

ANNEXE QC-67

**Mise à jour de l'étude de modélisation hydrogéologique des impacts potentiels
sur la qualité de l'eau souterraine du prolongement de la halde à stériles et du
parc à résidus**



Août 2015

MISE À JOUR ÉTUDE DE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE DES IMPACTS POTENTIELS SUR LA QUALITÉ DE L'EAU SOUTERRAINE DU PROLONGEMENT DE LA HALDE À STÉRILES ET DU PARC À RÉSIDUS, MINE CANADIAN MALARTIC, QUÉBEC

Présenté à:

Madame Christine Baribeau
Canadian Malartic GP
100, chemin du Lac Mourier
Malartic (Québec) J0Y 1Z0

RAPPORT



Numéro de projet: 062-13-1221-0020-2020-Rev2

Distribution:

1 document électronique : Canadian Malartic GP,
Malartic, Québec
1 exemplaire : Golder Associés Ltée, Montréal,
Québec





Table des matières

1.0 INTRODUCTION	1
1.1 Mise en contexte	1
1.2 Objectifs et mandat	1
2.0 ÉTUDES ANTÉRIEURES	2
3.0 CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE	4
3.1 Contexte géologique	4
3.2 Unités hydrostratigraphiques	5
3.3 Conductivités hydrauliques des matériaux en place	8
3.4 Écoulement de l'eau souterraine	8
3.5 Classification des eaux souterraines	9
3.6 Identification des critères de qualité de l'eau souterraine applicables	10
4.0 MODÈLE CONCEPTUEL	10
4.1 Unités hydrostratigraphiques représentant la géologie du secteur	10
4.2 Aires d'accumulation et infrastructures connexes projetées	11
4.3 Description du système d'écoulement souterrain modélisé	12
4.4 Identification des contaminants d'intérêt	13
5.0 MODÈLE NUMÉRIQUE	14
5.1 Logiciel de modélisation employé	15
5.2 Construction du maillage et conditions limites	15
5.3 Paramètres hydrauliques du modèle	17
5.4 Définition de la source de contaminant	19
5.5 Coefficient d'adsorption, de dispersion et de dégradation	19
5.6 Calage du modèle numérique d'écoulement – conditions naturelles	20
6.0 RÉSULTATS DE MODÉLISATION	22
6.1 Simulations prédictives – Cyanures totaux	23
6.1.1 Cas de base	23
6.1.2 Analyse de sensibilité	25
6.1.2.1 Constante de dégradation	25



6.1.2.2 Conductivité hydraulique du remblai de fondation 27

6.1.2.3 Infiltration au niveau des résidus épaisissés..... 28

6.2 Simulations prédictives – Sodium 31

6.3 Simulations prédictives – Cuivre 32

6.4 Limites du modèle 33

7.0 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS 34

8.0 RÉFÉRENCES 36

9.0 SIGNATURES 38

TABLEAUX (DANS LE TEXTE)

Tableau 1: Caractéristiques des unités hydrostratigraphiques du secteur du prolongement des aires d'accumulation 7

Tableau 2: Conductivités hydrauliques des principaux matériaux en place..... 8

Tableau 3: Paramétrage du modèle - Cas de base 18

Tableau 4: Paramétrage du modèle de Van Genuchten modifié appliqué aux différentes unités hydrostratigraphiques 19

Tableau 5: Concentrations sources en contaminants considérées dans le modèle hydrogéologique..... 19

Tableau 6: Sommaire des propriétés de dispersivité et de diffusion 20

FIGURES (DANS LE TEXTE)

Figure 1: Comparaison entre les charges hydrauliques mesurées et simulées - modèle d'écoulement calé 22

Figure 2: Variation temporelle des concentrations en cyanures totaux dans l'aquifère de roc – cas de base 24

Figure 3: Variation temporelle des concentrations en cyanures totaux dans l'aquifère de roc – scénario #1 : $\lambda = 0$ 26

Figure 4: Variation temporelle des concentrations en cyanures totaux dans l'aquifère de roc – scénario #2 : $\lambda = 1 \times 10^{-5}$
1/j 27

Figure 5: Variation temporelle des concentrations en cyanures totaux dans l'aquifère de roc – scénario #3 : K remblai
de fondation X 10 28

Figure 6: Variation temporelle des concentrations en cyanures totaux dans l'aquifère de roc – scénario #4 : Recharge
X 2 30

Figure 7: Variation temporelle des concentrations en cyanures totaux dans l'aquifère de roc – scénario #5 : Recharge
/ 2 31

Figure 8: Variation temporelle des concentrations en sodium dans l'aquifère de roc..... 32

Figure 9: Variation temporelle des concentrations en cuivre dans l'aquifère de roc 33



PLANS (APRÈS LE TEXTE)

Plan 1 : Localisation des aménagements projetés

Plan 2 : Carte des dépôts meubles (Commission Géologique du Canada)

Plan 3 : Interprétation de l'épaisseur des sols cohérents de la piézométrie du roc et localisation de la coupe modélisée

Plan 4 : Coupe stratigraphique le long de l'axe modélisé

Plan 5 : Maillage d'éléments finis utilisé pour le modèle bidimensionnel en coupe

ANNEXES

ANNEXE A

Concentrations mesurées dans l'eau interstitielle des résidus de la mine Canadian Malartic

ANNEXE B

Détermination des coefficients d'adsorption de l'argile silteuse pour les paramètres d'intérêt

ANNEXE C

Conditions générales et limitations – Modélisation numérique



1.0 INTRODUCTION

Ce rapport constitue une mise à jour de l'étude de modélisation réalisée dans le cadre de l'étude d'impact sur l'environnement (ÉIE) pour le projet d'extension de la mine Canadian Malartic (la Mine) de Canadian Malartic GP (CMGP). Ainsi, il remplace l'annexe 10.1 de l'ÉIE datée de janvier 2015. Cette mise à jour s'est avérée nécessaire à la suite de la collecte de données complémentaires et pour répondre aux questions du MDDELCC¹ concernant l'étude de modélisation.

1.1 Mise en contexte

Dans le cadre du projet de l'extension de la Mine (Extension Canadian Malartic), CMGP souhaite prolonger le parc à résidus ainsi que la halde à stériles vers l'est, tel qu'illustré sur le plan 1 à la fin du texte. Ce prolongement permettrait d'accumuler de façon permanente les résidus épaissis et stériles principalement générés par l'Extension Canadian Malartic. Selon la Directive 019 (MDDEP, 2012), la gestion de stériles ou de résidus miniers qui ne sont pas à « faibles risques » doit inclure des mesures de protection des eaux souterraines qui permettront de respecter les objectifs de protection de celles-ci. Un aménagement minier à risque, comme un parc à résidus, doit être aménagé et exploité de manière à éviter toute dégradation significative de la qualité de l'eau souterraine pendant et après son exploitation.

Afin d'assurer le respect des objectifs de protection des eaux souterraines, Golder Associés Ltée (Golder) a réalisé une étude hydrogéologique du secteur visé par les aménagements proposés. Cette étude s'insère dans le processus d'évaluation des mesures d'étanchéité qui doivent être appliquées pour la protection des eaux souterraines selon la Directive 019.

1.2 Objectifs et mandat

L'objectif de l'étude hydrogéologique est de déterminer si le prolongement du parc à résidus épaissis et de la halde à stériles, et le mode de gestion de ces matériaux, permettront de respecter les objectifs de protection des eaux souterraines. Cette étude cible de façon spécifique les objectifs suivants :

- 1) Simuler l'écoulement et le transport de contaminants dans l'eau souterraine à l'aval des aires d'accumulation projetées;
- 2) Évaluer la qualité de l'eau souterraine à l'aval des aires d'accumulation en regard des objectifs de protection édictés par le MDDELCC;
- 3) Valider l'efficacité des mesures de protection de l'eau souterraine envisagées.

L'étude hydrogéologique réalisée dans le cadre du prolongement du parc à résidus et de la halde à stériles vers l'est s'insère à l'intérieur d'un processus global d'études visant l'investigation des conditions de terrain, la caractérisation des matériaux devant être accumulés et la conception des aires d'accumulation et ouvrages connexes projetés. Elle s'inscrit par ailleurs dans la continuité de l'étude hydrogéologique réalisée en 2009-2010 afin d'évaluer les impacts potentiels du parc à résidus miniers du projet Canadian Malartic d'origine sur la qualité de l'eau souterraine (Golder, 2009a, 2010).

¹ MDDELCC : ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, anciennement connu comme le ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP), le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP), le ministère de l'Environnement du Québec (MENV) ou le ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec (MEF)



L'approche mise de l'avant dans le cadre de la présente étude de modélisation a consisté à concevoir un modèle conceptuel permettant de représenter l'écoulement de l'eau souterraine et le transport de contaminants dans le secteur du prolongement du parc à résidus et de la halde à stériles. Le modèle conceptuel a ensuite été transposé dans une forme numérique à l'intérieur d'un logiciel de modélisation hydrogéologique. Le modèle numérique d'écoulement ainsi créé a ensuite été calé à l'aide de simulations en conditions naturelles, c'est-à-dire sans les aménagements proposés. L'intégration de ces aménagements à l'intérieur du modèle numérique a permis de simuler le transport de contaminants dans l'eau souterraine et la détermination prédictive de la qualité de l'eau souterraine à l'aval des aires d'accumulations projetées. La sensibilité du modèle numérique, et donc la variabilité des résultats obtenus, a par la suite été évaluée.

Le présent rapport expose l'ensemble du processus réalisé dans le cadre de l'étude de modélisation, incluant les résultats obtenus, ainsi que les conclusions et recommandations tirées de ceux-ci. Les conditions générales ainsi que les limitations à la présente étude sont exposées à l'Annexe A.

2.0 ÉTUDES ANTÉRIEURES

Préalablement à la mise en production de la Mine, des études et investigations approfondies ont été réalisées afin d'évaluer l'impact potentiel de l'accumulation des résidus épaissis devant être générés par la Mine sur la qualité de l'eau souterraine circulant dans l'aquifère de roc fracturé (Golder, 2009a, 2009b, 2009c, 2010). L'objectif était d'entreposer les résidus épaissis générés par la Mine sur les résidus existants du parc à résidus de la East Malartic et donc de les recouvrir et restaurer un site orphelin. Il est important de mentionner que certains des anciens résidus ont été produits dans le passé par de l'usinage à façon de minerais provenant de l'extérieur de la propriété Canadian Malartic et que certains des anciens résidus sont acidogènes. Cette approche avait notamment l'avantage de permettre le recouvrement de résidus existants acidogènes, et par le fait même d'augmenter le niveau de la nappe et diminuer l'accès à l'oxygène pour ainsi réduire significativement l'acidification de ces anciens résidus et donc ultimement minimiser le potentiel de contamination de l'eau souterraine. Les études et investigations ciblaient donc spécifiquement les zones recouvertes par les résidus existants, où il était prévu de mettre en place les résidus épaissis produits par l'exploitation de la Mine.

Des études et investigations ont également visé l'évaluation de l'impact potentiel de l'emménagement temporaire des eaux de contact à l'intérieur du bassin Sud-est qui était projeté, sur la qualité de l'eau souterraine de l'aquifère de roc (Golder, 2009d, 2009e).

Dans un premier temps, l'impact potentiel a été évalué sur une base conceptuelle (Golder, 2009c). L'information historique sur les résidus déjà produits et entreposés de même que les données géochimiques obtenues des essais sur les futurs résidus ont montré que ces derniers présentaient un faible risque d'impact pour la qualité de l'eau souterraine. Le contexte hydrogéologique prévalant au droit de l'emplacement retenu pour l'implantation du parc à résidus s'avérait également favorable. En effet, la présence de dépôts meubles de faible perméabilité allait permettre de limiter les exfiltrations du parc à résidus et du bassin Sud-est projetés vers l'eau souterraine du roc.

Dans un second temps, l'évaluation de l'impact potentiel des aires d'accumulation projetées (parc à résidus et de la halde à stériles) sur la qualité de l'eau souterraine portait sur la quantification des débits d'exfiltration attendus vers l'aquifère de roc. L'application d'une solution analytique a permis de montrer que le taux



d'exfiltration attendu au niveau du bassin Sud-est respectait le débit de 3,3 l/m²/j spécifié dans la Directive 019 pour une protection de Niveau A (Golder, 2009d). Une conclusion similaire a été atteinte pour l'évaluation du taux d'exfiltration attendu entre le parc à résidus et l'aquifère de roc (Golder, 2009a). Dans ce cas, une approche de modélisation numérique de l'écoulement à travers le profil vertical a permis de montrer que le taux d'exfiltration moyen attendu entre le parc à résidus et l'aquifère de roc variait entre 0,05 l/m²/j et 0,60 l/m²/j, alors que le taux maximal variait entre 0,19 l/m²/j et 1,41 l/m²/j.

La modélisation du transport de solutés à travers le substrat du parc à résidus et du bassin Sud-est a été entreprise dans un troisième temps, afin de vérifier le respect des objectifs de protection de l'eau souterraine (Golder, 2009e, 2010). Un modèle numérique a permis de simuler l'évolution des solutés dans l'eau souterraine en fonction du temps, le long d'une coupe représentative des conditions d'écoulement sous le parc à résidus devant accueillir les nouveaux résidus épaissis. Les résultats ont montré qu'aucun dépassement des critères de qualité applicables n'était prédit à 300 m à l'aval hydraulique du parc à résidus, pour l'un ou l'autre des solutés investigués. Une conclusion similaire a été tirée de la modélisation de la migration de solutés sous le bassin Sud-est (Golder, 2009e). Ces études et investigations ont montré le fait que l'accumulation de résidus épaissis, de même que l'emmagasinement d'eau de contact, ne risquait pas d'engendrer un impact significatif sur la qualité de l'eau souterraine dans l'aquifère de roc. De façon globale, les matériaux géologiques en place au droit des infrastructures projetées offraient un degré d'étanchéité suffisant pour limiter l'infiltration à travers le substrat, ainsi que la migration des solutés vers l'aval, à des niveaux inférieurs aux seuils limites recommandés par le MDDELCC.

Les études hydrogéologiques spécifiquement reliées au secteur du prolongement du parc à résidus et de la halde à stériles ont d'abord consisté en une évaluation de l'état de référence des eaux souterraines au droit, et à l'aval des empreintes prévues (Golder, 2014a). Cette évaluation a permis de définir le contexte hydrogéologique local, décrit de façon détaillée à la section suivante. Elle a également mené à la caractérisation de la qualité des eaux souterraines prévalant avant le prolongement des aires d'accumulation. Par la suite, une évaluation du débit de percolation quotidien anticipé sous les aires d'accumulation en question a été réalisée (Golder, 2014b). Cette évaluation a montré que le débit de percolation anticipé était inférieur au débit quotidien maximal de percolation de 3,3 l/m² établi dans la Directive 019 en tout point du prolongement de la halde à stériles. Elle a par ailleurs montré que le débit de percolation anticipé était supérieur à cette valeur maximale en certaines zones situées au droit du prolongement du parc à résidus. Il a été conclu que le substrat de ces zones allait devoir être amélioré au moment de la construction du prolongement, afin de respecter le débit quotidien maximal de percolation de 3,3 l/m².



