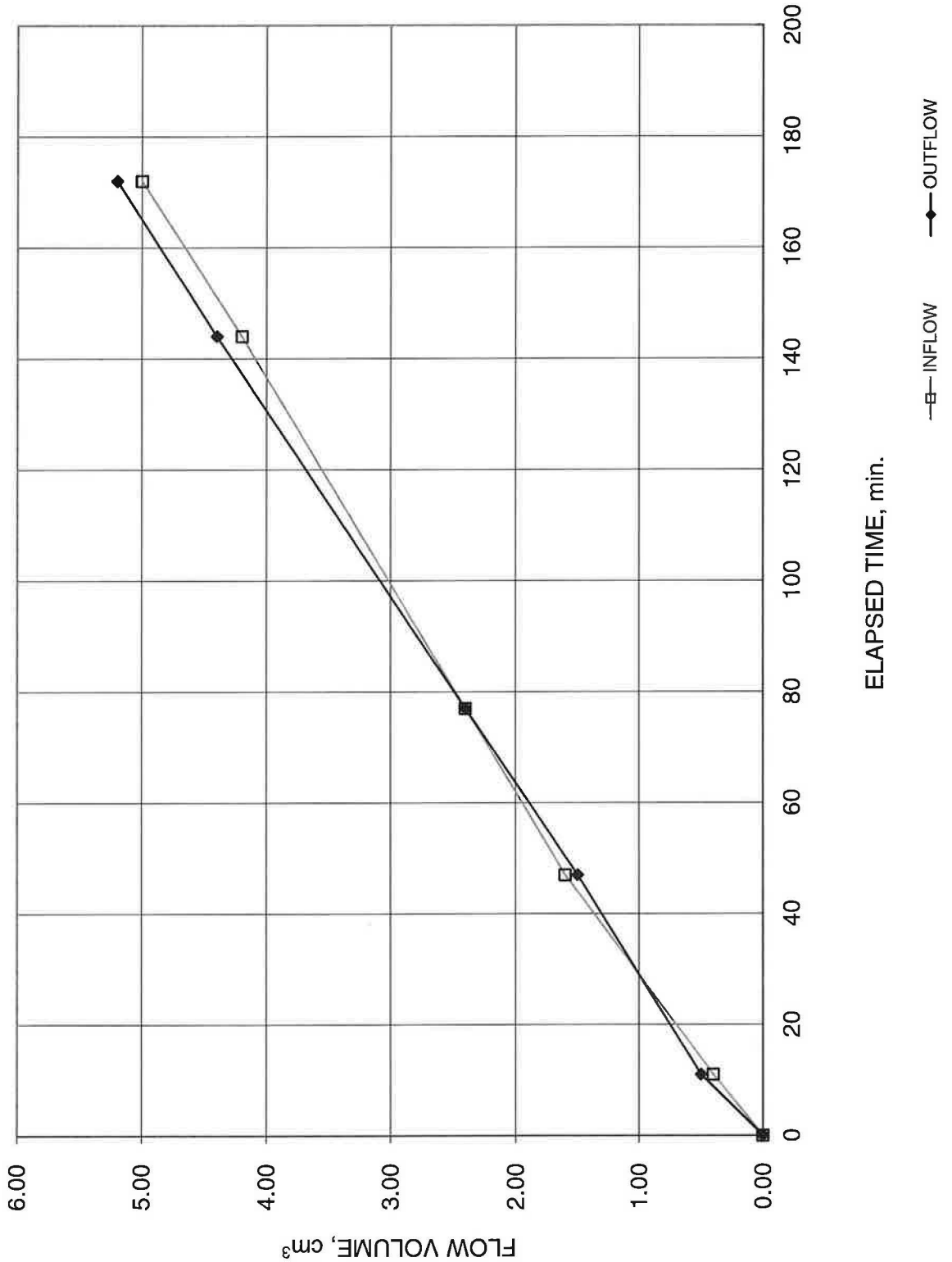
ELAPSED TIME TO STEADY STATE FLOW (min)	0.0
DURATION OF STEADY STATE FLOW (min)	172
INFLOW VOLUME UNDER STEADY STATE FLOW (cm ³)	5.0
OUTFLOW VOLUME UNDER STEADY STATE FLOW (cm ³)	5.2
OUTFLOW TO INFLOW RATIO	1.0
HYDRAULIC CONDUCTIVITY (INFLOW) (cm/s)	2.94E-07
HYDRAULIC CONDUCTIVITY (OUTFLOW) (cm/s)	3.06E-07
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K, cm/s	3.00E-07
HYDRAULIC CONDUCTIVITY AT STANDARD TEMPERATURE, K₂₀, cm/s	2.79E-07

NOTES:

PERMEANT FLUID	Deaired tap water
AVERAGE TEST TEMPERATURE	23.0 °C

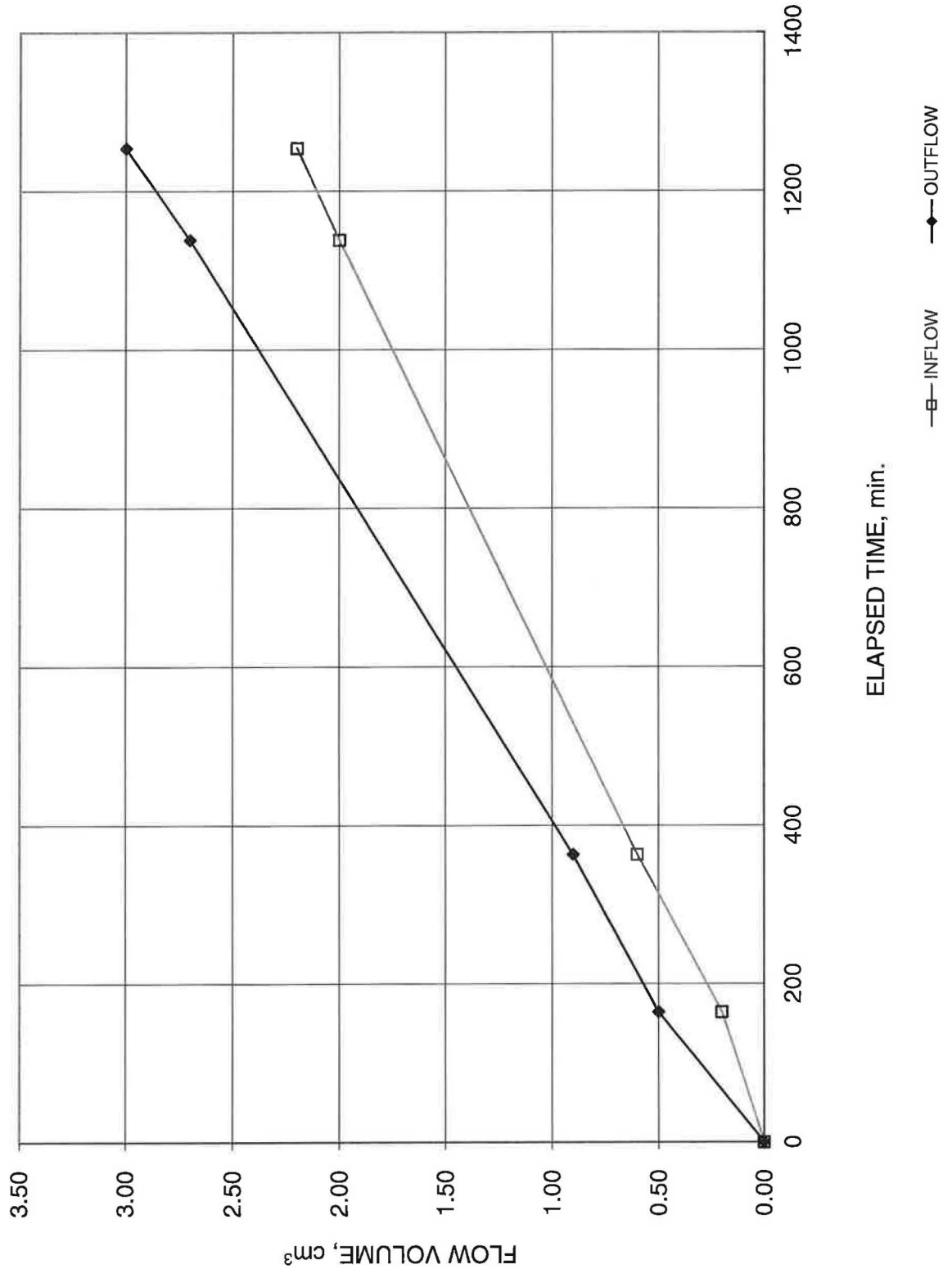
HYDRAULIC CONDUCTIVITY TEST


Sample Mason Graphite 80 kPa



HYDRAULIC CONDUCTIVITY TEST

Sample Mason Graphite 200 kPa

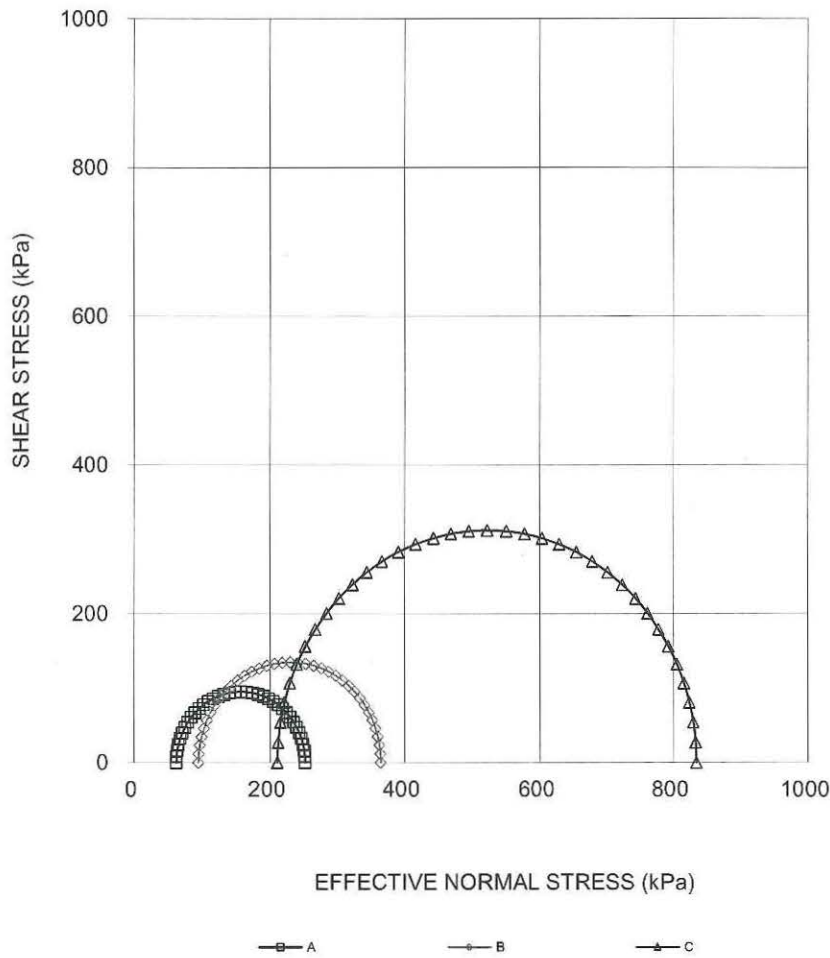


CONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL WITH PORE PRESSURE MEASUREMENTS SHEET 1 OF 4		FIGURE		
TEST STAGE	A	B	C	
BOREHOLE NUMBER	-			
SAMPLE	Mason Graphite			
DEPTH, m	-			
SPECIMEN DIAMETER, cm	5.06	5.05	5.06	
SPECIMEN HEIGHT, cm	10.17	10.13	10.17	
NATURAL WATER CONTENT, %	21.0	21.0	22.0	
DRY DENSITY, Mg/m ³	1.70	1.66	1.67	
WATER CONTENT AFTER SATURATION, %	26.7	27.1	30.0	
CELL PRESSURE, σ_3 , kPa	495.0	615.0	775.0	
BACK PRESSURE, kPa	415.0	415.0	275.0	
PORE PRESSURE PARAMETER "B"	0.96	0.96	0.96	
EFFECTIVE CONSOLIDATION STRESS, σ_c , kPa	80.0	200.0	500.0	
VOLUMETRIC STRAIN DURING CONSOLIDATION, %	2.7	6.1	11.2	
WATER CONTENT AFTER CONSOLIDATION, %	25.1	23.4	22.9	
AVERAGE RATE OF STRAIN, %/hr	0.5	0.5	0.5	
TIME TO FAILURE, HOURS	29.8	28.7	29.6	
WATER CONTENT AFTER TEST, %	23.9	23.3	22.9	
MAX. DEVIATOR STRESS, $(\sigma_1 - \sigma_3)$, kPa	190.0	269.5	623.7	
AXIAL STRAIN AT $(\sigma_1 - \sigma_3)$ maximum, %	14.9	14.3	14.8	
MAX EFFECTIVE PRINCIPAL STRESS RATIO, (σ'_1 / σ'_3) maximum	4.1	3.9	4.0	
DEVIATOR STRESS AT (σ'_1 / σ'_3) maximum, kPa	149.7	260.5	623.7	
AXIAL STRAIN AT (σ'_1 / σ'_3) maximum, %	7.1	11.1	14.8	
PORE PRESSURE PARAMETER, Af, AT $(\sigma_1 - \sigma_3)$ maximum	0.09	0.39	0.46	
PORE PRESSURE PARAMETER, Af, AT (σ'_1 / σ'_3) maximum	0.21	3.93	0.46	
FILTER DRAINS USED, y/n	y	y	y	
TEST NOTES:	<p style="text-align: center;">Effective consolidation stresses are assigned by the client.</p> <p style="text-align: center;">Specimens prepared at about 1.7 Mg/m³ target dry density and about 21% moisture content.</p>			
FAILURE PLANE NUMBER	-			
ANGLE OF FAILURE PLANE, DEGREES	Bulged	Bulged	Bulged	
Date:	5/7/2016			Prepared By LH
Project No.	1530092(3000)			Checked By: 
Golder Associates				

CONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL
WITH PORE PRESSURE MEASUREMENTS
SHEET 2 OF 4

FIGURE

SA Mason Graphite



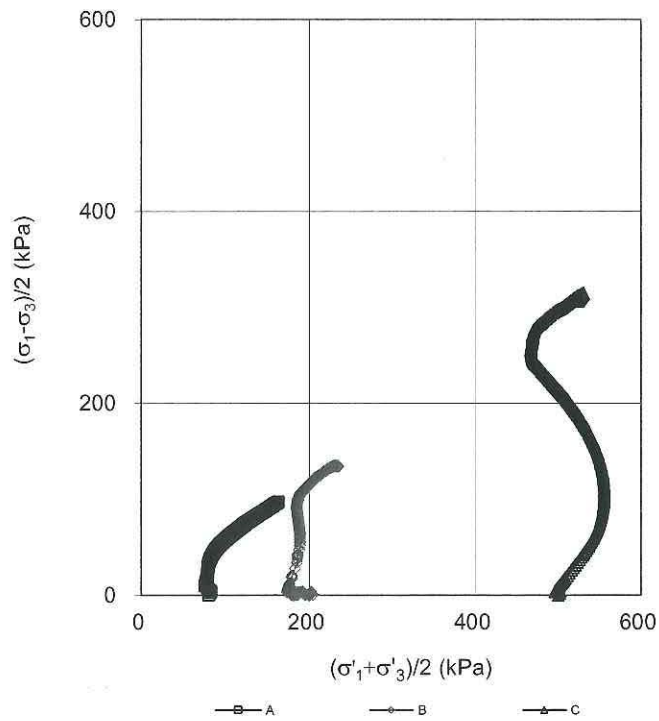
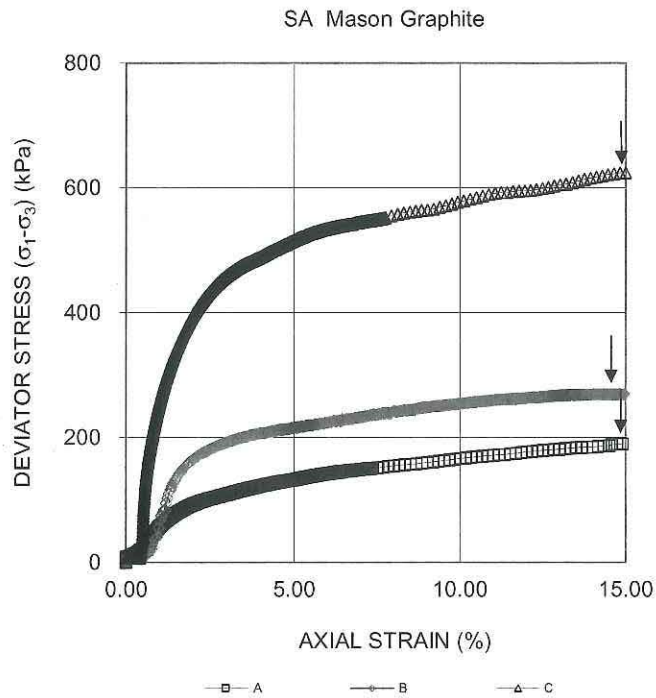
Date: 5/7/2016
Project No. 1530092(3000)

Golder Associates

Prepared By LH
Checked By: *[Signature]*

**CONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL
WITH PORE PRESSURE MEASUREMENTS
SHEET 3 OF 4**

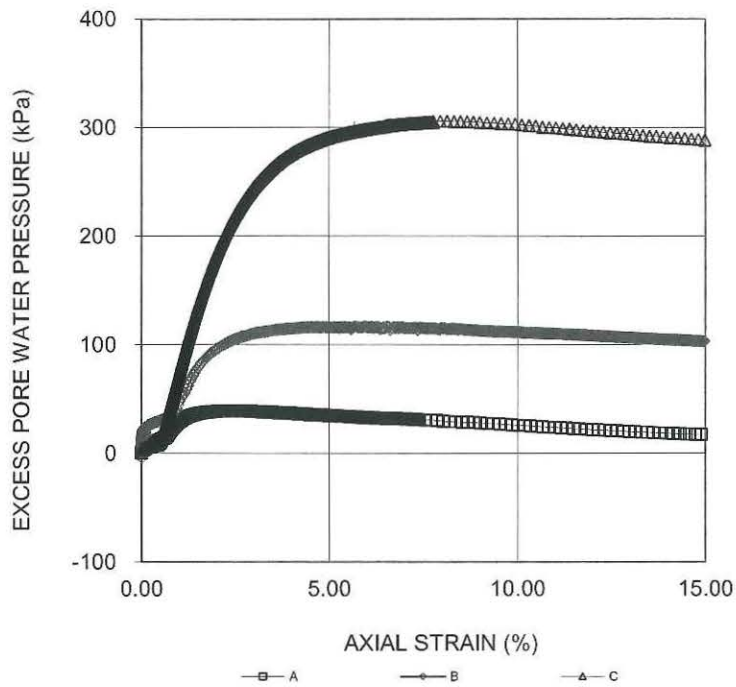
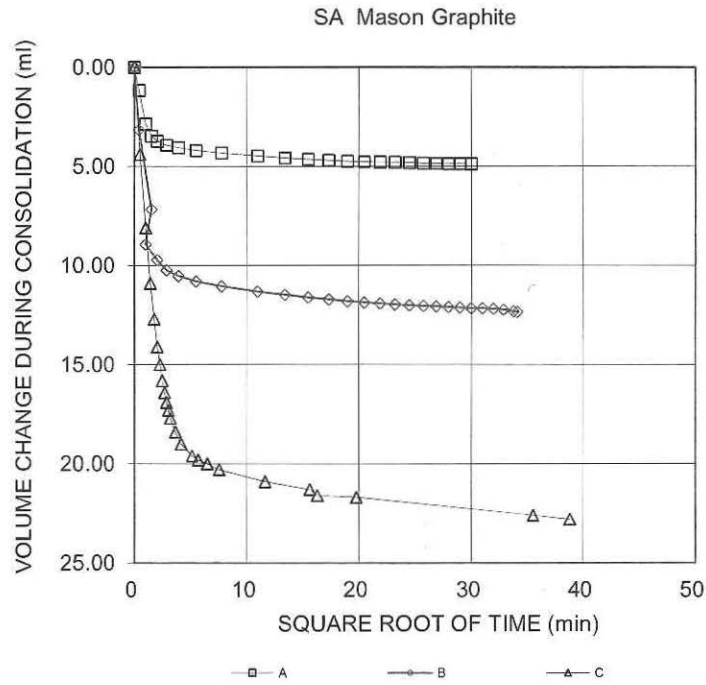
FIGURE



Date: 5/7/2016
Project No. 1530092(3000)

Golder Associates

Prepared By LH
Checked By: *[Signature]*



CONSOLIDATION TEST SUMMARY

FIGURE

ASTM D2435/D2435M

SAMPLE IDENTIFICATION

Project Number	1530092(3000)	Sample Number	Mason Graphite
Borehole Number	-	Sample Depth, m	-

TEST CONDITIONS

Test Type	Standard Consolidation	Load Duration, hr	24
Oedometer Number	5		
Date Started	04/21/2016		
Date Completed	05/03/2016		

SAMPLE DIMENSIONS AND PROPERTIES - INITIAL

Sample Height, cm	1.90	Unit Weight, kN/m ³	19.83
Sample Diameter, cm	6.34	Dry Unit Weight, kN/m ³	16.04
Area, cm ²	31.55	Specific Gravity, measured	3.16
Volume, cm ³	60.01	Solids Height, cm	0.985
Water Content, %	23.60	Volume of Solids, cm ³	31.07
Wet Mass, g	121.34	Volume of Voids, cm ³	28.94
Dry Mass, g	98.17	Degree of Saturation, %	80.1

TEST COMPUTATIONS

Stress kPa	Corr.	Average			t ₉₀ sec	cv. cm ² /s	mv m ² /kN	k cm/s
	Height cm	Void Ratio	Height cm					
0.00	1.902	0.932	1.902					
5.86	1.905	0.935	1.904					
10.64	1.901	0.930	1.903	581	1.32E-03	4.62E-04	5.98E-08	
20.71	1.892	0.921	1.896	317	2.41E-03	4.59E-04	1.08E-07	
39.98	1.876	0.905	1.884	437	1.72E-03	4.45E-04	7.50E-08	
78.83	1.850	0.879	1.863	332	2.22E-03	3.45E-04	7.49E-08	
175.87	1.820	0.848	1.835	359	1.99E-03	1.64E-04	3.19E-08	
351.17	1.785	0.812	1.802	205	3.36E-03	1.06E-04	3.50E-08	
701.15	1.737	0.764	1.761	173	3.80E-03	7.16E-05	2.67E-08	
351.17	1.735	0.762	1.736					
78.83	1.750	0.777	1.743					
20.50	1.764	0.791	1.757					
6.02	1.773	0.801	1.769					

Note:

Specimens prepared at about 1.7 Mg/m³ target dry density and about 21% moisture content.

Consolidation loading and unloading schedule assigned by the client.

k calculated using cv based on t₉₀ values.

SAMPLE DIMENSIONS AND PROPERTIES - FINAL

Sample Height, cm	1.77	Unit Weight, kN/m ³	21.23
Sample Diameter, cm	6.34	Dry Unit Weight, kN/m ³	17.21
Area, cm ²	31.55	Specific Gravity, measured	3.16
Volume, cm ³	55.94	Solids Height, cm	0.985
Water Content, %	23.39	Volume of Solids, cm ³	31.07
Wet Mass, g	121.13	Volume of Voids, cm ³	24.88
Dry Mass, g	98.17		

Annexe C

Self-Heating Tests – Mason Graphite Inc. project (Nessetech, 2015)



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation



Technical Report

To: Stephanie Somot
Company: COREM
From: J.E. Nessel, F. Rosenblum
Date: April 23, 2015
Copy: Nadia Ouellet

Subject: ***Self-Heating Tests – Mason Graphite Inc Project***

INTRODUCTION

A request was received from Stephanie Somot of COREM (e-mail November 11, 2014) for self-heating testing on a sample of flotation tailings from laboratory pilot plant testing of a graphite-pyrrhotite-pyrite-phyllsilicate deposit in northern Quebec. The initial sample was received in early December, 2014, and testing revealed very significant heating in both stages (A and B). This prompted a decision to test the feed and graphite concentrate from the same pilot testwork. These samples were received in late February and tested in early March. During the testing a teleconference call was held (March 10, 2015) with representatives of Soutex (Genevieve Gauthier), the mine project team (Mason Graphite Inc.) (Jean l'Heureux, Jacqueline Leroux) and COREM (Nadia Ouellet) a decision was made to test samples of waste rock as well. All testing was completed by mid-April. In total, the Client requested six samples be tested; feed, concentrate and tails plus three of the five submitted waste rock samples of varying pyrrhotite (sulphur) content. This Report constitutes the formal presentation of the test results for the samples as well as a discussion of the results, and thus completes the contracted work.

DISCLAIMER

These results are relevant to the samples as received and processed only. Neither NesseTech nor FR Control holds any responsibility for how this information is used by COREM, Soutex, Mason Graphite or, in turn, their owners, subsidiaries, associates or clients. NesseTech and FR Control may add the data from these tests to their database and use in reporting to other clients and publications without identifying the specific name of the sample or the Client. By accepting and paying for this Report the Client has also accepted the terms of this arrangement.

SAMPLES RECEIVED

The following Table 1 lists the samples as received according to the description and naming supplied by COREM, as well as our internal numbering system. The pilot plant samples were received from the COREM laboratory in a dry state, approx. 10 mesh size fraction, and sealed in poly bags. The NGFF sample was somewhat finer than the others, being the minus 10 mesh fraction of the overall feed. This represented the “worse case” situation for testing the feed as self-heating is known to originate in the fines fraction due to greater specific surface area (m²/g) and often higher free moisture content.

Table 1. Sample description and identification for the natural graphite (NG) project samples received

Sample Description	Your Number	Our Number
Tailings (Pilot Plant test T1756	T1756 NGFR	2014-23
Feed (minus 10 M fines) PP T1756	T1756 NGFF	COREM-1
Concentrate PP T1756	T1756 NGFC	COREM-2
Waste Rock 1	Sterile E5618209	2015-16
Waste Rock 2*	Sterile E5618210	2015-17
Waste Rock 3	Sterile E5618099	2015-15
Waste Rock 4*	Sterile E5618101	2015-18
Waste Rock 5	Sterile E5618103	2015-14

**Testing was not requested on these two samples*

No complete mineralogical information was available for the suite of samples, however, information was supplied on the carbon (graphite) and sulphur content as well as some basic mineralogy relating to the Feed sample. The carbon and sulphur values are shown in Table 2 along with the calculated C/S ratio.

Table 2. Assay data for the natural graphite (NG) project samples received. Some assays are approximate (S. Somot and N. Ouellet)

Sample	Carbon %	Sulphur %	C/S
Tailings	1.55	16.7	0.093
Feed (<10 M fines)	31.6	15.2	2.08
Concentrate	96	0.6	160.0
Waste Rock 1	0.56	9.34	0.060
Waste Rock 2	0.96	13.8	0.070
Waste Rock 3	1.66	13.7	0.121
Waste Rock 4	2.51	14.2	0.177
Waste Rock 5	4.34	17.1	0.254
Average Waste Rock (5)	2.01	13.6	0.147

Information supplied indicated that the pyrrhotite to pyrite ratio in the feed was approximately 8:1 meaning that approximately 85% of the sulphur occurs as pyrrhotite. Using this assumption, and that the x (shortfall of Fe) in Fe_{1-x}S is

approximately 0.1, estimates of the pyrrhotite, pyrite and “other” non-sulphides were calculated and are shown in Table 3.

Table 3. Calculated mineralogy based on assay data in Table 2 for the natural graphite (NG) project samples (assumptions: 85% of S is as Po, 15% of S is as Py; x in Fe_{1-x}S is 0.1)

<i>Sample</i>	<i>Po %</i>	<i>Py%</i>	<i>Po+Py+C</i>	<i>Other</i>
Tailings	36.4	4.7	42.7	57.3
Feed (<10 M fines)	33.2	4.3	69.0	31.0
Concentrate	1.3	0.2	97.5	2.5
Waste Rock 1	20.4	2.6	23.6	76.4
Waste Rock 2	30.1	3.9	34.9	65.1
Waste Rock 3	29.9	3.8	35.4	64.6
Waste Rock 4	31.0	4.0	37.5	62.5
Waste Rock 5	37.3	4.8	46.5	53.5
Average Waste Rock (5)	29.7	3.8	35.6	64.4

Some additional assay and size distribution information was also supplied by COREM for the feed and tails samples but has not been included here as no conclusions were drawn from those data.

SAMPLE PREPARATION and TESTING

Sample weights received were about 1.5 kilograms each, the Tailings being slightly moist (0.33%) while the remainder were in a dry state. Additional moisture was added to bring the free moisture content to 6% (wt) prior to testing.

The testing methodology was as described in the publication by Rosenblum, Nessel and Spira (CIM Bulletin, Nov/Dec 2001) for Stage A (70 °C) and Stage B (140 °C), each stage being run for approximately 50 hours. The results are reported in terms of Self Heating Capacity (SHC, Joules/gram) for both Stage A and Stage B in the following section.

RESULTS

Table 4 lists the Self Heating Capacities (SHC, Joules/gram) for the samples tested. The actual SHC thermogram test curves are included in the Appendix. The data of Table 4 are more usefully plotted on a log-log basis of Stage A versus Stage B values in order to assess the potential risk for self-heating to occur. Figure 1 illustrates this relative to the five regions of varying risk and shows a wide range in reactivity for the samples, the Tailings sample being most reactive, followed by the five Waste Rock samples, all of these falling well inside Risk Region 5 (*Recommend Preventive Action*). The Feed (fines) sample has high Stage B reactivity and a relatively lower Stage A SHC value that place it in Risk Region 4 (*Recommend Monitoring*). The graphite Concentrate sample showed no Stage A reactivity and an intermediate level of Stage B reactivity placing it in Risk Region 3 (*Do not expose to a high Heat Source*). Note that the

five Waste Rock samples had similar SHC values for both stages A and B. Somewhat unusual in the results is that Stage B SHC values are all high, with the exception of the Concentrate, while Stage A values vary across the spectrum from zero (Concentrate) to over 40 J/g (Tails).

Table 4. Self Heating Capacities (SHC) for Stages A and B for the natural graphite (NG) project samples

<i>Sample</i>	<i>COREM Sample No</i>	<i>Our Sample No</i>	<i>Stage A J/g</i>	<i>Stage B J/g</i>
Tailings	T1756 NGFR	2014-23	44.5	225
Feed (<10 M fines)	T1756 NGFF	COREM-1	2.8	318.2
Concentrate	T1756 NGFC	COREM-2	0	5.4
Waste Rock 1	Sterile E5618209	2015-16	13.4	76.8
Waste Rock 2	Sterile E5618210	2015-17	24.9	60.3
Waste Rock 3	Sterile E5618099	2015-15	17.0	63.7
Waste Rock 4	Sterile E5618101	2015-18	16.3	56
Waste Rock 5	Sterile E5618103	2015-14	20	45.8
Average Waste Rock	-	-	18.32	60.52

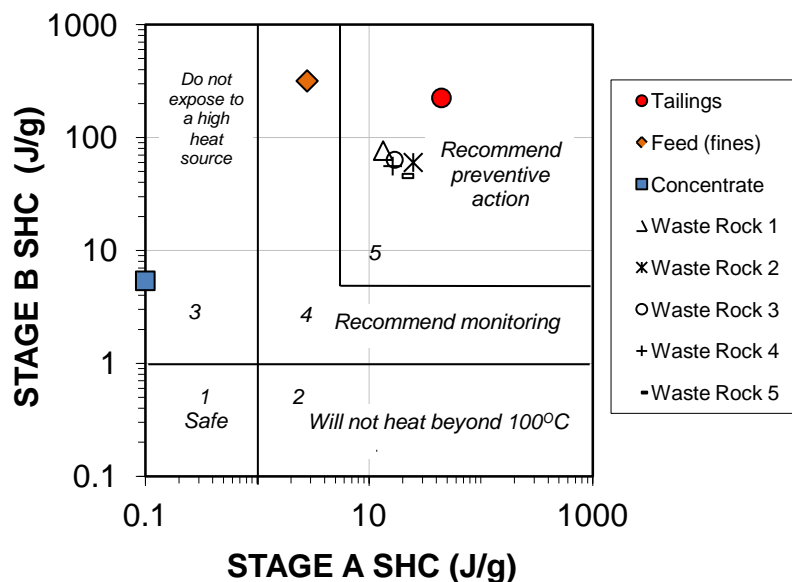


Figure 1. Plot of Stage A versus Stage B SHC for the natural graphite (NG) project samples

DISCUSSION of RESULTS

The data of Table 4 and Figure 1 show that, with the exception of the graphite Concentrate, the Tailings, Feed and Waste Rock samples all have the potential to self-heat in Stage B, although the feed sample is much less reactive in Stage A as evident in Figure 1. This is somewhat unusual and has been noted in the past for samples that have already undergone a substantial amount of weathering prior to testing. For this reason, a sample of Feed was subjected to a Stage B alone test using some of the surplus sample, and is shown in Figure 2. The before and after-testing samples were also subjected to analysis for elemental sulphur (S^0) which revealed 2.16% S^0 before and 0% S^0 after the Stage B alone test, indicating that the sample may well have weathered (oxidized) prior to testing, and that the elemental sulphur was consumed during the Stage B alone test.

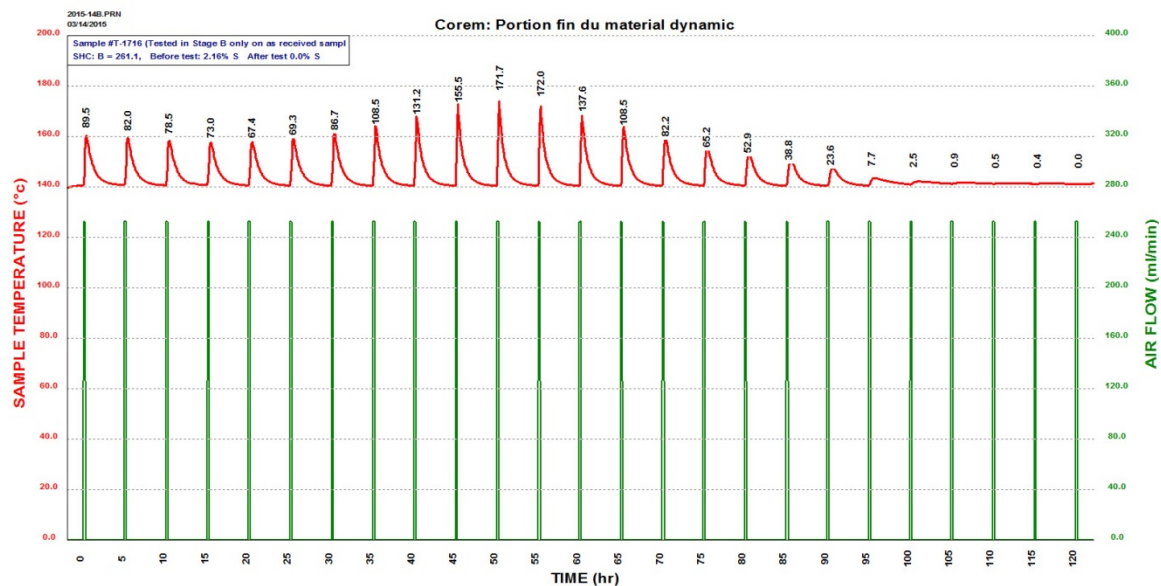


Figure 2. Stage B only test for the Feed sample. Note that the reactivity is almost as high (261 J/g) as for the Stage A/Stage B test (318 J/g) (Table 4).

The reactivity of the Stage B only test (261 J/g) is almost as high as for the combined Stage A/Stage B test (318 J/g) reported in Table 4. What is not known is why the Stage A weathering cycles did not produce any additional heating since considerable pyrrhotite was still present (33%) in the sample as indicated by the calculated mineralogy in Table 3. It was thought that the carbon could be playing a role in reducing the Stage A reactions. Figure 3a/b shows Stage A SHC versus the total sulphur (Figure 3a) and the pyrrhotite content (Figure 3b) and groups these according to the carbon content. Except for the Concentrate, all samples contain between 20% to 40% pyrrhotite. Our extensive database shows that when pyrrhotite exceeds ~10% (wt), Stage A SHC climbs rapidly, usually to

the 40 to 60 J/g level. The results from the Feed and Waste Rock tests appear well below this value in terms of reactivity, arguably due to their higher carbon content as indicated qualitatively by the text on the figure.

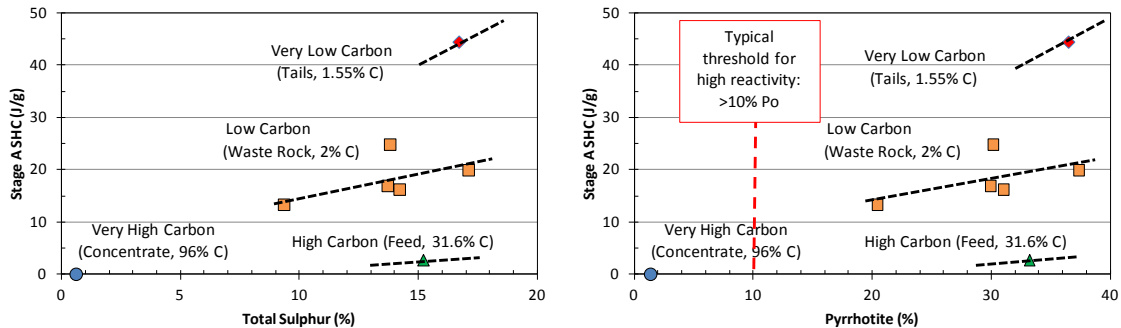


Figure 3. Stage A SHC versus (a) sulphur content and (b) pyrrhotite content for all tests

To test this notion of carbon influence on Stage A reactivity, the data were plotted as Stage A SHC versus both carbon content and the carbon/sulphur (C/S) ratio as shown in Figure 4 a/b. The data show a strong non-linear dependency for both relationships, with either carbon content above 30% or a C/S ratio above 2 resulting in a decrease in Stage A SHC values to below Risk Region 5 levels (<5 J/g). The Feed sample tested falls on the “knee” of the curve so caution is required as mineralogical variability in other feed samples could result in significant differences in the measured risk for self-heating to occur. The Client is advised to consider the testing of additional feed samples to explore the effect of variability on the risk for potential self-heating.

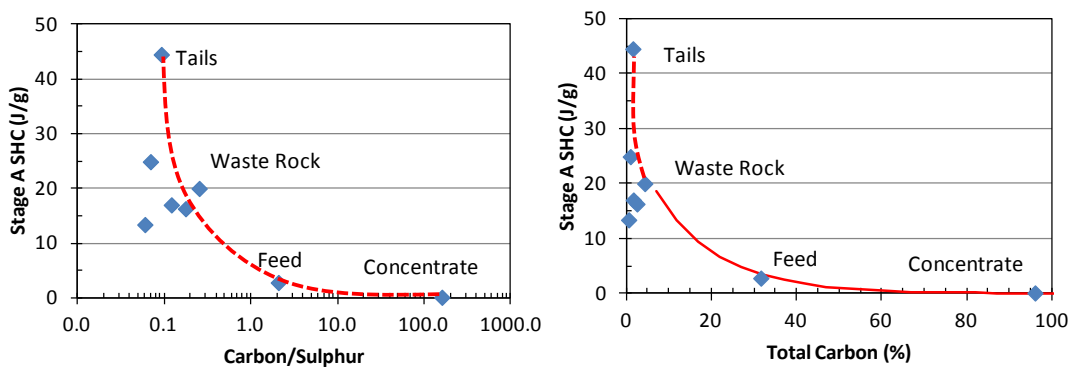


Figure 4 Stage A SHC versus (a) the Carbon/Sulphur ratio and (b) the total Carbon content for all tests

Although we have considerable experience testing pyrrhotite-containing materials, samples with both pyrrhotite and graphite represent a new area for us. The hypothesis that carbon plays a mitigating role in the Stage A weathering

reactions is based on the observed results from these limited number of samples. Clearly, additional testing would help validate this hypothesis, but the notion that carbon is interrupting the normal sequence of sulphide oxidation/heating reactions in Stage A may be quite plausible since the carbon may be competing with the sulphide minerals for available oxygen. The testing is conducted at 40 °C and it is also possible that the effect seen in Figure 4 would be less at a lower testing temperature more representative of in-the-field conditions.

It is clear that the graphite Concentrate sample offers little danger for self-heating while both the Tailings and Waste Rock samples (Risk Region 5) are very susceptible to self-heating under advantageous conditions. The Feed sample, falling into Risk Region 4, is in the “grey zone” of reduced but not negligible risk. Prolonged storage times under conditions conducive to self-heating (high humidity and temperature, significant moisture content) would tend to increase the risk. Such reactions invariably originate in the fines fraction such as that tested here.

These results and comments relate to the samples supplied only, and (as noted) may vary if the mineralogical composition or other physical characteristics of the materials change. Since it is believed there is a strong electrochemical component to initiating (Stage A) self-heating behaviour, the relative quantities and types of the sulphides and other minerals present will significantly impact on the measured SHC values. The Client is advised to ensure himself that the samples tested here will be representative of the materials being, or to be, produced. The Client is also advised to read the reference article by Rosenblum, Nasset and Spira (2001) in order to more fully understand the risks and mitigation methods in general. In addition to the mineralogical basis, it needs to be emphasized that actual self-heating will depend on the history of weathering (oxidation), storage conditions, ambient temperature and relative humidity, in-transit time, moisture content of the material as well as the amount of surface area of the reactive minerals. Conditions of higher temperature (>30 °C) and high humidity (>70% RH), coupled with prolonged transport or storage times, are often the contributing factors that lead to problems due to self-heating.

CONCLUSIONS


The testing of the Mason Graphite project samples, and analysis of resulting data, yields the following conclusions:

1. Both the Tailings and Waste Rock samples exhibit Stage A and B SHC values that place them well within Risk Region 5 (*Recommend Preventive Action*). Long term storage of these materials needs to account for their potential to self-heat due to their significant pyrrhotite content.
2. The graphite Concentrate sample exhibits no potential for self-heating in Stage A and provided that there is no exposure to a high heat source (e.g.

open flame) this material can be safely stored and shipped for normal periods of time.

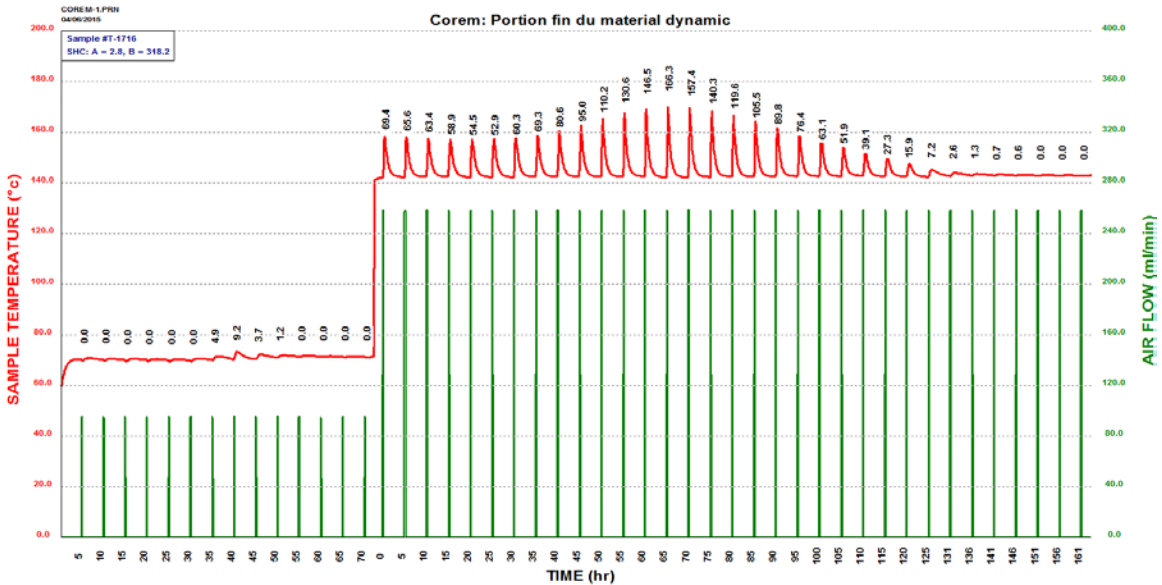
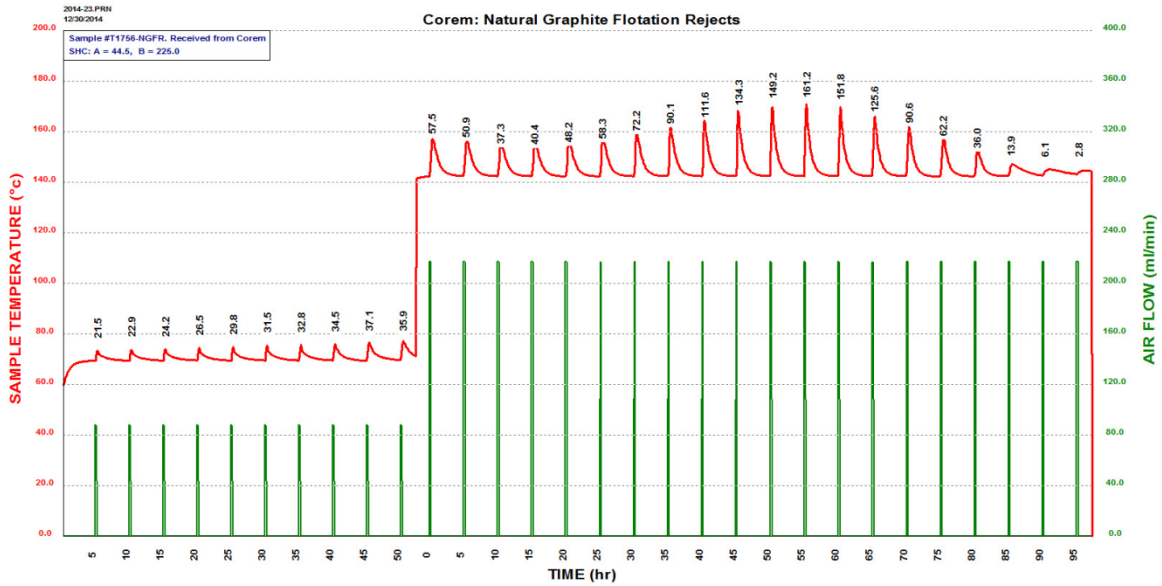
3. The Feed sample exhibits very moderate Stage A SHC and higher Stage B SHC placing it in Risk Region 4 (*Recommend Monitoring*). Mineralogical variability in this material could make it more or less reactive than the sample tested.
4. There appears to be a plausible relationship between Stage A SHC and the carbon/sulphur ratio in the sample. The relationship is strongly non-linear resulting in a significant decrease in SHC as the carbon/sulphur ratio increases. The relationship is a similar one for Stage A SHC versus Sulphur content.

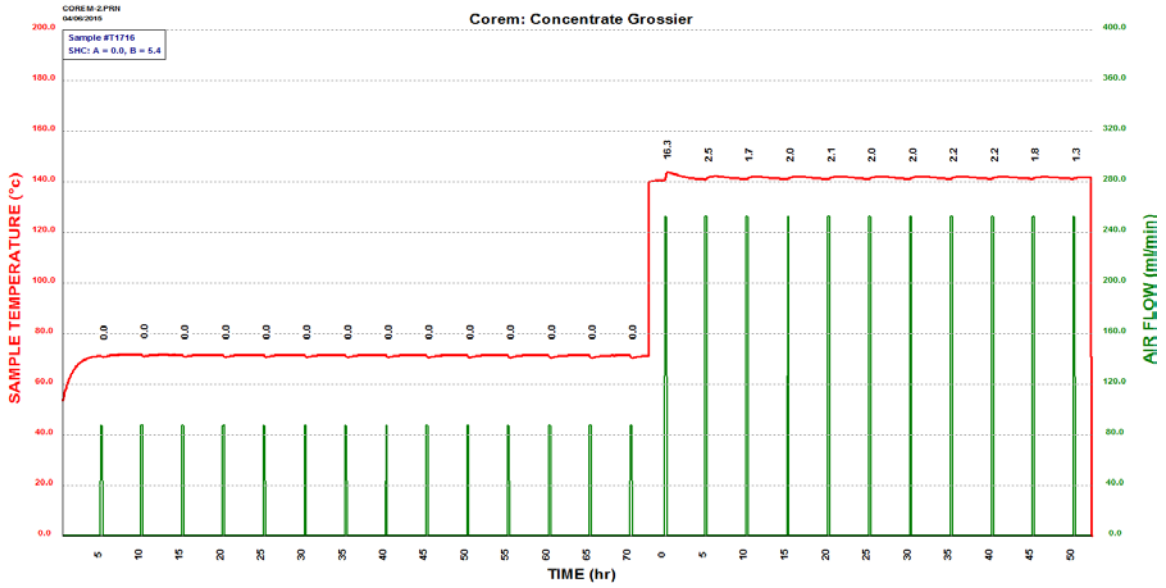
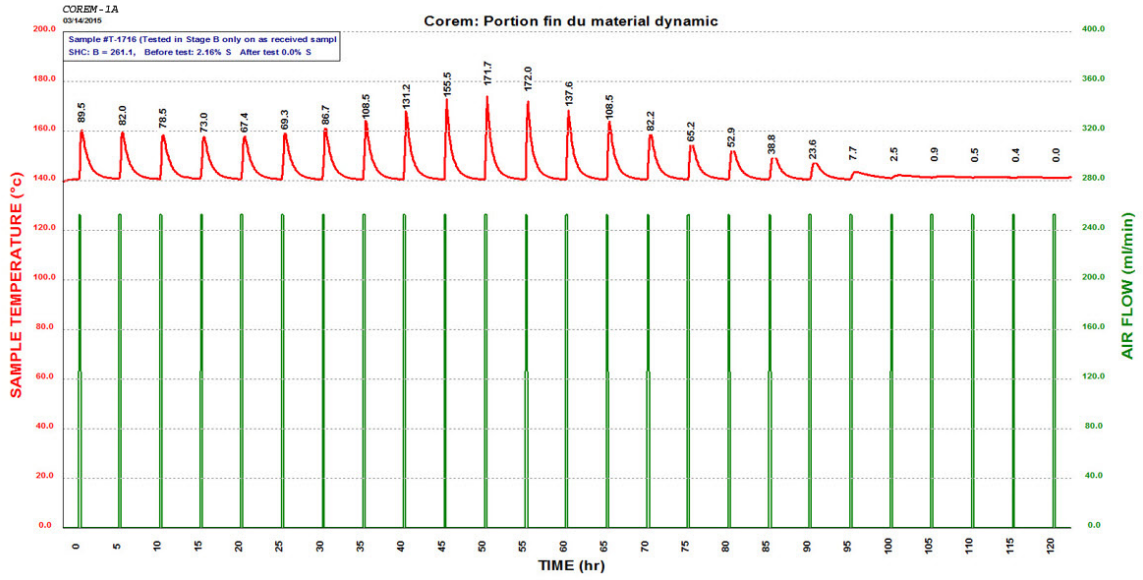
Respectfully Submitted,

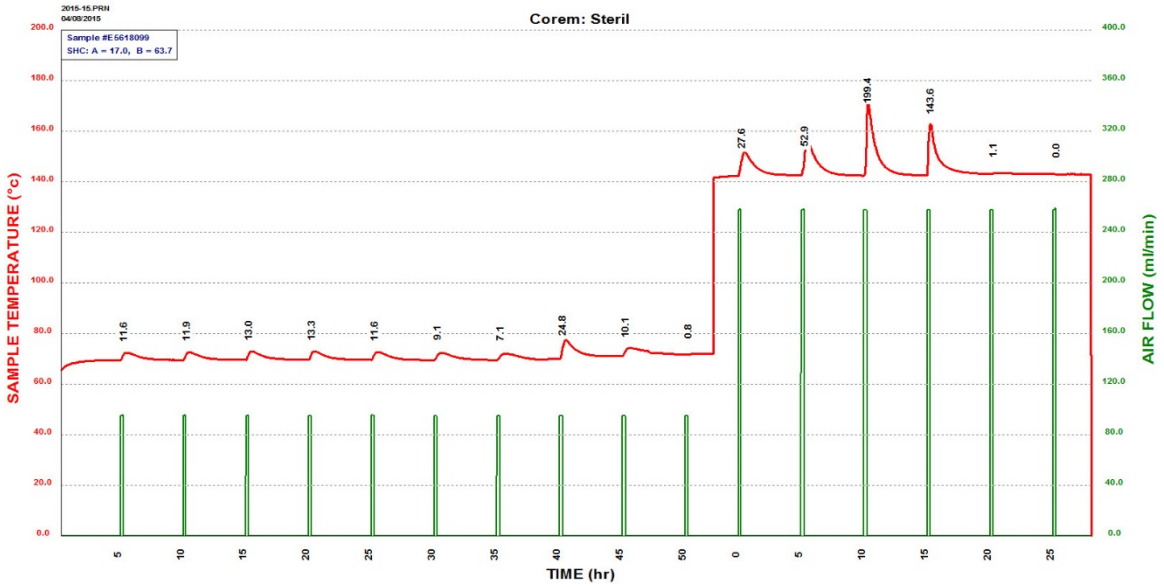
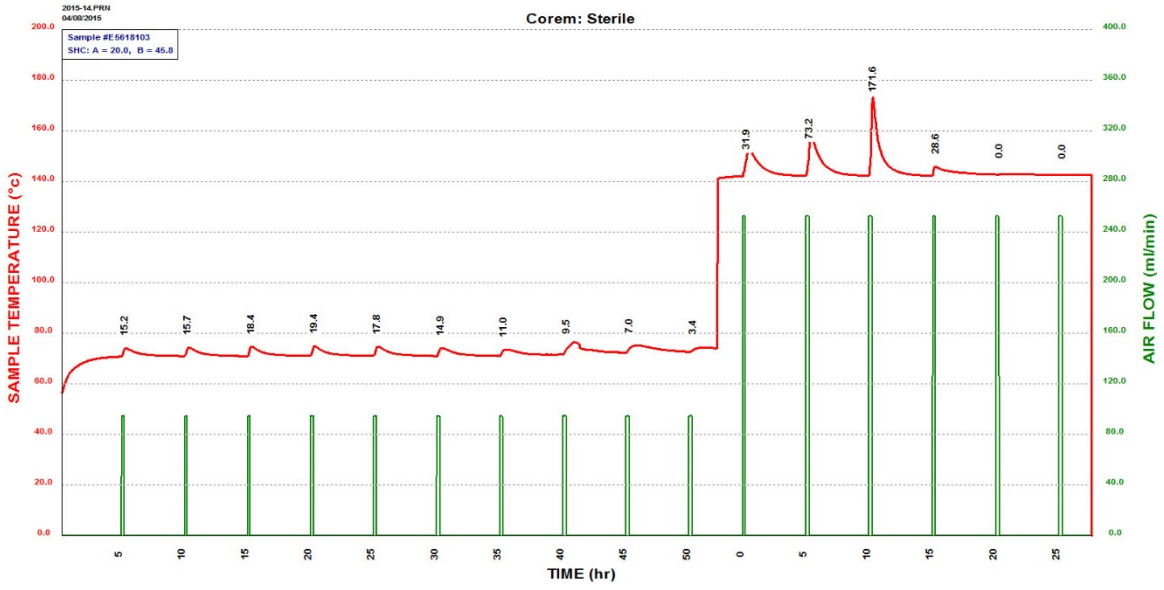
A handwritten signature in blue ink, appearing to read "J. E. Nessel". The signature is fluid and cursive, with a large loop at the end of the last name.

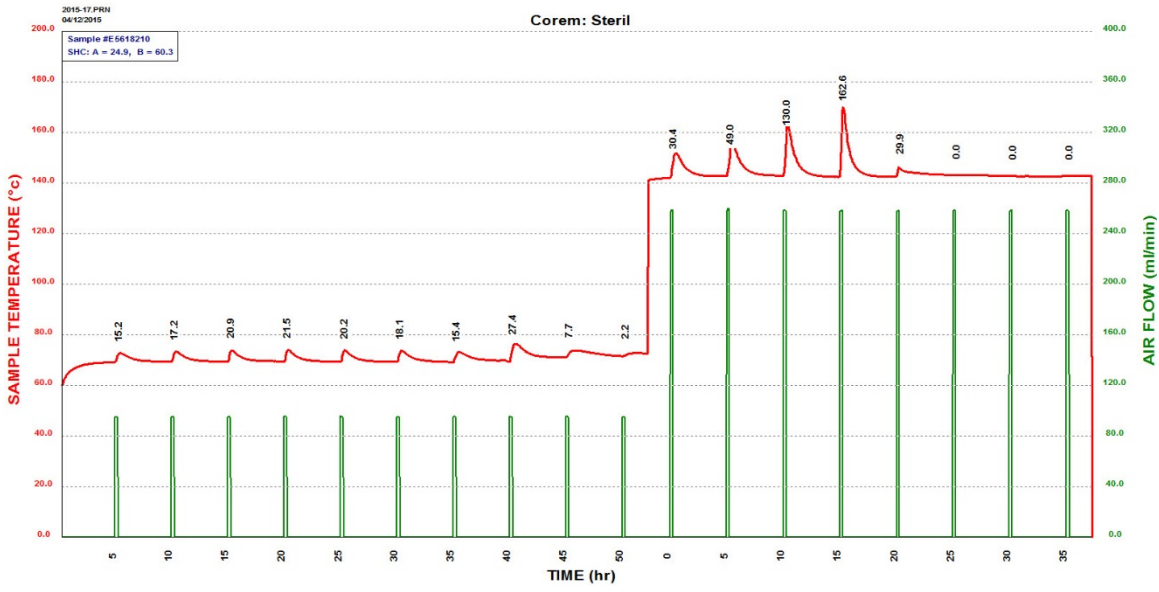
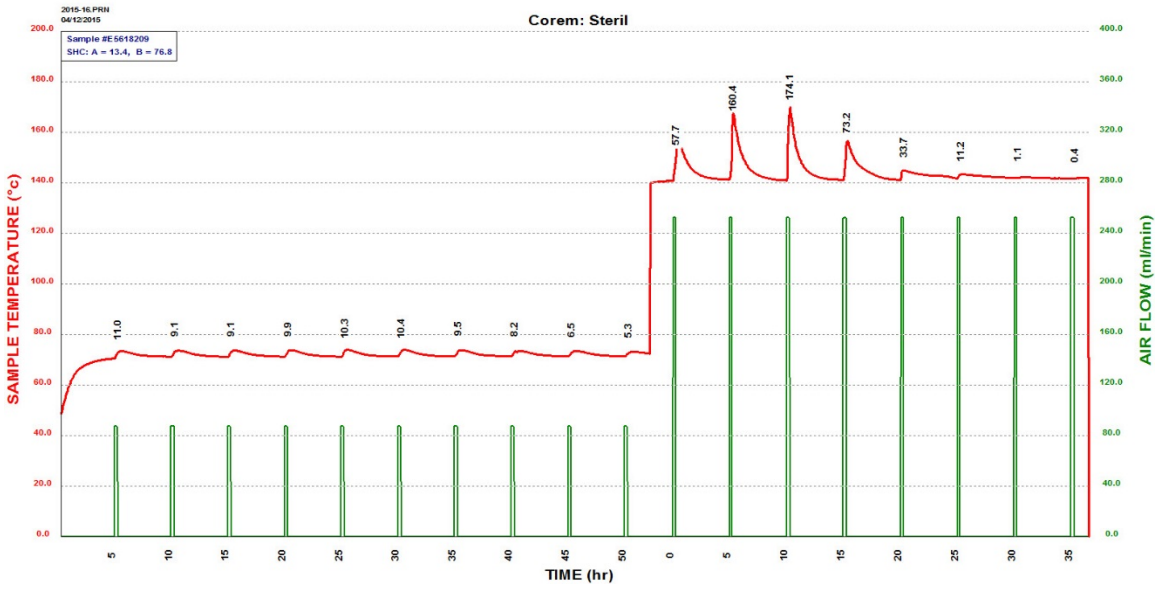
J. E. Nessel, P.Eng (ON) PhD

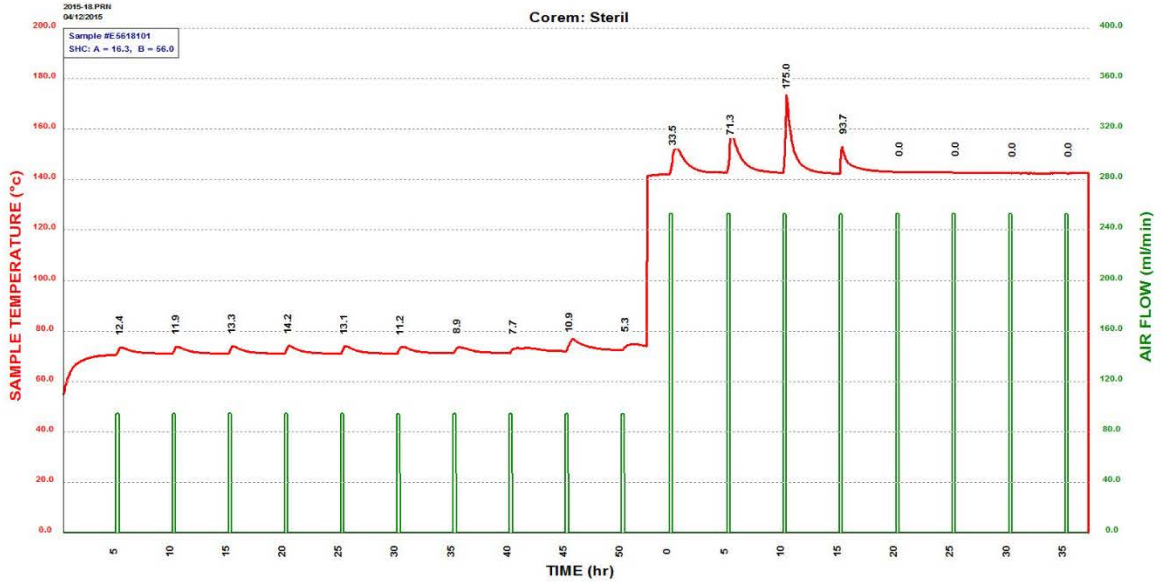
APPENDIX – Self heating thermograms for the tailings, concentrate, feed and waste rock samples for the Mason Graphite project.











Annexe D

Essais cinétiques sur rejets miniers de Mason Graphite (URSTM, 2016)



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

Rapport final
PU-2014-12-946

***ESSAIS CINÉTIQUES
SUR REJETS MINIERES
DE MASON GRAPHITE***

Pour :

M^{me} Jacqueline Leroux
Directrice développement durable
Mason Graphite
3030, boul. Le Carrefour, bureau 600
Laval (Québec) H7T 2P5

Par :

Mathieu Villeneuve, chimiste, M.Sc.A.
Benoît Plante, Ph.D.

URSTM

Unité de recherche et de service en technologie minérale

445, boul. de l'Université, Rouyn-Noranda (Québec) J9X 5E4
Téléphone : 819-762-0971, poste 2558 Télécopieur : 819-797-6672

JUILLET 2016

Table des matières

	Page
1. Introduction	1
2. Matériaux	1
3. Méthodes	1
3.1 Caractérisations physiques des matériaux	1
3.2 Caractérisations chimiques et minéralogiques de l'échantillon solide	2
3.3 Essais statiques de prédiction du PGA	3
3.4 Essais en colonne	3
4. Résultats	4
4.1 Caractérisation des composites	4
4.2 Résultats des essais cinétiques	7
4.2.1 Informations générales	7
4.2.2 Paramètres physicochimiques	8
4.2.3 Évolution des métaux normés	10
4.2.4 Éléments associés au drainage minier acide	14
5. Conclusions	18
6. Recommandations	19
7. Références	20

Liste des tableaux

Tableau 1 : Constitution des composites pour les essais	2
Tableau 2 : Principales caractéristiques physiques des composites	5
Tableau 3 : Composition chimique des composites et résultats des essais statiques	6
Tableau 4 : Composition minéralogique semi-quantitative par DRX	7

Liste des figures

Figure 1 : Montages pour les colonnes de minerai (gauche) et de résidus (droite)	4
Figure 2 : Courbes granulométriques des composites	5
Figure 3 : Évolution du pH dans les rinçages des essais en colonnes	8
Figure 4 : Évolution de la conductivité dans les rinçages des essais en colonnes	9

Figure 5 : Évolution du potentiel d'oxydoréduction (Eh) dans les rinçages des essais en colonnes	9
Figure 6 : Évolution de l'acidité dans les rinçages des essais en colonnes	10
Figure 7 : Évolution des concentrations en As dans les rinçages des essais en colonnes	12
Figure 8 : Évolution des concentrations en Cu dans les rinçages des essais en colonnes	12
Figure 9 : Évolution des concentrations en Fe dans les rinçages des essais en colonnes	13
Figure 10 : Évolution des concentrations en Ni dans les rinçages des essais en colonnes	13
Figure 11 : Évolution des concentrations en Pb dans les rinçages des essais en colonnes	14
Figure 12 : Évolution des concentrations en Zn dans les rinçages des essais en colonnes	14
Figure 13 : Évolution des concentrations et des charges cumulées en S_{total} lors des deux essais en colonnes	16
Figure 14 : Évolution des concentrations et des charges cumulées en A) Ca, B) Mg et C) Mn lors des deux essais en colonnes	17
Figure 15 : Courbes d'oxydation-neutralisation des deux essais en colonnes	18

1. Introduction

M^{me} Jacqueline Leroux de Mason Graphite (ci-après nommée « la cliente ») a mandaté l'Unité de recherche et de service en technologie minérale de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (URSTM-UQAT) pour la réalisation de deux essais cinétiques sur composites de minerai et de résidus de traitement de récupération du graphite de leur projet Lac Guéret.

Des essais statiques de détermination du potentiel de génération de drainage minier acide (DMA) avaient démontré que les matériaux issus du projet Lac Guéret seraient acidogènes. Le but du présent projet était donc de tester les matériaux (minerai et résidus) dans des essais cinétiques pour valider ou infirmer ces résultats.

Les parties suivantes présenteront une description et une caractérisation des matériaux testés, après quoi les résultats des essais cinétiques en colonnes seront présentés et discutés.

2. Matériaux

Les échantillons ont été réceptionnés dans des seaux (résidus) et des sacs (minerai). Les sous-échantillons reçus ont été mélangés et homogénéisés dans les proportions présentées au *tableau 1* pour produire un composite de minerai et un de résidus. Ceux-ci ont été placés dans des essais en colonne tels quels, sans autre réduction de taille ou préparation. Un concassage et une pulvérisation supplémentaires ont été réalisés sur des sous-échantillons représentatifs afin de satisfaire les exigences des analyses chimiques (le composite de minerai pulvérisé porte le numéro U50575).

3. Méthodes

3.1 Caractérisations physiques des matériaux

Les paramètres physiques suivants ont été caractérisés avant le lancement des essais cinétiques :

- Distribution granulométrique par granulomètre laser (résidu) ou tamisage (minerai);
- Densité relative par pycnomètre à l'hélium;
- Surface spécifique par adsorption d'hélium BET (résidu);
- Surface spécifique estimée pour les matériaux grossiers à partir de la distribution granulométrique des grains selon l'équation de Chapuis et Legaré (1992), voir aussi Chapuis et Aubertin (2003) (minerai).

Tableau 1 : Constitution des composites pour les essais

Composite Minéral Mason		(U40750)
# labo	Nom échantillon	Masse disponible ¹
U40740	Avant Cône	3,57
U40741	Avant Cône #22	2,52
U40742	Avant Cône #35	3,16
U40743	Avant Cône #58	3,29
U40744	Avant Cône #8	4,41
U40745	Avant Cône #13	4,88
U40746	Avant Cône #40	4,12
U40747	Avant Cône #50	1,86
TOTAL		27,81
Composite Résidu Mason		(U40751)
# labo	Nom échantillon	Masse disponible ¹
U40748	Résidu du pilote 1-2	13,22
U40749	Résidu du pilote 2-2	14,13
TOTAL		27,35

¹ Les masses approximatives incluent les sacs ou les seaux, le cas échéant.

3.2 Caractérisations chimiques et minéralogiques de l'échantillon solide

Les analyses chimiques complètes du solide sont nécessaires à l'interprétation des résultats des essais cinétiques. Il est à noter que ce type d'analyse est complémentaire à une analyse type « métaux disponibles pour l'environnement » (méthode MA. 200 - Mét. 1.2 du CEAEQ) déjà obtenue par la cliente. En effet, la digestion utilisée à l'URSTM-UQAT est dite semi-quantitative et dissout la quasi-totalité des métaux et anions dans un solide, et non seulement la portion disponible pour l'environnement.

Les échantillons initiaux ont donc été soumis à une analyse chimique par ICP-AES suite à une digestion complète par HNO₃/Br₂/HF/HCl aux laboratoires de l'URSTM-UQAT. Cette analyse comprend les éléments suivants : Al, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, S, Sb, Sn, Ti, Zn. Les métaux lourds (As, Be, Bi, Sb, Se, Te) sont aussi analysés par ICP-AES suite à une digestion adaptée à leur nature plus volatile.

Une analyse minéralogique semi-quantitative par diffraction des rayons X (DRX) couplée à la méthode Rietveld (1993) a été réalisée sur les deux composites. La semi-quantification obtenue est aussi réconciliée avec les résultats des analyses chimiques pour un meilleur résultat. À ce titre, une estimation du Si par analyse par fluorescence des rayons X (FRX) a aussi été réalisée (en plus des analyses mentionnées ci-dessus). Une bonne connaissance des phases minéralogiques principales des matériaux permet une meilleure interprétation des résultats des essais cinétiques.

3.3 Essais statiques de prédiction du PGA

Des essais statiques de détermination du potentiel de génération d'acide (PGA) ont été réalisés sur les deux composites placés en colonnes. Ces essais dressent le bilan entre le potentiel de génération d'acidité (PA) d'un matériel, qui est relié à la présence de minéraux sulfureux, et son potentiel de neutralisation de l'acidité (PN), qui est principalement relié aux minéraux carbonatés et à certains silicates. Ces essais incluent :

- la détermination du soufre et du carbone totaux (S_{total} , C_{total}) par fournaise à induction;
- la détermination du soufre sous forme sulfate (S_{sulfate});
- le calcul du potentiel d'acidité ($PA = 31,25 \times \%S_{\text{sulfures}}$, où $\%S_{\text{sulfures}} = \%S_{\text{total}} - \%S_{\text{sulfates}}$);
- la détermination du potentiel de neutralisation (PN) par la méthode de Sobek *et al.* (1978) modifiée par Lawrence et Wang (1996);
- le calcul de potentiel net de neutralisation ($PNN = PN - PA$) et le calcul du ratio PN/PA.

3.4 Essais en colonne

Ce type d'essais, largement utilisé en Amérique du Nord, est réalisé dans une colonne de plexiglas spécialement conçue; celle-ci mesure 14 cm de diamètre par environ 1 m de hauteur. Une masse de 15 kg de chacun des composites a été mise en place par déposition de couches successives. Le composite de résidus de concentrateur a été pilonné à une porosité (environ 0,4) similaire à celle d'un parc à résidus réel (hauteur finale de 75 cm). Le composite de minerai n'a pas été pilonné, puisqu'on cherche à représenter une déposition en tas de minerais ou de stériles (hauteur finale de 53 cm). Les rinçages des essais en colonne sont réalisés mensuellement avec 2 l d'eau déminéralisée, et les lixiviats sont analysés pour les paramètres suivants : pH, Eh, conductivité, acidité, alcalinité et éléments par ICP-AES (Al, Ag, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, S_{total} , Si, Sr, Te, Ti, Tl, U, V, Zn) et ICP-MS (As, Pb, Sb, Se). La durée totale des essais est d'un peu plus d'une année (douze rinçages mensuels). En raison d'une confusion de l'horaire, le 12^e rinçage a eu lieu deux mois après le 11^e rinçage. Aussi, le 4^e rinçage n'a pas pu être analysé en ICP-MS suite à la disposition prématurée des tubes d'essais (tous les autres paramètres ont tout de même été analysés). Il s'agit des deux seuls écarts au protocole encourus pendant l'essai.

Entre les rinçages, une succion de 1 m d'eau est appliquée au bas de la colonne de résidus pour permettre une désaturation similaire aux premières couches d'un véritable parc à rejets de concentrateur. De par leur nature (grande porosité), il a été impossible d'appliquer une succion à la base de la colonne de minerai, mais cette dernière se drainait naturellement lors des rinçages. Les colonnes sont laissées exposées à l'air du laboratoire (température de 20 à 25°C et humidité de 40 à 75 %) entre les rinçages. Les montages sont présentés à la *figure 1*.



Figure 1 : Montages pour les colonnes de minerai (gauche) et de résidus (droite)

4. Résultats

4.1 Caractérisation des composites

Le *tableau 2* présente les principales caractéristiques physiques des composites placés dans les essais cinétiques; le *tableau 3*, quant à lui, indique les compositions chimiques et les résultats des essais statiques de détermination du PGA, et le *tableau 4* montre la composition minéralogique (semi-quantitative) à partir de la diffraction des rayons X (DRX) et la réconciliation avec la composition chimique.

La *figure 2* montre les courbes granulométriques des deux composites testés, alors que le *tableau 2* résume les paramètres importants de ces distributions. On observe que le composite de minerai est beaucoup plus grossier que le résidu post-traitement, avec un D_{50} de 4 mm par rapport à 26 μm pour le résidu. Cette différence est aussi notable dans la valeur de surface spécifique (S.S.) (estimation des surfaces des grains disponibles pour réaction), alors qu'elle est de 0,66 m^2/g pour le minerai et de 3 m^2/g pour le résidu. Il y a donc beaucoup plus de surface exposée aux réactions pour le résidu que pour le minerai.

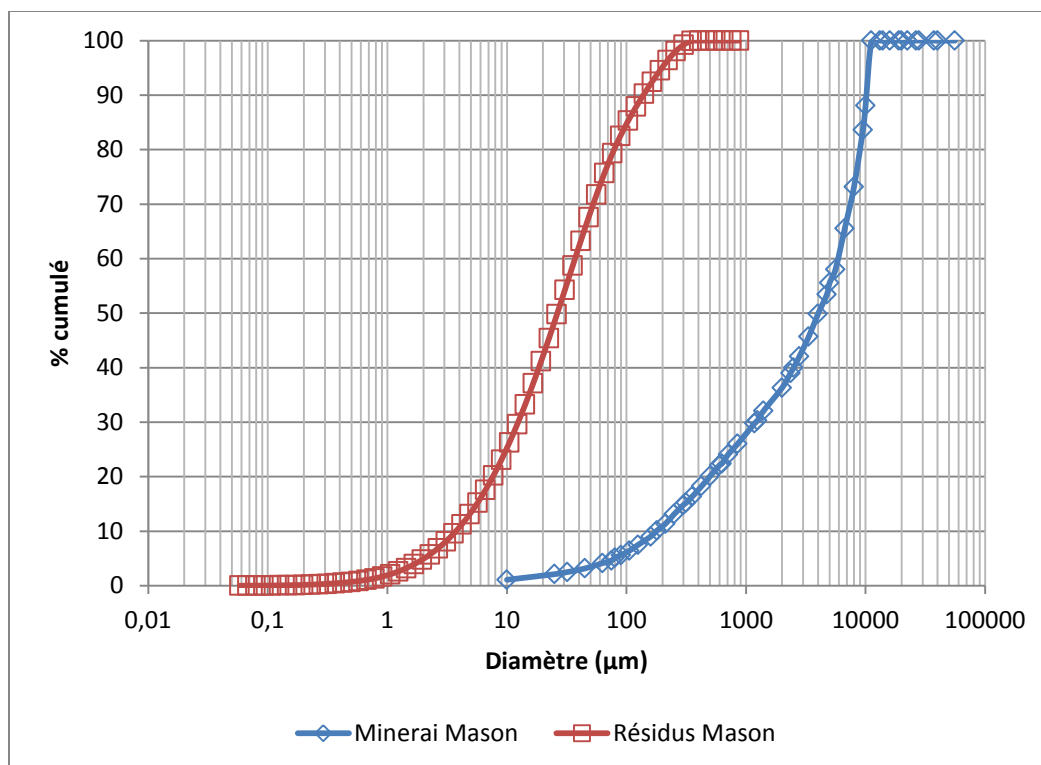


Figure 2 : Courbes granulométriques des composites

Tableau 2 : Principales caractéristiques physiques des composites

Paramètre	Densité	S.S.	D ₁₀	D ₅₀	D ₉₀	%passant 80µm
Unités	g/cm ³	m ² /g	µm	µm	µm	%
Composite Résidu Mason	2,977	3,01	3,7	26,4	138,6	80
Composite Minerai Mason	2,785	0,66	180	4000	10000	5

Les principales observations qu'on peut tirer des données de caractérisations chimiques et minéralogiques (*tableaux 3 et 4*) démontrent que les matériaux ont des teneurs élevées en sulfures (principalement pyrrhotite, et traces de pyrite, sphalérite et chalcopryrite). Les matériaux comportent aussi très peu de minéraux neutralisants (principalement la dolomite). Le bilan des essais statiques est conséquent avec ces observations avec des potentiels acides (PA) fortement positifs (respectivement 347 et 259 kg CaCO₃/t pour les résidus et le minerai) et des potentiels de neutralisation (PN) presque inexistant, si bien que les potentiels nets de neutralisation (PNN) sont fortement négatifs et le ratio PN/PA très faible (*tableau 3*). De plus, comme les résidus et le minerai contiennent des concentrations non négligeables de métaux normés à l'effluent final par la *Directive 019* (As, Cu, Fe, Pb, Zn), une attention particulière a été portée à leur évolution dans les eaux de rinçage des essais en colonnes.

Tableau 4 : Composition minéralogique semi-quantitative par DRX

Minéral	Formule	Composite Résidu Mason (U40751)	Composite Minéral Mason (U40757)
Graphite	C	11,1	36,9
Quartz	SiO ₂	27,0	15,0
Labradorite	Na _{0,4} Ca _{0,6} Al _{1,6} Si _{2,4} O ₈	2,2	4,2
Phlogopite	KMg ₃ AlSi ₃ O ₁₀ F(OH)	0,7	8,0
Chamosite	(Fe ⁺⁺ ,Mg,Fe ⁺⁺⁺) ₅ Al(Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,O) ₈	8,1	7,1
Sanidine	(K,Na)(Si,Al) ₄ O ₈	13,1	n/d
Titanite	CaTiSiO ₅	4,9	4,2
Dolomite	CaMg(CO ₃) ₂	3,2	2,4
Pyrite	FeS ₂	0,7	1,5
Pyrrhotite	Fe _(1-x) S (x=0-0.17)	28,5	20,0
Sphalerite	(Zn,Fe)S	0,5	0,6
Chalcopryrite	CuFeS ₂	0,2	0,1
Galène	PbS	n/d	n/d
Total		100,0	100,0

Résultats en % massique
 n/d : non détecté

4.2 Résultats des essais cinétiques

4.2.1 Informations générales

Les résultats présentés dans les prochaines sections seront comparés, à titre indicatif seulement, avec les différents critères environnementaux pouvant être applicables aux exploitations minières au Québec, soit :

- la *Directive 019*, Tableau 1 : Exigences au point de déversement de l'effluent final (colonne I) (D019);
- le Règlement sur les effluents des mines de métaux, Annexe 4 : Limites permises pour certaines substances nocives (Colonne 2) (REMM);
- la Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés (PPSRTC), Annexe 2 :
 - ESFC : Eaux souterraines pour fins de consommation;
 - RESIE : Résurgence dans les eaux de surface ou infiltration dans les égouts.

Lorsque les valeurs obtenues étaient en-dessous des limites de détection des méthodes (LDM) analytiques, c'est la moitié de cette limite de détection qui est rapportée sur les graphes (approche conservatrice).

Pour plus de concision, seuls les paramètres-clefs sont présentés dans le présent rapport. Une version détaillée des résultats sera envoyée à la cliente par courriel sous format d'un fichier Excel regroupant tous les résultats d'analyses.

4.2.2 Paramètres physicochimiques

Les pH obtenus au cours des essais (*figure 3*) sont acides, avec des valeurs centrées sur une moyenne de 3,4 pour le minerai. Le pH dans les rinçages de l'essai sur les résidus a, pour sa part, débuté à un pH de 4,26 pour monter jusqu'à une valeur de 4,95 à 126 jours et ensuite redescendre graduellement pour rejoindre les valeurs de l'essai sur le minerai. Cette période de hausse du pH correspond aussi à une baisse de la conductivité (*figure 4*), du potentiel d'oxydoréduction (*figure 5*) ainsi que de l'acidité (*figure 6*). Ce sont là des phénomènes qui sont liés. On remarquera aussi (voir section 4.2.4) une diminution de la production en S_{total} ainsi qu'en éléments reliés à la neutralisation de l'acidité (Ca, Mg, Mn). Il s'agit peut-être d'une certaine période de latence avant que les processus géochimiques n'atteignent un état similaire à ceux observés dans l'essai sur le minerai. Il se pourrait que la nature fine du matériel favorise un maintien plus élevé de la teneur en eau, donc une plus faible disponibilité de l'oxygène. Les conditions géochimiques dans l'essai en colonne sur le minerai semblent, pour leur part, plus stables et les valeurs de pH, Eh, conductivité et acidité obtenues fluctuent moins que pour l'essai sur le minerai. Les résultats des analyses d'alcalinité ne sont pas montrés, car ils sont tous sous la limite de détection (1 mg $CaCO_3/l$).

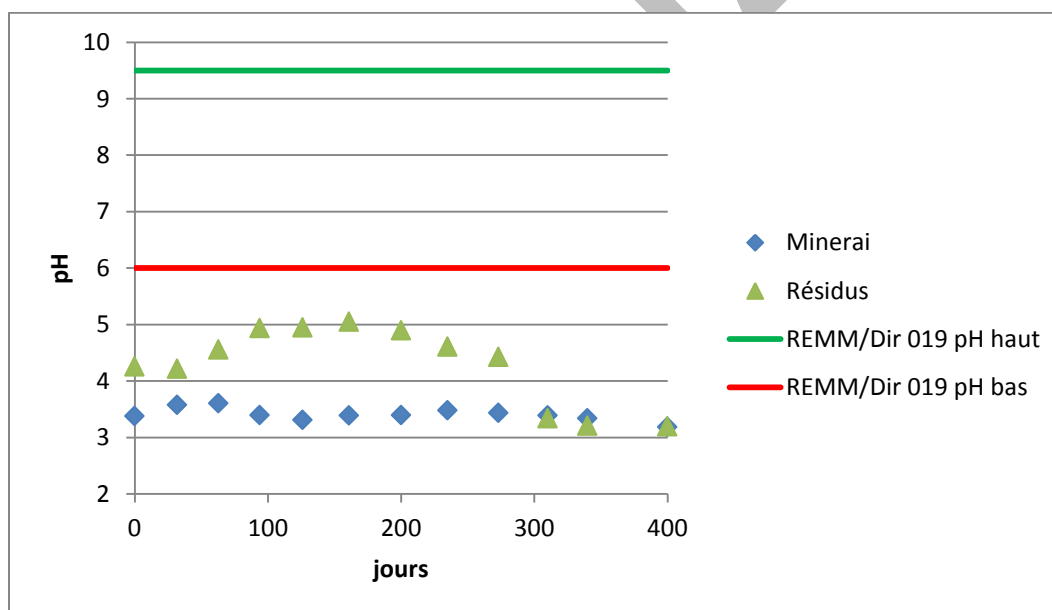


Figure 3 : Évolution du pH dans les rinçages des essais en colonnes

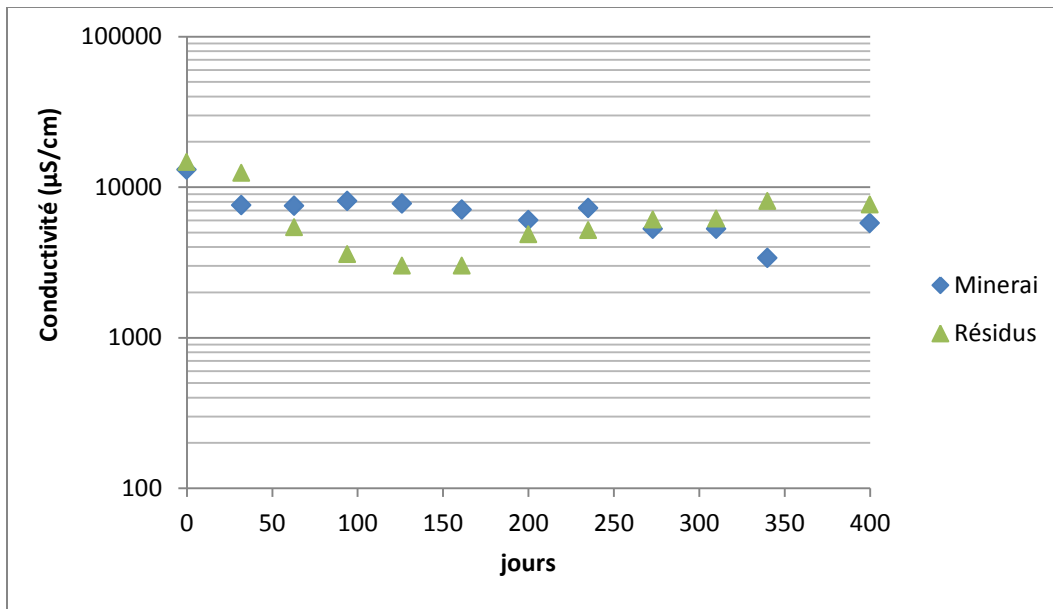


Figure 4 : Évolution de la conductivité dans les rinçages des essais en colonnes

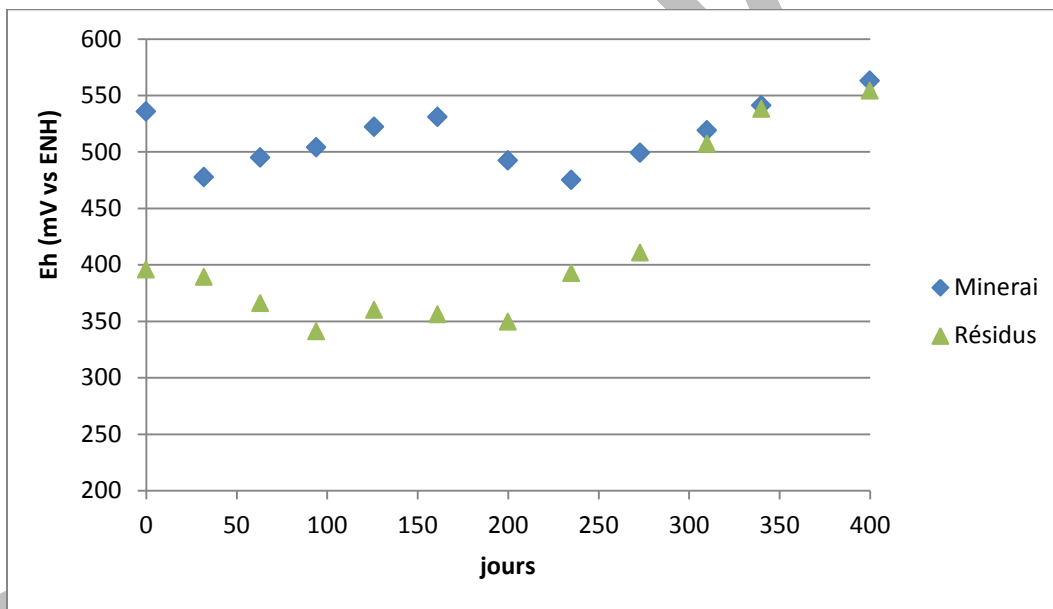


Figure 5 : Évolution du potentiel d'oxydoréduction (Eh) dans les rinçages des essais en colonnes

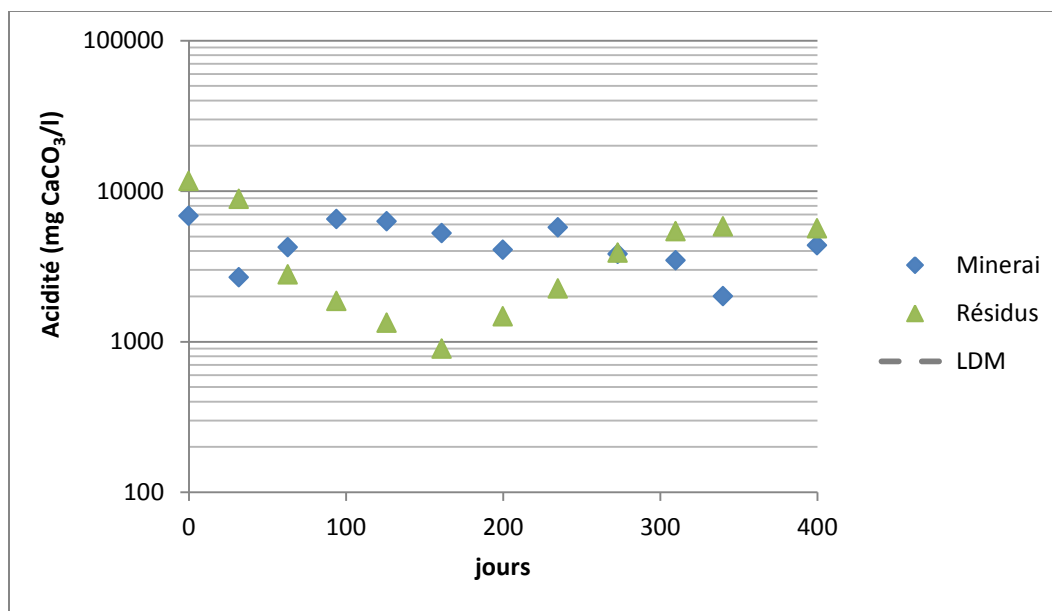


Figure 6 : Évolution de l'acidité dans les rinçages des essais en colonnes

4.2.3 Évolution des métaux normés

Les résultats d'analyse des métaux normés à l'effluent final des sites miniers, selon la *Directive 019* et le *REMM* dans les rinçages, sont présentés aux *figures 7 à 12*.