3.0 CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE

3.1 Contexte géologique

Dépôts meubles naturels

Les secteurs où s'insère le prolongement du parc à résidus et de la halde à stériles de l'Extension Canadian Malartic sont principalement caractérisés par la présence de dépôts dont l'origine remonte à la dernière glaciation. Le plan 2 présente la cartographie des dépôts de surface pour l'ensemble de la propriété de CMGP, incluant les secteurs du prolongement du parc à résidus et de la halde à stériles. Les dépôts rencontrés se divisent essentiellement en trois types distincts, soit : le till, les dépôts d'origine fluvioglaciaire et les dépôts d'origine glaciolacustre. Selon les informations provenant des travaux d'investigation ainsi que de la littérature, ces unités sont spatialement hétérogènes et d'épaisseur variable. Aucune de ces unités n'est présente en continu sur la zone à l'étude.

L'unité à la base de la stratigraphie est le till. Il s'agit d'un dépôt résultant de l'érosion et du transport de sédiments par les glaciers. Sur la propriété, le till est principalement présent sur les hauts topographiques (ou collines) et son épaisseur est généralement de moins d'un mètre à ces endroits. Les portions inférieures des pentes des collines sont généralement couvertes par un dépôt continu de till d'épaisseur généralement de plus d'un mètre, alors que dans les portions supérieures et sur les sommets, la couverture de till est discontinue et d'une épaisseur inférieure à un mètre. Les discontinuités du till au niveau de ces formes de relief ont pour conséquence d'exposer le roc à la surface.

Le retrait glaciaire a mis en place des dépôts fluvioglaciaires, principalement sous la forme d'eskers, qui sont présents dans la région. Ceux-ci sont principalement composés de sable et de gravier. Des dépôts correspondant vraisemblablement à des segments d'esker ou à des zones d'épandage fluvioglaciaire sont localement en place dans le secteur du prolongement du parc à résidus et de la halde à stériles. Ces dépôts forment des structures plus ou moins allongées et étroites, dont l'expression en surface crée une morphologie convexe.

Les dépôts glaciolacustres sont les sédiments en suspension qui étaient présents dans le lac Barlow-Ojibway et qui se sont déposés sur les terres immergées. Les dépôts typiques d'un environnement glaciolacustre sont les argiles varvées composées de couches estivales en alternance avec les couches hivernales. La couche estivale est généralement plus épaisse, à granulométrie plus grossière, silteuse et de couleur plus claire. La couche hivernale est moins épaisse, à granulométrie plus fine, argileuse et de couleur plus foncée. Les dépôts glaciolacustres ont une épaisseur variable qui peut atteindre plus de dix mètres dans le secteur du prolongement des aires d'accumulations.

À la suite du retrait du lac Barlow-Ojibway, les dépôts glaciolacustres ont été mis à découvert. C'est à ce moment que s'est développé le système de drainage suivant la pente du terrain. Les dépôts mis en place par le développement du système de drainage sont les alluvions. Ceux-ci sont principalement composés de sable silteux, de silt argileux, de sable et de gravier, et leur épaisseur varie généralement de 1 à 5 mètres. Dans le secteur du prolongement, ces dépôts se retrouvent exclusivement dans la vallée du ruisseau Raymond.

À la suite de la déposition des alluvions, les tourbières se sont formées. Les tourbières sont composées de dépôts organiques à décomposition très lente, puisqu'elles sont la plupart du temps submergées. Un horizon de dépôts organiques est localement observé directement en surface ou sous le remblai, lorsque présent. Cet



horizon organique est généralement mince et absent des hauts topographiques. Là où cet horizon est présent, son épaisseur varie généralement entre 0,1 m et 0,6 m, et atteint localement 1,2 m.

Résidus miniers (résidus et stériles)

D'anciens résidus recouvrent les dépôts meubles naturels sur la quasi-totalité du secteur retenu pour les aménagements actuels du parc à résidus épaissis et de la halde à stériles. Ces résidus sont généralement absents du secteur visé pour le prolongement des aires d'accumulation, à l'exception des terrains situés dans la vallée du ruisseau Raymond, à l'aval du bassin de polissage actuel, où d'anciens résidus se sont épanchés en surface des terrains au cours d'anciennes phases d'exploitation. Ces résidus présentent une granulométrie variable pouvant s'expliquer par les diverses provenances du minerai traité. Selon les données provenant d'anciennes investigations, ces résidus présentent des caractéristiques physiques pouvant s'apparenter à un sable fin à silt, lâche et humide, gris à brun parfois oxydé en surface.

Des stériles sont ponctuellement présents en surface dans le secteur du prolongement des aires d'accumulation. Ces stériles ont été mis en place localement comme matériau de remblai le long des chemins d'accès, directement au-dessus des dépôts naturellement présents.

Socle rocheux

De façon sommaire, la majeure partie du socle rocheux recouvrant le secteur se compose de roches métasédimentaires siliceuses, en l'occurrence le conglomérat polygénique du Groupe de Piché et la grauwacke du Groupe de Pontiac. Le substratum est également composé de roches volcaniques, intrusives ultramafiques, mafiques (basalte) et intrusives felsiques (tonalite). La zone de la faille de Cadillac, d'orientation est-ouest, entrecoupe la région à l'étude (secteur Barnat) et sépare le Groupe de Piché au nord et le Groupe de Pontiac au sud.

La faille Raymond se situe au sud de la ville de Malartic et traverse la propriété. Il existe une intrusion relativement étendue de granodiorite au sud-est de cette faille.

Le gisement est constitué d'or disséminé dans un porphyre de diorite et une grauwacke comportant divers degrés d'altération en silice et en calcite.

3.2 Unités hydrostratigraphiques

Dix unités hydrostratigraphiques peuvent être distinguées dans le secteur du prolongement de la halde à stériles et du parc à résidus. Leur occurrence varie toutefois d'un endroit à l'autre, en raison du fait qu'aucune unité de dépôts meubles n'est continue sur tout le secteur. La séquence stratigraphique selon laquelle ces différentes unités peuvent être présentes est (de la surface au roc) :

Remblai : Des dépôts d'origine anthropique et de nature variée sont ponctuellement présents en surface de terrains, dans le secteur du prolongement des aires d'accumulation. Des stériles ont notamment été mis en place le long des chemins d'accès, directement au-dessus des dépôts naturellement présents. Dans des secteurs exploités comme bancs d'emprunt, des sols naturellement présents ont été en partie remaniés, déplacés, voire même mélangés avec des matériaux granulaires servant à l'aménagement de surfaces de travail et de circulation. Les matériaux de remblai possèdent une épaisseur généralement inférieure à 2 m.



Anciens résidus : D'anciens résidus sont présents de part et d'autre de la digue sud du bassin de polissage actuel, de même qu'en surface des terrains situés en aval de la digue, dans la vallée du ruisseau Raymond. Il s'agit du seul endroit où de tels résidus ont été observés dans le secteur du prolongement. Leur épaisseur varie entre 0,7 m et 5,0 m.

Horizon de matière organique : Un horizon de matière organique est observé directement en surface, dans les secteurs plats et topographiquement bas. Cet horizon est généralement mince. Dans le secteur du prolongement, les épaisseurs varient généralement entre 0,1 m et 1,2 m.

Sable silteux / silt sableux : L'unité de sable silteux / silt sableux est un faciès des dépôts glaciolacustres. Dans la vallée du ruisseau Raymond, des dépôts alluviaux de granulométrie semblable s'ajoutent aux dépôts glaciolacustres sublittoraux pour compléter cette unité hydrostratigraphique. Outre la vallée du ruisseau Raymond, l'unité se retrouve presque exclusivement dans la partie nord-ouest du prolongement. L'unité est présente dans la séquence stratigraphique en position affleurante ou subaffleurante, dans ce dernier cas sous des dépôts organiques ou d'anciens résidus miniers. Lorsque présente, l'épaisseur de cette unité varie entre 0,3 m et 3,9 m.

Argile / argile silteuse à silt argileux : L'unité d'argile / argile silteuse à silt argileux est un faciès des dépôts glaciolacustres. Elle est généralement présente dans les secteurs où l'élévation de la topographie est inférieure à 320 m. L'épaisseur de cette unité dans le secteur d'étude varie de 0,5 m à 10,3 m.

Silt / silt sableux : L'unité de silt / silt sableux est un faciès des dépôts glaciolacustres. Elle est généralement observée dans les secteurs où l'élévation de la topographie est inférieure à 330 m. Dans le secteur d'étude, l'épaisseur de cette unité varie entre 1,2 m et 6,4 m.

Sable : L'unité de sable est un faciès des dépôts glaciolacustres. Elle est discontinue et se situe entre les dépôts glaciolacustres fins et les dépôts glaciaires. Dans le secteur du prolongement, cette unité est essentiellement constituée de sable fin ou fin à moyen.

Sable et gravier : L'unité de sable et gravier est de nature fluvioglaciaire (épandage proglaciaire et/ou sédiments granulaires). Elle se retrouve ponctuellement dans la partie nord et nord-est du secteur d'étude. Son occurrence se limite à deux ensembles de dépôts de forme plus ou moins allongée et étroite, présents en position affleurante ou subaffleurante. Ces deux ensembles, possiblement connectés entre eux, s'étirent entre le coin nord du bassin de polissage actuel et le coin nord-est du secteur d'étude. Son épaisseur peut atteindre jusqu'à 10 m.

Till : L'unité de till, d'origine glaciaire, est généralement rencontrée entre les sédiments glaciolacustres et le roc. Alternativement, elle se retrouve sous le sable et gravier fluvioglaciaire lorsque celui-ci est présent. Le till affleure localement sur les flancs des collines au sud du secteur d'étude. Il recouvre le roc sur la majeure partie du secteur du prolongement. Son épaisseur varie entre 0,6 m et 11 m.

Roc : Le roc, qui se trouve à la base de la séquence stratigraphique, est majoritairement composé des roches métasédimentaires du Groupe de Pontiac au sud de la faille Cadillac.

Le tableau 1 dresse le récapitulatif des caractéristiques propres aux différentes unités hydrostratigraphiques en place dans le secteur du prolongement du parc à résidus et de la halde à stériles. L'unité de sable et gravier et



l'unité de till y sont regroupées en une seule, en raison de leurs similarités texturales et du fait que la transition entre les deux unités se fait de façon graduelle, lorsque les deux sont présentes.

Le plan 3 montre le secteur à l'étude, en plus d'y superposer la cartographie des épaisseurs de sols cohérents (argile et silt argileux) ainsi que l'interprétation de la piézométrie du roc. Le plan 4 présente une vue en coupe illustrant l'interprétation de la stratigraphie de la portion centrale et nord-est du secteur. L'emplacement de cette coupe est illustré sur le plan 3. La coupe s'étire le long d'un axe nord-est à nord, dans la direction de l'écoulement de l'eau souterraine, depuis le sommet de la colline présente sur le flanc nord de la vallée du ruisseau Raymond, jusqu'à la rivière Malartic.

Tableau 1: Caractéristiques des unités hydrostratigraphiques du secteur du prolongement des aires d'accumulation

Unité hydrostratigraphique	Occurrence spatiale / épaisseur	Caractéristique hydraulique
Remblai	Remblais de stériles le long des chemins d'accès Matériau remanié en surface de bancs d'emprunt Épaisseur : 0,6 – 2,2 m	Stériles : unité perméable Matériau remanié : unité semi-perméable
Anciens résidus	Exclusivement présents de part et d'autre de la digue du bassin de polissage actuel Épaisseur : 0,7 – 5 m	Unité semi-perméable
Horizon de matière organique	Présence discontinue Épaisseur : 0,1 – 1,2 m	Unité semi-perméable
Sable silteux / silt sableux	Présence ponctuelle Épaisseur : 0,3 – 3,9 m	Unité semi-perméable
Argile / argile silteuse à silt argileux	Présence discontinue Épaisseur : 0,5 – 10,3 m	Unité aquitard
Silt / silt sableux	Présence discontinue Épaisseur 1,2 – 6,4 m	Unité aquitard
Sable	Présence discontinue Épaisseur : 1,5 – 9,4 m	Unité perméable
Sable et gravier et till	Présence discontinue Épaisseur : 0,6 – 14,3 m	Unité perméable / semi-perméable
Roc	Aquifère régional de roc fracturé (continu)	



Le plan 3 présente l'interprétation de l'épaisseur de l'aquitard formé par l'unité d'argile / argile silteuse à silt argileux. Lorsque présent, cet aquitard de faible perméabilité restreint l'écoulement d'eau souterraine de surface vers le roc. Selon les observations, cet aquitard est présent là où l'élévation de la topographie est inférieure à 320 m, dans le secteur à l'étude. Son épaisseur varie de 0 m à 4 m le long de l'axe de la coupe retenue.

3.3 Conductivités hydrauliques des matériaux en place

Des essais hydrauliques ont été réalisés *in situ* (en puits ou en sondage) ou encore en laboratoire sur des échantillons de dépôts meubles, afin de déterminer la conductivité hydraulique des matériaux constituant les différentes unités hydrostratigraphiques en place. Une synthèse des valeurs de conductivité hydraulique obtenues pour les principaux matériaux en place sur la propriété est présentée au tableau 2.

Tableau 2: Conductivités hydrauliques des principaux matériaux en place

Dépôts meubles / roc	Conductivité hydraulique horizontale - Kh (m/s) ¹	Conductivité hydraulique verticale - Kv (m/s) ²
Anciens résidus	$2,4 \times 10^{-7}$ à $1,2 \times 10^{-6}$	$3,4 \times 10^{-8}$ à $5,5 \times 10^{-7}$
Argile / argile silteuse à silt argileux	$5,7 \times 10^{-10}$ à $1,4 \times 10^{-8}$	$5,0 \times 10^{-11}$ à $1,0 \times 10^{-8}$
Silt / silt sableux	$2,4 \times 10^{-9}$ à $7,4 \times 10^{-7}$	$6,0 \times 10^{-11}$ à $3,9 \times 10^{-9}$
Sable (glaciolacustre)	$2,0 \times 10^{-6}$ à $6,0 \times 10^{-4}$	-
Sable et gravier (fluvioglaciaire)	$3,0 \times 10^{-6}$	-
Till	$1,4 \times 10^{-7}$ à $8,9 \times 10^{-7}$	-
Roc	$5,0 \times 10^{-9}$ à $1,0 \times 10^{-5}$	-

1 : Déterminé à partir d'essais *in situ*

2 : Déterminé à partir d'essais en laboratoire

3.4 Écoulement de l'eau souterraine

C'est au niveau de l'aquifère de roc que s'effectue principalement l'écoulement des eaux souterraines à l'échelle de la propriété. Ceci s'explique d'une part par la discontinuité spatiale des unités stratigraphiques de dépôts meubles. D'autre part, la faible perméabilité de certains types de dépôts meubles (argile, silt) a pour conséquence de restreindre l'écoulement des eaux souterraines; les flux d'écoulement y sont donc faibles par rapport à ceux prévalant dans l'aquifère de roc.

Le plan 3 illustre l'interprétation de la piézométrie de l'aquifère de roc et les directions générales d'écoulement d'eau souterraine, les niveaux d'eau souterraine mesurés en septembre 2012 et la topographie. En considérant que les données piézométriques indiquent clairement une relation entre la topographie du roc et l'élévation de la nappe d'eau (les hauts et bas piézométriques correspondent généralement aux hauts et bas topographiques de la surface du roc, respectivement), la topographie du roc a été utilisée pour soutenir l'interprétation de la piézométrie et des directions d'écoulement.

L'interprétation de la piézométrie montre qu'une ligne de partage des eaux souterraines orientée sud-ouest/nord-est est présente dans le secteur du prolongement des aires d'accumulation. Les eaux souterraines au sud de cette ligne de partage s'écoulent vers le sud et la vallée du ruisseau Raymond, puis migrent ensuite vers le nord-est. Les eaux souterraines au nord de la ligne de partage s'écoulent pour leur part



vers la rivière Malartic, au nord. De façon générale, l'écoulement est en relation avec la topographie accidentée du socle rocheux. Là où le socle rocheux est plus élevé (au niveau des hauts topographiques), l'absence de dépôts glaciolacustres (silt et argile) peut favoriser l'infiltration d'eau et la recharge de l'aquifère de roc peut y être plus importante.

Ainsi, les principales zones de recharge du secteur du prolongement sont les collines situées de part et d'autre de la vallée du ruisseau Raymond, dans la partie sud du secteur. Dans une moindre mesure, les affleurements de dépôts fluvioglaciaires entre le coin nord du bassin de polissage actuel et le coin nord-est du secteur du prolongement constitueraient également des zones de recharge. La rivière Malartic serait le récepteur des eaux souterraines circulant dans les unités hydrostratigraphiques en place dans la partie nord du site. À noter que les eaux souterraines circulant dans le roc dans le coin nord-ouest du secteur du prolongement sont actuellement entraînées vers la fosse, en raison du pompage d'exhaure qui y est effectué.

La vitesse d'écoulement de l'eau souterraine peut être estimée à l'aide de la Loi de Darcy selon l'équation suivante :

$$V = \frac{Ki}{n_e}$$

où :

- v = vitesse d'écoulement;
- K = conductivité hydraulique;
- i = gradient hydraulique; et
- n_e = porosité effective.

En utilisant un gradient hydraulique moyen dans le secteur du prolongement des aires d'accumulation d'environ 0,01 m/m, une porosité effective de 0,01 et une conductivité hydraulique maximale de l'ordre de 1×10^5 m/s, représentative du roc en surface, une vitesse d'écoulement de l'ordre de 1 m/j est estimée dans l'aquifère de roc.

3.5 Classification des eaux souterraines

Selon les informations disponibles, au moins une cinquantaine de propriétés se situant à l'extérieur du réseau de l'aqueduc municipal de Malartic (résidentielles et/ou agricoles et/ou commerciales) ont été identifiées comme étant alimentées en eau potable par un puits domestique, installé dans les dépôts meubles ou dans le roc. Les propriétés se retrouvent principalement au sud le long du chemin des Merles et du chemin du Lac Mourier tandis qu'au nord, elles longent la route 117 et le chemin de la rue du Lac Malartic. En considérant la présence de puits d'alimentation en eau potable, et selon la procédure décrite dans le *Guide de classification des eaux souterraines du Québec* (MEF, 1999), l'aquifère de roc est de classe II. Un aquifère classe II représente une formation hydrogéologique qui est une source courante ou potentielle d'alimentation en eau.



3.6 Identification des critères de qualité de l'eau souterraine applicables

Telle que définie par le MDDELCC dans sa Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés (MENV, 1999), la procédure d'intervention applicable à l'eau souterraine lors d'une étude de caractérisation environnementale est guidée par la présence ou non de récepteurs potentiels dans le secteur. Les critères de qualité applicables pour l'eau souterraine sont déterminés en fonction des récepteurs potentiels qui sont identifiés. À titre de récepteurs potentiels, le MDDELCC identifie les puits d'approvisionnement en eau, les aquifères de classes I et II, les eaux de surface, les réseaux d'égout et les bâtiments.

En considérant que le roc est un aquifère de classe II et la présence d'eau de surface tels le ruisseau Raymond et la rivière Malartic, où l'eau souterraine pourrait faire résurgence, les critères applicables pour l'eau souterraine sont les critères à des fins de consommation (FC) et les critères de résurgence dans les eaux de surface ou infiltration dans les égouts (RESIE) du MDDELCC (MENV, 1999).

4.0 MODÈLE CONCEPTUEL

Un modèle hydrogéologique conceptuel a été établi afin d'atteindre les objectifs de l'étude de modélisation. Il repose essentiellement sur la définition du contexte hydrogéologique établi pour le secteur du prolongement du parc à résidus et de la halde à stériles, tout en intégrant les aires d'accumulation et infrastructures connexes proposées dans le cadre de ce prolongement.

Les travaux de modélisation présentés ci-après ont été réalisés à partir d'un modèle à deux dimensions représentant la coupe stratigraphique illustrée sur le plan 4, qui suit la direction interprétée de l'écoulement de l'eau souterraine dans le roc. Ce tracé de coupe a été sélectionné pour la modélisation, car il représente a priori un axe de migration pouvant être considéré comme prudent pour atteindre les objectifs de l'étude. En effet :

- Le tracé correspond au plus long segment d'écoulement en zone dépourvue d'aquitard (argile et silt) sous le prolongement prévu du parc à résidus. L'absence de cet horizon de faible perméabilité peut favoriser la migration de contamination vers le roc, le cas échéant. Qui plus est, seule une mince couche de sable et gravier (matériau à perméabilité élevée) recouvre le roc, le long de ce segment;
- Le tracé s'étend également sous le prolongement prévu de la halde à stériles. D'une part, il y recoupe un banc d'emprunt où l'argile naturellement en place a été excavée. D'autre part, il emprunte l'axe longitudinal d'un dépôt allongé de matériau fluvioglaciaire (sable et gravier) au-dessus duquel la couverture d'argile est discontinue;
- L'extrémité aval du tracé de la coupe se trouve près de la rivière Malartic, qui représente un récepteur potentiel de l'eau souterraine circulant dans les formations géologiques.

4.1 Unités hydrostratigraphiques représentant la géologie du secteur

Huit unités hydrostratigraphiques sont retenues pour représenter les matériaux géologiques en place dans le secteur du prolongement du parc à résidus et de la halde à stériles. Sept de ces huit unités apparaissent de façon distincte sur la coupe du plan 4, à savoir l'unité de remblai (principalement constitué de silt), l'argile, le silt, le sable et gravier, le sable fin, le till et le roc. La huitième unité est une variante de l'unité de sable fin possédant un certain contenu en silt (entre 10 et 20 %). Elle se retrouve autour du puits BH-11-09, à la même position



stratigraphique que l'unité de sable fin dont le contenu en silt n'est pas précisé, parce que négligeable. Sept des huit unités hydrostratigraphiques, en l'occurrence toutes les unités de dépôts meubles, sont discontinues. Seule l'unité du roc est continue sur l'ensemble du modèle. En raison de l'absence de données structurales pouvant caractériser adéquatement les réseaux de fractures, le roc est considéré comme un milieu poreux équivalent.

L'horizon de matière organique n'est pas intégré au modèle en raison de sa faible épaisseur et, par conséquent, du peu d'impact anticipé de cet horizon sur l'hydraulique. Cette approche est cependant prudente d'un point de vue géochimique, car la matière organique exerce généralement sur certains contaminants, tels que les métaux, un retard significatif sur leur migration et peut également favoriser leur biodégradation.

4.2 Aires d'accumulation et infrastructures connexes projetées

Le concept prévoit la mise en place de stériles dans la portion nord du secteur visé pour le prolongement des aires d'accumulation. Il est prévu que les portions centrale et sud du secteur servent à l'accumulation des résidus épaissis. Pour les besoins de la modélisation, il a été supposé que les stériles constitueront une halde dont l'élévation maximale atteindra 420 m, étant donné que l'élévation réelle finale n'avait pas encore été fixée. Les côtés de la halde consisteront en des talus possédant une inclinaison globale de 2,5 H : 1 V, formés par une succession en échelons de pentes et de plateaux. Les résidus épaissis seront déposés à l'intérieur d'un parc dont la limite nord coïncidera avec le talus sud (ou amont, par rapport à l'écoulement souterrain local) de la halde à stériles. Les résidus épaissis seront directement en contact avec les stériles, au niveau de ce talus. Le modèle prévoit la mise en place de résidus jusqu'à une élévation de 380 m et pas d'accumulation d'eau à la surface du parc. Cette mise en place s'effectuera de manière progressive, couche par couche, au cours de la période d'exploitation du prolongement du parc à résidus.

Deux cellules de dépôt distinctes sont prévues dans le prolongement du parc à résidus, le long de la coupe du modèle conceptuel, afin de permettre une mise en place uniforme et mieux contrôlée des résidus épaissis. À noter toutefois qu'il y aura plus de deux cellules de dépôt dans l'ensemble du prolongement du parc à résidus. Les deux cellules de dépôt intersectées par l'axe de la coupe du modèle seront contiguës et séparées par une digue interne constituée de stériles. La digue reposera sur la surface du sol. Elle sera successivement rehaussée, au fur et à mesure de l'accumulation des résidus, jusqu'à une élévation maximale située entre 350 et 360 m. L'empilement de rehaussements successifs créera une cloison verticale continue de stériles entre les deux cellules, cloison désignée « inclusion ». Cette inclusion aura par ailleurs un rôle drainant, afin de faciliter l'évacuation de l'eau interstitielle des résidus. L'inclusion sera connectée avec la digue de pourtour (digue externe) du prolongement du parc. L'eau interceptée par l'inclusion sera canalisée et évacuée vers la digue périphérique, puis vers l'extérieur du parc. Il est à noter que d'autres inclusions seront mises en place entre les cellules du parc à résidus.

L'aménagement d'un drain en limite nord du prolongement du parc à résidus est également prévu. Ce drain s'étendra le long de la partie basale du contact entre les résidus et les stériles. Il aura pour objectif d'intercepter les eaux en provenance du prolongement du parc à résidus. Ceci permettra de limiter l'épanchement d'eau interstitielle provenant des résidus vers l'intérieur de la halde à stériles, et de fait, de réduire l'infiltration d'eau vers les dépôts sous-jacents et l'aquifère de roc.

Un fossé sera aménagé en pied de talus nord (aval) de la halde à stériles. Celui-ci servira principalement au captage des exfiltrations en provenance de la halde et à la canalisation des eaux de ruissellement locales. Ce fossé est ainsi intégré au modèle conceptuel.



Des modifications aux matériaux constituant le substrat des aires d'accumulation sont prévues et celles-ci sont également intégrées au modèle. D'abord, il est supposé qu'une partie du sable et gravier naturellement affleurant (ou subaffleurant) sous le prolongement de la halde sera excavée en vue de servir de matériau de remblai pour utilisation dans d'autres secteurs de la propriété. À priori, l'hypothèse du retrait d'une partie de cette couche de matériau granulaire n'a pas d'incidence sur l'écoulement et la migration des contaminants par rapport au scénario où celle-ci serait laissée en place (non excavée). L'éventualité où cette couche de matériau granulaire ne serait pas excavée, ou seulement excavée en partie, n'aurait donc pas d'impact significatif sur les concentrations en contaminants dans les formations géologiques en place. De fait, le modèle peut être considéré comme valide et représentatif même sans excavation, ou dans le cas d'une excavation partielle.

Une autre modification anticipée au niveau du substrat de la halde est le nivellement préalable de la zone de banc d'emprunt située à proximité de la limite est du prolongement de la halde, où affleure le remblai principalement constitué de silt. Ce nivellement n'a pour but que d'uniformiser la surface, qui possède actuellement un profil irrégulier. Le modèle conceptuel considère donc une surface plane au niveau de ce banc d'emprunt. Autre modification importante incluse dans le modèle : l'amélioration du substrat sous le parc à résidus, dans les zones où il n'y a que peu ou pas d'argile naturellement en place. L'hypothèse est posée qu'une couche de remblai de faible perméabilité d'une épaisseur de 1,5 m sera mise en place en surface des terrains où moins d'un mètre d'argile est présent dans le profil stratigraphique sous-jacent. Cette couche de remblai de fondation à la base des aménagements est donc intégrée au modèle.

4.3 Description du système d'écoulement souterrain modélisé

L'extrémité amont de la coupe modélisée correspond au sommet de la colline située à l'est du bassin de polissage actuel, et qui forme le flanc nord de la vallée du ruisseau Raymond. Cette colline agit comme une zone de recharge préférentielle, et l'écoulement souterrain à partir de celle-ci s'effectue de façon radiale. Le sommet de la colline représente donc le point de départ de toute ligne d'écoulement s'étirant vers le nord et le nord-est du prolongement du parc à résidus.

En conditions naturelles, l'infiltration des eaux de précipitations s'effectue à travers la mince couche de sable et gravier recouvrant le roc, dans la portion convexe de la colline. L'eau percole verticalement jusqu'au roc, pour ensuite circuler horizontalement dans le roc. La séquence d'argile, de silt et de till présente au nord et au nord-est de la colline agit comme une barrière à l'infiltration d'eau en provenance de la surface, ce qui fait en sorte que la recharge en eau souterraine y est négligeable. Plus à l'aval, l'absence d'argile se traduit par une recharge plus importante. Elle demeure néanmoins faible là où le silt et le remblai silteux affleurent. Le contact hydraulique entre la partie superficielle du roc et les unités de sable fin et de till en place dans la portion aval de la coupe fait en sorte qu'il y a transfert dans ces unités d'une partie de l'eau souterraine qui circulait précédemment dans le roc. À l'aval de ces contacts, l'écoulement souterrain s'effectue en parallèle dans le sable fin, dans le roc et, dans une moindre mesure, dans le till en direction nord (aval). Il y a ensuite la possibilité de résurgence de l'eau souterraine circulant dans les dépôts meubles, au niveau de la rivière Malartic. La limite aval du modèle est d'ailleurs fixée à la rivière Malartic. En l'absence d'information suggérant le contraire, il est présumé que l'eau souterraine circulant dans le roc peut également faire résurgence dans la rivière Malartic, aux fins de la modélisation. Cette hypothèse n'a toutefois aucune influence sur l'écoulement souterrain et le transport de contaminants à l'intérieur du système modélisé.



L'ajout des résidus épais, des stériles, d'une couche de remblai de faible perméabilité sous les résidus en surface de certains terrains, de même que l'excavation du fossé, viennent modifier les conditions naturelles du système d'écoulement. Avec ces ajouts, la recharge du système s'effectue essentiellement à partir de la surface des résidus épais et des stériles. Dans l'axe vertical, l'eau percole graduellement à travers les résidus épais ou les stériles, jusqu'à atteindre la surface du remblai ou des dépôts naturellement en place. Sous le parc à résidus, l'eau poursuit sa percolation verticale à travers l'argile jusqu'à atteindre les dépôts meubles sous-jacents et éventuellement, le roc. L'écoulement souterrain s'effectue ensuite dans le plan horizontal vers l'aval du modèle, de la même façon que l'écoulement en conditions naturelles. Cependant, il est important de noter que le mode de gestion des résidus favorise l'écoulement horizontal de l'eau interstitielle des résidus vers les fossés périphériques du parc, ce qui minimise l'écoulement dans l'axe vertical.