- L'arsenic (As) n'a pas provoqué de dépassement du *REMM* ou de la *Directive 019* (0,5 ou 0,2 mg As/l, respectivement), les analyses ICP-MS ont révélé que l'As dépasse le critère ESFC (0,025 mg As/l - à titre indicatif) à partir de 200 jours d'essais environ, mais demeure dans cet ordre de grandeur pour la suite des essais sur les deux matériaux;
- Le cuivre (Cu) s'est principalement maintenu sous la limite de détection de l'ICP-AES (0,003 mg Cu/l) pour la colonne de minerai, mais démontre une tendance à la hausse dans les rinçages de la colonne de résidus à partir du 126^e jour d'essai. La concentration en cuivre dépasse la barre des critères du *REMM* et de la *D019* (0,3 mg Cu/l) à partir d'environ 200 jours pour le résidu et les concentrations continuent de monter jusqu'à atteindre 7,75 mg Cu/l au 12^e rinçage;
- Le fer (Fe) dépasse largement l'exigence de la *Directive 019* (3 mg Fe/l) pour les deux essais en colonnes. Les concentrations se maintiennent à une moyenne d'environ 3 000 mg Fe/l pour l'essai sur le minerai. L'essai sur les résidus montre le même type de comportement que précédemment observé pour le pH et l'acidité. Notons que la solubilité du Fe est intimement liée au pH dans le drainage minier acide (DMA) et sa libération provient de l'oxydation de la pyrrhotite et des autres sulfures porteurs de Fe;
- Le nickel (Ni) dépasse systématiquement les exigences de la *Directive 019* et du *REMM* (toutes deux 0,5 mg Ni/l) dans tous les rinçages de l'essai sur le minerai, montrant une hausse régulière à partir d'environ 75 jours d'essai, pour atteindre 47,9 mg Ni/l au 12^e rinçage. Dans le cas de l'essai sur les résidus, les trois premiers rinçages dépassent la *Directive 019* et le *REMM*, mais les concentrations tendent à la baisse dans le temps pour se stabiliser à des valeurs légèrement au-dessus du critère ESFC (0,02 mg Ni/l);

- Les concentrations en plomb (Pb) dans les eaux de rinçage des deux essais en colonnes dépassent les exigences de la *Directive 019* et du *REMM* (toutes deux 0,2 mg Pb/l). Les dépassements ont lieu lors des 8 premiers rinçages de l'essai sur le minerai et les concentrations chutent sous le critère par la suite. Quant aux résidus, il y a dépassement du critère en début (2 premiers rinçages) et en fin d'essai (10^e et 11^e rinçages). L'évolution du Pb dans les rinçages de l'essai sur les résidus montre le même comportement qu'observé pour le Fe et le Zn;
- Le zinc (Zn) dépasse systématiquement les exigences de la *Directive 019* et du *REMM* (0,5 mg Zn/l) tout au long des 12 rinçages des deux matériaux testés. Les concentrations en Zn se stabilisent autour d'une valeur moyenne de 4,2 mg Zn/l pour l'essai sur le minerai. Pour l'essai sur les résidus, on observe la même tendance que pour plusieurs autres métaux, c'est-à-dire des valeurs élevées en début d'essai, une vallée à environ 3 mg Zn/l entre 100 et 240 jours, pour ensuite adopter une tendance à la hausse pour le reste de l'essai.

Le comportement géochimique du Cu et du Ni dans les essais en colonnes mérite une inspection plus en profondeur. En effet, bien que les composites de minerai et de résidus ont des concentrations très similaires entre elles en ce qui a trait au Cu et au Ni, ces derniers sont moins mobiles dans l'essai sur les résidus que dans celui sur le minerai. L'hypothèse formulée ici est que le contrôle de la concentration en Cu et Ni dans les lixiviats provient de deux phénomènes géochimiques différents : le contrôle cinétique ou le contrôle thermodynamique. Dans le cas du minerai, où le lixiviat circule très rapidement entre les grains grossiers, le contrôle est dit cinétique, puisque le débit rapide ne permet pas aux éventuelles réactions de précipitation ou sorption des métaux de se produire. En revanche, dans l'essai sur les résidus, le lixiviat met quelques jours à traverser la colonne (faible conductivité hydraulique) et les réactions de précipitation ou sorption des métaux auront le temps de se produire. Ce phénomène sera d'autant plus vrai si les formes précipitées ou sorbées des métaux sont plus stables thermodynamiquement, d'où le terme contrôle thermodynamique.

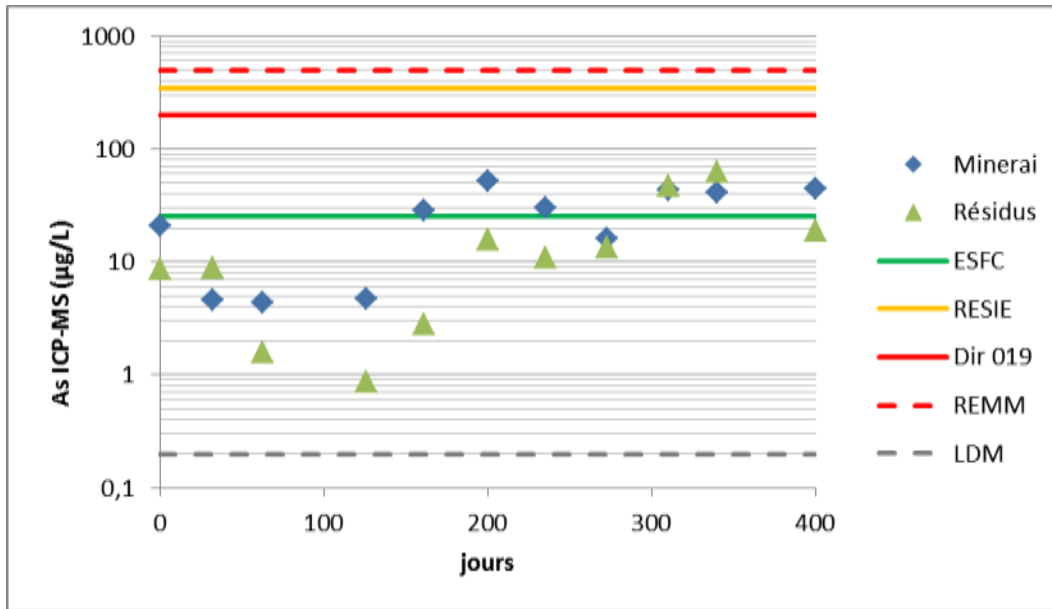


Figure 7 : Évolution des concentrations en As dans les rinçages des essais en colonnes

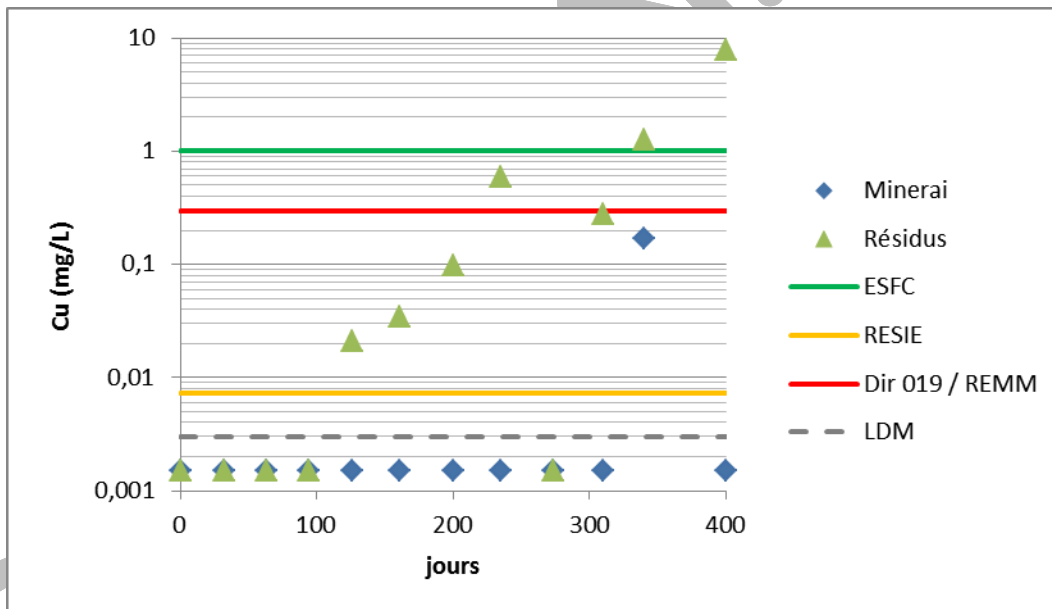


Figure 8 : Évolution des concentrations en Cu dans les rinçages des essais en colonnes

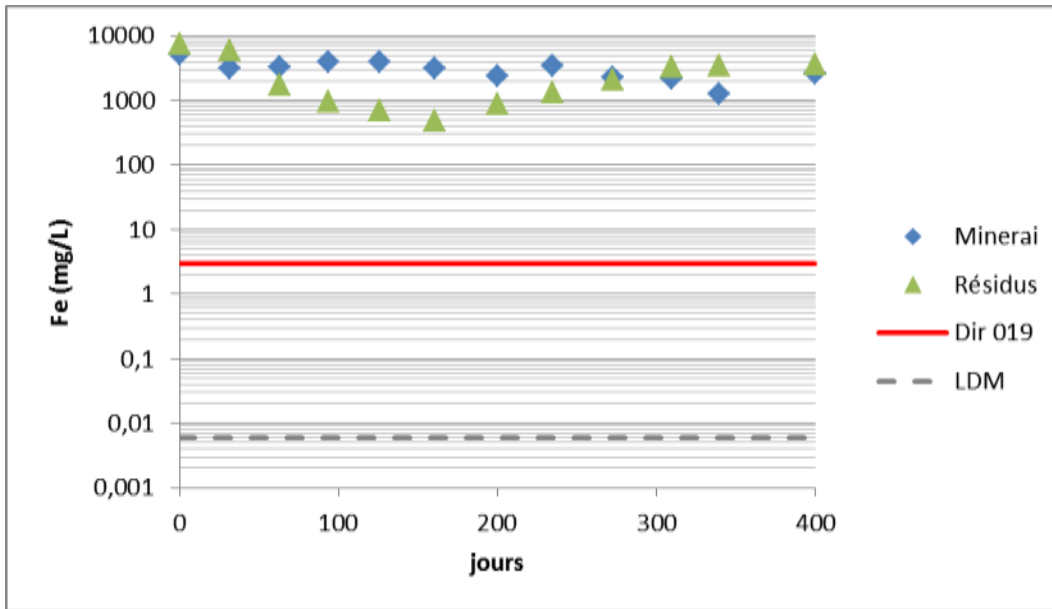


Figure 9 : Évolution des concentrations en Fe dans les rinçages des essais en colonnes

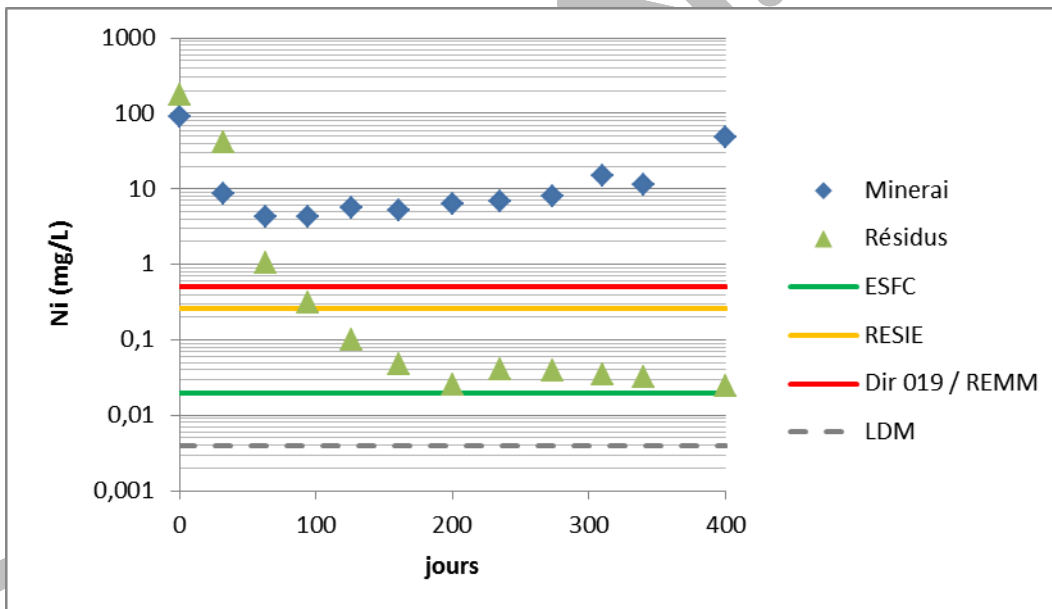


Figure 10 : Évolution des concentrations en Ni dans les rinçages des essais en colonnes

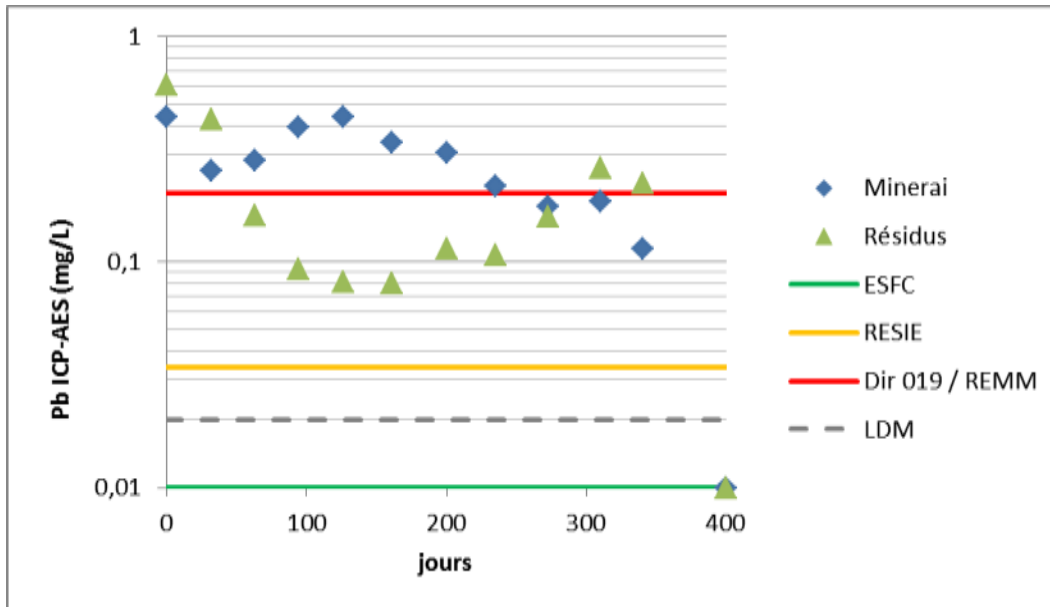


Figure 11 : Évolution des concentrations en Pb dans les rinçages des essais en colonnes

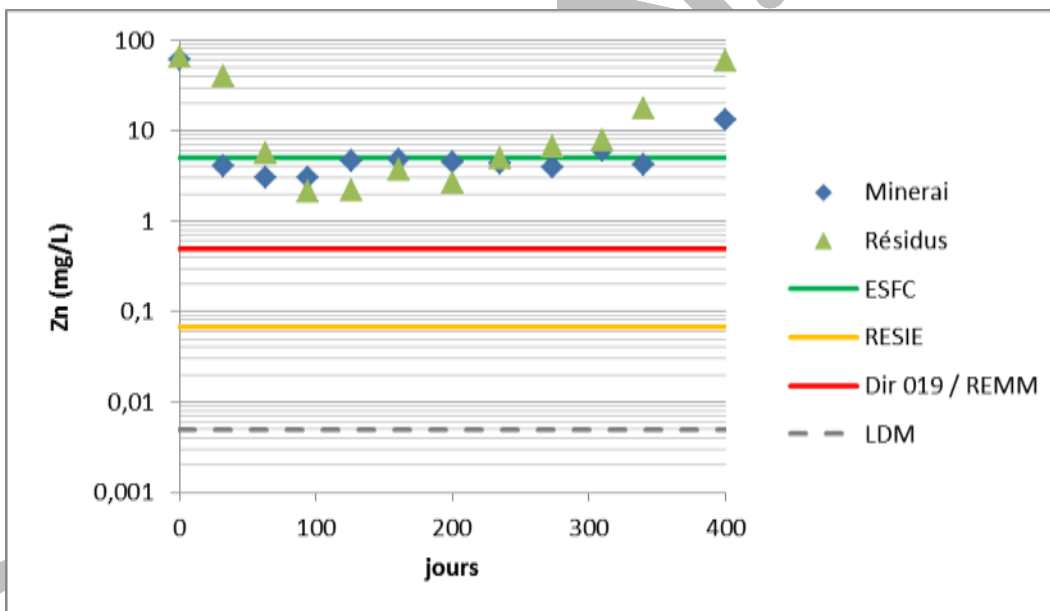


Figure 12 : Évolution des concentrations en Zn dans les rinçages des essais en colonnes

4.2.4 Éléments associés au drainage minier acide

Les éléments généralement associés aux phénomènes de production ou de neutralisation du drainage minier acide (DMA) que l'on trouvera dans les eaux de rinçage des essais cinétiques sont :

- S_{total} : indicateur des réactions d'oxydation des sulfures, donc de la production d'acidité;

- Ca, Mg, Mn : ces éléments sont libérés lors de la neutralisation de l'acidité *in situ* par des carbonates ou certains silicates. Dans le cas qui nous intéresse, la neutralisation est réalisée principalement par la dolomite (ou ankérite, les signaux DRX sont très similaires).

En plus de suivre les concentrations ponctuelles à chaque rinçage, il est important de suivre les charges cumulées en ces éléments de manière à pouvoir comparer les taux de production et d'évaluer aussi les variations de ces taux en cours d'essai. Les charges élémentaires émises à chaque rinçage sont calculées à partir de l'équation 1, celles-ci sont ensuite cumulées à celles des rinçages précédents selon l'équation 2. La normalisation par la masse totale de matériel déposé dans l'essai permet une meilleure comparaison entre différentes échelles d'essai ou si des masses différentes ont été utilisées.

$$C_n = c_n \times v_n \quad \text{[Équation 1]}$$

$$C_{cumul_i} = \frac{\sum_{n=1}^i C_n}{M} \quad \text{[Équation 2]}$$

où :

C_n = charge de l'élément au rinçage « n » (mg)

c_n = concentration de l'élément dans le rinçage « n » (mg/l)

v_n = volume récolté au rinçage « n » (l)

C_{cumul_i} = charge cumulée et normalisée de l'élément au rinçage « i » (mg/kg)

M = masse initiale de matériel sec déposé dans l'essai en colonne (kg)

La figure 13 montre les évolutions des concentrations et des charges cumulées et normalisées pour le S_{total} . On peut y observer le phénomène précédemment exposé (pH, Eh, conductivité, acidité, Fe, Pb, Zn) alors qu'il y a ralentissement du taux de production (diminution de la pente de la relation S_{total} versus temps) des jours 75 à 250 environ pour les résidus. Les chutes de concentration élémentaires pour cette période sont donc occasionnées par un ralentissement dans les taux d'oxydation des sulfures. Ce ralentissement peut être causé par un ensemble de facteurs, dont des phénomènes reliés à la consolidation, aux conditions hydrogéologiques et la disponibilité de l'oxygène. Le minerai a, pour sa part, un comportement plus classique observable en essais cinétiques où les taux de réaction sont supérieurs en début d'essai et se stabilisent ensuite à un taux plus faible (e.g. : Benzaazoua *et al.*, 2001, 2004; Villeneuve *et al.*, 2009). Plusieurs facteurs expliquent de tels comportements, tels que l'épuisement des particules fines et ultrafines, la passivation des surfaces ou encore l'épuisement graduel des sulfures facilement accessibles (en surface des grains).

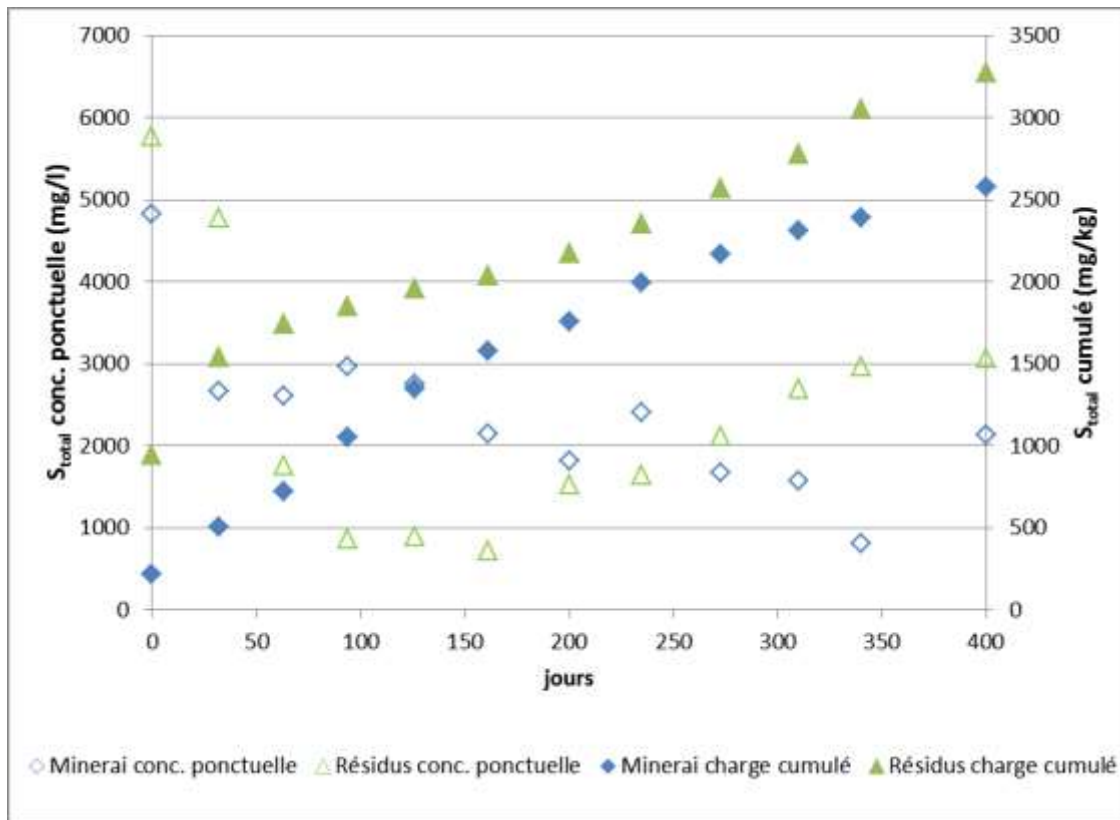


Figure 13 : Évolution des concentrations et des charges cumulées en S_{total} lors des deux essais en colonnes

La figure 14 montre les évolutions des concentrations ponctuelles ainsi que des charges cumulées des métaux liés à la neutralisation de l'acidité (Ca, Mg et Mn). Ces trois éléments ont des comportements relativement similaires entre eux.

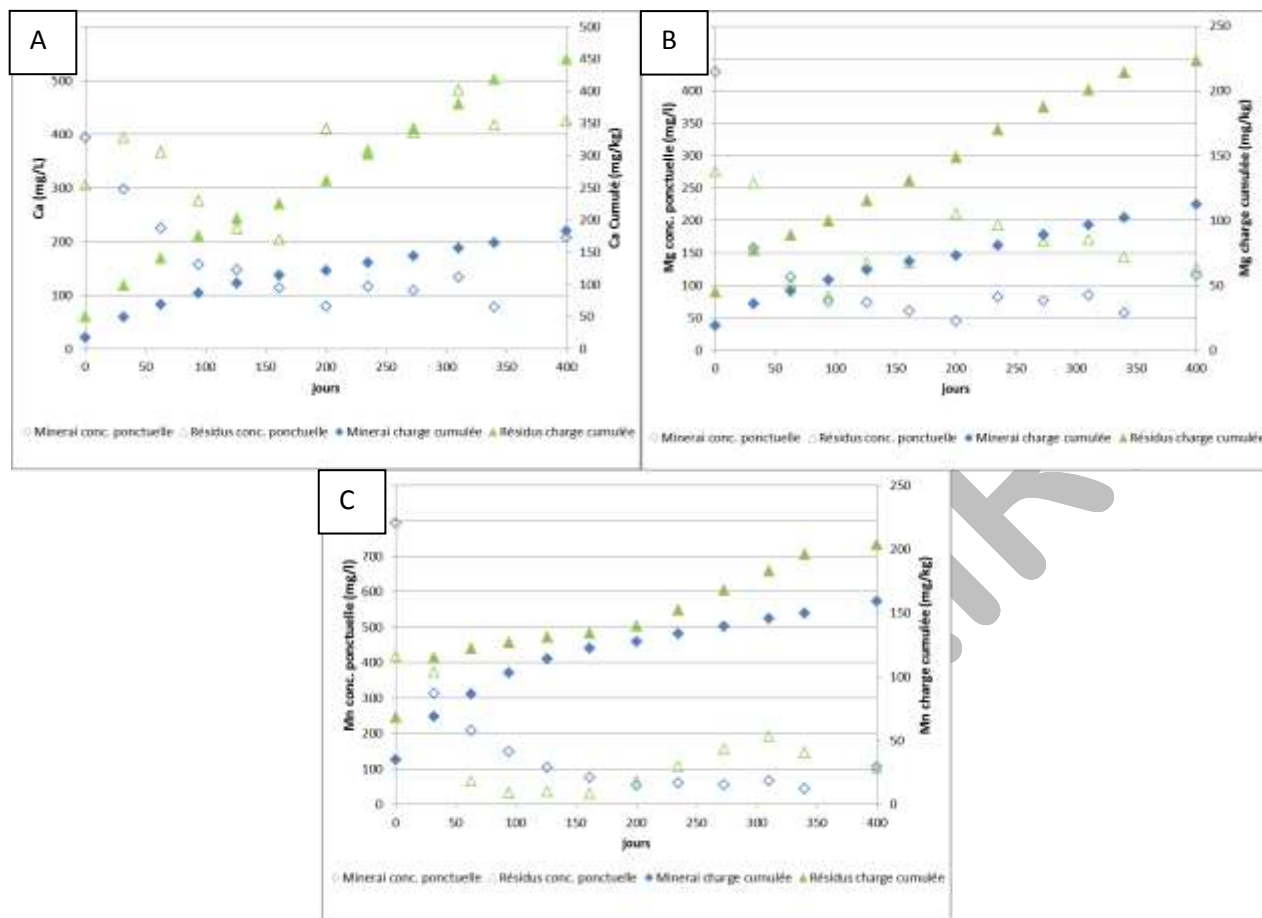


Figure 14 : Évolution des concentrations et des charges cumulées en A) Ca, B) Mg et C) Mn lors des deux essais en colonnes

Une technique de comparaison et d'interprétation des essais cinétiques initialement proposée par Benzaazoua *et al.* (2001, 2004) et ensuite largement utilisée par l'équipe de l'Institut de recherche en mines et environnement (IRME) (e.g. : Villeneuve, 2004, Villeneuve *et al.* 2009) consiste en l'élaboration de courbes d'oxydation-neutralisation. Ces graphes font intervenir en abscisse les charges cumulées et normalisées en S_{total} et en ordonnée la sommation des charges cumulées et normalisées en Ca, Mg et Mn (noté Ca+Mg+Mn). Dans de tels graphes, si la neutralisation est bien corrélée avec la production d'acidité, une relation linéaire est obtenue. En revanche, si la relation n'est pas linéaire et tend du côté de l'abscisse (comme c'est le cas pour les matériaux de l'étude - *figure 15*), cela dénote que les minéraux neutralisants ne réussissent pas à pallier à la production d'acidité (dans le cas présent, ils sont déficitaires et ce sont des carbonates lents à réagir en plus).

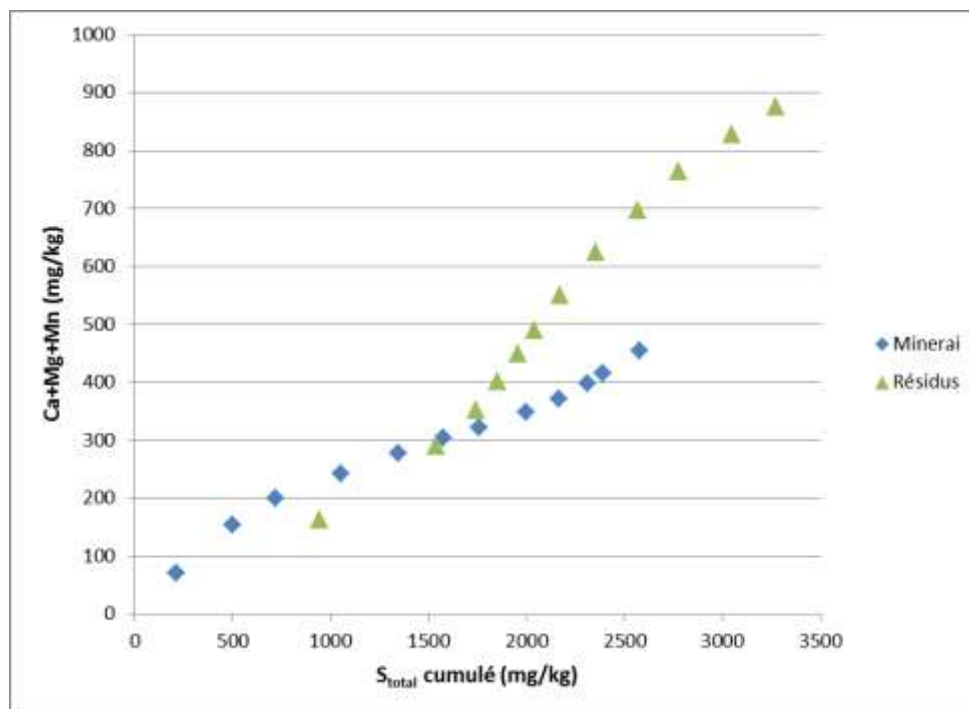


Figure 15 : Courbes d'oxydation-neutralisation des deux essais en colonnes

5. Conclusions

Les conclusions formulées dans ce rapport ne s'appliquent qu'aux échantillons soumis pour étude et aux conditions d'essais utilisées au cours de l'étude. Les principales observations et interprétations sont les suivantes.

- Deux matériaux ont été testés dans des essais cinétiques en colonnes, soit : un composite de minerai concassé passant 1 cm et un résidu post traitement minéralurgique type;
- Les deux matériaux ont des teneurs élevées en sulfures (principalement pyrrhotite et traces de pyrite, sphalérite et chalcopyrite);
- Les matériaux comportent très peu de minéraux neutralisants (principalement la dolomite ou ankérite);
- Le bilan des essais statiques classent les deux matériaux en tant que résidus miniers acidogènes;
- Le pH des rinçages des essais en colonnes a été acide à partir du premier jusqu'au dernier rinçage des deux matériaux. Le pH moyen obtenu lors de l'essai sur le minerai est de 3,4 et s'est maintenu relativement stable tout au long de l'essai. Le pH des rinçages des résidus a connu une période de hausse jusqu'à 5, mais était de l'ordre de 3,2 en fin d'essai;
- Pour ce qui est des métaux normés par la *Directive 019* et le *REMM*, on observe les dépassements suivants :
 - Cu : dépassement du critère (0,3 mg Cu/l) après 200 jours dans l'essai sur les résidus seulement. Le Cu a une tendance à la hausse en fin d'essai sur les résidus;

- Fe : les concentrations dépassent largement l'exigence de 3 mg Fe/l dans tous les rinçages des essais sur les deux matériaux, avec une moyenne d'environ 3000 mg Fe/l dans le cas du minerai et d'environ 2600 mg Fe/l pour l'essai sur les résidus;
 - Ni : dépassement systématique des concentrations permises (0,5 mg/l) tout au long de l'essai sur le minerai avec une franche tendance à la hausse jusqu'à la fin. Les concentrations en Ni démarrent à des valeurs plus élevées que l'exigence, mais se résorbent par la suite à des niveaux d'environ 0,02 mg Ni/l dans l'essai sur les résidus;
 - Pb : dépassement des concentrations permises lors des 8 premiers rinçages de l'essai sur le minerai et diminution par la suite sous le critère (0,2 mg Pb/l). Dans l'essai sur les résidus, seulement deux rinçages en début d'essai et deux rinçages en fin d'essai dépassent le critère;
 - Zn : dépassement systématique de l'exigence à l'effluent final (0,5 mg Zn/l) tout au long des 12 rinçages pour les deux essais.
- Une investigation des éléments représentant la production d'acidité (S_{total} – provenant de l'oxydation des sulfures) et la neutralisation par les carbonates (Ca, Mg, Mn) a validé ce que les essais statiques avaient prédit. Pour les deux matériaux, les neutralisants (principalement la dolomite) sont déficitaires et réagissent trop lentement pour ne pouvoir tamponner le pH, même pour les premiers rinçages;
 - Dans les conditions des essais en colonnes, aucune période de latence n'est observée avant la production de drainage minier acide (DMA).

6. Recommandations

Les essais en colonnes réalisés au cours de cette étude ont démontré que le minerai et les résidus fournis pour analyse sont générateurs d'acidité à court terme. Aucune période de latence entre leur mise en place et la production d'un DMA chargé de métaux n'a été observée en laboratoire. Les travaux futurs devront porter sur la prévention de l'apparition du DMA lors de l'opération de la mine. La cliente nous informe que les quantités de minerais à stocker seront faibles et facilement gérables de manière à ce qu'ils ne soient pas exposés aux pluies. En ce qui a trait au parc à résidus miniers, des efforts devront être déployés afin de contrôler un des deux paramètres-clefs pour limiter la production du DMA : limiter l'accès à l'oxygène ou l'accès à l'eau.

Certaines techniques peuvent être implémentées au fur et à mesure que les rejets sont déposés pour limiter ou empêcher la production d'acidité en attendant la construction d'une barrière de type couverture avec effets de barrières capillaires (CEBC) ou de type monocouche avec nappe surélevée. Différentes stratégies, telles que l'ajout de matériaux neutralisants avec ou sans effet de cimentation, pourraient être testées en laboratoire, par exemple avec des essais en colonnes. De telles études de scénarios de gestion des rejets utilisant différentes méthodes de recouvrement (e.g. Demers *et al.*, 2008; Awoh *et al.*, 2014) ou d'amendements et cimentation (e.g. Benzaazoua *et al.*, 2008; Hakkou *et al.*, 2009) ont déjà été effectuées par le groupe de l'IRME-UQAT et leurs collaborateurs auparavant. La désulfuration environnementale

pourrait également être envisagée de façon à produire un faible volume de concentré de sulfures générateur de DMA et un grand volume de rejets désulfurés qui ne seraient pas générateurs d'acide (à valider par essais cinétiques).

En ce qui concerne les comportements géochimiques observés pour les métaux, dont le Cu et le Ni, une caractérisation minéralogique poussée visant la spéciation des minéraux porteurs de métaux pourrait être envisagée. Une étude sur les capacités de sorption des stériles miniers pourrait aussi être intéressante et permettrait peut-être de trancher quant aux comportements de lixiviation différents observés entre les résidus et le minerai.

7. Références

- AWOH, A.-S., MBONIMPA, M., BUSSIÈRE, B., PLANTE, B., BOUZAHZAH, H. (2014). Laboratory Study of Highly Pyritic Tailings Submerged Beneath a Water Cover Under Various Hydrodynamic Conditions. *Mine Water and the Environment* 33, 241-255.
- BENZA AZOUA, M., BUSSIÈRE, B., et DAGENAIS, A.-M. (2001). Comparison of kinetic tests for sulphide mine tailings. *Tailings and Mine Waste '01*, Balkema, Rotterdam.
- BENZA AZOUA, M., BUSSIÈRE, B., DAGENAIS, A.-M. et ARCHAMBAULT, M. (2004). Kinetic tests comparison and interpretation for the prediction of the Joutel tailings acid generation potential. *Environmental Geology*, Article in press, available online, reference: 10.1007/s0025-004-1113-1.
- BENZA AZOUA, M., BUSSIÈRE, B., DEMERS, I., AUBERTIN, M., FRIED, E., BLIER, A. (2008). Integrated mine tailings management by combining environmental desulphurization and cemented paste backfill: Application to mine Doyon, Quebec, Canada. *Minerals Engineering* 21, 330-340.
- CHAPUIS, R.P., and LÉGARÉ, P.P. (1992). A simple method for determining the surface area of fine aggregates and fillers in bituminous mixtures. Effects of aggregates and mineral filler on asphalt mixture performance, *ASTM STP 1147*, pp. 177-186.
- CHAPUIS, R.P., and AUBERTIN, M. (2003). On the use of the kozeny-carman equation to predict the hydraulic conductivity of soils. *Canadian geotechnical journal*, 40(3): 616-628
- DEMERS, I., BUSSIÈRE, B., BENZA AZOUA, M., MBONIMPA, M., BLIER, A. (2008). Column test investigation on the performance of monolayer covers made of desulphurized tailings to prevent acid mine drainage. *Minerals Engineering* 21, 317-329.
- Directive 019 sur l'industrie minière – mars 2012*, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs.
- HAKKOU, R., BENZA AZOUA, M., BUSSIÈRE, B. (2009). Laboratory Evaluation of the Use of Alkaline Phosphate Wastes for the Control of Acidic Mine Drainage. *Mine Water and the Environment* 28, 206-218.
- LAWRENCE, R.W. et WANG, Y. (1996). Determination of Neutralization Potential for Acid Rock Drainage Prediction, MEND report 1.16.3.

PLANTE, B., BENZAAZOUA, M., BUSSIÈRE, B. (2011a). Predicting Geochemical Behaviour of Waste Rock with Low Acid Generating Potential Using Laboratory Kinetic Tests. *Mine Water and the Environment* 30, 2-21.

PLANTE, B., BENZAAZOUA, M., BUSSIÈRE, B. (2011b). Kinetic Testing and Sorption Studies by Modified Weathering Cells to Characterize the Potential to Generate Contaminated Neutral Drainage. *Mine Water and the Environment* 30, 22-37.

PPSRTC : <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/sol/terrains/politique/>, consulté août 2015.

PRICE, W.A. (2009). Prediction Manual for Drainage Chemistry from Sulphidic Geologic Materials. MEND report 1.20.1.

Règlement sur les effluents des mines de métaux (REMM). DORS/2002-222, VERSION 2008.

SOBEK, A.A., SCHULLER, W.A., FREEMAN, J.R. and SMITH, R.M. (1978). Field and Laboratory Methods Applicable to Overburdens and Minesoils. EPA-600/2-78-054.

VILLENEUVE, M. (2004). *Évaluation du comportement géochimique à long terme de rejets miniers à faible potentiel de génération d'acide à l'aide d'essais cinétiques*. Mémoire de maîtrise en génie minéral, École Polytechnique de Montréal.

VILLENEUVE, M., BUSSIÈRE, B., BENZAAZOUA, M., AUBERTIN, M. (2009). Assessment of interpretation methods for kinetic tests performed on low acid generating potential tailings. Paper presented at Securing the Future and 8th ICARD, Skellefteå, Sweden. June 23-26.

Mathieu Villeneuve

Benoît Plante

RÉSULTATS DES ESSAIS CINÉTIQUES EN COLONNE (URSTM, 2016)

Rinçage	#URSTM	Date	Masse contenant (g)	Masse du contenant avec eau (g)	Qts eau passé(g)	Temps (j)	Analyses Physicochimiques				
							pH	Eh (mv)	Conductivité (µMho)	Acidité l	Alcalinité l
CO-Mason Min-01	41121	2015-03-23	145,8	811,6	665,8	0	3,38	536	13040	6860	0,5
CO-Mason Min-02	41721	2015-04-24	145,8	1755	1609,2	32	3,58	478	7580	2681	0,5
CO-Mason Min-03	42217	2015-05-25	145,8	1420,2	1274,4	63	3,61	495	7500	4240	0,5
CO-Mason Min-04	42735	2015-06-25	145,8	1821,9	1676,1	94	3,4	504	8090	6520	0,5
CO-Mason Min-05	43858	2015-07-27	145,8	1754,1	1608,3	126	3,31	522	7770		
CO-Mason Min-06	44443	2015-08-31	145,8	1730,3	1584,5	161	3,39	530,8	7090	5264	0,5
CO-Mason Min-07	45608	2015-10-09	145,8	1665,2	1519,4	200	3,4	492,4	6040	4078	0,5
CO-Mason Min-08	46726	2015-11-13	145,8	1638,4	1492,6	235	3,48	474,9	7260		
CO-Mason Min-09	47339	2015-12-21	145,8	1667	1521,2	273	3,44	499,2	5270		
CO-Mason Min-10	48510	2016-01-27	145,8	1544,6	1398,8	310	3,39	519	5280		
CO-Mason Min-11	48923	2016-02-26	145,8	1636,9	1491,1	340	3,34	541	3390		
CO-Mason Min-12	50426	2016-04-26	145,8	1458,4	1312,6	400	3,19	563	5780		
min							3,19	474,9	3390	2681	0,5
max							3,61	563,0	13040	6860	0,5
moy							3,41	512,9	7008	4941	0,50

Rinçage	#URSTM	Date	Masse contenant (g)	Masse du contenant avec eau (g)	Qts eau passé(g)	Temps (j)	Analyses Physicochimiques				
							pH	Eh (mv)	Conductivité (µMho)	Acidité l	Alcalinité l
CO-Mason Res-01	41122	2015-03-23	146,5	2603,3	2456,8	0	4,26	396	14680	11684	0,5
CO-Mason Res-02	41722	2015-04-24	146,5	2003,8	1857,3	32	4,22	389	12410	8857	0,5
CO-Mason Res-03	42218	2015-05-25	146,5	1874,4	1727,9	63	4,56	366	5400	2800	0,5
CO-Mason Res-04	42736	2015-06-25	146,5	2064,3	1917,8	94	4,94	341	3580	1860	0,5
CO-Mason Res-05	43859	2015-07-27	146,5	1916,5	1770	126	4,95	360	3010		
CO-Mason Res-06	44444	2015-08-31	146,5	1824,7	1678,2	161	5,05	356,1	3010	899	3
CO-Mason Res-07	45609	2015-10-09	146,5	1438,2	1291,7	200	4,9	349,6	4860	1475	0,5
CO-Mason Res-08	46727	2015-11-13	146,5	1817	1670,5	235	4,61	392,5	5190		
CO-Mason Res-09	47340	2015-12-21	146,5	1658,1	1511,6	273	4,43	410,7	6100		
CO-Mason Res-10	48511	2016-01-27	146,5	1324,5	1178	310	3,34	507	6180		
CO-Mason Res-11	48924	2016-02-26	146,5	1511,9	1365,4	340	3,21	538	8080		
CO-Mason Res-12	50427	2016-04-26	146,5	1239,6	1093,1	400	3,2	554	7650		
min							3,2	341,0	3010	899	0,5
max							5,05	554,0	14680	11684	3
moy							4,31	413,3	6679	4596	0,92

Note:

Valeurs en vert : valeurs sous la LDM, la moitié de la LDM est alors rapportée

RÉSULTATS DES ESSAIS CINÉTIQUES EN COLONNE (URSTM, 2016)

Rinçage	#URSTM	Concentrations ponctuelles (mg/L)																											
		Al	As	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	Pb	Stot	Sb	Se	Si	Sr	Te	Ti	Zn
		0,010	0,060	n.d.	0,001	0,001	0,020	0,030	0,003	0,004	0,003	0,003	0,006	n.d.	n.d.	0,001	0,002	0,009	n.d.	0,004	0,020	0,090	0,090	0,100	0,020	n.d.	n.d.	0,002	0,005
CO-Mason Min-01	41121	7,33	0,03	7,82	0,123	0,0005	0,099	394	0,203	0,542	0,059	0,0015	5130	5,48	0,363	429	792	0,0045	34,2	89,1	0,436	4820	0,337	0,05	20,5	1,23	0	0,010	59,9
CO-Mason Min-02	41721	0,459	0,03	7,19	0,090	0,0005	0,101	297	0,0015	0,035	0,015	0,0015	3100	14,9	0,128	157	312	0,0045	24,4	8,59	0,252	2670	0,045	0,05	9,64	1,08	0	0,001	4,00
CO-Mason Min-03	42217	0,307	0,03	6,63	0,087	0,0005	0,091	225	0,0015	0,024	0,0015	0,0015	3270	13,7	0,098	113	208	0,0045	17,8	4,22	0,282	2600	0,045	0,05	12,0	0,855	0	0,001	3,06
CO-Mason Min-04	42735	0,283	0,03	5,24	0,151	0,0005	0,113	157	0,034	0,096	0,009	0,0015	4030	9,32	0,134	76,2	148	0,0045	10,3	4,30	0,395	2960	0,045	0,05	11,2	0,644	0	0,026	3,01
CO-Mason Min-05	43858	0,565	0,03	5,98	0,170	0,0005	0,134	147	0,023	0,126	0,004	0,0015	3860	9,60	0,157	74,0	104	0,0045	8,68	5,65	0,44	2750	0,045	0,05	19,1	0,611	0	0,029	4,62
CO-Mason Min-06	44443	0,440	0,03	4,99	0,094	0,0005	0,025	113	0,0015	0,029	0,0015	0,0015	3140	8,50	0,094	60,0	76,3	0,0045	8,10	5,12	0,338	2140	0,045	0,05	15,2	0,418	0	0,001	4,76
CO-Mason Min-07	45608	0,509	0,03	3,16	0,071	0,0005	0,02	79,5	0,0015	0,028	0,0015	0,0015	2380	8,98	0,046	45,4	53,7	0,0045	3,70	6,37	0,302	1810	0,045	0,05	11,6	0,284	0	0,001	4,47
CO-Mason Min-08	46726	0,405	0,03	6,14	0,054	0,0005	0,09	116	0,0015	0,023	0,0015	0,0015	3450	6,29	0,061	81,9	61,2	0,0045	3,98	6,78	0,216	2410	0,045	0,05	9,16	0,278	0	0,001	4,37
CO-Mason Min-09	47339	0,518	0,03	4,52	0,042	0,0005	0,068	109	0,0015	0,022	0,0015	0,0015	2330	5,15	0,064	76,7	55,2	0,0045	3,47	7,97	0,176	1670	0,045	0,05	9,35	0,282	0	0,001	3,86
CO-Mason Min-10	48510	0,895	0,03	3,54	0,038	0,0005	0,010	133	0,010	0,020	0,0015	0,0015	2180	6,06	0,082	85,4	66,0	0,0045	3,73	15,0	0,184	1570	0,045	0,05	10,0	0,320	0	0,001	5,88
CO-Mason Min-11	48923	0,725	0,03	n/d	0,031	0,0005	0,024	77,8	0,005	0,021	0,0015	0,167	1240	4,19	0,047	57,4	43,5	0,0045	2,2	11,2	0,114	806	0,045	0,05	7,31	0,206	0	0,001	4,18
CO-Mason Min-12	50426																												
min		0,283	0,03	3,16	0,031	0,0005	0,01	77,8	0,0015	0,02	0,0015	0,0015	1240	4,19	0,046	45,4	43,5	0,0045	2,19	4,22	0,114	806	0,045	0,05	7,31	0,206	0	0,001	3,01
max		7,33	0,03	7,82	0,17	0,0005	0,134	394	0,203	0,542	0,059	0,167	5130	14,9	0,363	429	792	0,0045	34,2	89,1	0,44	4820	0,337	0,05	20,5	1,23	0	0,029	59,9
moy		1,13	0,03	5,52	0,09	0,00	0,07	168,03	0,03	0,09	0,01	0,02	3100,91	8,38	0,12	114,18	174,54	0,00	10,96	14,94	0,29	2382,36	0,07	0,05	12,28	0,56	0,00	0,01	9,28

Rinçage	#URSTM	Concentrations ponctuelles (mg/L)																											
		Al	As	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	Pb	Stot	Sb	Se	Si	Sr	Te	Ti	Zn
		0,010	0,060	n.d.	0,001	0,001	0,020	0,030	0,003	0,004	0,003	0,003	0,006	n.d.	n.d.	0,001	0,002	0,009	n.d.	0,004	0,020	0,090	0,090	0,100	0,020	n.d.	n.d.	0,002	0,005
CO-Mason Res-01	41122	0,998	0,03	7,85	0,287	0,0005	0,059	305	0,087	0,430	0,0015	0,0015	7380	35,8	0,351	276	417	0,0045	79,5	177	0,603	5770	0,178	0,05	37,8	1,64	0	0,014	65,7
CO-Mason Res-02	41722	0,739	0,03	11,5	0,157	0,0005	0,194	393	0,082	0,056	0,0015	0,0015	5840	44,6	0,227	258	375	0,0045	70,3	41,7	0,425	4780	0,045	0,05	37,6	1,91	0	0,023	39,9
CO-Mason Res-03	42218	0,156	0,03	3,44	0,080	0,0005	0,020	367	0,0015	0,010	0,0015	0,0015	1770	22,1	0,065	103	65,9	0,0045	15,0	1,04	0,160	1760	0,045	0,05	33,7	1,06	0	0,001	5,60
CO-Mason Res-04	42736	0,090	0,03	1,12	0,060	0,0005	0,010	276	0,0015	0,002	0,0015	0,0015	943	13,8	0,047	83,5	33,1	0,0045	8,31	0,306	0,092	871	0,045	0,05	22,1	0,723	0	0,001	2,12
CO-Mason Res-05	43859	0,255	0,03	0,936	0,041	0,0005	0,010	224	0,0015	0,002	0,0015	0,021	693	15,5	0,049	135	36,4	0,0045	8,90	0,101	0,081	898	0,045	0,05	37,5	0,727	0	0,001	2,20
CO-Mason Res-06	44444	0,071	0,03	0,698	0,053	0,0005	0,010	203	0,0015	0,004	0,0015	0,034	487	11,8	0,025	135	30,3	0,0045	7,28	0,048	0,080	727	0,045	0,05	26,7	0,642	0	0,001	3,63
CO-Mason Res-07	45609	0,139	0,03	1,03	0,040	0,0005	0,010	411	0,0015	0,003	0,0015	0,097	855	21,3	0,032	211	66,8	0,0045	9,03	0,025	0,114	1530	0,045	0,05	34,4	1,17	0	0,001	2,68
CO-Mason Res-08	46727	0,208	0,03	2,39	0,044	0,0005	0,010	370	0,0015	0,002	0,003	0,598	1300	14,8	0,029	193	108	0,0045	7,48	0,041	0,107	1640	0,045	0,05	26,2	0,965	0	0,001	4,85
CO-Mason Res-09	47340	0,295	0,03	3,850	0,052	0,0005	0,060	404	0,0015	0,013	0,0015	0,0015	2060	11,4	0,045	169	155	0,0045	8,49	0,04	0,159	2120	0,045	0,05	30,0	1,26	0	0,001	6,49
CO-Mason Res-10	48511	0,422	0,03	4,89	0,059	0,0005	0,027	482	0,0015	0,010	0,0015	0,279	3220	14,8	0,074	171	191	0,0045	10,7	0,035	0,261	2690	0,045	0,05	38,7	1,40	0	0,001	7,68
CO-Mason Res-11	48924	0,315	0,03	n/d	0,072	0,0005	0,095	417	0,0015	0,020	0,0015	1,26	3370	14,0	0,073	144	147	0,0045	10,1	0,032	0,221	2970	0,045	0,05	31,9	1,19	0	0,001	17,3
CO-Mason Res-12	50427																												
min		0,071	0,03	0,698	0,04	0,0005	0,01	203	0,0015	0,002	0,0015	0,0015	487	11,4	0,025	83,5	30,3	0,0045	7,28	0,025	0,08	727	0,045	0,05	22,1	0,642	0	0,001	2,12
max		0,998	0,03	11,5	0,287	0,0005	0,194	482	0,087	0,43	0,003	1,26	7380	44,6	0,351	276	417	0,0045	79,5	177	0,603	5770	0,178	0,05	38,7	1,91	0	0,023	65,7
moy		0,34	0,03	3,77	0,09	0,00	0,05	350,18	0,02	0,05	0,00	0,21	2538,00	19,99	0,09	170,77	147,77	0,00	21,37	20,03	0,21	2341,45	0,06	0,05	32,42	1,15	0,00	0,00	14,38

Note:

Valeurs en vert : valeurs sous la LDM, la moitié de la LDM est alors rapportée

RÉSULTATS DES ESSAIS CINÉTIQUES EN COLONNE (URSTM, 2016)

Rinçage	#URSTM	Charges ponctuelles normalisées (mg/kg)																												
		Al	As	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	Pb	Stot	Sb	Se	Si	Sr	Te	Ti	Zn	
		0,010	0,060	n.d.	0,001	0,001	0,020	0,030	0,003	0,004	0,003	0,003	0,006	n.d.	n.d.	0,001	0,002	0,009	n.d.	0,004	0,020	0,090	0,090	0,100	0,020	n.d.	n.d.	0,002	0,005	
CO-Mason Min-01	41121	0,325354267	0,0013316	0,347103733	0,00545956	2,21933E-05	0,00439428	17,48834667	0,009010493	0,024057573	0,002618813	0,00006658	227,7036	0,243238933	0,01611236	19,04188	35,15424	0,00019974	1,518024	3,954852	0,019352587	213,9437333	0,014958307	0,002219333	0,909926667	0,0545956	0	0,000443867	2,658761333	
CO-Mason Min-02	41721	0,04924152	0,0032184	0,7713432	0,0096552	0,00005364	0,01083528	31,86216	0,00016092	0,0037548	0,0016092	0,00016092	332,568	1,598472	0,01373184	16,84296	33,47136	0,00048276	2,617632	0,9215352	0,02703456	286,4376	0,0048276	0,005364	1,0341792	0,1158624	0	0,00010728	0,42912	
CO-Mason Min-03	42217	0,02608272	0,0025488	0,5632848	0,00739152	0,00004248	0,00773136	19,116	0,00012744	0,00203904	0,00012744	0,00012744	277,8192	1,163952	0,00832608	9,60048	17,67168	0,00038232	1,512288	0,3585312	0,02395872	220,896	0,0038232	0,004248	1,01952	0,0726408	0	0,00008496	0,2599776	
CO-Mason Min-04	42735	0,03162242	0,0033522	0,5855176	0,01687274	0,00005587	0,01262662	17,54318	0,00379916	0,01072704	0,00100566	0,00016761	450,3122	1,0414168	0,01497316	8,514588	16,53752	0,00050283	1,150922	0,480482	0,0441373	330,7504	0,0050283	0,005587	1,251488	0,07196056	0	0,00290524	0,3363374	
CO-Mason Min-05	43858	0,0605793	0,0032166	0,6411756	0,0182274	0,00005361	0,01436748	15,76134	0,00246606	0,01350972	0,00042888	0,00016083	413,8692	1,029312	0,01683354	7,93428	11,15088	0,00048249	0,9306696	0,605793	0,0471768	294,855	0,0048249	0,005361	2,047902	0,06551142	0	0,00310938	0,4953564	
CO-Mason Min-06	44443	0,046478667	0,003169	0,527110333	0,009929533	5,28167E-05	0,002640833	11,93656667	0,00015845	0,003063367	0,00015845	0,00015845	331,688667	0,897883333	0,009929533	6,338	8,05982333	0,00047535	0,85563	0,5408427	0,035704067	226,0553333	0,0047535	0,005281667	1,605626667	0,044154733	0	0,000105633	0,502814667	
CO-Mason Min-07	45608	0,051558307	0,0030388	0,320086933	0,007191827	5,06467E-05	0,002025867	8,05282	0,00015194	0,002836213	0,00015194	0,00015194	241,078133	0,909614133	0,004659493	4,59871733	5,439452	0,00045582	0,3747853	0,6452385	0,030590587	183,3409333	0,0045582	0,005064667	1,175002667	0,028767307	0	0,000101293	0,4527812	
CO-Mason Min-08	46726	0,0403002	0,0029852	0,610970933	0,00537336	4,97533E-05	0,0089556	11,54277333	0,00014926	0,002288653	0,00014926	0,00014926	343,298	0,625896933	0,006069907	8,149596	6,089808	0,00044778	0,3960365	0,6746552	0,02149344	239,8110667	0,0044778	0,004975333	0,911481067	0,027662853	0	9,95067E-05	0,434844133	
CO-Mason Min-09	47339	0,052532107	0,0030424	0,458388267	0,00425936	5,07067E-05	0,006896107	11,05405333	0,00015212	0,002231093	0,00015212	0,00015212	236,293067	0,522278667	0,006490453	7,77840267	5,598016	0,00045636	0,3519043	0,8082643	0,017848747	169,3602667	0,0045636	0,005070667	0,948214667	0,02859856	0	0,000101413	0,391455467	
CO-Mason Min-10	48510	0,083461733	0,0027976	0,3301168	0,003543627	4,66267E-05	0,000932533	12,40269333	0,000932533	0,001865067	0,00013988	0,00013988	203,292267	0,5651152	0,007646773	7,96383467	6,15472	0,00041964	0,3478349	1,3988	0,017158613	146,4077333	0,0041964	0,004662667	0,932533333	0,029841067	0	9,32533E-05	0,5483296	
CO-Mason Min-11	48923	0,072069833	0,0029822	#VALEUR!	0,003081607	4,97033E-05	0,00238576	7,733838667	0,000497033	0,00208754	0,00014911	0,016600913	123,264267	0,416513933	0,004672113	5,70594267	4,32419	0,00044733	0,2177006	1,1133547	0,01133236	80,12177333	0,0044733	0,004970333	0,726662733	0,020477773	0	9,94067E-05	0,415519867	
CO-Mason Min-12	50426	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

min
max
moy

Rinçage	#URSTM	Charges ponctuelles normalisées (mg/kg)																												
		Al	As	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	Pb	Stot	Sb	Se	Si	Sr	Te	Ti	Zn	
		0,010	0,060	n.d.	0,001	0,001	0,020	0,030	0,003	0,004	0,003	0,003	0,006	n.d.	n.d.	0,001	0,002	0,009	n.d.	0,004	0,020	0,090	0,090	0,100	0,020	n.d.	n.d.	0,002	0,005	
CO-Mason Res-01	41122	0,163459093	0,0049136	1,285725333	0,047006773	8,18933E-05	0,009663413	49,95493333	0,01424944	0,070428267	0,00024568	0,00024568	1208,7456	5,863562667	0,05748912	45,20512	68,29904	0,00073704	13,02104	28,99024	0,09876336	945,0490667	0,029154027	0,008189333	6,191136	0,268610133	0	0,002293013	10,760784	
CO-Mason Res-02	41722	0,09150298	0,0037146	1,42393	0,01943974	0,00006191	0,02402108	48,66126	0,01015324	0,00693392	0,00018573	0,00018573	723,1088	5,522372	0,02810714	31,94556	46,4325	0,00055719	8,704546	5,163294	0,0526235	591,8596	0,0055719	0,006191	4,655632	0,2364962	0	0,00284786	4,940418	
CO-Mason Res-03	42218	0,01797016	0,0034558	0,396265067	0,009215467	5,75967E-05	0,002303867	42,27959333	0,00017279	0,001151933	0,00017279	0,00017279	203,8922	2,545772667	0,007487567	11,8649133	7,59124067	0,00051837	1,7279	0,1198011	0,018430933	202,7402667	0,0051837	0,005759667	3,882015333	0,122104933	0	0,000115193	0,645082667	
CO-Mason Res-04	42736	0,0115068	0,0038356	0,143195733	0,0076712	6,39267E-05	0,001278533	35,28752	0,00019178	0,000255707	0,00019178	0,00019178	120,565693	1,764376	0,006009107	10,6757533	4,23194533	0,00057534	1,0624612	0,0391231	0,011762507	111,3602533	0,0057534	0,006392667	2,825558667	0,09243796	0	0,000127853	0,271049067	
CO-Mason Res-05	43859	0,03009	0,00354	0,110448	0,004838	0,000059	0,00118	26,432	0,000177	0,000236	0,000177	0,002478	81,774	1,829	0,005782	15,93	4,2952	0,000531	1,0502	0,011918	0,009558	105,964	0,00531	0,0059	4,425	0,085786	0	0,000118	0,2596	
CO-Mason Res-06	44444	0,00794348	0,0033564	0,07809224	0,00592964	0,00005594	0,0011188	22,71164	0,00016782	0,00044752	0,00016782	0,00380392	54,48556	1,320184	0,002797	15,1038	3,389964	0,00050346	0,8144864	0,0053702	0,0089504	81,33676	0,0050346	0,005594	2,987196	0,07182696	0	0,0001188	0,4061244	
CO-Mason Res-07	45609	0,011969753	0,0025834	0,088696733	0,003444533	4,30567E-05	0,000861133	35,39258	0,00012917	0,00025834	0,00012917	0,008352993	73,6269	1,834214	0,002755627	18,1699133	5,75237067	0,00038751	0,7776034	0,0021528	0,00981692	131,7534	0,0038751	0,004305667	2,962298667	0,1007526	0	8,61133E-05	0,230783733	
CO-Mason Res-08	46727	0,023164267	0,003341	0,266166333	0,004900133	5,56833E-05	0,001136667	41,20566667	0,00016705	0,000222733	0,0003341	0,066597267	144,776667	1,648226667	0,003229633	21,4937667	12,0276	0,00050115	0,8330227	0,004566	0,011916233	182,6413333	0,0050115	0,005568333	2,917806667	0,107468833	0	0,000111367	0,540128333	
CO-Mason Res-09	47340	0,029728133	0,0030232	0,387977333	0,005240213	5,03867E-05	0,0060464	40,71242667	0,00015116	0,001310053	0,00015116	0,00015116	207,593067	1,148816	0,0045348	17,0306933	15,6198667	0,00045348	0,8555656	0,0039302	0,01602296	213,6394667	0,0045348	0,005038667	3,0232	0,1269744	0	0,000100773	0,654018933	
CO-Mason Res-10	48511	0,033141067	0,002356	0,384028	0,004633467	3,92667E-05	0,0021204	37,85306667	0,0001178	0,000785333	0,0001178	0,0219108	252,877333	1,162293333	0,005811467	13,4292	14,9998667	0,0003534	0,8403067	0,0027487	0,0204972	211,2546667	0,003534	0,003926667	3,03924	0,109946667	0	7,85333E-05	0,603136	
CO-Mason Res-11	48924	0,0286734	0,0027308	#VALEUR!	0,00655392	4,55133E-05	0,008647533	37,95812	0,00013654	0,001820533	0,00013654	0,1146936	306,759867	1,274373333	0,006644947	13,10784	13,38092	0,00040962	0,9193693	0,0029129	0,020116893	270,3492	0,0040962	0,004551333	2,903750667	0,108321733	0	9,10267E-05	1,574761333	
CO-Mason Res-12	50427	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

min
max
moy

Note:

Valeurs en vert : valeurs sous la LDM, la moitié de la LDM est alors rapportée

RÉSULTATS DES ESSAIS CINÉTIQUES EN COLONNE (URSTM, 2016)

Rinçage	#URSTM	Chargess cumulées normalisées (mg/kg)																											
		Al	As	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	Pb	Stot	Sb	Se	Si	Sr	Te	Ti	Zn
		0,010	0,060	n.d.	0,001	0,001	0,020	0,030	0,003	0,004	0,003	0,003	0,006	n.d.	n.d.	0,001	0,002	0,009	n.d.	0,004	0,020	0,090	0,090	0,100	0,020	n.d.	n.d.	0,002	0,005
CO-Mason Min-01	41121	0,325354267	0,0013316	0,347103733	0,00545956	2,21933E-05	0,00439428	17,48834667	0,009010493	0,024057573	0,002618813	0,00006658	227,7036	0,243238933	0,01611236	19,04188	35,15424	0,00019974	1,518024	3,954852	0,019352587	213,9437333	0,014958307	0,002219333	0,909926667	0,0545956	0	0,000443867	2,658761333
CO-Mason Min-02	41721	0,374595787	0,00455	1,118446933	0,01511476	7,58333E-05	0,01522956	49,35050667	0,009171413	0,027812373	0,004228013	0,0002275	560,2716	1,841710933	0,0298442	35,88484	68,6256	0,0006825	4,135656	4,8763872	0,046387147	500,3813333	0,019785907	0,007583333	1,944105867	0,170458	0	0,000551147	3,087881333
CO-Mason Min-03	42217	0,400678507	0,0070988	1,681731733	0,02250628	0,000118313	0,02296092	68,46650667	0,009298853	0,029851413	0,004355453	0,00035494	838,0908	3,005662933	0,03817028	45,48532	86,29728	0,00106482	5,647944	5,2349184	0,070345867	721,2773333	0,023609107	0,011831333	2,963625867	0,2430988	0	0,000636107	3,347858933
CO-Mason Min-04	42735	0,432300927	0,010451	2,267249333	0,03937902	0,000174183	0,03558754	86,00968667	0,013098013	0,040578453	0,005361113	0,00052255	1288,403	4,047079733	0,05314344	53,999908	102,8348	0,00156765	6,798866	5,7154004	0,114483167	1052,027733	0,028637407	0,017418333	4,215113867	0,31505936	0	0,003541347	3,684196333
CO-Mason Min-05	43858	0,492880227	0,0136676	2,908424933	0,05760642	0,000227793	0,04995502	101,7710267	0,015564073	0,054088173	0,005789993	0,00068338	1702,2722	5,974275067	0,06997698	61,934188	113,98568	0,00205014	7,7295356	6,3211934	0,161659967	1346,882733	0,033462307	0,022779333	6,263015867	0,38057078	0	0,006650727	4,179552733
CO-Mason Min-06	44443	0,539358893	0,0168366	3,43553267	0,067535953	0,00028061	0,052595853	113,7075933	0,015722523	0,05715154	0,005948443	0,00084183	2033,96087	5,974275067	0,079906513	68,272188	122,045503	0,00252549	8,5851656	6,8620361	0,197364033	1572,938067	0,038215807	0,028061	7,868642533	0,424725513	0	0,00675636	4,6823674
CO-Mason Min-07	45608	0,5909172	0,0198754	3,7556222	0,07472778	0,000331257	0,05462172	121,7604133	0,015874463	0,059987753	0,006100383	0,00099377	2275,039	6,8838892	0,084566007	72,8709053	127,484955	0,00298131	8,9599509	7,5072746	0,22795462	1756,279	0,042774007	0,033125667	9,0436452	0,45349282	0	0,006857653	5,1351486
CO-Mason Min-08	46726	0,6312174	0,0228606	4,366593133	0,08010114	0,00038101	0,06357732	133,3031867	0,016023723	0,062276407	0,006249643	0,00114303	2618,337	7,509786133	0,090635913	81,0205013	133,574763	0,00342909	9,3559875	8,1819298	0,24944806	1996,090067	0,047251807	0,038101	9,955126267	0,481155673	0	0,00695716	5,569992733
CO-Mason Min-09	47339	0,683749507	0,025903	4,8249814	0,0843605	0,000431717	0,070473427	144,35724	0,016175843	0,0645075	0,006401763	0,00129515	2854,63007	8,0320648	0,097126367	88,798904	139,172779	0,00388545	9,7078917	8,9901941	0,267296807	2165,450333	0,051815407	0,043171667	10,90334093	0,509754233	0	0,007058573	5,9614482
CO-Mason Min-10	48510	0,76721124	0,0287006	5,1550982	0,087904127	0,000478343	0,07140596	156,7599333	0,017108377	0,066372567	0,006541643	0,00143503	3057,92233	8,59718	0,10477314	96,7627387	145,327499	0,00430509	10,055727	10,388994	0,28445542	2311,858067	0,056011807	0,047834333	11,83587427	0,5395953	0	0,007151827	6,5097778
CO-Mason Min-11	48923	0,839281073	0,0316828	#VALEUR!	0,090985733	0,000528047	0,07379172	164,493772	0,01760541	0,068460107	0,006690753	0,018035943	3181,1866	9,013693933	0,109445253	102,468681	149,651689	0,00475242	10,273427	11,502349	0,29578778	2391,97984	0,060485107	0,052804667	12,562537	0,560073073	0	0,007251233	6,925297667
CO-Mason Min-12	50426	0,839281073	0,0316828	#VALEUR!	0,090985733	0,000528047	0,07379172	164,493772	0,01760541	0,068460107	0,006690753	0,018035943	3181,1866	9,013693933	0,109445253	102,468681	149,651689	0,00475242	10,273427	11,502349	0,29578778	2391,97984	0,060485107	0,052804667	12,562537	0,560073073	0	0,007251233	6,925297667

min

max

moy

Rinçage	#URSTM	Chargess cumulées normalisées (mg/kg)																											
		Al	As	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	Pb	Stot	Sb	Se	Si	Sr	Te	Ti	Zn
		0,010	0,060	n.d.	0,001	0,001	0,020	0,030	0,003	0,004	0,003	0,003	0,006	n.d.	n.d.	0,001	0,002	0,009	n.d.	0,004	0,020	0,090	0,090	0,100	0,020	n.d.	n.d.	0,002	0,005
CO-Mason Res-01	41122	0,163459093	0,0049136	1,285725333	0,047006773	8,18933E-05	0,009663413	49,95493333	0,01424944	0,070428267	0,00024568	0,00024568	1208,7456	5,863562667	0,05748912	45,20512	68,29904	0,00073704	13,02104	28,99024	0,09876336	945,0490667	0,029154027	0,008189333	6,191136	0,268610133	0	0,002293013	10,760784
CO-Mason Res-02	41722	0,254962073	0,0086282	2,709655333	0,066446513	0,000143803	0,036684493	98,61619333	0,02440268	0,077362187	0,00043141	0,00043141	1931,8544	11,38593467	0,08559626	77,15068	114,73154	0,00129423	21,725586	34,153534	0,15138686	1536,908667	0,034725927	0,014380333	10,846768	0,505106333	0	0,005140873	15,701202
CO-Mason Res-03	42218	0,272932233	0,012084	3,1059204	0,07566198	0,0002014	0,03598836	140,8921467	0,02457547	0,07851412	0,0006042	0,0006042	2135,7466	13,93170733	0,093083827	89,0155933	122,322781	0,0018126	23,453486	34,273335	0,169817793	1739,648933	0,039909627	0,02014	14,72878333	0,627211267	0	0,005256067	16,34628467
CO-Mason Res-04	42736	0,284439033	0,0159196	3,249116133	0,08333318	0,000265327	0,037266893	176,1796667	0,02476725	0,078769827	0,00079598	0,00079598	2256,31229	15,69608333	0,099092933	99,6913467	126,554726	0,00238794	24,515947	34,312458	0,1815803	1851,009187	0,045663027	0,026532667	17,554342	0,719649227	0	0,00538392	16,61733373
CO-Mason Res-05	43859	0,314529033	0,0194596	3,359564133	0,08817118	0,000324327	0,038446893	202,6116667	0,02494425	0,079005387	0,00097298	0,00327398	2338,08629	17,52508333	0,104874933	115,621347	130,849926	0,00291894	25,566147	34,324376	0,1911383	1956,973187	0,050973027	0,032432667	21,979342	0,805435227	0	0,00550192	16,87693373
CO-Mason Res-06	44444	0,322472513	0,022816	3,437656373	0,09410082	0,000380267	0,039565693	225,3233067	0,02511207	0,079453347	0,0011408	0,0070779	2392,57185	18,84526733	0,107671933	130,725147	134,23989	0,0034224	26,380634	34,329746	0,2000887	2038,309947	0,056007627	0,038026667	24,966538	0,877262187	0	0,0056138	17,28305813
CO-Mason Res-07	45609	0,334442267	0,0253994	3,526353107	0,097545353	0,000423323	0,040426827	260,7158867	0,02542124	0,079711687	0,00126997	0,015430893	2466,19875	20,67948133	0,11042756	148,89506	139,992261	0,00380991	27,158237	34,331899	0,20990562	2170,063347	0,059882727	0,042332333	27,92883667	0,978014787	0	0,005699913	17,51384187
CO-Mason Res-08	46727	0,357606533	0,0287404	3,79251944	0,102445487	0,000479007	0,041540493	301,9215533	0,02540829	0,07993442	0,00160407	0,08202816	2610,97542	22,327708	0,113657193	170,388827	152,019861	0,00431106	27,99126	34,336465	0,221821853	2352,70468	0,064894227	0,047900667	30,84664333	1,08548362	0	0,00581128	18,0539702
CO-Mason Res-09	47340	0,387334667	0,0317636	4,180496773	0,1076857	0,000529393	0,047586893	342,63398	0,02555945	0,081244473	0,00175523	0,08217932	2818,56849	23,476524	0,118191993	187,41952	167,639727	0,00476454	28,846825	34,340395	0,237844813	2566,344147	0,069429027	0,052939333	33,86984333	1,21245802	0	0,005912053	18,70798913
CO-Mason Res-10	48511	0,420475733	0,0341196	4,564524773	0,112319167	0,00056866	0,049707293	380,4870467	0,02567725	0,082029807	0,00187303	0,10409012	3071,44582	24,63881733	0,12400346	200,84872	182,639594	0,00511794	29,687132	34,343144	0,258342013	2777,598813	0,072963027	0,056866	36,90908333	1,322404687	0	0,005990587	19,31112513
CO-Mason Res-11	48924	0,449149133	0,0368504	#VALEUR!	0,118873087	0,000614173	0,058354827	418,4451667	0,02581379	0,08385034	0,00200957	0,21878372	3378,20569	25,91319067	0,130648407	213,95656	196,020514	0,00552756	30,606501	34,346057	0,278458907	3047,948013	0,077059227	0,061417333	39,812834	1,43072642	0	0,006081613	20,88588647
CO-Mason Res-12	50427	0,449149133	0,0368504	#VALEUR!	0,118873087	0,000614173	0,058354827	418,4451667	0,02581379	0,08385034	0,00200957	0,21878372	3378,20569	25,91319067	0,130648407	213,95656	196,020514	0,00552756	30,606501	34,346057	0,278458907	3047,948013	0,077059227	0,061417333	39,812834	1,43072642	0	0,006081613	20,88588647

min

max

moy

Note:

Valeurs en vert : valeurs sous la LDM, la moitié de la LDM est alors rapportée

Annexe E

Modélisation hydrogéologique et de transport de contaminants pour le futur parc à résidus (SNC-Lavalin, 2017)



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : C. Taveau, G. Cosset Révisé par : C. Bélanger		
		Rév	Date	Page
	641991-0000-4WER-0001	PC	4 avril 2017	i

Titre du document : **MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE ET DE TRANSPORT DE CONTAMINANTS POUR LE FUTUR PARC À RÉSIDUS**

Client : **MASON GRAPHITE**

Projet : **ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE ET MODÉLISATION NUMÉRIQUE POUR LE SITE DE BAIE-COMEAU DU PROJET LAC-GUÉRET**

Préparé par : Coline Taveau

Géraldine Cosset, ing., M.Sc.A

Révisé par : Christian Bélanger, ing., M.Sc.A.

Approuvé par : Marc Arpin, géo, M.Sc., M. Env.

 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : C. Taveau, G. Cosset Révisé par : C. Bélanger		
			Rév	Date	Page
	641991-0000-4WER-0001		PC	4 avril 2017	ii

LISTE DES RÉVISIONS APPORTÉES AU DOCUMENT

Révision				Pages Révisées	Remarques
#	Prép.	App.	Date		
PA	CT/GC	MA	23-02-2017	Toutes	Émission pour révision interne
PB	CT/GC	MA	23-02-2017	Toutes	Émis en version partielle
PC	CT/GC	MA	23-02-2017	Toutes	Émission pour commentaires du client

AVIS AU LECTEUR

Ce document fait état de l'opinion professionnelle de SNC-Lavalin inc. («SNC-Lavalin») quant aux sujets qui y sont abordés. Son opinion a été formulée en se basant sur ses compétences professionnelles en la matière et avec les précautions qui s'imposent. Le document doit être interprété dans le contexte de la convention en date du 6 octobre 2016 (la «Convention») intervenue entre SNC-Lavalin et Mason Graphite (le «Client»), ainsi que de la méthodologie, des procédures et des techniques utilisées, des hypothèses de SNC-Lavalin ainsi que des circonstances et des contraintes qui ont prévalu lors de l'exécution de ce mandat. Ce document n'a pour raison d'être que l'objectif défini dans la Convention et est au seul usage du Client, dont les recours sont limités à ceux prévus dans la Convention. Il doit être lu comme un tout, à savoir qu'une portion ou un extrait isolé ne peut être pris hors contexte.

En préparant ses estimations, le cas échéant, SNC-Lavalin a suivi une méthode et des procédures et pris les précautions appropriées au degré d'exactitude visé, en se basant sur ses compétences professionnelles en la matière et avec les précautions qui s'imposent, et est d'opinion qu'il y a une forte probabilité que les valeurs réelles seront compatibles aux estimations. Cependant, l'exactitude de ces estimations ne peut être garantie. À moins d'indication contraire expresse, SNC-Lavalin n'a pas contre-vérifié les hypothèses, données et renseignements en provenance d'autres sources (dont le Client, les autres consultants, laboratoires d'essai, fournisseurs d'équipements, etc.) et sur lesquelles est fondée son opinion. SNC-Lavalin n'en assume nullement l'exactitude et décline toute responsabilité à leur égard.

Dans toute la mesure permise par les lois applicables, SNC-Lavalin décline en outre toute responsabilité envers le Client et les tiers en ce qui a trait à l'utilisation (publication, renvoi, référence, citation ou diffusion) de tout ou partie du présent document, ainsi que toute décision prise ou action entreprise sur la foi dudit document.

 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : C. Taveau, G. Cosset		
		Révisé par : C. Bélanger		
	641991-0000-4WER-0001	Rév	Date	Page
	PC	4 avril 2017	iii	

TABLE DES MATIÈRES

1.0	Introduction.....	1
1.1	Contexte	1
1.2	Mandat et objectifs	1
1.3	Méthodologie	2
2.0	Modèle conceptuel	2
2.1	Parc à résidus	2
2.2	Travaux de terrain	2
2.3	Piézométrie	3
2.4	Topographie	5
2.5	Propriétés hydrogéologiques des unités stratigraphiques	5
2.5.1	Couche superficielle.....	5
2.5.2	Dépôt de sable et dépôt de sable silteux à argileux	6
2.5.3	Couche d'argile	6
2.5.4	Socle rocheux	6
2.6	Paramètres hydrologiques et calcul de la recharge	9
3.0	Modélisation hydrogéologique	10
3.1	Modèle hydrogéologique et méthodologie	10
3.1.1	Logiciel de simulation numérique.....	10
3.1.2	Calibration et calcul d'erreur	10
3.1.3	Méthode	11
3.2	Calibration du modèle représentant les conditions actuelles observées au site du TMF.....	11
3.2.1	Modèle numérique des coupes.....	11
3.2.2	Calibration des coupes AA', BB' et CC'	16
3.2.3	Réseau d'écoulement simulé par le modèle numérique	18
3.2.4	Analyse de sensibilité.....	18
3.3	Modélisation numérique avec la pile de résidus avant la fermeture	19
3.3.1	Réseau d'écoulement avec le parc à résidus	20
3.3.2	Débits au fond de la pile de résidus.....	20
4.0	Modélisation de transport de contaminants.....	21
4.1	Géochimie des résidus.....	21
4.2	Paramètres du modèle de transport.....	22
4.3	Critères applicables.....	24
	* Concentration maximale acceptable dans l'eau potable (Critère esthétique) tiré de Santé Canada	24
4.4	Teneurs de fond	24
4.5	Panaches de contamination modélisés.....	25
5.0	Programme de suivi	27
6.0	Limites et recommandations.....	29
7.0	Conclusion	30
8.0	Références	31



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : C. Taveau, G. Cosset Révisé par : C. Bélanger		
		Rév	Date	Page
	641991-0000-4WER-0001	PC	4 avril 2017	iv

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1 : Niveaux piézométriques mesurés au site les 23 et 25 novembre 2016	3
Tableau 2-2 : Calcul de gradients verticaux	5
Tableau 2-3 : Essais Packer réalisés sur le terrain	7
Tableau 2-4 : Essais de perméabilité réalisés sur le terrain.....	8
Tableau 2-5 : Données hydrologiques et calcul de recharge	10
Tableau 3-1 : Tableau récapitulatif du modèle numérique de la coupe AA'	12
Tableau 3-2 : Tableau récapitulatif du modèle numérique de la coupe BB'	14
Tableau 3-3 : Tableau récapitulatif du modèle numérique de la coupe CC'	15
Tableau 3-4 : Infiltration utilisée pour la calibration des coupes	18
Tableau 3-5 : Résultats de l'analyse de sensibilité	19
Tableau 3-6 : Débits au fond de la pile de résidus	21
Tableau 4-1 : Paramètres de transport de contaminants	23
Tableau 4-2 : Critères prescrits par le MDDELCC pour les concentrations en contaminants dans l'eau souterraine en fonction du milieu récepteur	24
Tableau 4-3 : Teneurs de fond mesurées au site du PAR et en aval (2015b et 2017a)	25
Tableau 4-4 : Résultats des simulations de transport de contaminants.....	27
Tableau 5-1 : Campagnes d'échantillonnage à prévoir pour le suivi de la qualité des eaux	29

LISTE DES FIGURES

Figure 2-1 : Conductivité hydraulique en fonction de la profondeur mesurée au site du parc à résidus	9
--	---

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Figures



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : C. Taveau, G. Cosset Révisé par : C. Bélanger		
		Rév	Date	Page
	641991-0000-4WER-0001	PC	4 avril 2017	1

1.0 Introduction

1.1 Contexte

Mason Graphite Inc. (Mason Graphite) a acquis les droits miniers pour l'exploitation d'un gisement de graphite situé près du Lac Guéret à environ 80 km au nord-ouest du barrage Daniel Johnson (Manic 5), dans le nord du Québec. L'exploitation de la mine se fera à ciel ouvert et une halde à stériles sera construite sur le site de la fosse. L'usine de traitement du minerai et le parc à résidus seront construits près de la ville de Baie-Comeau dans le parc industriel Jean-Noël Tessier à 285 km au nord du site de l'usine (voir figure 1 de l'annexe A).

En septembre 2015, Mason Graphite a complété l'étude de faisabilité et souhaite débiter la construction des infrastructures au site à l'été 2017, incluant le parc à résidus. À l'égard des exigences sur les eaux souterraines de la Directive 019, une première étude de modélisation hydrogéologique conceptuelle a été effectuée par SNC-Lavalin (2016) à partir des résultats de la première campagne géotechnique réalisée au site en 2015 (Qualitas 2015). Une campagne complémentaire a été réalisée à l'automne 2016 (SNC-Lavalin, 2017a et 2017b). Suite à ces travaux, une interprétation du contexte hydrogéologique et une élaboration du modèle conceptuel ont été réalisées afin de préciser les conditions d'écoulement de l'eau souterraine au site et de procéder à une modélisation hydrogéologique en 2 dimensions (2D).

Plus spécifiquement, le client a mandaté SNC-Lavalin pour réaliser une étude hydrogéologique et une modélisation numérique de l'écoulement de l'eau souterraine au site du futur parc à résidus afin de vérifier que la conception du parc à résidus respecte les exigences de la Directive 019, notamment un débit de percolation en fond de parc de 3,3 l/m²/jour. En effet, d'après le rapport sur les essais cinétiques en colonnes réalisés par l'URSTM, les résidus sont lixiviables et potentiellement générateurs. Des mesures d'étanchéité de niveau A sont donc requises.

Le parc à résidus (PAR) se situe au nord du futur site du concentrateur. Les résidus miniers filtrés seront transportés par camion vers le parc à résidus. Le PAR sera ceinturé par une digue périphérique et construit par zone afin de permettre sa restauration progressive. Un recouvrement fait d'une couche de matériau grossier favorisant le ruissellement et réduisant l'accumulation d'eau qui pourrait s'infiltrer dans le parc sera mis en place.

Le PAR aura une superficie de 20 hectares et une hauteur maximale de 25 m. Au sud du parc se trouve un bassin de collecte de 400 m à son point le plus long par 90 m de large et d'une profondeur maximale de 9 m. Ce bassin sera imperméabilisé à l'aide d'une géomembrane et rempli avec les eaux provenant du PAR.

1.2 Mandat et objectifs

Ce mandat est réalisé dans le cadre de la demande d'autorisation pour la construction du parc à résidus miniers. Il fait suite aux travaux de modélisation hydrogéologique conceptuelle réalisés par SNC-Lavalin (2016). L'objectif du travail est de compléter le modèle conceptuel existant et de construire un modèle numérique qui permettra de :

- > Représenter les conditions actuelles d'écoulement souterrain au site;
- > Évaluer l'impact de la construction du parc à résidus sur le réseau d'écoulement souterrain existant;
- > Prédire le transport par le processus d'advection-dispersion de contamination en phase dissoute dans l'eau souterraine à partir du parc à résidus;
- > Élaborer des recommandations et un programme de suivi en regard des résultats obtenus.



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : C. Taveau, G. Cosset Révisé par : C. Bélanger		
		Rév	Date	Page
	641991-0000-4WER-0001	PC	4 avril 2017	2

1.3 Méthodologie

Le travail a été réalisé en deux étapes distinctes, soit la modélisation hydrogéologique de l'eau souterraine avec le logiciel Seep/W 2016 puis la modélisation de transport de contaminants à l'aide du logiciel CTran/W 2016. Les principales étapes du mandat sont les suivantes :

1. Développer un modèle conceptuel du site qui permet de construire des modèles numériques 2D en coupe dans Seep/W (figure 2 de l'Annexe A). Les coupes ont été choisies en fonction du sens d'écoulement de la carte piézométrique générée, soit du nord vers le sud. Une coupe vers le lac Petit Bras a également été réalisée afin de caractériser le développement du panache vers ce récepteur;
2. Calibrer les modèles en coupe sur la base des niveaux piézométriques mesurés sur le terrain afin de représenter l'écoulement actuellement observé sur le terrain;
3. Intégrer le parc à résidus aux modèles calibrés avec Seep/W afin de déterminer le nouveau réseau d'écoulement de l'eau souterraine et de déterminer les débits de percolation en fond de PAR ;
4. Importer les modèles d'écoulement de l'eau souterraine de Seep/W vers Ctran/W afin de simuler le transport des contaminants en phase dissoute.

2.0 Modèle conceptuel

2.1 Parc à résidus

Le parc à résidus aura une superficie de 20 hectares, une hauteur maximale de 25 m avec des pentes extérieures 4H :1V. La surface du parc à résidus sera elle aussi inclinée. Les eaux de ruissellement du PAR seront dirigées vers le bassin de collecte situé au sud de celui-ci. Les eaux de ruissellement propres en périphérie du PAR seront réorientées avec des ouvrages de drainage appropriés vers un bassin de collecte d'eaux propres ou le milieu naturel afin de réduire les volumes de lixiviats à gérer.

Le PAR sera progressivement restauré avec un recouvrement monocouche granulaire végété qui permettra de diminuer l'infiltration et favoriser le ruissellement en surface. Dans le cadre du mandat de modélisation, le recouvrement ne sera pas inclus dans le modèle développé pour analyse et l'infiltration maximale acceptée par les résidus sera appliquée au sommet et dans les pentes du PAR.

2.2 Travaux de terrain

Les essais suivants, réalisés lors de la campagne de terrain de Qualitas (2015a), ont été utilisés dans le cadre de ce mandat :

- > Dix-huit (18) puits d'exploration (TP15-TMF-1 à TP15-TMF-18);
- > Quatre (4) forages, dont 3 aménagés en piézomètres (BH16-TMF-01 à BH16-TMF-04);
- > Détermination de la conductivité hydraulique à l'aide d'essai d'injection de l'eau sous pression (essai "packer") pour les 4 forages précédemment énumérés;
- > Trois (3) essais de perméabilité réalisés aux piézomètres (slug-test) (BH15-TMF-02 à BH15-TMF-04)

Les essais suivants ont été réalisés lors de la campagne de terrain de SNC-Lavalin (2017a) :

- > Trente-quatre (34) puits d'exploration (TP16-TMF-1 à TP16-TMF-34);
- > Onze (11) forages avec installation piézométrique (BH16-TMF-01 à BH16-TMF-11);



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : C. Taveau, G. Cosset		
			Révisé par : C. Bélanger		
			Rév	Date	Page
	641991-0000-4WER-0001		PC	4 avril 2017	3

- > Onze (11) essais de perméabilité réalisés dans les piézomètres (slug-test) ;

Essais de laboratoire :

- > Essai de perméabilité en cellule œdométrique;
- > Essai de perméabilité standard

De plus, afin de développer le modèle au sud, les campagnes de terrain réalisées en 2015 et 2016 (Qualitas 2015b, SNC-Lavalin 2017b) au site de l'usine ont été utilisées.

2.3 Piézométrie

Un relevé piézométrique réalisé entre les 23 et 25 novembre 2016 a permis de tracer une carte piézométrique du site du parc à résidus et du concentrateur au sud. Le tableau 2-1 donne les niveaux d'eau mesurés au site utilisés pour tracer cette carte. Des points ont été ajoutés au niveau du Lac Petit Bras situé à l'est du site (69 m) et du ruisseau Petit Bras situé au sud-est (63 m) et au sud du parc (56 m) afin de compléter la carte piézométrique vers l'est et le sud du site. Ces valeurs ont été recueillies à partir du navigateur de cartographie ministérielle via la page web « Diffusion de la cartographie hydrogéologique » (MDDELCC, 2017). Ainsi, les récepteurs primaires considérés sont le lac Petit bras à l'est et le ruisseau Petit Bras au sud-est et au sud qui sont des points de résurgence de l'eau souterraine.

Tableau 2-1 : Niveaux piézométriques mesurés au site les 23 et 25 novembre 2016

Piézomètre	Coordonnées UTM		Élévation surface (m)	Lecture au pvc (m)	Hauteur pvc hors-sol (m)	Élévation de l'eau (m)	Date	Unité interceptée
	Nord	Est						
BH-14-02	555576	5452601	72,5	0,77	0,93	72,66	11/23/2016	Socle rocheux
BH-15-05	555426	5452322	69,81	0,94	0,92	69,79	11/25/2016	Argile silteuse
BH-16-01	555383	5452524	68,54	0,96	0,94	68,52	11/25/2016	Argile
BH-15-07	555431	5452434	68,79	0,84	0,97	68,92	11/25/2016	Sable silteux
BH-16-03	555406	5452486	69,48	0,99	0,94	69,43	11/25/2016	Sable et gravier
BH-15-04	555385	5452357	69,75	1,60	0,95	69,10	11/25/2016	Socle rocheux
BH15-TMF-01	555187	5453297	80,45	1,20	1,05	80,30	11/23/2016	Socle rocheux
BH15-TMF-03	554943	5453295	79,43	1,13	1,17	79,47	11/23/2016	Socle rocheux
BH15-TMF-04	555091	5453354	84,84	2,87	0,99	82,96	11/7/2016	Socle rocheux
BH16-TMF-01	555374	5452695	75,07	3,72	0,83	72,18	11/23/2016	Socle rocheux



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : C. Taveau, G. Cosset		
			Révisé par : C. Bélanger		
	641991-0000-4WER-0001		Rév	Date	Page
		PC	4 avril 2017	4	

Piézomètre	Coordonnées UTM		Élévation surface (m)	Lecture au pvc (m)	Hauteur pvc hors-sol (m)	Élévation de l'eau (m)	Date	Unité interceptée
	Nord	Est						
BH16-TMF-02	555199	5452727	71,88	1,22	1,02	71,68	11/23/2016	Socle rocheux
BH16-TMF-03	555164	5452805	73,57	0,93	0,94	73,58	11/23/2016	Socle rocheux
BH16-TMF-04	555292	5452795	76,09	1,08	0,90	75,91	11/23/2016	Socle rocheux
BH16-TMF-05	555420	5452913	78,15	1,64	0,92	77,43	11/23/2016	Socle rocheux
BH16-TMF-06	555284	5452929	79,28	2,67	1,04	77,65	11/23/2016	Socle rocheux
BH16-TMF-08	555262	5453019	77,77	1,18	0,99	77,58	11/25/2016	Socle rocheux
BH16-TMF-09	555429	5453054	79,12	1,56	1,00	78,56	11/23/2016	Socle rocheux
BH16-TMF-10	554827	5452983	76,55	0,84	1,03	76,74	11/25/2016	Socle rocheux

L'écoulement au site du concentrateur (parc à résidus et site de l'usine) s'effectue de façon générale du nord vers le sud (écoulement régional vers le fleuve) avec une composante locale vers l'est, en amont immédiat du Lac Petit Bras.

Le niveau piézométrique le plus élevé mesuré se trouve dans les butons rocheux au nord du parc à résidus à l'élévation 82,96 m, au piézomètre BH15-TMF-04. L'élévation la plus basse mesurée se situe au sud du site de l'usine à l'élévation 69,10 m, au piézomètre BH-15-04. Au site, la recharge de l'eau souterraine s'effectue principalement par infiltration en surface des précipitations. Les exutoires potentiels et probables de l'eau souterraine sont le Lac Petit Bras et le Petit Bras, puis ultimement le Fleuve St-Laurent.

La Figure 2 de l'Annexe A présente la carte piézométrique du site du parc à résidus et de l'usine ainsi que la position des coupes utilisées pour la construction du modèle conceptuel. Dans la zone du parc, un gradient hydraulique variant de 0,01 à 0,014 est estimé alors qu'au site de l'usine, un gradient légèrement plus élevé et variant de 0,016 à 0,02 est calculé.

Les mesures de niveau d'eau prises aux piézomètres BH16-TMF-02 et BH16-TMF-11 installés l'un à côté de l'autre à l'élévation 64 m (profondeur 7,5 m) et à l'élévation 53 m (profondeur 18 m) ont permis de calculer des gradients verticaux tel que présenté au tableau 2-4. On obtient une valeur moyenne de gradient hydraulique descendant de 0,04 m/m. Ces gradients sont plus élevés que les gradients hydrauliques horizontaux moyens calculés au site du TMF. Ces gradients hydrauliques verticaux élevés peuvent être expliqués par la présence de joints subverticaux avec parois altérées pouvant favoriser l'écoulement vertical localement.



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : C. Taveau, G. Cosset Révisé par : C. Bélanger		
			Rév	Date	Page
	641991-0000-4WER-0001		PC	4 avril 2017	5

Tableau 2-2 : Calcul de gradients verticaux

BH16-TMF-02		BH16-TMF-11		i_{vert}	Sens
h (m)	date	h (m)	date		
71,60	11/4/2016	72,02	11/4/2016	-0,040	descendant
71,59	11/5/2016	71,98	11/5/2016	-0,037	descendant
71,58	11/6/2016	72,01	11/6/2016	-0,041	descendant
71,54	11/7/2016	72,02	11/7/2016	-0,046	descendant
71,51	11/8/2016	71,99	11/8/2016	-0,045	descendant
71,68	11/23/2016	72,11	11/23/2016	-0,041	descendant

2.4 Topographie

La topographie a été déterminée à partir d'un Lidar réalisé en 2016. Généralement, le site à l'étude se caractérise par une alternance de buttes rocheuses et dépressions. Au nord du parc à résidus, des buttes rocheuses aux élévations 85 m à 90 m sont observées. Au niveau du PAR, la topographie est inclinée vers le sud entre les élévations 75 m et 80 m environ. À la limite sud du PAR se trouve une butte rocheuse à l'élévation 80 m. Entre le site du parc à résidus et celui de l'usine se trouve une dépression inclinée dont l'élévation décroît de 72 m à l'est à 63 m à l'ouest où l'on observe de façon saisonnière une résurgence sous la forme d'un ruisseau qui s'écoule de l'est vers l'ouest. Au site de l'usine, la topographie est relativement plate aux environs de l'élévation 70 m, avec ponctuellement des buttes rocheuses qui peuvent atteindre l'élévation 75 m. Des buttes rocheuses aux élévations variables (de 77 m à 85 m) se trouvent entre le site de l'usine et le ruisseau Petit Bras au sud.

2.5 Propriétés hydrogéologiques des unités stratigraphiques

La stratigraphie du site, présentée dans ce qui suit, a été adaptée à partir des informations du modèle conceptuel SNC-Lavalin (2016) et des informations tirées des rapports de campagnes de terrain réalisées en 2015 et 2016 (Qualitas, 2015a, SNC-Lavalin, 2017a).

2.5.1 Couche superficielle

Une couche superficielle composée d'une épaisseur allant de 0,15 m à 0,8 m de matière organique a été rencontrée dans la majorité des puits d'exploration et des forages réalisés au site du PAR. Cette couche de matière organique est généralement composée de mousse, de racine de débris de bois et autres matières organiques à différents stades de décomposition.

Dans les puits et forages où cette couche de matière organique n'était pas rencontrée, une couche de tourbe de 0,73 à 3,66 m d'épaisseur est identifiée. Cette couche est, d'après le système de classification Von Post, pas décomposée (H1) à bien décomposée (H5).



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : C. Taveau, G. Cosset		
		Révisé par : C. Bélanger		
	641991-0000-4WER-0001	Rév	Date	Page
	PC	4 avril 2017	6	

Les couches de matière organique et de tourbe ont été incluses dans une même unité présentant une unique conductivité hydraulique. Cette conductivité hydraulique provient d'une étude sur l'hydrologie de la tourbière du Mont Covey Hill (Fournier, 2008). On y indique que la conductivité hydraulique horizontale de la partie supérieure de la tourbière, jusqu'à 0,4 m de profondeur, varie de 10^{-03} à 10^{-05} m/s, tandis que pour la partie inférieure à partir de 0,4 m, elle varie de 10^{-05} et 10^{-09} m/s. Une valeur moyenne de 5×10^{-05} m/s a été retenue pour notre modèle, car les épaisseurs de matière organique rencontrées ne sont généralement pas de plus d'un mètre et dans le cas d'épaisseurs supérieures à un mètre, il s'agit de zones assez localisées.

2.5.2 Dépôt de sable et dépôt de sable silteux à argileux

Sous la couche de matière organique ou de tourbe, un dépôt de sable avec un peu de gravier et avec un peu de traces de silt est identifié. Cette couche présente une épaisseur allant de 0,17 à 2,10 m. Un essai de perméabilité standard a été réalisé en laboratoire sur un échantillon recueilli lors de la campagne de 2016 et une conductivité hydraulique saturée de $8,51 \times 10^{-05}$ m/s a été calculée. La méthode de prédiction de la conductivité hydraulique saturée de Chapuis (Chapuis, 2004) a été utilisée pour confirmer cette valeur. Selon les différentes courbes granulométriques d'échantillon de sable collecté sur le terrain, des valeurs de conductivité hydraulique variant de $2,79 \times 10^{-04}$ à $6,96 \times 10^{-08}$ m/s, pour une valeur moyenne de $4,89 \times 10^{-05}$ m/s, sont obtenues. Ainsi, sur la base des différentes méthodes utilisées, une conductivité hydraulique moyenne du sable de 6×10^{-05} m/s a été considérée pour le modèle.

Sous le couvert végétal, au sud du site et sous le dépôt de sable silteux au nord du site, le terrain comporte un dépôt stratifié de silt sableux à silt argileux d'origine marine. Dans la partie sud du terrain, l'épaisseur de ce dépôt est plus importante et la proportion d'argile y est plus grande. Aux endroits où elle est présente, cette unité hydrostratigraphique stratifiée, de granulométrie fine et de faible perméabilité limite l'infiltration des eaux de précipitations et de ruissellement en profondeur au niveau du socle rocheux. Son épaisseur varie de 0,5 m à 1,7 m. Étant donnée sa faible épaisseur, cette couche a été considérée comme similaire à la couche de sable ce qui est conservateur puisque le silt est moins perméable que le sable.

Les conductivités hydrauliques typiques pour un sable sont de l'ordre du 10^{-4} à 10^{-7} m/s alors que pour un sable silteux, elles sont généralement de l'ordre du 10^{-7} m/s (Domenico et Schwartz, 1990).

2.5.3 Couche d'argile

Un dépôt d'argile a été rencontré à différents endroits du site avec des épaisseurs variant de 0,05 à 5,03 m au site du PAR et jusqu'à 17,9 m sur le site de l'usine au contact du roc ou de la tourbe. Un essai de perméabilité en laboratoire a été réalisé sur un échantillon non-remanié d'argile. Une conductivité hydraulique saturée de $1,8 \times 10^{-10}$ m/s a été mesurée. Des essais de perméabilité en cellules œdométriques ont également été réalisés et présentent, pour des coefficients de consolidation faibles, une conductivité hydraulique de 7×10^{-09} m/s à 1×10^{-09} m/s (SNC-Lavalin, 2016a). Une conductivité hydraulique de 1×10^{-09} m/s a été considérée dans le modèle. La conductivité hydraulique horizontale typique mentionnée dans la littérature pour un type d'argile raide sans interlits de sable est inférieure à 10^{-8} m/s (Spitz et Moreno, 1996). Ainsi, la valeur choisie est conservatrice.

2.5.4 Socle rocheux

Le socle rocheux possède des réseaux de fracturation plus ou moins ouverts dans lesquels les eaux de surface et de la nappe superficielle s'infiltrent. Les eaux d'infiltration s'écoulent ensuite horizontalement vers des zones de résurgences potentielles d'eaux souterraines localisées au sud-est, soit le Lac et le ruisseau Petit Bras ou éventuellement au sud, vers le fleuve Saint-Laurent, qui constituent le milieu récepteur ultime.



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : C. Taveau, G. Cosset		
			Révisé par : C. Bélanger		
			Rév	Date	Page
	641991-0000-4WER-0001		PC	4 avril 2017	7

La conductivité hydraulique du socle rocheux est sujette à certaines variabilités selon les emplacements de relevés hydrauliques ainsi que notamment le nombre et les ouvertures des réseaux de fractures. Le milieu rocheux doit donc être considéré comme anisotrope d'un point de vue hydrogéologique. Une anisotropie K_x/K_y de 0,1 a donc été appliquée pour le roc compétent et de surface.

Des essais de type "Packer" ont été réalisés sur les quatre forages réalisés durant la campagne de terrain 2015 au site du parc à résidus (Qualitas, 2015a). Les résultats sont présentés au tableau 2-3. Il a été possible de déterminer une conductivité hydraulique du roc sur deux intervalles de profondeur d'un seul forage. Les autres puits présentaient une conductivité hydraulique inférieure à la limite de l'appareil (1×10^{-08} m/s). Cette valeur limite a été choisie comme conductivité hydraulique pour le roc profond dans le modèle.

Des essais de perméabilité à charge descendante ont été réalisés sur tous les piézomètres installés durant la campagne de 2016. Les résultats sont présentés au tableau 2-4 et à la figure 2-1 (points rouges). Une moyenne géométrique a été réalisée sur les essais de perméabilité et les essais de type "Packer". Une conductivité hydraulique moyenne pour le roc de surface de 1×10^{-07} m/s a été obtenue.

Par ailleurs, un dyke a été identifié lors les forages BH-16-TMF-02 et BH-16-TMF-03. Pour le dyke décelé dans le puits BH-16-TMF-03, un essai de perméabilité descendant réalisé dans la zone de cette formation interceptée a permis de déterminer une conductivité hydraulique moyenne de 6×10^{-07} m/s (Tableau 2-4). Bien qu'on ne note pas de différence majeure de conductivité hydraulique entre le dyke et le roc, le dyke a quand même été identifié dans la coupe AA'.

Tableau 2-3 : Essais Packer réalisés sur le terrain

Puits	Profondeur de l'intervalle testé		Élévation de l'intervalle testé		Élévation moyenne	K	Unité interceptée
	Haut	Bas	Haut	Bas		m/s	
BH15-TMF-01	2,37	4,27	78,08	76,18	77,13	<1,00E-08	Roche très compacte
	4,27	6,17	76,18	74,28	75,23	<1,00E-08	Roche très compacte
	6,17	7,67	74,28	72,78	73,53	<1,00E-08	Roche très compacte
BH15-TMF-02	3,39	5,29	74,32	72,42	73,37	<1,00E-08	Roche très compacte
	5,29	6,19	72,42	71,52	71,97	1,78E-06	Dilatation
	7,19	9,26	70,52	68,45	69,485	7,29E-07	Dilatation
BH15-TMF-03	1,4	3,3	78,03	76,13	77,08	<1,00E-08	Roche très compacte
	3,3	5,2	76,13	74,23	75,18	<1,00E-08	Roche très compacte
	5,2	7,6	74,23	71,83	73,03	<1,00E-08	Roche très compacte
BH15-TMF-04	1,15	3,05	83,69	81,79	82,74	<1,00E-08	Dilatation
	3,05	4,95	81,79	79,89	80,84	<1,00E-08	Roche très compacte
	4,95	7,51	79,89	77,33	78,61	<1,00E-08	Roche très compacte



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : C. Taveau, G. Cosset Révisé par : C. Bélanger		
			Rév	Date	Page
	641991-0000-4WER-0001		PC	4 avril 2017	8

Tableau 2-4 : Essais de perméabilité réalisés sur le terrain

Puits	Profondeur de l'intervalle testé		Élévation de l'intervalle testé		Élévation moyenne	K	Unité interceptée
	Supérieur	Fond	Supérieur	Fond		m/s	
BH16-TMF-01	11,91	14,96	62,46	59,41	60,935	5,39E-08	Tonalitic gneiss/Granite
BH16-TMF-02	16,52	19,57	51,23	48,18	49,705	5,00E-08	Tonalitic gneiss/Granitic pegmatite
BH16-TMF-04	1,47	4,52	74,25	71,15	72,7	8,64E-09	Tonalitic gneiss
BH16-TMF-05	10,97	14,02	61,95	58,9	60,425	5,35E-08	Tonalitic gneiss
BH16-TMF-06	4,57	7,62	74,56	71,51	73,035	3,40E-07	Tonalitic gneiss
BH16-TMF-07	13,71	16,76	55,27	52,22	53,745	1,39E-10	Tonalitic gneiss
BH16-TMF-08	7,62	10,67	69,22	66,17	67,695	5,76E-08	Garnet bearing granitic gneiss
BH16-TMF-09	5,03	8,08	69,62	66,65	68,135	1,97E-06	Tonalite
BH16-TMF-10	6,48	8	64,24	62,72	63,48	2,80E-09	Ultramafic intrusion
BH16-TMF-11	5,84	8,89	62,16	59,11	60,635	2,11E-07	Tonalitic gneiss
BH15-TMF-03	4,5	7,5	74,93	71,93	73,43	4,94E-07	Gneiss
BH15-TMF-04	4,2	7,2	80,64	77,64	79,14	5,78E-05	Granite
MOYENNE :						8,34E-08	
Dyke intercepté dans la zone de l'intervalle testé							
BH16-TMF-03	14,38	17,43	56,94	53,89	55,415	6,29E-07	Tonalite



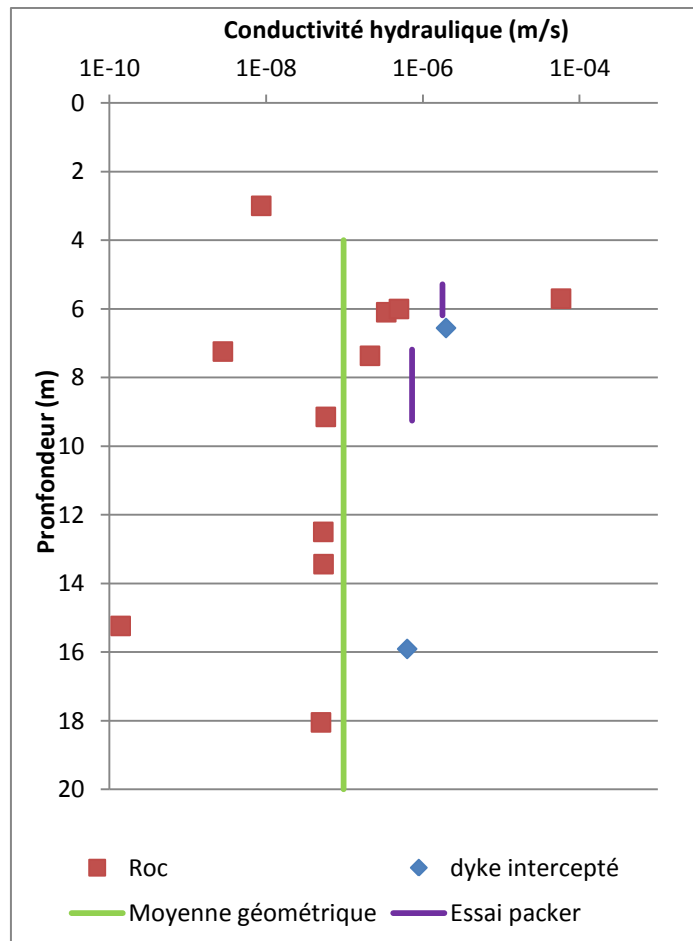


Figure 2-1 : Conductivité hydraulique en fonction de la profondeur mesurée au site du parc à résidus

2.6 Paramètres hydrologiques et calcul de la recharge

Les données hydrologiques sont tirées du rapport Hatch (2016) sur la gestion des eaux au concentrateur. Les données de précipitations proviennent de la station Baie-Comeau (Environnement Canada) et sont la moyenne des valeurs mensuelles obtenues pour la période de 1981-2010. Les données d'évaporation proviennent de la station Bonnard pour la période 1951–1981, car aucune donnée de précipitations n'était disponible pour la station de Baie-Comeau. Le coefficient de ruissellement a été déterminé à 0,34 d'après le tableau de classification hydrologique en zone rurale (MTQ, 1995). Il est supposé que le terrain est vallonné et du fait que le niveau de l'eau souterraine est près de la surface et que la conductivité hydraulique estimée relativement élevée en surface, le sol a été classé C. La recharge effective est calculée à partir des paramètres d'hydrologie résumés au tableau 2-5. Mentionnons que la recharge équivaut aux précipitations moins l'évaporation et le ruissellement.

$$R = P - \text{Évapo.} - \text{Ruissellement}$$



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : C. Taveau, G. Cosset	
			Révisé par : C. Bélanger	
	641991-0000-4WER-0001	Rév	Date	Page
	PC	4 avril 2017	10	

Tableau 2-5 : Données hydrologiques et calcul de recharge

Paramètre	Valeur
Précipitations (P)	1001 mm/an
Évaporation Lacustre (Évapo.)	450 mm/an
Ruissellement (Cr=0,34*)	340 mm/an
Recharge (R)	211 mm/an

*Source : Coefficient de ruissellement-zone rurale (MDDELCC)

3.0 Modélisation hydrogéologique

3.1 Modèle hydrogéologique et méthodologie

3.1.1 Logiciel de simulation numérique

Dans le cadre de ce mandat, le logiciel Seep/W 2016 (Suite Geoslope International) a été utilisé pour développer trois modèles numériques en coupe 2D en condition saturée et régime d'écoulement permanent.

Par la suite, les modèles numériques d'écoulement de l'eau souterraine avec le parc à résidus ont été importés dans le logiciel Ctran/W 2016 (Suite Geoslope International) afin de déterminer le transport potentiel de la contamination en phase dissoute causée par la percolation du lixiviat.

Seep/W est un logiciel d'éléments finis permettant de simuler l'écoulement souterrain de l'eau et la dissipation de pression d'eau interstitielle dans un milieu poreux tel un sol ou le socle rocheux. Il permet d'analyser des conditions d'écoulement simples en régime permanent et milieu saturé, mais aussi des conditions plus complexes avec des milieux saturés et non-saturés en condition transitoire.

Ctran/W est un logiciel d'éléments finis, développé afin d'être utilisé conjointement avec Seep/W, pour simuler le mouvement de contaminants en phase dissoute à travers des matériaux poreux tels un sol ou le socle rocheux (porosité équivalente). Il permet d'analyser des conditions de transport simples (suivi de particules) jusqu'à des procédés de transport plus complexes incluant la diffusion, la dispersion, l'adsorption et la cinétique de dégradation de premier ordre.

Seep/W et Ctran/W sont des logiciels de modélisation reconnus et fréquemment utilisés dans le cadre d'étude et de conception dans le domaine du génie civil, de la géotechnique et de l'hydrogéologie.

3.1.2 Calibration et calcul d'erreur

Au cours du processus de calibration, le modèle piézométrique est ajusté grâce aux paramètres hydrogéologiques existants afin de vérifier qu'il reproduit bien le réseau d'écoulement et les charges hydrauliques mesurées sur le terrain à partir des données d'entrée et des conditions limites appliquées au modèle (ASTM D5981-96, 2002). Le but de la calibration est de déterminer un ensemble de paramètres entrants du modèle qui minimise la différence entre les charges hydrauliques simulées et mesurées. Le paramètre de calibration choisi pour l'étude est l'erreur quadratique moyenne normalisée (NRMSE) qui est la méthode la plus fiable pour déterminer la qualité de la calibration. Celle-ci se fait en comparant la carte piézométrique calibrée versus mesurée en se fixant un critère de



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : C. Taveau, G. Cosset Révisé par : C. Bélanger		
			Rév	Date	Page
	641991-0000-4WER-0001		PC	4 avril 2017	11

convergence, ici choisi inférieure à 15% (Anderson and Woessner, 1992). Le NRMSE est calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$NRMSE = \frac{1}{(h_{max} - h_{min})} \times \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (h_s - h_m)^2 \right]^{1/2}$$

Où :

N : nombre total d'observations

h_s : charge hydraulique simulée [m]

h_m : charge hydraulique mesurée [m]

h_{max} : charge hydraulique mesurée maximum [m]

h_{min} : charge hydraulique mesurée minimum [m]

3.1.3 Méthode

La méthodologie suivie dans le cadre de ce mandat, est la suivante :

- > Calibration des modèles numériques des coupes représentant les conditions actuelles du site,
- > Ajout du parc à résidus dans les modèles numériques des coupes pour définir un nouveau réseau d'écoulement et déterminer les débits en fond de PAR;
- > Simulation de transport de contaminants.

Les deux coupes AA' et BB' ont été définies afin que le bassin de collecte des eaux figure sur l'une des coupes (AA') mais également, afin que la couche d'argile présente au niveau du PAR soit représentée sur une des coupes (BB'). Également, la coupe CC' a été réalisée afin de représenter l'écoulement de l'eau souterraine vers le lac Petit-Bras à l'est du site.

3.2 Calibration du modèle représentant les conditions actuelles observées au site du TMF

3.2.1 Modèle numérique des coupes

3.2.1.1 Modèle AA'

Le modèle numérique de la coupe AA' est basé sur le modèle conceptuel déterminé à partir des informations obtenues sur le terrain lors des campagnes réalisées en 2015 (Qualitas 2015a et 2015b) et en 2016 (SNC-Lavalin (2017a et 2017b)). La coupe AA' est présentée à la figure 3 de l'Annexe A et synthétisée au tableau 3-1. Les principaux paramètres sont les suivants :

La géométrie a été construite selon les données stratigraphiques obtenues des puits d'explorations et forages suivants : BH15-TMF-04, TP15-TMF-03, TP15-TMF-04, TP16-TMF-12, BH16-TMF-07, TP16-TMF-09, BH16-TMF-03, TP16-TMF-03, BH16-TMF-02, TP16-TMF-02, TP16-05, TP-15-36, BH-15-03, TP-16-06, TP-15-23, TP-15-18, TP-15-16, BH-16-08. Un maillage automatique a été généré par Seep/w avec une contrainte de taille moyenne d'éléments n'excédant pas 5 m.

- > 4 niveaux piézométriques sont disponibles pour calibrer la coupe AA'.



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : C. Taveau, G. Cosset Révisé par : C. Bélanger		
			Rév	Date	Page
	641991-0000-4WER-0001		PC	4 avril 2017	12

- > Sur la coupe AA', la condition frontière amont est initialement assignée à partir du (BH15-TMF-04) avec une condition de charge constante égale à 83 m, puis cette condition frontière de charge hydraulique est calibrée. Le niveau piézométrique le long du ruisseau Petit-Bras est imposé à partir de l'élévation du lac Petit-Bras avec des conditions de charge constante égales à 57 m. Cette valeur a été extrapolée à partir de la valeur de 56 m du ruisseau Petit-Bras, à l'endroit où la coupe intercepte le ruisseau (Figure 3 de l'Annexe A).
- > L'infiltration initiale théorique de 211 mm/an sera ajustée à la baisse lors du processus de calibration afin de refléter la nature généralement peu perméable des unités hydrogéologiques.

Tableau 3-1 : Tableau récapitulatif du modèle numérique de la coupe AA'

Paramètre			Valeurs	
Type d'analyse			2D	
Régime			Permanent	
Écoulement			Saturé	
Géométrie	Élévation	Maximale	84.8	m
		Ruisseau Petit-Bras	56	m
	Longueur de la coupe		1660	m
Maillage	Eléments		5398	
	Nœuds		5707	
Nombre de niveaux piézométriques disponibles pour calibration			4	
Conductivités hydrauliques finales calibrées et	Tourbe	K	5.00E-05	m/s
	Sable	K	6.00E-05	m/s
	Argile	K	1.00E-09	m/s
	Socle rocheux	K_{surface}	5.00E-07	m/s
		K_{profond}	1.00E-08	m/s
Dyke	K_{moyen}	6.00E-07	m/s	
Conditions frontières	Condition de charge constante (h=cte)	Amont hydraulique	83 (BH15-TMF-04) m	



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : C. Taveau, G. Cosset Révisé par : C. Bélanger		
			Rév	Date	Page
	641991-0000-4WER-0001		PC	4 avril 2017	13

Paramètre			Valeurs	
		Ruisseau Petit-Bras	57	m
	Condition frontière de suintement (Q=0)	Au niveau du ruisseau intermittent entre le PAR et l'usine	Q=0	
		À proximité de la condition frontière amont	Q=0	
	Recharge	Ajuster lors du processus de calibration		

3.2.1.2 Modèle BB'

Le modèle numérique de la coupe BB' est basé sur le modèle conceptuel déterminé à partir des informations obtenues sur le terrain lors des campagnes réalisées en 2015 (Qualitas 2015a et 2015b) et en 2016 (SNC-Lavalin (2017a et 2017b). La coupe BB' est présentée à la Figure 4 de l'annexe A et synthétisée au tableau 3-2. Les principaux paramètres sont les suivants :

La géométrie a été construite selon les données stratigraphiques obtenues des puits d'explorations et forages suivants : BH15-TMF-01, TP15-TMF-17, TP16-TMF-13, TP15-TMF-18, TP16-TMF-15, BH16-TMF-08, TP16-TMF-22, BH16-TMF-05, TP16-TMF-18, TP16-TMF-19, BH16-TMF-01, BH-16-02, TP-15-33, TP-15-07, BH-15-14, BH-14-01. Un maillage automatique a été généré par Seep/w avec une contrainte de taille moyenne d'éléments n'excédant pas 6 m.

- > 4 niveaux piézométriques sont disponibles pour calibrer la coupe BB'
- > Sur la coupe BB', la condition frontière amont est initialement assignée à partir du (BH15-TMF-01) avec une condition de charge constante égale à 80 m puis cette condition frontière de charge hydraulique est calibrée. Le niveau piézométrique le long du ruisseau Petit-Bras est imposé à partir de la topographie grâce à des conditions de charge constante égales à 60 m. Cette valeur a été extrapolée à partir de la valeur de 56 m du ruisseau Petit-Bras, à l'endroit où la coupe intercepte le ruisseau (Figure 4 de l'Annexe A).
- > L'infiltration initiale théorique de 211 mm/an sera ajustée à la baisse lors du processus de calibration afin de refléter la nature généralement peu perméable des unités hydrogéologiques.



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : C. Taveau, G. Cosset Révisé par : C. Bélanger		
	641991-0000-4WER-0001		Rév	Date	Page
			PC	4 avril 2017	14

Tableau 3-2 : Tableau récapitulatif du modèle numérique de la coupe BB'

Paramètre			Valeurs		
Type d'analyse			2D		
Régime			Permanent		
Écoulement			Saturé		
Géométrie	Élévation	Maximale	80,3	m	
		Ruisseau Petit Bras	60	m	
	Longueur de la coupe		1450	m	
Maillage	Eléments		4812		
	Nœuds		5098		
Nombre de niveaux piézométriques disponibles pour calibration			4		
Conductivités hydrauliques finales calibrées et	Tourbe	K	5.00E-05	m/s	
	Sable	K	6.00E-05	m/s	
	Sable silteux	K	3.00E-07	m/s	
	Argile	K	1.00E-09	m/s	
	Socle rocheux	K_{surface}		5.00E-07	m/s
		K_{profond}		1.00E-08	m/s
Conditions frontières	Condition de charge constante (h=cte)	Amont hydraulique	78,25	m (BH15-TMF-01)	
		Ruisseau petit bras	60	m	
	Condition frontière de suintement (Q=0)	Au niveau du ruisseau intermittent entre le PAR et l'usine		Q=0	
	Recharge	Ajuster lors du processus de calibration			



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : C. Taveau, G. Cosset Révisé par : C. Bélanger		
			Rév	Date	Page
	641991-0000-4WER-0001		PC	4 avril 2017	15

3.2.1.3 Modèle CC'

Le modèle numérique de la coupe CC' est basé sur le modèle conceptuel déterminé à partir des informations obtenues sur le terrain lors des campagnes réalisées en 2015 (Qualitas 2015a et 2015b) et en 2016 (SNC-Lavalin (2017a et 2017b)). La coupe CC' est présentée à la figure 5 de l'Annexe A et synthétisée au tableau 3-3. Les principaux paramètres sont les suivants :

La géométrie a été construite selon les données stratigraphiques obtenues des puits d'explorations et forages suivants : BH15-TMF-01, TP15-TMF-17, TP16-TMF-13, TP15-TMF-18, TP16-TMF-15, TP16-TMF-21, BH16-TMF-09. Un maillage automatique a été généré par Seep/w avec une contrainte de taille moyenne d'éléments n'excédant pas 5 m.

- > Un niveau piézométrique est disponible pour calibrer la coupe CC'.
- > Sur la coupe CC', la condition frontière amont est initialement assignée à partir du (BH15-TMF-01) avec une condition de charge constante égale à 80 m puis cette condition frontière de charge hydraulique est calibrée. Le niveau piézométrique le long du lac Petit-Bras est imposé à partir de l'élévation du lac Petit-Bras avec des conditions de charge constante égales à 69 m. (Figure 5 de l'Annexe A).
- > L'infiltration initiale théorique de 211 mm/an sera ajustée à la baisse lors du processus de calibration afin de refléter la nature généralement peu perméable des unités hydrogéologiques.

Tableau 3-3 : Tableau récapitulatif du modèle numérique de la coupe CC'

Paramètre			Valeurs	
Type d'analyse			2D	
Régime			Permanent	
Écoulement			Saturé	
Géométrie	Élévation	Maximale	80,3	m
		Ruisseau Petit-Bras	69	m
	Longueur de la coupe		755	m
Maillage	Eléments		2825	
	Nœuds		2978	
Nombre de niveaux piézométriques disponibles pour calibration			1	
Conductivités hydrauliques finales	Tourbe	K	5.00E-05	m/s
	Sable	K	6.00E-05	m/s



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : C. Taveau, G. Cosset			
			Révisé par : C. Bélanger			
			Rév	Date	Page	
		641991-0000-4WER-0001		PC	4 avril 2017	16

Paramètre			Valeurs	
calibrées	Sable silteux	K	3.00E-07	m/s
	Argile	K	1.00E-09	m/s
	Socle rocheux	K _{surface}	5.00E-07	m/s
		K _{profond}	1.00E-08	m/s
Conditions frontières	Condition de charge constante (h=cte)	Amont hydraulique	78,25 (BH15-TMF-01)	m
		Lac Petit-Bras	69	m
	Recharge	Ajuster lors du processus de calibration		

3.2.2 Calibration des coupes AA', BB' et CC'

La stratégie de calibration découle de l'analyse des informations (niveaux piézométriques, stratigraphie, conditions frontières) disponibles pour les coupes AA', BB' et CC'.

3.2.2.1 Coupe AA'

Les 4 niveaux piézométriques interceptant la coupe AA' ont été utilisés pour calibrer les niveaux piézométriques et déterminer l'infiltration au site. Le résultat du calage donne un NRMSE (erreur quadratique moyenne normalisée) de 10,4% indiquant que le calage du modèle obtenu est adéquat et représente de façon acceptable les conditions observées sur le terrain. Les mesures de niveau d'eau couvrent les valeurs de 57 m à 83 m. L'erreur moyenne absolue sur le modèle est de 0,59 m (moyenne des différences entre les niveaux d'eau calibrés et mesurés). La figure 6 de l'annexe A est une comparaison entre les charges hydrauliques mesurées sur le terrain et celles calibrées et indique que celles-ci sont toutes dans le même ordre de grandeur, s'alignent uniformément le long de la courbe unitaire et les points se positionnent entre les deux courbes rouges pointillées représentant une erreur de 10%.

Lors du processus de calibration une zone de suintement a été ajoutée à 60 m en aval du BH-15-TMF-04 afin d'abaisser le niveau de la nappe très élevé dû à la proximité de la condition frontière amont.

Certaines valeurs de conductivités hydrauliques tirées du modèle conceptuel ont été modifiées pour réduire l'erreur de calibration. Ainsi, la conductivité hydraulique du roc de surface a été ajustée et augmentée d'un facteur de cinq, de $1,0 \times 10^{-07}$ m/s à $5,0 \times 10^{-07}$ m/s. Les résultats de la piézométrie calibrée et de la répartition de l'infiltration sont présentés à la Figure 6 de l'Annexe A.

3.2.2.2 Coupe BB'

Les 4 niveaux piézométriques interceptant la coupe BB' ont été utilisés pour calibrer les niveaux piézométriques et déterminer l'infiltration au site. Le résultat du calage donne un NRMSE (erreur quadratique moyenne normalisée) de 6,9% indiquant que le calage du modèle obtenu est adéquat et représente de façon acceptable les conditions observées sur le terrain. Les mesures de niveau d'eau couvrent les valeurs de 60 m à 78,25 m et l'erreur moyenne absolue sur le modèle est de 0,18 m (moyenne des différences entre les niveaux d'eau calibrés et mesurés). La



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : C. Taveau, G. Cosset		
		Révisé par : C. Bélanger		
	641991-0000-4WER-0001	Rév	Date	Page
	PC	4 avril 2017	17	

figure 7 de l'annexe A, montre que les charges hydrauliques mesurées et simulées sont toutes dans le même ordre de grandeur, s'alignent uniformément le long de la courbe unitaire et les points se positionnent entre les deux courbes rouges pointillées représentant une erreur de 10%.

Lors du processus de calibration, la condition frontière amont a été légèrement réduite de 80,3 m, valeur indiquée par BH15-TMF-01 à 78,5 m pour obtenir un meilleur calage au niveau des piézomètres BH16-TMF-08 et BH16-TMF-08.

Certaines valeurs de conductivités hydrauliques tirées du modèle conceptuel ont été modifiées pour réduire l'erreur de calibration. Ainsi, la conductivité hydraulique du roc de surface a été ajustée et augmentée par un facteur de cinq, comme pour la coupe AA'. Les résultats de la piézométrie calibrée et de la répartition de l'infiltration sont présentés à la figure 7 de l'Annexe A.

3.2.2.3 Coupe CC'

Cette coupe est présentée en complément et afin d'illustrer l'écoulement probable de l'eau souterraine vers le lac Petit-Bras, malgré le fait que peu de données soient disponibles dans la zone du lac Petit-Bras. Aucune NRMSE (erreur quadratique moyenne normalisée) n'a pas été calculée du fait qu'un seul niveau piézométrique soit disponible pour le calage.

Étant donné que la coupe CC' correspond à la coupe BB' dans sa partie amont, les conditions aux frontières et valeurs calibrées en amont du modèle BB' ont été reprises afin de réaliser la coupe CC'.

En conformité avec les coupes AA' et BB', la conductivité hydraulique du roc de surface a été augmentée par un facteur de cinq. Les résultats de la piézométrie calibrée et de la répartition de l'infiltration sont présentés à la Figure 8 de l'Annexe A.

Les valeurs d'infiltrations utilisées dans les modèles AA', BB' et CC' sont présentées au tableau 3-4. Les valeurs appliquées dans le modèle sont relativement plus faibles que les valeurs moyennes théoriques calculées à la section 2.6. Ces valeurs théoriques sont des moyennes réalisées sur plusieurs années et donnent un ordre de grandeur de la recharge efficace attendue. En effet, la recharge théorique a été ajustée et calibrée en fonction des aspects suivants du modèle :

- > Pente de la zone du modèle : Une pente abrupte est associée à un taux d'infiltration généralement plus faible.
- > Niveau de la nappe : Lorsque la nappe est au niveau du sol ou au niveau du ruisseau intermittent entre le site du TMF et de l'usine, il y a peu de possibilité d'infiltration dans le sol.
- > Conductivité hydraulique du matériau de surface : En présence d'un matériau peu perméable, l'infiltration assignée est peu élevée.



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : C. Taveau, G. Cosset Révisé par : C. Bélanger		
			Rév	Date	Page
	641991-0000-4WER-0001		PC	4 avril 2017	18

Tableau 3-4 : Infiltration utilisée pour la calibration des coupes

Paramètres	Valeurs		Couleur aux figures 6, 7 et 8
	m/s	mm/an	
Infiltration faible	3,50 x10-10	12.5	Turquoise
	7,00 x10-10	25	
Infiltration moyenne	1,40 x10-09	50	Bleu
	2,10 x10-09	75	
Infiltration maximale	2,40 x10-10	100	Bleu marine
	4,20 x10-10	150	

3.2.3 Réseau d'écoulement simulé par le modèle numérique

Les coupes AA', BB' et CC' des figures 6, 7 et 8 de l'Annexe A présentent le réseau d'écoulement au site du futur parc à résidus et au site de l'usine selon la coupe. On observe que dans l'empreinte du futur parc, le niveau de la nappe est particulièrement élevé, voir affleurant sur les coupes BB' et CC' au centre du futur parc. Les élévations varient de 81 à 73 m pour la coupe AA', de 79 à 74 m pour la coupe BB' et de 78,25 à 78 m pour la coupe CC'. Au niveau du site de l'usine, les niveaux d'eau sont également près de la surface avec des élévations variant de 69 à 68 m pour la coupe AA' et 70 à 68 m sur la coupe BB'.

3.2.4 Analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité a été réalisée en utilisant toujours des valeurs dans l'intervalle de celles retenues pour constituer le modèle conceptuel.

L'analyse de sensibilité du modèle démontre que celui-ci est très sensible à la variation de la conductivité hydraulique de la couche de tourbe principalement, mais également à la variation de la conductivité hydraulique du roc de surface, et ce, autant pour la coupe AA' que pour la coupe BB'. Les autres paramètres du modèle influencent avec un moindre impact le comportement du modèle. Les résultats sont présentés dans le tableau 3-5.



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : C. Taveau, G. Cosset		
			Révisé par : C. Bélanger		
			Rév	Date	Page
	641991-0000-4WER-0001	PC	4 avril 2017	19	

Tableau 3-5 : Résultats de l'analyse de sensibilité

Paramètre modifié	Valeurs calibrées (m/s)	Valeur de l'analyse de sensibilité (m/s)	NRMSE sur l'analyse de sensibilité de la coupe AA' (%)	NRMSE sur l'analyse de sensibilité de la coupe BB' (%)
Modèle calibré			10,4	6,9
Conductivité hydraulique de la tourbe	5x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁴	24,4	16,8
		7,5x10 ⁻⁵	24,4	16,8
		2,5x10 ⁻⁵	17	15,4
		1x10 ⁻⁵	50,2	42,4
Conductivité hydraulique du roc de surface	5x10 ⁻⁷	5x10 ⁻⁶	35,1	27,4
		7,5x10 ⁻⁷	17,5	10,8
		2,5x10 ⁻⁷	12,1	5,7
		1x10 ⁻⁸	13,5	5,8
Conductivité hydraulique du sable	6x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁴	21,1	9,7
		2x10 ⁻⁵	13,4	11,7
		8x10 ⁻⁶	13,8	15,8
		5x10 ⁻⁶	14,1	17,3

Pour la conductivité hydraulique de la tourbe, la variation d'un demi-ordre de grandeur de la conductivité hydraulique, de part et d'autre de la valeur calibrée, montre des erreurs NRMSE jusqu'à environ 50% pour les coupes AA' et BB'. Pour le roc de surface, lorsque la valeur de conductivité hydraulique augmente l'erreur NRMSE augmente pour la coupe AA' alors qu'elle diminue pour la coupe BB'. Lorsque l'on considère les deux coupes, le choix de conductivité hydraulique apparaît optimal.

3.3 Modélisation numérique avec la pile de résidus avant la fermeture

Le modèle numérique d'écoulement souterrain calibré est modifié pour intégrer la pile de résidus et définir un nouveau réseau d'écoulement souterrain. Les changements suivants ont été apportés aux modèles :

- > Ajout du PAR avec une conductivité hydraulique des résidus de 1x10⁻⁰⁹ m/s. Cette valeur est basée sur les résultats d'essais en cellule œdométrique réalisés sur des échantillons de résidus miniers filtrés à différentes pressions de consolidation. Lors de ces essais, les valeurs de conductivité hydraulique ont varié de 1,09x10⁻⁰⁹ m/s à 2,67x10⁻¹⁰ m/s.
- > Une recharge sur la pile de résidus est appliquée. Une valeur de 31 mm/an correspondant à la conductivité hydraulique saturée des résidus miniers (1x10⁻⁰⁹ m/s) est appliquée sur le sommet et les pentes du parc à résidus. Cette valeur de recharge correspond à un maximum probable puisque la pile de résidus sera opérée afin d'empêcher l'accumulation d'eau sur le sommet de la pile (pas de formation d'un plan d'eau) et de favoriser le ruissellement. Ainsi, sur la base d'une conductivité hydraulique saturée des résidus faibles, l'infiltration assignée sera peu élevée (Lupo, J. et Hall, J., 2010).



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : C. Taveau, G. Cosset		
		Révisé par : C. Bélanger		
	641991-0000-4WER-0001	Rév	Date	Page
	PC	4 avril 2017	20	

- > Pour la coupe AA', ajout du bassin de collecte à l'extrémité sud du parc à résidus.
- > Au niveau de l'empreinte des digues de pourtour, l'unité de la tourbe est retirée.

3.3.1 Réseau d'écoulement avec le parc à résidus

Les coupes AA' et BB' des figures 9 et 10 de l'Annexe A présentent le réseau d'écoulement au site du futur parc à résidus et au site de l'usine avec le PAR modélisé. La coupe CC' de la figure 11 de l'Annexe A présente le réseau d'écoulement au site du futur parc à résidus jusqu'au lac Petit-Bras à l'est du PAR. Au niveau du PAR à la coupe BB', les réseaux d'écoulement sont sensiblement analogues antérieurement au PAR et avec celui-ci, tandis que dans la partie amont du parc à résidus, la nappe d'eau affleure très légèrement le long de la pente. Sur l'ensemble du parc, les niveaux d'eau ont légèrement diminué, mais n'excèdent pas 0,5 m s'expliquant par la réduction de l'infiltration en surface qui est limitée par la faible conductivité hydraulique des résidus. L'infiltration appliquée pour la coupe CC' est uniquement sur la partie supérieure du PAR, du fait que la coupe CC' ne correspond pas à une coupe complète du PAR, mais à une portion seulement. On note également qu'au niveau du parc à résidus, pour la coupe AA', la présence du bassin de collecte rehausse la nappe de 73 m à 75 m et crée un frein à l'écoulement et, par conséquent, des gradients hydrauliques plus faibles sous le parc. Sur la partie aval du PAR, la nappe déborde légèrement jusque dans le bassin de rétention.

3.3.2 Débits au fond de la pile de résidus

Les débits en fond du parc à résidus sont présentés au tableau 3-6. Pour déterminer ces débits, une ligne de flux a été assignée dans chacun des modèles à la base du PAR afin d'obtenir un débit en m^3/sec , qui a été divisé par la longueur du PAR et converti en $L/m^2/jr$. Pour la coupe AA', un débit en fond de parc journalier de $0,068 L/m^2/jr$ est obtenu alors que pour les coupes BB' et CC', des débits respectifs de $0,280 L/m^2/jr$ et $0,017 L/m^2/jr$ sont estimés. On remarque que même en présence de roc fracturé en surface, les débits en fond de parc sont toujours inférieurs au $3,3 L/m^2/jr$ prescrits par la Directive 019. Cette valeur de $3,3 L/m^2/jr$ considère une tête d'eau au sein des résidus de 10 m et ainsi un milieu saturé, ce qui n'est pas le cas ici. Les résultats sont présentés aux figures 9, 10 et 11 de l'Annexe A.

Des simulations additionnelles pour chacune des coupes AA' et BB' ont été réalisées pour évaluer l'effet du développement d'une nappe d'eau de 5 m de hauteur dans le parc à résidus. Les résultats sont présentés aux figures 12 et 13 de l'Annexe A ainsi qu'au tableau 3-6. Les modèles indiquent que même avec une tête d'eau de 5 m dans les résidus miniers en connexion hydraulique avec l'écoulement naturel sous-jacent, le débit sous le parc demeure faible, s'expliquant par la faible conductivité hydraulique des résidus miniers. On note également que, autant pour la coupe AA' que BB', les débits estimés avec une tête d'eau de 5 m imposée dans le parc sont plus du double qu'avec une recharge de 31 mm/an. Les cas simulés avec une tête d'eau de 5 m représentent des cas plus critiques puisqu'une nappe se crée au sein du PAR et entre en connexion hydraulique avec le réseau d'écoulement souterrain. Ces débits estimés demeurent toutefois largement en-deçà au $3,3 L/m^2/jr$ prescrit par la Directive 019.



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : C. Taveau, G. Cosset Révisé par : C. Bélanger		
			Rév	Date	Page
	641991-0000-4WER-0001		PC	4 avril 2017	21

Tableau 3-6 : Débits au fond de la pile de résidus

Coupe	Condition simulée	Longueur	Débits	Débits
		(m)	(m ³ /s)	(L/m ² /jr)
AA'	Recharge = 31 mm/an	437	3,42x10 ⁻⁰⁷	0,068
AA'	Tête d'eau de 5 m dans le parc + Recharge = 12,5 mm/an	437	3,91x10 ⁻⁰⁷	0,077
BB'	Recharge = 31 mm/an	482	1,56x10 ⁻⁰⁶	0,280
BB'	Tête d'eau de 5 m dans le parc + Recharge = 12,5 mm/an	482	3.64x10 ⁻⁰⁶	0,653
CC'	Recharge = 31 mm/an	235	4.64x10 ⁻⁰⁸	0.017

4.0 Modélisation de transport de contaminants

Les coupes AA', BB' et CC' avec les réseaux d'écoulement modélisés en présence du parc, ont été importées dans le logiciel Ctran/W pour simuler le transport de la phase dissoute du fer par advection-dispersion. Les propriétés de transport des matériaux et des contaminants (coefficient de dispersivité, coefficient d'advection) ainsi que les conditions frontières ont été assignées pour procéder à des simulations en mode transitoire sur une période de 200 ans.

4.1 Géochimie des résidus

Des essais cinétiques sur les rejets miniers de Mason Graphite ont été réalisés par l'Unité de recherche et de service en technologie minérale (URSTM) en juillet 2016. Les résultats sont présentés dans la section ci-dessous et permettront de définir les paramètres du modèle de transport des contaminants.

La caractérisation chimique et minéralogique sur l'échantillon composite de résidus démontre que celui-ci présente des teneurs élevées en sulfures (principalement pyrrhotite, et traces de pyrite, sphalérite et chalcopyrite). Le matériel comporte aussi très peu de minéraux neutralisants (principalement la dolomite). Le bilan des essais statiques est conséquent avec ces observations avec un potentiel acide (PA) fortement positif (347 kg CaCO₃/t) et un potentiel de neutralisation (PN) inexistant (0 kg CaCO₃/t), si bien que le potentiel net de neutralisation (PNN) est fortement négatif (-347 kg CaCO₃/t) et le ratio PN/PA est nul (0 kg CaCO₃/t).

Les résultats de l'essai cinétique en colonne réalisé sur une période de 400 jours montrent dès le début de l'essai un pH acide de 4,26 qui monte jusqu'à une valeur de 4,95 à 126 jours et ensuite redescend graduellement pour rejoindre les valeurs de l'essai sur le minerai (~3.4). Cette période de hausse du pH correspond aussi à une baisse de la conductivité, du potentiel d'oxydoréduction ainsi que de l'acidité. Il s'agit possiblement d'une période de latence avant que les processus géochimiques n'atteignent un état similaire à ceux observés dans l'essai sur le



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : C. Taveau, G. Cosset		
		Révisé par : C. Bélanger		
	641991-0000-4WER-0001	Rév	Date	Page
	PC	4 avril 2017	22	

minéral. Il est possible que la nature fine du matériau favorise un maintien plus élevé de la teneur en eau et donc une plus faible disponibilité de l'oxygène.

Les résultats d'analyse des métaux normés à l'effluent final par la Directive 019 (As, Cu, Fe, Pb, Zn), montrent des dépassements du critère de la directive dès le premier rinçage pour les paramètres Fe, Ni, Pb et Zn. Pour les paramètres Fe, Pb, Zn on observe une tendance de valeur élevée en début d'essai, une plage entre 100 et 240 jours, pour ensuite adopter une tendance à la hausse pour le reste de l'essai. Le Ni montre des valeurs élevées en début d'essai qui diminuent par la suite sous le critère et restent stables jusqu'à la fin de l'essai. Le Cu a un comportement différent avec des valeurs basses en début d'essai qui augmentent après 100 jours jusqu'à des valeurs dépassant le critère.

Au niveau du potentiel de drainage minier acide (DMA), l'essai en colonne a démontré que le composite de résidus fournis pour analyse est générateur d'acidité à court terme. Aucune période de latence entre la mise en place et la production d'un DMA chargé de métaux n'a été observée en laboratoire. Les résultats montrent que les neutralisants (principalement la dolomite) sont déficitaires et réagissent trop lentement pour tamponner le pH, et ce, dès le début de l'essai. L'évolution des concentrations et des charges cumulées et normalisées pour le Stotal montre cependant un ralentissement du taux de production (diminution de la pente de la relation Stotal versus temps) des jours 75 à 250. Les chutes de concentration élémentaires pour cette période sont occasionnées par un ralentissement dans les taux d'oxydation des sulfures. Ce ralentissement est possiblement causé par un ensemble de facteurs, dont des phénomènes reliés à la consolidation, aux conditions hydrogéologiques et à la disponibilité de l'oxygène.

Dans le cadre du présent projet, le paramètre du fer a été retenu pour réaliser le transport de contaminants en raison de sa concentration constamment supérieure aux critères de la Directive 019 lors des rinçages des essais en colonne. Les essais suivants indiquent des concentrations moyennes pour le fer de :

- > Essais en colonne (12 cycle d'1 mois avec eau déminéralisée) : 3000 mg/L
- > Essais TCLP (18 heures avec une eau acide organique) : 13,8 mg/L
- > Essais SPLP (18 heures avec une eau acide inorganique) : 91 mg/L
- > Essais CTEU9 (essais de 7 jours avec échantillons pulvérisés et eau neutre déminéralisée) : 1333 mg/L

Lorsqu'on considère ces essais en laboratoire, il faut prendre en considération un facteur d'échelle puisque des éléments tel que la température ou le ratio liquide sur solide ont des impacts significatifs sur la réponse géochimique des résidus (Plante et al., 2014) et ainsi sur la concentration de contaminants dans les eaux d'exfiltration. Aussi, les cellules humides tendent à accélérer le taux de libération des métaux et des minéraux par rapport au terrain.

La concentration du fer comme source de contamination au niveau de la pile de résidus dans le modèle a été fixée à 1000 mg/L pour prendre en considération la période hivernale (6 mois par année les températures inhiberont les réactions d'oxydation) et ainsi intégrer un facteur d'échelle de 3.

4.2 Paramètres du modèle de transport

Les coupes AA', BB' CC' avec les réseaux d'écoulement modélisés en présence du parc ont été importées dans le logiciel Ctran/W pour simuler le transport de la phase dissoute du fer par advection-dispersion. Les propriétés de transport des matériaux et des contaminants (coefficient de dispersivité, coefficient d'advection) ainsi que les conditions frontières ont été assignées pour procéder à des simulations en mode transitoire sur une période de 200 ans.



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : C. Taveau, G. Cosset Révisé par : C. Bélanger		
			Rév	Date	Page
	641991-0000-4WER-0001		PC	4 avril 2017	23

Le tableau 4-1 présente les paramètres de transport des contaminants pour le fer et les figures 14, 17 et 20 de l'Annexe A présentent le modèle numérique de transport. Les hypothèses suivantes ont été considérées :

- > La dispersivité longitudinale est calculée d'après l'équation de Xu et Eckstein (1995) soit $\alpha_L = 0,83 * (\log L)^{2,414}$ avec L correspondant à la longueur de parcours calculée entre le milieu du parc et le ruisseau Petit-Bras (approximativement 1300 m pour la coupe AA', 1200 m pour la coupe BB' et 550 m pour la coupe CC'). La dispersivité transversale est égale à 10% de la dispersivité longitudinale et cette approche est basée sur Gelhar et al. (1992);
- > Le transport de contaminants est principalement régi par le processus d'advection. Le phénomène de diffusion moléculaire est un processus de transport négligeable dans les dépôts meubles et le roc à l'échelle du site ;
- > Aucune réaction chimique, dégradation ou adsorption n'est considérée pour le fer. Cette approche est considérée conservatrice.
- > Les concentrations à la source pour le fer sont tirées des résultats de rinçage d'essais en colonne réalisés en juillet 2016 sur les résidus de traitement de récupération du graphite. Les concentrations ont été appliquées dans Ctran/W comme condition frontière de charge constante au niveau de l'empreinte du parc avec une concentration de 1000 mg/l pour le fer, tel que déjà mentionné. La concentration sera gardée constante durant toute la période de la modélisation, ce qui est conservateur.

Tableau 4-1 : Paramètres de transport de contaminants

Paramètre		Unité	Valeur	Source
Régime		Transitoire		
Condition frontières	Concentration (condition frontière de charge constante) : Fer (Fe) C =	mg/l	1 000	Essais en colonne réalisés sur les résidus (URSTM, 2016)
	Fonction de sortie de contaminant («Exit review») : Qm = Exit review Qd =	g/sec g/sec	0 >0	
Propriétés des matériaux	Diffusion moléculaire : Fer (Fe)	m ² /s	$7,19 \times 10^{-10}$	Spitz and Moreno (1996)
	Dispersivité longitudinale	m	12,9	Selon Xu et Eckstein (1995) et validée avec le critère du nombre de Peclet
	Dispersivité transversale	m	1,29	Selon Gelhar et al (1992) et validée avec le critère du nombre de Peclet



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : C. Taveau, G. Cosset		
			Révisé par : C. Bélanger		
			Rév	Date	Page
	641991-0000-4WER-0001	PC	4 avril 2017	24	

4.3 Critères applicables

Selon le système d'information hydrogéologique (SIH) du MDDELCC, des prises d'eau privées sont localisées à moins de 1 kilomètre au sud-est du terrain à l'étude, en aval hydraulique, au-delà du ruisseau Petit-Bras. Il semblerait que ces puits appartiennent à une carrière. Par conséquent, il ne s'agirait pas de puits d'eau potable bien que ces informations demeurent à confirmer. Ainsi, le critère actuellement applicable et retenu aux fins de notre évaluation correspond au critère de résurgences dans l'eau de surface (RES) du MDDELCC. En l'absence de critère RÉSIE et à titre indicatif seulement, les concentrations maximales acceptables dans l'eau potable tirées de Santé Canada ainsi que les concentrations au point de rejet de l'effluent final tirées de la Directive 019 sont présentés au tableau 4-2.

Tableau 4-2 : Critères prescrits par le MDDELCC pour les concentrations en contaminants dans l'eau souterraine en fonction du milieu récepteur

Paramètre	Critère d'eau souterraine (mg/L)			
	Résurgence dans l'eau de surface (RESIE)	Aux fins de consommation Humaine – Eau Potable (EC)	Directive 019 – Concentration moyenne acceptable au point de rejet de l'effluent final	Directive 019 – Concentration maximale acceptable au point de rejet de l'effluent final
Fer	-	0,3*	3	6

* Concentration maximale acceptable dans l'eau potable (Critère esthétique) tiré de Santé Canada

4.4 Teneurs de fond

Les concentrations en fer mesurées sur le site du PAR et de l'usine lors du rapport d'investigation géotechnique additionnelle réalisée en février 2017 (SNC-Lavalin, 2017a) et lors de l'investigation géotechnique préliminaire réalisée en avril 2015 (Qualitas, 2015b) respectivement sont présentés au tableau 4-3. Ces données sont présentées à titre comparatif, car peu de données sont disponibles et les critères obtenus pour le fer sont uniquement esthétiques. Ces deux études indiquent que les concentrations sont inférieures aux critères prescrits par Santé Canada et par la Directive 019. Les teneurs de fond obtenues sur le site du PAR s'échelonnent d'une valeur inférieure à 0,02 jusqu'à 0,209 mg/L pour une moyenne d'approximativement 0,072 mg/L.



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE			Préparé par : C. Taveau, G. Cosset		
				Révisé par : C. Bélanger		
		Rév	Date	Page		
	641991-0000-4WER-0001			PC	4 avril 2017	25

Tableau 4-3 : Teneurs de fond mesurées au site du PAR et en aval (2015b et 2017a)

Paramètre	Teneurs de fond (mg/L)					Moyenne
	Amont	Centre du PAR		Aval		
Puits	BH15-TMF-01	BH16-TMF-08	BH16-TMF-10	BH16-TMF-01	BH16-TMF-02	
Date d'échantillonnage	08/11/2016	08/11/2016	08/11/2016	08/11/2016	08/11/2016	
Fer	0,063	<0,02	0,036	0,209	0,034	0,072

4.5 Panaches de contamination modélisés

Les résultats des panaches de contamination pour le fer après 20, 40, 100 et 200 ans de transport en phase dissoute sont présentés aux figures 15, 16, 18, 19, 21 et 22 pour les coupes AA' à CC'. Le tableau 4-4 est un résumé des résultats et donne l'année à laquelle le panache de contamination atteint le ruisseau intermittent entre le site du PAR et de l'usine pour les coupes AA' et BB' et l'année à laquelle le panache de contamination atteint le lac Petit-Bras pour la coupe CC'. Le ruisseau intermittent est utilisé pour qualifier le panache, car il est considéré comme la limite entre le site de l'usine et celui du PAR. Par contre, ce ruisseau est intermittent et ainsi n'est pas un point de résurgence qui est observé à l'année longue. Les récepteurs primaires sont le lac et le ruisseau petit bras situés plus en aval.

Pour la coupe AA', le panache de contamination atteint le ruisseau intermittent à l'année 20 (1 mg/l), mais reste bien en amont du ruisseau Petit-Bras après 200 ans de transport. À 200 ans de transport, le panache de contamination qui atteint le ruisseau intermittent présente une concentration d'environ 900 mg/l. La vitesse de migration du front de concentration vers le ruisseau Petit-Bras entre 20 et 100 ans est de 2,4 m/an, tandis qu'entre 100 et 200 ans, la vitesse de migration calculée est de 0,4 m/an. Ces variations de vitesse de migration peuvent s'expliquer par la présence du bassin de rétention qui pourrait freiner le panache de contamination. Également, ce bassin empêcherait l'écoulement préférentiel dans la couche de la tourbe vers le ruisseau, phénomène qu'on observe sur les résultats de la coupe BB'. Si on considère les vitesses de migration calculées et un état stationnaire du site et de la source, le panache atteindrait le ruisseau Petit-Bras après plus de 2000 ans.

Pour la coupe BB', le panache de fer a déjà une concentration de 970 mg/l à l'année 20 au niveau du ruisseau intermittent entre le PAR et l'usine, mais si situe bien en amont du ruisseau Petit-Bras en aval de l'usine après 200 ans de transport. En fait, le panache simulé de fer en phase dissoute se développe et progresse lentement vers l'aval. Toutefois, les niveaux d'eau élevés et la présence de tourbe en surface avec une conductivité hydraulique plus importante que la conductivité hydraulique du roc de surface créent un écoulement préférentiel de la concentration de fer vers le ruisseau dans la coupe BB'. À l'inverse, la présence de la couche d'argile sous le PAR retarde le panache de contamination. Ce retard est moindre dans la coupe AA', car la couche d'argile est localisée en aval hydraulique du PAR.

Pour la coupe CC', le panache de fer atteint le lac Petit-Bras à l'année 20 (1 mg/l). À l'année 200, la concentration en fer est d'environ 70 mg/l ce qui est vingt-trois fois supérieur à la concentration moyenne acceptable à l'effluent prescrit par la Directive 019. Ainsi, la proximité du lac Petit-Bras par rapport au PAR montre que le panache de contamination aura plus rapidement un impact sur ce récepteur primaire. La vitesse de migration du front de concentration vers le lac Petit-Bras entre 20 et 100 ans est de 1,25 m/an, tandis qu'entre 100 et 200 ans, la vitesse de migration calculée est de 1,7 m/an. Ces variations de vitesse de migration peut s'expliquer par la présence de la



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : C. Taveau, G. Cosset Révisé par : C. Bélanger		
		Rév	Date	Page
	641991-0000-4WER-0001	PC	4 avril 2017	26

couche d'argile en aval sous le PAR qui pourrait freiner la propagation initiale du panache de contamination. Il est important de noter que cette coupe n'a pas pu être calibrée comme les deux autres coupes par manque d'information et ainsi, est une appréciation du phénomène qui pourrait se produire. Le manque d'information ne nous permet pas de confirmer le gradient hydraulique sous le parc et entre le parc et le récepteur ce qui ne permet pas de confirmer la propagation du panache.

Aussi, les simulations de transport de contaminants réalisées sur une période de 200 ans ne considèrent aucune décroissance de la source de contamination ni de diminution de l'infiltration sous le parc avec le temps. Ainsi, dans ces conditions, les panaches de contamination simulés vont croître indéfiniment ce qui représentent des scénarios critiques.

Pour chacune des coupes, le panache de contamination s'étend légèrement vers l'amont hydraulique du fait de la présence du parc qui inverse le sens de l'écoulement et de la dispersivité transversale. Ce phénomène est amplifié à cause de la présence d'une couche de tourbe en amont du parc qui crée un écoulement préférentiel vers l'amont.

La teneur de fond moyenne en fer est près de 13 fois inférieure à la concentration source appliquée au modèle et est donc négligeable par rapport aux concentrations potentielles rencontrées aux environs du site, suite à l'implantation du parc à résidus. Ainsi, la présence du parc est susceptible de modifier grandement cette teneur de fond sans toutefois constituer une menace ou un danger appréhendé pour l'environnement. De plus, le critère de l'EC pour le fer est uniquement un critère esthétique.



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE		Préparé par : C. Taveau, G. Cosset		
			Révisé par : C. Bélanger		
			Rév	Date	Page
	641991-0000-4WER-0001	PC	4 avril 2017	27	

Tableau 4-4 : Résultats des simulations de transport de contaminants

Coupe	Contaminant	Concentration à la source	Limite entre le PAR et l'usine	Panache atteint le ruisseau ou le lac Petit-Bras	
		mg/l	Concentration à l'année 200 mg/l	Concentration mg/l	Année
AA'	Fer	1 000	460	Non atteint (< 1 mg/l)	200
BB'			990	Non atteint (< 1 mg/l)	200
CC'			Non applicable	1	20
			Non applicable	70	200

5.0 Programme de suivi

Pour définir adéquatement l'état actuel de la qualité des eaux souterraines au niveau du futur PAR, avant son implantation, il est nécessaire d'obtenir un portrait représentatif de la qualité des eaux souterraines avant les travaux d'aménagement du projet. Pour satisfaire les exigences de la Directive 019, un minimum de trois puits est requis afin de suivre l'amont et l'aval hydraulique du site. Un minimum de deux puits doit être installé en aval hydraulique selon un axe perpendiculaire à la direction d'écoulement de l'eau souterraine. Ainsi, il est recommandé de suivre un puits en amont et deux puits en aval soit :

- le puits en amont du PAR serait le puits existant BH-15-TMF-01 (campagne de 2015). La crépine du puits est installée dans le roc sur 7 m de hauteur, à une profondeur de 0,5 m (légèrement sous la nappe). Ainsi ce puits capte à la fois l'écoulement superficiel et l'écoulement profond.
- les deux puits en aval seraient :
 - Le puits existant BH-16-TMF-09 qui permettrait de suivre la qualité de l'eau souterraine vers le lac Petit-Bras. La crépine est installée dans le roc entre 5 et 8 m de profondeur. Ce puits capte l'écoulement plus profond et la position de la crépine relativement près de la surface permettrait de capter le développement d'un possible panache de contamination.
 - Le puits existant BH-16-TMF-01 qui permettrait de suivre la qualité de l'eau souterraine vers le site de l'usine. La crépine est installée de 12 à 15 m de profondeur et ainsi capte l'écoulement profond. Bien que plus profond, ce puits permettrait de capter un panache de contamination qui se développerait dès les premières années d'exploitation. Aussi il est important de prendre en considération que la présence du bassin en aval du parc va probablement dévier une certaine quantité d'eau vers ce puits ce qui rend sa position d'autant plus adéquate. D'après la modélisation de transport de contaminants, la contamination atteindrait plus vite ce puits que le BH-16-TMF-02 en aval du bassin de rétention des eaux et permettrait d'établir plus rapidement la vitesse de migration des contaminants sur le terrain.
- Un puits additionnel sera ajouté à proximité du BH-16-TMF-01 afin de capter l'écoulement plus superficiel. Ainsi la crépine de ce puits devrait être placée dans le roc de surface immédiatement sous le niveau de la nappe soit de 4 à 7 m de profondeur.



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : C. Taveau, G. Cosset Révisé par : C. Bélanger		
		Rév	Date	Page
	641991-0000-4WER-0001	PC	4 avril 2017	28

D'après la Directive 019, les paramètres à analyser sont l'arsenic, le cuivre, le fer, le nickel, le plomb, le zinc, les cyanures totaux, les hydrocarbures, les ions majeurs (Ca^{2+} , HCO_3^- , K^+ , Mg^+ , Na^+ , SO_4^{2-}), le pH et la conductivité électrique. Pour déterminer les teneurs de fond de ces paramètres, il est demandé que le calcul de ces teneurs soit réalisé sur un minimum de 8 résultats d'analyses provenant d'au moins trois puits d'observation répartis sur au moins deux campagnes d'échantillonnage. Ainsi, compte tenu qu'une campagne d'échantillonnage a été réalisée en novembre 2016, il est recommandé de réaliser au moins une autre campagne d'échantillonnage lors des périodes de crue et/ou d'étiage, soit au printemps et/ou à l'été 2017, avant le début de toute activité sur le site. Pendant les périodes de développement et d'exploitation, le relevé de la qualité de l'eau devra se faire 2 fois par an tel qu'exigé par le MDDELCC (2012). Le tableau 8-1 résume les campagnes d'échantillonnage à réaliser.



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : C. Taveau, G. Cosset		
		Révisé par : C. Bélanger		
	641991-0000-4WER-0001	Rév	Date	Page
	PC	4 avril 2017	29	

Tableau 5-1 : Campagnes d'échantillonnage à prévoir pour le suivi de la qualité des eaux

Période	Nombre de campagnes	Période recommandé	Puits
2017 – Site vierge	1 ou 2	Printemps et/ou été	Relevé des trois puits sélectionnés
2018 - Pré développement	2	Printemps et été	Relevé des trois puits sélectionnés
2019 jusqu'à la fermeture – Développement et exploitation	2	Printemps et été	Relevé des trois puits sélectionnés

6.0 Limites et recommandations

Lorsqu'on entreprend des travaux de modélisation numérique, il est nécessaire de porter un regard critique sur les résultats obtenus, car :

- > La définition d'un modèle numérique est fonction de la quantité et de la qualité des informations obtenues sur le terrain et les résultats du modèle obtenu ne peuvent être de meilleure qualité que ces données de base.
- > Un modèle numérique est une simplification d'un milieu réel plus complexe et ne peut être employé seul dans le cadre d'un processus décisionnel.

Le modèle développé représente une version conservatrice du système hydrogéologique naturel et du futur parc à résidus qui comporte certaines limitations :

- > Les modèles des coupes AA', BB' et CC' sont une simplification de la stratigraphie et du réseau d'écoulement qui montrent un comportement global et ne détaillent pas les zones d'écoulement préférentiel dans les dépôts meubles ou dans les fractures du socle rocheux.
- > La zone aval du site de l'usine vers le ruisseau Petit Bras est peu caractérisée (niveau piézométrique et stratigraphie) et ne permet pas d'identifier des zones potentielles d'écoulement préférentiel des eaux souterraines. Par contre cette zone se trouve loin du parc à résidus et a une influence moindre sur les résultats du modèle.
- > La zone aval le long de la coupe CC', vers le lac Petit-Bras n'est pas caractérisé (niveau piézométrique et stratigraphie) et nécessiterait une investigation supplémentaire pour confirmer le réseau d'écoulement des eaux souterraines dans cette zone.
- > La présence de tourbe en surface avec une conductivité hydraulique plus élevée que la conductivité hydraulique du roc de surface contribue à créer un écoulement préférentiel proche de la surface du sol. Cet effet est augmenté par la présence de la nappe généralement très proche de la surface.
- > La modélisation ne prend pas en considération le fait que le bassin de rétention au sud du PAR va probablement avoir pour effet de dévier une certaine quantité d'eau vers le sud-est du PAR.
- > Une ou deux campagnes d'échantillonnage supplémentaires seraient nécessaires pour déterminer la teneur de fond des eaux souterraines.
- > Tel qu'indiqué précédemment, aucune décroissance de la source de contamination ni de diminution de l'infiltration sous le parc avec le temps n'ont été considérées dans les simulations de transport de



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : C. Taveau, G. Cosset		
		Révisé par : C. Bélanger		
	641991-0000-4WER-0001	Rév	Date	Page
	PC	4 avril 2017	30	

contaminants. Les panaches de contamination simulés vont ainsi croître indéfiniment, représentant des scénarios conservateurs.

- > Aucun facteur adsorption ou facteur de retard n'a été pris en considération ce qui est conservateur, mais induit de nouveau un cas critique.
- > Un puits additionnel sera ajouté à proximité du BH-16-TMF-01 afin de capter l'écoulement plus superficiel.

7.0 Conclusion

L'objectif de la modélisation hydrogéologique était de déterminer les débits d'eau s'exfiltrant au parc à résidus et l'évolution des panaches de contamination. La modélisation visait aussi à vérifier si la conception du parc actuellement envisagée permet de respecter le niveau d'étanchéité de niveau A de la Directive 019 du MDDELCC. Le modèle conceptuel est basé sur la campagne réalisée en 2015 et 2016 (Qualitas 2015a et 2015b et SNC-Lavalin 2017a et 2017b) et le rapport de modélisation hydrogéologique de Qualitas (Qualitas, 2015a). Trois modèles numériques ont été construits avec le logiciel Seep/W 2016 et calibrés pour valider la bonne représentation des conditions actuelles.

Les débits d'exfiltration anticipés ont été calculés à l'aide du modèle Seep/W. Le débit d'exfiltration en fond de parc obtenu est de 0,068 l/m²/jr pour la coupe AA', 0,280 l/m²/jr pour la coupe BB' et 0,017 l/m²/jr pour la coupe CC'. Ces valeurs sont en deçà du 3,3 l/m²/jr. Ainsi, l'ouvrage respecte les exigences de la Directive 019 du MDDELCC quant à la mesure d'étanchéité de niveau A. Une simulation représentant un cas plus critique a été réalisée avec une tête d'eau dans le parc de 5 m donnant des débits de percolation de 0,077 L/m²/jr pour la coupe AA' et 0,653 L/m²/jr pour la coupe BB'. Ces valeurs sont toujours en deçà de la limite fixée par la Directive 019.

Des modèles de transport ont été développés à partir Ctran/W et des nouveaux réseaux d'écoulement de l'eau souterraine. Ainsi, le transport par advection et dispersion du fer a été simulé sur une période de 200 ans pour préciser l'évaluation des modifications potentielles de la qualité de l'environnement, suite à l'implantation projetée du parc à résidus.

Les résultats des simulations de transport indiquent que la présence d'une couche d'argile sous le PAR ainsi que la présence du bassin de collecte des eaux, retardent l'arrivée de la contamination au niveau du ruisseau intermittent entre le PAR et l'usine. À l'inverse, la présence de la tourbe en surface amplifié par un niveau piézométrique élevé, crée un écoulement préférentiel vers le ruisseau intermittent entre le PAR et l'usine pour les coupes AA' et BB'. À 200 ans, le panache de fer a atteint le ruisseau intermittent entre le PAR et l'usine, mais aucune concentration n'a été détectée dans le ruisseau Petit-Bras en aval. Pour la coupe CC', le panache atteint le lac Petit-Bras dès l'année 20, présumant un impact relativement rapide sur ce récepteur primaire. La présence du PAR est susceptible de modifier grandement la teneur de fond sans toutefois constituer une menace ou un danger appréhendé pour l'environnement, d'autant plus que le critère de l'EC pour le fer est uniquement un critère esthétique.



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : C. Taveau, G. Cosset		
		Révisé par : C. Bélanger		
	641991-0000-4WER-0001	Rév	Date	Page
	PC	4 avril 2017	31	

8.0 Références

Anderson M.P., Woessner W.W., (1992). Applied groundwater modeling, Simulation of flow and advective transport, Academic Press, San Diego California.

ASTM, 2002. Standard Guide for Calibrating a Ground-Water Flow Model Application. ASTM D5981-96.

ASTM, 2002. Standard Guide for Conducting a Sensitivity Analysis for a Ground-Water Flow Model Application. ASTM D5981-96.

Chapuis, R. (2004) Predicting the saturated hydraulic conductivity of sand and gravel using effective diameter and void ratio, Can Geotech J 41: 787-795.

Fetter, C. W. Contaminant Hydrogeology, 1992.

Fournier, V. (Août 2008) Mémoire sur l'Hydrologie de la tourbière du Mont Covey Hill et implications pour la conservation, UQÀM.

Gelhar, L. W., Welty C., Rehfeldt, K., R., (1992) A critical review of data on field-scale dispersion in aquifers. Water Resources Research, Volume 28, Issue 7, July 1992, Pages 1955–1974 .

Geo-Slope International inc (2015) GeoStudio 2012 – August 2015 release – SEEP/W module for seepage analyses, version 8.15.5. <http://www.geo-slope.com/support/downloads/whatsnew#aug2015>.

Hatch (2016). Gestion des eaux – Concentrateur. Rapport H347199-0000-05-220-0006, Rév. 0. 22 Juin 2016.

Lupo J., and Hall, J., (2010) Dry stack tailings – design considerations, Tailings and Mine Waste 2010 Edited by The Organizing Committee of the 14th International Conference on Tailings and Mine Waste, CRC Press 2010 Pages 327–334, ISBN: 978-0-415-61455-9.

Ministère du développement durable, de l'Environnement et des parcs (MDDEP) (2012). Directive 019 sur l'industrie minière, mars 2012.

Ministère du développement durable, de l'Environnement et Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), (1998), Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés, Annexe 2.

Ministère du développement durable, de l'Environnement et Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) (2014), Guide de gestion des eaux pluviales, Évaluation quantitative du ruissellement - Aspects hydrologiques – Chapitre 6, <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/pluviales/chap6.pdf>

Ministère du développement durable, de l'Environnement et Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) (2017), Diffusion de la cartographie hydrogéologique, <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/souterraines/diffusion-carto-hydrogeologique.htm>.

Qualitas (2015a). Preliminary Geotechnical Investigation Report Concentrator site - Tailings Management Facility, Baie-Comeau, Quebec, Canada. Qualitas Project No. : 632622, 17 Decembre 2015.

Qualitas (2015b). Preliminary Geotechnical Investigation Report Concentrator site –Plant, Baie-Comeau, Quebec, Canada. Qualitas Project No. : 632622, 17 Decembre 2015.

SNC-Lavalin inc. (2016). Modélisation hydrogéologique conceptuelle – Site de la future usine et du parc à résidus projeté Baie-Comeau (Québec). No. Dossier : 635748. Avril 2016.

SNC Lavalin inc. (2017a). Additionnal Geotechnical Investigations Tailing Management Facility, Baie-Comeau, Quebec, Qualitas No. Dossier : 641925, Mars 2017.



 SNC • LAVALIN	NOTE TECHNIQUE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE	Préparé par : C. Taveau, G. Cosset Révisé par : C. Bélanger		
		Rév	Date	Page
	641991-0000-4WER-0001	PC	4 avril 2017	32

SNC Lavalin inc. (2016b) Additional Geotechnical Investigations Concentrator site, Baie-Comeau, Quebec, Qualitas No. Dossier : 641925, Mars 2017.

Unité de recherche et de service en technologie minérale (URSTM), Essais cinétiques sur rejets miniers de Mason Graphite, Rapport final, Dossier : PU-2014-12-946, Juillet 2016.

Xu, M., Eckstein, Y., (1995). Use of Weighted Least-Squares Method in Evaluation of the Relationship Between Dispersivity and Field Scale, Groundwater, Volume 33, Issue 6 November 1995, Pages 905–908.