L'eau s'infiltrant dans les résidus épais s'écoule préférentiellement selon un axe incliné à subhorizontal. Ainsi, dans la portion aval (nord) du parc à résidus, l'eau s'écoule en direction de la halde (et du drain), plutôt que selon un axe vertical en direction de la base des résidus épais. L'eau interceptée au contact résidus-stériles sera retirée du système par le drain. Il est par ailleurs anticipé que la pénétration de l'eau interstitielle des résidus vers l'intérieur de la halde soit marginale. L'essentiel de l'écoulement à travers les stériles proviendra de la recharge en surface de la halde. Tel que mentionné précédemment, la circulation d'eau dans la halde se fait ensuite sur la base de celle-ci, en direction du pied de talus et du fossé collecteur aval.

La présence d'inclusions à l'intérieur du parc à résidus modifie localement les directions d'écoulement de l'eau et le bilan hydrique, dû au rôle drainant de celles-ci. Le long de la coupe du modèle conceptuel, il y a convergence vers l'inclusion de l'eau interstitielle initialement présente dans les résidus, de même que l'eau issue de la recharge et qui percole dans les résidus. L'eau circulant jusqu'à l'inclusion est ensuite retirée du système, ce qui reproduit ainsi son rôle drainant.

4.4 Identification des contaminants d'intérêt

Les résidus épais qu'il est prévu de mettre en place dans le prolongement du parc à résidus contiennent des éléments et des composés qui sont susceptibles de migrer vers les formations géologiques sous-jacentes à la faveur de l'écoulement souterrain. L'approche préconisée pour la modélisation consiste à identifier les contaminants dont la présence en solution dans les résidus épais peut atteindre les concentrations les plus élevées, par rapport aux concentrations limites recommandées par le MDDELCC pour la protection de l'eau souterraine (MENV, 1999). Ce sont ces contaminants qui seront jugés les plus problématiques en regard de la qualité de l'eau souterraine à l'aval des aires d'accumulation. Une fois identifiée, la modélisation aura comme objectif d'en simuler le comportement et la migration dans le système hydrogéologique.

La qualité de l'eau interstitielle dans les résidus générés par la Mine et accumulés dans le parc a été évaluée par le prélèvement d'échantillons dans un total de quatre puits d'observation aménagés dans les résidus. Ces prélèvements ont eu lieu à cinq reprises entre septembre 2013 et mai 2015. Les résultats analytiques obtenus de ces échantillonnages sont insérés à l'Annexe A du présent rapport.

La médiane des concentrations mesurées sur l'ensemble des échantillons prélevés a été calculée pour chaque élément et composé. Le ratio entre cette médiane (MC) et la concentration limite (CR) recommandée par le MDDELCC pour le paramètre correspondant a ensuite été établi. Le paramètre présentant le ratio MC/CR le plus élevé est les cyanures totaux (ratio de 93). Les métaux possédant un ratio MC/CR supérieur à 1 sont le cuivre (ratio de 18), le molybdène (ratio de 3) et le sodium (ratio de 2). Le sodium a été considéré comme un



contaminant d'intérêt compte-tenu de la mobilité élevée de ce composé dans l'eau souterraine. Compte-tenu que le cuivre a un ratio MC/CR plus élevé que le molybdène et que ces deux composés ont une mobilité similaire dans l'eau souterraine (Batelle, 1989), seul le cuivre a été considéré comme contaminant d'intérêt pour les métaux.

Concernant les cyanures, CMGP prévoit de mettre en place un nouveau procédé de destruction des cyanures avec l'Acide de Caro. Selon l'information fournie par CMGP, ce procédé permet de réduire les concentrations en ferrocyanures de sorte que les concentrations en cyanures totaux dans l'eau interstitielle des résidus ne devraient pas excéder 20 mg/l. Cette dernière donnée a été utilisée comme valeur de référence dans le modèle hydrogéologique lors de la simulation du cas de base. Il est à noter que le procédé de destruction des cyanures avec l'Acide de Caro n'était pas en place lors du prélèvement des échantillons d'eau interstitielle des résidus dont les résultats sont présentés à l'Annexe A du présent rapport.

Par ailleurs, aucun contaminant en provenance des stériles n'est considéré étant donné que le programme de caractérisation géochimique a démontré que leur potentiel de lixiviation est faible, pourvu qu'il n'y ait pas de déclenchement des processus de génération d'acide (Golder, 2014d).

5.0 MODÈLE NUMÉRIQUE

Les contextes hydrogéologique et géochimique du site à l'étude sont relativement complexes, notamment de par la variabilité spatiale de la stratigraphie observée, l'incertitude reliée aux interactions et réactions chimiques et biochimiques des contaminants à travers les formations géologiques, ainsi que les modifications anticipées de l'aménagement des aires d'accumulation sur la recharge et les patrons d'écoulement souterrain. Leur conceptualisation et leur représentation à l'intérieur d'un modèle numérique reposent sur un certain nombre d'hypothèses, de simplifications et d'interprétations inhérentes à ce type de modélisation. À ceci s'ajoute le fait que le calage du modèle ne peut se faire sur des données réelles de transport de contaminants à l'échelle du secteur représenté, étant donné qu'il s'agit de simulations prédictives modélisant une situation future (l'impact hydrogéochimique relié à l'aménagement des aires d'accumulation). Il reste que la modélisation numérique demeure le meilleur outil analytique pour représenter et prédire le transport des contaminants dans un système possédant cette complexité. Les résultats des simulations prédictives qui sont présentés dans cette étude ne doivent toutefois pas être analysés en termes de valeurs absolues précises, mais plutôt en termes de tendances.

La modélisation numérique a été réalisée en deux étapes. Les conditions actuelles (soit avant la déposition des résidus épais et des stériles dans le secteur du prolongement) ont été simulées afin de vérifier que le modèle reproduit de façon générale le régime d'écoulement d'eau souterraine actuellement observé le long du tracé de la coupe. Par la suite, les résidus épais et les stériles ont été ajoutés au modèle afin d'effectuer des simulations prédictives de transport des contaminants. L'ajout des résidus épais dans le modèle s'est fait de façon progressive, en faisant apparaître une nouvelle couche de résidus à tous les 2 ans sur un total de 13 ans, durée supposée de la période d'exploitation du prolongement du parc à résidus. Cette discrétisation en une série de couches successives, dont l'épaisseur de chacune se situe entre 8 et 10 m, avait pour but de reproduire plus fidèlement le processus de dépôt des résidus épais ainsi prévu. À partir du temps $t = 13$ ans, la hauteur de résidus définie dans le modèle atteignait 380 m, soit l'élévation finale anticipée pour l'empilement de résidus. Pour leur part, les stériles ont été ajoutés de façon instantanée dans le modèle, étant donné l'absence d'impact



hydraulique ou géochimique associé à un ajout de la sorte, plutôt qu'un ajout progressif. À noter que les modifications prévues à la fondation du parc à résidus, incluant la mise en place d'un remblai de fondation, ont été intégrées au modèle.

La recharge représente l'infiltration nette d'eau de précipitations en surface des terrains. Dans le modèle, elle est systématiquement appliquée à la frontière supérieure de la dernière couche de résidus épaissis ajoutée. Lorsqu'une nouvelle couche est ajoutée, la recharge précédemment appliquée à la surface de la couche sous-jacente est retirée et transférée à la surface de cette nouvelle couche. La valeur de la recharge appliquée en surface des résidus épaissis est maintenue constante tout au long des simulations. Dans le cas de la halde à stériles, cette valeur est définie comme variant dans le temps, afin de représenter l'impact hydrique de la mise en place d'un recouvrement final sur le dessus de la halde, lors de la restauration. Il est anticipé que ce recouvrement diminuera l'intensité de la recharge à travers la halde, en raison du contraste de perméabilité entre les stériles en surface de la halde et celle de la couche de recouvrement prévue. Des dépôts meubles provenant du décapage de certaines surfaces du site constitueront la base de cette couche de recouvrement, qui sera complétée par le dépôt d'un sol organique. Dans le modèle, des conditions de recharge précouvreurment final s'échelonnent entre le temps zéro et le temps « dix ans », moment anticipé pour le début de la restauration de la halde à stériles. Par la suite, des conditions de recharge réduite ont été définies pour la période « dix ans et plus ».

5.1 Logiciel de modélisation employé

Le modèle a été construit avec le logiciel Feflow – Finite Element Subsurface Flow System (Diersch, 2014). Celui-ci utilise la méthode des éléments finis pour résoudre les équations d'écoulement de l'eau souterraine. L'écoulement de l'eau souterraine a été simulé en régime permanent. Le modèle ne tient donc pas compte des fluctuations journalières ou saisonnières du niveau de la nappe phréatique. Les simulations du transport de contaminants ont été réalisées en régime transitoire sur une durée variable, pouvant atteindre jusqu'à 1 600 ans. Dans tous les cas, les simulations ont été minimalement prolongées jusqu'à l'atteinte d'une décroissance des concentrations en contaminants en tous points des formations géologiques sous-jacentes aux infrastructures d'accumulation.

5.2 Construction du maillage et conditions limites

Le modèle bidimensionnel en coupe a été discrétisé en 78 747 éléments finis triangulaires. Le modèle simule une coupe de 2 330 m de longueur et le maillage a été raffiné autour des lits d'argile et de silt, de même qu'au niveau du contact résidus épaissis-stériles (plan 5). La taille minimale des éléments est d'environ 1 m.

Les conditions limites suivantes ont été assignées au modèle :

- Charge hydraulique imposée dans les formations géologiques à une élévation de 303 m à la limite aval (nord) de la coupe. Cette valeur de charge correspond à l'élévation approximative moyenne du niveau d'eau local de la rivière Malartic;
- Flux nul à la limite sud de la coupe. Cette limite représente la ligne de partage des eaux observées sur la carte piézométrique présentée sur le plan 3, et qui est anticipée comme devant se maintenir dans le temps même après la mise en dépôt des résidus épaissis en ce point;



En conditions naturelles, c'est-à-dire avant la mise en place des résidus épais et des stériles, les taux de recharge suivants ont été appliqués en surface du modèle calé :

- Sable et gravier amont : 60 mm/an;
- Till : 25 mm/an;
- Silt : 5 mm/an;
- Argile : 0 mm/an. La recharge nulle est justifiée par le fait que l'aquifère de roc se retrouve en conditions captives artésiennes sous la couche d'argile, ce qui fait en sorte que la percolation d'eau de l'argile vers le roc est négligeable;
- Remblai de silt : 20 mm/an;
- Sable et gravier aval : 250 mm/an.

La mise en place des résidus épais et des stériles a pour effet de modifier la recharge du système, tout en créant des faces d'exfiltration qui n'existaient pas au préalable. En conditions d'exploitation (prérestauration) et en conditions postexploitation (postrestauration), les changements suivants ont été apportés aux conditions limites du modèle, par rapport aux conditions naturelles :

- Un taux de recharge de 250 mm/an a été assigné aux endroits où le sable et gravier affleure en surface du modèle (aval de la halde à stériles);
- Un taux de recharge de 75 mm/an a été assigné en surface des résidus épais, pour la phase d'exploitation (prérestauration). Cette valeur est similaire à celle estimée par bilan hydrologique dans le cadre de l'étude de modélisation similaire réalisée en 2009-2010 pour le parc à résidus du projet Canadian Malartic (Golder, 2010);
- Un taux de recharge de 170 mm/an a été assigné sur le dessus de la halde à stériles, pour la phase d'exploitation (prérestauration). Cette valeur correspond aux estimations d'infiltration profonde à travers la halde à stériles du modèle numérique de bilan d'eau développé pour le site de la Mine (Golder, 2014e);
- Un taux de recharge de 85 mm/an a été assigné au niveau des talus de la halde à stériles. Cette valeur représente la moitié du taux de recharge appliqué sur le dessus de la halde, ce qui permet de rendre compte de l'inclinaison de ces surfaces, et donc d'un coefficient de ruissellement significativement plus élevé que celui propre au-dessus de la halde;
- En phase postrestauration, un taux de recharge de 75 mm/an a été appliqué sur le dessus de la halde, afin de rendre compte de la diminution de l'infiltration à travers cette surface, due à la mise en place d'une couche de recouvrement. Au niveau des talus de la halde, le taux de recharge a été maintenu à 85 mm/an, en considérant que la mise en place d'un ensemenement hydraulique ne réduira pas significativement le taux de recharge;
- Des limites d'exfiltration ont été définies au pied des talus amont et aval de la halde à stériles. La limite d'exfiltration à l'amont a pour fonction de reproduire le rôle du drain qui sera aménagé le long du contact entre les résidus épais et les stériles, au pied de la halde. Elle a ainsi été définie dans le modèle par une série de nœuds d'éléments au contact avec la couche d'argile en place sous les résidus miniers. La limite



d'exfiltration à l'aval reproduit quant à elle le rôle du fossé de drainage qui sera aménagé à cette position. Elle est représentée par une série de nœuds d'éléments s'étendant de la surface du sol jusqu'à une profondeur de 4 m, afin de reproduire l'extension verticale anticipée du fossé;

- Une zone d'exfiltration représentant l'inclusion de stériles a également été définie à l'intérieur des résidus, à l'intersection entre la position anticipée de l'inclusion et l'axe de la coupe modélisée. Elle est constituée d'éléments possédant les mêmes propriétés que celles de la halde à stériles, étant donné que les inclusions dans le parc à résidus seront vraisemblablement constituées de stériles. Ces éléments s'étendent de la surface du terrain naturel jusqu'à une élévation de 355 m, et ce, sur environ 10 m de large dans l'axe de la coupe modélisée. Ces dimensions correspondent approximativement à celles anticipées pour la section transversale de l'inclusion dans la coupe modélisée. Des nœuds d'exfiltration ont également été ajoutés au contact de l'inclusion avec la surface du terrain naturel, afin de reproduire le rôle drainant de celle-ci.

5.3 Paramètres hydrauliques du modèle

Les conductivités hydrauliques retenues dans le modèle hydrogéologique pour le cas de base (scénario de référence du modèle) sont les valeurs présentées au tableau 3. Ces valeurs proviennent pour la plupart de mesures réalisées sur le terrain ou en laboratoire et sont jugées représentatives des matériaux observés. L'unité de roc a été subdivisée en trois zones à perméabilité distincte, de façon à reproduire la décroissance de la conductivité hydraulique avec la profondeur. Les trois zones correspondent aux tranches de roc s'étendant respectivement de 0 à 15 m, de 15 à 100 m et de 100 à 200 m de profondeur. La conductivité hydraulique attribuée à la tranche de profondeur 0-15 m représente la moyenne des valeurs mesurées par essais de perméabilité aux trois puits aménagés dans le roc à proximité de l'axe de la coupe (BH-11-11, BH-11-06, BH-11-17R) (Golder, 2012a; 2014a). Les conductivités hydrauliques attribuées aux tranches 15-100 m et 100-200 m représentent la moyenne des valeurs obtenues par essais de perméabilité de type « packers » en forage à l'intérieur de chacun des intervalles de profondeur correspondant, et ce, dans des lithologies similaires, en différents points de la propriété (Golder, 2008; 2012b).