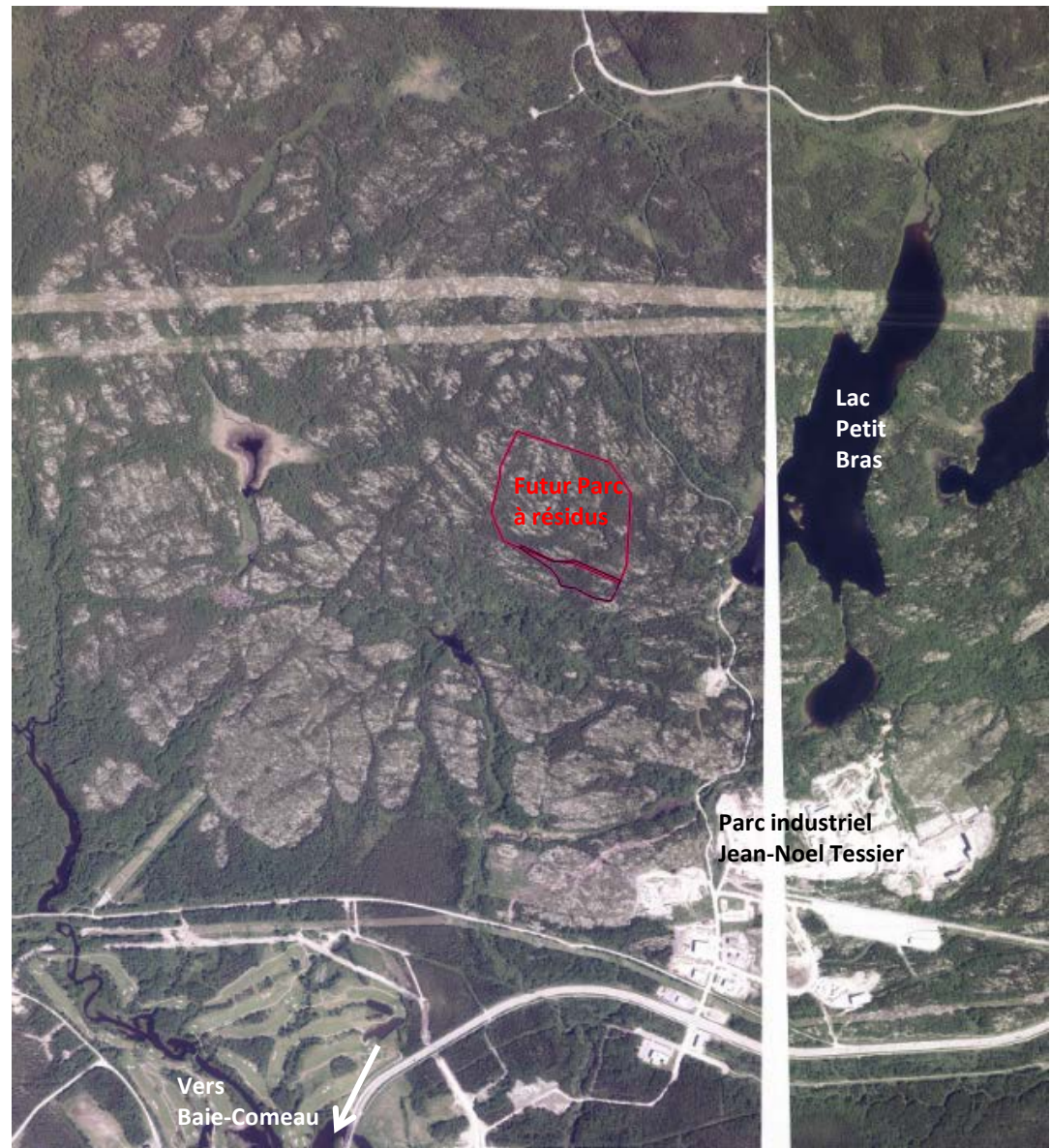
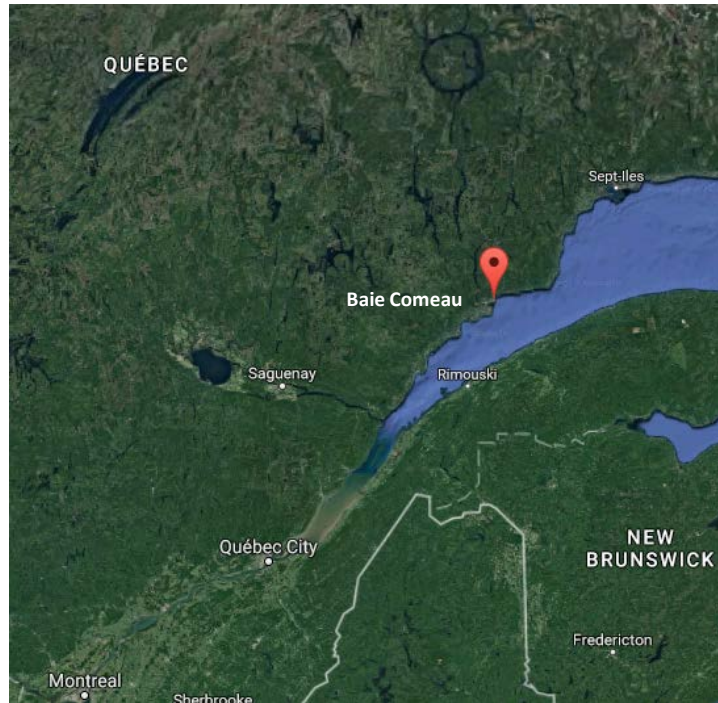
Annexe A

Figures

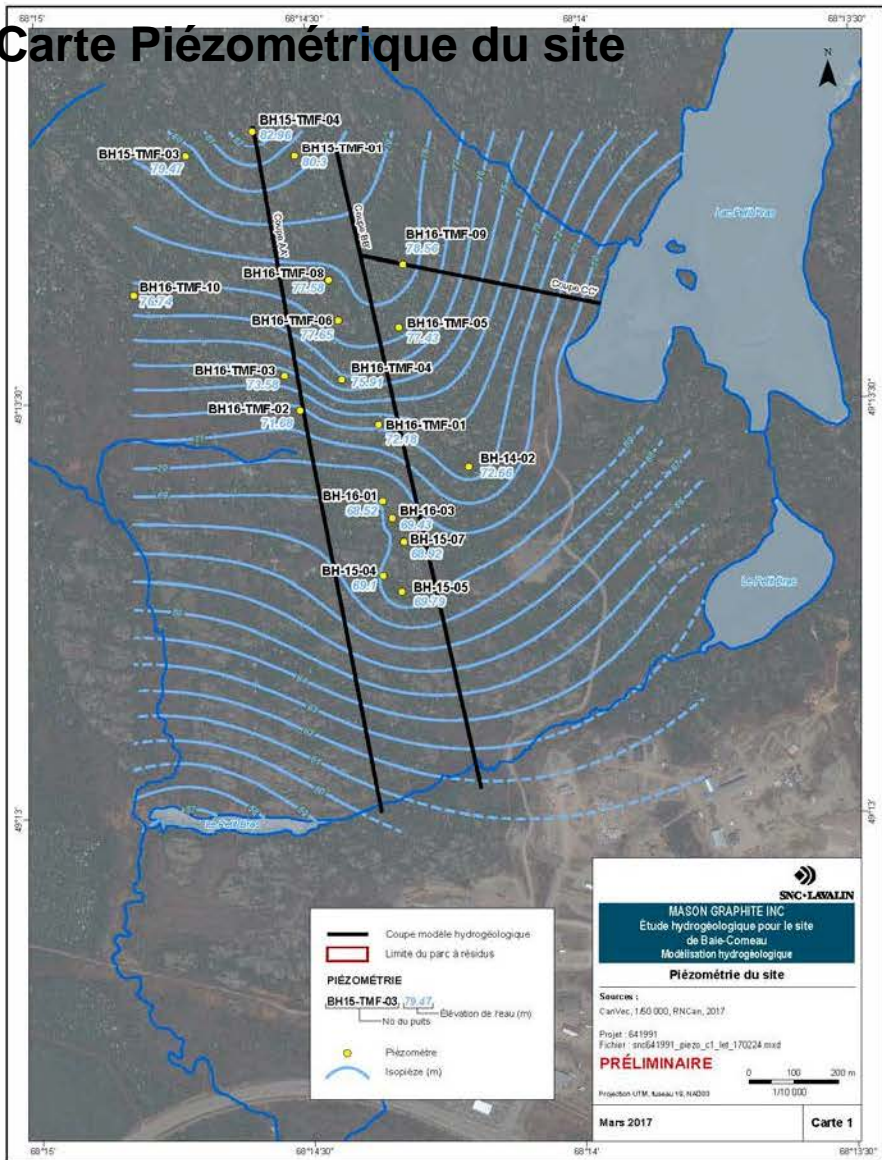
- Figure 1 : Plan de localisation général
- Figure 2 : Carte piézométrique du site
- Figure 3 : Informations disponibles pour la coupe AA'
- Figure 4 : Informations disponibles pour la coupe BB'
- Figure 5 : Informations disponibles pour la coupe CC'
- Figure 6 : Résultats de la calibration de la coupe AA'
- Figure 7 : Résultats de la calibration de la coupe BB'
- Figure 8 : Résultats de la calibration de la coupe CC'
- Figure 9 : Réseau d'écoulement avec le parc à résidus coupe AA'
- Figure 10 : Réseau d'écoulement avec le parc à résidus coupe BB'
- Figure 11 : Réseau d'écoulement avec le parc à résidus coupe CC'
- Figure 12 : Réseau d'écoulement avec le parc à résidus coupe AA' – Condition frontière $h = 5$ m
- Figure 13 : Réseau d'écoulement avec le parc à résidus coupe BB' – Condition frontière $h = 5$ m
- Figure 14 : Coupe AA' : Modèle numérique de transport
- Figure 15 : Coupe AA' : Transport du fer à 20 et 40 ans
- Figure 16 : Coupe AA' : Transport du fer à 100 et 200 ans
- Figure 17 : Coupe BB' : Modèle numérique de transport
- Figure 18 : Coupe BB' : Transport du fer à 20 et 40 ans
- Figure 19 : Coupe BB' : Transport du fer à 100 et 200 ans
- Figure 20 : Coupe CC' : Modèle numérique de transport
- Figure 21 : Coupe CC' : Transport du fer à 20 et 40 ans
- Figure 22 : Coupe CC' : Transport du fer à 100 et 200 ans



Plan de localisation général



Carte Piézométrique du site





Modélisation hydrogéologique et de transport

**Étude hydrogéologique pour le site de Baie-Comeau
Projet Lac Guéret**

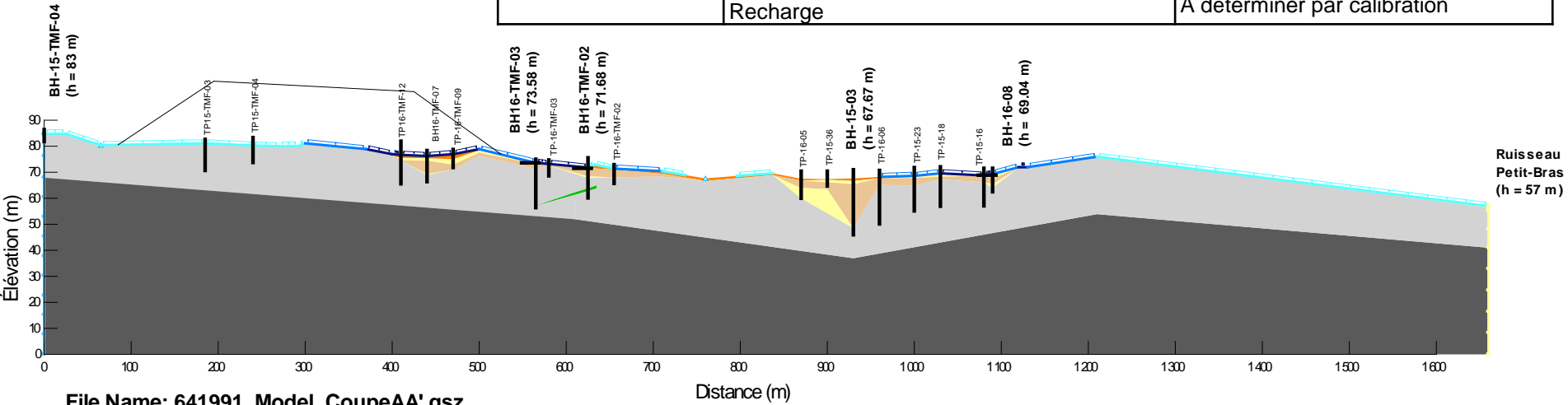
Projet: 641991

Figure: 2

Informations disponibles pour la coupe AA'

	Roc de surface
	Argile
	Roc competent
	Sable
	Tourbe
	Dyke

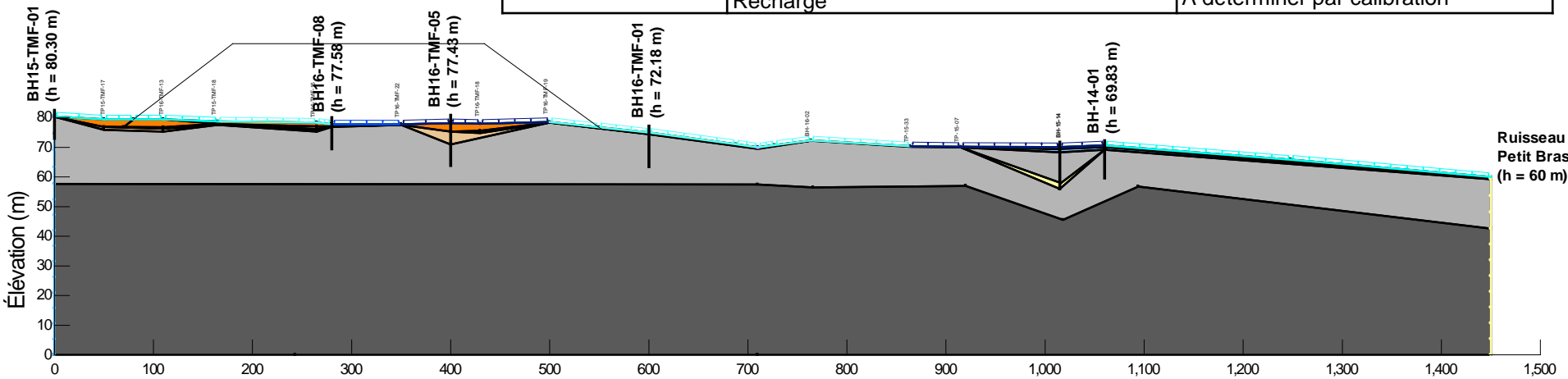
Paramètre			Valeurs
Type d'analyse			2D
Régime			Permanent
Écoulement			Saturé
Géométrie	Élévation	Maximale	84.8 m
		Ruisseau Petit Bras	56 m
Longueur de la coupe		1660 m	
Maillage	Eléments		5398
	Nœuds		5707
Nombre de niveaux piézométriques disponibles pour calibration			4
Conductivités hydrauliques	Tourbe	K	5.00E-05 m/s
	Sable	K	6.00E-05 m/s
	Argile	K	1.00E-09 m/s
	Socle rocheux	K _{surface}	5.00E-07 m/s
		K _{profond}	1.00E-08 m/s
	Dyke	K _{moyen}	6.00E-07 m/s
Conditions frontières	Condition de charge constante (h=cte)	Amont hydraulique	83 m (BH15-TMF-04)
		Ruisseau petit bras	57 m
	Recharge	À déterminer par calibration	



Informations disponibles pour la coupe BB'

	Tourbe
	Sable
	Argile
	roc de surface
	roc competent
	Sable silteux

Paramètre			Valeurs	
Type d'analyse			2D	
Régime			Permanent	
Écoulement			Saturé	
Géométrie	Élévation	Maximale	80,3 m	
		Ruisseau Petit Bras	60 m	
Longueur de la coupe		1450 m		
Maillage	Éléments	4812		
	Nœuds	5098		
Nombre de niveaux piézométriques disponibles pour calibration			5	
Conductivités hydrauliques	Tourbe	K	5.00E-05 m/s	
	Sable	K	6.00E-05 m/s	
	Sable silteux	K	3.00E-07 m/s	
	Argile	K	1.00E-09 m/s	
	Socle rocheux	K _{surface}	5.00E-07 m/s	
		K _{profond}	1.00E-08 m/s	
Conditions frontières	Condition de charge constante (h=cte)	Amont hydraulique	80,3 m (BH15-TMF-01)	
		Ruisseau petit bras	60 m	
	Recharge	À déterminer par calibration		



File Name: 641991_Model_CoupeBB.gsz

Distance (m)

Échelle 3H:1V



Modélisation hydrogéologique et de transport

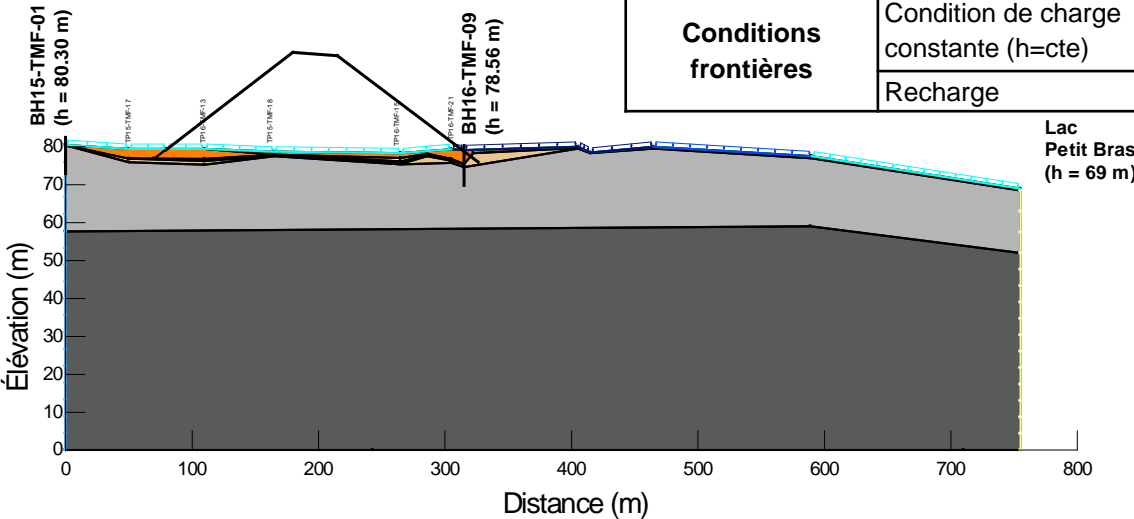
Étude hydrogéologique pour le site de Baie-Comeau
Projet Lac Guéret

Projet: 641991

Figure: 4

Informations disponibles pour la coupe CC'

Paramètre		Valeurs	
Type d'analyse		2D	
Régime		Permanent	
Écoulement		Saturé	
Géométrie	Élévation	Maximale	80,3 m
		Ruisseau Petit-Bras	69 m
	Longueur de la coupe		755 m
Maillage	Eléments	2825	
	Nœuds	2978	
Nombre de niveaux piézométriques disponibles pour calibration		1	
Conductivités hydrauliques finales et calibrées	Tourbe	K	5.00E-05 m/s
	Sable	K	6.00E-05 m/s
	Sable silteux	K	3.00E-07 m/s
	Argile	K	1.00E-09 m/s
	Socle rocheux	Ksurface	5.00E-07 m/s
		Kprofond	1.00E-08 m/s
Conditions frontières	Condition de charge constante (h=cte)	Amont hydraulique	78,25 (BH15-TMF-01) m
		Lac Petit-Bras	69 m
	Recharge	Ajuster lors du processus de calibration	



	Tourbe
	Sable
	Argile
	roc de surface
	roc competent
	Sable silteux

File Name: 641991_Model_CoupeDD.gsz
Échelle 3H:1V



Modélisation hydrogéologique et de transport

**Étude hydrogéologique pour le site de Baie-Comeau
Projet Lac Guéret**

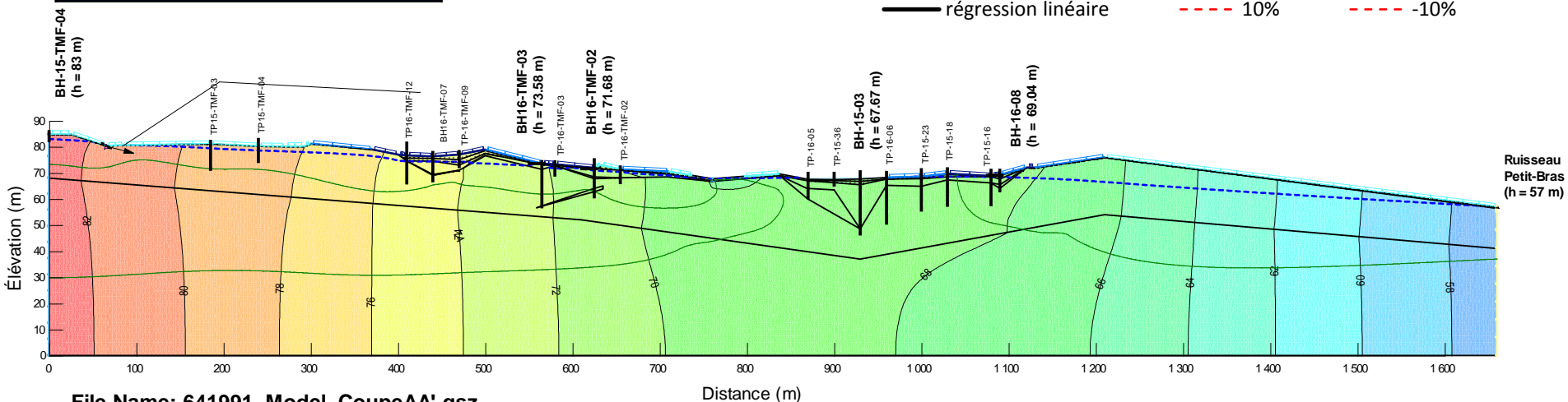
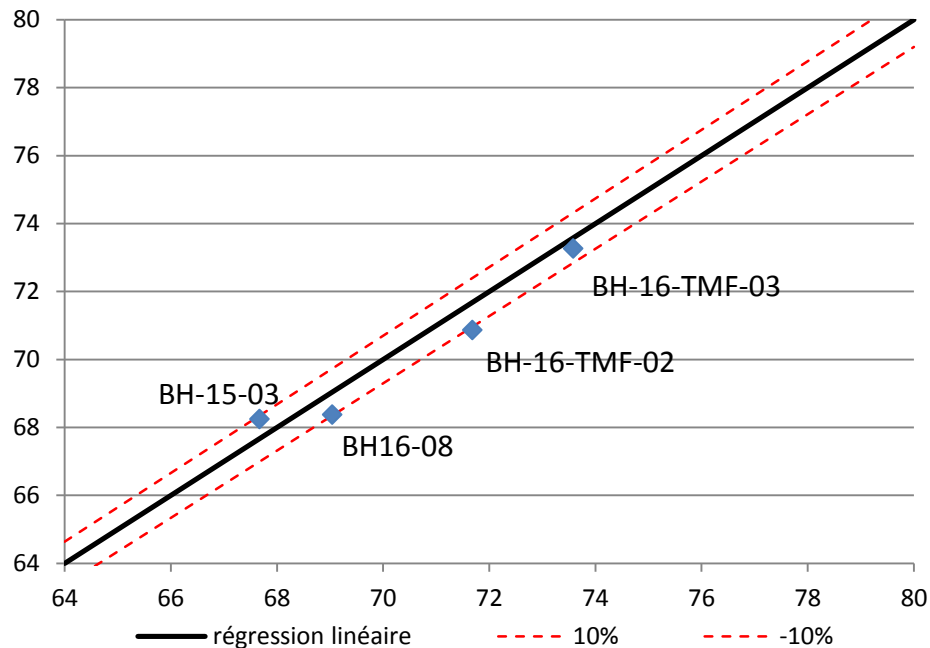
Projet: 641991

Figure: 5

Résultats de calibration de la coupe AA'

Erreur	Valeurs
NRMSE	10,4%

Infiltration faible (12,5 à 25 mm/an)
Infiltration moyenne (50 à 75 mm/an)
Infiltration maximale (100 à 150 mm/an)



File Name: 641991_Model_CoupeAA'.gsz

Echelle 3H:1V



Modélisation
hydrogéologique
et de transport

Étude hydrogéologique pour le site de Baie-Comeau
Projet Lac Guéret

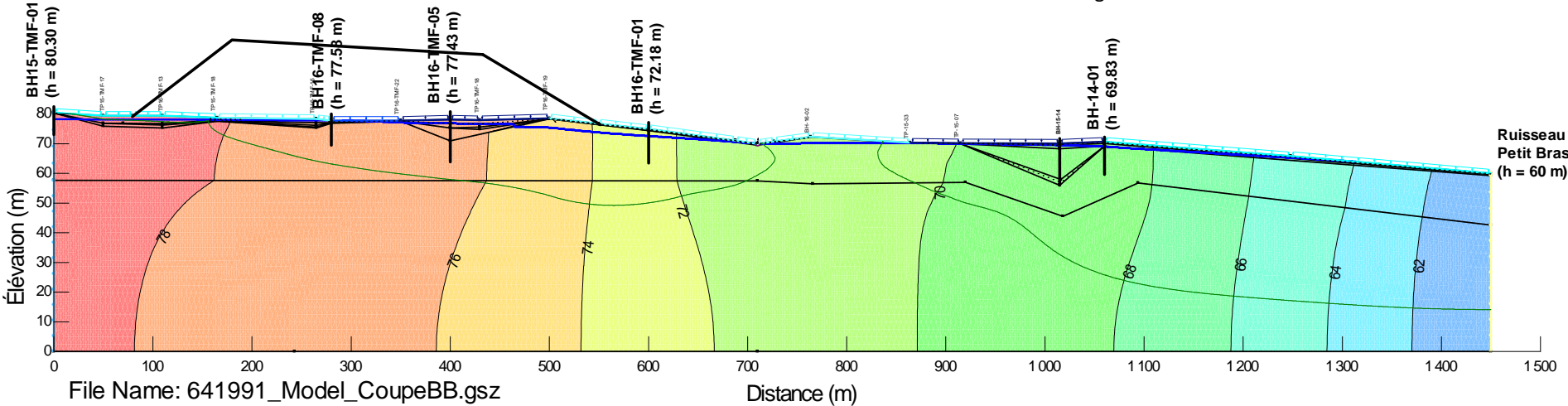
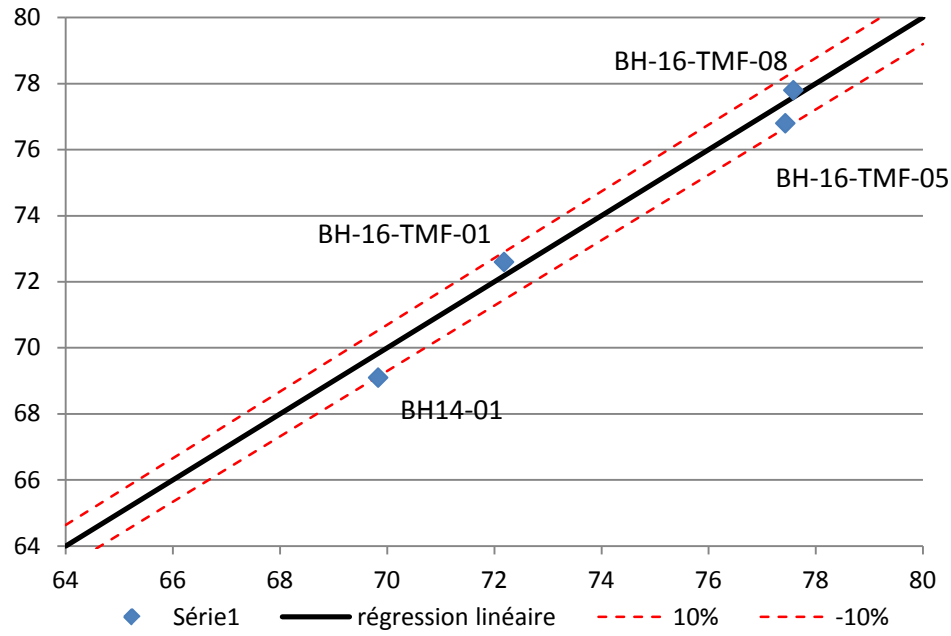
Projet: 641991

Figure: 6

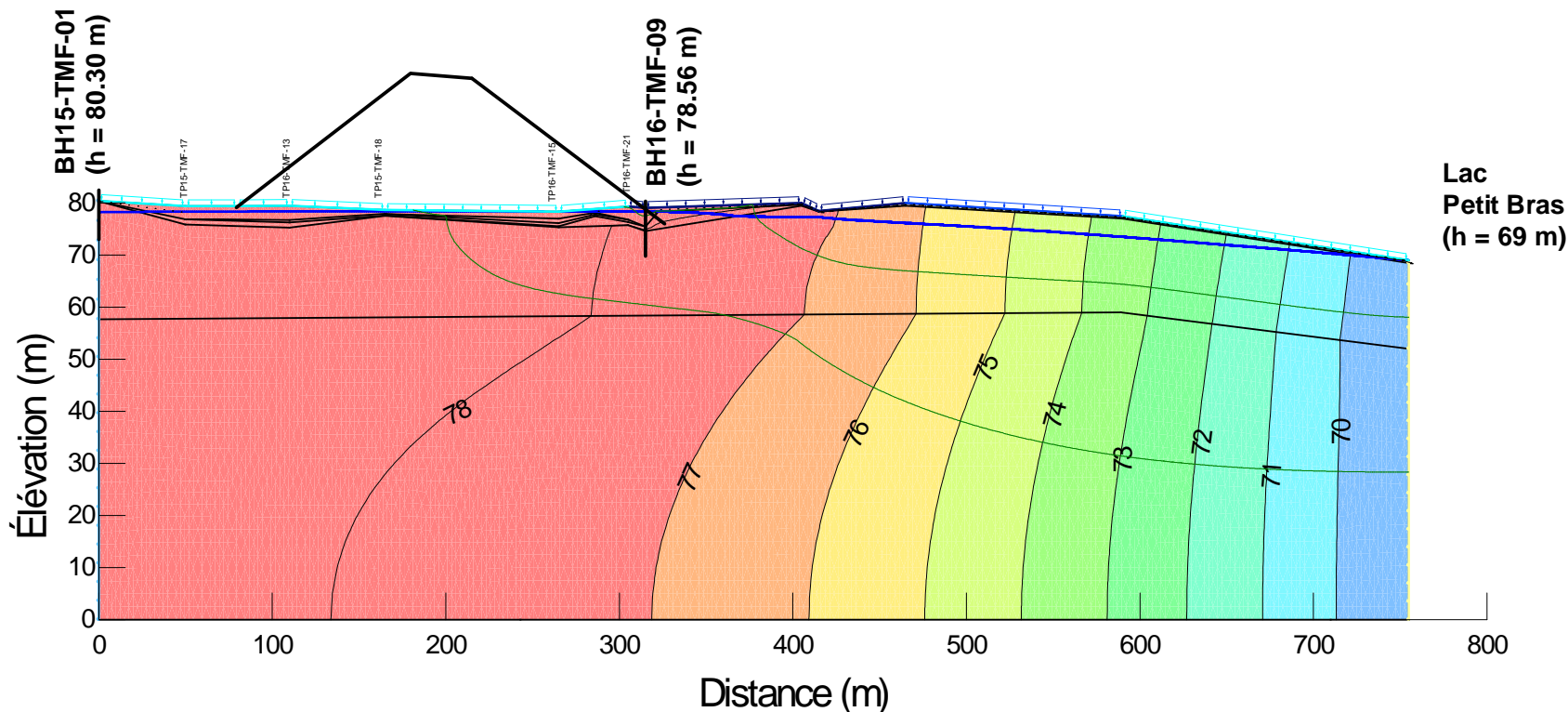
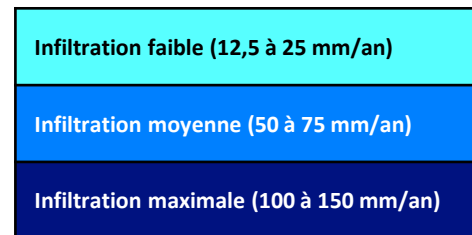
Résultats de calibration de la coupe BB'

Erreur	Valeurs
NRMSE	6,9%

Infiltration faible (12,5 à 25 mm/an)
Infiltration moyenne (50 à 75 mm/an)
Infiltration maximale (100 à 150 mm/an)



Résultats de calibration de la coupe CC'



File Name: 641991_Model_CoupeCC.gsz

Échelle 3H:1V



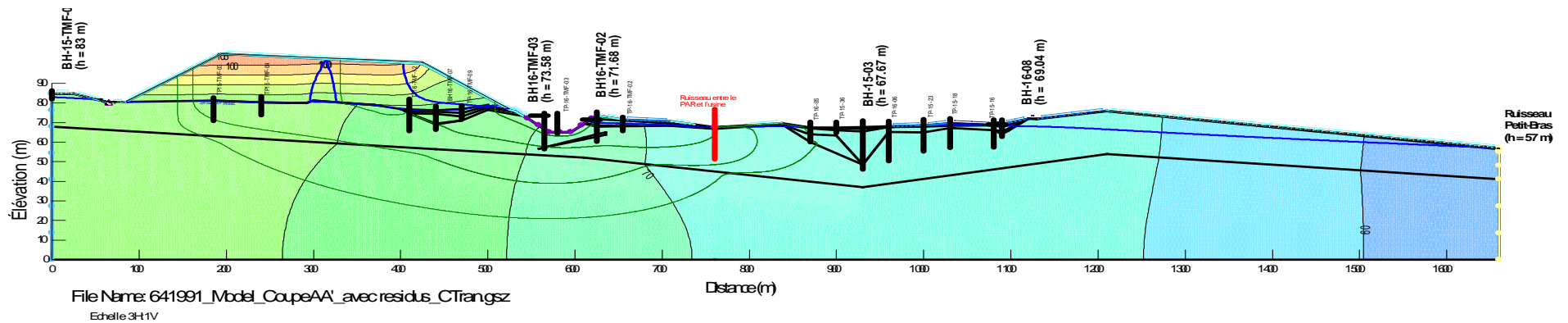
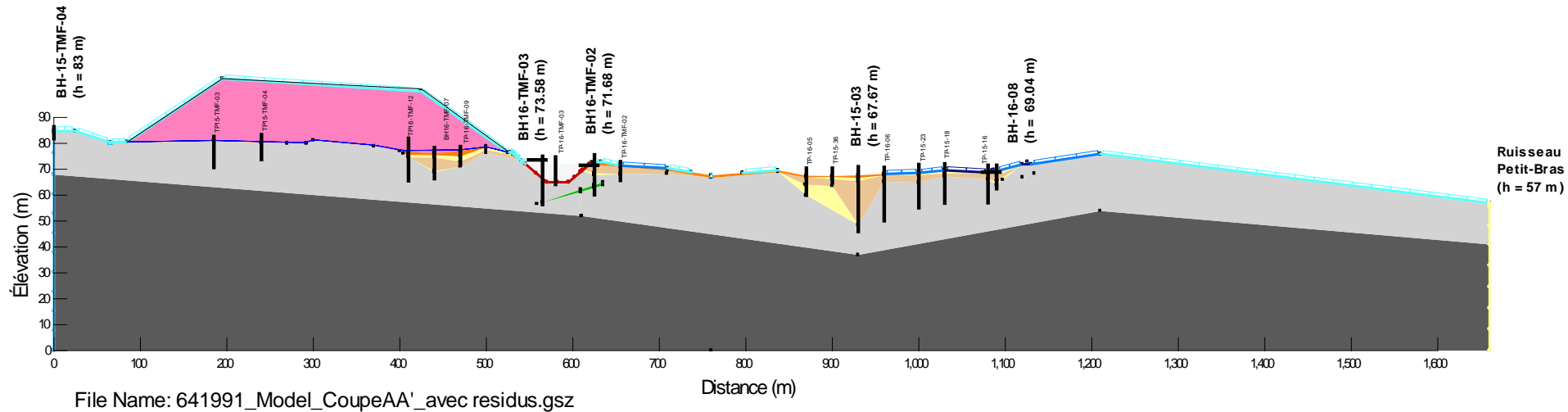
Modélisation
hydrogéologique
et de transport

Étude hydrogéologique pour le site de Baie-Comeau
Projet Lac Guéret

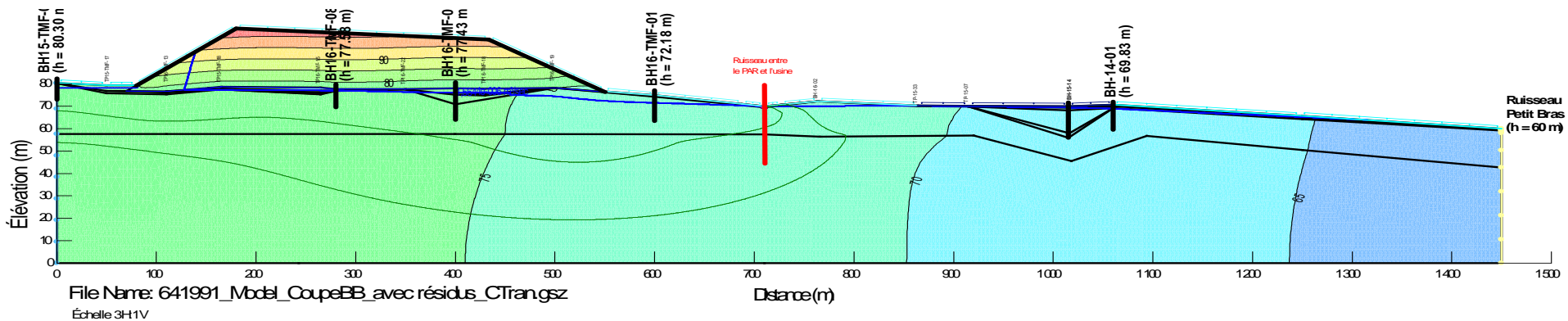
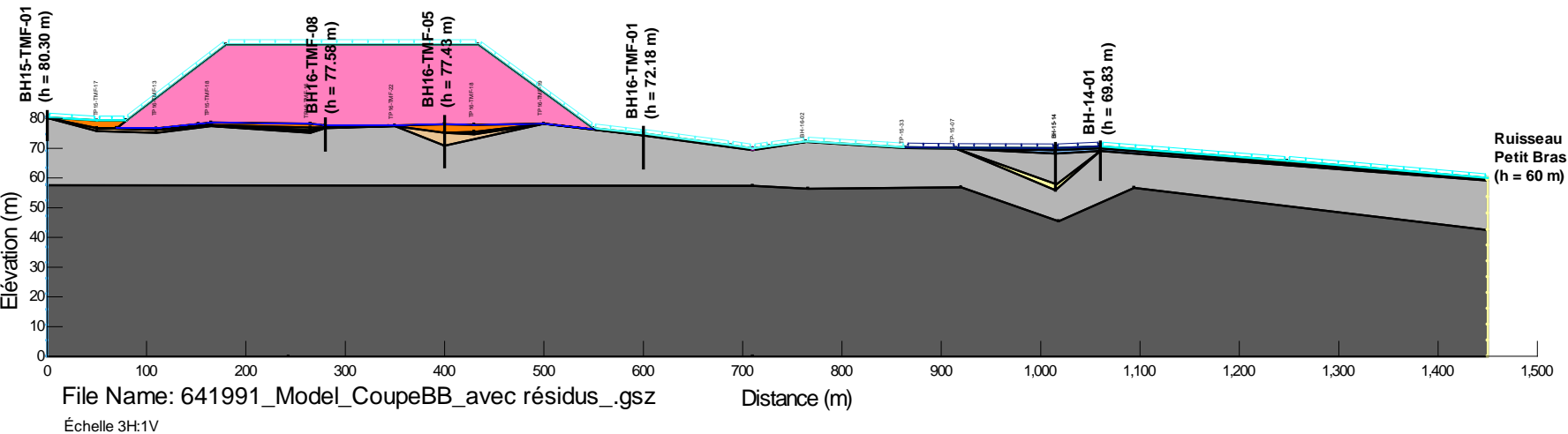
Projet: 641991

Figure: 8

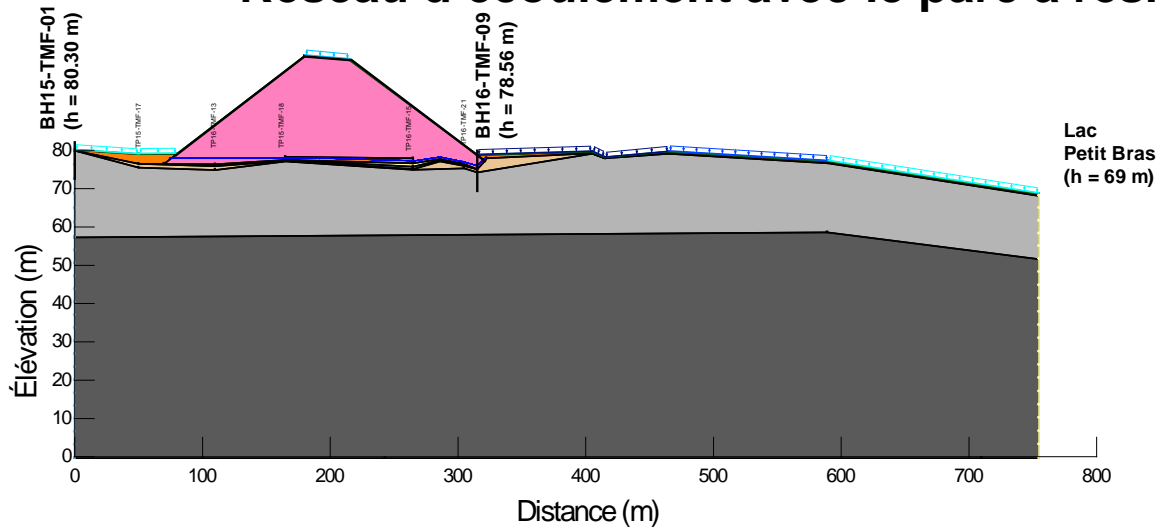
Réseau d'écoulement avec le parc à résidus coupe AA'



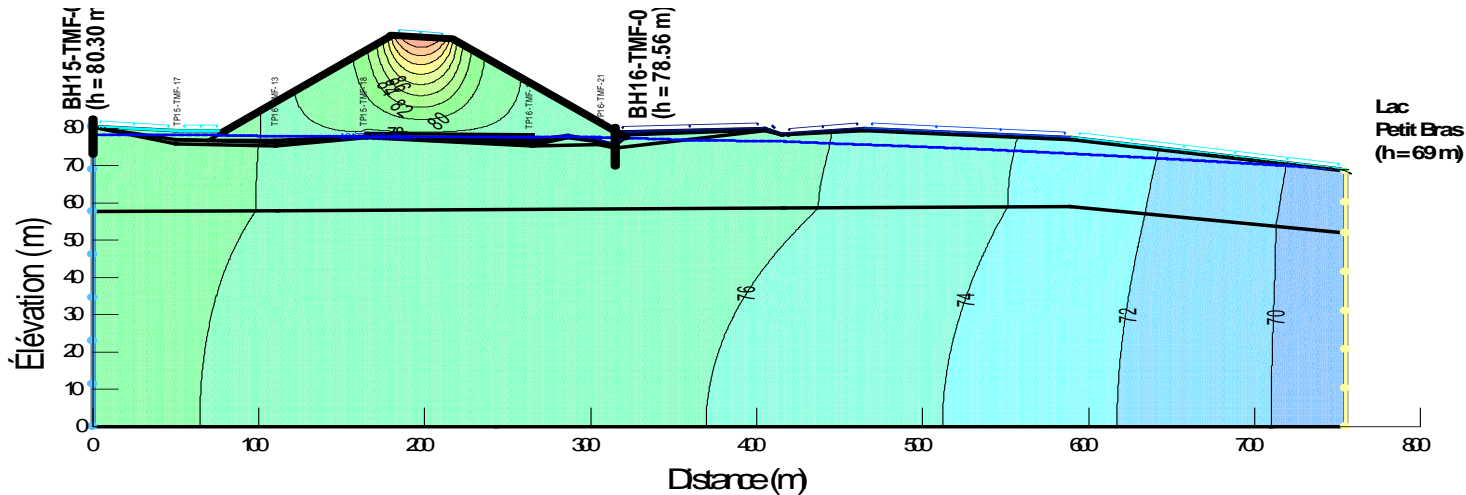
Réseau d'écoulement avec le parc à résidus coupe BB'



Réseau d'écoulement avec le parc à résidus coupe CC'



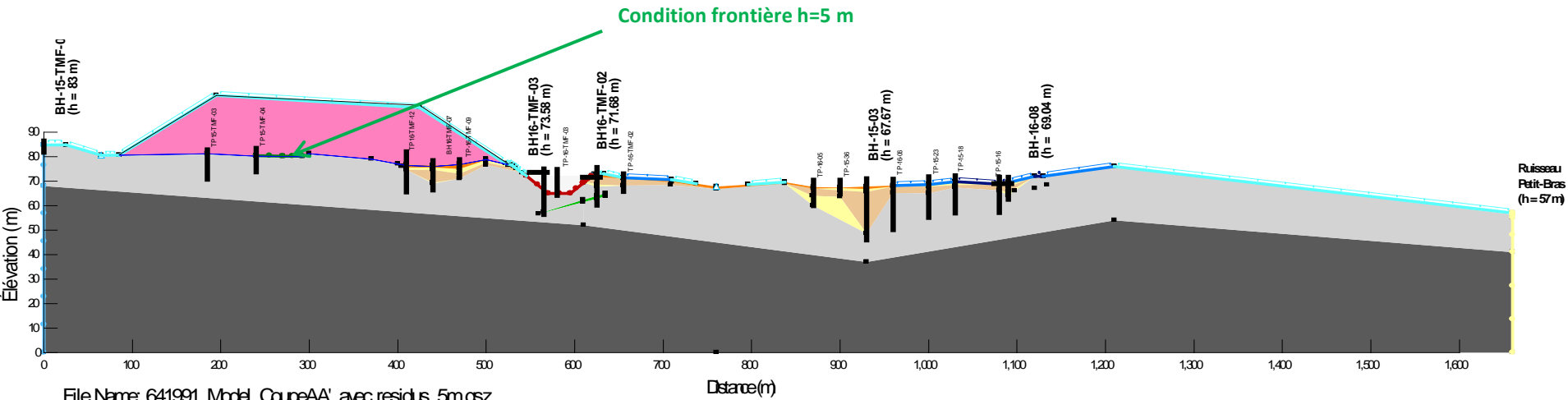
File Name: 641991_Model_CoupeDD_avec residus_CTran.gsz Échelle 3H:1V



File Name: 641991_Model_CoupeCC_avec residus_CTran.gsz

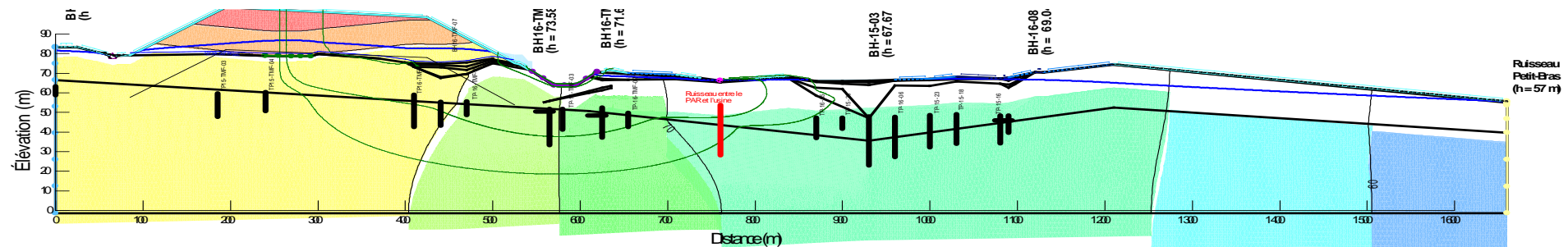
Échelle 3H:1V

Réseau d'écoulement avec le parc à résidus coupe AA' – Condition frontière h = 5 m



File Name: 641991_Model_CoupeAA'_avec_residus_5m.gsz

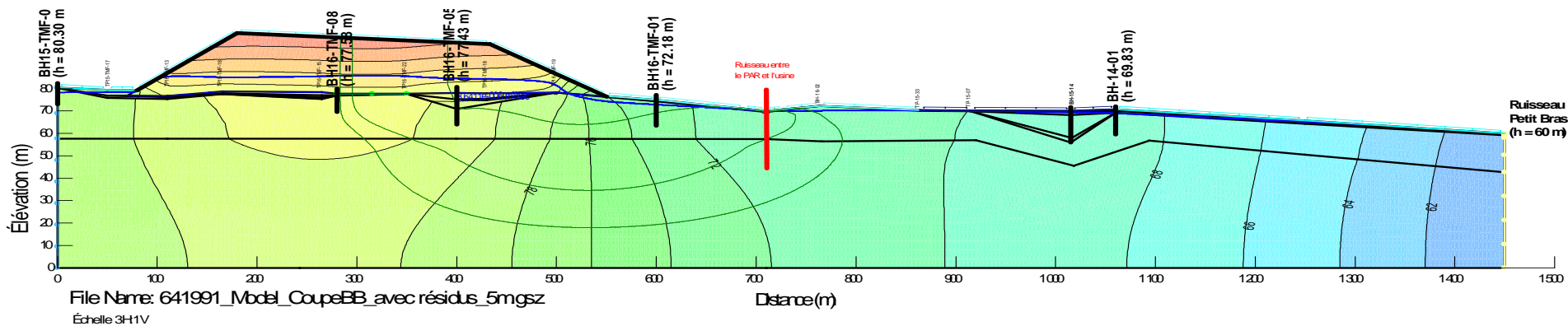
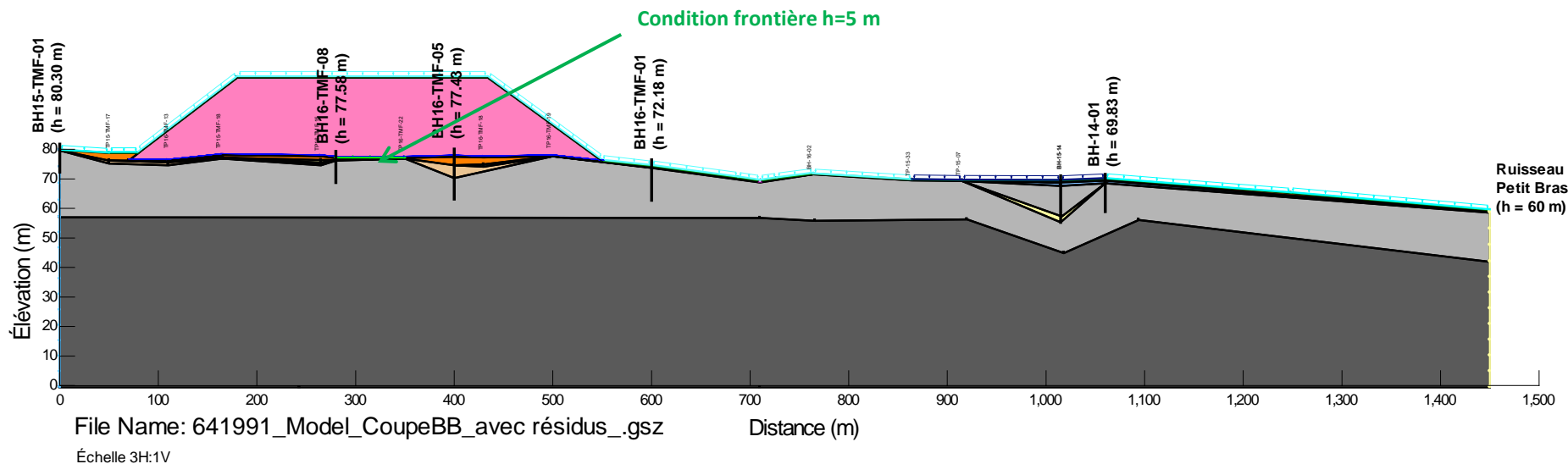
Echelle 3:1V



File Name: 641991_Model_CoupeAA'_avec_residus_5m.gsz

Echelle 3:1V

Réseau d'écoulement avec le parc à résidus coupe BB' – Condition frontière h = 5 m



SNC • LAVALIN

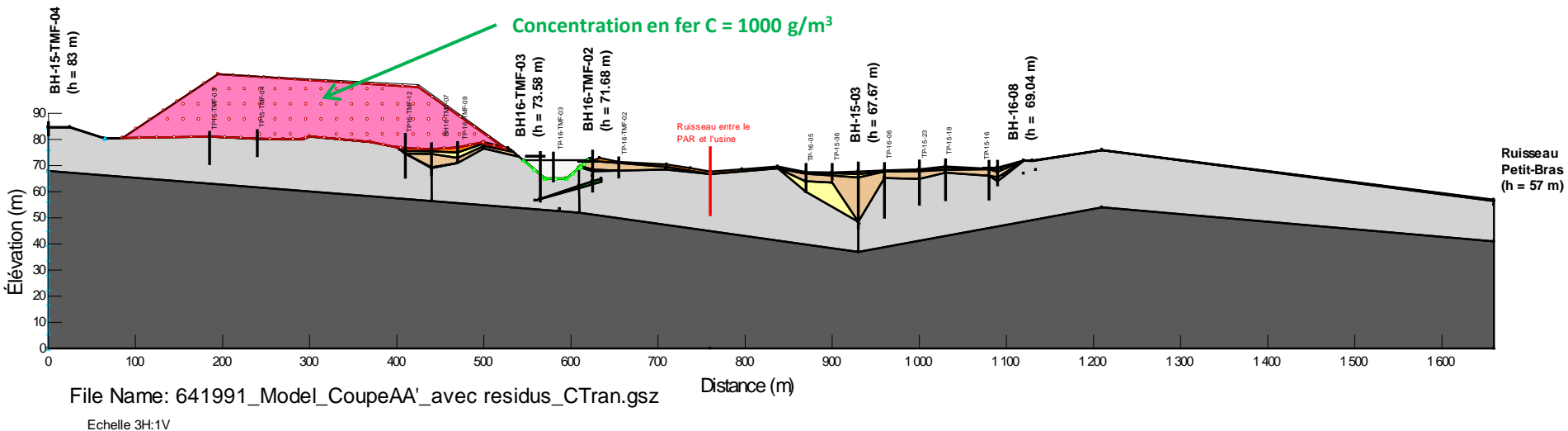
Modélisation
hydrogéologique
et de transport

Étude hydrogéologique pour le site de Baie-Comeau
Projet Lac Guéret

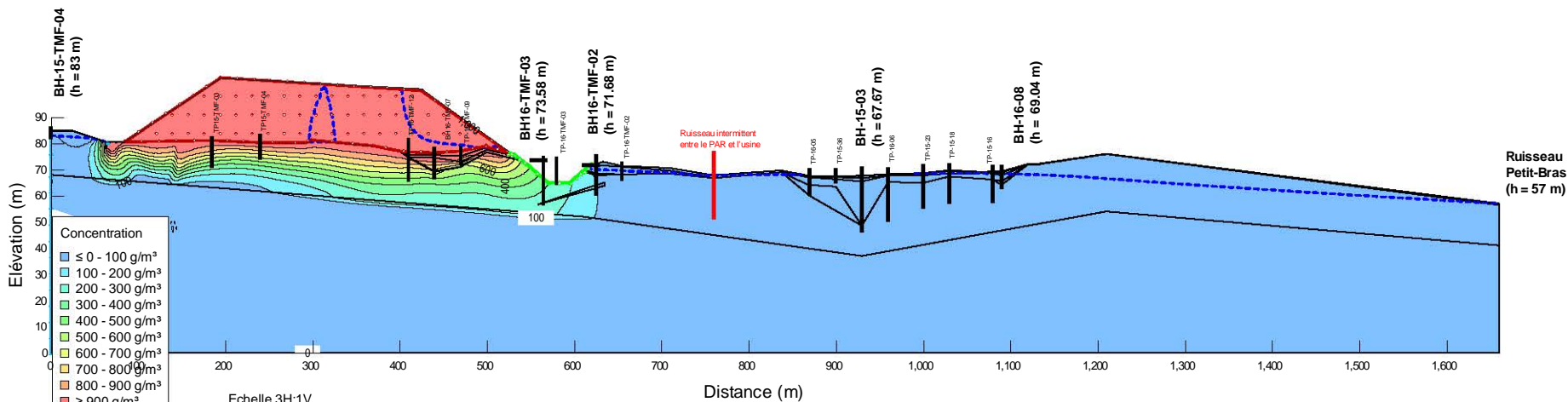
Projet: 641991

Figure: 13

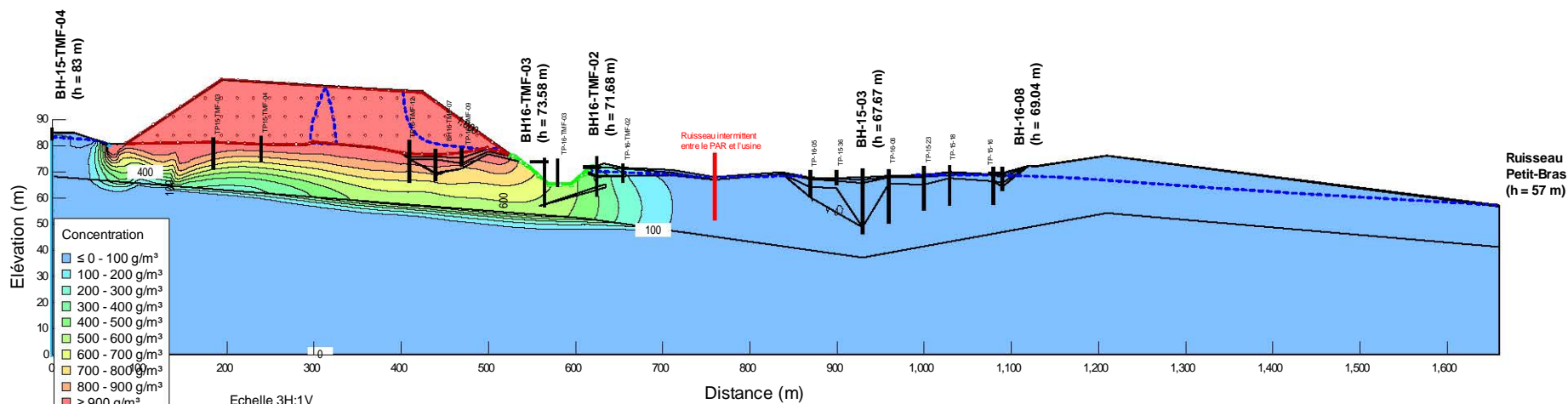
Coupe AA' : Modèle numérique de transport



Coupe AA' : Transport du fer à 20 et 40 ans

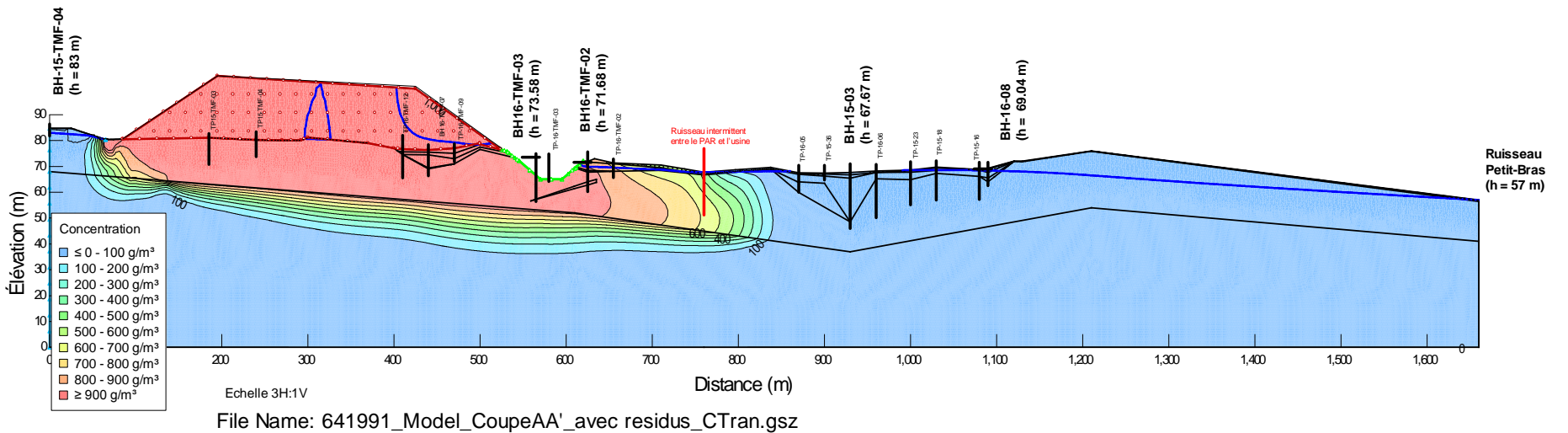
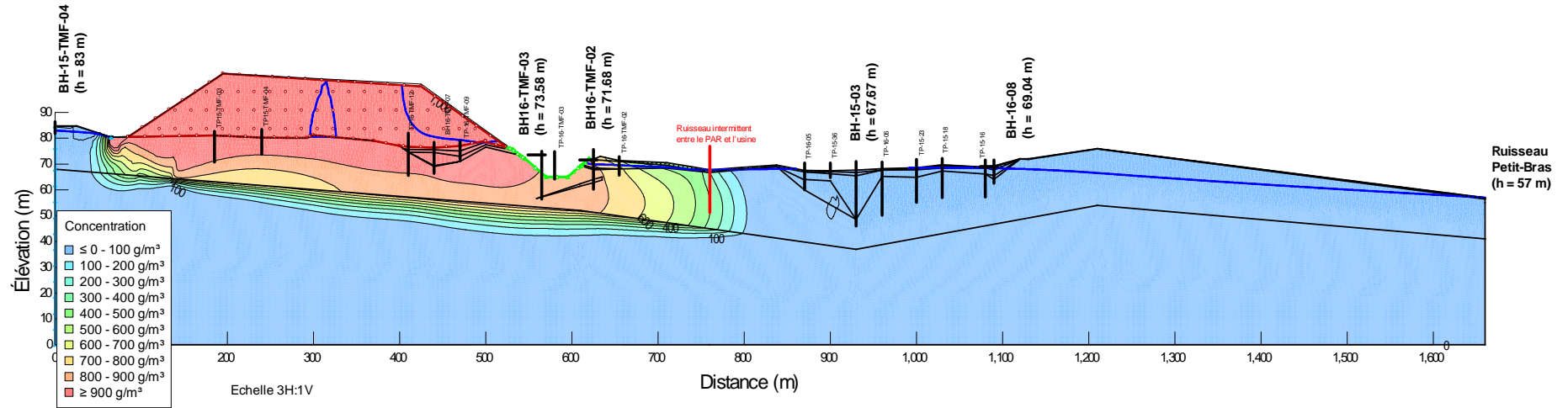


File Name: 641991_Model_CoupeAA'_avec residus_CTran.gsz



File Name: 641991_Model_CoupeAA'_avec residus_CTran.gsz

Coupe AA' : Transport du fer à 100 et 200 ans



SNC · LAVALIN

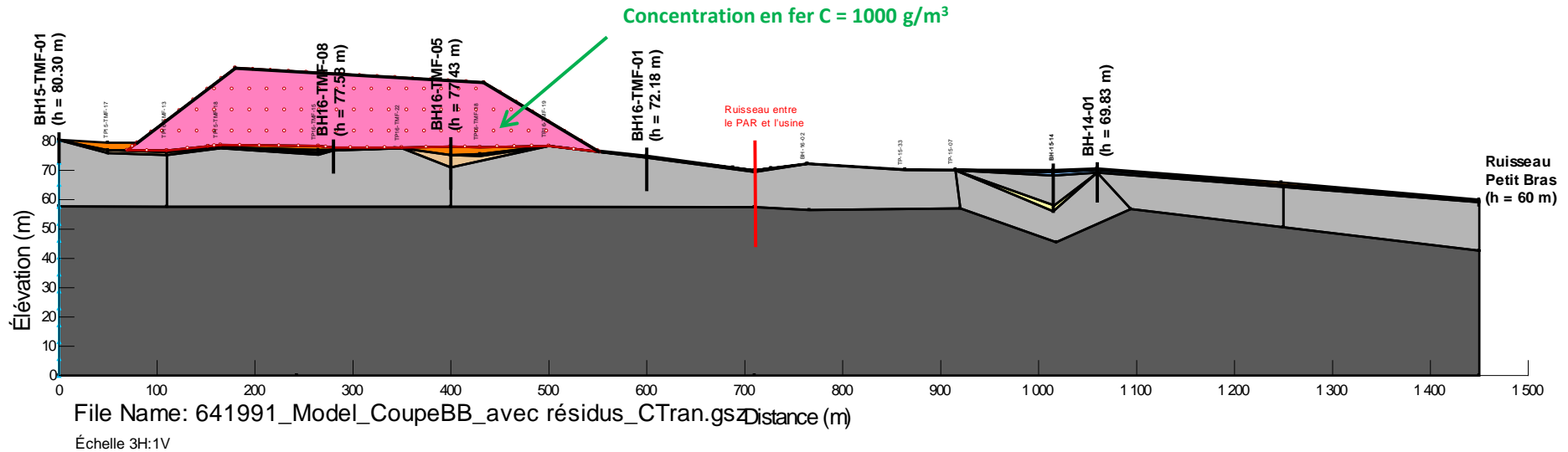
Modélisation
hydrogéologique
et de transport

Étude hydrogéologique pour le site de Baie-Comeau
Projet Lac Guéret

Projet: 641991

Figure: 16

Coupe BB' : Modèle numérique de transport



SNC • LAVALIN

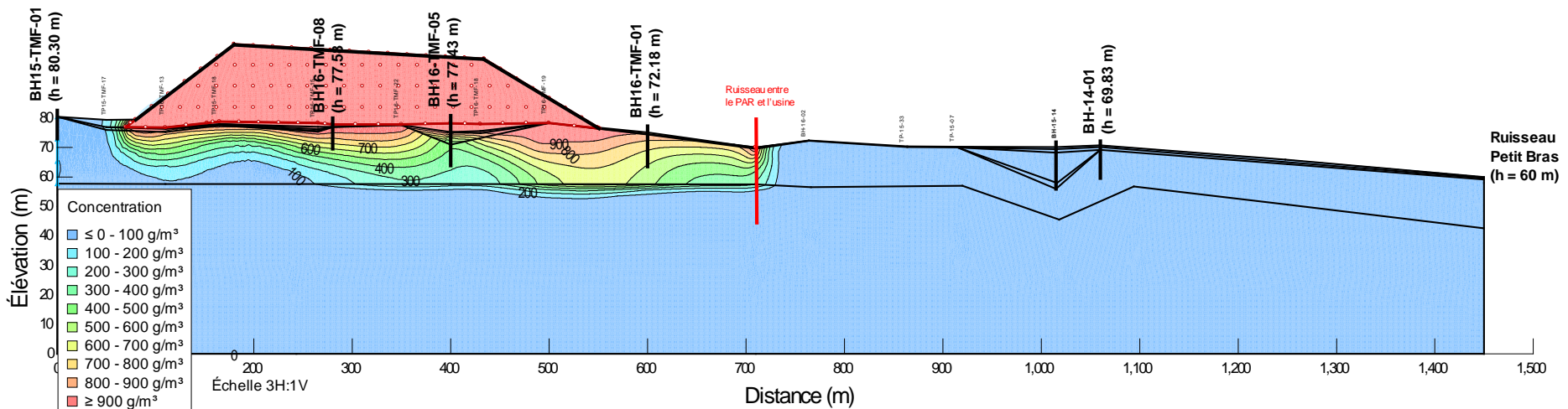
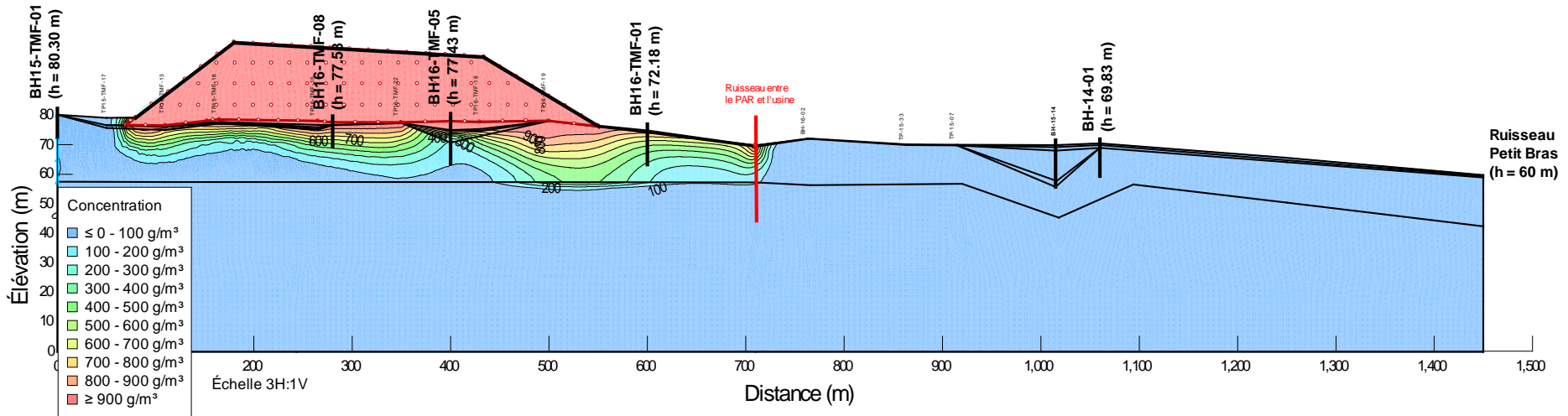
**Modélisation
hydrogéologique
et de transport**

**Étude hydrogéologique pour le site de Baie-Comeau
Projet Lac Guéret**

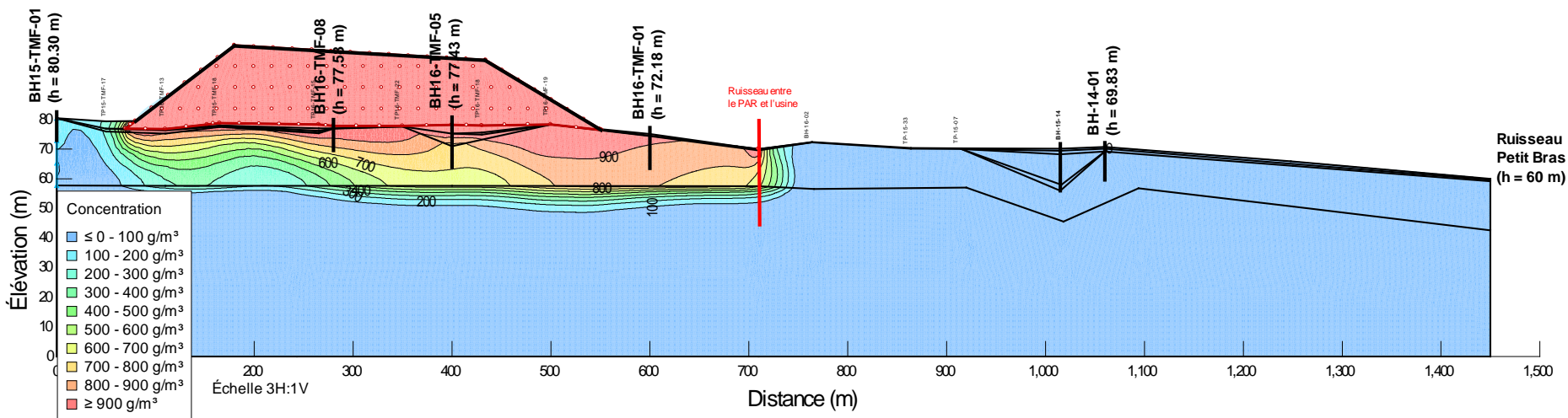
Projet: 641991

Figure: 17

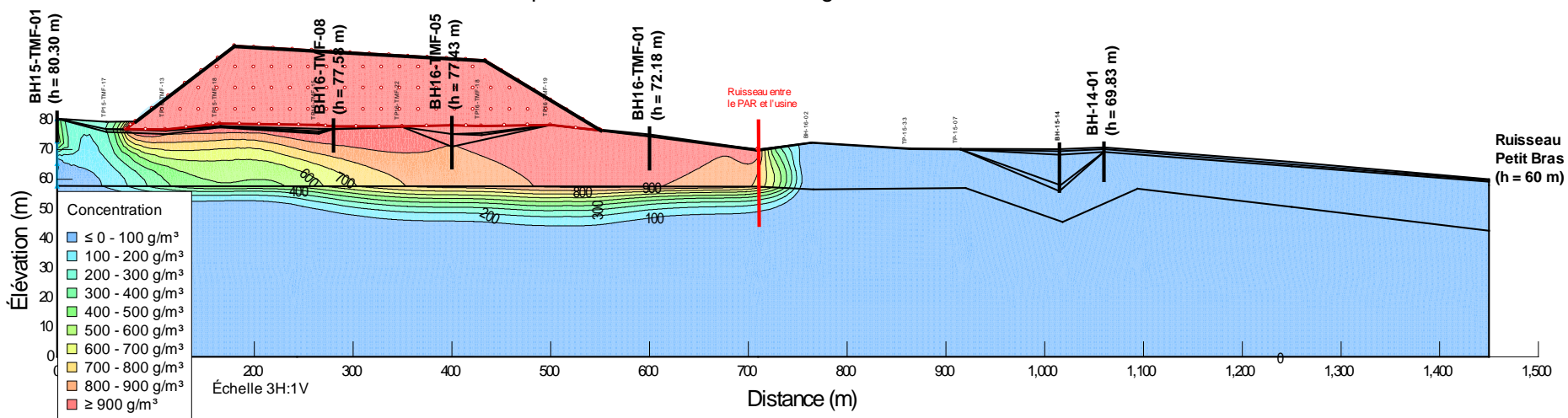
Coupe BB' : Transport du fer à 20 et 40 ans



Coupe BB' : Transport du fer à 100 et 200 ans

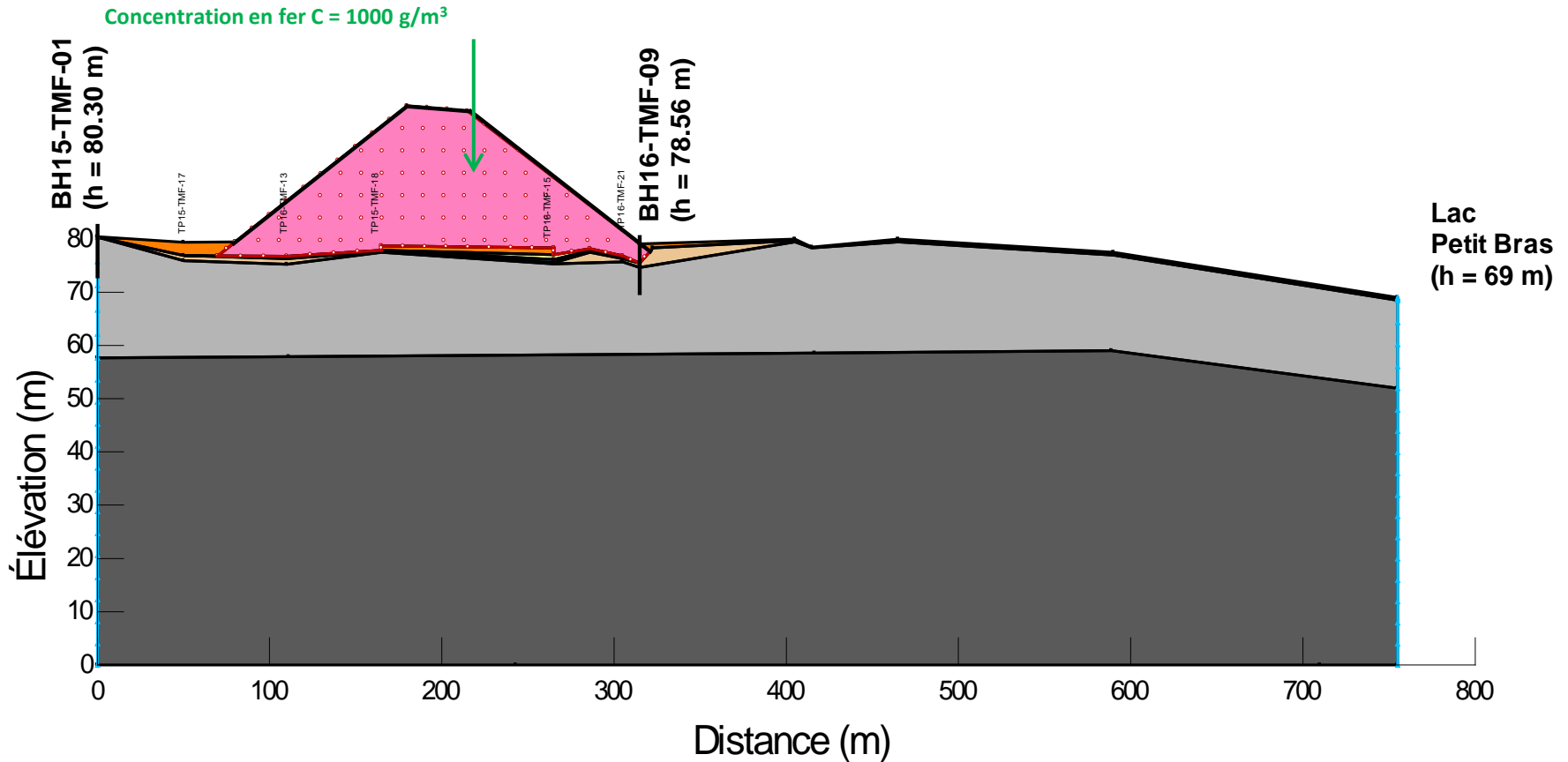


File Name: 641991_Model_CoupeBB_avec résidus_CTran.gsz



File Name: 641991_Model_CoupeBB_avec résidus_CTran.gsz

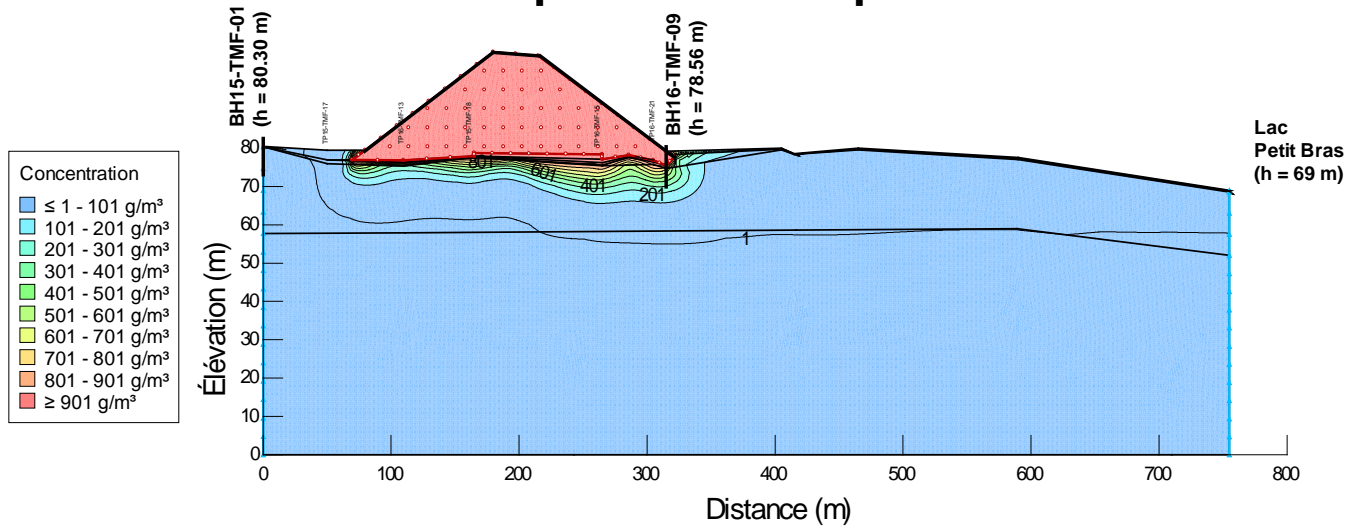
Coupe CC' : Modèle numérique de transport



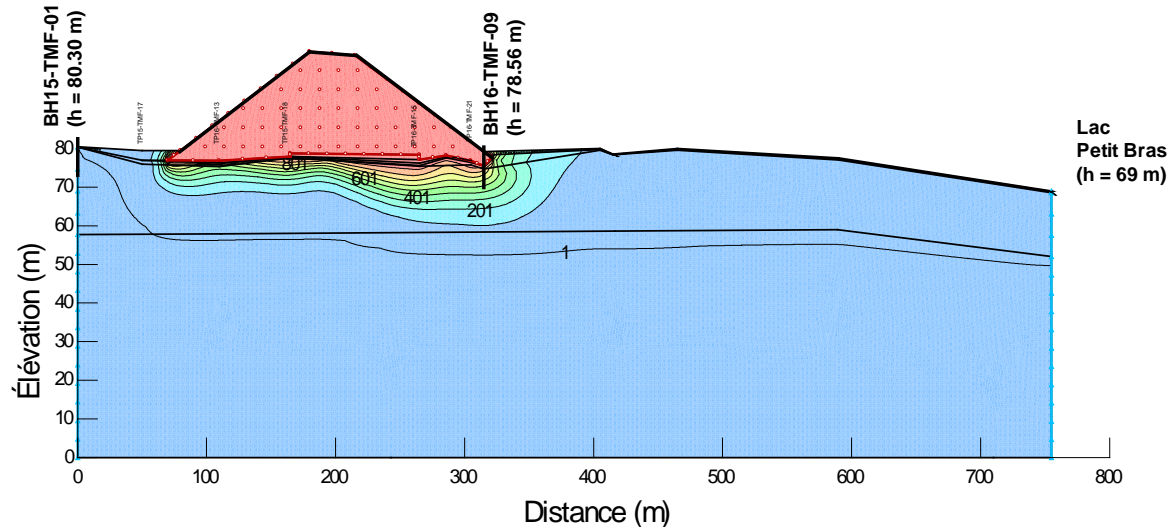
File Name: 641991_Model_CoupeCC_avec residus_CTran.gsz

Échelle 3H:1V

Coupe CC' : Transport du fer à 20 et 40 ans

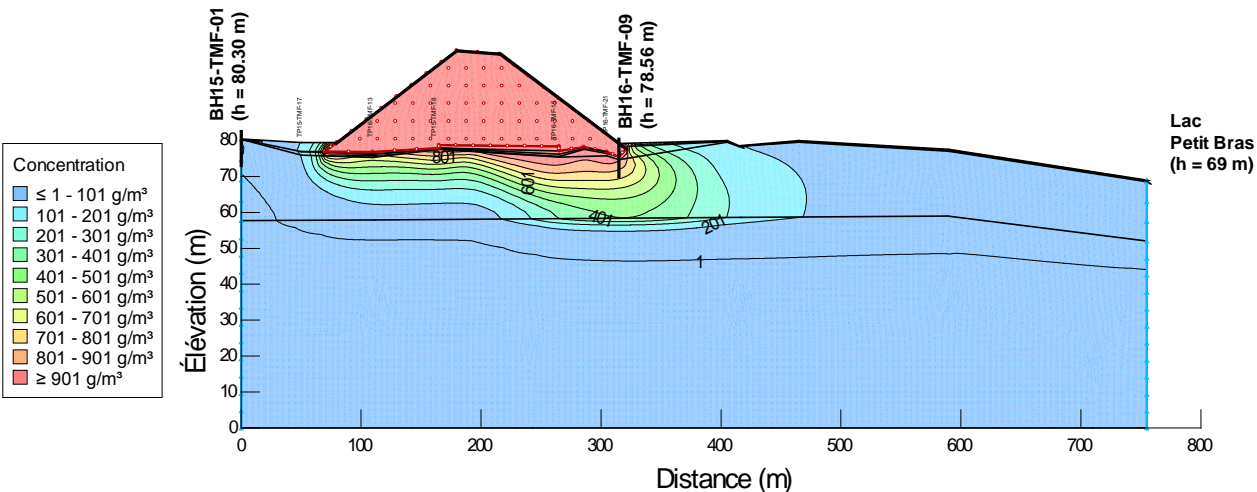


File Name: 641991_Model_CoupeCC_avec_residus_CTran.gsz Échelle 3H:1V

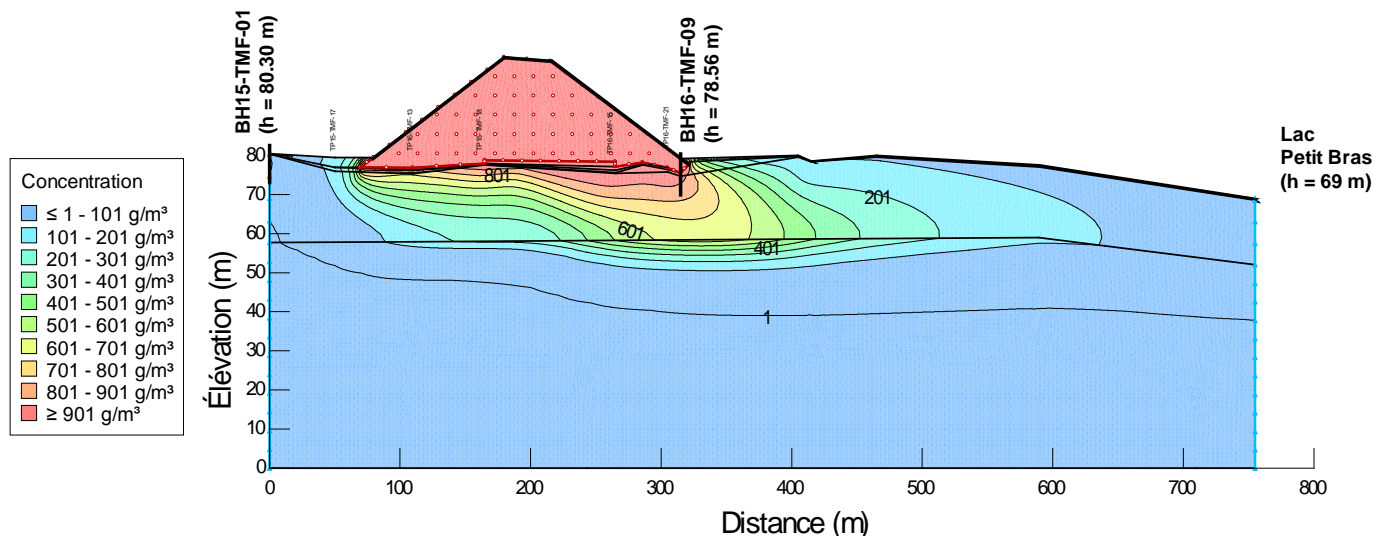


File Name: 641991_Model_CoupeCC_avec_residus_CTran.gsz Échelle 3H:1V

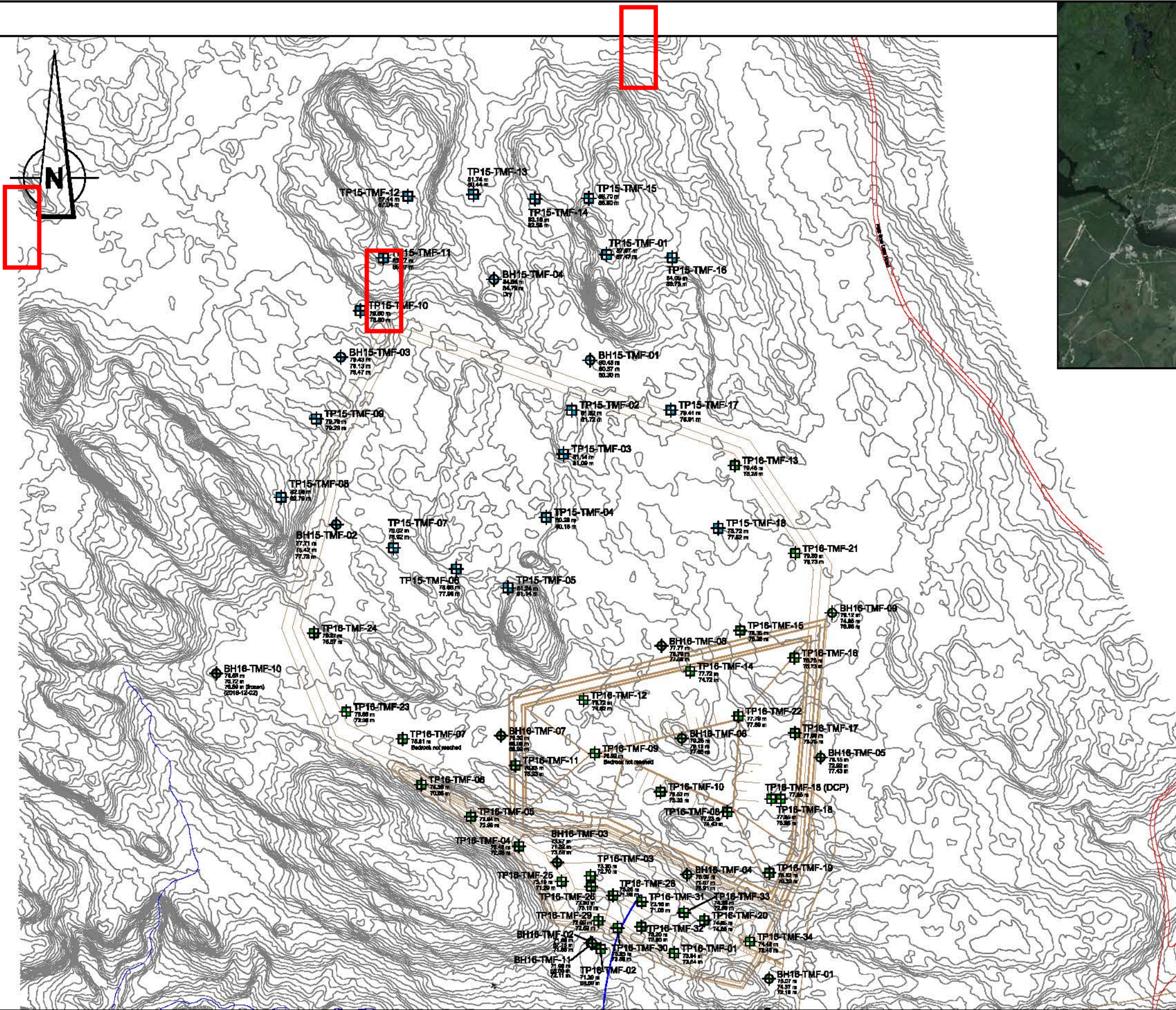
Coupe CC' : Transport du fer à 100 et 200 ans



File Name: 641991_Model_CoupeCC_avec residus_CTran.gsz Échelle 3H:1V



File Name: 641991_Model_CoupeCC_avec residus_CTran.gsz Échelle 3H:1V



LEGEND

- Borehole 2016
Elevation of surface (m)
Bedrock elevation (m)
Water level elevation (m)
- Test Pit 2016
Elevation of surface (m)
Bedrock elevation (m)
- Borehole 2015
Elevation of surface (m)
Bedrock elevation (m)
Water level elevation (m)
- Test Pit 2015
Elevation of surface (m)
Bedrock elevation (m)
- Borehole 2014
Elevation of surface (m)
Bedrock elevation (m)
Water level elevation (m)
- Projected TMF position
- Water line
- Intermittent stream
- Contour line (m)

Note:
The water levels were measured between November 23rd and 25th 2016

Reference:
Topographic data from LIDAR survey provided by HATCH Ltd.



CLIENT:	Mason Graphite inc.
PROJECT:	Additional Geotechnical Investigations
LOCATION:	Baie-Comeau, Quebec
TITLE:	Sounding Location Plan Tailing Management Facility (TMF)
SCALE:	1 : 3000
DATE:	2017-01-12
FILE:	641925.2
DRAWING:	641925.2-1

V:\Projets\641925 - Mason Graphite\4_Realisation\4.7_Cad\DocSig\641925_location.dwg

Annexe F

**Figure 5-11 (révisée) : Schéma d'aménagement
général au concentrateur – Fin de l'exploitation
(année 25)**

Note de service de projet

Le 31 mai 2017

DESTINATAIRE : Mason Graphite Inc.

EXPÉDITEUR : Anne Le Sauteur

cc : Jean L'Heureux
Benoit Gascon
Daniel Andres Molina
Marie-Christine Patoine

**Mason Graphite Inc.
Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social - Projet de la
mine de graphite du lac Guéret**

**Gestion des eaux de surface aux sites de la mine de du
concentrateur**

Avis au lecteur

Le présent rapport a été préparé, et les travaux qui y sont mentionnés ont été réalisés, par Hatch, exclusivement à l'intention de Mason Graphite Inc., qui a été impliqué directement dans l'élaboration de l'énoncé des travaux et qui en comprend les limites. La méthodologie, les résultats, les conclusions et les recommandations cités au présent rapport sont fondés uniquement sur l'étendue des travaux convenus avec Mason Graphite Inc. et assujettis aux exigences en matière d'échéancier et de budget, telles que décrites dans l'offre de service et dans le contrat gouvernant la production de l'Étude d'impact sur l'environnement. L'utilisation de ce rapport, le recours à ce dernier ou toute décision fondée sur son contenu par un tiers demeure la responsabilité exclusive de ce tiers. Hatch n'est pas responsable d'aucun dommage subi par un tiers suite à l'utilisation en tout ou en partie, de ce rapport ou de toute décision basée sur son contenu.

Les conclusions, les recommandations et les résultats cités au présent rapport :

- I. Ont été élaborés conformément au niveau de compétence attendu de professionnels exerçant des activités dans des conditions et champs d'expertise similaires;
- II. Sont établis selon le meilleur jugement de Hatch en fonction des informations recueillies et disponibles au moment de la préparation de ce rapport;
- III. Sont valides uniquement à la date du rapport;
- IV. Sont fondées en partie sur de l'information obtenues de tiers, dont Hatch, sauf indications contraires, se dégage de toute responsabilité en rapport avec l'exactitude de cette information développée par ces tiers.

Le présent rapport doit être considéré dans son ensemble et ses sections ou ses parties ne doivent pas être utilisées ou comprises hors du contexte de ce rapport. Si des différences venaient à se glisser entre la version préliminaire (ébauche) et la version définitive de ce rapport, la dernière version prévaudrait.

Finalement, rien dans ce rapport n'est mentionné avec l'intention de fournir ou de constituer un avis juridique ou une base d'évaluation financière.

Table des matières

1. Introduction	1
2. Site de la mine	1
2.1 Description sommaire du procédé.....	1
2.1.1 Extraction du minerai brut.....	1
2.1.2 Aire de chargement du minerai brut.....	3
2.1.3 Disposition des résidus miniers.....	3
2.1.4 Transport du minerai brut à l'usine.....	6
2.2 Gestion des eaux de surface.....	6
2.2.1 Description des types d'eau.....	6
2.2.2 Gestion des eaux sans contact.....	7
2.2.3 Gestion des eaux de contact.....	8
2.2.4 Unités de traitement de l'eau (UTE).....	18
2.2.5 Point de rejet final.....	18
2.3 Bilan global de l'eau.....	18
2.3.1 Approche.....	19
2.3.2 Résultats du bilan d'eau.....	20
2.3.3 Conclusion.....	22
3. Site du concentrateur	22
3.1 Description sommaire du procédé.....	22
3.1.1 Réception, concassage et entreposage du minerai brut.....	22
3.1.2 Traitement du minerai.....	22
3.1.3 Traitement du minerai - procédé sec.....	25
3.1.4 Ensachage et entreposage.....	25
3.1.5 Filtration des résidus.....	25
3.1.6 Disposition des résidus filtrés.....	25
3.2 Gestion des eaux au site du concentrateur.....	26
3.2.1 Description des types d'eau.....	26
3.2.2 Gestion des eaux sans contact.....	26
3.2.3 Gestion des eaux de contact.....	27
3.2.4 UTE.....	36
3.2.5 Point de rejet final.....	36
3.3 Bilan global des eaux.....	36
3.3.1 Analyse des données météorologiques et hydrologiques.....	37
3.3.2 Quantités d'eau entrantes.....	40
3.3.3 Quantités d'eau sortantes.....	41
3.3.4 Résultats du bilan d'eau.....	41
3.3.5 Conclusion.....	44
4. Suivi environnemental	44
5. Références	46

Liste des figures

Figure 2-1 : Agencement des installations au site de la mine (fin d'exploitation).....	2
Figure 2-2 : Vue en plan du site minier montrant la position de la plateforme de minerai (en rouge), ainsi que les limites des bassins versants actuels (en bleu) et en fin d'exploitation (en orange).....	4
Figure 2-3 : Schéma conceptuel de la gestion de l'eau de contact au site de la mine (fin d'exploitation) ...	9
Figure 2-4 : Vue schématique de la plateforme de minerai brut telle que proposée par SNC-Lavalin (2017) [2].....	10

Figure 2-5 : Schéma montrant la conception d'un système d'évacuation des eaux d'un bassin de sédimentation	13
Figure 2-6 : Vue en plan du bassin de contrôle permanent au site de la mine	16
Figure 2-7 : Coupe-type de la digue du bassin de contrôle permanent au site de la mine	17
Figure 2-8 : Précipitations annuelles pour le site de la mine	19
Figure 2-9 : Effets de la simulation sur les niveaux d'eau dans la fosse principale (est)	21
Figure 2-10 : Effets de la simulation sur les niveaux d'eau dans le bassin de collecte permanent au site de la mine	21
Figure 3-1 : Vue d'ensemble, en 3D, de la plateforme du concentrateur montrant les différents installations et aménagements.....	23
Figure 3-2 : Vue en 3D de l'ensemble du site du concentrateur montrant l'emplacement du parc à résidus et la réserve d'eau brute par rapport à l'usine.....	24
Figure 3-3 Détail du fossé des eaux sans contact.....	27
Figure 3-4 : Schéma conceptuel de la gestion de l'eau de contact	28
Figure 3-5 : Détail de la fondation proposée pour la plateforme de minerai brut au site du concentrateur.....	29
Figure 3-6 : Vue en plan et coupe de la plateforme de minerai brut à l'étape de l'ingénierie détaillée	30
Figure 3-7 : Vue en plan et coupe du bassin de collecte de la plateforme de minerai brut.....	32
Figure 3-8 : Schéma illustrant une conception-type pour le bassin de collecte des eaux de contact provenant de la pile de minerai, au site du concentrateur	33
Figure 3-9 : Schéma montrant le niveau d'eau dans la réserve	35
Figure 3-10 : Précipitations annuelles totales à la station météo de Baie-Comeau (1967-2009)	38
Figure 3-11 : Températures moyennes annuelles à la station météo de Baie-Comeau (1967-2009).....	39
Figure 3-12 : Variation du niveau d'eau dans le bassin de collecte.	42
Figure 3-13 : Variation du volume d'eau dans la réserve d'eau brute – Événement de crue.....	43

Liste des tableaux

Tableau 2-1 : Volumes de rétention pour chaque bassin temporaire (selon un critère de conception de 1 : 10 ans).....	14
Tableau 2-2 : Volumes des eaux de contact à gérer en provenance des aménagements prévus au site de la mine en début d'exploitation (fin an 3 en comptant l'année 0).....	14
Tableau 2-3 : Volumes des eaux de contact à gérer en provenance des aménagements prévus au site de la mine, à la fin de l'exploitation (an 25).....	15
Tableau 3-1 : Précipitations à la station de Baie-Comeau (1981-2010).....	38
Tableau 3-2 : Évaporation de la station de Bonnard (1951-1980).....	38
Tableau 3-3 : Évènement de pluie et de la fonte des neiges.....	39
Tableau 3-4 : Évènement de pluie et de la fonte des neiges.....	40
Tableau 3-5 : Eau de ruissellement contribuant à l'apport en eau du bilan global	41
Tableau 3-6 : Volume tampon disponible selon les phases de développement du parc à résidus.....	43
Tableau 4-1 : Tableau de suivi environnemental en opération.....	45

Liste des annexes

Annexe A : Gestion des eaux de surface aux sites de la mine et du concentrateur (Figure 5-4 A, B, C et Figure 5-11 révisée)

Annexe B : Schéma simplifié du procédé au site du concentrateur (extrait du chapitre 5 de l'Addenda)

1. Introduction

Suite aux trois séries de questions du MDDELCC qui ont suivi le dépôt de l'Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social et de l'Addenda A, une mise à jour s'est avérée nécessaire pour consolider toute l'information relative au Plan de gestion des eaux de surface aux sites de la mine (propriété du Lac Guéret) et du concentrateur (Baie-Comeau). Ce plan de gestion des eaux révisé intègre tous les changements de conception auxquels Mason Graphite s'est engagé et qui découlent des échanges avec le Ministère, en particulier au sujet de la gestion des eaux de contact et sans contact, et de la conception des ouvrages de collecte et de contrôle des eaux de contact.

Les principaux documents ayant servi à cette mise à jour sont les suivants :

- Mason Graphite – Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social (H348328-0000-07-236-0001, rev 0, novembre 2015)
- Mason Graphite – Addenda A de l'étude d'impact sur l'environnement et le milieu social Chapitre 5 : description de projet (H348328-0000-07-236-0001, Rev.1);
- Mason Graphite – Feasibility Study Report (H347199-0000-00-124-0001, Rev.2, 13 avril 2017);
- Mason Graphite – Étude d'impact environnemental – Réponses à la série 2 de questions du MDDELCC du 29 avril 2016 (25 juillet 2016).
- Mason Graphite – Étude d'impact environnemental – Réponses à la série 3 de questions du MDDELCC du 20 janvier 2017 (11 avril 2017).

La présente note technique est en complément aux deux notes techniques suivantes :

- Hatch – Critères de conception préliminaires – Traitement de l'eau (mine et concentrateur) (H348328-0000-07-220-0003, rev 0, mai 2017);
- Hatch – Aire d'accumulation des résidus miniers au site du concentrateur (Baie-Comeau) (H348328-000-07-220-0004, rev 0, mai 2017).

2. Site de la mine

2.1 Description sommaire du procédé

La présente section décrit brièvement les activités principales au site de la mine. L'agencement des installations nécessaires aux opérations, sur le site de la propriété du Lac Guéret, est présenté à la Figure 2-1.

2.1.1 *Extraction du minerai brut*

L'extraction du minerai se fera par forage et sautage. Le forage sera effectué avec une foreuse au diesel. Pour les sautages, la mine utilisera deux types d'explosifs suivant la présence ou non d'eau dans les trous de sautage. Il est prévu d'effectuer un tir à chaque intervalle de deux (2) semaines pour abattre de 10 000 à 15 000 tonnes de roches. Chaque tir comprendra 55 à 85 trous de forage et utilisera environ 3 500 kg d'explosifs.



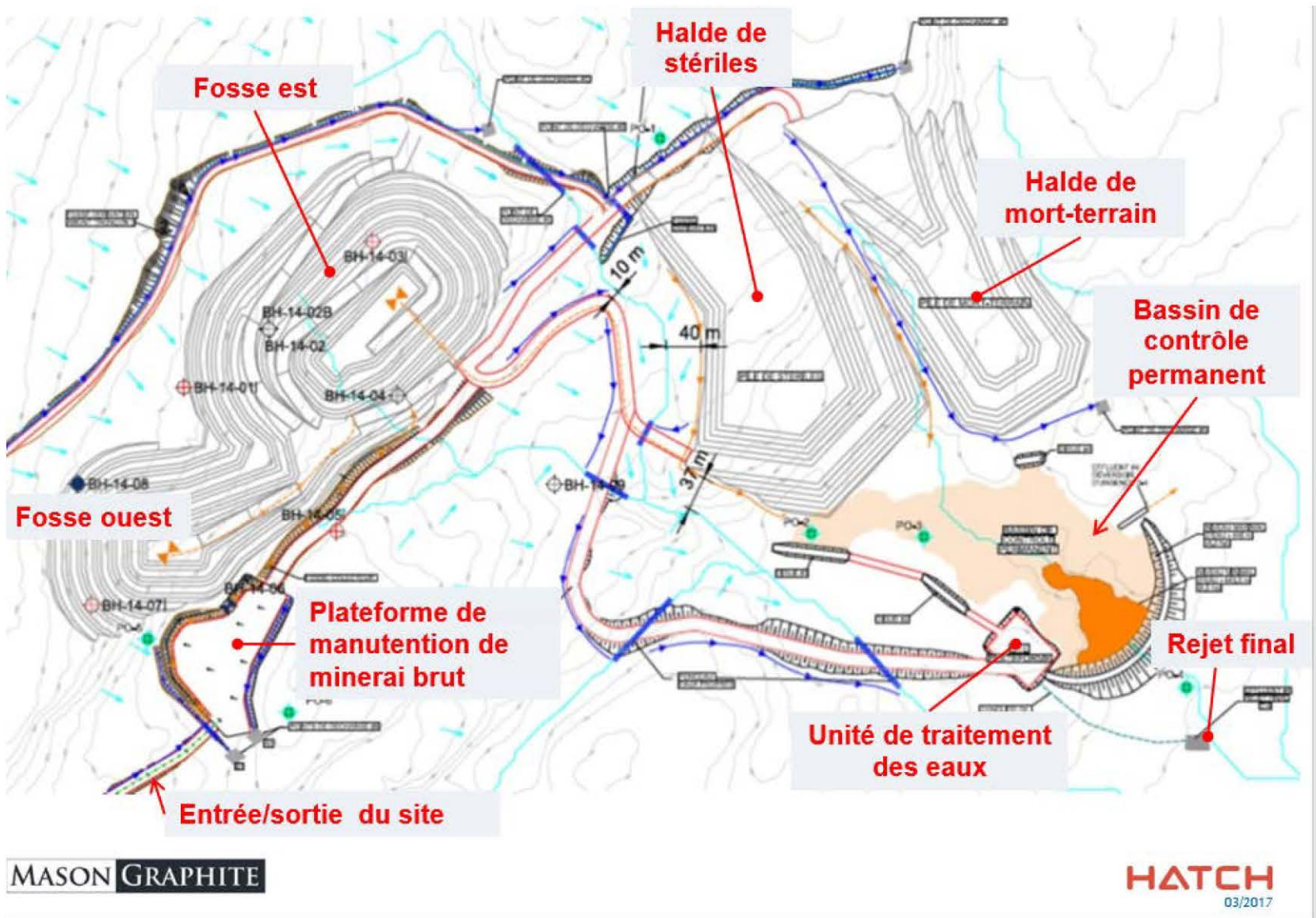


Figure 2-1 : Agencement des installations au site de la mine (fin d'exploitation)



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

Une fois le minerai extrait de la fosse, des analyses d'échantillons de forages, les directives d'un géologue ainsi que le tri visuel permettront de différencier le minerai du stérile. Le minerai et le stérile seront chargés dans des camions ayant une capacité d'environ 25 tonnes chacun par une excavatrice hydraulique ou une chargeuse sur roues selon les besoins. Le stérile sera transporté et déchargé sur la halde de stériles, et le minerai sera transporté et déchargé sur l'aire de chargement de minerai brut.

2.1.2 Aire de chargement du minerai brut

La zone de manutention du minerai (« ROM Pad ») sera dédiée aux activités de chargement en vue du transport vers l'usine de Baie-Comeau. Ainsi, les camions, transportant le minerai brut à partir de la fosse, déchargeront sur l'aire de chargement, où il sera repris et chargé dans les camions de transport routier. Une pile temporaire de minerai y sera donc accumulée. Les sections de la pile qui ne sont pas visées par des opérations journalières seront recouvertes de toiles.

La plateforme de minerai brut se situera au sud-ouest du site, à proximité de la fosse minière, à une distance d'environ 50 m. Elle aura une longueur totale de 300 m et une largeur totale de 150 m. Elle a été placée à l'intérieur des limites de ce qui correspond au futur bassin versant associé à la fosse, afin que cette structure se trouve dans la zone où les eaux de ruissellement sont drainées vers la fosse (voir Figure 2-2).

La pile de stockage sera d'une capacité maximale d'environ 8 500 tonnes, soit l'équivalent d'une alimentation de deux semaines d'excavation de minerai brut. Elle aura une largeur de 25 m, une longueur de 70 m, une hauteur de 3 m ainsi qu'une pente de 38°, ce qui constitue un volume correspondant à 4 250 m³. Le minerai sera déchargé par les camions et manutentionné par la chargeuse sur roues ou l'excavatrice.

2.1.3 Disposition des résidus miniers

Le stérile et le mort-terrain extraits de la fosse seront entreposés dans deux (2) haldes spécifiques et distinctes, situées à l'est de la fosse. En fin d'exploitation, soit une période de 25 ans, quelques 640 000 m³ (1 361 000 tonnes d'une densité de 2,12 t/m³ après compaction) de mort-terrain et 1 100 000 m³ (2 509 000 tonnes d'une densité de 2,29 t/m³ après compaction) de stérile auront été extraits.

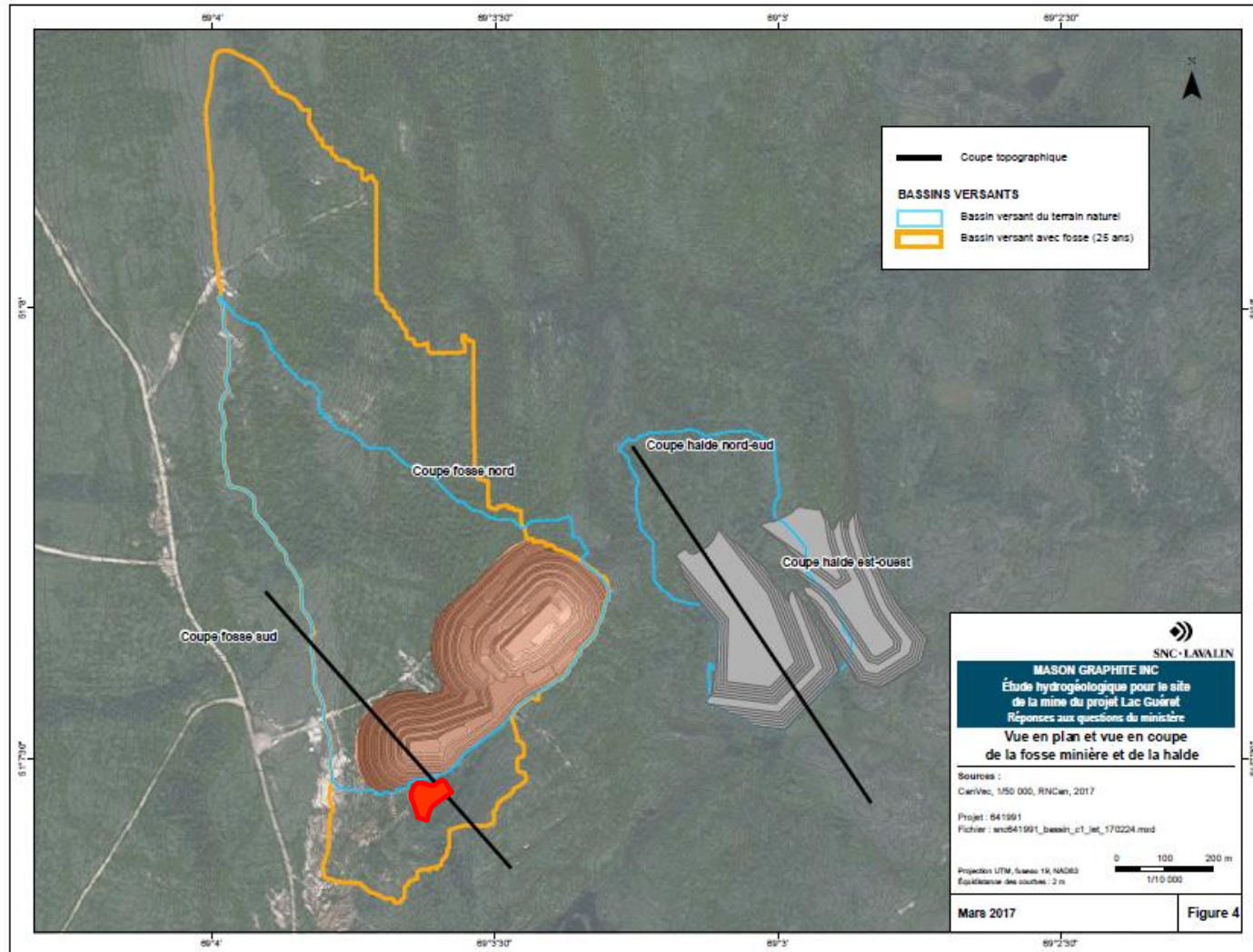


Figure 2-2 : Vue en plan du site minier montrant la position de la plateforme de minerai (en rouge), ainsi que les limites des bassins versants actuels (en bleu) et en fin d'exploitation (en orange)



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

Les piles et leur aménagement seront conformes aux exigences de la directive 019. Elles seront éloignées des zones où l'environnement est sensible et se situeront à une distance minimale de 60 m des cours d'eau. Deux (2) ruisseaux intermittents se situent de part et d'autre des haldes de stériles et de mort-terrain. Ces ruisseaux sont tributaires du ruisseau Sans nom plus en aval. Le plan d'aménagement a été développé afin de ne pas interférer avec ces ruisseaux. Ce faisant, toutefois, la distance minimale à respecter entre la pile de stériles et le cours d'eau intermittent qui la borde (côté est) a dû être réduite (environ 40 m).

Avant que les matériaux ne soient placés dans les haldes, afin d'en améliorer la stabilité, les arbres seront coupés et les matériaux organiques seront enlevés et disposés en pile dans la halde de mort-terrain.

Afin de minimiser la consommation de carburant et les heures de roulage, les haldes ont été conçues à flanc de crête. Ainsi, les camions n'auront pas à monter avec leur chargement.

2.1.3.1 Halde de stériles

La halde de stériles sera immédiatement située près de la sortie de la fosse et recevra du matériel tout au long de la période d'exploitation de la mine. La halde sera construite en deux (2) niveaux, à 475 m et à 500 m. La superficie de la base de la halde de stériles après 25 ans d'exploitation sera d'environ 8 hectares.

Les résultats de la modélisation hydrogéologique de la halde de stériles sont présentés dans le rapport de SNC-Lavalin (2017) [1]. Ces résultats indiquent que le débit d'exfiltration en fond de halde (0, 0,036 L/m²/jour) est en deçà du seuil de protection de niveau A (3,3 L/m²/jour). Par contre, Mason Graphite a pris l'engagement de confirmer les mesures requises de protection des eaux souterraines, par l'opération d'une cellule test de disposition des stériles qui sera construite au début du développement de la halde de stériles pour recevoir les deux premières années de production de stériles. Cette cellule impliquera la mise en place d'une membrane étanche qui permettra d'atteindre les objectifs suivants :

- 1) Vérifier les caractéristiques physiques et géochimiques des stériles;
- 2) Confirmer le comportement géochimique des stériles et établir le portrait réel de lixiviation des stériles dans les conditions d'opérations quotidiennes (caractérisation physico-chimique des lixiviats);
- 3) Valider le bilan d'eau autour de la halde de stériles et le débit de percolation au fond;
- 4) Établir la qualité réelle de l'eau de percolation à travers la pile de stériles;
- 5) Établir le risque réel de contamination des eaux souterraines et prendre des décisions éclairées par des résultats factuels quant à la nécessité de mesures d'étanchéité à implanter pour le développement complet de la halde;
- 6) Réviser le modèle hydrogéologique en utilisant les concentrations réellement observées au site et valider les résultats de la modélisation;
- 7) Refaire l'analyse de transport de contaminants dans l'eau souterraine pour confirmer le respect des objectifs de protection de l'eau souterraine.



Tous les stériles produits pendant les 2 premières années d'exploitation de la mine seront disposés dans la cellule test. Les résultats de suivi de la cellule test permettront ainsi de guider les critères de conception des phases subséquentes de développement de la halde afin de respecter les exigences en vigueur en matière de protection de l'environnement. Les critères de décision pour l'installation d'une géomembrane sont documentés dans la note technique de Hatch émise en 2017 : Aire d'accumulation des résidus miniers au site du concentrateur (Baie-Comeau) (H348328-000-07-220-0004, rev 0).

2.1.3.2 Halde de mort-terrain

La halde de mort-terrain sera située à l'est de la halde de stériles. Cette halde recevra du mort-terrain pendant la période de pré-production de la mine (année 0), puis durant les années de production 6 à 10, après quoi tout le décapage du mort-terrain sera complété. Puisque la couche de matériaux organiques qui recouvre le mort-terrain est très mince, elle sera excavée concurremment avec le mort-terrain et entreposée sur la halde de mort-terrain. La halde sera construite en trois (3) niveaux, à 470 m, 480 m et 490 m. La superficie totale de la base de la halde de mort-terrain couvrira ultimement environ 6 hectares.

2.1.4 Transport du minerai brut à l'usine

Le transport du minerai sera assuré par une compagnie de transport sous-contractée. Aucune infrastructure additionnelle n'est prévue dans le projet pour la circulation des camions. Ceux-ci utiliseront des routes existantes, dont la route forestière 202 et la route 389.

Au début de l'exploitation, alors que la relocalisation de la route 389 ne sera pas encore complétée, les camions devront se rendre jusqu'à la route 138, pour y passer afin d'aller rejoindre le chemin du Labrador qui leur donnera accès au site du concentrateur. Une fois le projet de relocalisation complété, les camions pourront accéder au site du concentrateur directement à partir de la route 389.

2.2 Gestion des eaux de surface

La présente section décrit le plan de gestion développé pour gérer les différents types d'eaux de surface créées par les opérations minières.

2.2.1 Description des types d'eau

Les eaux retrouvées au site de la mine ont été classées en deux catégories :

- Les eaux de contact : toutes les eaux qui risquent de venir « en contact » avec les activités de production, et donc susceptibles d'être « contaminées », soit :
 - ♦ les eaux de ruissellement « exposées au minerai brut » : eau de pluie (ou neige) qui tombe dans la fosse minière, sur la plateforme de minerai brut, sur les chemins de transport du minerai brut entre la fosse et la plateforme;
 - ♦ les eaux de ruissellement « exposées aux résidus miniers » : eau de pluie (ou neige) qui tombe sur la halde de stériles, incluant le chemin de transport des stériles entre la fosse minière et la halde;
- Les eaux sans contact : à l'inverse de précédemment, il s'agit des eaux qui ne risquent pas de venir « en contact » avec les activités de production, et qui peuvent être qualifiées comme étant « non contaminées », soit :



- ♦ les eaux de ruissellement : eau de pluie (ou neige) déviée du site et qui, par conséquent, ne sera pas exposée aux différents contaminants associés aux activités minières.
- ♦ Les eaux de ruissellement qui tomberont sur la pile de mort-terrain et susceptibles de générer des matières en suspension (MES), considérées comme des contaminants au sens de la Loi.

Le principe au cœur de la gestion des eaux de surface est la séparation des eaux de contact et sans contact. Les figures 5-4 A, B, C de l'Annexe A présentent la gestion des eaux de contact et sans contact au site de la mine pour les phases de construction (année 0), de début d'exploitation (1-2ans) et de fin d'exploitation (année 25). La majeure partie du réseau de collecte et de déviation des eaux de ruissellement sera développé durant les phases de construction et de début d'exploitation.

2.2.2 Gestion des eaux sans contact

2.2.2.1 Fossé de dérivation en amont du site

En amont du site minier, l'eau provenant des bassins hydrographiques sera détournée dans un fossé pour les dévier, soit vers le ruisseau à l'extrémité est du site, soit vers celui qui traverse le site (voir la Figure 5-4 C de l'Annexe A).

Ce fossé de dérivation se présente en deux tronçons dont l'implantation sera décalée dans le temps :

- a) Le premier tronçon sera creusé dès la phase de construction : il est situé du côté nord du chemin qui va mener aux haldes de stériles et de mort-terrain. Son point de décharge sera principalement dans le ruisseau situé à l'est du site;
- b) Le second tronçon captera toutes les eaux venant du nord pour les diriger vers le ruisseau qui traverse le site minier, entre la fosse est et la halde de stériles. Il sera aménagé au nord de la fosse minière, au moment où le bassin de contrôle permanent sera implanté.

En début d'exploitation (1-2 ans), des fossés de drainage périphériques (temporaires) seront installés en amont des zones d'excavation pour capter et dévier les eaux de ruissellement sans contact vers l'aval (voir Figure 5-4 B de l'Annexe A). En procédant ainsi, le volume d'eau de contact à gérer pour cette période s'en trouve réduit.

2.2.2.2 Autres fossés d'interception et de dérivation

2.2.2.2.1 Phase de construction

En phase de construction (≈12 mois), une partie des eaux sans contact sera déviée vers le ruisseau à l'est du site et l'autre partie sera captée par des fossés de drainage aménagés en amont des chemins et des installations en construction, puis déviée vers différents ponceaux afin d'être retournée dans le milieu naturel en aval. Les points de décharge d'eau sans contact ont été numérotés, de #A à #F (voir la figure 5-4 A de l'Annexe A). Un enrochement (*Rip Rap*) sur géotextile sera aménagé à chacun des points de décharge afin de prévenir l'érosion du terrain.



La figure 5-4 A montre également que les eaux sans contact de la future halde de stériles (pas encore en construction) et de la halde de mort-terrain (construction commencée) seront recueillies par des fossés de drainage périphériques et collectées dans les bassins de sédimentation aménagés à la base des piles.

Les systèmes d'évacuation et déversoirs d'urgence de ces deux bassins, ainsi que du bassin de contrôle temporaire no 1 (qui recueillera l'eau de contact du futur fossé collecteur) sont identifiés comme des effluents finaux.

2.2.2.2 Début d'exploitation (1-2 ans)

Durant les deux (2) années du début d'exploitation, les eaux de ruissellement sans contact vont essentiellement emprunter le même réseau que celui développé durant la construction, bien qu'une partie de ce réseau sera dorénavant utilisée pour canaliser les eaux de contact vers le bassin de contrôle temporaire et le bassin de sédimentation de la halde de stériles (voir la figure 5-4 B de l'Annexe A).

Par ailleurs, tel que mentionné plus haut, des fossés de drainage additionnels seront creusés en périphérie des fosses minières, est et ouest. Un enrochement (*Rip Rap*) sur géotextile sera aménagé à chacun des points de décharge afin de prévenir l'érosion du terrain.

2.2.3 Gestion des eaux de contact

La Figure 2-3 présente le schéma conceptuel de la gestion de l'eau de contact au site de la mine. Les principales structures/aménagements prévus afin d'assurer la collecte et le contrôle des eaux de contact sont :

a) Plateforme de minerai brut

- ◆ Un système drainage et d'étanchéité, à la base et en bordure nord de la plateforme, pour capter les eaux qui ruisselleront sur la pile de déchargement et l'aire de manutention, et les diriger via un fossé collecteur, soit vers le bassin de contrôle temporaire (début d'exploitation), soit vers la fosse est (une fois le bassin de contrôle permanent en place);
- ◆ Un profilage de l'aire pour créer une pente descendante pour diriger les eaux de contact vers le système de drainage aménagé au nord de la plateforme;
- ◆ Une vérification du plancher de la plateforme lors de la préparation de site pour sceller les fractures dans le roc si nécessaire.

b) Halde de stériles

- ◆ Un système drainage et d'étanchéité à la base et en périphérie de l'aire d'accumulation des stériles pour capter les eaux de ruissellement, d'infiltration et de lixiviation et les diriger, selon le mode d'écoulement naturel des eaux, vers le bassin de contrôle permanent, à la base de la halde¹;
- ◆ Une vérification du plancher de la halde lors de la préparation de site pour égaliser le terrain (ex. enlèvement des buttons) et sceller les fractures dans le roc si nécessaire.

¹ Au moins durant la durée du pilote avec la cellule test (2 ans).



c) Fosse minière

- ◆ Un système de canalisations et de pompes pour gérer les eaux d'exhaure vers le bassin de contrôle temporaire (en début d'exploitation), et par après, vers le bassin de contrôle permanent.

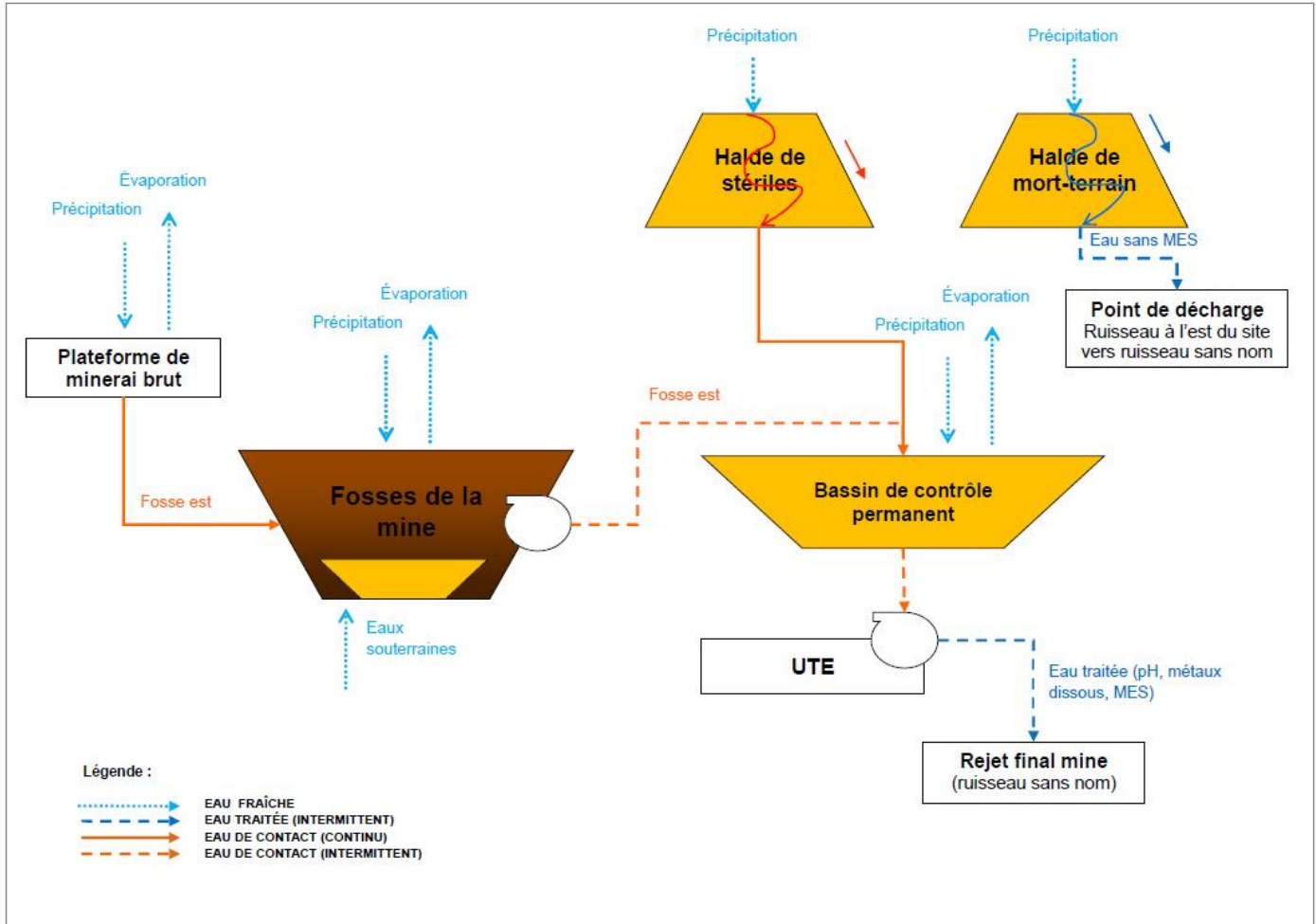


Figure 2-3 : Schéma conceptuel de la gestion de l'eau de contact au site de la mine (fin d'exploitation)

d) Bassins de contrôles temporaires

- ◆ En début d'exploitation, un bassin de contrôle principal (temporaire) pour collecter les eaux provenant de la plateforme de minerai brut et les eaux d'exhaure de la fosse est, ainsi que les eaux décantées des bassins de sédimentation (temporaires) installés à la base des haldes de stériles et de mort-terrain, afin de contrôler les MES.

e) Bassin de contrôle permanent

- ◆ Lorsque les fosses et la halde de stériles seront plus développées et les volumes d'eau de contact à gérer nécessitant la mise en place d'un ouvrage de rétention plus important.



2.2.3.1 Plateforme de minerai brut

2.2.3.1.1 Base de la plateforme

La zone de manutention et d'entreposage du minerai sera construite avec des matériaux granulaires compactés et nivelés en pente pour diriger les eaux de ruissellement vers le fossé d'interception aménagé du côté nord de la plateforme. Elle aura une superficie maximale de 4,5 ha.

Afin d'assurer une protection adéquate de la fondation de l'aire d'entreposage et de manutention du minerai brut au site de la mine, la plateforme sera profilée avec une pente de $\approx 2\%$, puis une couche de matériel granulaire de forte perméabilité sera mise en place afin de favoriser l'écoulement des eaux de contact vers le fossé collecteur. La Figure 2-4 montre une vue en plan et une coupe de la structure proposée pour favoriser le ruissellement et prévenir l'accumulation d'eau sur la fondation et ainsi réduire l'infiltration dans le sol naturel sous-jacent. L'approche préconisée est l'enlèvement des dépôts meubles et/ou le dynamitage de la roche mère pour la « mise en pente » ($\approx 2\%$) et l'ajout de 0,3 m d'une couche granulaire perméable.

De plus, lors de la préparation du site, avant la construction de la plateforme, une inspection du terrain sera effectuée, et si nécessaire, les fractures du roc sous-jacent seront scellées afin de prévenir toute infiltration d'eau de contact.

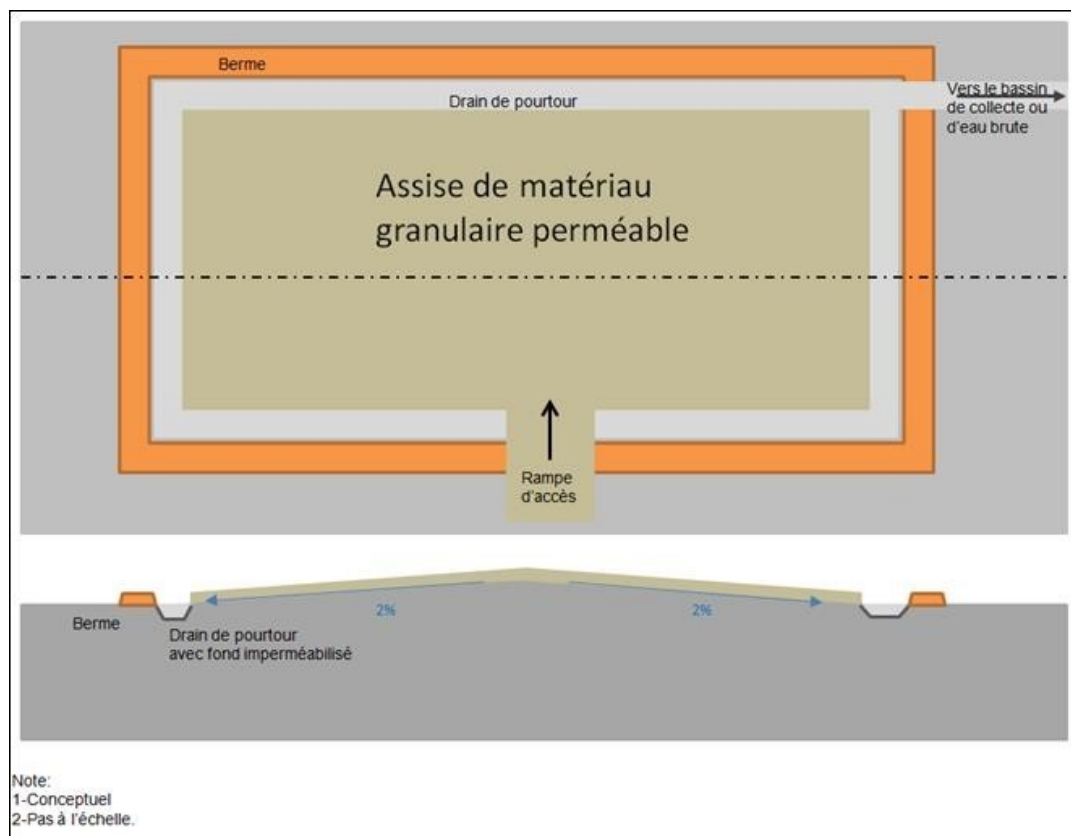


Figure 2-4 : Vue schématique de la plateforme de minerai brut telle que proposée par SNC-Lavalin (2017) [2]

2.2.3.1.2 Pourtour de la plateforme

L'eau de pluie ou de fonte des neiges qui ruissellera sur la plateforme sera interceptée par un système de drainage et dirigée, en début d'exploitation, vers un bassin de contrôle temporaire (1-2 ans), puis après, vers le bassin de contrôle permanent (3-25 ans). Les drains de pourtour seront imperméabilisés grâce à la mise en place d'une géomembrane étanche, car l'eau peut s'accumuler dans ces structures et créer des plans d'eau qui augmentent le potentiel d'infiltration dans le sol comparativement à une eau qui ruisselle et ne stagne pas. Si requis ces drains de pourtour pourront être excavés jusqu'à l'argile ou le roc afin d'assurer que toute l'infiltration d'eaux dans les dépôts meubles sera captée par les drains.

2.2.3.2 Halde de stériles

Dès le début de l'exploitation, les stériles seront déposés à flanc de colline, et la halde sera rehaussée graduellement. À partir du moment où l'ajout de stériles sur la halde aura débuté, il est attendu que la qualité de l'eau évolue dans le temps. Étant donné le faible volume de stériles déposé sur la halde au cours des premières années, et considérant le bassin versant de cette même halde, la qualité de l'eau pourrait être de qualité adéquate et permettre un retour direct à l'environnement.

Cependant, afin de mieux comprendre le phénomène de génération acide associé aux stériles, une cellule test de déposition des stériles sera mise en place durant les premières années d'exploitation (1-2 ans). Cette cellule sera étanchéifiée de façon à intercepter les eaux de ruissellement, d'infiltration et de lixiviation qui auront été en contact avec les stériles. Cette eau de contact sera rigoureusement analysée et l'unité mobile de traitement de l'eau sera utilisée au besoin pour assurer la qualité de l'effluent final et se conformer aux exigences de la Directive 019.

2.2.3.2.1 Fondation de la halde de stériles

La base de la cellule test sera dotée d'une membrane de géotextile placée sur une couche de sable pour éviter que celle-ci soit endommagée par les dépôts angulaires de roc sous-jacents. Par ailleurs, au moment de la préparation de site, un certain dynamitage et/ou remplissage du terrain sera effectué pour favoriser le drainage de la halde (par exemple, pour éliminer des boutons qui pourraient causer une entrave au bon écoulement de l'eau de ruissellement). Également, les fissures qui pourront être détectées dans la roche mère sous la halde de stériles, seront colmatées au besoin afin de limiter l'infiltration d'eau et l'entraînement possible de contaminants vers les eaux souterraines.

2.2.3.2.2 Drainage périphérique

La halde sera ceinturée par un fossé de drainage avec berme qui dirigera l'eau qui s'infiltre de la halde vers le bassin de contrôle permanent, en aval. Il sera creusé selon un critère de conception pour une crue de 1 : 2000 ans, favorisant l'écoulement des eaux de contact vers le bassin de contrôle permanent. Le fond du fossé sera recouvert par le prolongement de la membrane installée sous la pile de stériles.

2.2.3.2.3 Restauration progressive

Les sections où la déposition est terminée seront restaurées par végétation au fur et à mesure (restauration progressive). Le recouvrement limitera l'infiltration et favorisera le ruissellement en surface et l'évapotranspiration avec la présence de végétation.



2.2.3.3 Fosse minière

En début d'exploitation, un système de pompage dans la fosse est sera installé pour amener les eaux d'exhaure vers le bassin de contrôle principal (temporaire).

Lorsque les fosses seront plus développées et le bassin de contrôle permanent fonctionnel, le système de pompage en place sera développé pour amener les eaux d'exhaure de la fosse ouest vers la fosse est, puis de la fosse est vers le bassin de contrôle permanent. Une deuxième pompe sera installée dans la fosse ouest et une canalisation hors terre sera mise en place, le long du chemin de service qui mène à l'UTE, pour transférer les eaux d'exhaure vers le bassin de contrôle permanent.

2.2.3.4 Bassins de contrôle et de sédimentation temporaires

Lors de la construction et en début d'exploitation (voir les figures 5-4 A et B de l'Annexe A), trois bassins de contrôle temporaires seront installés afin d'assurer que la qualité d'eau rejetée à l'environnement respecte les exigences de la Directive 019 :

- a) Un bassin de contrôle principal (bassin #1) pour collecter les eaux provenant de la plateforme de minerai brut (via le fossé collecteur) et les eaux d'exhaure de la fosse est;
- b) Un bassin de sédimentation (bassin #2), à la base de la halde de stériles pour collecter les eaux de ruissellement, d'infiltration et de lixiviation de la pile. Lorsque requis, ces eaux seront pompées au bassin de contrôle principal en vue d'être traitées avant rejet;
- c) Un bassin de sédimentation (bassin #3), à la base de la halde de mort-terrain pour collecter les eaux de ruissellement et d'infiltration de la pile. Ces eaux seront analysées régulièrement, selon le programme de suivi environnemental établi (voir section 4), et selon les résultats, soit retournées dans le milieu récepteur via le système d'évacuation du bassin, soit pompées vers le bassin de contrôle principal en vue d'être traitées.

Les trois bassins seront excavés dans le sol pour éviter la construction d'une digue de rétention, et seront aménagés avec un système d'évacuation des eaux muni d'un tuyau vertical perforé pour les opérations normales qui dépassent le critère de conception (voir Figure 2-5). Chaque bassin sera également muni d'un déversoir d'urgence pour gérer des crues au-delà de la crue de conception.

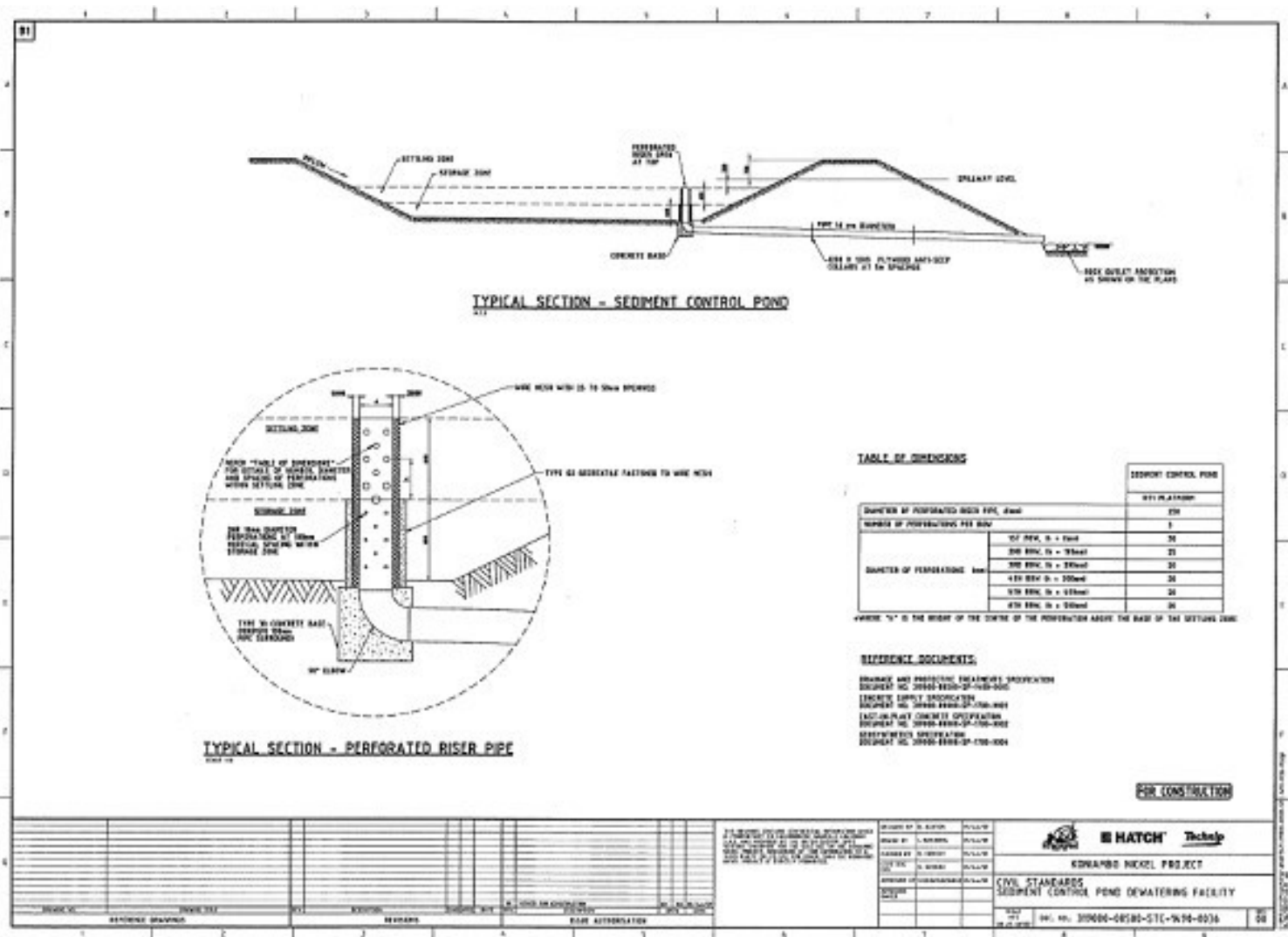


Figure 2-5 : Schéma montrant la conception d'un système d'évacuation des eaux d'un bassin de sédimentation



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

La capacité de stockage de ces bassins temporaires a été calculée sur la base d'une pluie de 10 ans de récurrence sur 24 h de précipitation, étant donné qu'il est question d'infrastructures temporaires (pour 2 ans). Les dimensions et volumes du bassin sont basés sur la vitesse de décantation des MES (voir Tableau 2-1).

Tableau 2-1 : Volumes de rétention pour chaque bassin temporaire (selon un critère de conception de 1 : 10 ans)

Installation	Volume (m ³)	Dimensions (m)
Bassin de contrôle principal #1	6 500	160 x 25 x 2
Bassin de sédimentation #2 (halde de stériles)	650	30 x 15 x 2
Bassin de sédimentation #3 (halde de mort-terrain)	2 250	55 x 20 x 2

En début d'exploitation (voir la figure 5-4 B à l'Annexe A), le bassin de contrôle principal #1 collectera les eaux provenant de la plateforme de minerai brut et de la fosse est, ainsi que les eaux décantées du bassin no 2, et au besoin, du bassin no 3. Le Tableau 2-2 présente les volumes d'eaux de contact à gérer par les installations temporaires mises en place durant cette période.

Tableau 2-2 : Volumes des eaux de contact à gérer en provenance des aménagements prévus au site de la mine en début d'exploitation (fin an 3 en comptant l'année 0)

Bassin versant	Surface (ha)	Volume pluie (m ³) ¹
Fosse Est	3.8	2 405
Fosse Ouest	1.4	886
Plateforme de minerai + chemin entre la fosse et la plateforme	3	1 899
Halde de stériles	1.5	949
Halde de mort-terrain	3.5	2 215
Bassin de contrôle temporaire	0.6	379

(1) Volumes basés sur une pluie de récurrence de 10 ans sur 24 h.

En se basant sur les calculs hydrauliques effectués, les trois bassins auront la capacité de stockage suffisante pour gérer une crue de récurrence 10 ans. Dans le cas où un volume de rétention plus important devait être exigé pour cette période d'activités, la construction du bassin de contrôle permanent sera devancée afin de l'utiliser dès le début des opérations au site minier.



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

2.2.3.5 Bassin de contrôle permanent

Avec le développement des fosses minières et l'accumulation plus importantes de stériles, il sera nécessaire de construire le bassin de contrôle permanent pour gérer de plus grandes quantités d'eaux de contact (\approx an 4, en comptant l'année 0). Ce bassin sera aménagé dans une dépression au sud de la halde de stériles (voir Figure 2-6). Il sera créé en endiguant la dépression là où la topographie du terrain ne permet pas de retenir les eaux. Les matériaux prévus pour la construction de la digue sont de la moraine compactée, des matériaux granulaires fins et grossiers, de l'enrochement, ainsi que du perré. Le bassin de contrôle permanent devra retenir les eaux de pluie de récurrence de 1 : 2000 ans sur 24 heures et de fonte de neige pour une récurrence de 100 ans sur 30 jours (voir Tableau 2-3).

Pour répondre aux critères de base établis, ce bassin aura les caractéristiques suivantes :

- Une capacité maximale de 91 902 m³;
- Une superficie à son niveau maximal d'eau de 4.3 ha (cote de 448 m), et à son niveau minimal (cote de 443.5 m), de 0.5 ha;
- Le bassin est fermé par une digue étanche de 8 m de hauteur, sur son point le plus bas, en amont de la digue (voir Figure 2-7). Sa conception respectera les facteurs de sécurité stipulés dans la Directive 019 et fera l'objet d'une étude de stabilité qui sera remise au MDDELCC lors de la demande de certificat d'autorisation;
- Un déversoir d'urgence adapté pour une crue de PMP (Précipitation Maximale Probable) sera aménagé.

Tableau 2-3 : Volumes des eaux de contact à gérer en provenance des aménagements prévus au site de la mine, à la fin de l'exploitation (an 25)

Bassin versant	Surface (ha)	Volume fonte de neige (m ³) ¹	Volume pluie (m ³) ²	Volume total (m ³)
Fosse (est et ouest)	20	86 000	22 920	108 920
Plateforme de minerai	3	12 900	3 438	16 338
Halde de stériles	10	43 000	11 460	54 460
Halde de mort-terrain	10	43 000	11 460	54 460
Bassin de contrôle permanent	6.2	26 660	7 105	33 765

(1) Volumes basés sur une fonte de neige de récurrence de 100 ans sur 30 jours.

(2) Volumes basés sur une pluie de récurrence de 2,000 ans sur 24 h.



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

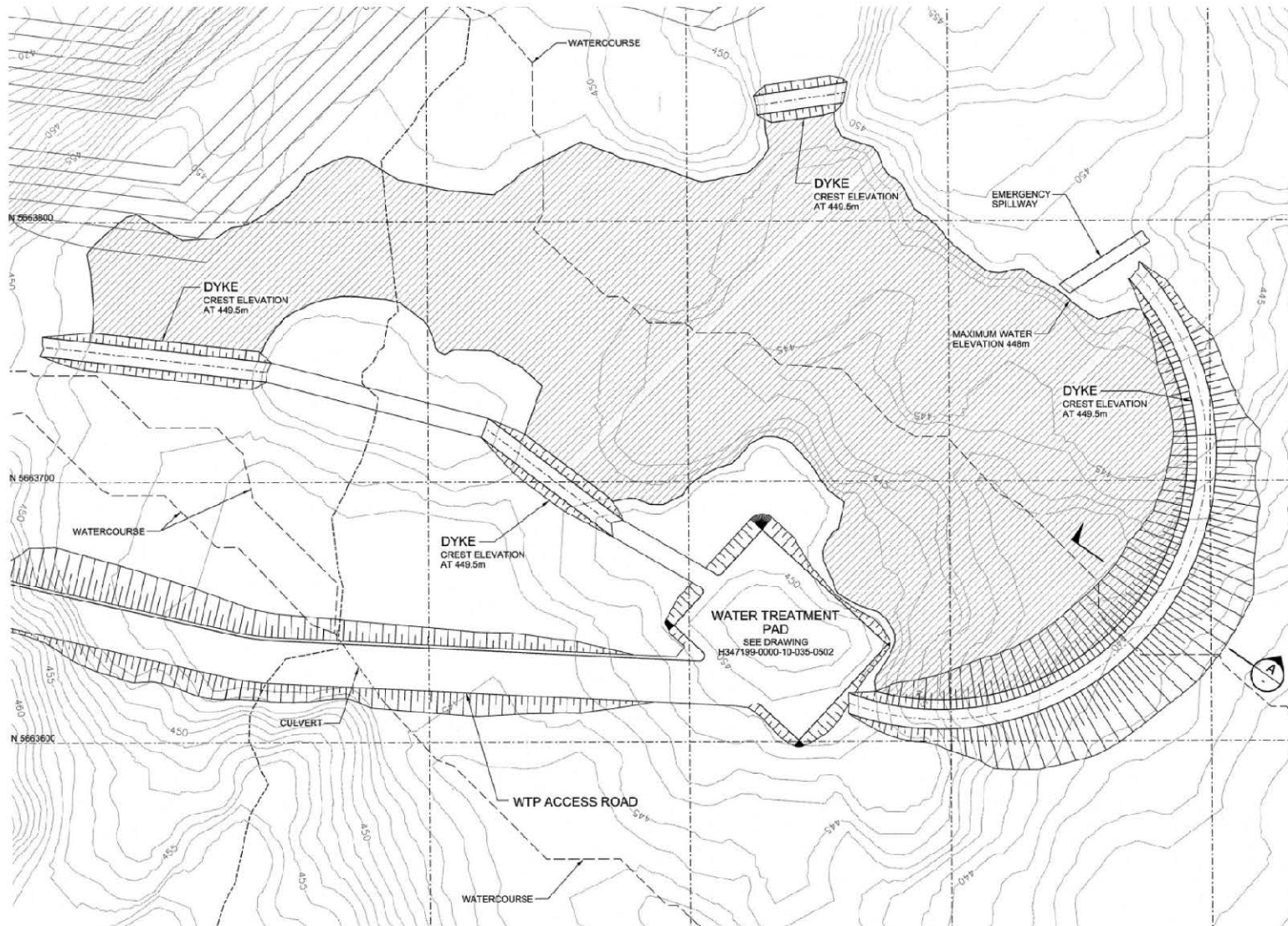
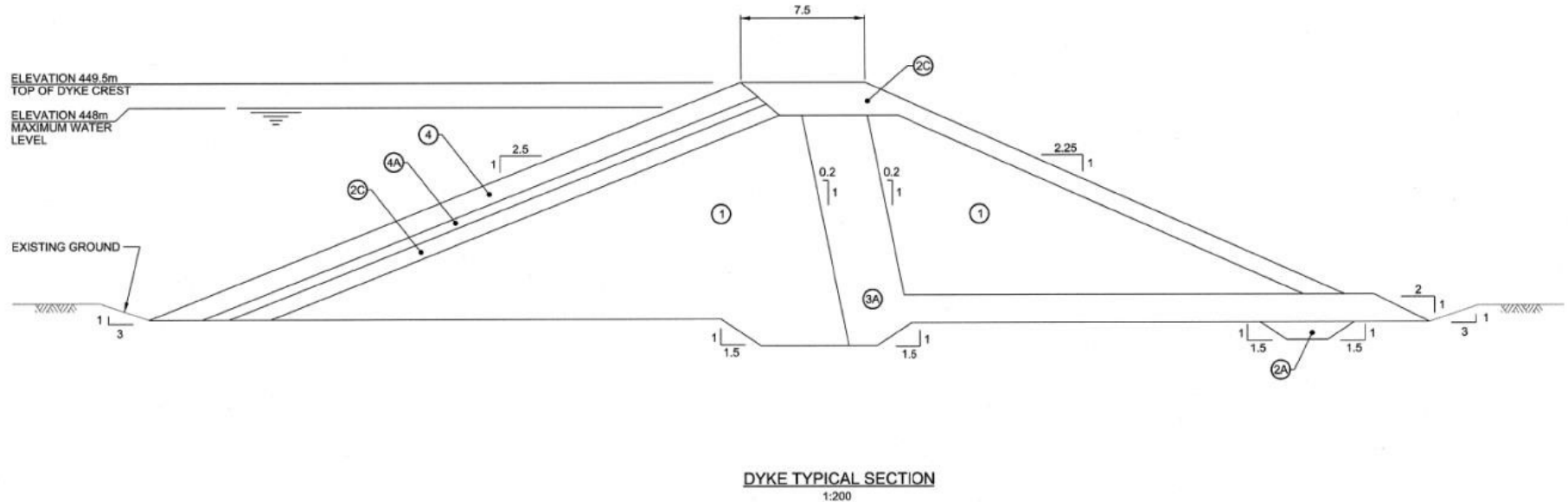


Figure 2-6 : Vue en plan du bassin de contrôle permanent au site de la mine



MATERIAL TABLE		
TYPE	DESCRIPTION	THICKNESS
①	COMPACTED TILL	-
②A	GRANULAR	-
②C	COARSE GRANULAR	1.0m
③A	FILTER	-
④	RIPRAP PROTECTION	1.2m
④A	ROCKFILL	0.6m

Figure 2-7 : Coupe-type de la digue du bassin de contrôle permanent au site de la mine



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

2.2.4 Unités de traitement de l'eau (UTE)

En début d'exploitation minière (1-2 ans), alors qu'il y aura des volumes d'eau collecteur des eaux de contact et les différents bassins seront échantillonnés selon la fréquence et les paramètres requis (voir la section 0 du présent document). Selon les résultats d'analyses obtenus, l'unité de traitement mobile sera mise en fonction pour corriger la situation et assurer que l'eau retournée dans le milieu naturel soit en conformité avec la Directive 019.

Par après, l'unité de traitement permanente prendra le relais. Elle sera installée à proximité du bassin permanent, du côté sud de l'infrastructure. L'UTE permanente sera conçue pour assurer spécifiquement le contrôle du pH et l'enlèvement des métaux dissous. L'eau traitée ne sera retournée à l'environnement qu'après validation de sa conformité aux normes de la Directive 019.

La note technique sur les systèmes de traitement de l'eau présente plus de détails sur la conception préliminaire des installations et les objectifs de qualité d'effluent à respecter (voir H348328-0000-07-220-0005, rev 0).

2.2.5 Point de rejet final

En début d'exploitation, le point de décharge des eaux traitées par l'UTE mobile sera le cours d'eau qui traverse le site de la mine. Néanmoins, si les résultats d'analyses de laboratoire indiquent que les exigences de la Directive 019 sont respectées, les eaux des bassins pourront être retournées directement dans le milieu récepteur à proximité, via le système d'évacuation de l'eau.

L'effluent d'eau traitée, à la sortie de l'UTE permanente, sera canalisé jusqu'à un point où l'eau pourra s'écouler vers le ruisseau sans nom de façon gravitaire (voir la figure 5-4 C à l'Annexe A). À la sortie de la conduite, le terrain sera aménagé avec de l'enrochement (*Rip Rap*) et du géotextile afin d'assurer la distribution uniforme de l'effluent pour éviter tout problème d'érosion.

2.3 Bilan global de l'eau

La présente section vise à réviser le bilan global des eaux au site de la mine, suite aux changements de critères de conception pour le bassin de contrôle permanent (cru de récurrence 1 : 2000 ans au lieu de 1 : 100 ans), et ce afin de s'assurer que les installations de gestion des eaux, telles que modifiées, permettront d'assurer la protection de l'environnement et de la communauté avoisinante.

Pour ce faire, une nouvelle modélisation a dû être effectuée en considérant les nouvelles données à appliquer. Le calcul de la capacité de stockage et du système de pompage requis pour le bassin de contrôle permanent a été fait à l'aide d'Excel et de SWMM (Storm Water Management Model v.5.1).

La nouvelle modélisation a été développée pour une **situation d'évènement de crue de projet** en considérant les données de base suivantes :

- En utilisant l'élévation moyenne dans le bassin de contrôle, et après analyse de l'historique des précipitations, la fonte de neige et la pluie de conception de bassin ont été ajoutées;
- Le calcul de débits a été fait directement avec la précipitation et la surface;



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

- Pour l'analyse du bassin de contrôle permanent, l'année 25 d'opération a été sélectionnée comme le pire année;
- Il a été assumé que tous les surfaces de ruissellement sont complètement étanches car l'évènement arrive en période de fonte de neige, donc 100 % de ruissellement;
- Les eaux de précipitation sur une superficie totale de 23 ha (qui inclut la surface de la fosse et ses bassins versants, ainsi que la superficie de la plateforme de minerai brut), seront collectés dans la fossé « est » de la mine et pompés vers le bassin de contrôle permanent.
- Les précipitations qui tombent sur les surfaces de la pile de stériles et du bassin de contrôle lui-même, représentent une superficie de 16,2 ha ;
- Le système doit être capable de gérer le volume d'une crue de récurrence de 1 : 2,000 ans sur 24 h plus la fonte de neige d'une récurrence de 1 : 100 ans sur 30 jours.

2.3.1 Approche

2.3.1.1 Conditions climatiques

Le modèle de simulation du bilan hydrique a fonctionné avec une série complète de données de précipitations et de températures journalières, couvrant une période de 43 ans (de 1967 à 2009). Les données de température sont utilisées pour établir si les précipitations doivent être considérées comme de la pluie ou de la neige, et aussi, pour simuler la fonte des neiges au printemps.

Durant la période de référence, le niveau de précipitations annuelles a varié de 746 mm en 1989 (plus bas niveau) à 1265 mm en 2008 (le plus haut niveau) (voir Figure 2-8), avec une moyenne, pour les 43 ans, de 1001 mm par année.

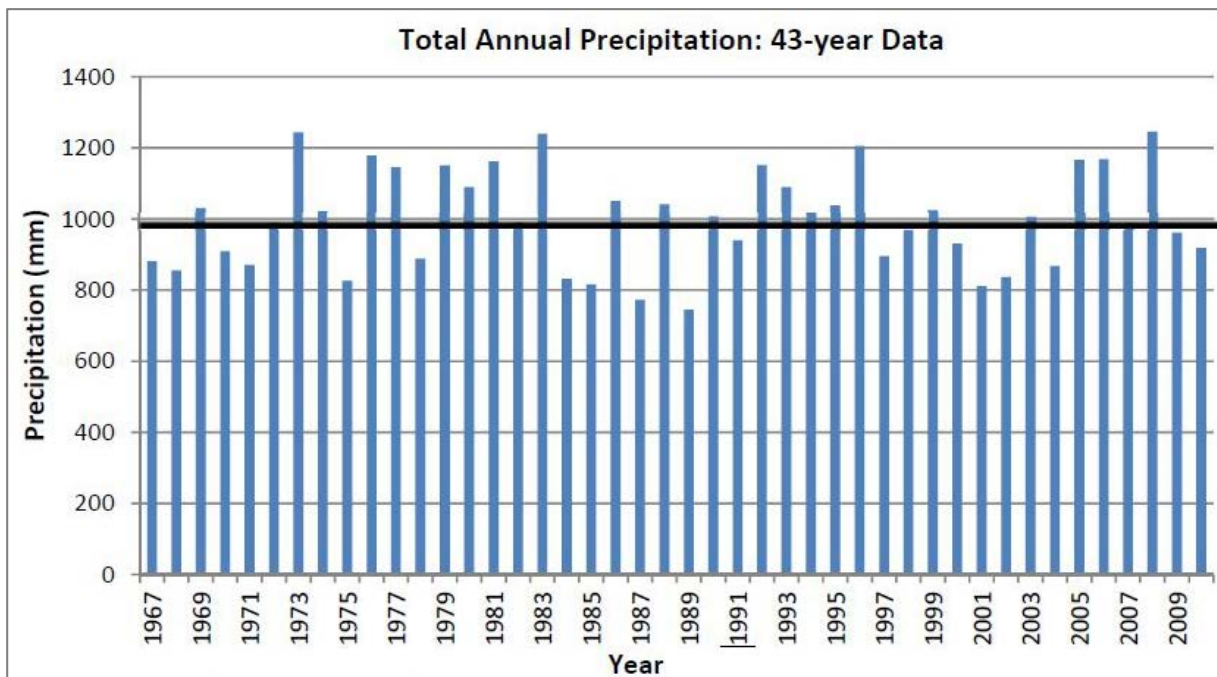


Figure 2-8 : Précipitations annuelles pour le site de la mine



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

2.3.1.2 Critères de configuration du modèle

Pour évaluer la capacité de stockage du bassin de collecte permanent selon le scénario de crue de projet pour des conditions météorologiques extrêmes :

- Une fonte de neige de récurrence 1 : 100 ans correspondant à un niveau total de précipitation (en équivalent eau) de 430 mm, durant 30 jours, commençant le 16 avril de la 6e année. Un taux constant de fonte des neiges a été utilisé durant les 30 jours.
- Une pluie de récurrence 1 : 2000 ans pendant 24 heures correspondant à un niveau total de précipitation de 114.6 mm. Cet évènement extrême a été programmé pour avoir lieu le 1er mai de la 6e année de la simulation pour coïncider avec l'épisode extrême de fonte de neige.

2.3.1.3 Règles d'opération considérées

Pour les différentes simulations, les conditions d'opération suivantes ont été considérées;

- La capacité du bassin de collecte permanente est de 91 902 m³;
- La capacité nominale de la pompe pour sortir l'eau du bassin est de 140 m³/h;
- Le pompage débute lorsque le niveau du bassin est plus grand ou égal à 12.5 % de son volume maximal (14 290 m³);
- Le pompage s'arrête lorsque le niveau du bassin est plus bas ou égal à 2.5 % de son volume maximum (2 858 m³).
- Le pompage de la fosse vers le bassin de contrôle est fixé à 80 m³/h (conditions plus défavorables fin de vie de la mine). Cette débit permettra de vider la fosse dans un période de 1 mois, minimisant l'impact sur les opérations.

2.3.2 Résultats du bilan d'eau

2.3.2.1 Précipitations extrêmes

Les résultats de conditions extrêmes correspondant aux événements d'une crue de récurrence 1 : 2000 ans – pluie de 24 heures, et de fonte de neige 1 : 100 ans – 30 jours sont présentés à la Figure 2-9 pour la fosse est.

Les résultats des effets sur le bassin de contrôle permanent de l'application de ces conditions extrêmes sont présentés à la Figure 2-10. Le graphique indique que, dans ces conditions, le niveau du bassin atteint environ 85% de sa capacité maximum.



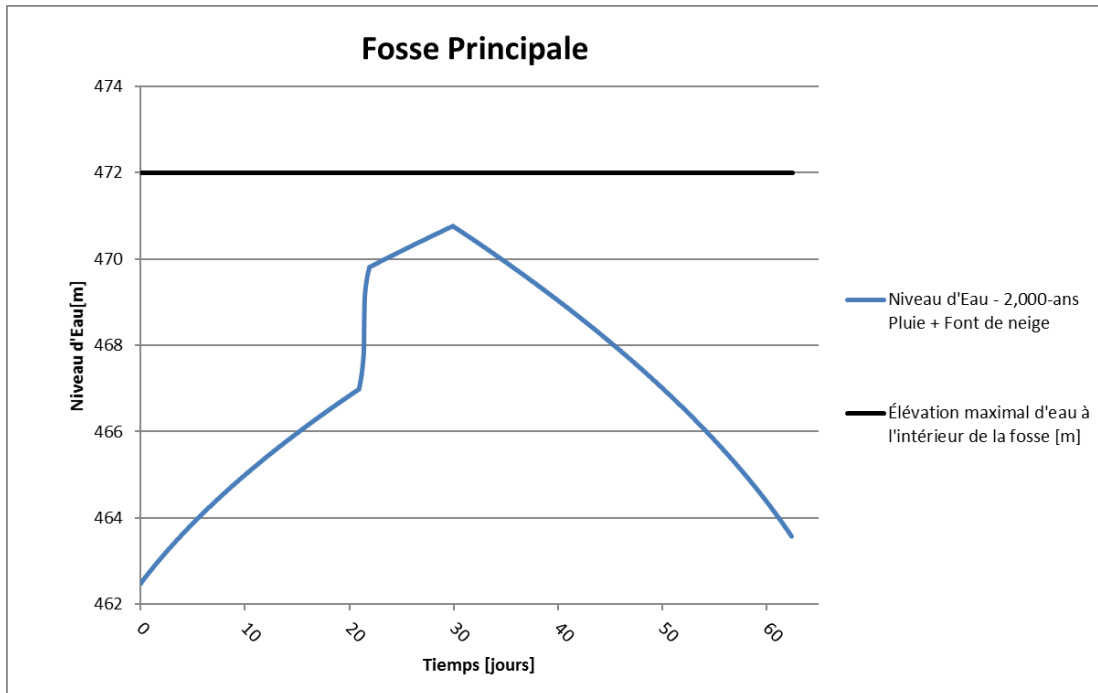


Figure 2-9 : Effets de la simulation sur les niveaux d'eau dans la fosse principale (est)

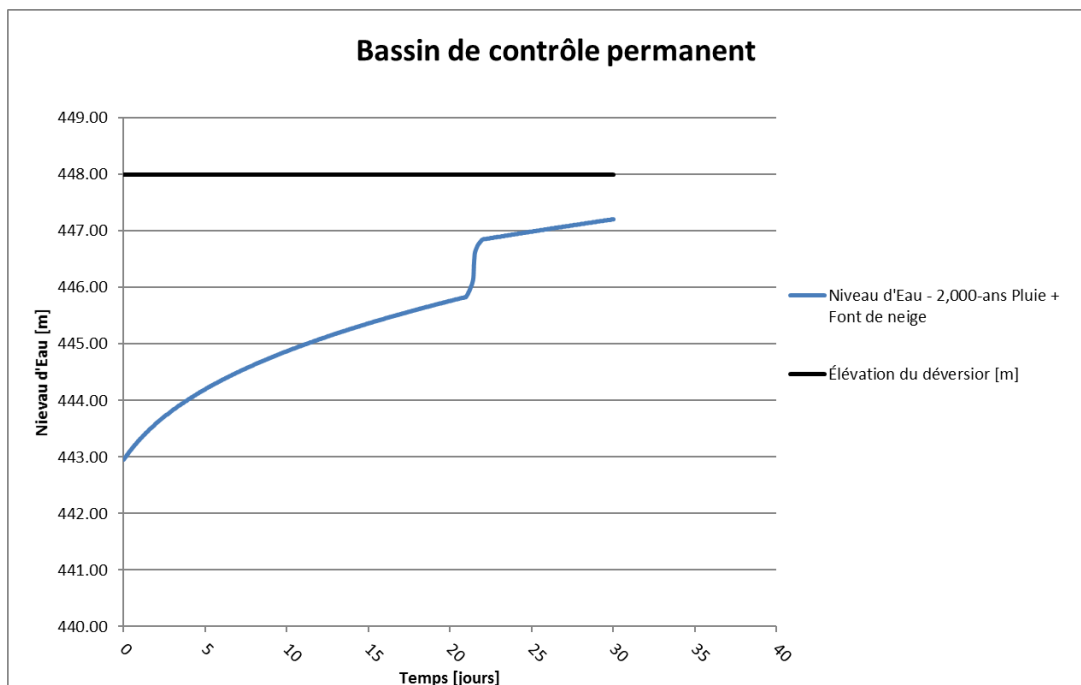


Figure 2-10 : Effets de la simulation sur les niveaux d'eau dans le bassin de collecte permanent au site de la mine



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

2.3.3 **Conclusion**

Les résultats des simulations réalisées indiquent que le bassin de collecte permanent, tel que conçu, a la capacité de contenir les volumes d'eaux de ruissellement attendus correspondant à des conditions extrêmes.

3. **Site du concentrateur**

3.1 **Description sommaire du procédé**

La Figure 3-1 présente une vue 3D détaillée de l'agencement des installations sur la plateforme du concentrateur, et la Figure 3-2, une vue d'ensemble du site en 3D montrant le positionnement du parc à résidus et de la réserve d'eau brute par rapport à l'usine. Un schéma simplifié du procédé de traitement du minerai peut être consulté à l'Annexe B.

3.1.1 **Réception, concassage et entreposage du minerai brut**

Les camions, transportant le minerai brut de la mine (tout-venant), entreront sur le site du concentrateur par l'entrée principale, à partir de la nouvelle route 389. Ils seront dirigés vers la balance, puis vers l'aire d'entreposage extérieur, à l'endroit aménagé comme zone de déchargement.

Le minerai brut sera récupéré par une chargeuse et déversé dans la trémie d'alimentation du concasseur. Le minerai concassé sortant du concasseur sera déchargé sur un convoyeur à bande couvert qui alimente un silo de 200 tonnes, situés côté nord-est du bâtiment des procédés humides.

En prévision de la période d'interruption du transport routier pendant la période de dégel, le minerai en provenance de la mine pourra aussi être récupéré par une chargeuse et déposé sur la pile de minerai. L'aire d'entreposage est conçue pour recevoir jusqu'à 40 000 tonnes de minerai brut. Les sections de la pile qui ne sont pas visées par des opérations journalières seront recouvertes de toiles.

3.1.2 **Traitement du minerai**

Le minerai concassé sera soutiré du silo d'alimentation et suivra une séquence de broyages et de circuits de flottation pour séparer le graphite des résidus. Cette étape sera suivie par plusieurs cycles de polissage et flottations de nettoyage pour enlever les impuretés encore présentes sur les paillettes de graphite sans détruire les paillettes, et, finalement, se terminera avec l'épaississement, la filtration, le séchage et le tamisage du concentré.

La majeure portion de l'eau requise par le procédé humide proviendra d'un réservoir d'eau de procédé alimenté par la surverse des deux (2) épaisseurs (du concentré et d'eau de procédé), ainsi que par le retour d'eau de la réserve d'eau brute aménagée au sud du parc à résidus.



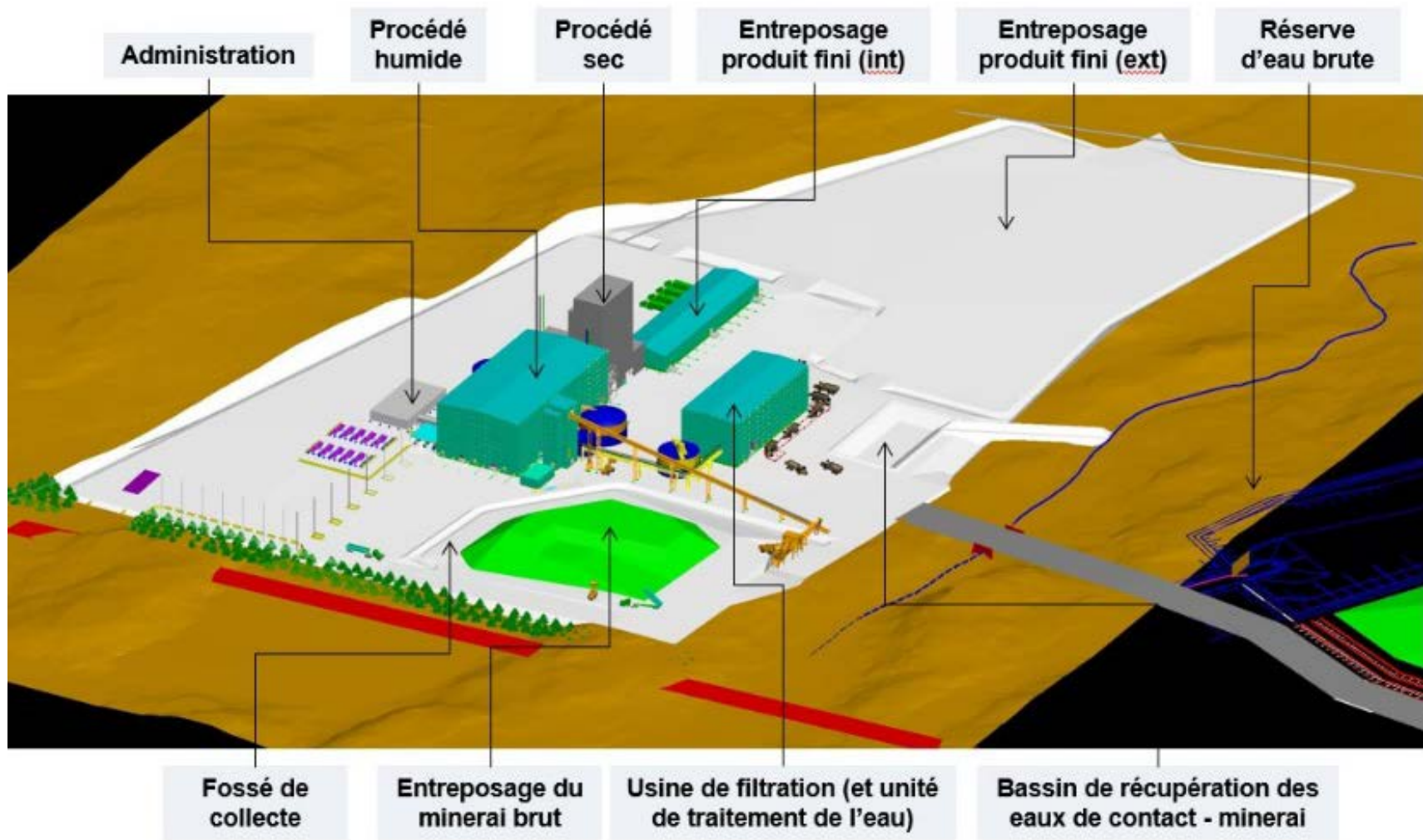


Figure 3-1 : Vue d'ensemble, en 3D, de la plateforme du concentrateur montrant les différents installations et aménagements.



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

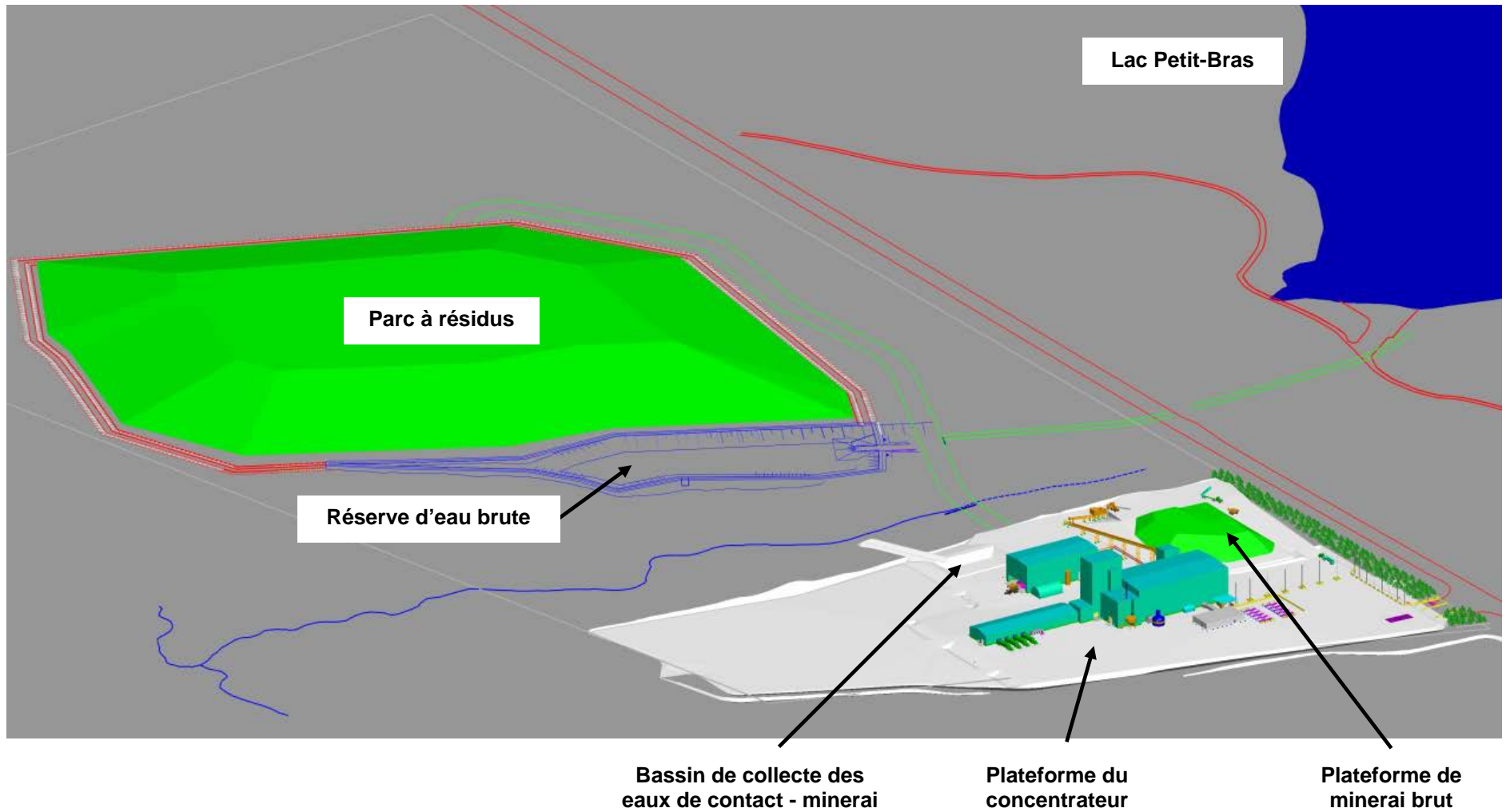


Figure 3-2 : Vue en 3D de l'ensemble du site du concentrateur montrant l'emplacement du parc à résidus et la réserve d'eau brute par rapport à l'usine



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

3.1.3 **Traitement du minerai - procédé sec**

Une fois la filtration du concentré terminé, il sera envoyé dans un séchoir éclair électrique qui permettra de réduire le taux d'humidité à moins de 0,1 %. Le concentré sec sera ensuite acheminé vers le tamisage commercial, où le concentré sec passera à travers des tamis oscillants pour obtenir les différentes classes granulométriques demandées par les clients. Avant d'être ensachés, les produits tamisés seront entreposés dans des trémies tampons.

3.1.4 **Ensachage et entreposage**

Le produit fini sera conditionné en super sacs contenant une tonne de produit ou en sacs de 25 kg montés sur palettes. Des installations de chargement sont prévues à proximité du bâtiment d'entreposage interne. Une aire d'entreposage externe est également prévue pour l'entreposage des produits non vendus.

3.1.5 **Filtration des résidus**

Les résidus générés par le concentrateur seront pompés vers l'usine de filtration. Cette approche implique le pompage d'une boue liquide de résidus vers l'usine de filtration, l'épaississement de cette boue, puis sa filtration. Au final, les gâteaux de filtration ayant une humidité comprise entre 14 et 16 % seront transportés, par camion-benne ou chargeuse, vers l'aire de disposition située à 150 m au nord du concentrateur.

Environ 235 m³/h de boue liquide, équivalent à 17,5 t/h de résidus solides, seront pompés à l'usine de filtration des résidus. En fait, près de la moitié de l'eau de procédé sera envoyée à l'usine de filtration avec le résidu (eau avec 7 % massique de résidus en suspension).

L'eau de surverse de l'épaississeur de résidus sera dirigée vers le réservoir d'eau brute, alors que le filtrat (résultat de la filtration de la boue épaissie) sera retourné vers l'épaississeur des résidus.

3.1.6 **Disposition des résidus filtrés**

La technique choisie pour la gestion des résidus miniers consiste à empiler les gâteaux de résidus filtrés sur une aire de disposition, et ce en cinq phases consécutives. La première de ces phases (3 ans) correspond à la mise en place d'une cellule test qui sera complètement étanchéisée afin d'intercepter les eaux de ruissellement, de percolation et de lixiviation permettant d'en faire un suivi rigoureux et d'établir les vitesses de réaction et le potentiel de lixiviation (acide et métaux). Les résultats serviront à l'ajustement des méthodes de disposition pour les phases ultérieures et de traitement des eaux avant rejet à l'environnement.

À chacune des phases, et dès que possible, le nouveau secteur d'empilement des résidus sera progressivement recouvert et graduellement revégétalisé afin de limiter le contact des résidus avec l'air et l'eau, et de minimiser le potentiel de génération de lixiviat acide. Une fois un secteur complété et restauré, aucun nouveau matériel ne pourra y être déposé. Environ 3,8 millions de tonnes de résidus miniers au total y seront accumulées sur une période de 25 ans.

La note technique sur l'aire d'accumulation des résidus au site du concentrateur donne plus de détails sur la construction de la pile et de la cellule test (H348328-0000-07-220-0004, rev A).



3.2 Gestion des eaux au site du concentrateur

3.2.1 Description des types d'eau

Les eaux retrouvées au site du concentrateur ont été classées en trois catégories :

- a) Les eaux de contact : toutes les eaux qui risquent de venir « en contact » avec les activités de production, et donc susceptibles d'être « contaminées », soit :
 - ♦ l'eau de procédé : eau utilisée pour séparer le graphite du résidu (procédé humide);
 - ♦ les eaux de ruissellement : eau de pluie ou neige qui tombe sur la plateforme d'entreposage et de manutention du minerai brut;
 - ♦ les eaux de ruissellement : eau de pluie ou neige qui tombe sur le parc à résidus.
- b) Les eaux sans contact : à l'inverse de précédemment, il s'agit des eaux qui ne risquent pas de venir « en contact » avec les activités de production, et qui peuvent être qualifiées comme étant « non contaminées », soit :
 - ♦ les eaux de ruissellement : eau de pluie ou neige déviée du site et qui ne transitera pas par les installations à risque du site.
- c) L'eau fraîche : eau qui provient de l'extérieur du site industriel, soit :
 - L'eau d'appoint utilisée pour le remplissage initial de la réserve d'eau brute. Cette eau sera pompée du lac Petit-Bras et les installations de pompage démantelées une fois l'opération terminée;
 - L'eau provenant du réseau de distribution de la Ville de Baie-Comeau utilisée comme appoint pour les activités de production.

Le schéma de gestion des eaux de surface au site du concentrateur (voir la Figure 5-11 révisée à l'Annexe A) montre les installations d'interception et de déviation, ainsi que le circuit suivi par les eaux de ruissellement sans contact (en bleu), de contact (en orange), ainsi que les différents points de décharge dans le milieu naturel.

3.2.2 Gestion des eaux sans contact

Lors de précipitations (ou durant la fonte des neiges), une partie des eaux de ruissellement sera interceptée par des fossés collecteurs tout autour de l'aire de disposition des résidus et de la plateforme du concentrateur. Ces fossés seront conçus pour une pluie de récurrence 1 : 25 ans (voir Figure 3-3). Ces eaux seront dirigées par gravité vers le réseau de drainage naturel, via différents points de décharge. À chacun des points de décharge, le terrain sera recouvert d'un enrochement (*Rip Rap*) posé sur une membrane de géotextile afin de prévenir l'érosion du sol.

Ces eaux n'étant entrées en contact avec aucun produit ou matériel autre que les sols existants du milieu naturel, elles ne nécessiteront aucun traitement. Elles feront néanmoins l'objet d'un suivi environnemental selon le programme établi (voir section 3.4 du présent document).



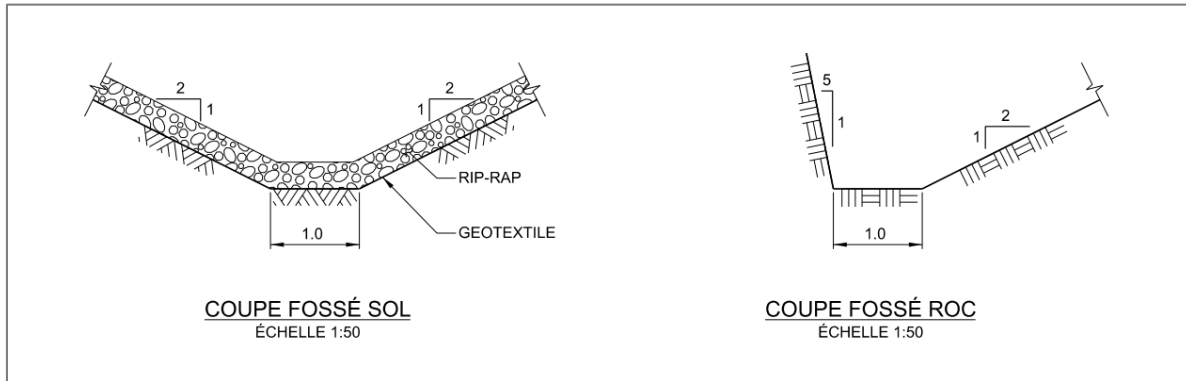


Figure 3-3 Détail du fossé des eaux sans contact

3.2.3 *Gestion des eaux de contact*

La Figure 3-4 présente le schéma conceptuel de la gestion de l'eau de contact au site du concentrateur. Les principales structures prévues afin d'assurer la collecte et le contrôle des eaux de contact sont :

a) Au parc à résidus :

- ◆ Un système de drainage et d'étanchéité à la base (pour la cellule test – voir la note technique : Aire d'accumulation des résidus miniers au site du concentrateur – H348328-0000-07-220-0004, rev 0) et en périphérie de l'aire d'accumulation;
- ◆ Une vérification du plancher de la pile lors de la préparation de site pour sceller les fractures dans le roc si nécessaire;
- ◆ La réserve d'eau brute : un bassin qui servira, à la fois, de réserve d'eau pour la production et de moyen de contrôle des eaux de contact provenant du PAR et du procédé.

b) À la plateforme de minerai brut :

- ◆ Un système de drainage et d'étanchéité à la base et en périphérie de la plateforme;
- ◆ Une vérification du plancher de la pile lors de la préparation de site pour sceller les fractures dans le roc si nécessaire;
- ◆ Le bassin de collecte des eaux provenant de la plateforme de minerai brut.

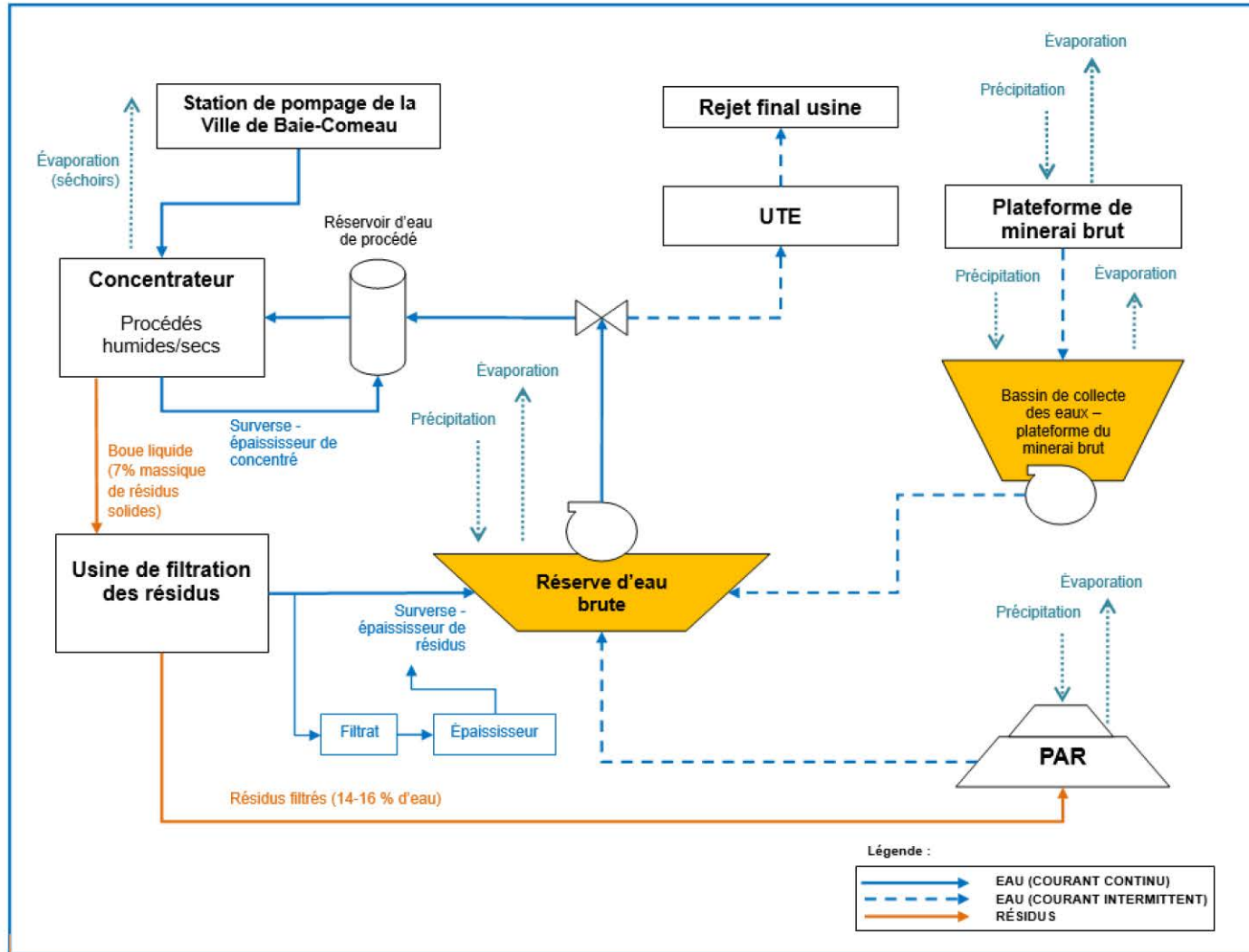


Figure 3-4 : Schéma conceptuel de la gestion de l'eau de contact au site du concentrateur



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

3.2.3.1 Plateforme de minerai brut

3.2.3.1.1 Système de drainage et d'étanchéité de la plateforme de minerai brut

Toutes les eaux de précipitations qui ruisselleront sur l'aire de déchargement, d'entreposage et manutention du minerai brut, ainsi qu'autour de l'aire du concasseur et du chargement du convoyeur d'alimentation de l'usine en minerai concassé, seront récupérées par des fossés aménagés en périphérie, et acheminées à un bassin de collecte des eaux de contact. La Figure 3-6 présente une vue en plan et une coupe de cette infrastructure.