Pour les dépôts glaciolacustres (silt et argile naturelle), une anisotropie verticale de 10 a été utilisée, ce qui est une valeur typique pour ces dépôts. Une anisotropie verticale de 10 a également été appliquée aux résidus épaissis. Dans le cas des résidus épaissis, l'anisotropie est à la fois causée par le mode de dépôt en couches successives, qui confère une certaine stratification aux résidus, et à l'effet de consolidation progressive des résidus, qui a tendance à en diminuer la perméabilité verticale davantage que la perméabilité horizontale, en raison de la drainance latérale active durant le processus de consolidation. Aucune anisotropie n'est considérée pour le remblai de fondation, étant donné que son mode de mise en place anticipé ne créera pas de structure stratifiée dans le plan horizontal, comme c'est le cas pour l'argile naturelle, par exemple.



Tableau 3: Paramétrage du modèle - Cas de base

Unités hydrostratigraphiques	Paramètres d'écoulement				Paramètres de transport					
	Conductivité hydraulique	Anisotropie	Emmagasinement spécifique	Porosité totale	Porosité de transport	Coefficient d'adsorption	Constante de dégradation	Diffusion moléculaire	Dispersivité longitudinale	Dispersivité transversale
	(m/s)	(-)	(1/m)	(-)	(-)	(ml/g)	(1/j)	(m ² /s)	(m)	(m)
Roc de surface (0-15 m)	2,0E-06	1	1,0E-05	0,01	0,01	0	2,0E-06	1,0E-09	12,5	1,25
Roc intermédiaire (15-100 m)	4,0E-07	1	1,0E-05	0,01	0,01	0	2,0E-06	1,0E-09	12,5	1,25
Roc profond (100-200 m)	5,0E-08	1	1,0E-05	0,01	0,01	0	2,0E-06	1,0E-09	12,5	1,25
Sable et gravier	2,0E-05	1	1,0E-05	0,35	0,25	0	2,0E-06	1,0E-09	12,5	1,25
Argile	5,0E-09	0,1	1,0E-05	0,5	0,1	CN totaux : 4 Cu : 485 Na : 0	2,0E-06	1,0E-09	0,1	0,01
Silt	6,4E-08	0,1	1,0E-05	0,4	0,2	CN totaux : 4 Cu : 4,19 Na : 0	2,0E-06	1,0E-09	0,1	0,01
Till	4,8E-07	1	1,0E-05	0,3	0,2	CN totaux : 4 Cu : 4,19 Na : 0	2,0E-06	1,0E-09	0,1	0,01
Remblai silteux	6,4E-07	1	1,0E-05	0,3	0,2	CN totaux : 4 Cu : 485 Na : 0	2,0E-06	1,0E-09	0,1	0,01
Sable fin à moyen	2,0E-04	1	1,0E-05	0,35	0,25	0	2,0E-06	1,0E-09	12,5	1,25
Sable fin, un peu de silt	2,0E-06	1	1,0E-05	0,35	0,25	0	2,0E-06	1,0E-09	12,5	1,25
Résidus	1,0E-07	0,1	1,0E-05	0,38	0,1	0	2,0E-06	1,0E-09	12,5	1,25
Stériles	5,0E-05	1	1,0E-05	0,385	0,3	0	2,0E-06	1,0E-09	12,5	1,25
Remblai de faible perméabilité (fondation)	5,0E-09	1	1,0E-05	0,45	0,1	CN totaux : 4 Cu : 485 Na : 0	2,0E-06	1,0E-09	0,1	0,01



Les propriétés capillaires utilisées pour les unités hydrostratigraphiques reposent sur le modèle de Van Genuchten modifié. Des valeurs génériques ont été appliquées pour chaque paramètre du modèle. Ces valeurs sont identiques pour chacune des unités. Cette simplification est jugée sans impact significatif sur les concentrations simulées dans les formations géologiques sous et à l'aval des aires d'accumulation, en raison du fait que celles-ci demeurent saturées, à l'exception de deux minces franges de silt et de sable et gravier en position superficielle. Le tableau 4 présente les valeurs assignées à chaque paramètre du modèle de Van Genuchten modifié.

Tableau 4: Paramétrage du modèle de Van Genuchten modifié appliqué aux différentes unités hydrostratigraphiques

Paramètre (unités)	Valeur
α (1/m)	2
n (-)	1,37
m (-)	0,27
δ (-)	2

5.4 Définition de la source de contaminant

Sur la base de l'évaluation exposée à la section 4.4, les concentrations sources suivantes ont été considérées dans le modèle (tableau 5) :

Tableau 5: Concentrations sources en contaminants considérées dans le modèle hydrogéologique

Paramètres	Concentrations (mg/L)
Cyanures totaux	20
Sodium	0,17
Cuivre	451

5.5 Coefficient d'adsorption, de dispersion et de dégradation

Le tableau 6 présente un sommaire des paramètres d'entrée spécifiques à la simulation du transport des contaminants pour le cas de base. Le coefficient de dispersivité longitudinale pour les unités de dépôts meubles perméables (sable et gravier, sable fin, stériles) et pour le roc a été estimé à partir de la compilation effectuée par Gelhar et al. (1992). La même valeur a été appliquée pour les résidus épais. Une valeur marginalement supérieure à 0 a été retenue pour le coefficient de dispersivité longitudinale des unités de dépôts meubles peu perméables (argile, silt, till, remblai silteux), étant donné que la dispersion hydrodynamique de telles formations est généralement négligeable (Franz and Rowe, 1993).

Comme le modèle est en coupe (2-D), il n'intègre pas de dispersion latérale, ce qui contribue à rendre l'approche prudente.

Pour les cyanures totaux, un coefficient d'adsorption de 4 ml/g a été assigné aux unités de dépôts meubles peu perméables, soit le silt et l'argile. Cette valeur a été obtenue suite à des essais d'adsorption effectués en laboratoire dont les résultats sont présentés à l'Annexe B. Un coefficient d'adsorption de 0,4 ml/g a été assigné



à l'unité de till. Il s'agit d'une valeur prudente tirée de la littérature (Battelle, 1989; Smith et Mudder, 2001; USEPA, 1999). Pour le cuivre, un coefficient d'adsorption de 485 ml/g et de 4,19 ml/g a été assigné respectivement aux dépôts peu perméables (argile et silt) et au till. La première valeur provient des essais d'adsorption présentés à l'Annexe B alors que la seconde provient de la littérature (Battelle, 1989, valeur correspondant à celle d'un sol contenant moins de 10 % de particules fines). Finalement, l'adsorption a été négligée pour le sodium. Le coefficient d'adsorption représente le ralentissement de la migration de la contamination dans l'eau souterraine causé par l'absorption et l'adsorption sur le sol.

Les cyanures se retrouvent sous la forme de plusieurs complexes différents dans l'eau interstitielle des résidus, de même que sous la forme d'ions libres. La dégradation naturelle des cyanures est simplifiée dans le modèle: plutôt que de tenter de représenter la dégradation de chaque type de composé cyanuré, seule est considérée la dégradation des ferrocyanures, qui représente généralement le complexe cyanuré le plus stable dans l'eau souterraine. À l'autre bout du spectre, les cyanures libres (sous forme ionique) se dégradent rapidement, en plus de pouvoir se volatiliser (Meeussen et al., 1992). Aux fins de la modélisation, il est donc considéré que tous les cyanures totaux sont présents sous la forme de ferrocyanures seulement, ce qui représente une hypothèse très prudente. La constante de dégradation retenue est déterminée à l'aide du modèle de demi-vie des ferrocyanures présenté dans Meeussen et al. (1992), où celle-ci est fonction du pH et du potentiel d'oxydo-réduction (ORP) de l'eau souterraine. Les valeurs retenues pour ces deux paramètres physico-chimiques (pH = 6,90; ORP = -75 mV) représentent des moyennes des mesures effectuées aux puits PZ-11-18R et BH08-38 dans le cadre du suivi de la qualité des eaux souterraines de 2012 (Golder, 2013). Ces deux puits sont localisés à la limite aval actuelle du parc à résidus, à proximité du prolongement des aires d'accumulation. Une demi-vie de 280 ans a été déterminée pour les ferrocyanures, ce qui correspond à une constante de dégradation de $6,8 \times 10^{-6}$ 1/j. Cette constante a ensuite été ajustée à la baisse pour tenir compte du différentiel de température entre la température de référence considérée par Meussen et al. (1992), à savoir 15 °C, et la température moyenne de l'eau souterraine aux puits PZ-11-18R et BH08-38, en l'occurrence 8 °C. La constante de dégradation ainsi obtenue ($2,0 \times 10^{-6}$ 1/j) a été appliquée sur l'ensemble des formations géologiques en place et sur les résidus épaissis. Elle représente le taux auquel se dégradent les cyanures totaux présents dans l'eau, lorsqu'elle circule à travers ces milieux. La dégradation naturelle du cuivre et du sodium n'a pas été considérée, car ces composés sont de nature inorganique.

Tableau 6: Sommaire des propriétés de dispersivité et de diffusion

Paramètres	Valeur
Dispersivité longitudinale (α_L) – dépôts meubles perméables, roc, résidus épaissis, stériles	12,5 m
Dispersivité longitudinale (α_L) – dépôts meubles peu perméables	0,1 m
Dispersivité transversale (α_T)	0,1x α_L
Diffusion moléculaire	$1,0 \times 10^{-9}$ m ² /s

5.6 Calage du modèle numérique d'écoulement – conditions naturelles

Le modèle a été calé en régime permanent en utilisant comme valeurs cibles les données piézométriques mesurées entre le 1^{er} et le 12 septembre 2012 aux puits aménagés à proximité de l'axe de la coupe (BH-11-11, BH-1109, BH-11-06, BH-11-17D, BH-11-17R). Le calage a été réalisé en effectuant plusieurs simulations ayant chacune un ensemble de paramètres hydrauliques différents, jusqu'à ce que la différence entre les charges



hydrauliques simulées et observées soit minimisée. La conductivité hydraulique du sable et gravier ainsi que du sable fin, de même que les taux d'infiltration au niveau des zones de sable et gravier, de till, de silt, d'argile et de remblai silteux sont les paramètres qui ont été modifiés au cours du processus de calage. Les conductivités hydrauliques calées et les taux de recharge qui ont donné le meilleur ajustement entre les charges simulées et observées sont respectivement présentés au tableau 3 et à la section 3.3.

Le modèle a été considéré comme calé lorsque l'erreur absolue devenait inférieure à 5 % de la variation totale des niveaux d'eau observés à l'intérieur du domaine modélisé (Anderson et Woessner, 1991). La différence entre la charge hydraulique minimale et celle maximale observée à l'intérieur du domaine modélisé étant de 17,60 mètres (320,60 m-303,00 m), l'erreur absolue ciblée est donc de 0,88 m. L'erreur absolue du modèle calibré est de 0,61 m, soit 3,5 % par rapport à la différence entre les charges hydrauliques minimales et maximales observées à l'intérieur du domaine modélisé.

La figure 1 présente l'ajustement entre les charges hydrauliques mesurées et simulées pour le modèle d'écoulement calé.

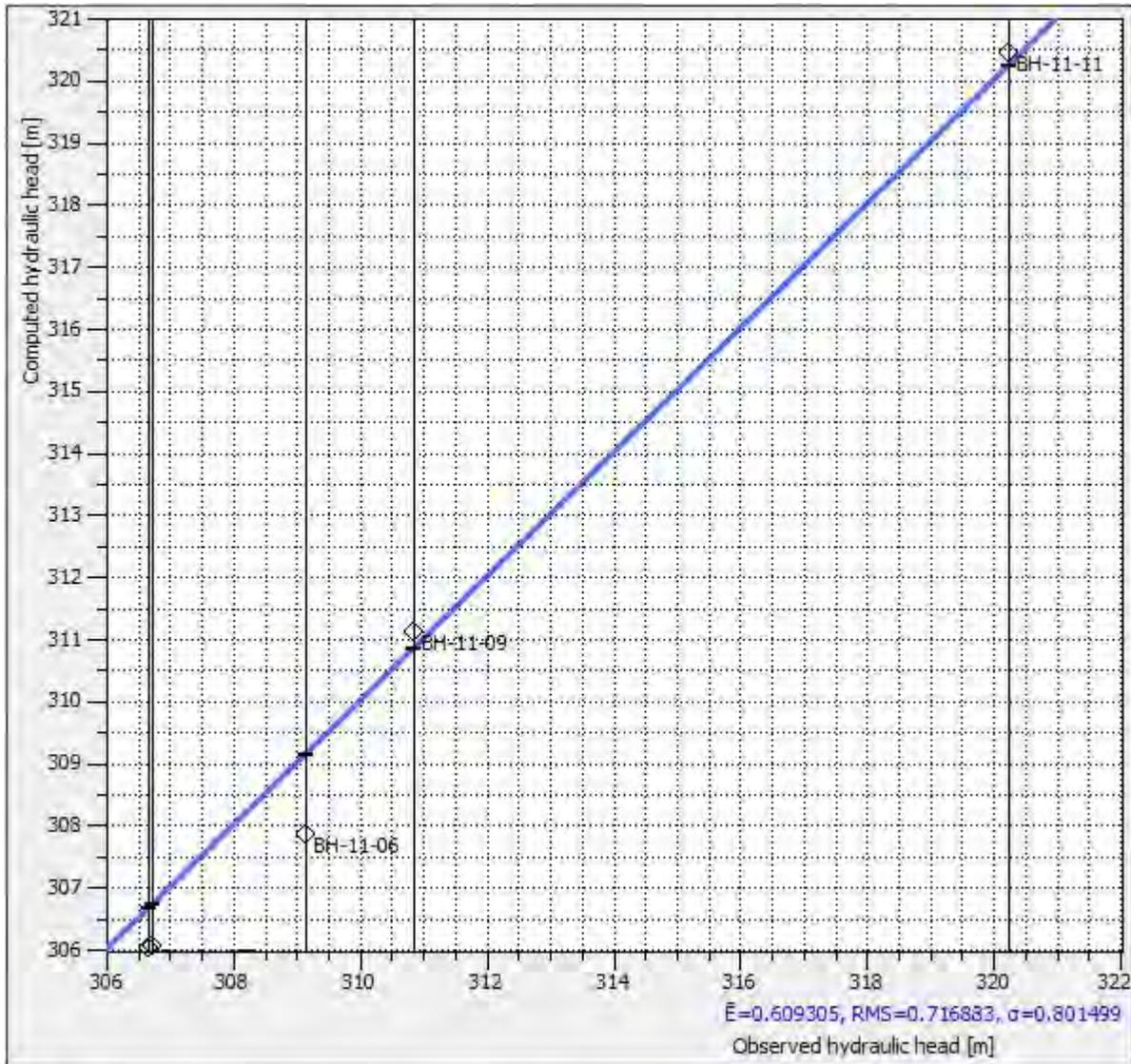


Figure 1: Comparaison entre les charges hydrauliques mesurées et simulées - modèle d'écoulement calé

6.0 RÉSULTATS DE MODÉLISATION

La modélisation du transport de contaminants a consisté à simuler la migration des cyanures totaux, du cuivre et du sodium dans le système hydrogéologique local, à partir des résidus épaissis en place dans le prolongement proposé du parc à résidus.