À la base de la plateforme

Afin d'assurer le drainage de la plateforme et minimiser les excavations, elle sera profilée avec une pente de $\approx 5\%$. La plateforme sera étanchéisée en dessous de la couche de roulement (style MG20).

La Figure 3-5 montre une coupe détaillée du concept actuellement proposé pour le plancher, à la base de la plateforme, pour éviter l'infiltration dans le sol naturel sous-jacent. L'approche préconisée est l'enlèvement des dépôts meubles et/ou le dynamitage de la roche mère pour la « mise en pente » ($\approx 5\%$). L'imperméabilisation est applicable pour l'excavation dans le sol et dans le roc.

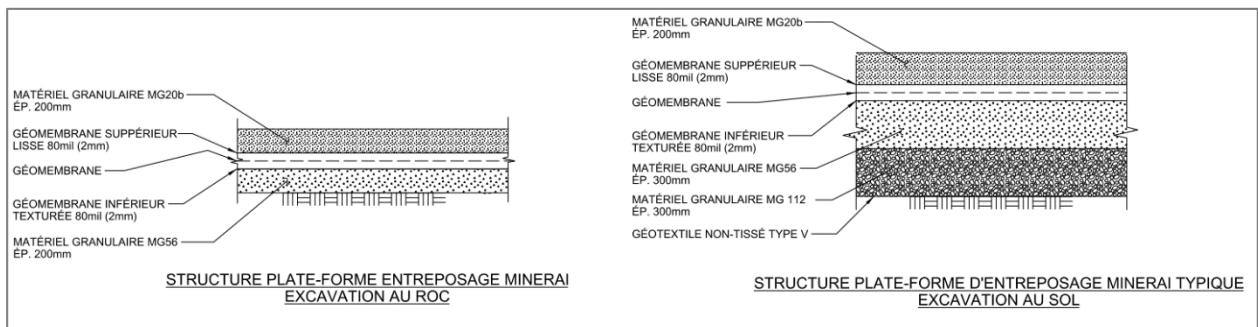


Figure 3-5 : Détail de la fondation proposée pour la plateforme de minerai brut au site du concentrateur

Au pourtour de la plateforme

Les drains de pourtour qui dirigent l'eau depuis la pile de minerai vers le bassin de collecte des eaux de contact à l'usine seront aussi imperméabilisés grâce à la mise en place d'une géomembrane étanche.

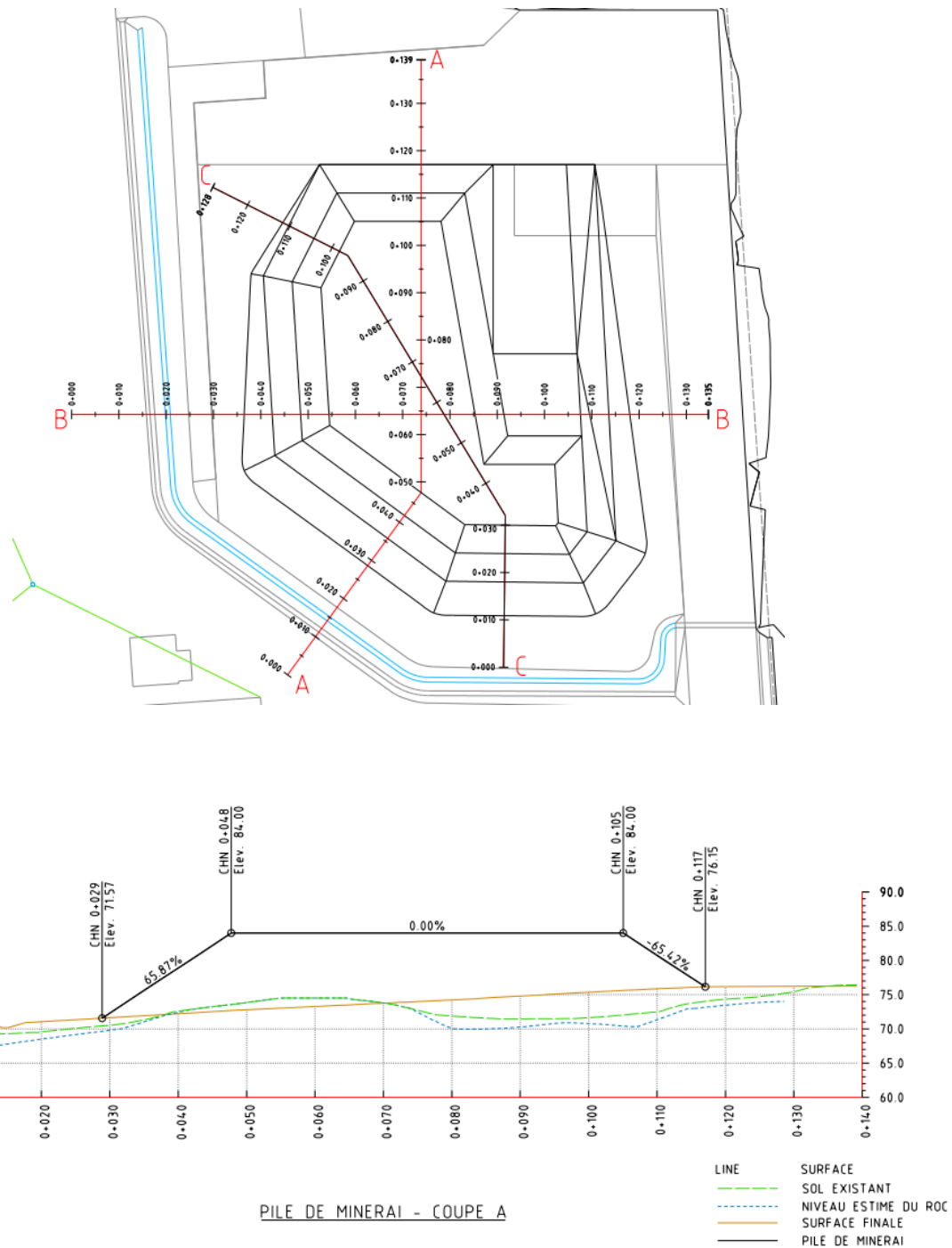


Figure 3-6 : Vue en plan et coupe de la plateforme de minerai brut à l'étape de l'ingénierie détaillée



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

3.2.3.1.2 Bassin de collecte des eaux de la plateforme de minerai brut

Les eaux de ruissellement de la plateforme de minerai brut seront acheminées vers un bassin de collecte des eaux. La Figure 3-7 présente une vue en plan et une coupe de cette infrastructure. Ce bassin sera conçu avec les critères suivants :

Critères hydrauliques :

- Une crue de récurrence 1 : 100 ans sur 24 heures avec une fonte moyenne de neige sur 30 jours;
- 100 % de ruissellement de la crue de design sur l'aire d'entreposage du minerai;
- La capacité du bassin est de 2,800 m³;
- Les eaux de contact qui entrent dans le bassin seront pompées à la réserve d'eau brute;
- Une lame minimale de 1 m d'eau a été considérée, ce qui permet d'utiliser le pompage.

Critères civils :

- Les talus d'excavation seront de 3H : 1V, sur la base des calculs géotechniques effectués;
- Le bassin sera étanchéisé par une membrane;
- Il sera muni d'un déversoir d'urgence pour gérer des crues au-delà de la crue de conception;
- À cause de la proximité de la nappe phréatique haute, une couche de remblai drainant sera installée en dessous de la membrane de façon à acheminer les eaux vers un puits de pompage, à travers une conduite perforée.

La Figure 3-8 présente une conception-type pour le bassin de collecte de la plateforme de minerai.



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

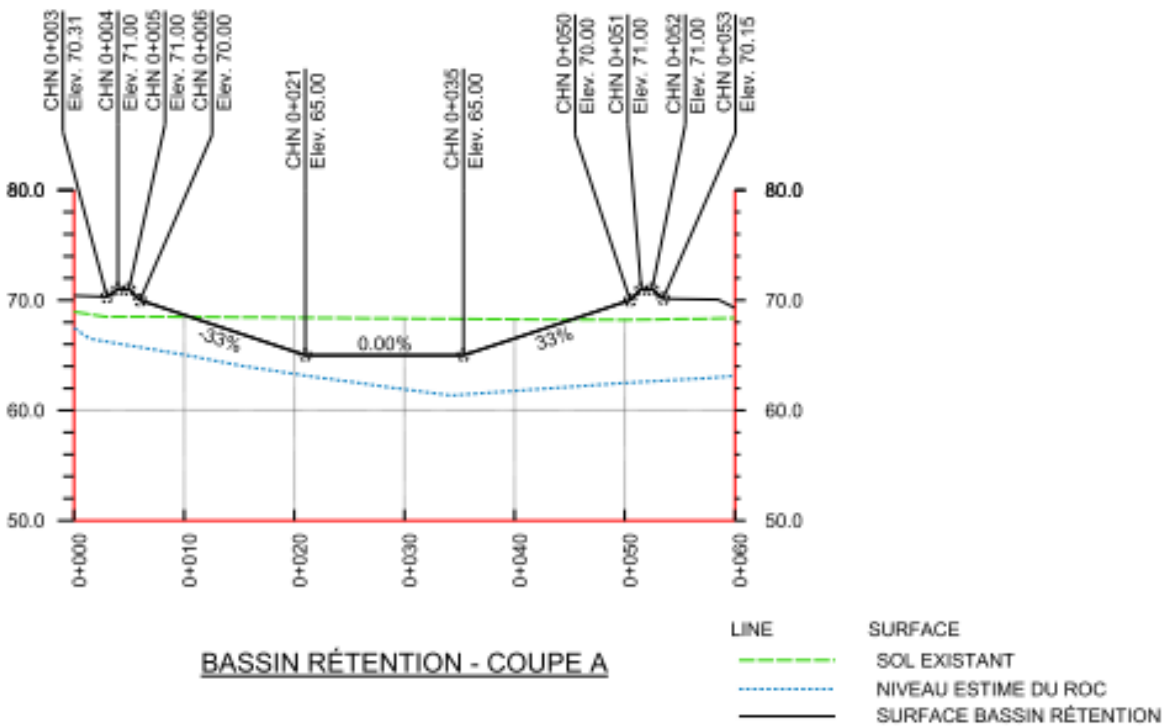
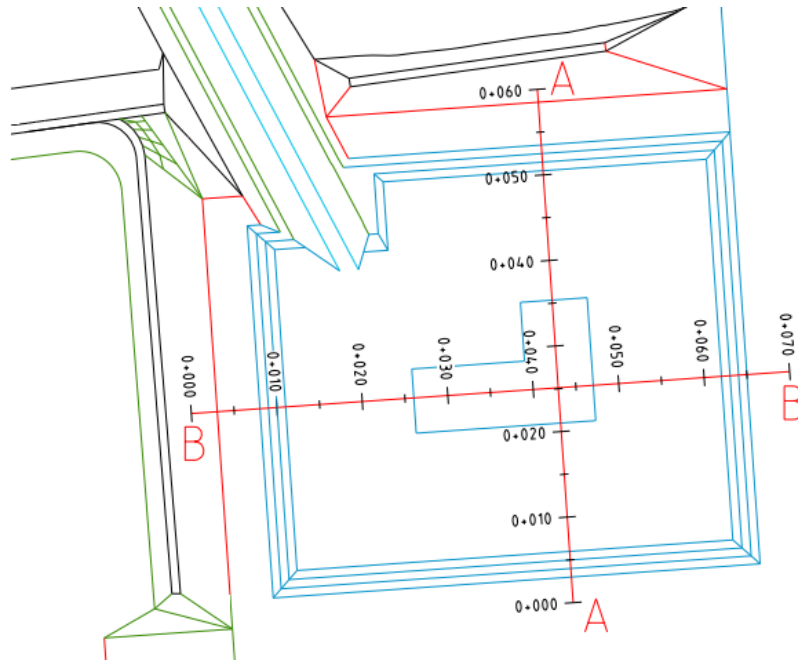


Figure 3-7 : Vue en plan et coupe du bassin de collecte de la plateforme de minerai brut



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

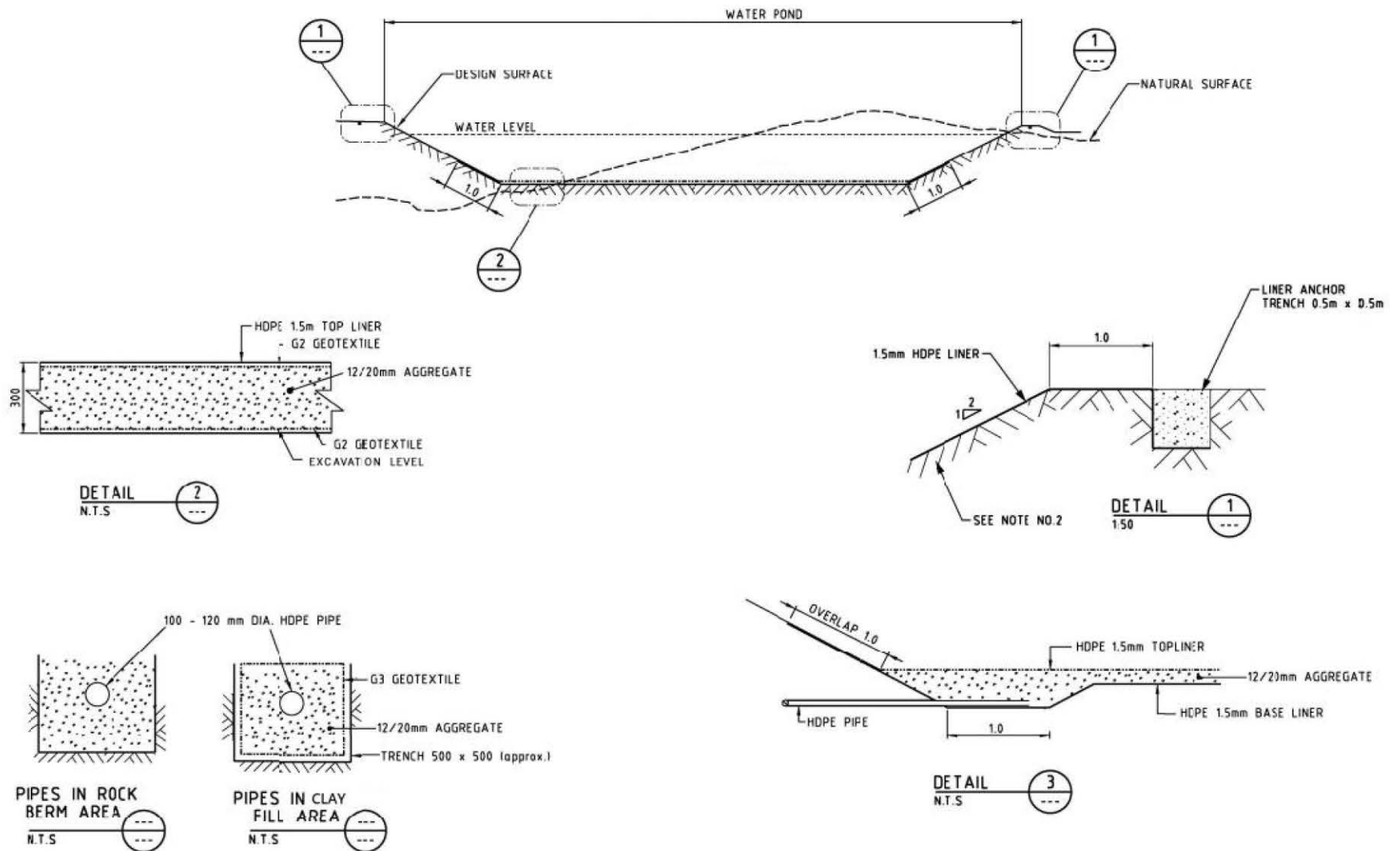


Figure 3-8 : Schéma illustrant une conception-type pour le bassin de collecte des eaux de contact provenant de la pile de minerai, au site du concentrateur



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

La superficie totale du bassin sera de 2,600 m², avec un volume total de 2,800 m³ de capacité, entre les élévations 65 m et 69 m.

Lorsque nécessaire, les MES sédimentées du bassin de collecte seront pompées et transportées à l'aire d'accumulation des résidus filtrés. L'eau décantée sera transférée vers la réserve d'eau brute par un système de pompage.

En se basant sur les calculs hydrauliques, la combinaison de la capacité du bassin et le système de traitement ont la capacité de gérer la crue de conception.

3.2.3.2 Aire d'accumulation des résidus filtrés

3.2.3.2.1 Système de drainage et d'étanchéité de la pile de résidus

Toutes les eaux de précipitation (pluie et neige), d'infiltration et de lixiviation qui vont venir en contact avec les résidus filtrés seront récupérées grâce à la mise en place de systèmes de drainage installés en périphérie et à la base de l'aire d'accumulation.

À la base de la pile de résidus

Une vérification du plancher du site sera d'abord effectuée, lors de la préparation de site afin d'identifier des fractures éventuelles et de les sceller au besoin avec du coulis de ciment. Puis, le terrain sera profilé pour égaliser le terrain. Pour la cellule test (voir la note technique : Aire d'accumulation des résidus miniers au site du concentrateur – H348328-0000-07-220-0004, rev 0), une géomembrane sera installée sur un lit de sable afin de protéger la membrane contre un éventuel bris. Au-dessus de la géomembrane sera posé un tapis de drainage en géocomposite qui interceptera l'eau d'infiltration pour la diriger vers le bas de la pente, dans la réserve d'eau brute.

Au pourtour de la pile de résidus

Tout autour l'aire d'accumulation des résidus miniers, un fossé de drainage avec berme sera creusé selon un critère de conception pour une crue de 1 : 2000 ans, favorisant l'écoulement gravitaire des eaux de contact vers la réserve d'eau brute. Le fond du fossé sera recouvert par la même membrane installée sous la pile adjacente.

3.2.3.2.2 Réserve d'eau brute

Les eaux de contact provenant du PAR et captées par les systèmes de drainage en place, à la base et en périphérie du PAR, seront acheminées vers la réserve d'eau brute. Ces quantités viendront s'ajouter aux eaux de procédé provenant de l'usine de filtration.

La réserve d'eau brute sera en bonne partie excavée dans le roc afin de maintenir le niveau d'opération normale dans la section excavée et la gestion de la crue de conception dans la section contrôlée par la digue, et ce dans le but de rendre l'ouvrage de rétention conforme à la classification de faible contenance, selon la Loi sur la sécurité des barrages (Chapitre S-3.1.01).



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

Par contre, compte tenu ses dimensions, la qualité anticipée de l'eau collectée et la proximité de la ville, la réserve d'eau brute ne peut pas être considérée comme étant de faible envergure et à faible risque. Conséquemment, un critère de conception pouvant contenir une crue de récurrence 1 : 2000 ans sur 24h avec une fonte moyenne de fonte des neiges ans de 1 : 100 ans sur 30 jours sera utilisé, en conformité avec la Directive 019 et les directives du MDDELCC.

Lorsque nécessaire, les MES sédimentées de la réserve d'eau brute seront pompées et transportées au PAR. L'eau clarifiée sera transférée, soit vers l'usine, soit vers l'UTE. L'eau sera réutilisée au maximum possible pour le procédé; seul le surplus d'eau, à partir d'un niveau maximum déterminé, sera envoyé à l'unité de traitement (voir Figure 3-9).

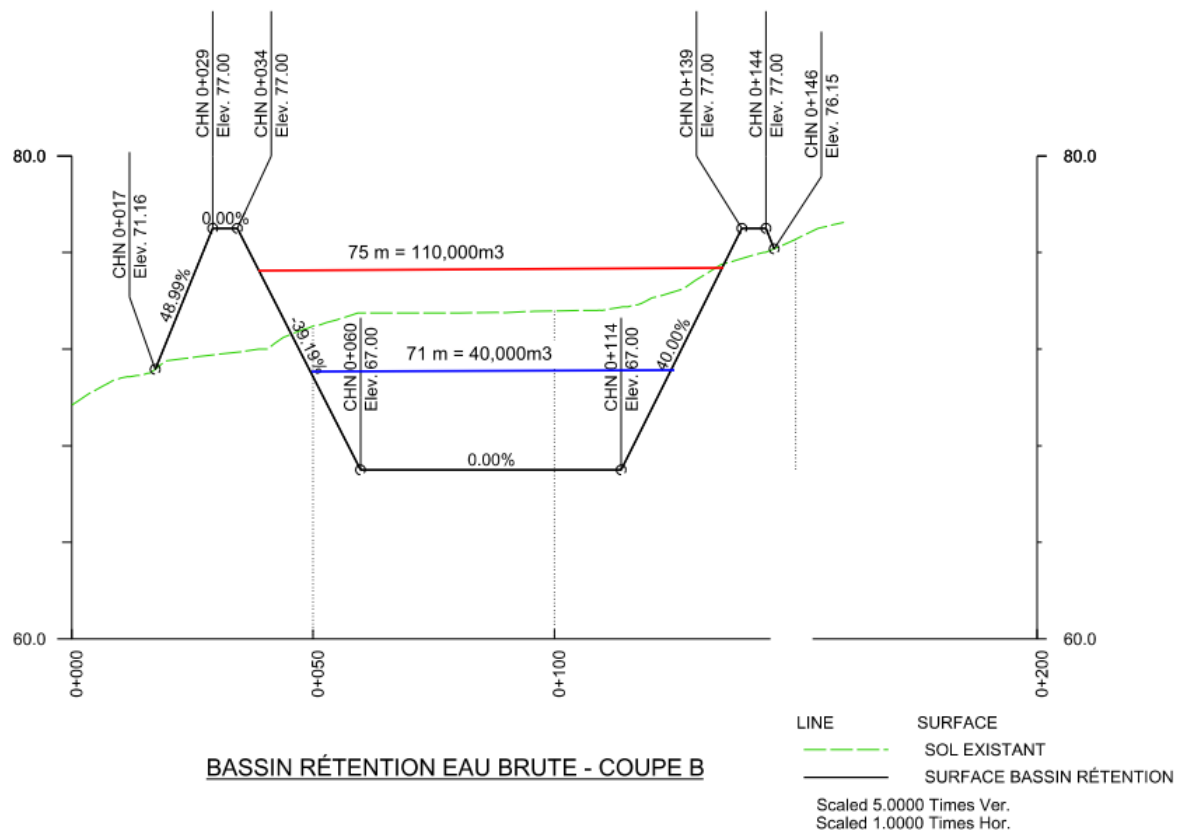


Figure 3-9 : Schéma montrant le niveau d'eau dans la réserve

Dimensionnement

La réserve d'eau brute est conçue de façon à maintenir le niveau d'opération normal en dessous de l'élévation minimale du terrain naturel, c'est-à-dire dans la partie du volume excavé dans le sol/roc. Ce volume d'opération correspond à 40 000 m³, nécessaire pour les opérations de l'usine. Afin de contenir la crue de récurrence de 1 : 2000 ans une digue a été dimensionnée pour fournir une réserve totale de 110 000 m³, ajoutant un 70 000 m³.



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

La conception et l'ingénierie détaillée des digues seront réalisées de façon à respecter les facteurs de sécurité minimaux suggérés dans la Directive 019. De plus, une étude du risque de bris de digues, réalisée en 2017, a permis de valider que les installations telles que conçues pouvaient répondre au niveau de sécurité attendu (voir H348328-0000-16-220-0001, rév. 0).

Étanchéité du plancher

La réserve d'eau brute sera munie un système de détection de fuite à double revêtement d'étanchéité, une mesure qui fait partie de l'ensemble des pratiques mises en place pour protéger l'environnement contre la lixiviation de contaminants provenant du PAR. Un système à double revêtement d'étanchéité est requis, car le revêtement pourrait subir une tête hydraulique s'élevant jusqu'à 9 m de haut.

Déversoir d'urgence

Le déversoir d'urgence de la réserve d'eau brute sera conçu pour évacuer le débit ruisselé à l'occurrence des Précipitations Maximales Probables (PMP), réparties sur 48 heures, pour la période d'été et/ou d'automne.

La réserve d'eau brute aura la revanche suffisante au passage de la crue générée par la PMP, en plus de respecter les critères de revanche de la directive 019.

Le déversoir est dimensionné de façon à accommoder le pic d'écoulement à travers le canal. De plus le déversoir est doté d'un enrochement approprié afin de freiner l'érosion dans le canal en passant à travers la berme de confinement ou du sol excavé. La sortie du déversoir est dirigée vers le cours d'eau intermittent au sud de l'étang (à l'écart de toute infrastructure publique de l'autoroute 389 proposée).

3.2.4 UTE

L'unité de traitement sera conçue spécifiquement pour le contrôle du pH et l'enlèvement des métaux dissous. L'eau traitée ne sera retournée à l'environnement qu'après validation de sa conformité aux normes de la Directive 019. La note technique sur les systèmes de traitement de l'eau présente plus de détails sur la conception préliminaire des installations et les objectifs de qualité d'effluent à respecter (voir H348328-0000-07-220-0005, rév. A).

3.2.5 Point de rejet final

Le point de décharge de l'eau traitée, à la sortie de l'UTE, se fera via une conduite, dans le fossé collecteur des eaux sans contact aménagé le long du talus qui traverse la plateforme du concentrateur. À partir de ce point, l'eau (mélange d'eau de ruissellement sans contact et d'eau traitée) sera acheminée vers le point de rejet final de l'usine dans le milieu récepteur, du côté ouest du site.

3.3 Bilan global des eaux

La présente section vise à réviser le bilan global des eaux au site du concentrateur, suite aux changements de critères de conception pour la réserve d'eau brute (crue de récurrence 1 : 2000 ans au lieu de 1 : 100 ans), et ce afin de s'assurer que les installations de gestion des eaux, telles que modifiées, permettront d'assurer la protection de l'environnement et de la communauté avoisinante.



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

Pour ce faire, une nouvelle modélisation a dû être effectuée en considérant les nouvelles données à appliquer. Le calcul de la capacité de stockage et du système de pompage requis pour le réserve d'eau brute et le bassin de collecte de la plateforme de minerai a été fait à l'aide d'Excel et de SWMM (Storm Water Management Model v.5.1).

a) Événement de crue de projet :

- ◆ En utilisant l'élévation moyenne dans le réservoir, après analyse de l'historique des précipitations, la fonte de neige et la pluie de conception de bassin ont été ajoutées;
- ◆ Le calcul de débits a été fait directement avec la précipitation et la surface sans utiliser le modèle SWMM;
- ◆ Il a été assumé que la surface de la pile de résidus est complètement étanche, donc 100 % de ruissellement;
- ◆ La réserve d'eau brute a la capacité maximale pour retenir le volume total d'une pluie de récurrence de 1 : 2,000 ans sur 24 h plus la fonte de neige d'une récurrence de 1 : 100 ans sur 30 jours, sans avoir besoin du pompage vers l'UTE.
- ◆ Le bassin de collecte de la pile de minerai est capable de gérer le volume d'une crue de récurrence de 1 : 100 ans sur 24 h plus la fonte de neige d'une récurrence de 1 : 100 ans sur 30 jours, mais, dans ce cas-ci, il est nécessaire de pomper vers l'UTE afin de gérer la fonte de neige.

3.3.1 Analyse des données météorologiques et hydrologiques

3.3.1.1 Sources de référence

Les données climatiques historiques sont basées sur la station météorologique de Baie-Comeau (Environnement Canada) et les valeurs présentées dans cette section couvrent une période de 43 ans (1967-2009)

Précipitations

Le total annuel des précipitations de pluie et de neige à la station météorologique de Baie-Comeau est présenté à la Figure 3-10. L'année 1989 était la plus sèche, avec une précipitation totale de 746 mm alors que l'année 2008 a reçu le plus de pluie et de neige, avec une précipitation totale de 1246 mm.



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

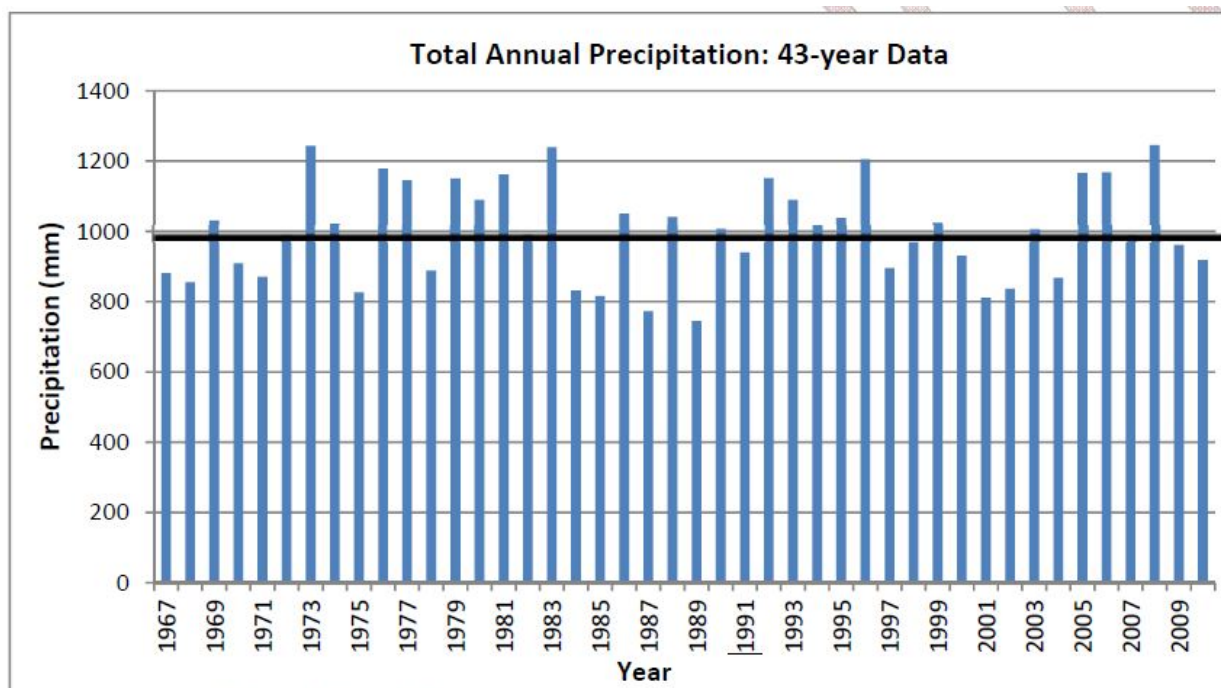


Figure 3-10 : Précipitations annuelles totales à la station météo de Baie-Comeau (1967-2009)

De plus, pour la période de 1981 à 2010, à la station météorologique de Baie-Comeau la précipitation annuelle totale (en équivalent eau) a atteint une moyenne de 1001 mm (voir Tableau 3-1).

Tableau 3-1 : Précipitations à la station de Baie-Comeau (1981-2010)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Total
Moyenne Précipitation (mm)	83.4	65.2	68.4	79.7	91.1	88.7	93.1	75.4	86.3	95.3	95.8	78.7	1001

Évaporation

L'évaporation présentée au Tableau 3-2 est basée sur la station météorologique de Bonnard pour la période de 1951 à 1981 puisqu'aucune donnée d'évaporation n'est disponible pour la station de Baie-Comeau. Afin d'obtenir l'évaporation du site du concentrateur, un facteur de 84 % a été appliqué aux valeurs du *Pan A* de la station Bonnard et l'évaporation totale de 450 mm correspond à l'évaporation annuelle moyenne des eaux lacustres telle que déterminé par le Ministère des Pêches et de l'Environnement du Canada.

Tableau 3-2 : Évaporation de la station de Bonnard (1951-1980)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Total
Pan A (mm)	0	0	0	60	85	110,6	97	83,3	60	40	0	0	535.9
Moyenne Évaporation (mm)	0	0	0	50.4	71,4	92,9	81,5	70	50,4	33,6	0	0	450



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

Température

Les données de température annuelles moyennes à la station Baie-Comeau, pour la période de 1996 à 2009, sont compilées à la Figure 3-11. L'année 1972 était la plus froide, avec une température moyenne de -0.18°C , tandis que l'année 1999 était la plus chaude, avec une température moyenne de 3.89°C . Les températures annuelles moyennes sont supérieures au point de congélation chaque année (sauf en 1972).

Quant à la température moyenne annuelle enregistrée à la station de Baie-Comeau, elle se chiffre à $1,75^{\circ}\text{C}$

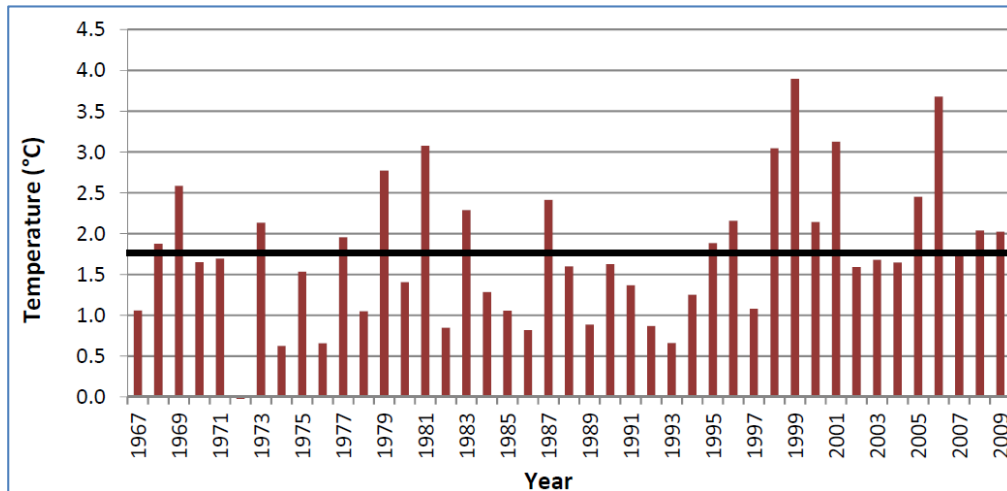


Figure 3-11 : Températures moyennes annuelles à la station météo de Baie-Comeau (1967-2009)

3.3.1.2 Évènements

Crue de 1 : 2000 ans

Le critère de conception pour la réserve d'eau brute est basé sur la Directive 019 et les demandes du MDDELCC qui préconisent une récurrence de 1:2000 ans pour un type d'installation qui, compte tenu de ses dimensions, de la qualité anticipée de l'eau et de la proximité de la ville, ne peut pas être considérée comme étant de faible envergure et à faible risque. Ce critère a été appliqué par Mason Graphite et la réserve d'eau brute sera conçue pour retenir une précipitation de 24 h ayant une récurrence de 1:2000 ans superposée à une fonte des neiges de 1:100 ans de 30 jours.

Le tableau suivant présente les paramètres de précipitation à utiliser pour le critère de conception sélectionné.

Tableau 3-3 : Évènement de pluie et de la fonte des neiges

Évènement	Précipitation (mm)
Crue 1 : 2000 ans - 24 heures	110
Fonte des neiges 1:100 ans - 30 jours	443
PMP - 48 heures	330



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

Crue de 1 : 100 ans

Le bassin de collecte des eaux de la plateforme de minerai sera conçu pour retenir une précipitation de 24h ayant une récurrence de 1:100 ans superposée à une fonte des neiges de 1:100 ans de 30 jours. Ce critère de conception est basé sur la norme recommandée par le MDDELCC pour un bassin faible envergure représentant un faible risque.

Le tableau suivant présente les paramètres de précipitation à utiliser pour le critère de conception sélectionné.

Tableau 3-4 : Évènement de pluie et de la fonte des neiges

Évènement	Précipitation (mm)
Crue 1:100 ans - 24 heures	83,7
Fonte des neiges 1:100 ans - 30 jours	443
PMP - 48 heures	330

Fonte de neige

L'examen du modèle de fonte des neiges a conclu que celui d'Environnement Canada, pour les bassins forestiers de l'Est du Canada, est le plus représentatif du taux de fonte des neiges sur les sites la mine et concentrateur. Il est présenté par l'équation suivante basée sur la température moyenne quotidienne (T_{mean}). Les valeurs obtenues ont été utilisées dans le modèle de bilan hydrique afin de simuler la fonte de la neige aux deux sites, à la fois continue et simulation de l'évènement.

$$\text{Snowmelt (mm/day)} = 1.8 \text{ mm/day/}^{\circ}\text{C} * (T_{\text{mean}} + 2.4)^{\circ}\text{C}$$

3.3.2 Quantités d'eau entrantes

3.3.2.1 Eau provenant de l'usine de filtration des résidus

Le débit d'eau de contact qui sera envoyé à la réserve d'eau brute en provenance de l'usine de filtration des résidus est évalué à 236 m³/h.

3.3.2.2 Précipitations

Sur le site du concentrateur, il y a quatre sources principales de ruissellement qui contribuent au bilan global d'eau, soit l'eau de ruissellement provenant de la plateforme de minerai brut et du parc à résidus (PAR), et les précipitations reçues sur la superficie de la réserve d'eau brute et le bassin de collecte des eaux provenant de la plateforme de minerai.

Le Tableau 3-5 présente les surfaces associées à chacun des secteurs contribuant à la réserve d'eau brute. Les superficies présentées tiennent compte de la restauration progressive du parc à résidus.



Tableau 3-5 : Eau de ruissellement contribuant à l'apport en eau du bilan global

Description du secteur	Surface (m ²)	Précipitations annuelles nettes - Moyenne (m ³ /a)	Précipitations – Évènement (m ³)
Pile de minerai	18 000	19 227	9 567
Bassin de collecte pile de minerai	2 600	1 286	1 381
Réserve d'eau brute	23 500	11 117	12 446
PAR Phase 1 0 à 2 ans	50 100	47 432	27 714
PAR Phase 2 3 à 7 ans	63 130	59 765	34 920
PAR Phase 3 8 à 12 ans	65 680	62 179	36 331
PAR Phase 4 13 à 17 ans	77 660	73 520	42 957
PAR Phase 5 18 à 25 ans	91 920	87 022	50 845

Les hypothèses servant de base au calcul des précipitations annuelles nettes moyennes sont les suivantes :

- L'infiltration dans l'aire d'entreposage des piles de minerai est négligeable;
- La valeur obtenue pour la réserve d'eau brute et le bassin de collecte de la pile de minerai inclut l'évaporation;
- Un facteur de 100 % des précipitations est utilisé pour le calcul du ruissellement provenant du parc à résidus.

Dans le cas des précipitations (évènement) associées à une crue de 24h ayant une récurrence de 1 : 2000 ans, superposée à une fonte des neiges de 1 : 100 ans – 30 jours, aucun facteur d'infiltration n'a été considéré pour les résidus, c'est-à-dire que 100 % du ruissellement est considéré. Le volume total nécessaire afin de capter la crue de 1: 2000 ans est ainsi de 61 765 m³.

3.3.3 Quantités d'eau sortantes

3.3.3.1 Eau de procédé

Le volume d'eau total à garantir pour sécuriser la production est évalué à 39 490 m³. Il est basé sur le débit d'eau provenant de l'usine de filtration de 236 m³/ha envoyé dans la réserve d'eau brute. En termes de débit qui sort du procédé et y retourne, il y a donc équilibre.

3.3.4 Résultats du bilan d'eau

En ce qui concerne le site du concentrateur, le bilan d'eau est positif. Il sera donc nécessaire de retourner le surplus d'eau à l'environnement. Basée sur la moyenne des précipitations annuelles, la superficie active et la quantité d'eau d'appoint requise pour le procédé, plus de 74 400 m³/a devront être traités dès le début des opérations du concentrateur. La quantité d'eau à traiter durant la dernière phase (18 à 25 ans) sera pour sa part de 124 320 m³/a (somme



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

des eaux traitées de la réserve d'eau brute et du bassin de collecte de la plateforme de minerai brut.

La Figure 3-12 présente le bilan d'eau dans le cas d'un évènement de crue, pour le bassin de collecte de la plateforme de minerai. Dans ce graphique, il est à noter que le pompage est requis pour la gestion de l'eau de la fonte de neige.

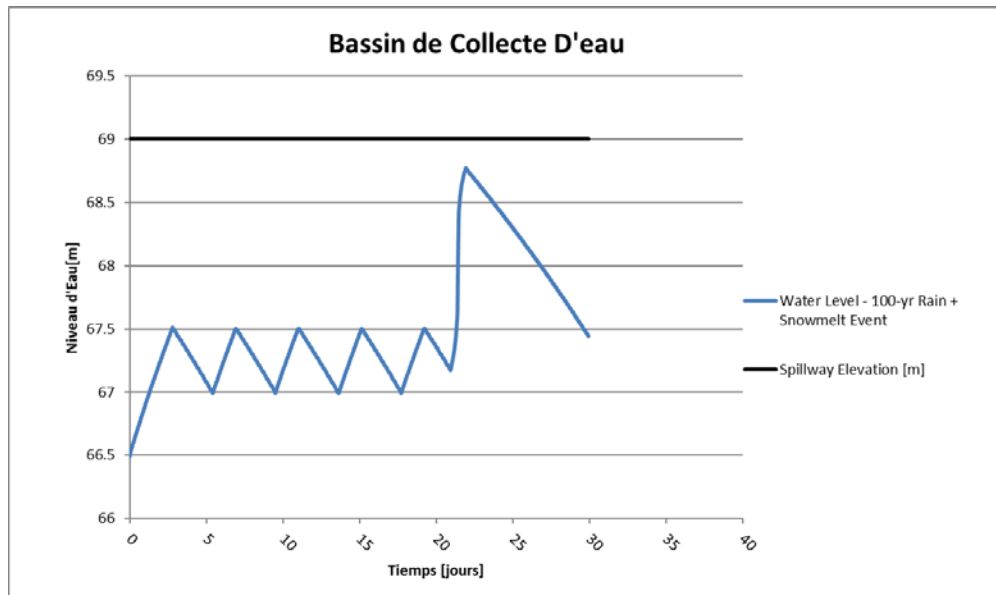


Figure 3-12 : Variation du niveau d'eau dans le bassin de collecte.

De la même façon, la Figure 3-13, montre le niveau d'eau dans la réserve d'eau brute, dans la phase 5. La réserve d'eau brute ne requière pas de pompage pour gérer l'évènement de crue de pluie plus la fonte de neige.



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

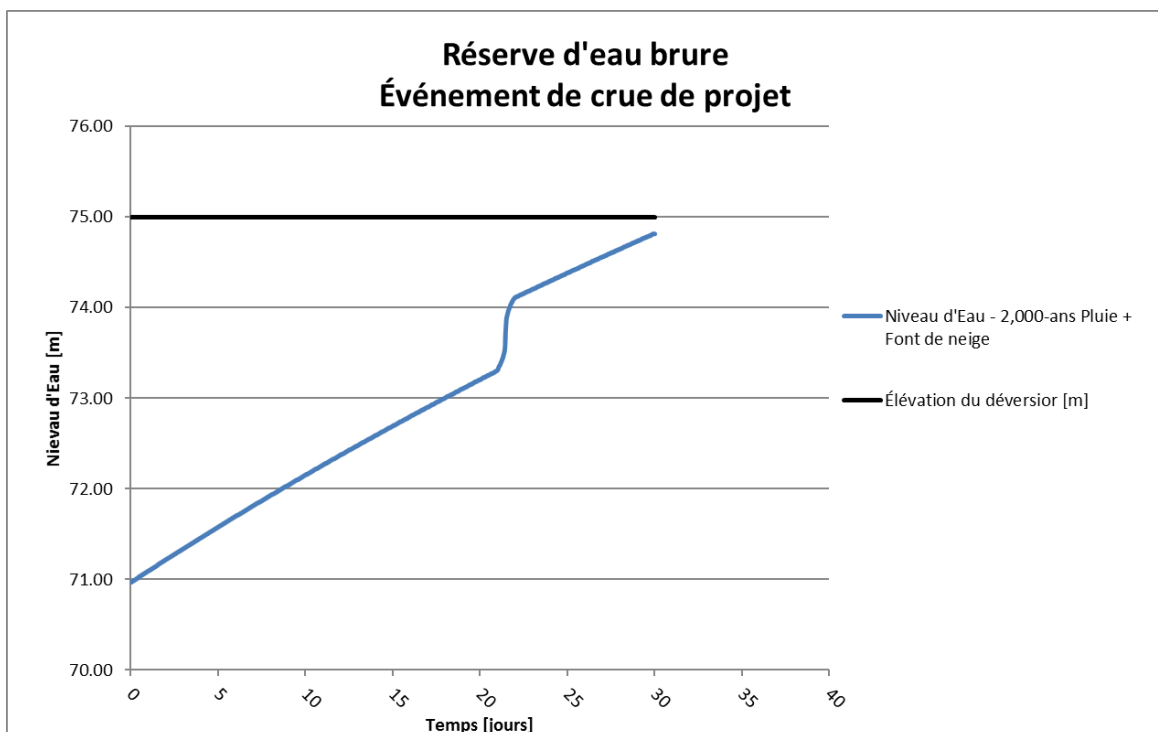


Figure 3-13 : Variation du volume d'eau dans la réserve d'eau brute – Événement de crue

Quant au volume d'eau contenu dans le bassin de collecte de la plateforme de minerai et la réserve d'eau brute, il inclut le pompage d'eau basé sur les débits maximums de 20 m³/h. Le volume total de la réserve d'eau brute sera établi en incluant les besoins suivants :

Pour la réserve d'eau brute, la capacité maximale est donnée par les besoins suivants :

- 7 jours de rétention pour l'eau de procédé, ce qui représente un volume de 39 480 m³.
- Un volume de rétention pour une crue de 1:2000 ans sur 24 h plus la fonte de neige de 1 : 100 ans sur 30 jours, soit 63 292 m³.

En tenant compte de la revanche d'une hauteur minimale de 2 m, le volume effectif est de 110 000 m³. Le Tableau 3-6 présente le volume tampon disponible pour accumuler l'eau de ruissellement et les variations saisonnières des pluies.

Tableau 3-6 : Volume tampon disponible selon les phases de développement du parc à résidus

Description	Volume tampon utile (m ³)	Volume total incluant 7 jours (m ³)
PAR Phase 1 (0 à 2 ans)	30 360	70 360
PAR Phase 2 (3 à 7 ans)	23 150	63 150
PAR Phase 3 (8 à 12 ans)	21 743	61 743
PAR Phase 4 (13 à 17 ans)	15 117	55 117
PAR Phase 5 (18 à 25 ans)	7 220	47 220



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

3.3.5 Conclusion

Les résultats des simulations réalisées indiquent que la réserve d'eau brute et le bassin de collecte de la plateforme de minerai, tels que conçus, ont la capacité de contenir les volumes d'eaux de ruissellement attendus correspondant à des conditions extrêmes.

4. Suivi environnemental

Mason Graphite s'engage à faire le suivi des exigences de la Directive 019 et des OERs aux sites de la mine et du concentrateur. Ainsi, un programme de suivi environnemental sera mis en œuvre dès le début de la phase de construction et se poursuivra tout au long de la durée du projet. Les grandes lignes de ce programme ont été présentée à la section 12 de l'étude d'impact initiale (Hatch, 2015). Le plan de suivi environnemental détaillé sera soumis pour approbation avec la demande de CA. Par la suite, les objectifs et la portée de ce programme seront révisés périodiquement.

Certains éléments du suivi environnemental proposé dans l'étude d'impact ont été clarifiés et revus suite aux échanges avec le MDDELCC. Les éléments suivants feront notamment partie du suivi environnemental qui sera fait aux deux sites des activités minières. Les différents types d'effluents qui seront suivis en cours d'opération sont :

- Les effluents finaux sont les effluents traités de l'eau de contact avec le minerai, stériles ou résidus miniers. Il y en a un à la mine et un au site du concentrateur. Pour plus de détails sur les objectifs de suivi et les paramètres analysés, se référer à la note technique sur le traitement des eaux (H348328-0000-07-220-0003, rev 0).
- Les effluents « sans contact » sont constitués de l'eau de déviation qui n'entre pas en contact avec soit le minerai, les stériles, ou les résidus. Les effluents « non-contact » à la mine sont l'eau qui sort du fossé de dérivation en amont de la fosse, l'effluent du bassin de sédimentation au pied de la halde à mort-terrain. Au concentrateur, il s'agit de l'eau de déviation en amont et autour du parc à résidus et en amont et autour de la zone industrielle.
- L'eau de contact avant traitement : comme Mason Graphite s'engage à mettre une membrane étanche pour les deux premières années de production dans le but de confirmer la bonne marche de la conception de ses ouvrages, l'eau de contact avec les stériles et les résidus sera recueillie et échantillonnée tous les mois pour vérifier s'il y a des tendances de production d'acidité non prévue et ainsi réagir en temps opportun pour trouver des solutions et être certain de respecter les critères de protection des eaux souterraines.
- L'eau souterraine sera échantillonnée dans les piézomètres en amont et en aval des infrastructures minières au site de la mine et au site du concentrateur. Pour plus de détails sur les objectifs de suivi et les paramètres analysés, se référer à la note technique sur le traitement des eaux (H348328-0000-07-220-0004, rev 0).



Tableau 4-1 : Tableau de suivi environnemental en opération

Type d'effluents	Paramètres	Fréquence
Effluents finaux	Paramètres conventionnels : pH et débit	Continue
	Paramètres conventionnels : matières en suspension ¹	3 fois par semaine
	Métaux : As ¹ , Cu ¹ , Fe ¹ , Ni ¹ , Pb ¹ , Zn ¹	1 fois par semaine
	Paramètre biologique : toxicité aiguë	1 fois par mois
	Paramètres conventionnels : alcalinité, chlorures, conductivité, DBO ₅ , DCO, débit, dureté, fluorures, hydrocarbures pétroliers (C10-C50), matières en suspension, pH, solides dissous, solides totaux, substances phénoliques, sulfates et turbidité. Nutriments : azote ammoniacal, azote total Kjeldahl et phosphore total ² . Métaux : Al, Ag, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Si et Zn. Sulfures : sulfures et thiosulfates Nitrates et nitrites (site de la mine seulement) Uranium (site du concentrateur seulement)	4 fois par année
Eau de contact avant traitement	pH, conductivité, matières en suspension Métaux : As, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn solides dissous et sulfates	1 fois par mois
Effluents sans contact	pH, conductivité, matières en suspension Métaux : As, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn	Une fois par mois
Eaux souterraines	pH, conductivité, bicarbonates, soufre, As, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Na, Ni, Pb, Zn et hydrocarbures pétroliers (C10-C50).	Deux fois par année
Inspection des EEE		À l'été, avant la maturation des espèces envahissantes
Suivi de la qualité de l'air	Le contrôle visuel pendant les activités du site sera effectué par le chef d'équipe responsable de l'opération de la mine ou au concentrateur afin de déterminer si des mesures de contrôle devraient être mises en œuvre	Tout au long de l'opération

¹ Les charges mensuelles et annuelles de ces paramètres doivent être calculées. La charge annuelle en kg/année est calculée en additionnant les 12 charges mensuelles.

² Advenant la présence confirmée de phosphore dans les eaux souterraines, un suivi plus serré de ce contaminant pourrait être nécessaire aux effluents finaux.



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

5. Références

1. SNC-Lavalin (2017). Note technique : Modélisation de l'écoulement de l'eau souterraine et du transport de contaminants pour la future halde à stériles. Rapport préparé pour Mason Graphite dans le cadre de l'Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social, 17 p. et annexe.
2. SNC-Lavalin (2017). Note technique : Réponses aux questions du Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte aux changements climatiques. Rapport préparé pour Mason Graphite dans le cadre de l'Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social, 40 p.



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

Annexe A

Gestion des eaux de surface aux sites de la mine et du concentrateur

(Figure 5-4 A, B, C et Figure 5-11 révisée)



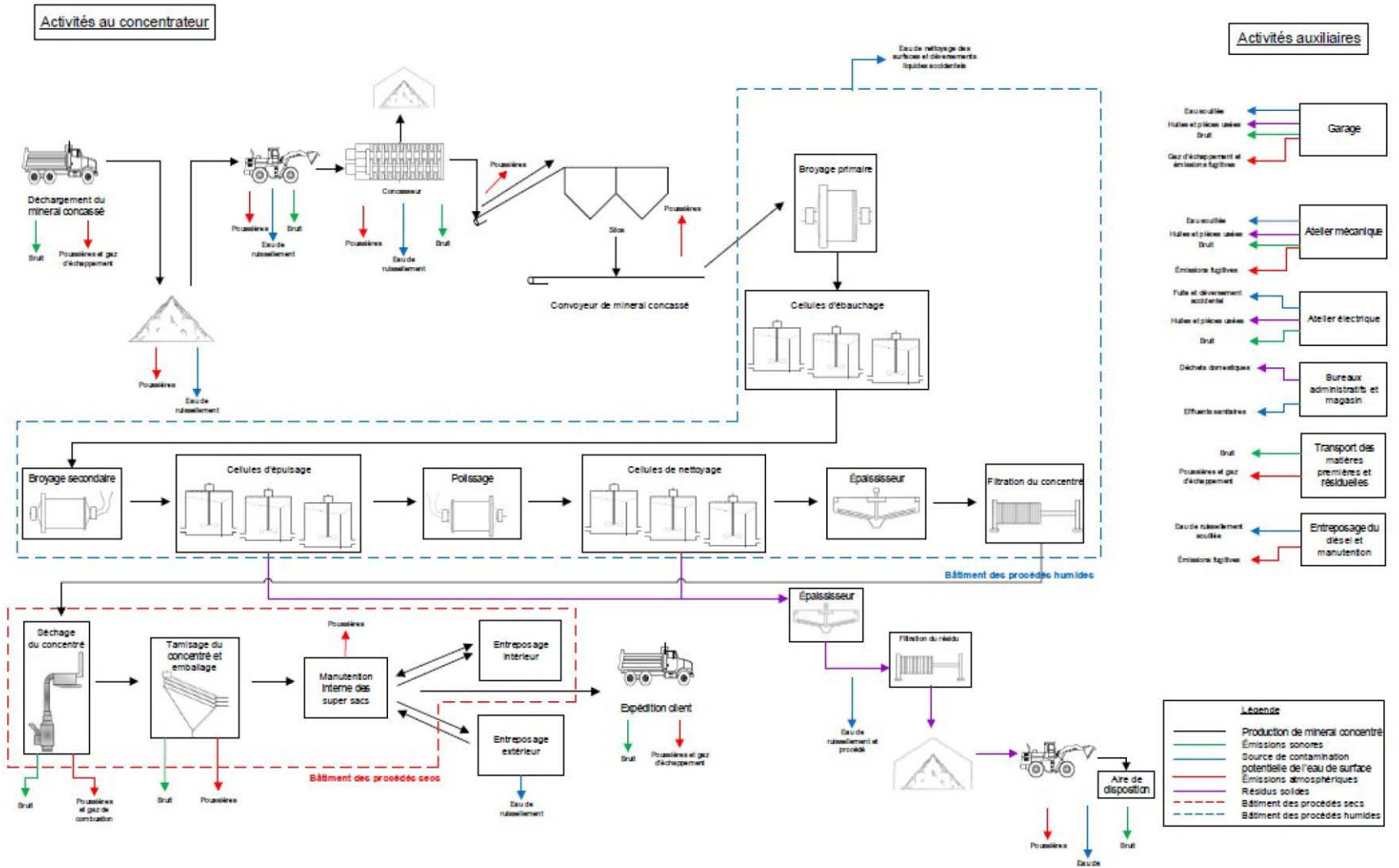
Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

Annexe B

Schéma simplifié du procédé au site du concentrateur (extrait du chapitre 5 de l'Addenda)



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

Note technique de projet

Le 30 mai 2017

DESTINATAIRE : Jacqueline Leroux

EXPÉDITEUR : Romy Bacon-Savard
Dominique Dubé

cc : Marie-Christine Patoine
Jeffrey Cobbletick

Romy Bacon-Savard
Dominique Dubé

Mason Graphite Inc.

Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social - Projet de la mine de graphite du lac Guéret

**Critères de conception préliminaires - Traitement de l'eau
(mine et concentrateur)**

Si vous êtes en désaccord avec l'information ci-incluse, veuillez nous en aviser dans les meilleurs délais



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

H348328-0000-07-220-0003, Rév. 0

Page 1

Note technique de projet

Le 30 mai 2017

DESTINATAIRE : Jacqueline Leroux

EXPÉDITEUR : Romy Bacon-Savard
Dominique Dubé

cc : Marie-Christine Patoine
Jeffrey Cobbleidick

Romy Bacon-Savard
Dominique Dubé

Mason Graphite Inc.

Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social - Projet de la mine de graphite du lac Guéret

**Critères de conception préliminaires - Traitement de l'eau
(mine et concentrateur)**

Si vous êtes en désaccord avec l'information ci-incluse, veuillez nous en aviser dans les meilleurs délais



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

H348328-0000-07-220-0003, Rév. 0

Page 1

Avis au lecteur

Ce rapport a été préparé par Hatch Ltée. (« Hatch ») pour le seul et exclusif avantage de Mason Graphite (le « Propriétaire ») et dans le seul but d'aider celui-ci à déterminer la viabilité d'un projet de développement de la mine du Lac Guéret et d'installer un concentrateur de graphite dans la région de Baie-Comeau (le « Projet »). Ce rapport ne peut être communiqué ni fourni à une quelconque tierce partie ni même être utilisée par une tierce partie. Toute utilisation de ce rapport par le Propriétaire est assujettie aux termes et conditions de l'entente 14-2181 Rev.1 entre Hatch et le Propriétaire datée du 21 novembre 2014, y compris les limitations de responsabilité qui y sont énoncées.

Ce rapport doit être lu comme faisant partie d'un tout et les sections ne doivent pas être lues ou interprétées hors de leur contexte. Le rapport contient des informations fournies par le Propriétaire, y compris, mais sans s'y limiter, les données et prévisions de performance du concentrateur. Sauf indication contraire, Hatch n'a pas vérifié ces informations et décline toute responsabilité à l'égard de celles-ci.

Ce rapport contient l'expression de l'opinion professionnelle de Hatch basée sur les informations disponibles au moment de la préparation du présent rapport. La qualité de l'information, des conclusions et des estimations contenues dans ce document est conforme au niveau d'exactitude prévu tel qu'indiqué dans le présent rapport ainsi que les circonstances et les contraintes avec lesquelles ce rapport a été préparé.

Étant donné que ce rapport fait partie d'une étude de faisabilité, toutes les estimations et projections de ce rapport sont basées sur des informations et des données limitées et incomplètes. Par conséquent, bien que le travail, les résultats, les estimations et les projections présentés dans le présent document soient généralement indicatifs de la nature et la qualité du projet, ils ne sont pas définitifs. Aucune représentation ou prédiction n'est indicative des résultats des futurs travaux, ni aucune promesse que les estimations et les projections dans ce rapport ne soient maintenues dans les futurs travaux.



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

Table des matières

1. Introduction.....	5
1.1 Aménagement général à la mine.....	5
1.1.1 Construction et début de l'exploitation du site minier – 0 à 3 ans	9
1.1.2 Cellule test de déposition des stériles.....	9
1.2 Aménagement général au concentrateur	10
2. Critères de rejets des effluents finaux	13
2.1 Exigences de la Directive 019 du MDDELCC	13
2.2 Objectifs environnementaux de rejet	13
3. Traitement des effluents proposé à la mine	16
3.1 Mine	16
3.1.1 Description du procédé proposé :	16
3.2 Qualité de l'eau usée minière	18
3.3 Critères de conception	19
3.3.1 Capacité de traitement visée	19
3.3.2 Qualité prévue de l'eau traitée de la mine	20
4. Traitement des effluents proposé au concentrateur	20
4.1 Concentrateur	20
4.2 Qualité de l'eau usée au concentrateur	21
4.3 Critères de conception	22
4.3.1 Capacité de traitement requise	24
4.3.2 Qualité visée de l'eau traitée du concentrateur	24
5. Suivi environnemental	24
5.1 Système de mesure et d'enregistrement de débit et de pH	24
5.2 Échantillonnage et analyses de l'effluent final	25
5.3 Suivi trimestriel.....	25
5.4 Rapports de suivi durant l'exploitation	26
5.4.1 Rapport mensuel.....	26
5.4.2 Rapport annuel.....	26
6. Références	27

Liste des figures

Figure 1-1 : Schéma général de gestion de l'eau au concentrateur.....	12
Figure 4-1 : Vue de l'ensemble de la plateforme du concentrateur montrant l'emplacement de l'usine de filtration	23

Liste des tableaux

Tableau 1-1 : Liste des effluents au site de la mine	7
Tableau 1-2 : Liste des effluents au site du concentrateur	11
Tableau 1-3 : Directive 019 : Exigences au point de rejet de l'effluent final	13
Tableau 1-4 : Mine du Lac Guéret – Site de la mine (Objectifs environnementaux de rejet préliminaires pour l'effluent final (Qe = 40 m ³ /h).....	14



Tableau 1-5 : Mine du Lac Guéret – Site du concentrateur de Baie-Comeau (Objectifs environnementaux de rejet préliminaires pour l’effluent final ($Q_e = 0-15 \text{ m}^3/\text{h}$).....	15
Tableau 3-1 : Prévion de la qualité de l’eau à traiter à la mine	18
Tableau 3-2 : Volumes annuels de précipitations et débits à traiter à l’UTE de la mine	20
Tableau 4-1 : Prévion de la qualité de l’eau à traiter au concentrateur	21
Tableau 4-2 : Débits à traiter à l’UTE du concentrateur	24
Tableau 5-1 : Fréquences d’échantillonnage, d’analyse et de mesure du suivi régulier à l’effluent final...	25
Tableau 5-2 : Paramètres de mesure du suivi trimestriel	25

Liste des annexes

Annexe A : Diagramme préliminaire de procédé du traitement d’eau (Hatch, 2017)

Annexe B : Objectifs environnementaux de rejet préliminaires (MDDELCC, 2015)

Annexe C : Plans de vue d’ensemble du site de la mine et du concentrateur



1. Introduction

Cette note a pour but de présenter l'approche de traitement d'eaux usées minières proposée aux sites de la mine du lac Guéret et au concentrateur à Baie-Comeau, pour la durée de vie du projet. Elle présente également les critères de conception préliminaires des unités de traitement de l'eau des effluents miniers.

Cette note compile les informations suivantes :

- Aménagement général des infrastructures aux sites de la mine et du concentrateur;
- Conditions d'opération des unités de traitement des eaux;
- Estimations de la qualité de l'eau prévue;
- Critères de conception préliminaires;
- Exigences réglementaires et objectifs environnementaux de rejet (OER);
- Étapes générales du traitement de l'eau; et
- Analyse des alternatives de traitement tertiaire.

Le détail des systèmes de gestion des eaux au site de la mine comme à celui du concentrateur sont fournis dans la Note technique sur la gestion des eaux de surface aux sites de la mine et du concentrateur, réf :H348328-0000-07-220-0003, rév. 0.

Le détail sur le mode de gestion des résidus miniers au site du concentrateur est fourni dans la note technique sur l'Aire d'accumulation des résidus miniers au site du concentrateur (Baie-Comeau) (H348328-0000-07-220-0003).

1.1 Aménagement général à la mine

De manière générale, le bassin de rétention à la mine recevra l'eau du minerai brut de la fosse minière et l'eau de ruissellement provenant de la halde de stériles. Les stériles étant considérés comme générateurs d'acide et lixiviables, il est attendu que l'eau issue de la halde soit acide et contaminée par des métaux et sulfates. L'eau de contact avec les stériles sera recueillie dans des fossés périphériques et un système de drainage localisé sous la halde, puis dirigée vers le bassin de rétention des eaux. L'eau sera traitée à l'unité de traitement de l'eau (UTE) avant son retour à l'environnement.

L'effluent sera canalisé dans une conduite hors sol jusqu'à un point où l'eau pourra s'écouler vers le ruisseau Sans nom de façon gravitaire. À la sortie de la conduite, le terrain sera aménagé avec de l'enrochement et du géotextile afin d'assurer la distribution uniforme de l'effluent pour éviter tout problème d'érosion.

L'eau de ruissellement issue de la halde de mort-terrain sera recueillie dans des fossés périphériques, et sera déviée vers l'environnement puisqu'elle ne sera pas contaminée. Considérant la topographie existante du site, cette eau se drainera naturellement vers le bassin de contrôle. Étant donné la qualité attendue de cette eau, le drainage autour de la pile a été revu de manière à diriger les eaux de ruissellement non contaminées vers le milieu récepteur naturel, à l'est du site. L'effluent final, une fois traité, se rejettera dans un ruisseau sans nom



tributaire du lac sans nom situé au sud du site. Un enrochement sur géotextile sera aménagé au point de décharge pour prévenir l'érosion.

Les figures 5-4 A, B et C de l'Annexe A montrent une vue d'ensemble du site de la mine à 3 périodes différentes, soit la construction, le début de l'exploitation (1-2 ans), ainsi qu'à la fin de l'exploitation (année 25).

Le Tableau 1-1 liste les effluents finaux et le cours d'eau récepteur au point de rejet. Leur localisation est indiquée aux différents plans de l'Annexe A.



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

Tableau 1-1 : Liste des effluents au site de la mine

Effluents finaux selon la phase de développement du projet		Points de décharge	Milieu récepteur
Début d'exploitation Effluent no 1	Sortie du bassin de contrôle principal no 1 (temporaire) C-1	Option 1 : Eau décantée respecte la D019 Point de décharge immédiatement à l'extrémité du système d'évacuation du bassin, puis gravitaire C-1-1	Ruisseau intermittent qui traverse le site minier, entre la fosse est et la halde de stériles, et qui rejoint le ruisseau sans nom, en aval
		Option 2 : Eau décantée ne respecte pas la D019 Eau pompée dans le bassin de contrôle principal pour être traitée par l'UTE mobile C-1	Ruisseau intermittent qui traverse le site minier, entre la fosse est et la halde de stériles, et qui rejoint le ruisseau sans nom, en aval
	Déversoir d'urgence du bassin de contrôle principal (temporaire) D-1	Point de décharge immédiatement à l'extrémité est du bassin, puis gravitaire	Ruisseau intermittent qui traverse le site minier, entre la fosse est et la halde de stériles, et qui rejoint le ruisseau sans nom, en aval
Début d'exploitation Effluent no 2	Sortie du bassin de sédimentation no 2 de la halde de stériles (temporaire) C-2	Option 1 : Eau décantée respecte la D019 Point de décharge immédiatement à l'extrémité du système d'évacuation du bassin, puis gravitaire C-2-1	L'eau suit le patron d'écoulement des eaux, vers le cours d'eau le plus proche, pour rejoindre finalement le ruisseau sans nom, en aval
		Option 2 : Eau décantée ne respecte pas la D019 Eau pompée dans le bassin de contrôle principal pour être traitée par l'UTE mobile C-2-2	Ruisseau intermittent qui traverse le site minier, entre la fosse est et la halde de stériles, et qui rejoint le ruisseau sans nom, en aval
	Déversoir d'urgence du bassin no 2 (halde de stériles) D-2	Point de décharge côté sud du bassin, puis gravitaire	L'eau suit le patron d'écoulement des eaux, vers le cours d'eau le plus proche, pour rejoindre finalement le ruisseau sans nom, en aval



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

Effluents finaux selon la phase de développement du projet		Points de décharge	Milieu récepteur
Début d'exploitation Effluent no 3	Sortie du bassin de sédimentation no 3 de la halde de mort-terrain (temporaire) C-3	Option 1 : Eau décantée respecte la D019 Point de décharge immédiatement à l'extrémité du système d'évacuation du bassin, puis gravitaire selon le patron d'écoulement des eaux C-3-1	L'eau suit le patron d'écoulement des eaux vers le cours d'eau le plus proche, pour rejoindre finalement le ruisseau sans nom, en aval
		Option 2 : Eau décantée ne respecte pas la D019 Eau pompée dans le bassin de contrôle principal pour être traitée par l'UTE mobile C-3-2	Ruisseau intermittent qui traverse le site minier, entre la fosse est et la halde de stériles, et qui rejoint le ruisseau sans nom, en aval
	Déversoir d'urgence du bassin no 3 (halde de mort-terrain) D-3	Point de décharge côté sud du bassin, puis gravitaire	L'eau suit le patron d'écoulement des eaux, vers le cours d'eau le plus proche, pour rejoindre finalement le ruisseau sans nom, en aval
Fin d'exploitation Effluent no 4	Sortie de l'UTE (côté sud du bassin de contrôle permanent) C-4	Conduite de sortie jusqu'à un point où l'eau peut s'écouler de façon gravitaire selon le patron d'écoulement des eaux	Ruisseau sans nom
	Déversoir d'urgence de la digue aval du bassin de contrôle permanent D-4	Point de décharge côté nord du bassin, au bout de la digue, puis gravitaire	L'eau suit le patron d'écoulement des eaux, vers le cours d'eau le plus proche, à l'est du site, qui se jette finalement dans le ruisseau sans nom, en aval



1.1.1 **Construction et début de l'exploitation du site minier – 0 à 3 ans**

Les figures 5-4 A et 5-4 B de l'Annexe A montrent les infrastructures de contrôle des eaux de contact qui seront mises en place dès le début de la construction (année 0) et durant les deux (2) premières années d'exploitation (1-2 ans), soit :

- Un fossé collecteur qui amène les eaux de contact de la plateforme du minerai brut au bassin de contrôle temporaire. Ce fossé est permanent et sera aménagé au moment de la phase de construction;
- Un bassin de contrôle temporaire, conçu pour une averse critique de 24 heures d'une récurrence de 10 ans;
- Une unité de traitement de l'eau mobile positionnée près du bassin de contrôle temporaire, dès le début des opérations (an 1);
- Un bassin de sédimentation temporaire (en aval de la pile de stériles); les eaux décantées de ce bassin seront pompées vers le bassin de contrôle pour être traitées par l'UTE mobile. Le point de décharge (effluent no 1) sera le cours d'eau qui traverse le site de la mine; et
- Un deuxième bassin de sédimentation temporaire, (en aval de la pile de mort-terrain, pour la durée des travaux de décapage et déplacement de mort-terrain); après un contrôle de la conformité aux exigences prescrites, les eaux décantées de ce bassin – eaux sans contact – seront soit retournées dans le milieu naturel (via le système d'évacuation des eaux), soit pompées vers le bassin de contrôle temporaire no 1, pour être traitées par l'UTE mobile.

Durant la période de construction et le début de l'exploitation minière (0 à 3 ans), le fossé collecteur des eaux de contact et les différents bassins seront échantillonnés selon la fréquence et les paramètres requis à la Directive 019. Au besoin, selon les résultats d'analyses obtenus, l'unité de traitement mobile sera mise en fonction pour traiter l'effluent final (effluent no 1) et assurer que l'eau retournée dans le milieu naturel soit en conformité avec cette directive.

1.1.2 **Cellule test de déposition des stériles**

À partir du moment où l'ajout de stériles sur la halde aura débuté, il est attendu que la qualité de l'eau évolue dans le temps. Étant donné le faible volume de stériles déposé sur la halde au cours des premières années, et considérant le bassin versant de cette même halde, la qualité de l'eau pourrait être de qualité adéquate et permettre un rejet direct à l'environnement.

Cependant, Mason Graphite s'engage à mettre en place une cellule test de déposition des stériles. Cette cellule sera étanche et conçue de façon à intercepter les eaux de ruissellement, d'infiltration et de lixiviation qui auront été en contact avec les stériles. Cette eau de contact sera rigoureusement analysée et l'unité de traitement de l'eau sera utilisée au besoin pour assurer la qualité de l'effluent final et se conformer aux exigences de la Directive 019. Cette cellule test permettra de mieux comprendre le phénomène de génération acide associé aux stériles et d'optimiser, au besoin, le procédé de traitement de l'eau afin de tendre vers l'atteinte des OER, et ce, dans un processus d'amélioration continue.



1.2 Aménagement général au concentrateur

Les résidus miniers issus du procédé de concentration du graphite seront envoyés au parc à résidus (PAR) sous forme de « gâteaux filtrés ». Les eaux de contact au site du concentrateur seront composées de l'eau de ruissellement provenant de la plateforme de déchargement des camions (« ROM pad ») et de l'aire d'accumulation temporaire du minerai brut en pile. Les eaux de ruissellement seront recueillies par l'entremise de fossés périphériques, et envoyées dans la réserve d'eau brute qui collectera aussi l'eau de ruissellement en provenance du PAR.

La réserve d'eau brute alimentera l'usine pour combler les besoins en eau du procédé (un volume d'eau d'au minimum de 40 000 m³ doit être garanti en tout temps). Seul l'excédent d'eau, à partir d'un niveau maximum déterminé, sera envoyé à l'unité de traitement (pH et métaux) avant un rejet à l'effluent final. Aucune eau qui ne respecte pas les exigences de la Directive 019 ne sera retournée dans le milieu récepteur environnant. Celui-ci est un petit ruisseau sans nom, affluent de la Rivière Petit-Bras.

Les MES sédimentées au fond de la réserve d'eau et du bassin de collecte seront pompées lorsque nécessaire et transportées au PAR.

Le schéma général de gestion des eaux au concentrateur est montré à la Figure 1-1. La figure 5-11 révisée de l'Annexe A montre une vue d'ensemble du site du concentrateur à la fin de l'exploitation.

Le Tableau 1-2 liste les effluents finaux et le cours d'eau récepteur au point de rejet. Leur localisation est indiquée aux différents plans de l'Annexe A.

Tableau 1-2 : Liste des effluents au site du concentrateur

Effluents finaux selon la phase de développement du projet		Points de décharge	Milieu récepteur
Exploitation Effluent no 5	Sortie de l'UTE C-5	Conduite de sortie jusqu'au fossé collecteur des eaux sans contact, sur la plateforme du concentrateur	L'eau traitée se mêle à l'eau sans contact pour finalement sortir du site au point de rejet final usine
Exploitation Effluent no 6	Rejet final usine C-6	Immédiatement à l'extrémité ouest de la plateforme du concentrateur	Ruisseau intermittent qui rejoint le ruisseau Petit-Bras en aval (puis la rivière Amédée et le fleuve Saint-Laurent)
Exploitation Effluent no 7	Déversoir d'urgence de la réserve d'eau brute D-5	Côté sud de la réserve	Ruisseau intermittent entre l'aire d'accumulation des résidus filtrés et la plateforme du concentrateur
Exploitation Effluent no 8	Déversoir d'urgence du bassin de collecte de la plateforme de minerai brut D-6	Côté nord du bassin	Ruisseau intermittent entre l'aire d'accumulation des résidus filtrés et la plateforme du concentrateur



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

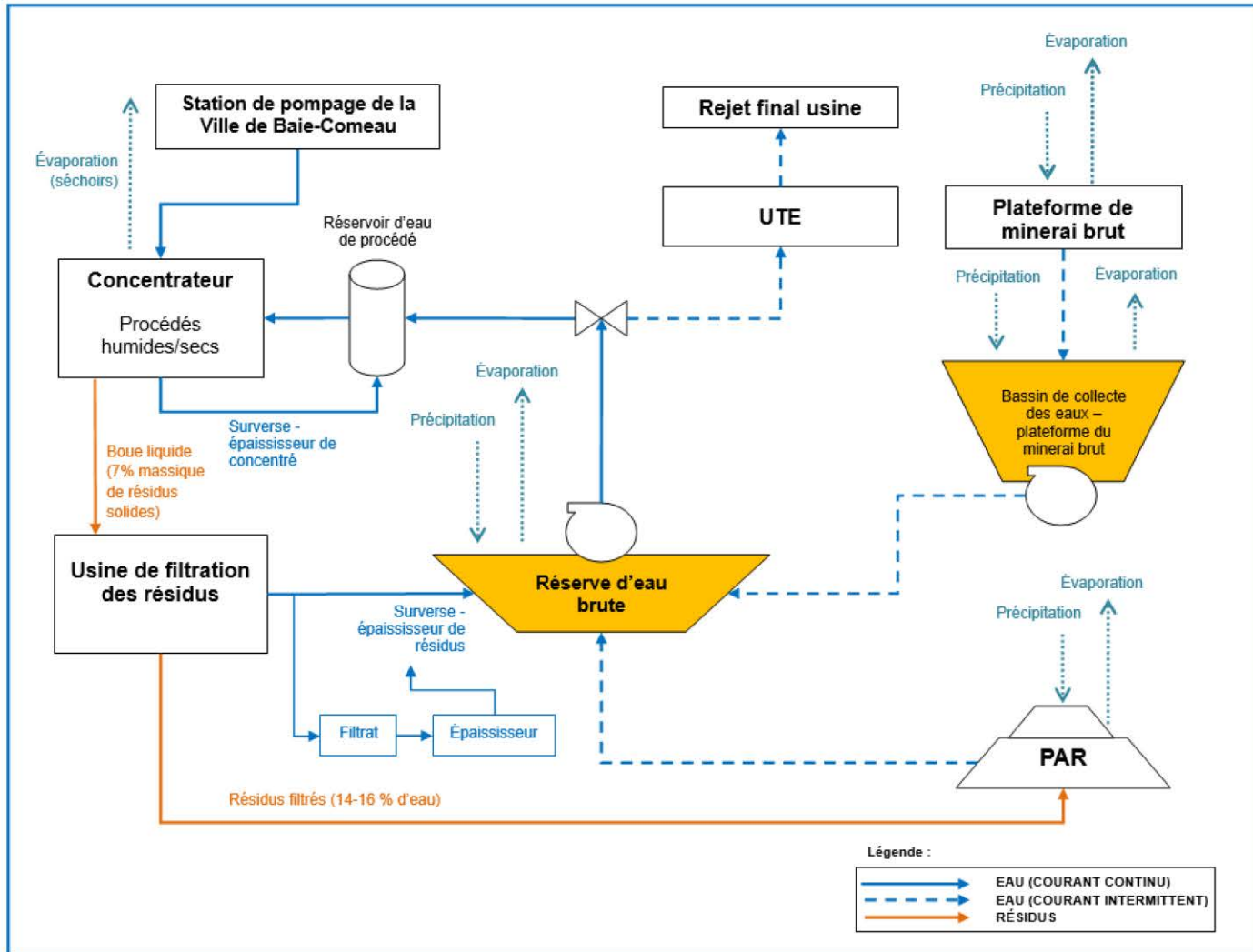


Figure 1-1 : Schéma général de gestion de l'eau au concentrateur



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

2. Critères de rejets des effluents finaux

2.1 Exigences de la Directive 019 du MDDELCC

Par définition, l'effluent final est constitué de l'eau de contact avec le minerai, les stériles ou les résidus miniers. Il y en a un à la mine et un au site du concentrateur.

Normes de rejet

La Directive 019 sur l'industrie minière établit les exigences auxquelles Mason Graphite s'engage à se conformer. À la section 2.1 de la Directive, on retrouve les exigences relatives aux eaux usées minières. Celles-ci sont établies pour le point de rejet de l'effluent final du procédé; de façon générale, la Directive établit qu'il est interdit de rejeter un effluent final dont :

- Le pH est inférieur à 6 ou supérieur à 9,5;
- La concentration de thiosels provoque un changement de ph dans le milieu aquatique inférieur à 6 ou supérieur à 9,5;
- La toxicité est supérieure au niveau de létalité aiguë selon les tests de truites arc-en-ciel et de *Daphnia magna*;
- La concentration des contaminants est supérieure aux valeurs indiquées au tableau suivant.

Tableau 1-3 : Directive 019 : Exigences au point de rejet de l'effluent final

Paramètres	Unités	Moyenne mensuelle	Maximum journalier
Arsenic extractible (As)	mg/L	0,2	0,4
Cuivre extractible (Cu)	mg/L	0,3	0,6
Fer extractible (Fe)	mg/L	3	6
Plomb extractible (Pb)	mg/L	0,2	0,4
Nickel extractible (Ni)	mg/L	0,5	1
Zinc extractible (Zn)	mg/L	0,5	1
Cyanures totaux	mg/L	1	2
Hydrocarbures C ₁₀ -C ₅₀	mg/L	--	2
Matières en suspension	mg/L	15	30

Note : Exigences supplémentaires : Le pH final au point de rejet doit se situer entre 6 et 9,5, et l'effluent ne doit pas induire d'épisodes de toxicité aiguë pour la truite arc-en-ciel et la *Daphnia magna*.

2.2 Objectifs environnementaux de rejet

Des objectifs environnementaux de rejet (OER) préliminaires ont été fournis à Mason Graphite par le MDDELCC en 2016.

Les OER sont intégralement disponibles à l'Annexe B. Les objectifs du site de la mine et du site du concentrateur sont différents et se résument dans les 2 tableaux suivants.



Tableau 1-4 : Mine du Lac Guéret – Site de la mine (Objectifs environnementaux de rejet préliminaires pour l'effluent final (Qe = 40 m³/h)

Contaminants	Usages	Critères Mg/l	Période d'application
Matières en suspension	CVAC	6,0	Année
Phosphore	CVAC	suivi	Année
Argent	CVAC	0,00010	Année
Arsenic	CVAC	0,021	Année
Baryum	CVAC	0,12	Année
Cadmium	CVAC	0,00011	Année
Chrome total	CVAC	0,011	Année
Cobalt	CVAC	0,10	Année
Cuivre	CVAC	0,0033	Année
Fer	CVAC	1,3	Année
Manganèse	CVAC	0,67	Année
Molybdène	CVAC	3,2	Année
Nickel	CVAC	0,019	Année
Plomb	CVAC	0,00069	Année
Zinc	CVAC	0,043	Année
Azote ammoniacal estival (N)	CVAC	1,22	1 ^{er} juin-30 nov.
Azote ammoniacal hivernal (N)	CVAC	1,909	1 ^{er} déc.-31 mai
Fluorures	CVAC	0,20	Année
Nitrates (N)	CVAC	2,9	Année
Nitrites (N)	CVAC	0,020	Année
pH	CVAC	6 – 9,5	Année
Sulfates	CVAC	500	Année
Toxicité aigüe	VAFe	1 UTa	Année
Toxicité chronique	CVAC	1 UTc	Année
Conductivité		suivi	Année
Dureté		suivi	Année
Solides dissous totaux		suivi	Année

CPC(O) : Critères de prévention de la contamination des organismes aquatiques

VAFe: Valeur aigüe finale à l'affluent

CVAC: Critère de vie aquatique chronique

Tableau 1-5 : Mine du Lac Guéret – Site du concentrateur de Baie-Comeau (Objectifs environnementaux de rejet préliminaires pour l’effluent final (Qe = 0-15 m³/h)

Contaminants	Usages	Critères Mg/l	Période d’application
Matières en suspension	CVAC	6,0	Année
Argent	CVAC	0,00010	Année
Phosphore	CVAC	suivi	Année
Arsenic	CPC(O)	0.021	Année
Baryum	CVAC	0,038	Année
Cadmium	CVAC	4,9E-05	Année
Chrome total	CVAC	0,011	Année
Cobalt	CVAC	0,10	Année
Cuivre	CVAC	0,0013	Année
Fer	CVAC	1,3	Année
Manganèse	CVAC	0,26	Année
Molybdène	CVAC	3,2	Année
Nickel	CVAC	0,0074	Année
Plomb	CVAC	0,00017	Année
Uranium	CVAC	0,014	Année
Zinc	CVAC	0,017	Année
Fluorures	CVAC	0,20	Année
pH	CVAC	6 – 9,5	Année
Sulfates	CVAC	500	Année
Toxicité aigüe	VAFe	1 UTa	Année
Toxicité chronique	CVAC	1 UTc	Année
Conductivité		suivi	Année
Dureté		suivi	Année
Solides dissous totaux		suivi	Année

CPC(O) : Critères de prévention de la contamination des organismes aquatiques

VAFe: Valeur aigüe finale à l’affluent

CVAC: Critère de vie aquatique chronique

Les objectifs environnementaux de rejet sont plus exigeants que les exigences de la Directive 019. La Directive 019 établit les exigences minimales de traitement à respecter en tout temps tandis que les OER établissent les objectifs à atteindre dans le temps grâce au processus d’amélioration continue.

Mason Graphite s’engage à faire le suivi des paramètres des OER aux sites minier et du concentrateur quatre fois par année conformément aux Lignes directrices pour l’utilisation des objectifs environnementaux de rejet relatifs aux rejets industriels dans le milieu aquatique.

Au site de la mine, Mason Graphite s'engage à mettre en place une cellule test de déposition des stériles pour les deux premières années d'opération. Cette cellule sera étanche et conçue de façon à intercepter les eaux de ruissellement, d'infiltration et de lixiviation qui auront été en contact avec les stériles. Cette eau de contact sera rigoureusement analysée et l'unité de traitement de l'eau sera utilisée au besoin pour assurer la qualité de l'effluent final et se conformer aux exigences de la Directive 019 sur l'industrie minière. De plus, cette cellule test permettra de mieux comprendre le phénomène de génération acide associé aux stériles et d'optimiser, au besoin, la conception du procédé de traitement de l'eau de l'UTE afin de tendre à l'atteinte des OER, dans un processus d'amélioration continue.

Au site du concentrateur, la conception de l'UTE sera aussi faite de manière à sélectionner des méthodes de traitement technico-économiques réalistes pour tendre vers l'atteinte des OER, suite à l'analyse rigoureuse de l'effluent du PAR et des eaux de ruissellement.

3. Traitement des effluents proposé à la mine

3.1 Mine

Il est prévu qu'une unité de traitement des eaux (UTE) temporaire soit requise, selon les besoins, pour les trois premières années d'opération de la mine. Le bassin de rétention (ou de contrôle) temporaire sera dimensionné afin d'accommoder un événement de crue printanière de 24 heures de récurrence 1 : 10 ans.

Une UTE permanente sera prévue pour les vingt années subséquentes et elle sera opérationnelle, lorsque requis, 24 heures par jour, 365 jours par année. Le bassin de rétention des eaux contaminées sera conçu pour retenir un événement de pluie de 24 heures de récurrence 1 : 2000 ans et la fonte de neige pour une récurrence de 100 ans sur 30 jours.

Le bassin de contrôle permanent permettra de tamponner les fluctuations de débits d'arrivée des eaux de contact à l'UTE pour assurer la stabilité des conditions d'opération. Dans cette région, la température ambiante varie entre -50 °C et 15 °C. Les composantes critiques de l'UTE, telles que les pompes, les systèmes de dosage d'additifs et les unités de filtration, devront être situées dans des bâtiments ou des conteneurs tempérés. Toutes conduites de liquides situées à l'extérieur de ces installations devront être isolées adéquatement ou faire l'objet d'un contrôle thermique.

3.1.1 Description du procédé proposé :

Le diagramme de procédé préliminaire du traitement de l'eau envisagé pour le site de la mine est présenté à l'Annexe C et se détaille comme suit.

L'ensemble du procédé de traitement est composé des opérations unitaires suivantes :

1. Précipitation des métaux par l'addition de chaux et d'air;
2. Clarification de l'effluent;
3. Microfiltration de l'eau;
4. Correction de pH de l'effluent à l'aide d'un acide;
5. Filtration des boues à l'aide d'un filtre-presse.



3.1.1.1 *Précipitation des métaux*

L'eau brute est alimentée à deux réacteurs en série à agitation forcée en continu où de la chaux hydratée et de l'air comprimé sont ajoutés. Ceux-ci contribuent à la neutralisation, l'oxydation et à la précipitation de la majorité des métaux dissous. Les concentrations de cuivre, de nickel et de plomb sont abaissées jusqu'à des concentrations traces. De plus la concentration des ions sulfates et carbonates seront abaissés, dépendamment du pH, jusqu'à des niveaux de solubilité. Le précipité ainsi généré augmentera le taux de matières en suspension et devra être retiré de l'eau via le procédé d'épaississement et de clarification.

3.1.1.2 *Clarification*

L'eau chaulée et aérée provenant des réacteurs est ensuite envoyée vers un clarificateur. L'ajout d'un floculant en amont du clarificateur combiné à de bonnes conditions de mélange provoquera la floculation des matières en suspension formées de particules. La boue formée par l'accumulation du floc décantera au fond et le surnageant de la partie supérieure, ainsi clarifiée, s'écoulera par trop-plein hors du clarificateur.

Dépendant des conditions d'opérations, la boue ainsi décantée au fond aura la possibilité d'être retournée en tête de traitement et/ou en amont du clarificateur et finalement évacuée vers le filtre-presse afin d'y être déshydratée et envoyée à son site de disposition finale. On anticipe qu'à la sortie du clarificateur la teneur en matières en suspension du surnageant soit diminuée en deçà de 100 mg/l.

3.1.1.3 *Microfiltration*

Le surnageant du clarificateur est ensuite envoyé à l'unité de microfiltration à membrane. Ce procédé contribue à épurer davantage l'eau grâce à une filtration sur membrane. Il diminue les matières en suspension en deçà de 0,1 mg/l, enlève les matières particulaires métalliques ainsi que les métaux colloïdaux particulaires. Cependant il n'a pas d'effet sur les métaux et les ions dissous. Le nettoyage et l'entretien des membranes produiront des eaux de lavage qui seront retournées en tête de traitement. Il est à noter que les conditions d'opérations de la microfiltration sont moins sensibles aux perturbations que les médias de filtration traditionnels.

3.1.1.4 *Correction de pH*

L'effluent de l'unité de microfiltration sera ensuite acheminé à un réservoir de mélange en continu où de l'acide sera injecté afin de corriger le pH. Cette étape finale de traitement de l'eau ajustera le pH de l'eau en vue de son rejet à l'environnement. Le pH visé se situe entre 6 et 9,5.

3.1.1.5 *Déshydratation des boues*

La boue minérale liquide accumulée au fond du clarificateur est envoyées vers un filtre-presse qui les déshydratera. La boue, initialement d'une siccité de 15 % deviendra un gâteau dont la siccité est de 60 %. Cette boue solidifiée est ensuite expédiée par camion vers son site de disposition final. Les boues produites à la mine pourraient être déposées sur la halde à stériles.

3.1.1.6 *Traitement tertiaire optionnel*

Dépendant des résultats obtenus avec la chaîne de traitement proposée ci-dessus, il est possible que la concentration de certains ions n'ait pu être réduite en deçà des exigences. Il pourrait s'agir entre autres des ions calcium, carbonates, chlorures, sodium et sulfates. À cet égard, 3 autres procédés, tels que la nanofiltration, l'osmose inverse et l'échange d'ions pourraient être étudiés afin de cibler la diminution des concentrations de ces ions. L'utilisation de ces procédés sera évaluée lors des premières années d'opération afin de confirmer les besoins de traitement additionnels et la faisabilité économique de ces traitements dans l'optique de la rencontre de OER.

3.2 **Qualité de l'eau usée minière**

Les résultats d'analyse utilisés pour l'élaboration de ces critères de conception préliminaires sont représentatifs de la pire qualité d'eau attendue pour la mine. Aucun facteur de dilution par les précipitations ou l'infiltration d'eau souterraine n'a été considéré pour évaluer la qualité de l'eau provenant du PAR.

Les concentrations de métaux, le pH, la conductivité et l'acidité des affluents aux UTE sont présumés égaux aux résultats des analyses cinétiques réalisées par l'URSTM (2016) sur le minerai et le résidu minier (colonnes « Concentrations ponctuelles »). Les résultats obtenus ont permis de faire des prévisions de la pire qualité de l'eau qui devra être traitée aux UTE.

Les résultats obtenus par l'URSTM pour le minerai ont été utilisés pour évaluer la qualité de l'eau à traiter à la mine, constituée d'eau de contact avec le minerai, mais aussi avec les stériles, moins réactifs. Par conséquent, les prévisions de la qualité de l'eau à traiter au site de la mine sont montrées au Tableau 3-1.

Tableau 3-1 : Prévision de la qualité de l'eau à traiter à la mine

Paramètre	Symbole	Unités	Moyenne	Min.	Max.
<i>Physico-chimiques</i>					
pH			3,41	3,19	3,61
Conductivité		µS/cm	7 008	3 390	13 040
Acidité		mg/L CaCO ₃	4 941	6 860	2 681
Alcalinité totale		mg/L CaCO ₃	<0,5	<0,5	<0,5
Solides en suspension totaux (SST)		mg/L	100 ¹	---	---
Solides dissous totaux (SDT)		mg/L	6 004	2238	11 803
Hydrocarbures	C ₁₀ -C ₅₀	mg/L	n.d.	n.d.	n.d.
<i>Métaux</i>					
Aluminium	Al	mg/L	1,13	7,33	0,283
Antimoine	Sb	mg/L	0,070	<0,045	0,337
Arsenic	As	mg/L	<0,030	<0,030	<0,030
Bore	B	mg/L	5,52	7,82	3,16
Barium	Ba	mg/L	0,090	0,031	0,170
Béryllium	Be	mg/L	<0,0005	<0,0005	<0,0005

¹ La teneur de solides en suspension a été fixée à 100 mg/L basée sur des projets antérieurs similaires réalisés par Hatch. Cette valeur n'a pas de répercussion significative sur la conception et le dimensionnement des équipements de traitement d'eau prévus.

Paramètre	Symbole	Unités	Moyenne	Min.	Max.
Bismuth	Bi	mg/L	0,07	0,01	0,134
Calcium	Ca	mg/L	168	77,8	394
Cadmium	Cd	mg/L	0,030	0,0015	0,203
Chlorures	Cl ⁻	mg/L	n.d.	n.d.	n.d.
Cobalt	Co	mg/L	0,090	0,020	0,542
Chrome	Cr	mg/L	0,010	<0,0015	0,059
Cuivre	Cu	mg/L	0,020	<0,015	0,167
Fer	Fe	mg/L	3 100	1 240	5 130
Magnésium	Mg	mg/L	114	45,4	429
Manganèse	Mn	mg/L	175	43,5	792
Molybdène	Mo	mg/L	<0,0045	<0,0045	<0,0045
Nickel	Ni	mg/L	14,9	4,22	89,1
Plomb	Pb	mg/L	0,290	0,114	0,440
Potassium	K	mg/L	8,38	4,19	14,9
Sélénium	Se	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05
Silice	Si	mg/L	12,3	7,31	20,5
Sodium	Na	mg/L	11,0	2,19	34,2
Strontium	Sr	mg/L	0,560	0,206	1,23
Sulfates	SO ₄ ²⁻	mg/L	2 382	806	4 820
Titane	Ti	mg/L	0,010	0,001	0,029
Zinc	Zn	mg/L	9,28	3,01	59,9

3.3 Critères de conception

Mason Graphite prévoit installer des UTE sous forme de modules transportables, lorsque possible. Certains équipements de petite taille, tels que les unités de filtration et de dosage des additifs, pourront être placés dans des conteneurs, alors que les équipements de plus grande taille, tels que le clarificateur et les réservoirs, seront installés de manière permanente.

Un clarificateur de type ActiFlo ou tout autre système de filtration à base de lamelles serait inadéquat pour le traitement des effluents vu la teneur élevée de solides en suspension générée à l'étape de la neutralisation à la chaux.

3.3.1 Capacité de traitement visée

Tel que mentionné précédemment, au site de la mine, toutes les eaux de contact seront recueillies dans un bassin de contrôle avant leur traitement à l'UTE. Les volumes et les débits d'eau à traiter à l'UTE sont montrés au Tableau 3-2. Ces débits correspondent aux prévisions annuelles pour la 25^e année d'opération et ont été estimés à partir du modèle hydrologique produit pour Mason Graphite à l'aide du logiciel GoldSim (Hatch, 2017).

Tableau 3-2 : Volumes annuels de précipitations et débits à traiter à l'UTE de la mine

Débit	Unité	Valeur
Volume annuel de précipitations		
Minimum	m ³ /an	283 000
Moyenne	m ³ /an	359 090
Maximum	m ³ /an	432 970
Débit affluent à l'UTE		
Nominal	m ³ /h	140
Critère de conception	m ³ /h	175

3.3.2 *Qualité prévue de l'eau traitée de la mine*

La qualité de l'eau rejetée à l'environnement sera conforme aux exigences de la Directive 019 sur l'industrie minière.

4. Traitement des effluents proposé au concentrateur

4.1 Concentrateur

L'UTE sera opérationnelle 24 heures par jour, 365 jours par année. La réserve d'eau brute sera conçue pour retenir un événement de crue printanière de 24 heures de récurrence 1 : 2000 ans.

Les eaux de ruissellement du PAR, du « ROM *pad* » et de la pile de minerai brut seront envoyées dans la réserve d'eau brute.

La boue produite par le système de traitement d'eau, via le filtre-presse, est expédiée par camion vers son site de disposition final. Celui-ci sera situé dans une zone exclusive et dédiée du parc à résidus du concentrateur. La raison étant que ces boues seront basiques et qu'elles ne pourront pas être mélangées avec d'autres qui seraient susceptibles d'être acides. La neutralisation générerait de l'eau et affecterait par conséquent la cohésion de la pile.

Dans la région de Baie-Comeau, la température ambiante varie entre -40 °C et 40 °C. Les composantes critiques de l'UTE, telles que les pompes, les systèmes de dosage d'additifs et les unités de filtration, devront être situées dans des bâtiments ou des conteneurs tempérés. Toutes conduites de liquides situées à l'extérieur de ces installations devront être isolées adéquatement ou faire l'objet d'un contrôle thermique.

Le diagramme de procédé préliminaire du traitement de l'eau envisagé pour le site du concentrateur est présenté à l'Annexe C. Le même procédé de traitement que décrit pour l'effluent de la mine à la section 3.1.1 est proposé pour l'effluent du concentrateur.

4.2 Qualité de l'eau usée au concentrateur

Les résultats d'analyse utilisés pour l'élaboration de ces critères de conception préliminaires sont représentatifs de la pire qualité d'eau attendue pour le concentrateur. Aucun facteur de dilution par les précipitations ou l'infiltration d'eau souterraine n'a été considéré pour établir de façon préliminaire la qualité de l'eau provenant du PAR.

Les concentrations de métaux, le pH, la conductivité et l'acidité des affluents aux UTE proviennent des résultats des analyses cinétiques réalisées par l'URSTM (2016) sur le minerai et le résidu minier (colonnes « Concentrations ponctuelles »). Les résultats obtenus ont permis de faire des prévisions de la pire qualité de l'eau qui devra être traitée aux UTE.

Les prévisions de la qualité de l'eau à traiter au site du concentrateur sont montrées au Tableau 4-1.

Tableau 4-1 : Prévion de la qualité de l'eau à traiter au concentrateur

Paramètre	Symbole	Unités	Moyenne	Min.	Max.
<i>Physico-chimiques</i>					
pH			4,31	3,20	5,05
Conductivité		µS/cm	6 679	3 010	14 680
Acidité		mg/L	4 596	899	11 684
Alcalinité totale		mg/L	<0,5	<0,5	<0,5
Solides en suspension totaux (SST)		mg/L	100 ²	---	---
Solides dissous totaux (SDT)		mg/L	5 662	1 575	14 748
Hydrocarbures	C ₁₀ -C ₅₀	mg/L	n.d.	n.d.	n.d.
<i>Métaux</i>					
Aluminium	Al	mg/L	0,340	0,071	0,998
Antimoine	Sb	mg/L	0,060	<0,045	0,178
Arsenic	As	mg/L	<0,030	<0,030	<0,030
Bore	B	mg/L	3,77	0,698	11,5
Barium	Ba	mg/L	0,09	0,04	0,287
Béryllium	Be	mg/L	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Bismuth	Bi	mg/L	0,050	0,010	0,194
Calcium	Ca	mg/L	350	203	482
Cadmium	Cd	mg/L	0,02	<0,0015	0,087
Chlorures	Cl ⁻	mg/L	n.d.	n.d.	n.d.
Cobalt	Co	mg/L	0,050	<0,002	0,430
Chrome	Cr	mg/L	0,002	<0,0015	0,003
Cuivre	Cu	mg/L	0,210	1,26	<0,0015
Fer	Fe	mg/L	2 538	487	7 380
Magnésium	Mg	mg/L	171	83,5	276
Manganèse	Mn	mg/L	148	30,3	417

² La teneur de solides en suspension a été fixée à 100 mg/L basée sur des projets antérieurs similaires réalisés par Hatch. Cette valeur n'a pas de répercussion significative sur la conception et le dimensionnement des équipements de traitement d'eau prévus.

Paramètre	Symbole	Unités	Moyenne	Min.	Max.
Molybdène	Mo	mg/L	<0,0045	<0,0045	<0,0045
Nickel	Ni	mg/L	20,0	0,0025	177
Plomb	Pb	mg/L	0,210	0,080	0,603
Potassium	K	mg/L	20,0	11,4	44,6
Sélénium	Se	mg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Silice	Si	mg/L	32,4	22,1	38,7
Sodium	Na	mg/L	21,4	7,28	79,5
Strontium	Sr	mg/L	1,15	0,642	1,91
Sulfates	SO ₄ ²⁻	mg/L	2341	727	5770
Titane	Ti	mg/L	0,004	<0,001	0,023
Zinc	Zn	mg/L	14,4	2,12	65,7

4.3 Critères de conception

Au site du concentrateur, Mason Graphite prévoit installer les équipements de traitement des effluents dans le bâtiment de l'usine, dans un secteur dédié. L'unité de traitement des effluents sera localisée dans le bâtiment de l'usine de filtration. Celle-ci est montrée à la Figure 4-1.

Un clarificateur de type ActiFlo ou tout autre système de filtration lamellaire serait inadéquat pour le traitement des effluents vu la teneur élevée de solides en suspension générée à l'étape de la neutralisation à la chaux.

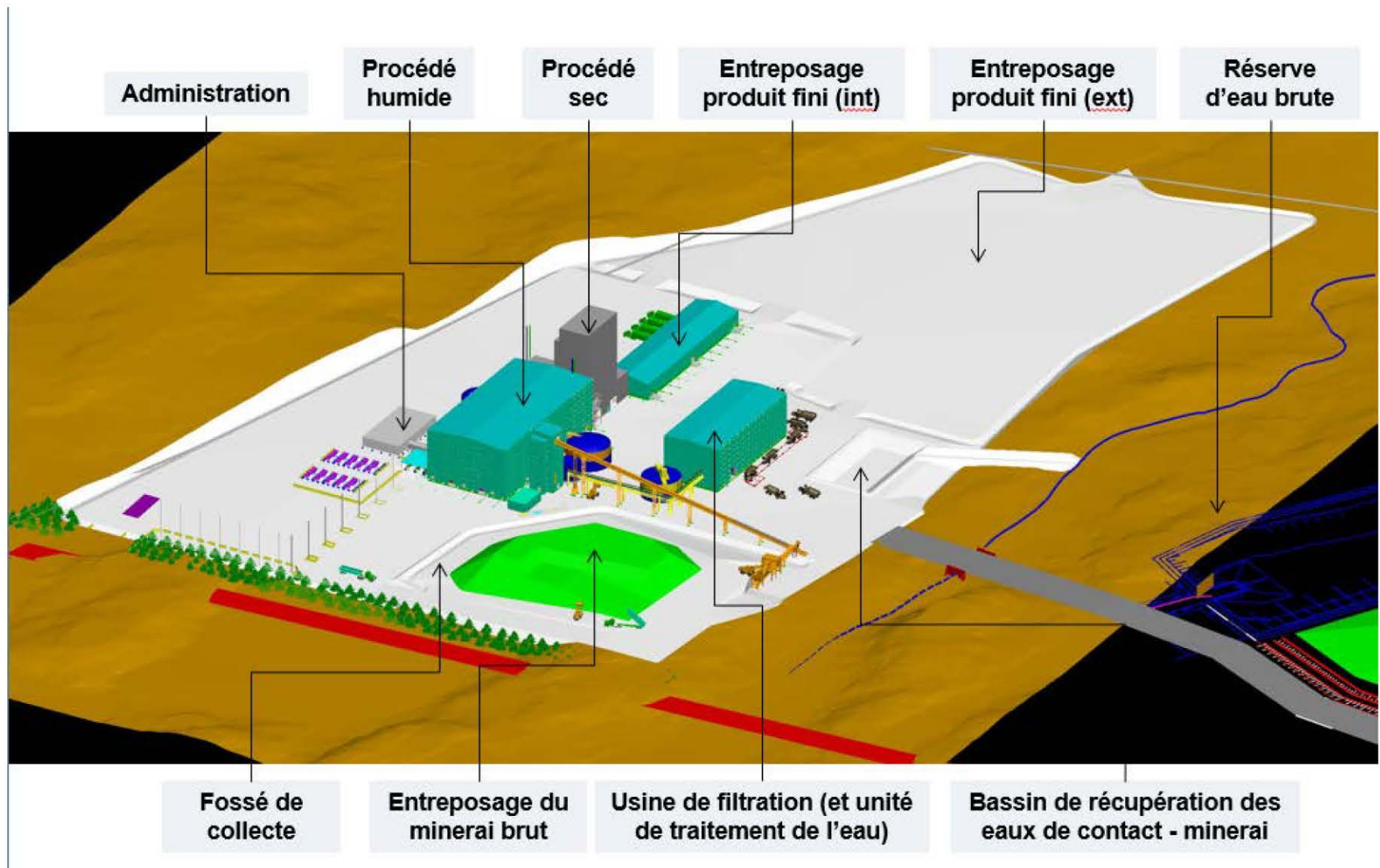


Figure 4-1 : Vue de l'ensemble de la plateforme du concentrateur montrant l'emplacement de l'usine de filtration



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

4.3.1 **Capacité de traitement requise**

La capacité de traitement de l'UTE et le dimensionnement de la réserve d'eau brute seront conçus de manière à prévenir tout déversement d'eau non traitée à l'environnement en cas de précipitations, et ce, en fonction du bilan d'eau prévu autour du PAR (Hatch, 2016). Ainsi, le débit de traitement pour la conception de l'UTE est basé sur le débit de pompage qui permettra de maintenir un niveau d'eau adéquat dans la réserve d'eau brute pour éviter toute surverse d'eau non traitée à l'environnement.

Les débits de conception sont montrés au Tableau 4-2. Le système de pompage de l'affluent à l'UTE opérera en mode « on/off » en fonction du niveau d'eau dans la réserve d'eau brute recueillant les eaux du PAR. Le débit nominal correspond au débit maximal prévu dans la période des 12 premières années d'opération tandis que le débit de conception correspond au débit maximal prévu lors des 13 dernières.

Tableau 4-2 : Débits à traiter à l'UTE du concentrateur

Débits	Valeur (m ³ /h)
Nominal	20
Critère de conception	38

Il est attendu que l'effluent du PAR nécessite un traitement avant son rejet à l'environnement après la fermeture de la mine, et ce, jusqu'à ce que la qualité de l'eau recueillie dans la réserve d'eau brute soit conforme aux exigences réglementaires.

4.3.2 **Qualité visée de l'eau traitée du concentrateur**

La qualité de l'eau rejetée à l'environnement sera conforme aux exigences de la Directive 019 sur l'industrie minière.

5. **Suivi environnemental**

5.1 **Système de mesure et d'enregistrement de débit et de pH**

En amont du point de rejet de chaque effluent final, Mason Graphite aménagera et maintiendra en état de fonctionnement une station d'échantillonnage comprenant un système de mesure de débit et de pH ainsi qu'un totalisateur de volume de l'effluent final. Mason Graphite devra vérifier régulièrement la précision du système de mesure et d'enregistrement du pH.

Mason Graphite tiendra à jour et rendra accessible en tout temps un registre des inspections, des vérifications de la précision du système de mesure de pH, des modifications et des réparations effectuées aux sites de mesure et d'enregistrement de débit et de pH. Le registre comprendra également les informations suivantes :

- la méthode de vérification de la précision utilisée;
- la précision du système de mesure du débit après la vérification.

5.2 Échantillonnage et analyses de l'effluent final

Mason Graphite effectuera le suivi des eaux des effluents finaux du site minier et du site du concentrateur. Mason Graphite prélèvera un échantillon instantané ou composite quotidien de 24 heures et mesurera les paramètres du Tableau 5-1 selon les fréquences indiquées.

L'échantillonnage réalisé pour les paramètres mentionnés aux colonnes II et III doit être accompagné d'une mesure de débit et de pH.

L'échantillonnage des paramètres prévus aux colonnes III doit être effectué au même moment qu'un des échantillonnages prévus pour les paramètres de la colonne II.

Ces fréquences d'échantillonnage seront maintenues jusqu'à l'arrêt définitif des activités minières.

De plus, advenant la présence de phosphore dans les eaux souterraines, un suivi sera effectué à l'effluent final selon une fréquence à déterminer.

Tableau 5-1 : Fréquences d'échantillonnage, d'analyse et de mesure du suivi régulier à l'effluent final

Paramètres	Fréquences		
	Colonne I	Colonne II	Colonne III
	En continu	3/sem.	1/sem.
Ph		MES ¹	As
Débit		Débit pH	Cu Fe Ni Pb Zn

¹ Échantillonnage mensuel à effectuer sur les eaux de non-contact également

5.3 Suivi trimestriel

Mason Graphite analysera et mesurera de façon trimestrielle tous les paramètres des eaux usées issues du site minier et du site du concentrateur du Tableau 5-2.

Tableau 5-2 : Paramètres de mesure du suivi trimestriel

Paramètres usuels	Nutriment	Élément métallique	Famille des Sulfures	Paramètres biologique
Alcalinité	Azote ammoniacal	Aluminium	Sulfures	Toxicité aiguë
Chlorures		Argent	Thiosulfates	
Conductivité	Azote total	Arsenic	Thiosels	
DBO ₅	Kjeldahl	Barium		
DCO	Nitrites + nitrates ¹	Cadmium		
Débit	Phosphore total	Calcium		
Dureté		Cobalt		
Fluorures		Chrome		
		Cuivre		

Paramètres usuels	Nutriment	Élément métallique	Famille des Sulfures	Paramètres biologique
Hydrocarbures C ₁₀ -C ₅₀ Matières en suspension pH Solides dissous Solides totaux Substances phénoliques (indice phénol) Sulfates Turbidité		Fer Magnésium Manganèse Mercure Molybdène Nickel Plomb Potassium Silicium Sodium Uranium ² Zinc		

¹ Échantillonnage à effectuer au site minier seulement

² Échantillonnage à effectuer au site du concentrateur seulement

5.4 Rapports de suivi durant l'exploitation

5.4.1 *Rapport mensuel*

Mason Graphite transmettra un rapport mensuel d'exploitation à la direction régionale du Ministère. Celui-ci contiendra les résultats des analyses de chacun des effluents finaux, les mesures prises durant le mois visé, le nombre de jours d'écoulement ainsi que le calcul mensuel et trimestriel de charge. Devra ressortir de ce rapport les cas de non-respect des exigences du Ministère et les mesures prises pour en prévenir et éliminer les causes. De plus il contiendra les dates et les résultats des inspections.

5.4.2 *Rapport annuel*

Le rapport annuel contiendra :

- Un résumé des activités courantes de l'année (tonnage extrait et usiné, nombre de jours de production, arrêt temporaire des activités, etc.) faisant état des problèmes survenus et susceptibles d'avoir des répercussions sur l'environnement (p. ex. : déversements accidentels) et des mesures prises pour y remédier;
- Le calcul des charges annuelles;
- La quantité annuelle (en tonnes métriques) de chaque résidu minier et leur répartition par mode de gestion (remblai sous terre, élimination dans les aires d'accumulation de résidus miniers, réutilisation, etc.);
- La superficie touchée (en hectare) par les aires d'accumulation de résidus miniers et les bassins de traitement;
- Les résultats du suivi des eaux souterraines et une interprétation des résultats de la qualité de ces eaux;



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

- Le bilan des eaux ou la mise à jour de celui-ci s'il a déjà été soumis au ministère. Le rapport doit faire état du taux d'utilisation d'eau usée minière et du taux d'efficacité d'utilisation d'eau usée sur le site du concentrateur ainsi que de toutes les données nécessaires à leur calcul (volume annuel d'eau usée minière réutilisée, volume annuel d'eau fraîche utilisée et volume annuel à l'effluent final);
- Les résultats du calcul du débit de percolation de chaque aire d'accumulation de résidus miniers de niveau a, y compris toutes les données nécessaires à leur calcul;
- Les informations concernant la vérification annuelle de la précision des systèmes de mesure de débit en continu;
- Les modifications apportées au programme d'inspection périodique de stabilité physique;
- Les actions correctives apportées aux éléments jugés inadéquats par les inspections périodiques;
- Les modifications apportées au plan d'intervention en cas de déversement accidentel.

Le rapport annuel comprendra également une section faisant la synthèse des travaux de restauration (incluant les travaux de restauration progressive) réalisés durant l'année, y compris l'emplacement et les superficies restaurées, de même que les mesures de suivi mises en place.

Le rapport annuel sera rempli et transmis au Ministère dans les quatre-vingt-dix jours qui suivent la fin de l'année civile visée, et ce jusqu'à la fin de la période transitoire menant à la restauration complète du site.

6. Références

- [1] Étude environnementale de base – Propriété du Lac Guéret, N/Réf. : 102440.001, Roche Ltée, Groupe-conseil, novembre 2013
- [2] Water Management Plan for the Mine Site and Storm Water Management Strategy for the Plant Site, H347199-0000-16-124-0001, Rev. A, Hatch, 2015
- [3] Gestion des eaux – Concentrateur, H347199-0000-05-220-0006, Rev. 0, Hatch, juin 2016
- [4] Résultats des essais cinétiques en colonne des roches stériles et des résidus miniers par l'URSTM, PU-2014-12-946 – Colonnes Mason.xlsx, 2016
- [5] MEND Study to Identify BATEA for the Management and Control of Effluent Quality from Mines, Rapport 3.50.1, Hatch, septembre 2014
- [6] Environment Design Criteria, H347199-0000-07-122-0001, Rev.0, Hatch, avril 2015
- [7] Directive 019 sur l'industrie minière, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), Révision 2012, [Disponible en ligne] http://www.mddep.gouv.qc.ca/milieu_ind/directive019/

RBS :mpc



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

Annexe A

Gestion des eaux de surface aux sites de la mine et du concentrateur

(Figures 5-4 A, B, C et Figure 5-11 révisée)



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

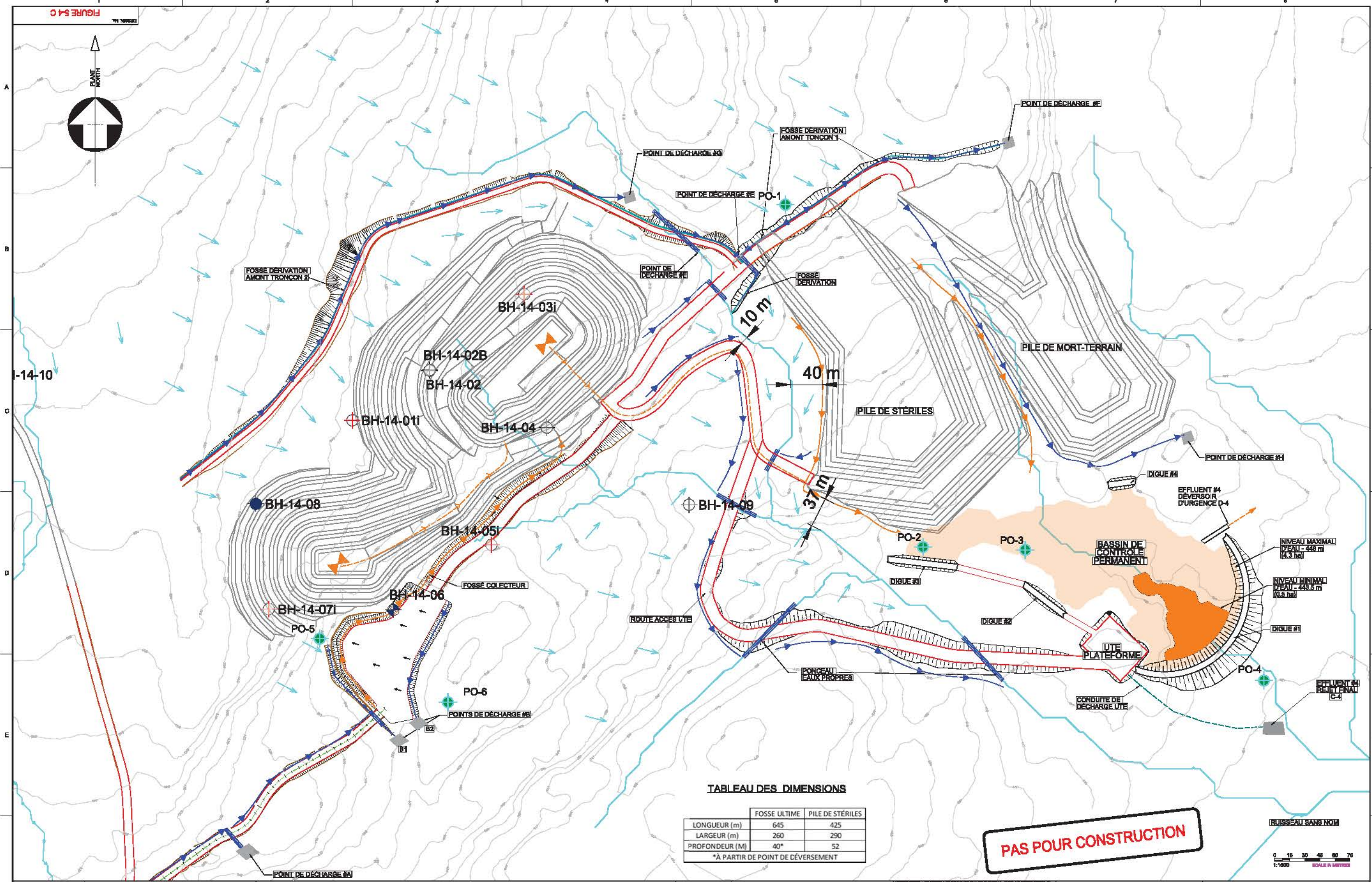


TABLEAU DES DIMENSIONS

	FOSSÉ ULTIME	PILE DE STÉRILES
LONGUEUR (m)	645	425
LARGEUR (m)	260	290
PROFONDEUR (M)	40*	52

*À PARTIR DE POINT DE DÉVERSEMENT

PAS POUR CONSTRUCTION

0 15 30 45 60 75
1:1000
SCALETTE EN METRES

DESIGN No.	TITRE DU DESIGN

LÉGENDE:

- PUIS D'OBSERVATION EXISTANT
- PIEZOMÈTRE EXISTANT
- PONCEAU
- ENDOCHEMENT SUR GEOTEXTILE
- CONDUITE EAU TRAITÉE
- COURS D'EAU NATUREL
- CONDUITE EAU AVEC CONTACT
- EAUX SANS CONTACT
- EAUX DE CONTACT
- SYSTÈME DE POMPAGE
- PUIS D'OBSERVATION ADDITIONNEL

SUIVI DES EAUX SOUTERRAINES

No.	DESCRIPTION	PAR	VENIR	DATE

HATCH

DESIGNÉ PAR: J. GUYARD
 CONCEPT PAR: D. ANZURES-MEYER
 VÉRIFIÉ PAR: A. LE BAUTREUX
 COORD. DESIGN: [blank]
 PROJ. DE PROJET: [blank]
 DIR. PROJ. DEB.: [blank]
 DIR. PROJ. DEB.: [blank]
 DIR. PROJ. DEB.: [blank]

MASON

**ÉTUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL
 SITE DE LA MINE (LAC GUÉRET)
 GESTION DES EAUX DE SURFACE
 FIN EXPLOITATION (ANNÉE 25)**

STATUT DU DESIGN: [blank]
 NO. DE PROJET: [blank]
 NOM: [blank]
 SIGNATURE: [blank]
 DATE: [blank]

DESIGN No. **FIGURE 5-4 C**

REV. **0**

Annexe B

Objectifs environnementaux de rejet préliminaires (MDDELCC, 2015)



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

OBJECTIFS ENVIRONNEMENTAUX DE REJET PRÉLIMINAIRES POUR LA MINE DU LAC GUÉRET

2015-10-26

1. Introduction

Les objectifs environnementaux de rejet (OER) préliminaires applicables aux effluents de la mine du Lac Guéret vous sont transmis avec la description des différents éléments retenus pour leur calcul.

La détermination des OER a pour but le maintien et la récupération de la qualité du milieu aquatique. Des objectifs de rejet qualitatifs et quantitatifs pour les contaminants chimiques et pour la toxicité globale de l'effluent sont définis pour atteindre ce but. Les critères de qualité de l'eau de surface sur la base desquels sont établis ces objectifs sont présentés dans le document *Critères de qualité de l'eau de surface* (MDDEFP, 2013).

Les objectifs qualitatifs sont reliés principalement à la protection de l'aspect esthétique des plans d'eau. Les objectifs quantitatifs sont spécifiques aux différents contaminants présents dans l'effluent. Ils définissent les concentrations et charges maximales de ces contaminants qui peuvent être rejetées dans le milieu aquatique tout en respectant les critères de qualité de l'eau à la limite d'une zone de mélange restreinte.

La toxicité globale de l'effluent est, pour sa part, vérifiée à l'aide d'essais de toxicité aiguë et chronique. Son suivi est nécessaire pour s'assurer de l'absence d'effets toxiques potentiels sur la vie aquatique liés à la présence simultanée de multiples contaminants.

2. Contexte d'utilisation des OER

Les OER ne tiennent pas compte des contraintes analytiques, économiques et technologiques. Ils permettent d'évaluer l'acceptabilité environnementale des activités d'une entreprise ou d'un projet. Ces activités peuvent ainsi être jugées préoccupantes pour l'environnement sur la base du nombre de paramètres qui dépassent les OER, de la fréquence des dépassements ou de leur amplitude.

Dans tous les cas, l'utilisation des OER se fait en complémentarité avec une approche technologique. Lorsque les OER sont peu contraignants par rapport à la technologie couramment disponible, les normes doivent correspondre, au minimum, à la performance de cette technologie.

Des OER qui sont contraignants peuvent servir à identifier les substances les plus problématiques, à rechercher des produits de remplacement, à utiliser des technologies de traitement plus avancées, à favoriser un meilleur contrôle à la source et la mise en place de technologies propres visant la réduction du débit et des charges polluantes. Ils peuvent également conduire à la relocalisation du point de rejet pour protéger certains milieux récepteurs plus sensibles ou justifier le refus d'un projet ou d'une activité proposée.

Les OER peuvent aussi servir à établir des exigences supplémentaires de rejet ou de suivi. Ils ne doivent cependant pas être transférés directement comme normes dans un certificat d'autorisation sans analyse préalable des technologies de traitement existantes. En effet, les

normes inscrites dans un certificat d'autorisation doivent être atteignables avec une technologie dont la performance est connue.

Les explications concernant la méthode de calcul des OER sont présentées dans le document *Calcul et interprétation des objectifs environnementaux de rejet pour les contaminants du milieu aquatique, 2^e édition* (MDDEP, 2007). Toute l'information liée à l'utilisation des OER apparaît dans les *Lignes directrices pour l'utilisation des objectifs environnementaux de rejet relatifs aux rejets industriels dans le milieu aquatique* (MDDEP, 2008).

3. Description sommaire de l'entreprise

Le projet de mine de graphite du Lac Guéret est situé à 285 km au nord-ouest de Baie-Comeau, dans le territoire non organisé de Rivière-aux-Outardes, non loin du réservoir Manicouagan. Le minerai sera extrait d'une fosse à ciel ouvert au rythme d'un sautage aux deux semaines. Il sera ensuite entreposé sur une pile en attendant d'être transporté par camion vers le concentrateur de l'entreprise qui sera localisé à Baie-Comeau.

Site minier

Environ 190 000 tonnes de minerai seront extraites annuellement de la mine à ciel ouvert. Après 25 ans d'opération, la fosse couvrira une superficie de 13 ha et aura une profondeur d'environ 90 m. Les opérations minières se dérouleront 10 heures par jour, 7 jours par semaine et sur une période de 10 à 12 mois par année. Il est, en effet, prévu de cesser le camionnage du minerai en période de dégel (avril et mai). Les activités à la mine pourront toutefois se poursuivre, au besoin, durant cette période.

Le minerai extrait de la fosse sera entreposé sur une aire dédiée en attente de son transport vers Baie-Comeau. Les stériles et le mort-terrain seront empilés dans deux haldes distinctes localisées à l'est de la fosse. Les eaux de ruissellement des piles de minerai, des haldes à stériles et à mort-terrain et les eaux d'exhaure de la fosse seront dirigées vers un bassin de contrôle qui sera aménagé au sud des haldes après 3 ou 4 ans d'exploitation. Un fossé d'interception temporaire situé au sud de la fosse et un bassin d'interception temporaire situé au sud des haldes auront suffisamment de capacité pour permettre de contrôler la qualité des rejets pendant les premières années.

Le traitement des eaux prévu au bassin de contrôle est une décantation des MES et un ajustement du pH. L'effluent du bassin sera rejeté en continu toute l'année dans un ruisseau sans nom tributaire du lac sans nom situé au nord du site. Au besoin, une usine de traitement des effluents (UTE) pourra être aménagée en aval du bassin de contrôle. Le débit moyen de l'effluent minier est estimé à 40 m³/h (960 m³/jour).

Selon les critères de la *Directive 019*, les stériles seraient lixiviables pour l'aluminium, le manganèse et le zinc. Certains d'entre eux seraient également considérés acidogènes. Tous les stériles seront cependant gérés comme ayant un potentiel de génération d'acide.

Un camp fournissant l'hébergement sur le site pour une dizaine de travailleurs sera situé à 2,5 km à l'ouest de la fosse, non loin du lac Galette. L'eau potable proviendra de la nappe souterraine. Les eaux usées domestiques seront acheminées vers une fosse septique munie de champs d'épuration.

Concentrateur de Baie-Comeau

Le concentrateur sera implanté dans le futur Parc industriel Jean-Noël-Tessier entre les secteurs Baie-Comeau et Hauterive. Le minerai sera concassé et broyé, puis le graphite sera extrait par flottation. Le concentré sera ensuite filtré, séché, tamisé, puis emballé. L'usine sera conçue pour produire annuellement 52 000 tonnes de concentré de graphite à une pureté moyenne de 95 %.

En raison du caractère acidogène des résidus et du fait qu'ils soient lixiviables (pour le cadmium, le nickel, l'uranium et le zinc), ils seront filtrés et épaissis, puis disposés en piles de gâteaux filtrés. De façon à limiter leur contact avec l'air pour minimiser l'oxydation des sulfures, les piles de résidus seront recouvertes d'une couche d'étanchéisation de matériel inerte et graduellement revégétées.

L'eau de ruissellement de la pile de minerai, de même que l'eau provenant du parc à résidus, sera dirigée vers un réservoir d'eau brute. Ce dernier recevra également l'eau provenant de la filtration des résidus. Le temps de séjour dans le réservoir d'eau brute sera suffisamment long pour permettre la sédimentation des MES, autorisant ainsi la recirculation de l'eau vers le concentrateur. Un faible appoint d'eau fraîche proviendra du lac Petit-Bras.

L'excédent d'eau du réservoir d'eau brute sera envoyé à une unité de traitement pour l'enlèvement des MES, des thiosels et des métaux dissous. L'effluent final, d'un débit de 0 à 15 m³/h, sera rejeté dans un petit ruisseau sans nom, affluent de la rivière Petit-Bras.

Les services d'aqueduc et d'égout au site du concentrateur seront fournis par la ville de Baie-Comeau.

4. Objectifs qualitatifs

Les eaux rejetées dans le milieu aquatique ne devraient contenir aucune substance en quantité telle qu'elle puisse causer des problèmes d'ordre esthétique. Cette exigence s'applique, entre autres, aux débris flottants, aux huiles et graisses, à la mousse et aux substances qui confèrent à l'eau un goût ou une odeur désagréable, de même qu'une couleur et une turbidité pouvant nuire à quelques usages du cours d'eau.

L'effluent ne devrait pas contenir de matières décantables en quantité telle qu'elles puissent causer l'envasement des frayères, le colmatage des branchies des poissons, l'accumulation de polluants sur le lit du cours d'eau ou une détérioration esthétique du milieu récepteur.

Enfin, l'effluent devrait être exempt de toute substance en concentration telle qu'elle puisse entraîner une production excessive de plantes aquatiques, de champignons ou de bactéries et qu'elle puisse nuire, être toxique ou produire un effet physiologique néfaste ou une modification de comportement à toute forme de vie aquatique, semi aquatique et terrestre. L'effluent doit aussi être exempt de substances en concentration telle qu'elles augmentent les risques pour la santé humaine (MDDEFP, 2013).

5. Objectifs quantitatifs

Le calcul des OER est généralement basé sur un bilan de charge appliqué sur une portion du cours d'eau allouée pour la dilution de l'effluent. Ce bilan est établi de façon à ce que la charge de contaminants présente en amont du rejet, à laquelle est ajoutée la charge de l'effluent, respecte la charge maximale admissible à la limite de la zone de mélange. Cette charge maximale est déterminée à partir des critères de qualité de l'eau en vue d'assurer la protection ou la récupération des usages du milieu. En l'absence de zone de mélange, comme c'est le cas ici, les critères de qualité de l'eau s'appliquent directement à l'effluent. Aucun bilan de charge n'est alors effectué.

5.1 Sélection des contaminants

Les paramètres faisant l'objet d'une norme en vertu de la *Directive 019* ont été automatiquement retenus comme paramètres d'intérêt, à l'exception des cyanures totaux puisqu'il ne s'agit pas d'une mine d'or et qu'il n'y a pas d'utilisation de cyanures dans le procédé.

La sélection des paramètres repose également sur les résultats des essais de lixiviation statiques, des essais cinétiques en colonnes et des analyses chimiques effectuées sur le minerai, les stériles et les résidus, ainsi que sur les caractéristiques physicochimiques de l'eau souterraine. Ces informations nous renseignent sur les contaminants susceptibles d'être présents dans les eaux minières pour lesquels il nous faut vérifier s'ils entraînent un risque pour l'écosystème aquatique.

Les nitrites, les nitrates et l'azote ammoniacal ont été retenus au site de la mine en raison de l'utilisation d'explosifs à base de composés nitrés.

5.2 Éléments de calcul des objectifs environnementaux de rejet

Les OER ont été calculés en considérant les éléments qui suivent :

- **Les usages du milieu récepteur**

La mine est située dans la municipalité de Rivière-aux-Outardes. L'effluent minier sera rejeté dans un cours d'eau sans nom dont la superficie à l'emplacement du point de rejet est de 6,6 km². Ce cours d'eau s'écoule sur près de deux kilomètres avant d'atteindre un lac, également sans nom. Ce dernier rejoint ensuite une baie du réservoir Manicouagan, située environ quatre kilomètres plus en aval. L'ensemble des cours d'eau et lacs du site constituent des habitats du poisson. On y retrouve principalement de l'omble de fontaine et du mullet perlé.

Le concentrateur sera situé à Baie-Comeau et l'effluent minier se rejettera dans un cours d'eau récepteur sans nom dont la superficie drainée au point de rejet n'est que de 2,88 km². Ce cours d'eau sans nom s'écoule sur près de trois kilomètres avant d'atteindre le ruisseau Le Petit Bras. Ce dernier rejoint moins de 100 mètres plus loin la rivière Amédée, laquelle rejoint l'estuaire du fleuve Saint-Laurent deux kilomètres en aval. La rivière Amédée est un site de pêche occasionnelle, principalement dans le secteur de son embouchure au fleuve Saint-Laurent. Plusieurs sentiers pédestres sont également présents sur ses berges.

- ***Les critères de qualité de l'eau pour la protection et la récupération des usages***

Les critères de qualité considérés pour le calcul des OER sont les critères de vie aquatique chronique (CVAC) et les critères de prévention de la contamination des organismes aquatiques (CPC(O)) qui assurent la protection de la vie aquatique et la prévention de la contamination de l'eau et des organismes aquatiques pouvant nuire à la consommation humaine. Ces critères proviennent de la publication *Critères de qualité de l'eau de surface* (MDDEFP, 2013).

Les métaux, les composés azotés (azote ammoniacal, nitrites et nitrates), les solides dissous et les matières en suspension (MES) constituent des contaminants caractéristiques des activités minières. La biodisponibilité et, par conséquent, la toxicité de certains métaux sont influencées par les caractéristiques locales particulières du milieu récepteur : le pH, la dureté et le carbone organique dissous. Les critères génériques de qualité de l'eau de surface prennent en considération ces éléments de façon partielle. Ces critères demeurent cependant sécuritaires pour la plupart des situations. Ils permettent de faire une première évaluation sommaire de l'impact potentiel du rejet à venir.

Le promoteur peut, s'il le désire, procéder à la détermination de critères de qualité propres au site. Ces critères permettent de préciser le risque associé au rejet d'un contaminant lorsqu'un exploitant considère que des conditions particulières du milieu le nécessitent (MDDEFP, 2013). Ces procédures sont principalement utilisées pour déterminer des critères particuliers pour certains métaux, bien qu'elles puissent servir pour d'autres paramètres. Elles sont décrites dans U.S. EPA (1994 et 2001) et CCME (2003).

- ***Les données représentatives de la qualité des eaux du milieu récepteur***

La toxicité de certains contaminants pour la vie aquatique varie avec les caractéristiques physico-chimiques du milieu récepteur, tels le pH, la dureté, la température, les MES et la concentration en chlorures. Pour ces contaminants, le critère de qualité de l'eau varie alors en fonction d'une ou de plusieurs caractéristiques de l'eau. La dureté du cours d'eau récepteur est à la base des critères de qualité de certains métaux, le pH et la température permettent d'évaluer le critère de l'azote ammoniacal et les chlorures, le critère des nitrites.

Pour la dureté, le pH et les chlorures, les valeurs retenues pour le site de la mine proviennent d'un échantillonnage réalisé par le promoteur en août 2012 dans différents ruisseaux de la zone d'étude (Roche, 2013). Au site du concentrateur, les valeurs retenues proviennent de la Banque de qualité du milieu aquatique (BQMA) du MDDELCC puisque le promoteur n'a fourni aucune donnée dans son étude d'impact. Pour les matières en suspension et le pH, les données proviennent de la station 07110001 (2012-2014) située sur la rivière Manicouagan au pont-route de la 138 à Baie-Comeau. Pour la dureté, la valeur utilisée provient de la station 07100047 (2013) située sur la Rivière-aux-Outardes en amont du pont de la scierie au nord de Chute-aux-Outardes.

Les tableaux 1 et 2 présentant les OER identifient la provenance des valeurs amont retenues.

- ***Le débit d'effluent***

Au site de la mine, le débit moyen de l'effluent rejeté au ruisseau sans nom sera de 40 m³/h.
Au site du concentrateur, le débit rejeté au ruisseau sans nom variera entre 0 et 15 m³/h.

- ***Le débit du cours d'eau alloué pour la dilution de l'effluent***

La méthode de calcul des OER intègre plusieurs paramètres, dont le débit du cours d'eau considéré pour la dilution de l'effluent à l'aval immédiat du point de rejet en conditions critiques (MDDEP, 2007). Dans un petit cours d'eau où l'effluent se mélange rapidement dans toute la masse d'eau, le débit alloué pour la dilution de l'effluent est le débit d'étiage.

Au site de la mine, où la superficie drainée à l'emplacement du point de rejet de l'effluent est de 6,6 km², les débits d'étiage du cours d'eau sans nom ont été estimés à partir d'un ensemble de stations hydrométriques du ministère. Toutefois, sur le terrain, des débits pratiquement nuls ont été observés en période hivernale (Hatch, 2016). Dans une telle situation, le débit d'étiage que nous considérons pour la dilution de l'effluent est nul (note du 13 octobre 2016 de M. Jean Francoeur à Mme Mireille Paul).

Au site du concentrateur, la superficie du bassin versant au point de rejet de l'effluent est de 2,88 km² (Hatch, 2015). Compte tenu des incertitudes liées à l'estimation des débits d'étiage dans de très petits bassins versants (superficie inférieure à 5 km²) et de la possibilité d'assèchement de ceux-ci, les débits d'étiage sont considérés nuls dans le calcul des OER et aucune zone de mélange n'est accordée.

Pour les deux sites, aucune zone de mélange ne sera considérée et les OER correspondent alors aux critères de qualité de l'eau (MDDEFP, 2013).

5.3 Présentation des objectifs environnementaux de rejet

Les OER applicables à chacun des effluents de la mine du Lac Guéret sont présentés aux tableaux 1 et 2. En l'absence de dilution, ces OER correspondent aux critères de qualité de l'eau de surface. Ceux-ci sont exprimés en termes de concentration uniquement puisque dans ces conditions, c'est la concentration allouée à l'effluent qui contrôle la concentration résultante dans le milieu récepteur. L'OER le plus restrictif a été retenu pour chaque contaminant dans le but d'assurer la protection de tous les usages du milieu récepteur.

Tableau 1 : Mine du Lac Guéret - Site de la mine (TNO de Rivière-aux-Outardes)
Objectifs environnementaux de rejet préliminaires pour l'effluent final
(Qe = 40 m³/h)

26 octobre 2016

Contaminants	Usages	Critères mg/L	Concentrations allouées à l'effluent ⁽¹⁾ mg/L	Périodes d'application
Conventionnels				
Matières en suspension	CVAC	6,0 (2)	6,0 *	Année
Phosphore total (mg/L-P)			(3)	Année
Métaux				
Argent	CVAC	0,00010 (4)	0,00010 (5) *	Année
Arsenic	CPC(O)	0,021	0,021	Année
Baryum	CVAC	0,12 (4)	0,12 *	Année
Cadmium	CVAC	0,00011 (4)	0,00011 (5) *	Année
Chrome total	CVAC	0,011	0,011 (6) *	Année
Cobalt	CVAC	0,10	0,10 *	Année
Cuivre	CVAC	0,0033 (4)	0,0033 *	Année
Fer	CVAC	1,3	1,3 *	Année
Manganèse	CVAC	0,67 (4)	0,67 *	Année
Molybdène	CVAC	3,2	3,2 *	Année
Nickel	CVAC	0,019 (4)	0,019 *	Année
Plomb	CVAC	0,00069 (4)	0,00069 (5) *	Année
Zinc	CVAC	0,043 (4)	0,043 *	Année
Autres paramètres				
Azote ammoniacal (estival) (mg/l-N)	CVAC	1,22 (7)	1,22 *	1er juin-30 nov
Azote ammoniacal (hivernal) (mg/l-N)	CVAC	1,90 (7)	1,90 *	1er déc-31 mai
Fluorures	CVAC	0,20	0,20 *	Année
Nitrates (mg/L-N)	CVAC	2,9	2,9 *	Année
Nitrites (mg/L-N)	CVAC	0,020 (8)	0,020 *	Année
pH	CVAC		6 à 9,5 (9)	Année
Sulfates	CVAC	500 (10)	500 *	Année
Essais de toxicité				
Toxicité aiguë	VAFe	1 UTa	1 UTa (11)	Année
Toxicité chronique	CVAC	1 UTc	1 UTc (12)	Année
Paramètres de suivi				
Conductivité			SUIVI (13)	Année
Dureté			SUIVI (13)	Année
Solides dissous totaux			SUIVI (13)	Année

CPC(O) : Critère de prévention de la contamination des organismes aquatiques

VAFe: Valeur aiguë finale à l'effluent

CVAC : Critère de vie aquatique chronique

* Les concentrations allouées à l'effluent marquées d'un astérisque doivent être divisées par 2 avant d'être comparées à la concentration attendue à l'effluent ou à la moyenne des données.

(1) Pour les différents contaminants, cette concentration doit correspondre à la fraction totale à l'exception des métaux où elle doit correspondre à la fraction extractible totale.

(2) Le calcul du critère des matières en suspension (MES) correspond à une augmentation de 5 mg/L par rapport à la concentration naturelle. Celle-ci a été estimée à 1 mg/L, ce qui correspond à la moitié de la limite de détection provenant de l'étude de Roche (2013).

**Tableau 1 : Mine du Lac Guéret - Site de la mine (TNO de Rivière-aux-Outardes)
Objectifs environnementaux de rejet préliminaires pour l'effluent final
($Q_e = 40 \text{ m}^3/\text{h}$) - Suite**

26 octobre 2016

- (3) Les critères de qualité du phosphore peuvent être utilisés pour évaluer la détérioration d'un lac. Ils ne peuvent toutefois pas servir à évaluer les charges de phosphore qui peuvent y être rejetées. En conséquence, aucun OER ne peut être calculé pour ce paramètre. Le rejet de ce contaminant devra être minimisé et faire l'objet d'une norme et d'un suivi. La limite de détection de la méthode d'analyse devra être inférieure ou égale à 0,05 mg/L Ptot.
- (4) Critère calculé pour un milieu récepteur dont la dureté médiane est de 30 mg/L CaCO_3 selon les données de Roche (2013).
- (5) Pour le suivi des contaminants, il faut utiliser des méthodes analytiques ayant une limite de détection plus petite ou égale à l'OER. Les paramètres suivants ont une limite de détection plus élevée que l'OER : argent 5E-04 mg/L; cadmium 2E-04 mg/L et plomb 1E-03 mg/L. Pour ces paramètres, l'absence de détection à la limite précisée sera interprétée comme le respect de l'OER.
- (6) Pour le chrome, bien qu'il existe un critère de qualité de l'eau pour une ou des formes spécifiques de ce contaminant, l'OER est établi pour la forme totale. Une analyse des différentes formes permet de préciser le risque lorsque la concentration mesurée à l'effluent est supérieure à l'OER.
- (7) Les critères applicables à l'azote ammoniacal sont déterminés pour une température de 20 °C en été et de 7 °C en hiver et pour une valeur médiane de pH de 7 selon la médiane des données de Roche (2013).
- (8) Le critère de qualité des nitrites est calculé pour un milieu récepteur dont la concentration médiane en chlorures est de 0,09 mg/L selon les données de Roche (2013).
- (9) Cette exigence de pH, requise dans la *Directive 019* sur les mines et la majorité des règlements existants sur les rejets industriels, satisfait l'objectif de protection du milieu aquatique.
- (10) Le critère de qualité des sulfates est calculé pour un milieu récepteur dont la dureté est de 30 mg/L et la concentration en chlorures de 0,09 mg/L selon les données de Roche (2013).
- (11) L'unité toxique aiguë (UTA) correspond à 100/CL50 (%v/v) (CL50 : concentration létale pour 50 % des organismes testés). Les essais de toxicité demandés sont spécifiés à l'annexe 1.
- (12) L'unité toxique chronique (UTE) correspond à 100/CSEO (CSEO : concentration sans effet observable) ou 100/CI25 (CI25 : concentration inhibitrice pour 25% des organismes testés). Les essais de toxicité sont spécifiés à l'annexe 1.
- (13) Le suivi de ce paramètre devrait être effectué 4 fois par année au même moment que les essais de toxicité aiguë et chronique.

Tableau 2 : Mine du Lac Guéret - site du concentrateur (Baie-Comeau)
Objectifs environnementaux de rejet préliminaires pour l'effluent final
($Q_e = 0$ à $15 \text{ m}^3/\text{h}$) - Suite

26 octobre 2016

Contaminants	Usages	Critères mg/L	Concentrations allouées à l'effluent ⁽¹⁾ mg/L	Périodes d'application
Conventionnels				
Matières en suspension	CVAC	6,0 (2)	6,0 *	Année
Métaux				
Argent	CVAC	0,00010 (3)	0,00010 (4) *	Année
Arsenic	CPC(O)	0,021	0,021	Année
Baryum	CVAC	0,038 (3)	0,038 *	Année
Cadmium	CVAC	4,9E-05 (3)	4,9E-05 (4,5) *	Année
Chrome total	CVAC	0,011	0,011 *	Année
Cobalt	CVAC	0,10	0,10 *	Année
Cuivre	CVAC	0,0013 (3)	0,0013 *	Année
Fer	CVAC	1,3	1,3 *	Année
Manganèse	CVAC	0,26 (3)	0,26 *	Année
Molybdène	CVAC	3,2	3,2 *	Année
Nickel	CVAC	0,0074 (3)	0,0074 *	Année
Plomb	CVAC	0,00017 (3)	0,00017 (4) *	Année
Uranium	CVAC	0,014	0,014 *	Année
Zinc	CVAC	0,017 (3)	0,017 *	Année
Autres paramètres				
Fluorures	CVAC	0,20	0,20 *	Année
pH	CVAC		6 à 9,5 (6)	Année
Sulfates	CVAC	500	500 (7) *	Année
Essais de toxicité				
Toxicité aiguë	VAFe	1 UTa	1 UTa (8)	Année
Toxicité chronique	CVAC	1 UTc	1 UTc (9)	Année
Paramètres de suivi				
Conductivité			SUIVI (10)	Année
Sureté			SUIVI (10)	Année
Solides dissous totaux			SUIVI (10)	Année

CPC(O) : Critère de prévention de la contamination des organismes aquatiques

VAFe: Valeur aiguë finale à l'effluent

CVAC : Critère de vie aquatique chronique

* Les concentrations allouées à l'effluent marquées d'un astérisque doivent être divisées par 2 avant d'être comparées à la concentration attendue à l'effluent ou à la moyenne des données.

(1) Pour les différents contaminants, cette concentration doit correspondre à la fraction totale à l'exception des métaux où elle doit correspondre à la fraction extractible totale.

(2) Le calcul du critère des matières en suspension (MES) correspond à une augmentation de 5 mg/L par rapport à la concentration naturelle. Celle-ci a été évaluée à partir de la concentration médiane de 1 mg/L provenant de la station 07110001 (2012-2014) de la BQMA du MDDELCC.

(3) Critère calculé pour un milieu récepteur dont la dureté médiane est de 10 mg/L CaCO_3 , valeur plancher utilisée pour le calcul des critères de qualité de la majorité des métaux. Le milieu a une dureté de 5 mg/L selon les données de la station 07100047 (2013) de la BQMA du MDDELCC.

Tableau 2 : Mine du Lac Guéret - site du concentrateur (Baie-Comeau)

Objectifs environnementaux de rejet préliminaires pour l'effluent final

($Q_e = 0$ à $15 \text{ m}^3/\text{h}$) - Suite

26 octobre 2016

- (4) Pour le suivi des contaminants, il faut utiliser des méthodes analytiques ayant une limite de détection plus petite ou égale à l'OER. Les paramètres suivants ont une limite de détection plus élevée que l'OER: argent $5\text{E-}04 \text{ mg/L}$; cadmium $2\text{E-}04 \text{ mg/L}$ et plomb $1\text{E-}03 \text{ mg/L}$. Pour ces paramètres, l'absence de détection à la limite précisée sera interprétée comme le respect de l'OER.
- (5) Pour le chrome, bien qu'il existe un critère de qualité de l'eau pour une ou des formes spécifiques de ce contaminant, l'OER est établi pour la forme totale. Une analyse des différentes formes permet de préciser le risque lorsque la concentration mesurée à l'effluent est supérieure à l'OER.
- (6) Cette exigence de pH, requise dans la *Directive 019* sur les mines et la majorité des règlements existants sur les rejets industriels, satisfait l'objectif de protection du milieu aquatique.
- (7) Le critère de qualité des sulfates s'applique à des eaux dont la dureté est inférieure à 100 mg/L CaCO_3 et la concentration en chlorures inférieure à 5 mg/L .
- (8) L'unité toxique aiguë (UTA) correspond à $100/\text{CL}_{50}$ (%v/v) (CL_{50} : concentration létale pour 50 % des organismes testés). Les essais de toxicité demandés sont spécifiés à l'annexe 1.
- (9) L'unité toxique chronique (UTc) correspond à $100/\text{CSE}_0$ (CSE_0 : concentration sans effet observable) ou $100/\text{CI}_{25}$ (CI_{25} : concentration inhibitrice pour 25% des organismes testés). Les essais de toxicité sont spécifiés à l'annexe 1.
- (10) Le suivi de ce paramètre devrait être effectué 4 fois par année au même moment que les essais de toxicité aiguë et chronique.

5.4 Comparaison des rejets avec les objectifs environnementaux de rejet

La comparaison directe entre les OER et la concentration mesurée à l'effluent (moyenne à long terme ou MLT) ne permet pas toujours de vérifier correctement le respect des OER puisqu'elle ne prend pas en considération la variabilité de l'effluent et le mode d'action des contaminants dans le milieu. Pour tenir compte de ces éléments, le MDDELCC utilise une simplification de la méthode américaine qui s'appuie sur certaines lois statistiques. Selon celle-ci, la concentration attendue ou mesurée à l'effluent¹ est comparée à la moitié de l'OER pour les contaminants pour lesquels un OER a été calculé à partir des critères de vie aquatique chronique (CVAC). Lorsque l'OER est calculé à partir du critère de prévention de la contamination des organismes (CPC(O)), de même que pour l'OER relatif à la toxicité aiguë et au phosphore, la MLT est comparée directement à l'OER. Des informations sur la comparaison de la qualité des rejets avec les OER peuvent être obtenues dans les *Lignes directrices pour l'utilisation des objectifs environnementaux de rejet relatifs aux rejets industriels dans le milieu aquatique* (MDDEP, 2008).

Par ailleurs, il est nécessaire d'utiliser des méthodes analytiques ayant un seuil de détection plus petit ou égal à l'objectif de rejet ou à la moitié de l'objectif de rejet. Dans le cas où l'OER d'un contaminant est inférieur au seuil de détection, l'absence de détection, à la limite précisée au bas des tableaux, sera interprétée comme un respect de l'OER.

Les résultats de suivi doivent être exprimés en concentration totale pour tous les contaminants, à l'exception des métaux pour lesquels ils doivent être exprimés en métal extractible total. La forme extractible totale d'un métal est celle contenue dans un échantillon non filtré. Elle correspond à la somme du métal dissous et du métal lié aux particules, sans digestion du réseau silicaté (CEAEQ, 2012).

5.5 Toxicité globale de l'effluent

Le contrôle de la toxicité des eaux usées à l'aide d'essais de toxicité permet d'intégrer les effets cumulatifs de la présence simultanée de plusieurs contaminants, de même que l'influence des substances toxiques non mesurées.

Chacun des effluents de la mine du Lac Guéret ne doit pas dépasser une unité toxique pour les essais de toxicité aiguë (1 UTA) et 1 unité toxique pour les essais de toxicité chronique (1 UTC). Les essais de toxicité recommandés pour vérifier la toxicité de l'effluent sont présentés à l'annexe 1.

Dans une situation où il n'y a pas de dilution de l'effluent dans le milieu récepteur, comme c'est le cas ici, l'absence de toxicité aiguë à l'effluent n'assure pas à elle seule la protection des organismes aquatiques exposés à un rejet continu. Le suivi de la toxicité chronique s'avère donc essentiel pour vérifier l'impact potentiel que peut présenter l'effluent final sur les organismes aquatiques du milieu récepteur.

¹ Selon la méthode américaine, la comparaison avec l'OER est effectuée avec la moyenne d'un minimum de 10 données représentatives de la période du rejet.

RÉFÉRENCES

- Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ), 2012. *Terminologie recommandée pour l'analyse des métaux*, 4^e éd., Ministère du Développement durable de l'Environnement et des Parcs du Québec, 15 pages.
- Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME), 2003. *Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique. Établissement d'objectifs spécifiques au lieu*, dans : *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement du CCME*, Winnipeg, Le Conseil, 187 p.
- Hatch, 2015. *Projet d'exploitation du gisement de graphite naturel du Lac Guéret, Étude d'impact sur l'environnement*, 2 volumes et annexes.
- Hatch, 2016. *Projet d'exploitation du gisement de graphite naturel du Lac Guéret, Addenda à l'étude d'impact sur l'environnement*. Pagination multiple et annexes.
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), 2007. *Calcul et interprétation des objectifs environnementaux de rejet pour les contaminants du milieu aquatique*, 2^e édition, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN-978-2-550-49172-9 (PDF), 57 p. et 4 annexes.
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), 2008. *Lignes directrices pour l'utilisation des objectifs environnementaux de rejet relatifs aux rejets industriels dans le milieu aquatique*. Direction des politiques de l'eau, 41 p. et 3 annexes. En ligne : <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/ld-oer-rejet-indust-milieu-aqua.pdf>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement de la Faune et des Parcs (MDDEFP), 2013. *Critères de qualité de l'eau de surface*, 3^e édition, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-68533-3 (PDF), 510 p. et 16 annexes. En ligne : http://www.mddefp.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.asp.
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), 2014. *Protocole d'échantillonnage de l'eau de surface pour l'analyse des métaux en traces*, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN-978-2-550-69205-8 (PDF), 19 p.
- Roche, 2013. *Mason Graphite – Étude environnementale de base*.
- U.S. Environmental protection agency (U.S. EPA), 1994. *Interim Guidance on Determination and Use of Water-Effect Ratios for Metals*, Washington (DC), U.S. EPA, Office of Water, Office of Science and Technology, Office of Research and Development, Environmental Research Laboratories, 154 p. (EPA-823-B-94-001).
- U.S. Environmental protection agency (U.S. EPA), 2001. *Streamlined Water-Effect Ratio Procedure for Discharges of Copper*, Washington (DC), U.S. EPA, Office of Water, Office of Science and Technology, 35 p. (EPA-822-R-01-005).

Annexe 1 : ESSAIS DE TOXICITÉ SÉLECTIONNÉS POUR LA VÉRIFICATION DU RESPECT DES CRITÈRES DE TOXICITÉ GLOBALE À L'EFFLUENT POUR LA MINE DU LAC GUÉRET

Essais de toxicité aiguë

- détermination de la toxicité létale (CL₅₀ 48h) chez le microcrustacé *Daphnia magna*

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ), 2011. Détermination de la toxicité létale CL₅₀ 48h *Daphnia magna*. MA 500 – D.mag. 11. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 18 p.

- détermination de la létalité aiguë (CL₅₀ 96h) chez la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*)

Environnement Canada, 2000, modifié 2007. Méthode d'essai biologique : méthode de référence pour la détermination de la létalité aiguë d'effluents chez la truite arc-en-ciel, Section de l'élaboration et de l'application des méthodes, Ottawa, Publication SPE 1/RM/13, 2^e édition.

- détermination de la létalité aiguë chez le mené tête-de-boule (*Pimephales promelas*)

U.S. EPA, 2002. Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms (fifth edition), U.S. EPA, Office of Water, Washington D.C., EPA 821-02-012.

Essais de toxicité chronique

- détermination de la toxicité : inhibition de la croissance (CI₂₅ 96h) chez l'algue *Pseudokirchneriella subcapitata*

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ), 2011. Détermination de la toxicité : inhibition de la croissance chez l'algue *Pseudokirchneriella subcapitata*, MA 500 – P. sub. 1.0, révision 2, Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 21 p.

- détermination de la toxicité : inhibition de la croissance (CI₂₅ 7j) chez le cladocère *Ceriodaphnia dubia*

Environnement Canada, 2007. Méthode d'essai biologique : essai de reproduction et de survie du cladocère *Ceriodaphnia dubia*, Section de l'élaboration et de l'application des méthodes, Ottawa, Publication SPE 1/RM/21.

- Essai de croissance et de survie des larves de tête-de-boule (*Pimephales promelas*)

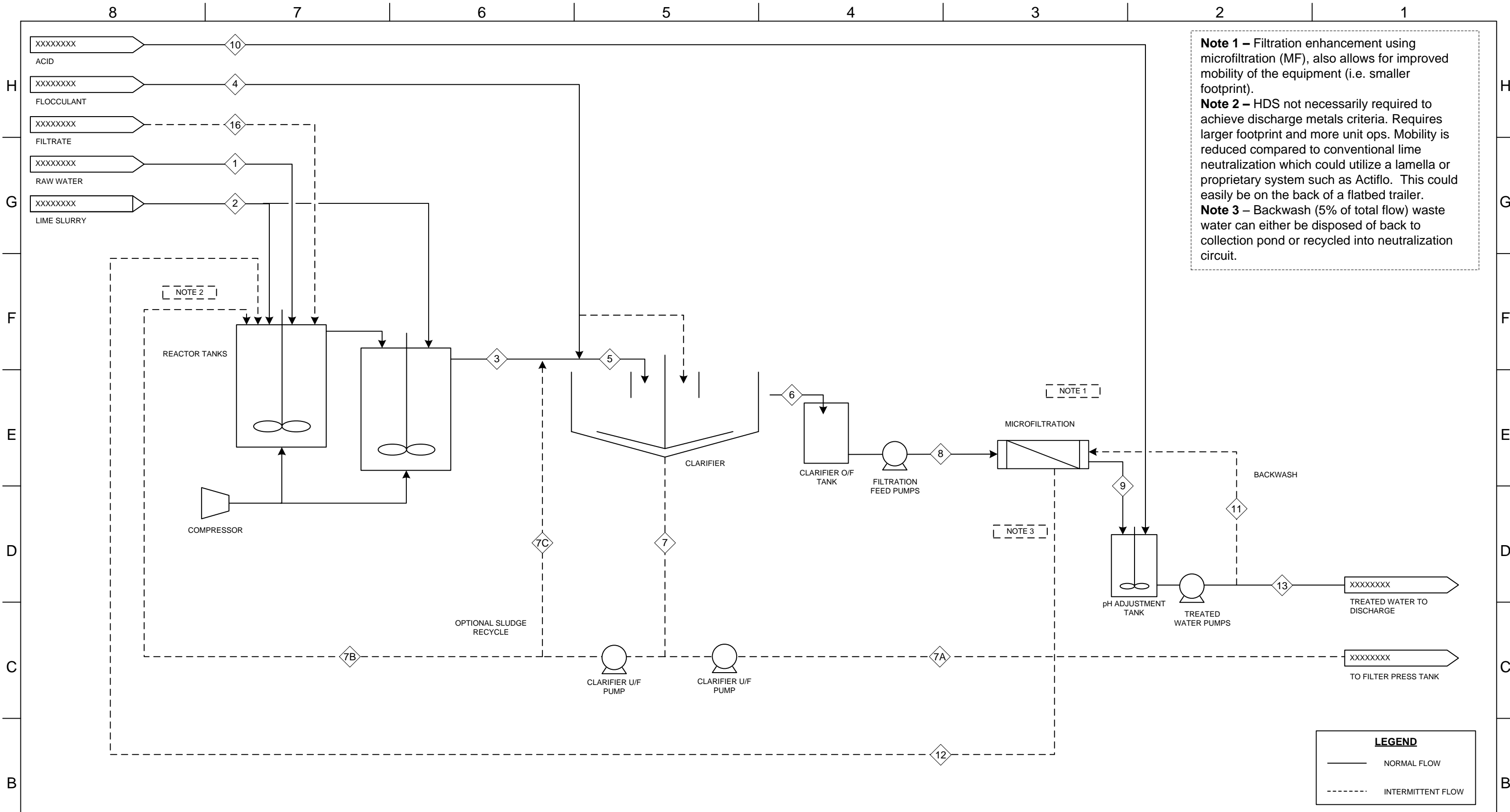
Environnement Canada, 1992. Méthode d'essai biologique : essai de croissance et de survie des larves de tête-de-boule. Environnement Canada, Conservation et Protection, Ottawa. SPE 1/RM/22, modifié novembre 1997.

Annexe C

Diagramme préliminaire de procédé du traitement de l'eau (Hatch, 2017)



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation



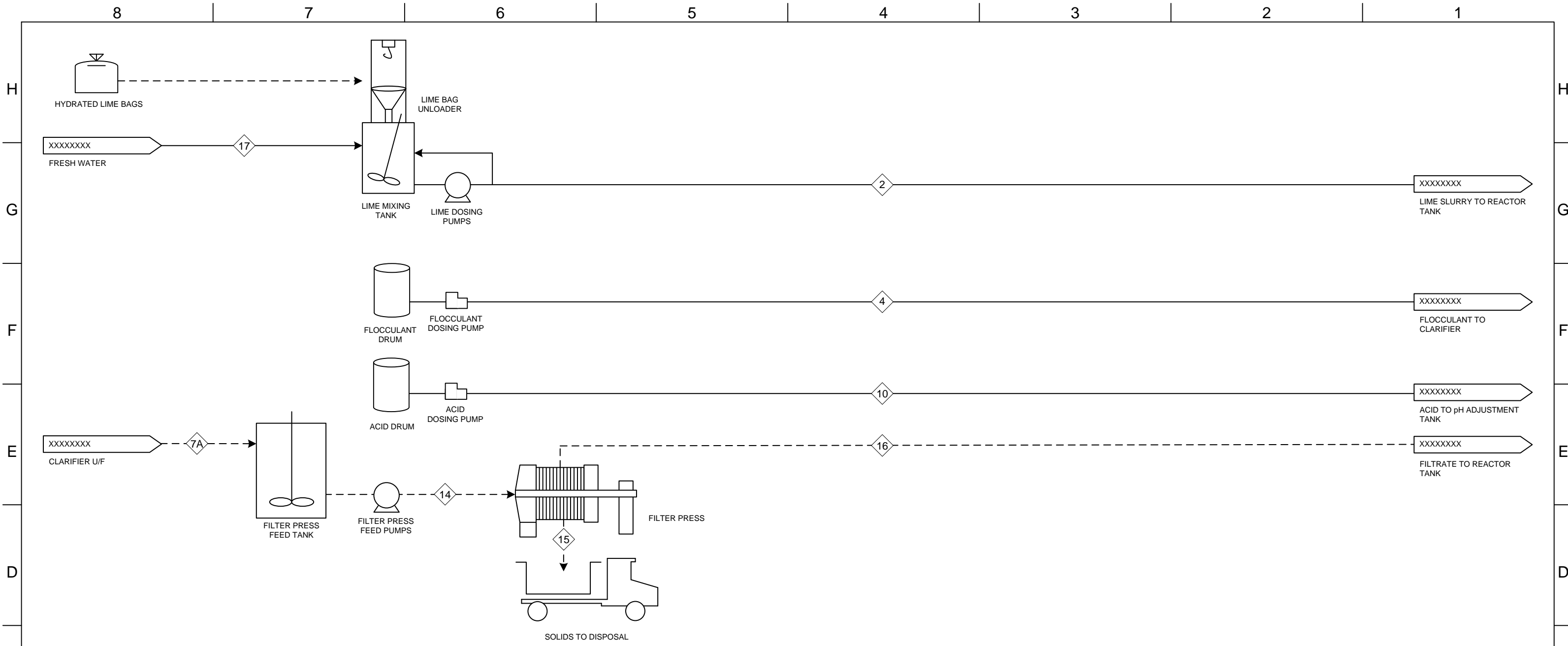
DRAWING NO.	DRAWING TITLE

REV.	DESCRIPTION	BY	CHK'D	APP'D	DATE

REV.	DESCRIPTION	BY	DATE

HATCH	
DESIGNED BY	DRAWN BY
CHECKED BY	DISCIP. ENGR.
PROJ. DES. COORD.	PROJ. ENGR.
PROJ. MGR.	

MASON GRAPHITE		
TITLE		
PROCESS FLOW DIAGRAM WATER TREATMENT PLANT		
SCALE	DWG. NO	REV.
NTS	-001	A



STREAM TABLE

VALUES	UNIT	1	2	3	4	5	6	7	7A	7B	7C	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Balance at Mine Site																					
Slurry Vol. Flow	m ³ /hr	140	7.04	147.0	0.03	147.1	139.1	7.8	7.8	-	-	139.1	139.1	0.03	-	-	139.1	7.8	2.0	5.8	7.0
Solids Content	g/L	0.10	150	8.09	0.01	8.10	0.1	150.0	150.0	-	-	0.1	0.00	0.035*	-	-	0	150.0	600.0	0.2	0.0
Dry Solids Mass Flow	kg/hr	14	1057	1190	0.3	1190.3	14	1176.4	1176.4	-	-	14	0	-	-	-	0	1176.4	1175.2	1	0
Balance at Concentrator																					
Slurry Vol. Flow	m ³ /hr	20	1.01	21.0	0.004	21.0	19.9	1.1	1.1	-	-	19.9	19.9	0.0004	-	-	19.9	1.1	0.3	0.8	1.0
Solids Content	g/L	0.1	19	8.09	0.01	8.10	0.1	150.0	150.0	-	-	0.1	0.00	0.035	-	-	0	150.0	600.0	0.2	0.0
Dry Solids Mass Flow	kg/hr	2	150	170	0.04	170.0	2	168.0	168.0	-	-	2	0	-	-	-	0	168.0	167.8	0.2	0.0
pH	pH units	3.3	12	10.5	7	10.5	10.5	10.5	10.5	-	-	10.5	10.5	<1	-	-	7.5	10.5	10.5	10.5	7.0

LEGEND

——— NORMAL FLOW

- - - - - INTERMITTENT FLOW

										HATCH				MASON GRAPHITE													
										DESIGNED BY		DRAWN BY		TITLE PROCESS FLOW DIAGRAM WATER TREATMENT PLANT													
										CHECKED BY		DISCIP. ENGR.															
										PROJ. DES. COORD.		PROJ. ENGR.															
										PROJ. MGR.																	
DRAWING NO.		DRAWING TITLE								REV.		DESCRIPTION		BY		CHK'D		APP'D		DATE		SCALE		DWG. NO		REV.	
		REFERENCE DRAWINGS																				NTS		-002		A	

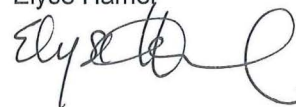
Note de service de projet

Le 31 mai 2017

DESTINATAIRE : Jacqueline Leroux

EXPÉDITEUR : Elyse Hamel

cc : Marie-Christine Patoine
Anne Le Sauteur
Jean L'Heureux



Mason Graphite

Modélisation de la dispersion atmosphérique au concentrateur

Mise à jour des modélisations avec de nouvelles mesures d'atténuation

Si vous êtes en désaccord avec l'information ci-incluse, veuillez nous en aviser dans les meilleurs délais



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

H348328-0000-07-220-0006, Rév. 0

Page 1

Avis au lecteur

Le présent rapport a été préparé, et les travaux qui y sont mentionnés ont été réalisés, par Hatch, exclusivement à l'intention de Mason Graphite Inc., qui a été impliqué directement dans l'élaboration de l'énoncé des travaux et qui en comprend les limites. La méthodologie, les résultats, les conclusions et les recommandations cités au présent rapport sont fondés uniquement sur l'étendue des travaux convenus avec Mason Graphite Inc. et assujettis aux exigences en matière d'échéancier et de budget, telles que décrites dans l'offre de service et dans le contrat gouvernant la production de l'Étude d'impact sur l'environnement. L'utilisation de ce rapport, le recours à ce dernier ou toute décision fondée sur son contenu par un tiers demeure la responsabilité exclusive de ce tiers. Hatch n'est pas responsable d'aucun dommage subi par un tiers suite à l'utilisation en tout ou en partie, de ce rapport ou de toute décision basée sur son contenu.

Les conclusions, les recommandations et les résultats cités au présent rapport :

- I. Ont été élaborés conformément au niveau de compétence attendu de professionnels exerçant des activités dans des conditions et champs d'expertise similaires;
- II. Sont établis selon le meilleur jugement de Hatch en fonction des informations recueillies et disponibles au moment de la préparation de ce rapport;
- III. Sont valides uniquement à la date du rapport;
- IV. Sont fondées en partie sur de l'information obtenues de tiers, dont Hatch, sauf indications contraires, se dégage de toute responsabilité en rapport avec l'exactitude de cette information développée par ces tiers.

Le présent rapport doit être considéré dans son ensemble et ses sections ou ses parties ne doivent pas être utilisées ou comprises hors du contexte de ce rapport. Si des différences venaient à se glisser entre la version préliminaire (ébauche) et la version définitive de ce rapport, la dernière version prévaudrait.

Finalement, rien dans ce rapport n'est mentionné avec l'intention de fournir ou de constituer un avis juridique ou une base d'évaluation financière.



Table des matières

1. Introduction	4
2. Changements apportés aux sources modélisées	4
3. Mesures d'atténuation prévues	5
3.1 Abat-poussières.....	5
4. Résultats	5
5. Dépassements et solutions proposées	9
6. Conclusion	14
Bibliographie	15

Liste des figures

Figure 5-1 : Zone de dépassement du critère horaire de silice cristalline	9
Figure 5-2 : Zones de dépassement du critère annuel de silice cristalline	10
Figure 5-3 : Résultats de concentration maximale horaire pour les particules PM ₁₀	13
Figure 5-4 : Résultats de concentration moyenne annuelle pour les particules PM ₄	14

Liste des tableaux

Tableau 4-1 : Résultats de concentration avec mesures d'atténuation ajoutées au modèle de dispersion atmosphérique.....	7
Tableau 5-1 : Réduction des taux d'émissions de particules selon le taux de silt.....	11
Tableau 5-2 : Résultats de concentration avec ajout d'un agent liant sur la pile de résidus (silt à 50%)...	12

Liste des annexes

Annexe A : Calculs
Annexe B : Figures



1. Introduction

Cette étude présente les résultats de modélisation de la dispersion atmosphérique pour le concentrateur de graphite de Mason Graphite en incluant de nouvelles mesures d'atténuation permettant de minimiser les impacts du projet sur la qualité de l'air. Les principales mesures d'atténuation identifiées permettent de minimiser les émissions de particules et de métaux dans l'environnement.

Les mesures d'atténuation présentées dans ce document ont été discutées avec les analystes du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) lors d'une rencontre téléphonique le 17 mai 2017 avec les participants suivants : Marie-Michelle Vézina (MDDELCC), Jean-François Brière (MDDELCC), Marie-Christine Patoine (Hatch) et Elyse Hamel (Hatch).

Dans les sections qui suivent, les modifications apportées au modèle, les mesures de mitigation additionnelles et les résultats mis à jour sont présentés.

2. Changements apportés aux sources modélisées

Suite à la rencontre avec le MDDELCC, quelques changements ont été apportés à certaines sources d'émission afin d'utiliser des paramètres moins conservateurs. Tout d'abord, une dimension verticale initiale du panache pour les piles a été ajoutée pour la pile de résidus et la pile de minerai. Cette dimension est calculée en utilisant la formule par défaut suivante :

$$\sigma_z = (\text{Hauteur de la pile})/4,3$$

Ensuite, une modification sur la surface active de la pile de résidus a été effectuée. Une nouvelle surface a été calculée en considérant un mois de production de résidus seulement au lieu d'une année complète de production pour établir la surface de la source. Cette réduction est possible en considérant que Mason Graphite utilisera un abat-poussière sur la portion de la pile qui n'est pas en cours d'utilisation.

De plus, afin de mieux analyser les concentrations ambiantes pour la silice, seules les sources qui émettent des particules avec un contenu élevé en silice ont été considérées dans la modélisation. Les sources suivantes sont considérées avec le taux de silice spécifié:

- Pile de résidus (41,7% de SiO₂);
- Emportement de poussière lié à la circulation de la chargeuse à résidus (41,7% de SiO₂);
- Emportement de poussière lié à la circulation des camions de résidus (20,85% de SiO₂ qui correspond à la moitié de la teneur en silice des résidus étant donné que la poussière sur la route ne provient pas seulement des résidus, mais également du minerai et du sol).

Les autres sources qui concernent davantage le transport et la manutention du minerai ont été désactivées dans ce scénario de modélisation dû au faible taux de silice dans le minerai et le fait que des abat-poussières sont utilisés pour minimiser l'emportement de poussière.



Finalement, les taux d'émissions utilisés pour la comparaison avec des critères annuels ont été factorisés par le taux d'utilisation prévu du concentrateur ($\pm 90\%$).

3. Mesures d'atténuation prévues

Plusieurs mesures d'atténuation sont incluses dans le calcul des taux d'émission de particules afin de réduire les concentrations de poussières. Ces mesures sont les suivantes :

- Arrosage des routes non pavées avec des abat-poussières certifiés.
- Végétalisation constante de la pile de résidus en cours d'exploitation.
- Maintien de l'humidité des résidus sur la pile active et arrosage du reste de la pile (qui n'est pas en cours d'utilisation) avec un abat-poussière qui permet de stabiliser les résidus et de limiter leur emportement.

Ces mesures d'atténuation permettent d'avoir une efficacité de réduction des émissions estimée à 95% pour les routes non-pavées. De plus, l'utilisation d'un abat-poussière sur la portion non-utilisée de la pile de résidus et le fait de la végétaliser permettent de considérer les émissions d'une certaine portion de la pile comme négligeable. Le maintien de l'humidité des résidus sur la portion active permettra de contrôler les émissions de poussières avec une efficacité estimée à 95%. Les mesures d'atténuation sont incluses dans le calcul des taux d'émission qui dont les détails sont présentés à l'Annexe A.

3.1 Abat-poussières

Les abat-poussières permettent de minimiser les émissions de particules en provenance de surface telles que des routes non-asphaltées ou des piles de matériaux en vrac. Leur efficacité est beaucoup plus grande que l'arrosage à l'eau. L'utilisation d'abat-poussière permet d'obtenir une efficacité de réduction de plus de 95% des émissions.

Les abat-poussières utilisés doivent obligatoirement être certifiés conformes par le BNQ à la norme BNQ 2410-300. Un abat-poussière de type chlorure de calcium conforme à la norme pourrait par exemple être utilisé.

4. Résultats

Les résultats présentés dans cette section comportent seulement les résultats pour lesquels des modifications ont été apportées suite à l'ajout de mesures de mitigation. Les résultats sont présentés sous forme de figures à l'Annexe B. Les contaminants ciblés sont les suivants :

- Particules en suspension totales;
- Particules fines;
- Manganèse;
- Silice;
- Titane.



Les autres contaminants (SO₂, NO₂, CO) présentés dans l'étude de dispersion atmosphérique initiale n'ont pas subi de changement suite à l'ajout de mesures de mitigation additionnelles. Ces contaminants ne sont pas émis en quantité suffisante pour provoquer des dépassements des normes et critères de la qualité de l'air. De plus, les autres métaux contenus en quantité très faible dans les résidus (chrome et vanadium) n'ont pas été modélisés suite à l'ajout de mesures de mitigation additionnelles étant donné que les résultats obtenus sont négligeables (moins de 1% des critères du MDDELCC).

Avec ces mesures d'atténuation, les normes et critères sont respectés pour tous les récepteurs sensibles identifiés. Toutefois, près de la limite de propriété et du parc industriel, il n'est pas possible de respecter le critère de silice. Pour respecter ce critère, il serait nécessaire de limiter l'utilisation des terrains où des dépassements sont prédits soit en augmentant les limites du parc industriel ou avec l'acquisition des terrains pour faire des zones de conservation/zone tampon. Les zones de dépassement sont identifiées dans la section 5.



Tableau 4-1 : Résultats de concentration avec mesures d'atténuation ajoutées au modèle de dispersion atmosphérique

Récepteur	Coordonnées UTM		Concentrations de particules générées par le projet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Proportion des concentrations générées vs valeur du RAA		Concentrations totales incluant le niveau ambiant ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Proportion des concentrations totales vs valeur du RAA		Niveau ambiant ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Normes et critères ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	E (m)	N (m)	PM _{2.5}	PTS	%		PM _{2.5}	PTS	%		PM _{2.5}	PTS	PM _{2.5}	PTS
Maximum à la limite de propriété	-	-	6,81	12,1	23%	10%	26,8	72,1	89%	60%	20	60	30	120
R1	555558	5450962	0,62	0,83	2%	1%	20,6	60,8	69%	51%	20	60	30	120
R2	554372	5451402	1,65	3,9	6%	3%	21,7	63,9	72%	53%	20	60	30	120
R3	557968	5451129	0,23	0,43	1%	0,4%	20,2	60,4	67%	50%	20	60	30	120
R4	553592	5450493	0,42	2,1	1%	2%	20,4	62,1	68%	52%	20	60	30	120
R5	554453	5448960	0,15	0,36	1%	0,3%	20,2	60,4	67%	50%	20	60	30	120
R6	554239	5449599	0,23	0,35	1%	0,3%	20,2	60,4	67%	50%	20	60	30	120
R7	551457	5449594	0,16	0,84	1%	1%	20,2	60,8	67%	51%	20	60	30	120

Récepteur	Coordonnées UTM		Concentrations de particules métalliques générées par le projet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Proportion des concentrations générées vs valeur du RAA		Concentrations totales incluant le niveau ambiant ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Proportion des concentrations totales vs valeur du RAA		Niveau ambiant ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Normes et critères ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	E (m)	N (m)	Silice (1h)	Silice (1an)	%		Silice (1h)	Silice (1an)	%		Silice (1h)	Silice (1an)	Silice (1h)	Silice (1an)
Maximum à la limite de propriété	-	-	11,80	0,054	137%	77%	12,10	0,09	141%	135%	0,3	0,04	8,6	0,07
R1	555558	5450962	0,20	0,004	2%	6%	0,50	0,04	6%	63%	0,3	0,04	8,6	0,07
R2	554372	5451402	3,69	0,007	43%	10%	3,99	0,05	46%	67%	0,3	0,04	8,6	0,07
R3	557968	5451129	0,38	0,002	4%	3%	0,68	0,04	8%	60%	0,3	0,04	8,6	0,07
R4	553592	5450493	1,96	0,003	23%	5%	2,26	0,04	26%	62%	0,3	0,04	8,6	0,07
R5	554453	5448960	0,17	0,001	2%	2%	0,47	0,04	5%	59%	0,3	0,04	8,6	0,07
R6	554239	5449599	0,26	0,001	3%	2%	0,56	0,04	7%	59%	0,3	0,04	8,6	0,07
R7	551457	5449594	0,88	0,002	10%	2%	1,18	0,04	14%	60%	0,3	0,04	8,6	0,07

Résultats horaires calculés pour la fraction PM10 et résultats annuels calculés pour la fraction PM4 en utilisant la composition de silice des résidus (Golder, 2015).

Récepteur	Coordonnées UTM		Concentrations de particules métalliques générées par le projet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Proportion des concentrations générées vs valeur du RAA	Concentrations totales incluant le niveau ambiant ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Proportion des concentrations totales vs valeur du RAA	Niveau ambiant ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Normes et critères ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	E (m)	N (m)						
Maximum à la limite de propriété	-	-	1,48E-03	5,9%	1,15E-02	46%	0,01	0,025
R1	555558	5450962	1,47E-04	0,6%	1,01E-02	41%	0,01	0,025
R2	554372	5451402	2,21E-04	0,9%	1,02E-02	41%	0,01	0,025
R3	557968	5451129	6,64E-05	0,3%	1,01E-02	40%	0,01	0,025
R4	553592	5450493	8,69E-05	0,3%	1,01E-02	40%	0,01	0,025
R5	554453	5448960	3,41E-05	0,1%	1,00E-02	40%	0,01	0,025
R6	554239	5449599	3,92E-05	0,2%	1,00E-02	40%	0,01	0,025
R7	551457	5449594	3,75E-05	0,1%	1,00E-02	40%	0,01	0,025

Récepteur	Coordonnées UTM		Concentrations de particules métalliques générées par le projet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Proportion des concentrations générées vs valeur du RAA	Concentrations totales incluant le niveau ambiant ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Proportion des concentrations totales vs valeur du RAA	Niveau ambiant ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Normes et critères ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	E (m)	N (m)						
Maximum à la limite de propriété	-	-	2,28E-02	1,0%	2,28E-02	1,0%	0	2,5
R1	555558	5450962	2,14E-03	0,09%	2,14E-03	0,09%	0	2,5
R2	554372	5451402	6,51E-03	0,26%	6,51E-03	0,26%	0	2,5
R3	557968	5451129	8,74E-04	0,03%	8,74E-04	0,03%	0	2,5
R4	553592	5450493	2,85E-03	0,11%	2,85E-03	0,11%	0	2,5
R5	554453	5448960	5,83E-04	0,02%	5,83E-04	0,02%	0	2,5
R6	554239	5449599	7,77E-04	0,03%	7,77E-04	0,03%	0	2,5
R7	551457	5449594	1,36E-03	0,05%	1,36E-03	0,05%	0	2,5

5. Dépassements et solutions proposées

Avec les mesures d'atténuation typiques proposées pour le projet, il n'est pas possible de réduire les émissions afin d'être conforme aux critères de silice. Les figures qui suivent permettent d'identifier les zones où on retrouve des dépassements du critère horaire et annuel pour la silice cristalline selon la configuration prévue pour l'usine et les limites du futur parc industriel. Le critère horaire pour la silice est dépassé au sud-ouest de l'usine. Le critère annuel pour la silice est dépassé sur une superficie de 20 hectares au sud-ouest du parc industriel. Le critère est également dépassé sur la limite du parc industriel à l'est de l'usine. Sur les figures présentées, les isocontours représentent les concentrations de PM_{10} pour les valeurs horaires et de PM_4 pour les valeurs annuelles. Ces valeurs ont été multipliées par la concentration en silice dans les résidus afin d'obtenir les concentrations projetées de silice.