De façon générale, les simulations montrent qu'il y a une augmentation progressive des concentrations dans l'aquifère de roc, jusqu'à l'atteinte d'un maximum de concentration. Il y a ensuite décroissance graduelle de la concentration, à un taux généralement plus faible que lors de la phase d'augmentation. Le moment où le maximum de concentration est atteint, de même que la valeur de celui-ci, est fonction de la position du point de



référence (ou point d'observation) dans l'espace modélisé, par rapport à la source, en l'occurrence le parc à résidus.

Le détail des résultats des simulations prédictives, de même que ceux de l'analyse de sensibilité effectuée sur le modèle numérique, est présenté aux sections suivantes.

6.1 Simulations prédictives – Cyanures totaux

6.1.1 Cas de base

Les résultats du cas de base du modèle de transport des contaminants sont présentés. Ce scénario inclut la présence d'une couche de remblai de faible perméabilité d'une épaisseur de 1,5 m en place en surface des terrains où l'argile est naturellement absente, ou d'épaisseur inférieure à 1 m. Le remblai possède la même conductivité hydraulique équivalente que celle de l'argile naturelle dans le plan horizontal, mais aucun facteur de réduction de cette conductivité hydraulique dans le plan vertical, comme c'est le cas pour l'argile naturelle, tel que décrit à la section 3.3. La conductivité hydraulique du remblai de faible perméabilité a été augmentée d'un facteur de 10 lors de l'analyse de sensibilité présentée à la section suivante.

La figure 2 présente l'évolution des concentrations en cyanures totaux en fonction du temps pour des points d'observation fictifs situés au niveau de l'aquifère de roc, respectivement :

- 1) à la limite aval du prolongement proposé de la halde à stériles, qui elle-même se trouve à l'aval hydraulique du prolongement proposé du parc à résidus;
- 2) à 150 m à l'aval hydraulique du prolongement proposé de la halde à stériles; et
- 3) à 300 m à l'aval hydraulique du prolongement proposé de la halde à stériles.

Dans les trois cas, la position du point d'observation dans le plan vertical correspond à la profondeur à laquelle la concentration la plus élevée a été atteinte le long du profil vertical concerné.

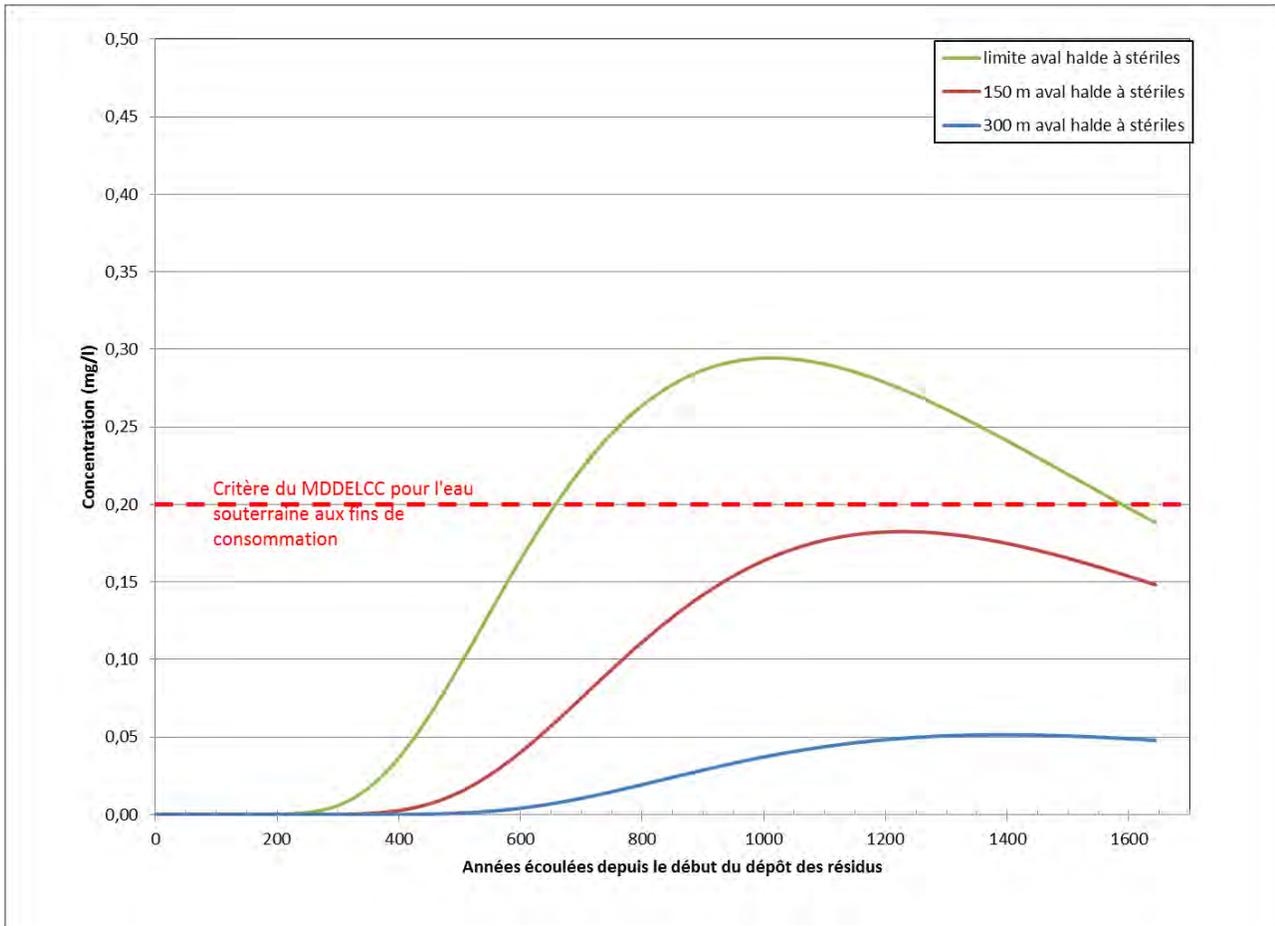


Figure 2: Variation temporelle des concentrations en cyanures totaux dans l'aquifère de roc – cas de base

La figure 2 illustre que la concentration maximale en cyanures totaux à la limite aval de la halde à stériles atteindrait un peu moins de 0,3 mg/l. Cette concentration serait atteinte environ 75 ans après le début de l'opération du parc à résidus. La concentration maximale à 150 m de la halde à stériles atteindrait 0,18 mg/l, soit une concentration légèrement inférieure au critère à des fins de consommation du MDDELCC (0,20 mg/l). Cette concentration serait atteinte environ 1 200 ans après le début de l'opération du parc à résidus. La concentration maximale à 300 m à l'aval de la halde atteindrait 0,05 mg/l. Cette valeur maximale serait atteinte environ 1 300 ans après le début de l'opération du parc à résidus. Selon les résultats du cas de base, l'extension du parc à résidus proposé ne causera pas de dégradation significative de la qualité de l'eau souterraine à plus de 150 m de la limite aval de la halde à stériles, le long de la coupe modélisée.

À la suite de l'atteinte du maximum de concentration, les concentrations en cyanures totaux diminueraient graduellement en chaque position, étant donné que l'eau interstitielle dans les nouveaux résidus épaissis est graduellement remplacée par de l'eau d'infiltration propre des précipitations. Ainsi, considérant que le modèle est basé sur plusieurs hypothèses prudentes, aucun impact n'est appréhendé sur les récepteurs d'eau souterraine pour le parc à résidus.



6.1.2 Analyse de sensibilité

Une analyse de sensibilité a été effectuée sur les paramètres jugés comme ayant la plus grande influence sur les résultats de modélisation. Ceux-ci sont respectivement la constante de dégradation des cyanures totaux, la conductivité hydraulique de la couche de remblai de faible perméabilité destinée à l'amélioration du substrat, et la recharge en surface des résidus épaissis. L'objectif de l'analyse était d'évaluer l'impact d'une variation de la valeur attribuée à ces paramètres dans le cas de base sur les résultats de la modélisation, en l'occurrence les concentrations maximales simulées à l'aval du parc à résidus.

6.1.2.1 Constante de dégradation

Le scénario #1 considère une constante de dégradation (λ) nulle, ce qui représente un scénario peu réaliste pour les cyanures totaux, mais qui seraient représentatifs pour les contaminants qui ne se dégradent pas. Comme l'illustre la figure 3, les concentrations maximales en cyanures totaux prédites par le scénario #1 seraient 2 à 3 fois supérieures à celles prédites avec le cas de base.

Le scénario #2 considère plutôt une constante de dégradation cinq fois plus élevée ($\lambda = 1 \times 10^{-5} \text{ 1/j}$) que celle du cas de base. Comme l'illustre la figure 4, les concentrations maximales en cyanures totaux prédites par le scénario #1 seraient 5 à 6 fois inférieures à celles prédites avec le cas de base. Ce scénario a notamment pour but de simuler le rôle actif joué par l'horizon de matière organique de surface dans la dégradation biologique et chimique des cyanures totaux, rôle qui n'était pas considéré dans le cas de base.

Ensemble, les scénarios #1 et #2 permettent d'apprécier la variabilité des concentrations simulées en regard du paramètre de dégradation. L'emploi d'une constante de dégradation visant à intégrer le rôle de l'horizon de la matière organique dans la dégradation des cyanures totaux générerait des concentrations encore plus faibles dans l'aquifère de roc, et bien en deçà du critère de l'eau souterraine aux fins de consommation du MDDELCC (0,20 mg/l). À noter que les rapports de proportion obtenus entre les concentrations prédites pour un scénario sans dégradation (scénario #1) et celles prédites pour le cas de base permettent de fournir un ordre de grandeur de la contribution de la dégradation au processus de migration modélisé.

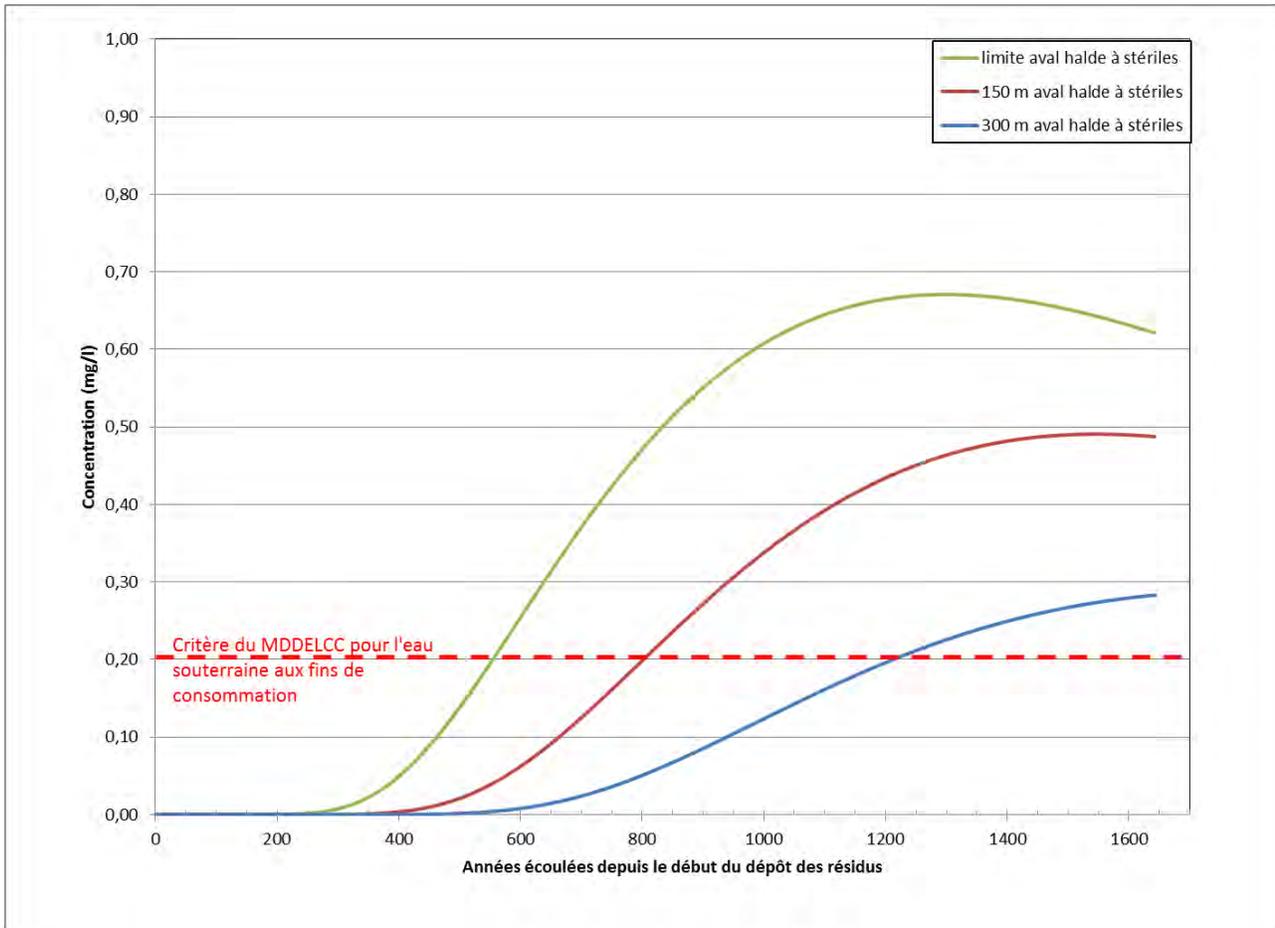


Figure 3: Variation temporelle des concentrations en cyanures totaux dans l'aquifère de roc – scénario #1 : $\lambda = 0$