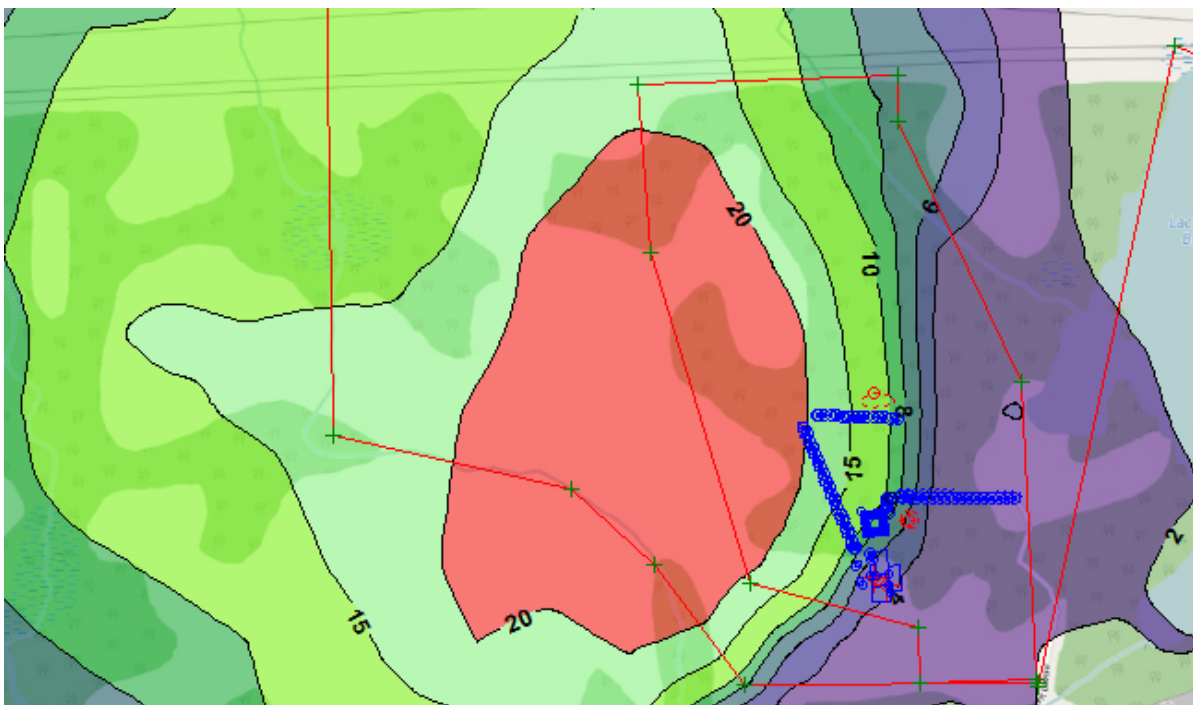


Figure 5-1 : Zone de dépassement du critère horaire de silice cristalline

(dépassement considéré pour $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} selon la composition de silice, la concentration initiale et les valeurs limites)

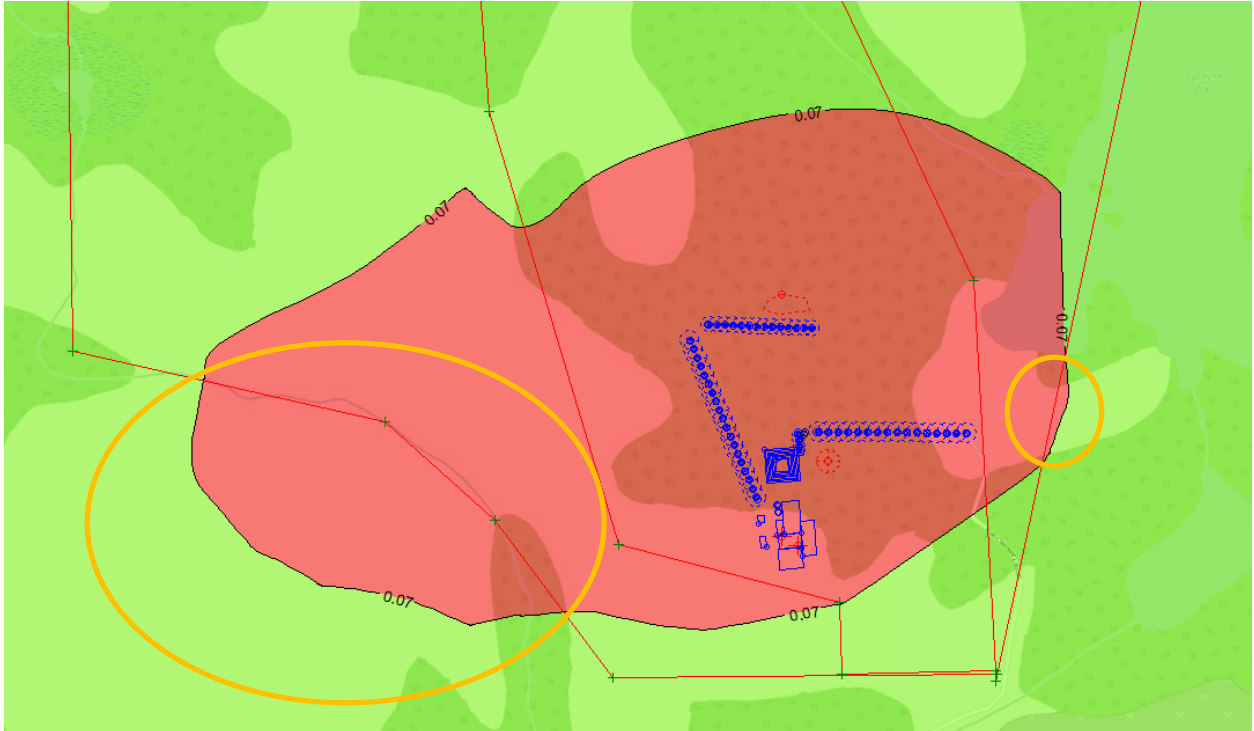


Figure 5-2 : Zones de dépassement du critère annuel de silice cristalline

(dépassement considéré pour $0,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} selon la composition de silice, la concentration initiale et les valeurs limites)

Une mesure d'atténuation alternative a été proposée lors de la rencontre avec le MDDELCC pour utiliser un abat-poussière ou liant permettant de diminuer le taux de silt des résidus. Cette méthode permettrait de limiter les émissions de particules à l'atmosphère en limitant le potentiel d'emportement. L'efficacité de cette alternative doit faire l'objet de tests afin de confirmer son efficacité. Un agent liant qui permettrait de réduire le taux de silt de la pile à 50% au lieu de 75% permettrait de respecter les critères de la qualité de l'air en incluant la silice. Mason Graphite s'engage à effectuer les études et les analyses nécessaires afin d'identifier une substance efficace avec les caractéristiques du résidu.

Avec les solutions proposées, il est possible d'éliminer tout dépassement des normes et critères de la qualité de l'air à l'extérieur de la limite de propriété et de la zone industrielle pour l'exploitation du concentrateur de Mason Graphite. Les tableaux qui suivent présentent les changements obtenus au niveau des taux d'émission et les résultats obtenus par modélisation avec la diminution du taux de silt par ajout d'un agent liant sur la pile de résidus. Seuls les résultats de la silice sont présentés étant donné que les autres contaminants étaient déjà conformes aux normes et critères sans l'ajout de cette mesure d'atténuation additionnelle.

Les seuls dépassements de critère obtenus pour la silice se retrouvent sur la limite du parc industriel. Les récepteurs localisés à 100 mètres de la limite de propriété ne subissent pas de dépassement de critères selon les nouveaux taux d'émission calculés au Tableau 5-1. Les résultats au Tableau 5-2 permettent de comparer les résultats obtenus avec les critères de la silice. L'analyse des résultats permet de conclure que les émissions de particules de silice ne dépassent pas les critères sans l'ajout des concentrations initiales. Lorsque les concentrations initiales sont ajoutées, on obtient un seul dépassement du critère horaire à la limite de propriété sur cinq ans (0,002% du temps). Pour ce qui est du critère annuel, la concentration initiale élevée fait en sorte que trois dépassements sont obtenus sur la limite du futur parc industriel. Pour les récepteurs localisés à 100 mètres de la limite de propriété, les concentrations totales sont conformes au critère annuel.

Tableau 5-1 : Réduction des taux d'émissions de particules selon le taux de silt

Source	Taux d'émission avec silt à 75% (g/s)	Taux d'émission avec silt réduit à 50% (g/s)
Pile de résidus	PST = 0,15 PM10 = 0,08 PM4 = 0,04 PM _{2.5} = 0,02	PST = 0,1 PM10 = 0,05 PM4 = 0,03 PM _{2.5} = 0,02
Chargeuse à résidus	PST = 0,09 PM10 = 0,04 PM4 = 0,01 PM _{2.5} = 0,004	PST = 0,065 PM10 = 0,03 PM4 = 0,007 PM _{2.5} = 0,003

Tableau 5-2 : Résultats de concentration avec ajout d'un agent liant sur la pile de résidus (silt à 50%)

Récepteur	Coordonnées UTM		Concentrations de particules métalliques générées par le projet (µg/m³)		Proportion des concentrations générées vs valeur du RAA		Concentrations totales incluant le niveau ambiant (µg/m³)		Proportion des concentrations totales vs valeur du RAA		Niveau ambiant (µg/m³)		Normes et critères (µg/m³)	
	E (m)	N (m)	Silice (1h)	Silice (1an)	%		Silice (1h)	Silice (1an)	%		Silice (1h)	Silice (1an)	Silice (1h)	Silice (1an)
Maximum à la limite de propriété	-	-	8,4	0,033	98%	48%	8,7	0,07	101%	105%	0,3	0,04	8,6	0,07
Maximum à 100m de la limite de propriété	-	-	7,8	0,029	90%	42%	8,1	0,07	94%	99%	0,3	0,04	8,6	0,07
R1	555558	5450962	0,15	0,002	2%	3%	0,45	0,04	5%	60%	0,3	0,04	8,6	0,07
R2	554372	5451402	2,7	0,004	31%	6%	3,0	0,04	35%	63%	0,3	0,04	8,6	0,07
R3	557968	5451129	0,28	0,001	3%	2%	0,58	0,04	7%	59%	0,3	0,04	8,6	0,07
R4	553592	5450493	1,4	0,002	17%	3%	1,7	0,04	20%	60%	0,3	0,04	8,6	0,07
R5	554453	5448960	0,13	0,001	1%	1%	0,43	0,04	5%	58%	0,3	0,04	8,6	0,07
R6	554239	5449599	0,19	0,001	2%	1%	0,49	0,04	6%	58%	0,3	0,04	8,6	0,07
R7	551457	5449594	0,65	0,001	8%	1%	0,95	0,04	11%	58%	0,3	0,04	8,6	0,07

Résultats horaires calculés pour la fraction PM10 et résultats annuels calculés pour la fraction PM4 en utilisant la composition de silice des résidus (Golder, 2015).

Les figures suivantes permettent de comparer les courbes de concentrations avec celles présentées à la section 5 suite à la diminution du taux de silt. La zone en rouge représente les zones de dépassement de critère en considérant la concentration initiale. Pour le critère horaire, on remarque qu'il n'y a aucun dépassement qui dépasse les limites de la zone industrielle délimitée en rouge sur la Figure 5-3.

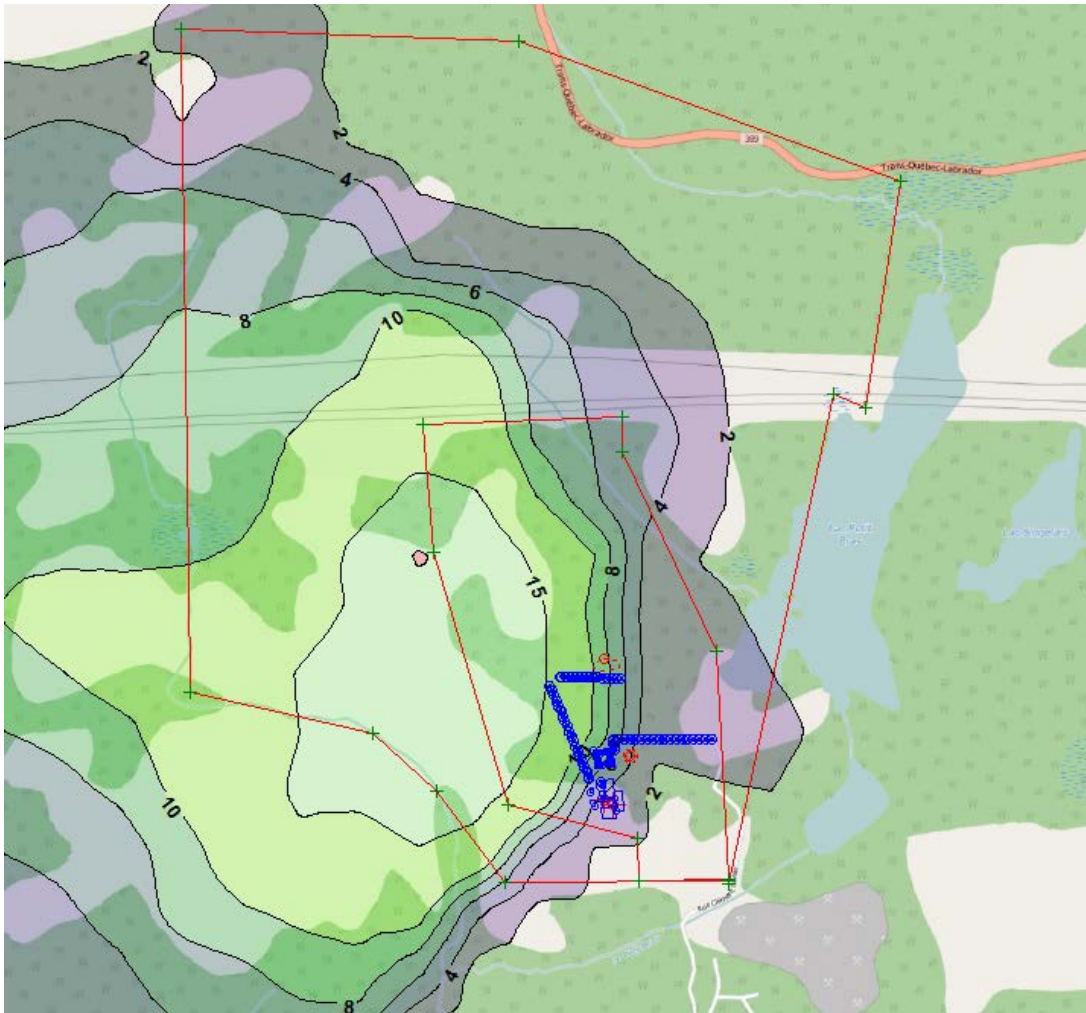


Figure 5-3 : Résultats de concentration maximale horaire pour les particules PM₁₀

Pour le critère annuel, la Figure 5-4 permet d'identifier la zone où on retrouve trois dépassement du critère sur la limite du parc industriel au sud-ouest de l'usine. Au-delà de la limite industrielle, aucun dépassement de critère n'est calculé par modélisation.

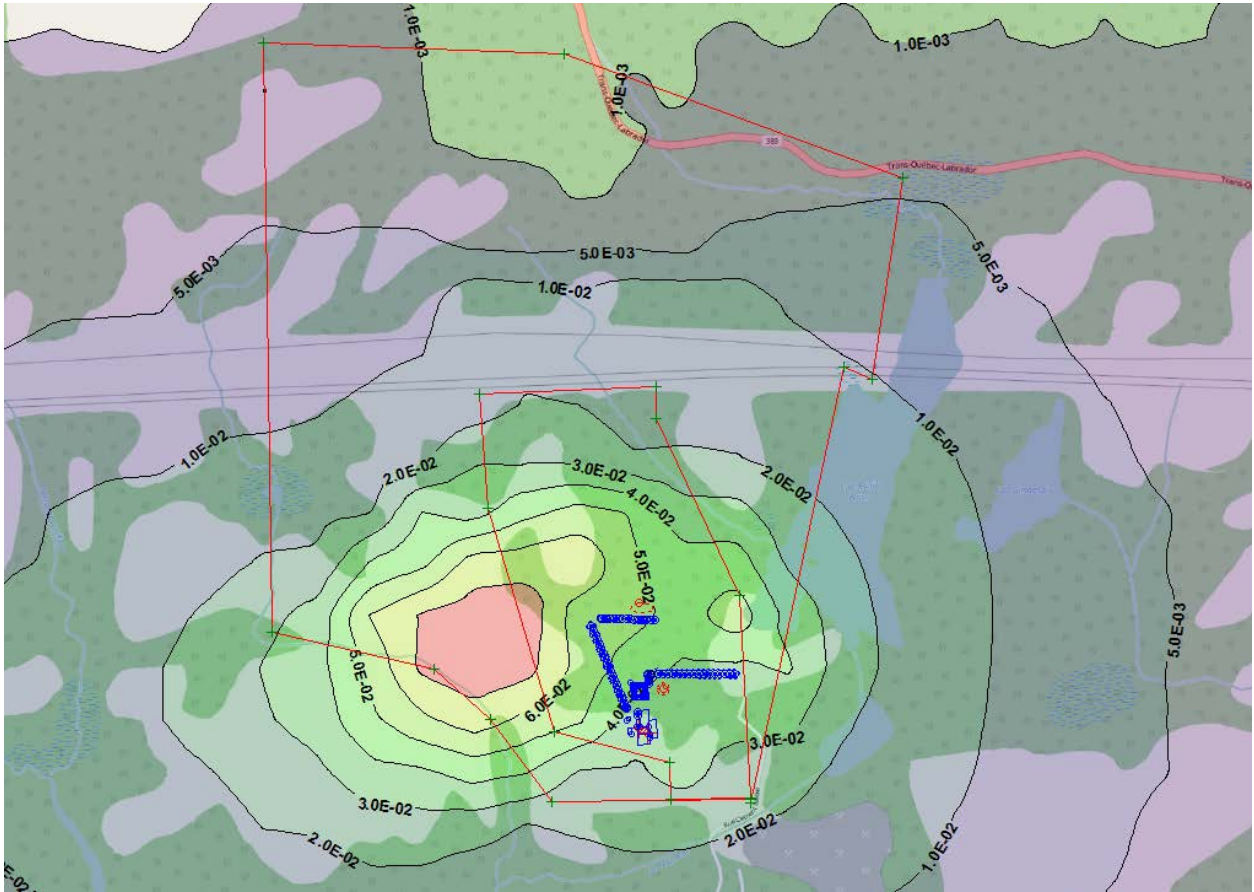


Figure 5-4 : Résultats de concentration moyenne annuelle pour les particules PM₄

6. Conclusion

En conclusion, Mason Graphite s'engage à respecter les normes et critères de la qualité de l'air à l'extérieur du parc industriel prévu à Baie-Comeau. En plus de l'application de mesures de mitigation couramment utilisées comme l'arrosage avec un abat-poussière, Mason Graphite procédera à l'étude de la diminution du taux de silt à la surface de la pile de résidus dans les prochaines phases du projet. L'utilisation d'un agent liant qui permettrait d'agglomérer les particules pour obtenir un taux de silt résultant de 50% serait une méthode efficace pour assurer le respect des normes et critères de la qualité de l'air à l'extérieur de la limite de propriété tel que démontré par les résultats de modélisation de la dispersion atmosphérique.

Dans le cas où les études démontrent qu'aucune substance permet la réduction des niveaux de silt pour la pile de résidus, Mason Graphite étudiera la possibilité d'agrandir ses limites de propriété afin d'assurer qu'il n'y ait aucun dépassement de normes et critères à l'extérieur de la zone industrielle.

Bibliographie

- Environnement Canada. (2016, 04 19). *Guide pour les carrières et sablières*. Consulté le 08 16, 2016, sur INRP: <https://www.ec.gc.ca/inrp-npri/default.asp?lang=Fr&n=A9C1EE34-1>
- Golder. (2015). *GEOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF THE LAC GUÉRET PILOT PLANT TAILINGS*. Montréal: 15-26332 Rev 0.
- MDDELCC. (2015, Janvier). *Direction des politiques de la qualité de l'atmosphère*. Consulté le 11 23, 2015, sur Guide d'instructions - Préparation et réalisation d'une modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques: <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/air/criteres/instructions-secteur-minier.pdf>
- MDDELCC. (2016). *Normes et critères québécois de la qualité de l'atmosphère - Version 5*. Consulté le mars 3, 2017, sur <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/air/criteres/Normes-criteres-qc-qualite-atmosphere.pdf>
- TRINITY CONSULTANTS. (2007). *MODELING FUGITIVE DUST SOURCES WITH AERMOD*. National Stone, Sand and Gravel Association.
- URSTM. (2016). *ESSAIS CINÉTIQUES SUR REJETS MINIERS DE MASON GRAPHITE*. Western Regional Air Partnership . (s.d.). *Chapter 9. Storage Pile Wind Erosion*. Consulté le mars 17, 2017, sur WRAP: https://www.wrapair.org/forums/dejf/fdh/content/Ch9-Storage_Pile_Wind%20Erosion_Rev06.pdf
- Zota, A. R. (2012, January 24). Impact of Mine Waste on Airborne Respirable Particulates in Northeastern Oklahoma, United States. *Journal of the Air & Waste Management Association*, pp. 1347–1357.

EH: gc

Annexe A

Calculs



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

HATCH

PROJECT NUMBER: H348328
 PROJECT: Mason Graphite
 CALCULATION: Calculs d'émissions atmosphériques pour AERMOD
 BY: Elyse Hamel
 DATE: 4/8/2015
 RÉVISION: 5/29/2017

Calculs

ID Model	Sources	Unités	Valeurs	Notes	
SCRUBBER	Épurateur (séchoir)				
		Débit normalisé gaz	Nm3/h	33,000	Soutex
		Débit réel gaz	m3/h	37,055	Normal estimé à 20°C pour la conversion
		Débit réel gaz	m3/s	10.293	Conversion
		Temperature	°C	56	Soutex
		Concentration PM2.5	mg/m3	10	Soutex
		Concentration PMTOT	mg/m3	10	Soutex
		Concentration SO2	ppmv	1	Soutex
		Concentration SO2 calc.	mg/m3	2.37	volume à masse conversion
		Vitesse fixée	m/s	15	Hypothèse Hatch selon standards cheminée
		Diamètre calculé	m	0.935	Calculé
		Emission PM2.5	g/s	0.103	
		Emission PMTOT	g/s	0.103	
	Emission SO2	g/s	0.024		
DEP_SEC	Dépoussiéreur				
		Débit gaz	m3/h	51,000	Hatch (M. Beaudry)
		Débit gaz	m3/s	14	
		Temperature	°C	15	Soutex
		Concentration PM2.5	mg/m3	10	Soutex
		Concentration PMTOT	mg/m3	10	Soutex
		Concentration SO2	mg/m3	-	
		Vitesse fixée	m/s	15	Hypothèse Hatch selon standards
		Diamètre calculé	m	1.1	Calculé
		Emission PM2.5	g/s	0.142	
		Emission PMTOT	g/s	0.142	
	Calculs de facteurs d'émission selon AP-42 Aggregate Handling pour le secteur Coal Mining				
	Décharge des camions et loader				
	Tonnage annuel	tpa	190,000	Donnée Mason Graphite	
	Tonnage par jour (10 mois d'utilisation)	t/jour	625	Calculé	
	Fonctionnement h/jour	h/jour	10	8h à 18h	
	Tonnes par heure	tph	62.5	Calculé selon tonnage annuel	
	Nombre de camions	camion/jour	16.0	Calculé selon tonnage par jour	
	Tonnage des camions	t	40.0	Donnée Mason Graphite	
UNLOAD	Facteur d'émission (x2 pour 2 étapes pour déchargement et reprise du minéral)				
	AP-42 Chapitre 13.2.4 Aggregate Handling				
		Vitesse de vent (U)	m/s	3	Vitesse moyenne
	Humidité du matériel (M)	%	5	Hypothèse	

Emission PMTOT	kg/h	0.061
	g/s	0.017
Emission PM10	kg/h	0.029
	g/s	0.0081
Emission PM2.5	kg/h	0.004
	g/s	0.0012

LOADMIN

Circulation de la chargeuse entre le déchargement des camions et le site d'entreposage du minerai

Pourcentage de silt sur le sol	%	7.1	AP-42. Unpaved roads
Poids de la chargeuse	t	50	Hypothèse
Efficacité de réduction arrosage	%	95	95% de réduction pour abat-poussière

Particle Size Multiplier and Constants

TSP (a)	-	0.7
PM10 (a)	-	0.9
PM2.5 (a)	-	0.9
TSP (b)	-	0.45
PM10 (b)	-	0.45
PM2.5 (b)	-	0.45
TSP (k)	-	4.9
PM10 (k)	-	1.5
PM2.5 (k)	-	0.15

TSP (sol)	g/VKT	170
PM10 (sol)	g/VKT	47
PM2.5 (sol)	g/VKT	4.7

Distance parcourue	km/h	1.0	Hypothèse
Nb d'équipements	-	1.0	

TSP	g/s	4.71E-02
PM10	g/s	1.30E-02
PM2.5	g/s	1.30E-03

PILE

Érosion éolienne de la pile de minerai

Tonnage (6 mois de capacité)	t	95,000	Mason Graphite
% de recouvrement de la pile	%	90%	Hypothèse
Densité minerai	t/m3	2.0	Hypothèse basée sur calcul Metchem
Volume entreposé	m3	190,000	Calculé
Rayon équivalent de la pile	m	50	Estimé par layout concentrateur
Hauteur de la pile	m	24	
Surface (forme conique)	m2	16,579	
Surface exposée	m2	1,658	Surface équivalente dans AERMOD
Granulométrie du minerai (%silt)	%	1	Hypothèse basée sur taille grossière du minerai
Facteur J (TPM)	-	1	
Facteur J (PM10)	-	0.5	
Facteur J (PM2.5)	-	0.2	

Taux d'émission calculé

TPM	g/m2s	1.5E-05
PM10	g/m2s	7.6E-06
PM2.5	g/m2s	3.0E-06

TPM	g/s	0.03
PM10	g/s	0.013
PM2.5	g/s	0.005

Calculs de facteurs d'émission selon AP-42 Aggregate Handling pour le secteur du parc à résidus filtrés

Bilan de masse des résidus et configuration de la pile en cône tronqué

Débit de résidus	t/h	17.5	SOUTEX
Utilisation	%	90.0	SOUTEX
Production annuelle de résidus	t/an	137,970	Rapport: IMPACT OF TAILINGS STORAGE METHOD ON PROCESS REQUIREMENT
Densité des résidus	t/m3	1.5	SOUTEX
Volume annuel mis en pile	m3	91,980	Calculé
Rayon 1	m	100	Hypothèse
Rayon 2	m	80	Hypothèse
Hauteur	m	4	Hypothèse
Surface au sol	m2	31,416	Calculé
apothème	m	20	Calculé
surface latérale du cône	m2	11,491	Calculé
surface totale exposée	m2	31,598	Calculé
surface «active» exposée	m2	2,633	Calculé selon 1 mois de surface active
Efficacité de réduction de l'humidité	%	95%	Proposée par MDDELCC avec utilisation abat-poussière
Taux de silt de la pile	%	75.00	% comparable aux études de Golder et de l'URSTM

Calcul du taux horaire pour vitesse de vent = supérieur à 19,3 km/h

Formule 8.11 Guide d'instruction pour le secteur minier (MDDELCC)

Facteur J (TPM)	-	1
Facteur J (PM10)	-	0.5
Facteur J (PM4) par interpolation	-	0.26
Facteur J (PM2.5)	-	0.2

RES

TPM	g/m2s	5.7E-05
PM10	g/m2s	2.85E-05
PM4	g/m2s	1.48E-05
PM2.5	g/m2s	1.14E-05
TPM	g/s	0.15
PM10	g/s	0.08
PM4	g/s	0.04
PM2.5	g/s	0.03

Circulation de la chargeuse sur la pile et du camion sur la route non-pavée

Pourcentage de silt sur la pile	%	75	URSTM 2016 - PU-2014-12-946 – Note technique
Pourcentage de silt sur le sol	%	6.4	AP-42 Chap. 13 Unpaved Roads 13.2.2-1 - Solid Landfill/Disposal Route
Poids de la chargeuse	tonnes	50	Hypothèse conservatrice
Poids du camion	tonnes	100	Hypothèse conservatrice
Réduction par arrosage	%	95	95% de réduction pour abat-poussière

Particle Size Multiplier and Constants

TSP (a)	-	0.7	Table 13.2.2-2. (industrial roads)
PM10 (a)	-	0.9	
PM2.5 (a)	-	0.9	
TSP (b)	-	0.45	
PM10 (b)	-	0.45	
PM2.5 (b)	-	0.45	
TSP (k)	-	4.9	
PM10 (k)	-	1.5	
PM2.5 (k)	-	0.15	

TSP (camion sol)	g/VKT	216	95% de réduction pour abat-poussière
PM10 (camion sol)	g/VKT	58	95% de réduction pour abat-poussière
PM2.5 (camion sol)	g/VKT	6	95% de réduction pour abat-poussière
TSP (pile)	g/VKT	884	95% de réduction pour abat-poussière
PM10 (pile)	g/VKT	390	95% de réduction pour abat-poussière

	PM2.5 (pile)	g/VKT	39	95% de réduction pour abat-poussière
	Taux de résidus	tonne/h	17.5	Soutex
	Distance parcourue	km/h	0.35	Hypothèse
	Nb d'équipements	-	1.0	
ROUTERES	TSP camion	g/s	0.02	
	PM10 camion	g/s	5.7E-03	
	PM4	g/s	1.6E-03	
	PM2.5 camion	g/s	5.7E-04	
LOADRES	TSP chargeuse	g/s	0.087	
	PM10 chargeuse	g/s	0.038	
	PM4 chargeuse	g/s	0.011	
	PM2.5 chargeuse	g/s	3.8E-03	
	Particle Size Multiplier and Constants			
	TSP (a)		0.7	
	PM10 (a)		0.9	
	PM2.5 (a)		0.9	
	TSP (b)		0.45	
	PM10 (b)		0.45	
	PM2.5 (b)		0.45	
	TSP (k)		4.9	
	PM10 (k)		1.5	
	PM2.5 (k)		0.15	
	Tonnage des camions	tonnes	100	Hypothèse conservatrice
	Arrosage des sols	%	95	95% de réduction pour abat-poussière
	TSP (sol)	g/VKT	181	
	PM10 (sol)	g/VKT	47	
	PM2.5 (sol)	g/VKT	5	
	Pourcentage de silt sur le sol	%	10	AP-42 Tableau 13.2.2-1 moyenne pour Stone
ROUTE	Camionnage du minerai sur le site			
	Distance parcourue par camion	m	616	Aller + retour mesuré sur google earth
	Camions/jour	camion/jr	16	
	TSP	g/s	0.05	10h par jour
	PM10	g/s	0.013	10h par jour
	PM2.5	g/s	0.0013	10h par jour

Annexe B

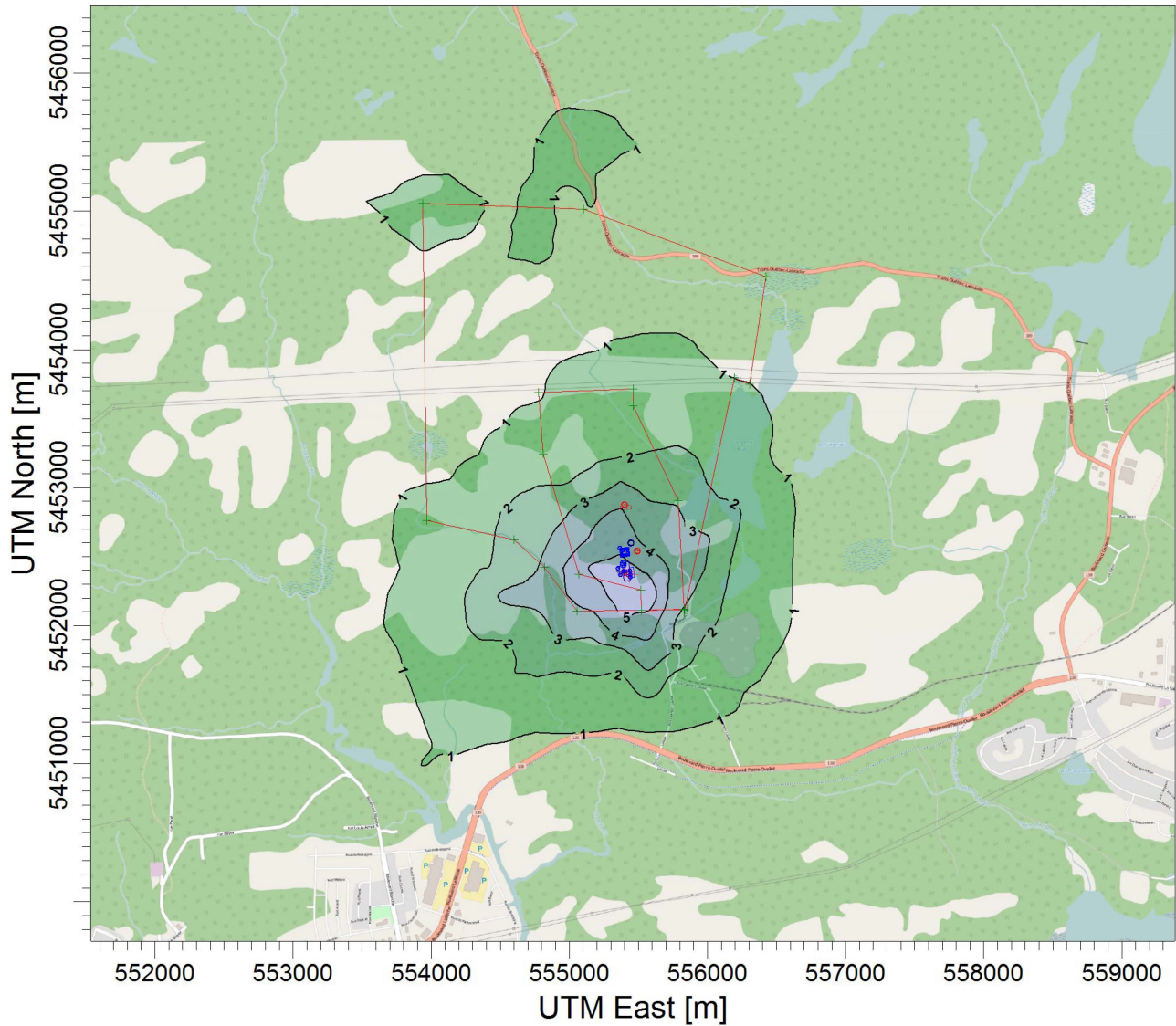
Figures



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

PROJECT TITLE:

**Concentrations maximales de particules fines PM2.5
Période de 24h**



PM2.5 - 24h

ug/m³

Max: 7 [ug/m³] at (555445.82, 5452107.96)



COMMENTS:

SOURCES:

10

COMPANY NAME:

Mason Graphite

RECEPTORS:

1390

MODELER:

E. Hamel

OUTPUT TYPE:

Concentration

SCALE:

1:50,000

0 2 km

HATCH

MAX:

7 ug/m³

DATE:

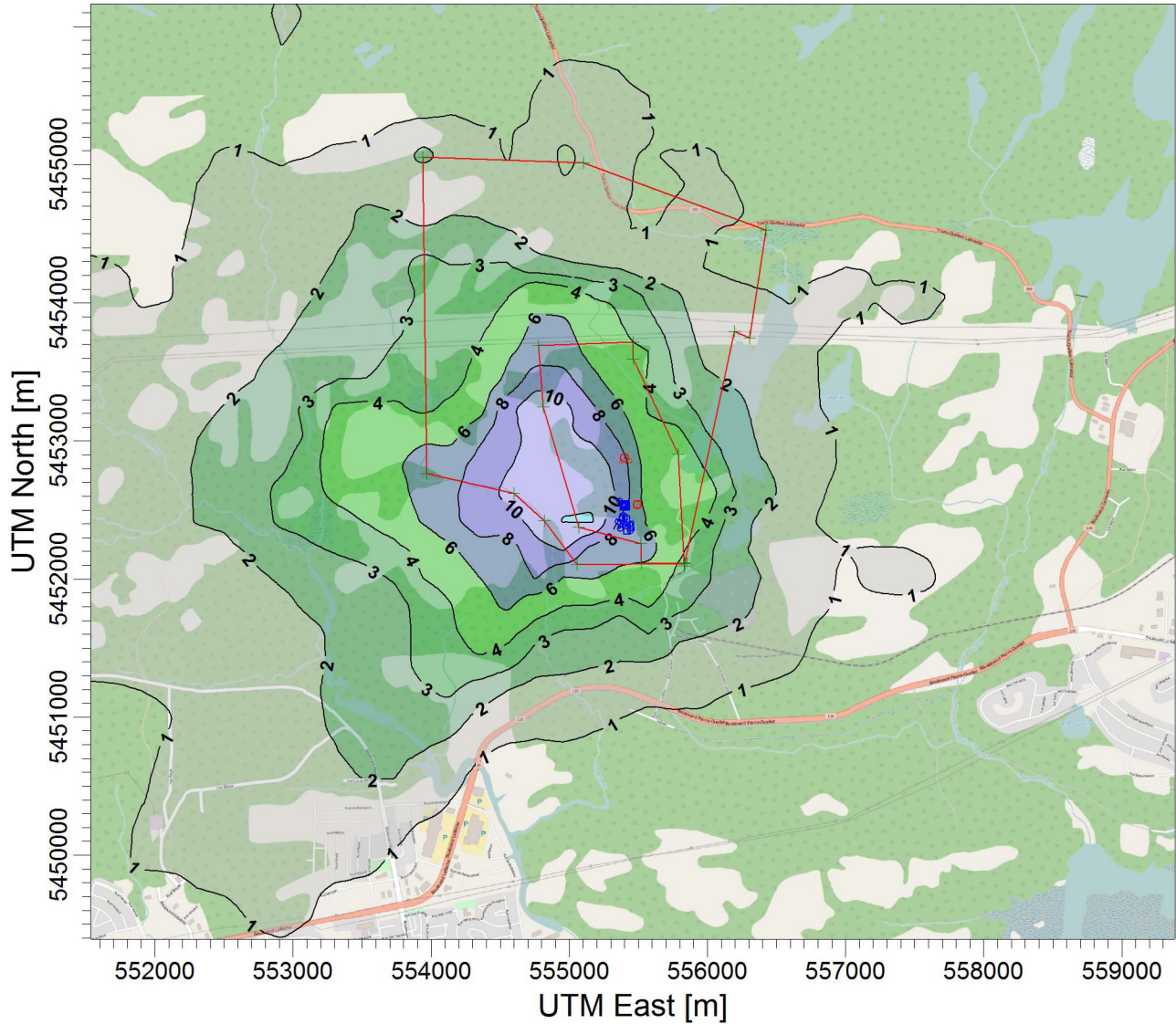
5/29/2017

PROJECT NO.:

H348328

PROJECT TITLE:

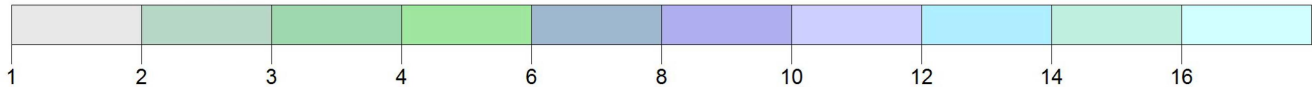
**Concentrations maximales de particules totales en suspension
Période de 24h**



PTS - 24h

ug/m³

Max: 16 [ug/m³] at (555070.23, 5452373.65)



COMMENTS:

SOURCES:

10

COMPANY NAME:

Mason Graphite

RECEPTORS:

1390

MODELER:

E. Hamel

OUTPUT TYPE:

Concentration

SCALE:

1:50,000



HATCH

MAX:

16 ug/m³

DATE:

5/29/2017

PROJECT NO.:

H348328

Note technique de projet

Le 31 mai 2017

DESTINATAIRE : Jacqueline Leroux

EXPÉDITEUR : Nicolas Sadoch



cc : Marie-Christine Patoine

Mason Graphite Inc.

Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social - Projet de la mine de graphite du lac Guéret

Étude de bris de digue

Si vous êtes en désaccord avec l'information ci-incluse, veuillez nous en aviser dans les meilleurs délais



H348328-0000-16-220-0001, Rév. 0

Page 1

Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

Avis au lecteur

Le présent rapport a été préparé, et les travaux qui y sont mentionnés ont été réalisés, par Hatch, exclusivement à l'intention de Mason Graphite Inc., qui a été impliqué directement dans l'élaboration de l'énoncé des travaux et qui en comprend les limites. La méthodologie, les résultats, les conclusions et les recommandations cités au présent rapport sont fondés uniquement sur l'étendue des travaux convenus avec Mason Graphite Inc. et assujettis aux exigences en matière d'échéancier et de budget, telles que décrites dans l'offre de service et dans le contrat gouvernant la production de l'Étude d'impact sur l'environnement. L'utilisation de ce rapport, le recours à ce dernier ou toute décision fondée sur son contenu par un tiers demeure la responsabilité exclusive de ce tiers. Hatch n'est pas responsable d'aucun dommage subi par un tiers suite à l'utilisation en tout ou en partie, de ce rapport ou de toute décision basée sur son contenu.

Les conclusions, les recommandations et les résultats cités au présent rapport :

- I. Ont été élaborés conformément au niveau de compétence attendu de professionnels exerçant des activités dans des conditions et champs d'expertise similaires;
- II. Sont établis selon le meilleur jugement de Hatch en fonction des informations recueillies et disponibles au moment de la préparation de ce rapport;
- III. Sont valides uniquement à la date du rapport;
- IV. Sont fondées en partie sur de l'information obtenues de tiers, dont Hatch, sauf indications contraires, se dégage de toute responsabilité en rapport avec l'exactitude de cette information développée par ces tiers.

Le présent rapport doit être considéré dans son ensemble et ses sections ou ses parties ne doivent pas être utilisées ou comprises hors du contexte de ce rapport. Si des différences venaient à se glisser entre la version préliminaire (ébauche) et la version définitive de ce rapport, la dernière version prévaudrait.

Finalement, rien dans ce rapport n'est mentionné avec l'intention de fournir ou de constituer un avis juridique ou une base d'évaluation financière.



Table des matières

1. Introduction	4
1.1 Contexte et objectifs de l'étude.....	4
1.2 Localisation du site	4
1.3 Description de la réserve d'eau	6
2. Données utilisées et références	7
3. Critères et hypothèses de conception	7
3.1 Cadre réglementaire	7
3.2 Caractéristiques de la rupture.....	7
3.3 Hypothèses complémentaires	8
4. Hydrologie de la zone d'étude	8
5. Construction du modèle hydraulique	9
5.1 Principes de modélisation.....	9
5.2 Construction du modèle 2D	9
5.3 Construction du modèle 1D	10
6. Simulation du bris et propagation de l'onde de rupture	11
6.1 Génération de l'onde de rupture et impact sur le site de l'usine	11
6.2 Propagation de l'onde de rupture jusque la rivière Amédée	13
7. Synthèse, discussion et recommandations	14

Liste des figures

Figure 1-1 : Localisation du site et des enjeux à Baie-Comeau	4
Figure 1-2 : Vue en 3D de l'ensemble du site du concentrateur montrant l'emplacement du parc à résidus et la réserve d'eau brute par rapport à l'usine.....	5
Figure 1-3 : Localisation et présentation de la coupe B de la réserve d'eau.....	6
Figure 5-1 : Limites du modèle hydraulique 2D	9
Figure 5-2 : Géométrie du modèle hydraulique 1D.....	10
Figure 6-1 : Zone inondée à proximité de l'usine.....	11
Figure 6-2 : Hydrogramme de l'onde de rupture.....	11
Figure 6-3 : Niveau d'eau maximal atteint entre la brèche et l'usine (coupe longitudinale)	12
Figure 6-4 : Niveau d'eau maximal atteint à la limite de l'usine (coupe transversale).....	12
Figure 6-5 : Écoulement au barrage Amédée en crue, avec et sans brèche	13

Liste des tableaux

Tableau 2-1 :Données utilisées pour la réalisation de l'étude	7
Tableau 4-1 : Crue centennale des bassins versants de la zone d'étude	8
Tableau 6-1 :Impact de la brèche sur les niveaux et débits de crue	13



1. Introduction

1.1 Contexte et objectifs de l'étude

Mason Graphite souhaite développer un site d'extraction et de traitement de minerai à Baie-Comeau. Ce site prévoit la mise en place d'un parc à résidus, sec, et dont les eaux de ruissellement (fonte des neiges et pluie) sont collectées dans une réserve d'eau. La conception préliminaire de cette réserve d'eau est détaillée dans la note technique H348328-0000-16-220-0001, *Gestion des eaux de surface aux sites de la mine et du concentrateur*, rév. 0, émise par Hatch en mai 2017.

L'objectif de la présente note, et de l'étude associée, est d'analyser les conséquences hydrauliques d'une rupture de la digue contenant les eaux de la réserve d'eau.

1.2 Localisation du site

Comme montré à la Figure 1-1, le site est situé dans la ville de Baie-Comeau, au Québec. La Figure 1-2 montre une vue 3D du site. Cette figure permet de localiser les trois enjeux potentiellement impactés par la rupture; le futur site de l'usine, le franchissement de l'autoroute 138 et la zone urbaine de Baie-Comeau en rive droite de la rivière Amédée.

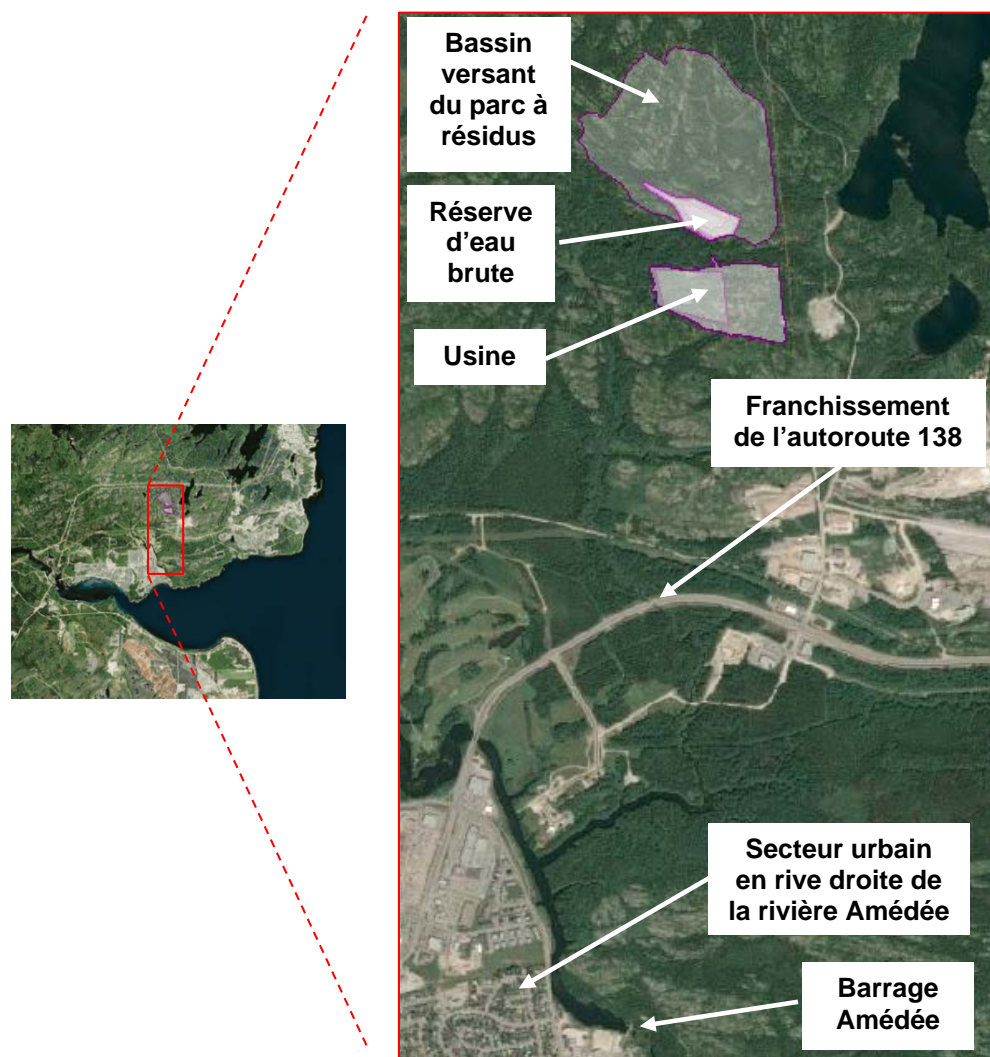


Figure 1-1 : Localisation du site et des enjeux à Baie-Comeau

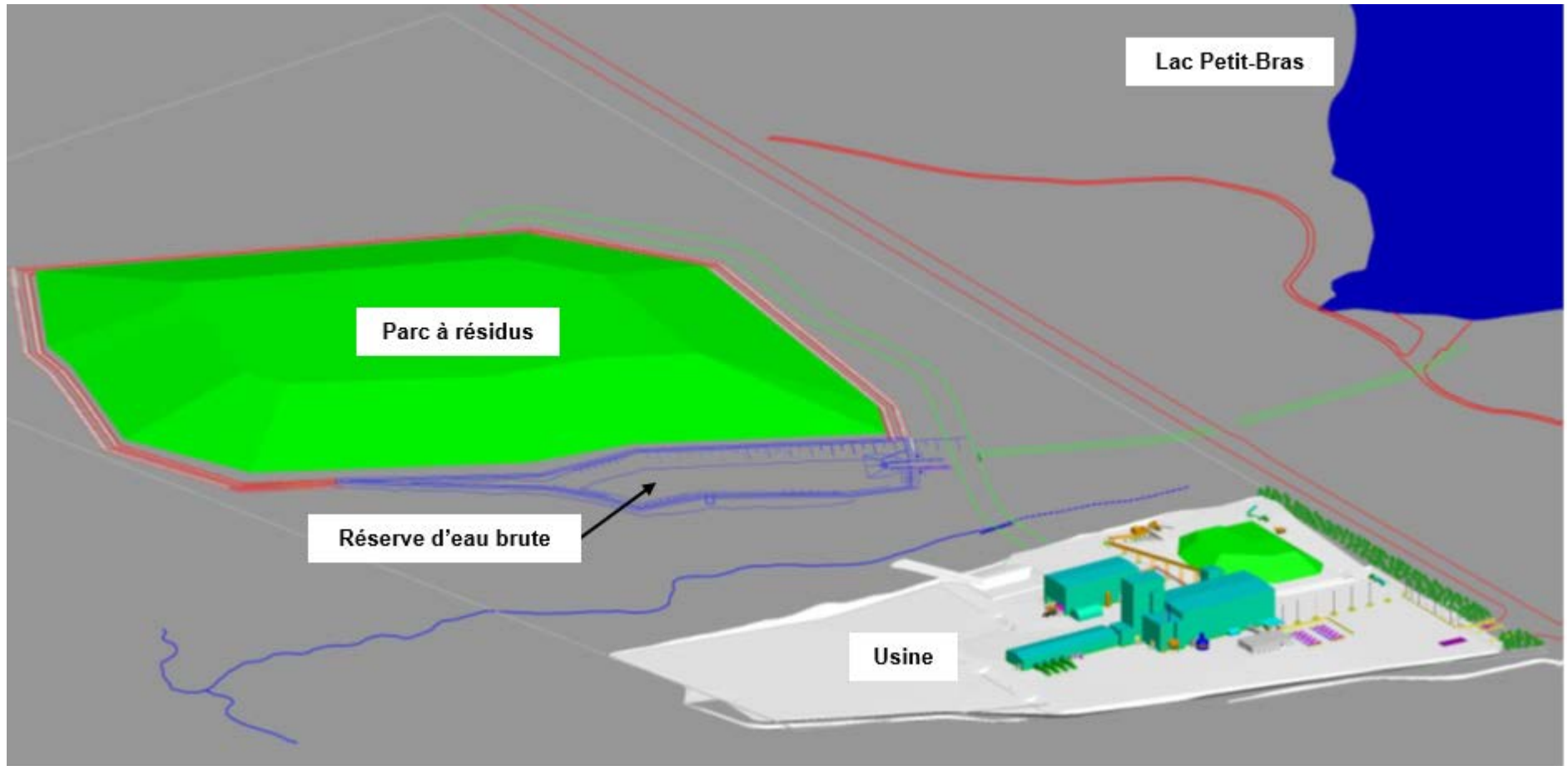


Figure 1-2 : Vue en 3D de l'ensemble du site du concentrateur montrant l'emplacement du parc à résidus et la réserve d'eau brute par rapport à l'usine



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

1.3 Description de la réserve d'eau

La réserve d'eau est partiellement excavée dans le terrain naturel, si bien qu'en moyenne, les eaux contenues dans la réserve restent à un niveau inférieur à celui du terrain naturel (± 71 m). En crue, le niveau peut monter et le niveau maximal atteint pour l'évènement de conception est de 74,75 m. Afin de contenir les eaux lorsque le niveau de la réserve dépasse le niveau du terrain naturel, une digue assure la fermeture de la réserve. La crête de la digue est fixée à 77 m, et la largeur en crête est de 5 m. Le point bas de la digue est de 70,9 m. Les pentes de la digue sont de 2.5H :1V pour la face amont et de 2H :1V pour la face aval.

La Figure 1-3 localise et montre la coupe B de la réserve d'eau et les volumes retenus pour des niveaux d'eau aux élévations 71 et 75 m dans la réserve.

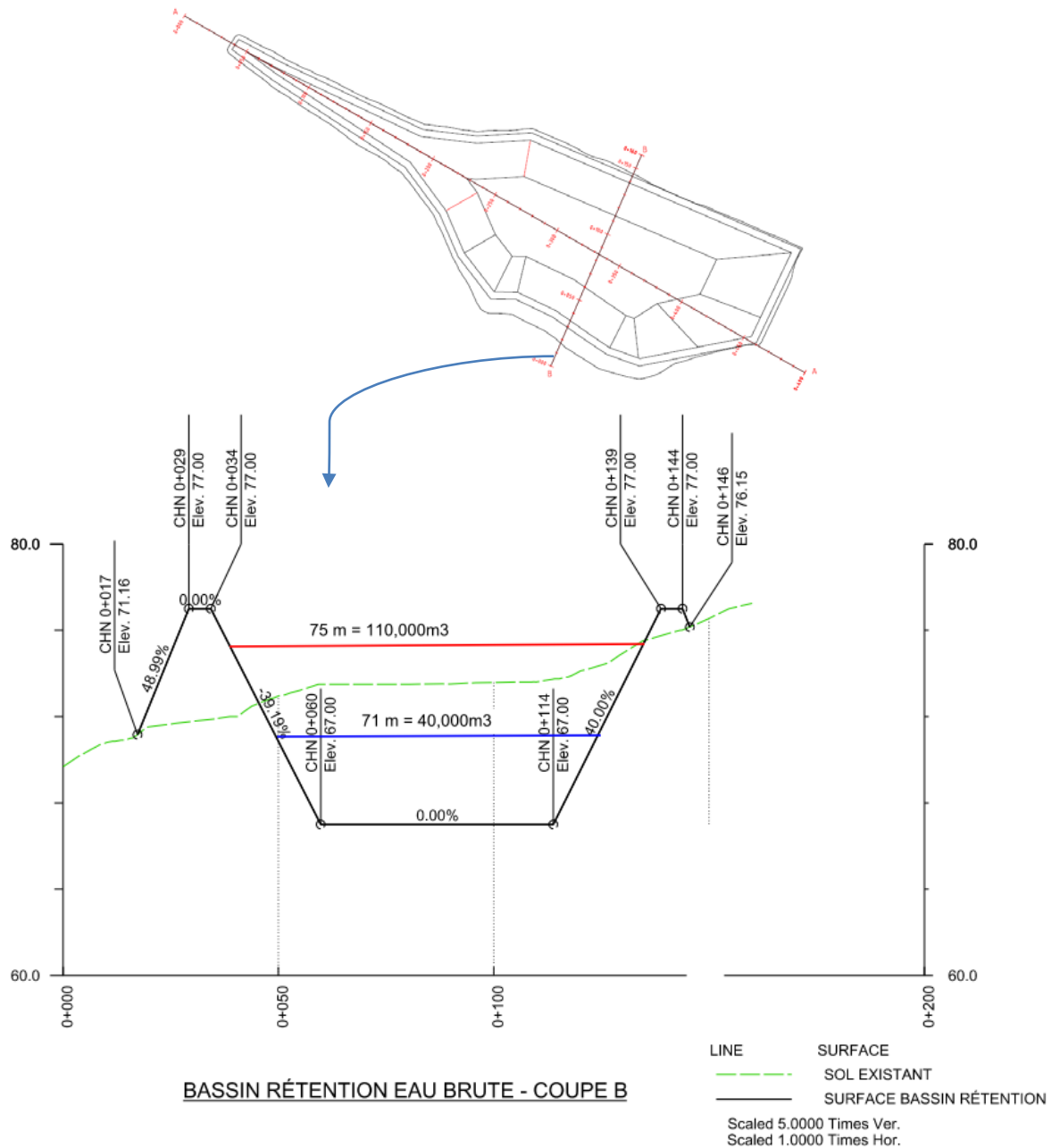


Figure 1-3 : Localisation et présentation de la coupe B de la réserve d'eau



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

2. Données utilisées et références

Les données utilisées pour la réalisation de cette étude sont décrites dans le Tableau 2-1.

Tableau 2-1 :Données utilisées pour la réalisation de l'étude

	Intitulé	Source	Description et usage
Données topographiques	Modèles numériques d'altitude	Ministère de l'Énergie et Ressources naturelles	Modèles numériques de terrain permettant le découpage des bassins versants à grande échelle
	Données LiDAR 2016	Ville de Baie-Comeau via Mason-Graphite	Données topographiques depuis la réserve d'eau jusqu'à la rivière Amédée. Utilisés pour construire le modèle hydraulique
Données hydrologiques	Description de la retenue	Hatch – projet	Localisation et volume de la retenue, élévation du niveau d'eau au passage de la crue de conception
	Rapport de l'onde de rupture du barrage Amédée, octobre 2016	Ville de Baie-Comeau via Mason Graphite	Débit de crue au barrage Amédée et capacité d'évacuation du barrage. Pas de dommage en aval du barrage pour un débit de 210 m ³ /s.
	Rapport géotechnique 641925.2 Additional geotechnical Investigations - TMF Final-A, mars 2017	SNC-Lavalin	Nature du sol au site. Utilisé pour caractériser le ruissellement
	Rapport hydrologique H347199-0000-16-219-0001, avril 2017	Hatch – projet	Caractéristiques des pluies applicables à la zone d'étude

3. Critères et hypothèses de conception

3.1 Cadre réglementaire

Le cadre réglementaire répond aux exigences de la Directive 019 de l'industrie minière et intègre le souhait du MDDELCC de connaître les caractéristiques d'une rupture de la digue fermant le réservoir. Les conditions pour analyser la rupture d'une digue sont :

- Une rupture par temps sec;
- Une rupture lors d'un évènement de crue.

L'évènement de crue a été défini comme composé d'une fonte de neige d'une durée de 30 jours de période de retour 100 ans et d'une pluie journalière de période de retour 2000 ans.

3.2 Caractéristiques de la rupture

Le cas de la rupture par temps sec n'a pas été jugé applicable au site. Comme décrit à la section 1.3, le niveau d'eau dans la retenue par temps sec est inférieur au niveau du terrain naturel dans lequel une partie de la réserve d'eau est excavée. Une rupture par temps sec est donc impossible, et ce scénario n'est pas considéré.

Pour la rupture au passage de la crue de sécurité, un phénomène de renard (« *piping* » en anglais) a été considéré comme déclencheur de la rupture.

Les caractéristiques de la rupture sont extraites de la géométrie de la digue et basées sur les « Guidelines for Dam Breach Analysis » émises par l'État du Colorado et sont les suivantes :

- Type : renard;
- Élévation de la crête : 77 m;
- Élévation du bas de la brèche : 70,9 m;



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

- Niveau d'eau au moment de la brèche : 74,75 m;
- Élévation du renard : 70,9 m (base de la digue);
- Pente des côtés de la brèche : 1H :1V;
- Largeur de la brèche à sa base : 18,3 m (3 fois la hauteur de la digue);
- Temps de formation de la brèche : 0,5 heure (30 minutes).

3.3 Hypothèses complémentaires

Lors d'une simulation de rupture en temps de crue, la définition des crues des cours d'eau où va se propager l'onde de rupture est importante. En effet, l'évènement qui génère la crue voulue au niveau de la retenue d'eau ne génère pas nécessairement un évènement de la même récurrence sur les bassins versants des autres cours d'eau. En l'occurrence, il convient d'adapter la période de retour des évènements de crue des autres cours d'eau. Une crue de période de retour de 100 ans a été appliquée aux autres bassins versants, et ce débit de crue est considéré comme permanent.

Le barrage Amédée a été considéré comme le point d'atténuation, car l'étude de l'onde de rupture du barrage montre que, pour un débit de 214 m³/s, aucun dommage n'est attendu. L'hypothèse est faite (et confirmée par les calculs), que la brèche de la réserve d'eau ne peut pas entraîner de débit supérieur à 214 m³/s, donc de conséquence en aval du barrage.

Deux routes en terre sont rencontrées par l'onde de rupture. Leurs ponceaux sont considérés comme impactés par la crue sans brèche et donc effacés pour la simulation avec brèche.

4. Hydrologie de la zone d'étude

La crue de conception pour la rupture de la réserve d'eau est composée d'une fonte des neiges de période de retour 100 ans et d'une pluie journalière de période de retour 2 000 ans. Le point d'atténuation de la rupture est le barrage Amédée n°X0003169. Entre la réserve d'eau et le point d'atténuation, le cours d'eau récepteur de l'onde de rupture confluera avec plusieurs cours d'eau, dont les trois principaux sont :

- Un ruisseau sans nom en rive droite, 700 m en aval de la brèche, drainant un bassin versant de 4,2 km². Le bassin versant du cours d'eau après la confluence est de 6,3 km²;
- Le ruisseau Petit Bras, 700 m en amont de l'autoroute 138, provenant du lac Petit Bras, si bien que la superficie du bassin versant totale après confluence est portée à 15 km²;
- La rivière Amédée, que le ruisseau Petit Bras rejoint 850 m en amont du barrage, ce qui porte la superficie du bassin versant après confluence à 80 km².

Le débit de crue centennale pour chaque bassin versant est donc modifié à chaque confluence. Les valeurs de crue appliquées sont présentées dans le Tableau 4-1.

Tableau 4-1 : Crue centennale des bassins versants de la zone d'étude

Bassin versant	Superficie	Débit centennial	Méthode d'obtention
Après confluence avec ruisseau sans nom en rive droite	6,3 km ²	7,2 m ³ /s	Méthode rationnelle
Après confluence avec ruisseau Petit Bras	15 km ²	13,3 m ³ /s	
Après confluence avec rivière Amédée	80 km ²	38,7 m ³ /s	Extrait de l'étude de l'onde de rupture du barrage Amédée

Les points d'injection des débits des cours d'eau sont montrés à la Figure 5-2 dans la géométrie du modèle 1D.



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

5. Construction du modèle hydraulique

5.1 Principes de modélisation

Le modèle hydraulique a été construit avec l'aide du logiciel HEC-RAS développé par le corps des ingénieurs de l'armée américaine. Ce logiciel permet la simulation des écoulements en 1D (variation des caractéristiques de l'écoulement uniquement dans le sens de l'écoulement) ou en 2D (variation des caractéristiques de l'écoulement dans un plan horizontal).

5.2 Construction du modèle 2D

Le modèle 2D a été utilisé pour simuler les écoulements dans la proximité de la brèche et évaluer les impacts possibles sur la zone industrielle projetée. La brèche est localisée là où le terrain est le plus bas, ce qui engendre le débit de brèche le plus grand. D'autres emplacements de brèche, sur les faces sud-est et est de la réserve d'eau ont été considérés, mais le terrain naturel est trop haut pour qu'une brèche s'y développe.

La Figure 5-1 permet de visualiser la localisation de la brèche, les limites du modèle 2D, de la réserve d'eau et du site projeté de l'usine.

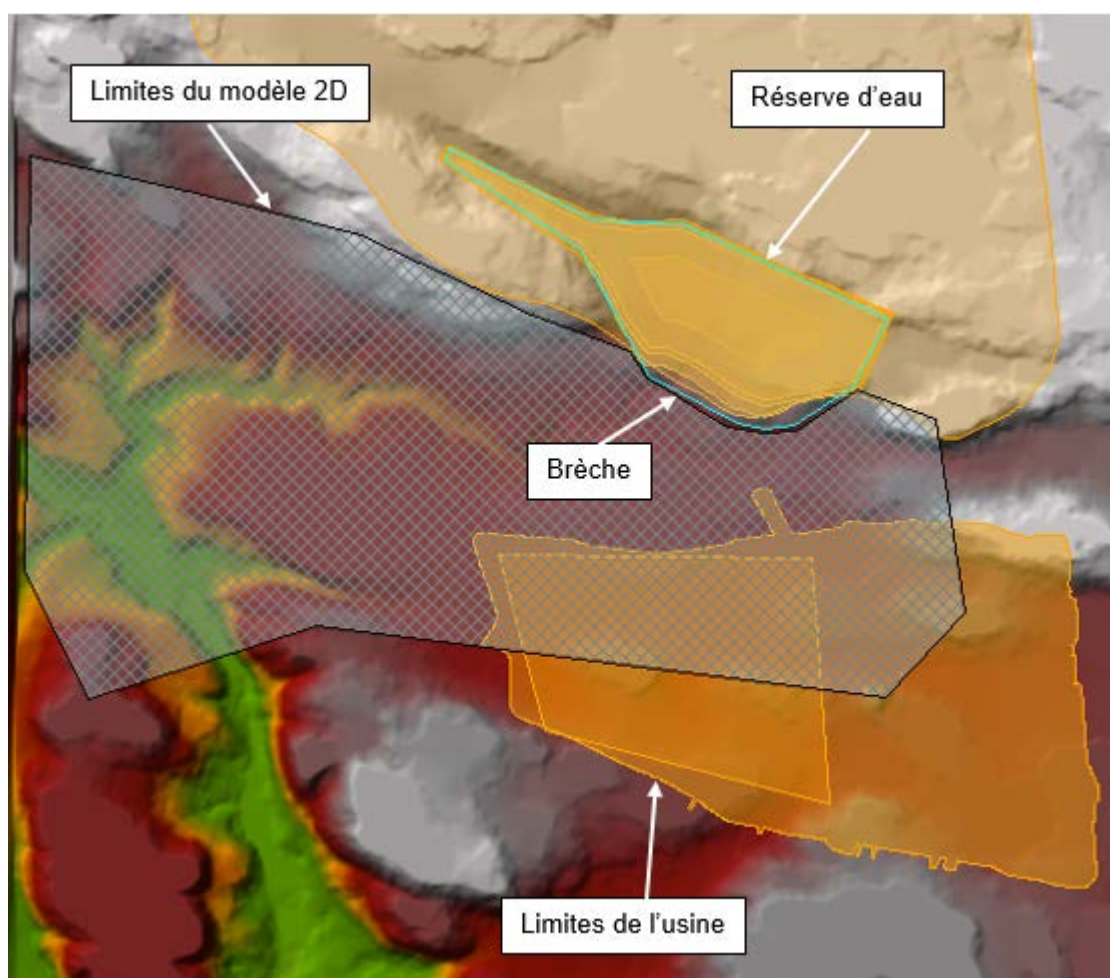


Figure 5-1 : Limites du modèle hydraulique 2D

5.3 Construction du modèle 1D

Le modèle 1D a été utilisé pour évaluer les conséquences de la rupture sur le pont de l'A138 et la zone urbaine de la ville de Baie-Comeau située en rive droite de la rivière Amédée. L'onde de rupture générée avec le modèle 2D a été utilisée comme débit d'entrée dans le modèle. Les débits des autres cours d'eau sont intégrés là où ils confluent avec le ruisseau modélisé.

Le modèle hydraulique s'étend depuis la réserve d'eau projetée jusqu'au barrage Amédée. À la confluence avec la rivière Amédée, cette dernière est une retenue d'eau contrôlée par le barrage Amédée. Le logiciel HEC-RAS intègre en conséquence la capacité d'évacuation du barrage Amédée et la courbe d'emmagasinement de la retenue telles qu'elles sont définies dans l'étude de l'onde de rupture du barrage Amédée.

Le logiciel permet également d'intégrer le pont de l'autoroute 138. Sa construction a dû faire l'objet d'hypothèses, car aucun plan de l'ouvrage n'a pu être récupéré pour l'étude. La Société d'expansion de Baie-Comeau a indiqué que le dégagement du pont est de 5,5 m; en ajoutant cette hauteur au fond du cours d'eau déduit des données LiDAR, on obtient un bas de tablier à l'élévation 57,4 m.

Les plans LiDAR de la ville de Baie-Comeau permettent de deviner la géométrie des remblais protégeant les culées du pont. Ces remblais semblent monter à une élévation de 56 m et posséder des pentes de 2,5H:1V. L'écart mesuré entre les hauts de remblais est de 27 m. Il a donc été fait l'hypothèse que le pont de l'A138 fait 27 m d'ouverture. Il a également été supposé que le pont ne dispose pas de piles. Les talus sont empierrés, mais le calibre de l'enrochement de protection n'est pas connu. Les coefficients de Manning des cours d'eau ont été fixés à 0,08 pour le lit majeur et 0,025 pour le lit mineur.

Deux simulations ont été réalisées, l'une pour caractériser l'écoulement des eaux en crue sans brèche et l'autre pour caractériser l'écoulement des eaux en crue avec la brèche.

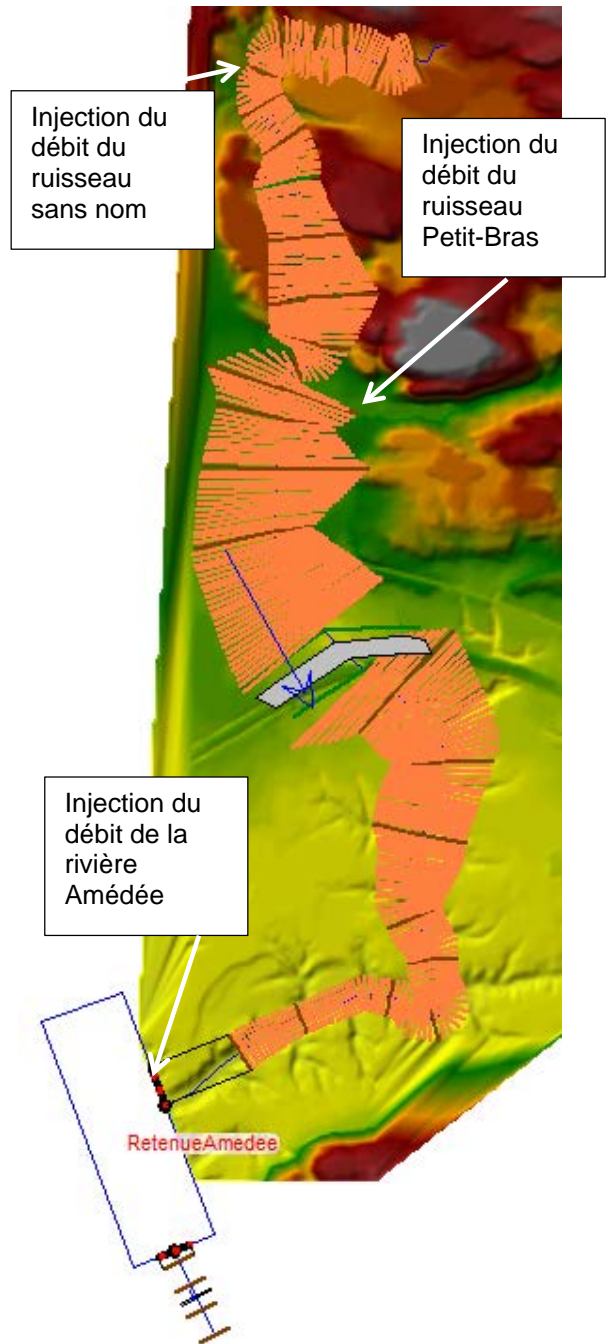


Figure 5-2 : Géométrie du modèle hydraulique 1D

6. Simulation du bris et propagation de l'onde de rupture

6.1 Génération de l'onde de rupture et impact sur le site de l'usine

Comme le montre la Figure 6-1, la zone inondée par la brèche peut atteindre le site de l'usine. La Figure 6-1 montre en rouge le niveau maximal atteint par les eaux en tous points du modèle 2D. La zone impactée de l'usine est une zone de stockage sans infrastructure.

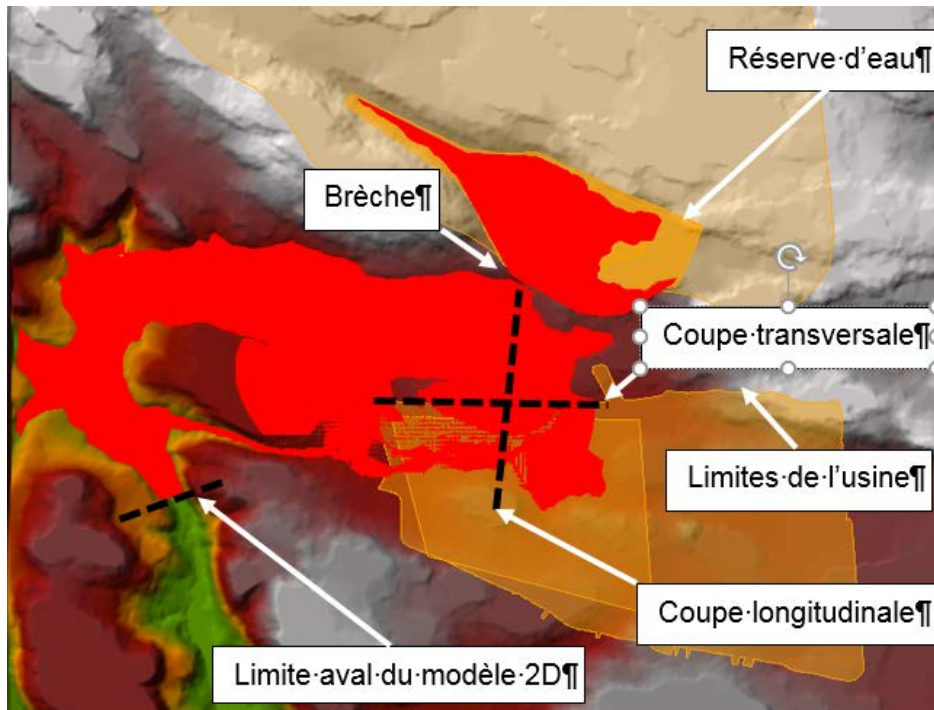


Figure 6-1 : Zone inondée à proximité de l'usine

La rupture de la digue génère un hydrogramme d'onde de rupture dont le débit maximal est de 48,5 m³/s. Comme le montre la Figure 6-2, la brèche est déclenchée 5 minutes après le début de la simulation et le débit maximal est atteint 11 minutes après le début de la brèche.

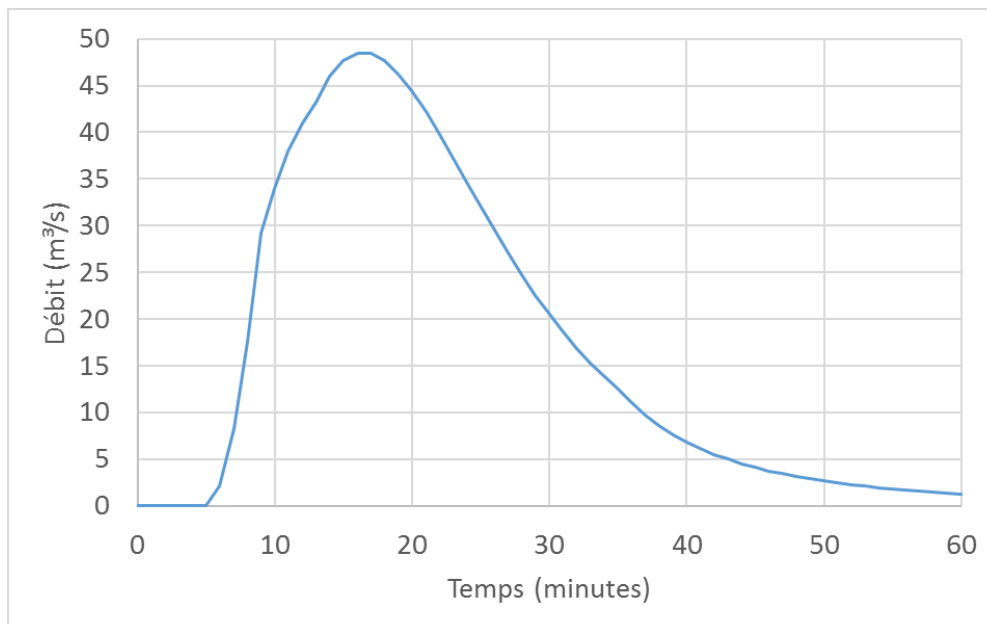


Figure 6-2 : Hydrogramme de l'onde de rupture



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

Comme indiqué sur la Figure 6-1, deux coupes ont été tracées dans le modèle pour montrer les lames d'eau maximales atteintes à proximité et dans le site prévu pour l'usine. La première coupe, longitudinale, montrée à la Figure 6-3, représente le niveau d'eau maximal atteint depuis la brèche jusqu'à la frontière de l'usine et dans l'usine. La seconde coupe, transversale, montrée à la Figure 6-4 est tracée sur la frontière de l'usine qui fait face à la réserve d'eau et à l'onde de rupture générée par la brèche.

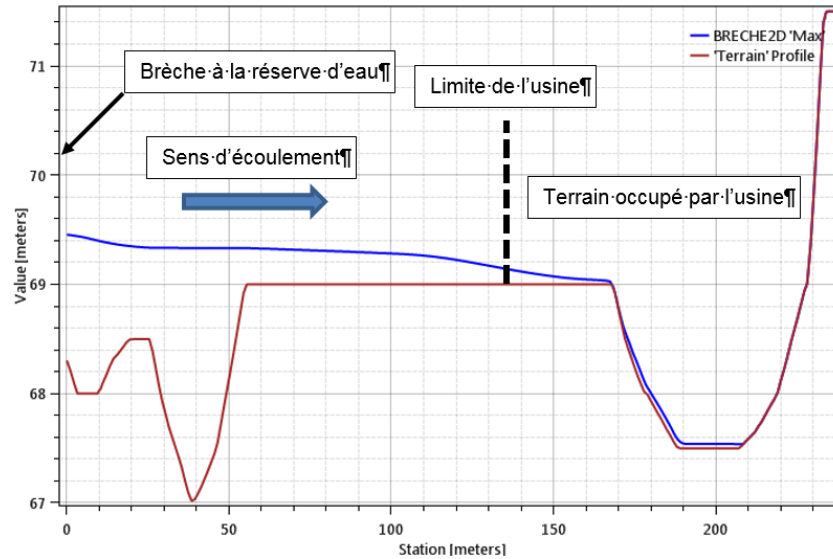


Figure 6-3 : Niveau d'eau maximal atteint entre la brèche et l'usine (coupe longitudinale)

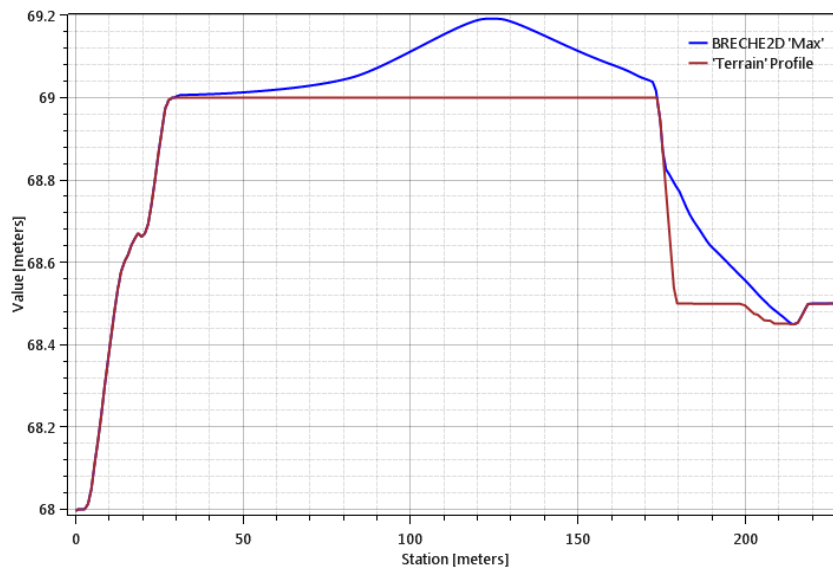


Figure 6-4 : Niveau d'eau maximal atteint à la limite de l'usine (coupe transversale)

Ces deux figures permettent de constater que la frontière de l'usine se situe à l'élévation 69 m d'après le modèle de terrain basé sur les courbes de niveau topographiques. La lame d'eau générée par la rupture atteint un maximum de 20 cm au-dessus du terrain naturel, à l'élévation 69,2 m, ce qui permet à une partie des eaux relâchées par la rupture de se répandre sur le site de l'usine. Toutefois, le secteur de l'usine impacté est prévu pour être une zone de stockage de palettes contenant les produits finis emballés, sans infrastructure. Il n'y a pas de dégâts attendus. Enfin, la hauteur de la lame d'eau et sa vitesse d'écoulement ($<0,3$ m/s) sont trop faibles pour mettre en danger des personnes.



Sécurité • Qualité • Durabilité • Innovation

6.2 Propagation de l'onde de rupture jusque la rivière Amédée

L'onde de rupture générée avec le modèle 2D est injectée comme débit dans le modèle 1D. La propagation de l'onde de rupture dans le modèle suit deux mécanismes; d'une part, l'onde perd en intensité, s'étale dans le temps et son débit maximal diminue; d'autre part, les débits de crue des autres cours d'eau viennent s'ajouter au débit de brèche. Le Tableau 6-1 donne les principales caractéristiques de l'onde de rupture avec crue et permet de les comparer à la situation de crue sans onde de rupture.

Tableau 6-1 : Impact de la brèche sur les niveaux et débits de crue

Localisation	Temps d'arrivée de l'onde	Débit de pointe Brèche + crue	Débit de crue sans brèche	Niveau max Brèche + crue	Niveau max crue sans brèche
Brèche	0	48,5 m ³ /s	0	N/A	
Pont A138	13 minutes	34,0 m ³ /s	13,3 m ³ /s	53,71 m	52,90 m
Rivière Amédée (avant confluence)	21 minutes	31,0 m ³ /s	13,3 m ³ /s	46,02 m	45,84 m
Rivière Amédée (barrage)	21 minutes	50,4 m ³ /s	38,7 m ³ /s	45,89 m	45,74 m

Le débit maximal généré par la rupture est de 48,5 m³/s à la brèche. À la rivière Amédée, du fait du laminage dans le cours d'eau et dans la retenue, le débit supplémentaire imputable à la brèche est au maximum de 11,7 m³/s (50,4-38,7 = 11,7). En comparaison des niveaux atteints en crue sans brèche, l'onde de rupture génère une rehausse du niveau d'eau de 81 cm au pont de l'A138 (53,71 – 52,90 = 0,81 m) et de 15 cm dans la rivière Amédée (45,89 – 45,74 = 0,15 m). Au pont de l'A138, les vitesses d'écoulement sont de l'ordre de 1,0 m/s en crue sans brèche et de 1,3 m/s en situation de brèche durant la crue.

La Figure 6-5 permet de comparer les caractéristiques de l'écoulement au barrage Amédée en crue, avec et sans la brèche.

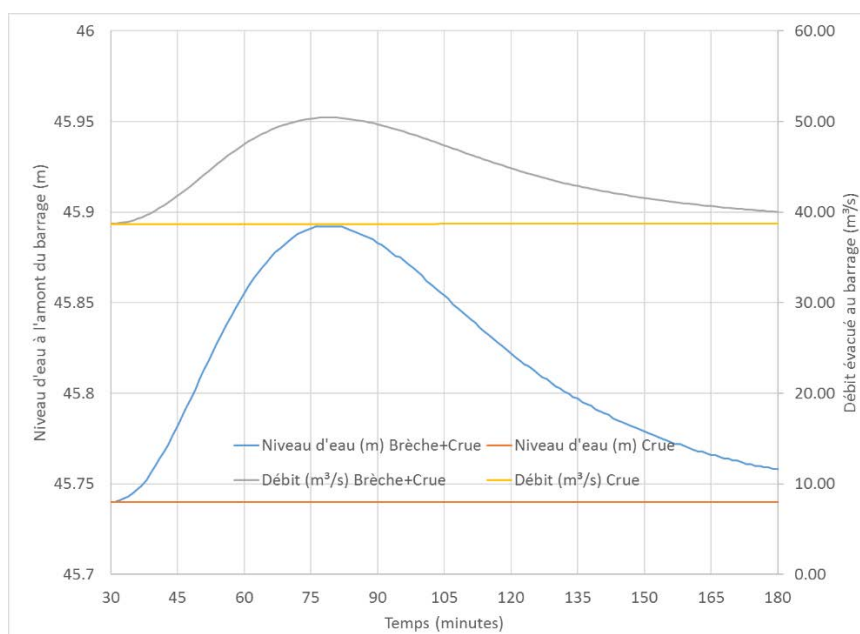


Figure 6-5 : Écoulement au barrage Amédée en crue, avec et sans brèche

7. Synthèse, discussion et recommandations

Le développement projeté par Mason Graphite à Baie-Comeau inclut un parc à résidus dont les eaux de ruissellement sont collectées dans une réserve d'eau. Cette réserve est partiellement excavée dans le terrain naturel et fermée par une digue. Cette étude a permis de déterminer les conséquences d'une rupture de la digue sur les cours d'eau situés en aval, jusqu'au barrage Amédée, point d'atténuation de l'onde de rupture.

Par temps sec, les eaux collectées restent sous le niveau du terrain naturel dans la partie excavée, et la simulation d'une rupture par temps sec est donc inapplicable. Par temps de crue, la rupture engendrerait la libération rapide d'un peu plus de 60 000 m³, provoquant une onde de rupture dont le débit de pointe atteint 37,5 m³/s.

La propagation de l'onde de rupture, son addition avec les débits de crue des cours d'eau et la comparaison avec la situation de crue sans rupture ont fait l'objet de cette étude. L'usine, le pont de l'A138 et la rive droite de la rivière Amédée sont les enjeux considérés comme susceptibles d'être impactés par l'onde de rupture. La rupture de la digue inonde une zone de stockage sans infrastructure de l'usine où une lame d'eau d'une hauteur maximale de 20 cm se répand lentement (<0,3 m/s). La rupture génère un rehaussement du niveau d'eau de 81 cm au pont de l'A138 et de 15 cm au barrage Amédée. Les vitesses d'écoulement au pont sont de 1,0 m/s en crue sans brèche et de 1,3 m/s en crue avec brèche.

L'onde de rupture ne semble pas pouvoir impacter l'usine, car la zone inondable en cas de rupture est une zone de stockage sans infrastructures. Si des infrastructures devaient être développées dans cette zone de stockage, il faudrait prévoir un merlon de protection autour de l'usine pour empêcher les intrusions d'eau, mais cela n'est pas nécessaire avec le concept actuel de l'usine. L'onde ne semble pas pouvoir endommager le pont de l'A138, ni par le niveau atteint ni par l'augmentation des vitesses d'écoulement, mais il est recommandé de confirmer les dimensions du pont pour se prononcer avec certitude. Les élévations de la route et des maisons placées en rive droite de la rivière Amédée là où elle est contrôlée par le barrage Amédée ne nous ont pas été communiquées, mais, causant un bref rehaussement de 15 cm du niveau d'eau dans la rivière au droit de ce secteur résidentiel, il est peu probable que la brèche puisse y avoir des conséquences. Toutefois, il est recommandé de vérifier si des secteurs résidentiels peuvent être inondés par un niveau d'eau de 45,89 m dans la rivière.

Il est intéressant de noter que le niveau atteint dans la rivière Amédée au passage de l'onde de rupture (45,89 m) est très proche de celui atteint au passage de la crue 1 000 ans de la rivière Amédée sans rupture (45,90 m). Le plan de gestion des eaux retenues pour le barrage Amédée doit indiquer « dans le cas où les zones avoisinant le barrage sont habitées, les seuils d'inondation en amont et en aval » (article 30 du règlement sur la sécurité des barrages). Les conséquences de la rupture pourraient ainsi être déduites du plan de gestion des eaux.

À la lecture du rapport de l'onde de rupture du barrage Amédée d'octobre 2016, il apparaît que les crues de la rivière Amédée ont été définies en transposant des débits depuis des bassins versants jaugés voisins au prorata des superficies des bassins. Les bassins versants jaugés étant nettement plus grands que celui de la rivière Amédée, ce procédé conduit probablement à sous-estimer le débit de crue; en effet, il est généralement reconnu que plus un bassin versant est petit, plus son débit de crue par km² est grand. Il est recommandé de discuter et peut-être revoir la méthodologie utilisée pour la détermination des crues dans ce rapport. En effet, l'impact de la brèche se mesure par rapport au niveau atteint en crue et, si ce dernier est modifié, le niveau atteint au passage de l'onde de rupture le serait également.