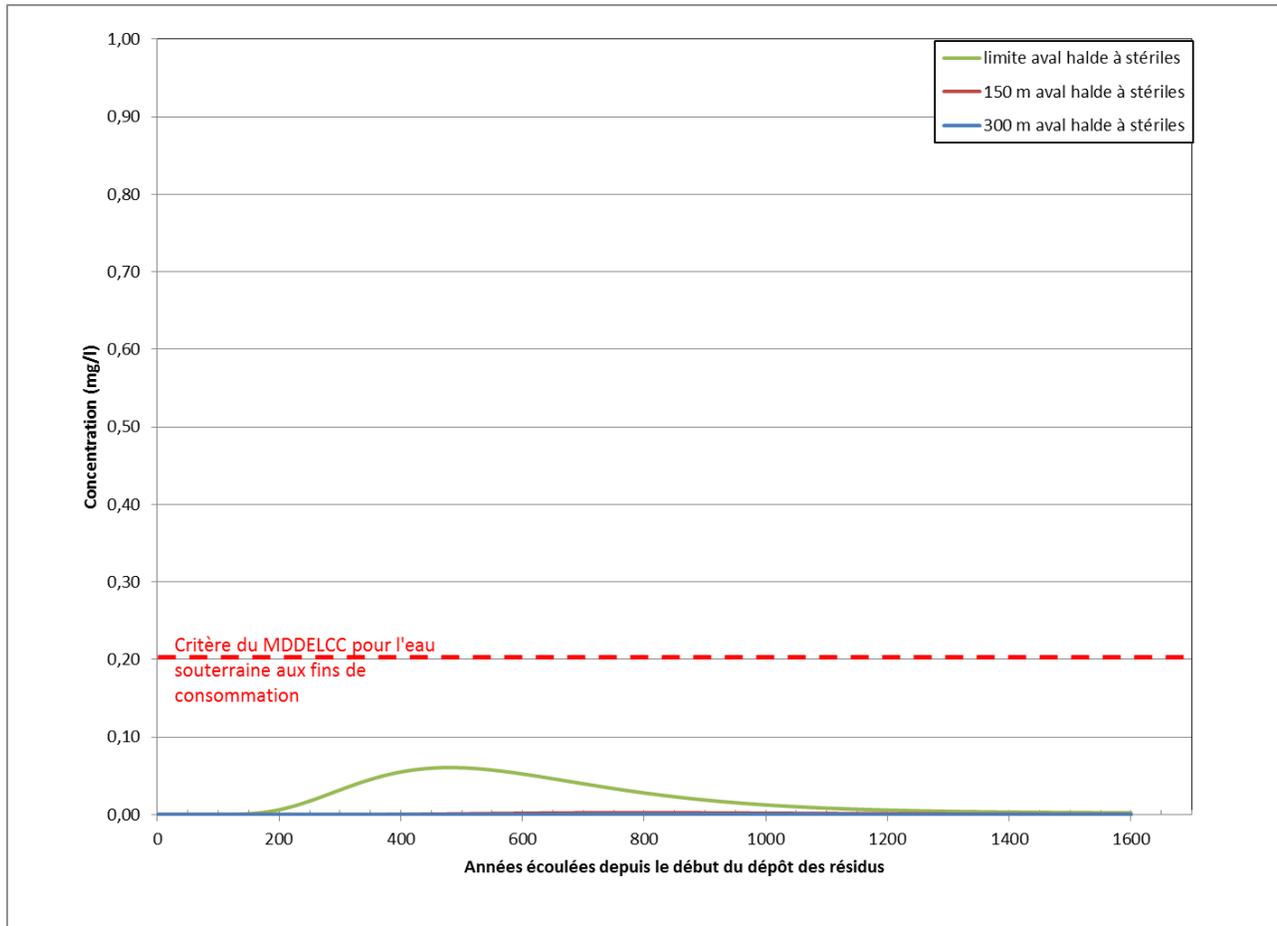


Figure 4: Variation temporelle des concentrations en cyanures totaux dans l'aquifère de roc – scénario #2 : $\lambda = 1 \times 10^{-5} 1/j$

6.1.2.2 Conductivité hydraulique du remblai de fondation

Le scénario #3 considère que le remblai de fondation mis en place pour améliorer le substrat possède une conductivité hydraulique (K) supérieure d'un ordre de grandeur à celle du cas de base, soit 5×10^{-8} m/s au lieu de 5×10^{-9} m/s. La pertinence de tester ce scénario réside dans le fait qu'une certaine incertitude existe quant à la conductivité hydraulique, ou perméabilité, réelle que pourra avoir le remblai de fondation, par rapport à la conductivité hydraulique des matériaux non remaniés naturellement en place, qui serviront pour l'amélioration du substrat. Le choix d'une valeur plus grande vise à considérer une situation où la mise en place de matériaux préalablement excavés ne permettrait pas de recréer une couche à perméabilité équivalente.

L'évolution des concentrations en cyanures totaux simulées dans l'eau souterraine à l'aval du parc à résidus pour le scénario #3 est présentée sur la figure 5. Cette figure indique que la concentration maximale en cyanures totaux à la limite aval de la halde à stériles augmente peu pour le scénario #3 par rapport au cas de base et demeure sous le critère aux fins de consommation du MDDELCC à 150 m à l'aval de la halde à stériles.



Il apparaît que la conductivité hydraulique, ou perméabilité, du remblai de fondation a une influence limitée à modérée sur les concentrations en cyanures totaux migrant dans les formations géologiques sous-jacentes et à l'aval du parc à résidus. L'augmentation des concentrations en cyanures totaux dans l'aquifère de roc, découlant d'une augmentation d'un ordre de grandeur de la conductivité hydraulique du remblai de fondation, s'avère relativement faible, et ces concentrations y demeurent sous la valeur du critère applicable. Ceci indique qu'une certaine tolérance est admissible quant à la conductivité hydraulique réelle que possédera le remblai de fondation, suite à sa mise en place, et qu'une déviation de celle-ci d'un ordre de grandeur par rapport à la conductivité hydraulique de l'argile naturelle n'aurait pas d'impact significatif sur la qualité de l'eau souterraine à l'aval des aires d'accumulation.

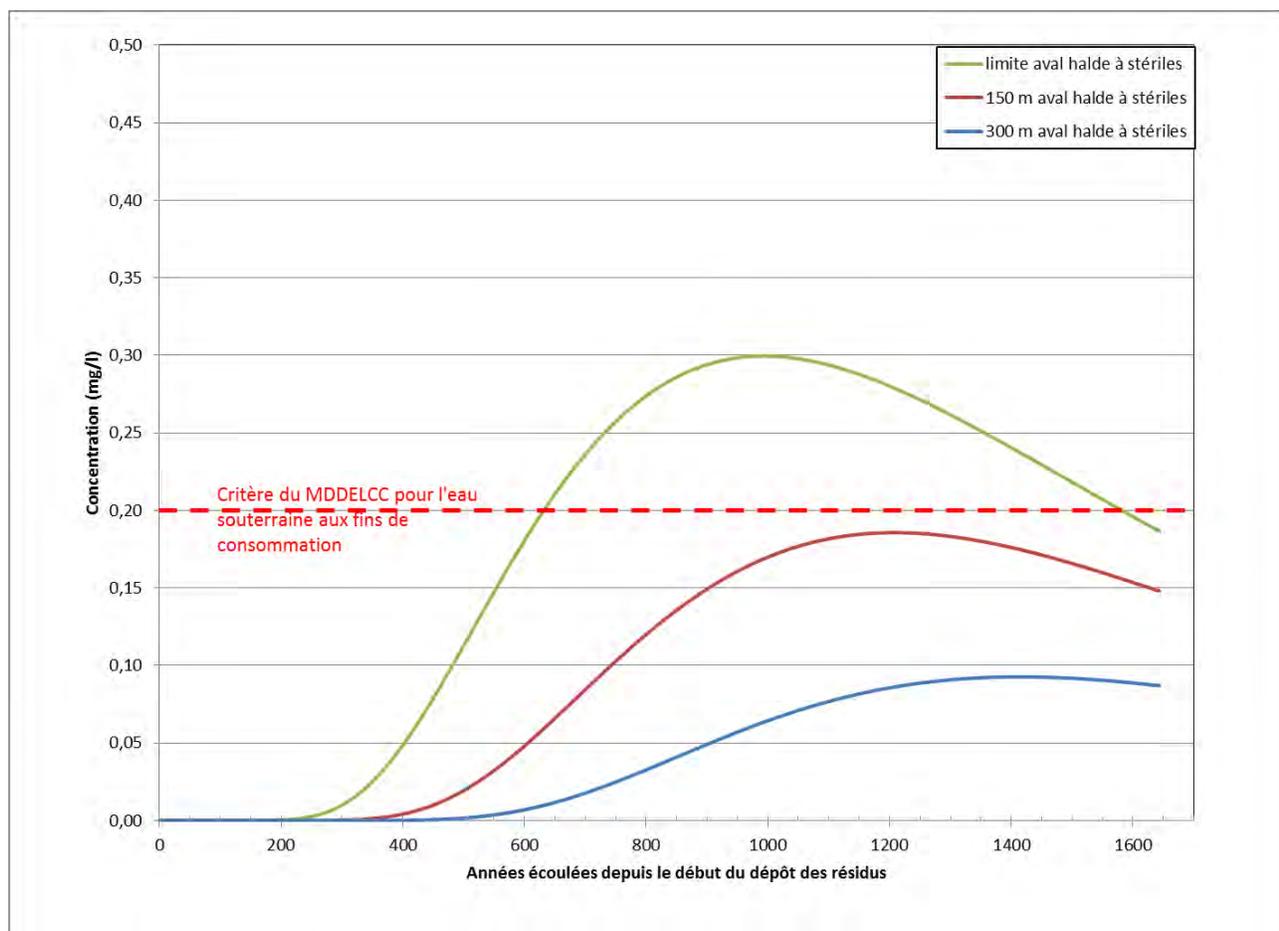


Figure 5: Variation temporelle des concentrations en cyanures totaux dans l'aquifère de roc – scénario #3 : K remblai de fondation X 10

6.1.2.3 Infiltration au niveau des résidus épais

Le scénario #4 considère une recharge en surface des résidus épais correspondant au double de celle appliquée dans le cas de base. Ceci correspond à un taux de recharge de 150 mm/an. Il s'agit d'une valeur dans la plage supérieure du spectre des taux de recharge possibles en surface des résidus épais. Le scénario #5



considère une recharge en surface des résidus épaissis égale à la moitié de celle appliquée dans le cas de base. Ceci correspond à un taux de recharge de 37,5 mm/an. Dans ce cas, il s'agit d'une valeur dans la plage inférieure du spectre.

L'évolution des concentrations en cyanures totaux dans l'eau souterraine à l'aval du parc à résidus pour les scénarios #4 et #5 est présentée aux figures 6 et 7, respectivement. À la limite aval de la halde à stériles, la concentration maximale en cyanures totaux augmente d'environ 15 % pour le scénario #4 (recharge du cas de base X 2) et diminue d'environ 20 % pour le scénario #5 (recharge du cas de base / 2), par rapport au cas de base.

À 150 m à l'aval de la halde à stériles, la concentration maximale en cyanures totaux augmente d'environ 20 % pour le scénario #4 (recharge du cas de base X 2) et diminue d'environ 20 % pour le scénario #5 (recharge du cas de base / 2), par rapport au cas de base.

Ces résultats montrent que les concentrations simulées par le modèle sont relativement moins sensibles au taux de recharge appliqué qu'à la constante de dégradation. Ceci confère une certaine robustesse au modèle, étant donné que la recharge est généralement un paramètre possédant un niveau d'incertitude relativement élevé. Ils soulignent par ailleurs l'importance du rôle que jouent les inclusions du parc à résidus dans le retrait de la masse de cyanures totaux présente dans les résidus. Il apparaît donc comme critique le fait que ces inclusions puissent jouer leur rôle drainant efficacement et de façon durable.

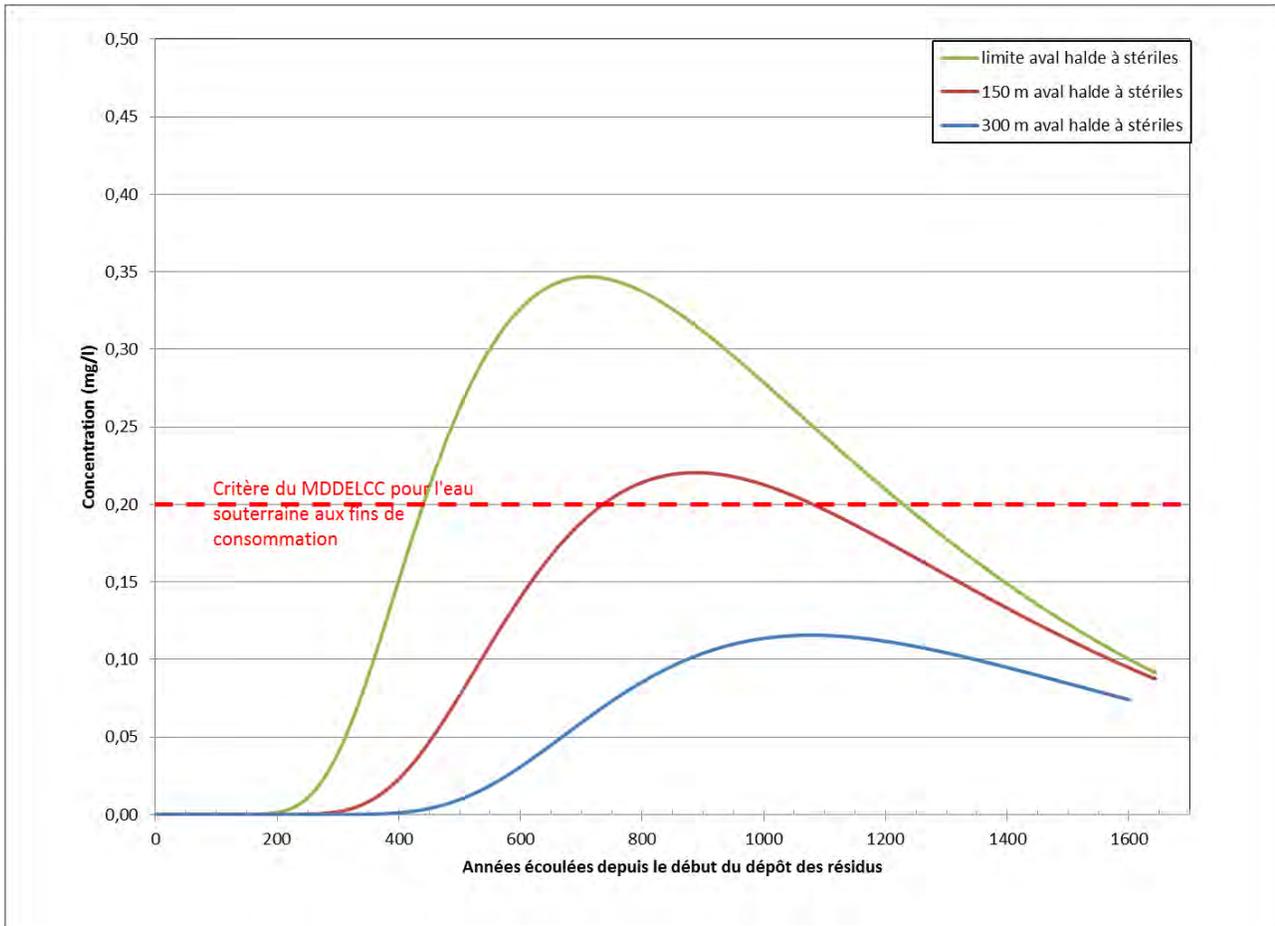


Figure 6: Variation temporelle des concentrations en cyanures totaux dans l'aquifère de roc – scénario #4 : Recharge X 2

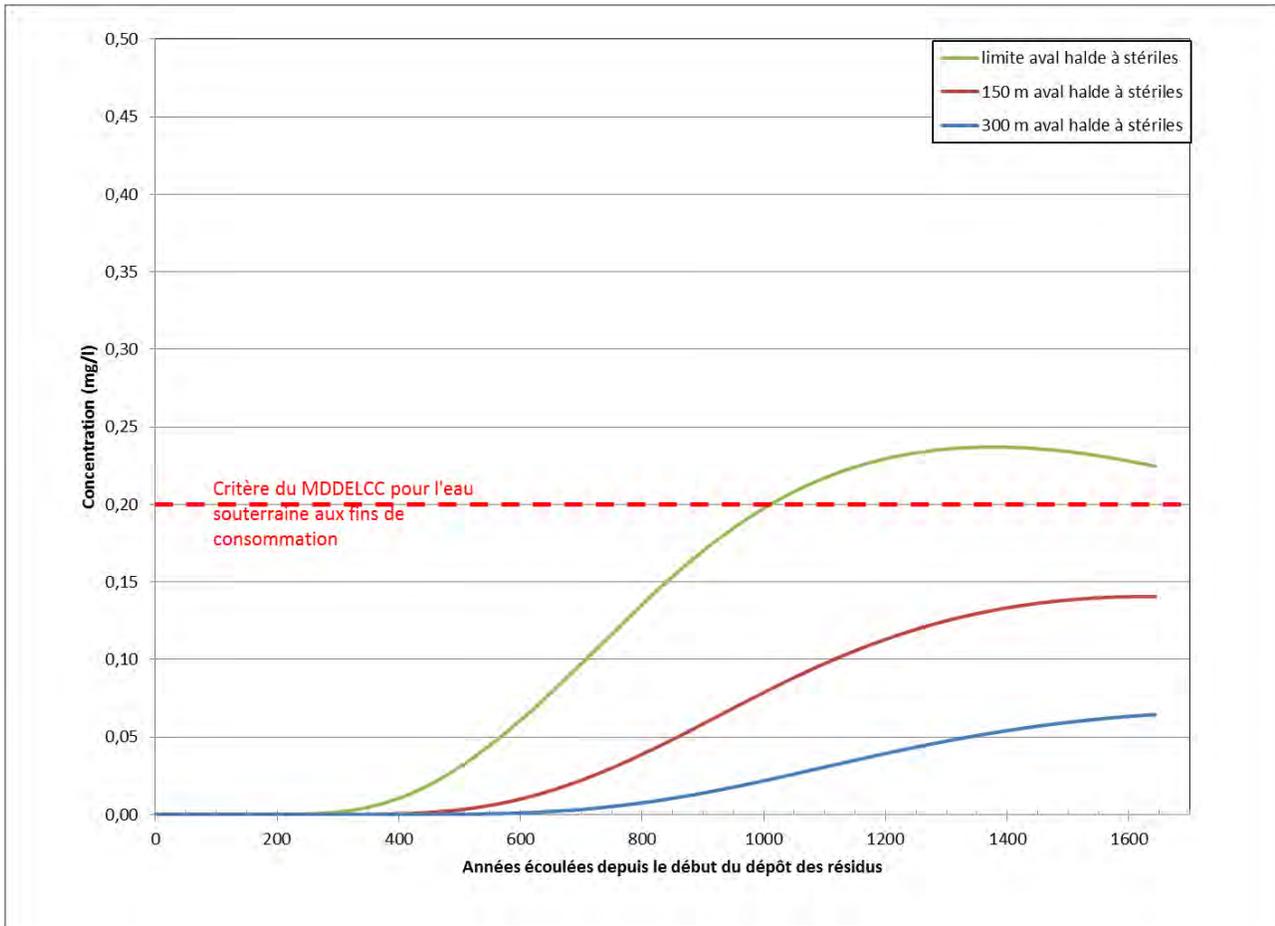


Figure 7: Variation temporelle des concentrations en cyanures totaux dans l'aquifère de roc – scénario #5 : Recharge / 2

6.2 Simulations prédictives – Sodium

La figure 8 montre l'évolution des concentrations simulées en sodium dans l'eau souterraine en fonction du temps. Il est observé sur cette figure que les concentrations en sodium n'excéderaient pas le critère aux fins de consommation du MDDELCC à la limite aval de la halde à stériles.

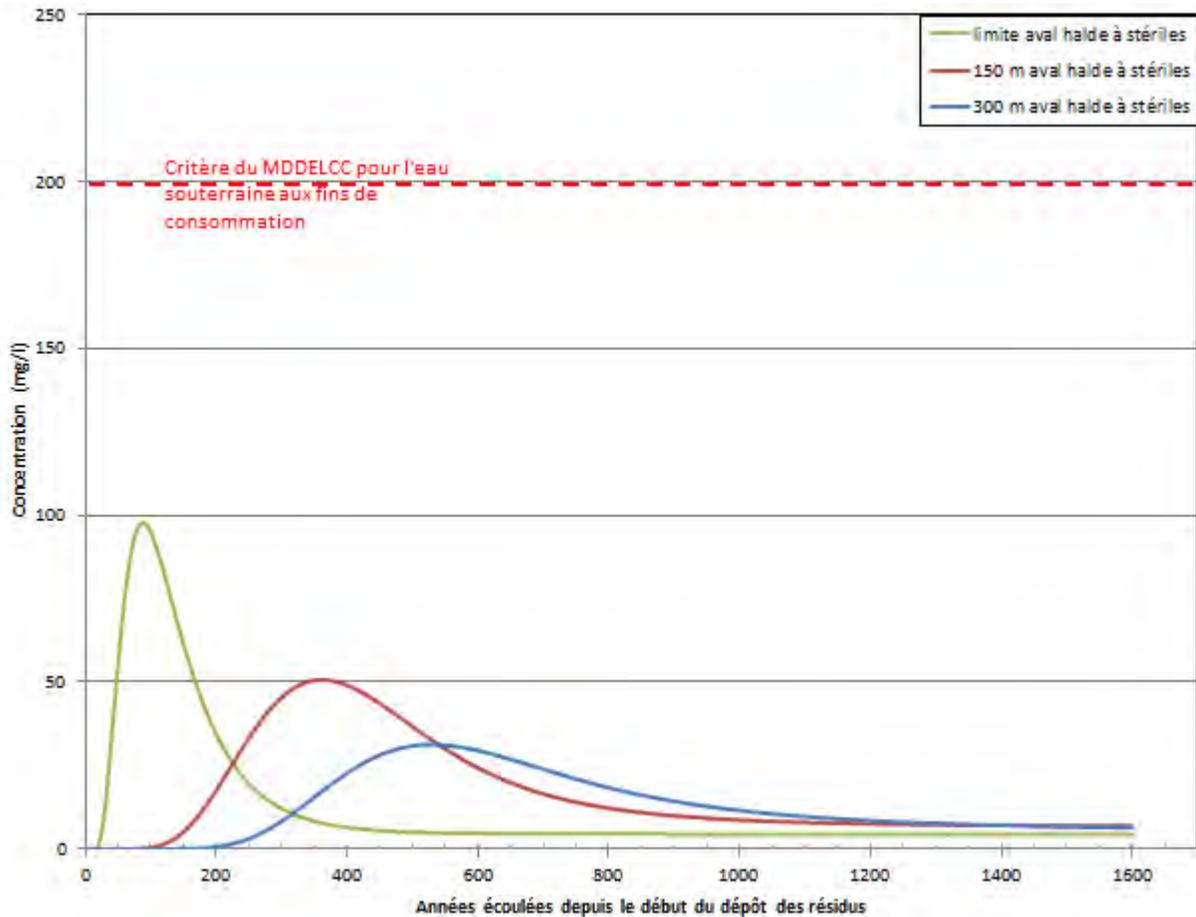


Figure 8: Variation temporelle des concentrations en sodium dans l'aquifère de roc

6.3 Simulations prédictives – Cuivre

La figure 9 montre l'évolution des concentrations simulées en cuivre dans l'eau souterraine en fonction du temps. Il est observé sur cette figure que les concentrations en cuivre à la limite aval de la halde à stériles sont très faibles et n'excèderaient pas le critère RESIE du MDDELCC.

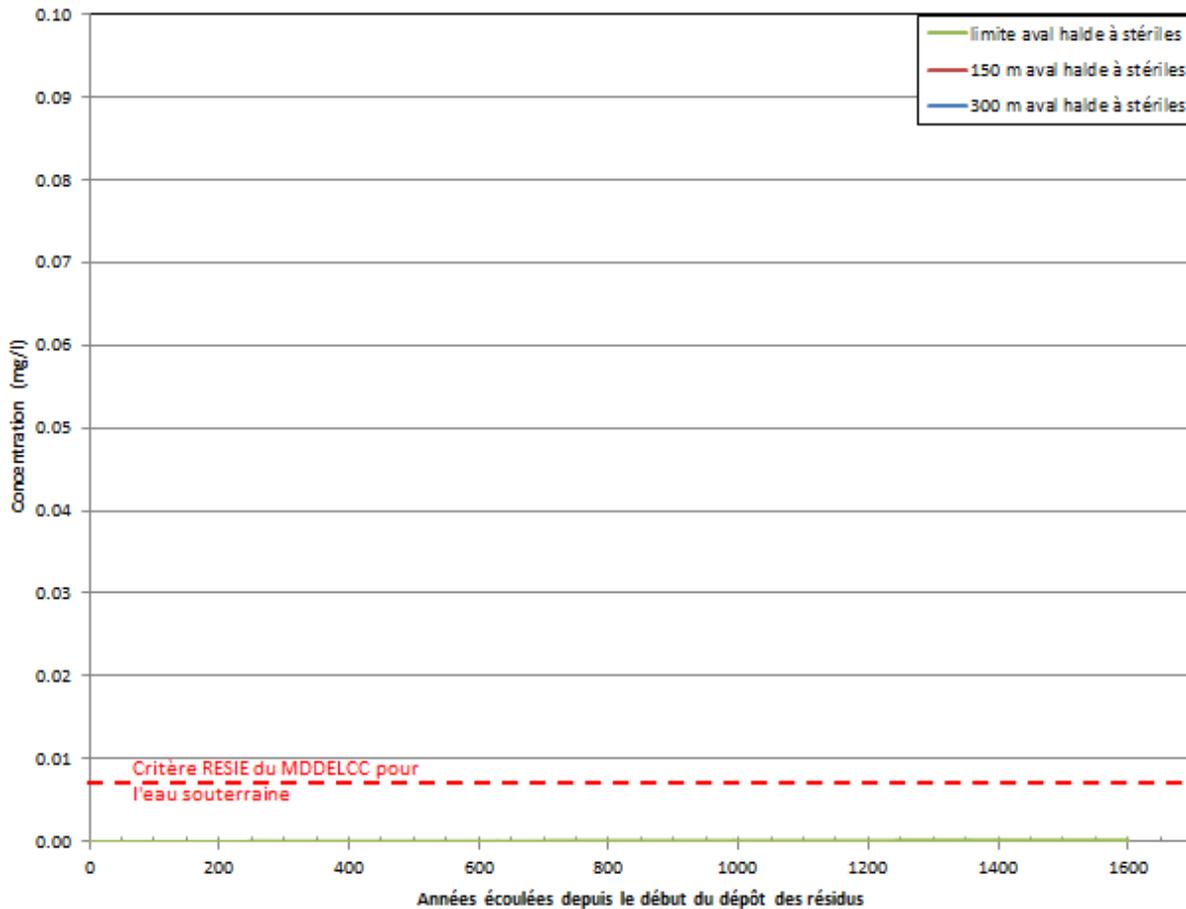


Figure 9: Variation temporelle des concentrations en cuivre dans l'aquifère de roc

6.4 Limites du modèle

Le modèle d'écoulement et de transport développé dans le cadre du présent mandat constitue une simplification du système hydrogéologique auquel s'ajouteront les résidus épaissis et stériles qui seront mis en place dans le prolongement des aires d'accumulation.

Une des principales simplifications est la représentation du système à l'aide d'un modèle en deux dimensions en coupe. Cette simplification ne permet pas d'intégrer la variabilité spatiale des unités hydrostratigraphiques et des flux d'eau aux limites du système dans la simulation de l'écoulement et du transport des contaminants. De fait, le processus de migration est supposé être uniforme dans l'espace, alors qu'il devrait plutôt varier en relation avec les variations de la stratigraphie, de même qu'avec la variation des flux d'eau entrant ou sortant.

Bien que le choix de l'axe de coupe modélisée soit basé sur des critères prudents, il s'avère possible que l'écoulement et le transport de contaminants selon d'autres axes puissent générer des concentrations différentes de celles simulées pour le cas de base. En contrepartie, la représentation du système à l'aide d'un modèle en deux dimensions s'avère une approche prudente, en raison du fait que cela suppose un système dont



l'extension transversale est infinie. Cette simplification a pour effet de négliger l'écoulement divergeant perpendiculairement à l'axe de la coupe et la dispersion transversale, ce qui peut engendrer une surestimation des concentrations simulées.

Une autre simplification considérée prudente est l'absence de l'horizon de matière organique dans le modèle développé, alors que celui-ci favorise l'adsorption des contaminants, de même que la biodégradation des cyanures. De plus, le modèle considère que tous les cyanures totaux sont présents sous la forme de ferrocyanures seulement, ce qui représente une hypothèse très prudente.

À la lumière des simplifications et hypothèses exposées précédemment, il apparaît que le modèle d'écoulement et de transport développé permet de simuler de façon suffisamment prudente la migration des contaminants pour servir d'outil d'aide à la décision, en vue de guider la conception et l'aménagement du prolongement du parc à résidus et de la halde à stériles dans le secteur ciblé.

7.0 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Une étude hydrogéologique a été réalisée afin de déterminer si le prolongement du parc à résidus épaissis et de la halde à stériles, le mode de gestion de ces matériaux et l'approche d'amélioration du substrat du parc à résidus qui est envisagée permettront de respecter les objectifs de protection des eaux souterraines. Un modèle hydrogéologique conceptuel a été développé et inclut une interprétation de la stratigraphie locale, sur laquelle se superposent les résidus épaissis puis les stériles. Le modèle inclut une couche de remblai de faible perméabilité d'une épaisseur de 1,5 m à la base des résidus épaissis sous lesquels l'argile naturelle est absente ou d'épaisseur inférieure à 1 m. Cette couche est destinée à améliorer le niveau de protection des eaux souterraines circulant dans l'aquifère de roc sous-jacent.

Le modèle hydrogéologique conceptuel a permis la construction d'un modèle numérique à partir duquel le transport des cyanures totaux, contaminants jugés d'intérêt prioritaire, a été simulé, afin d'évaluer les impacts potentiels du prolongement du parc à résidus et de la halde à stériles sur la qualité de l'eau souterraine. Le cas de base du modèle numérique prédit une concentration maximale en cyanures totaux de 0,18 mg/l dans l'aquifère de roc à 150 m à aval de la halde à stériles. Cette concentration est ainsi inférieure au critère à des fins de consommation du MDDELCC (0,2 mg/l) pour les cyanures totaux. Pour les deux autres contaminants d'intérêt, soit le sodium et le cuivre, les concentrations prédites dans l'eau souterraine à la limite aval de la halde à stériles sont inférieures aux critères du MDDELCC.

L'analyse de sensibilité réalisée sur le cas de base a montré l'importance du processus de dégradation dans la migration des cyanures totaux. Également, l'analyse de sensibilité a montré que la perméabilité du remblai destiné à l'amélioration du substrat avait une influence limitée à modérée sur la migration des contaminants. Ainsi, bien que la qualité de la mise en place du remblai s'avère importante, une certaine tolérance quant à la variabilité de sa conductivité hydraulique finale est admissible. Un autre aspect investigué dans le cadre de l'analyse est l'influence de la recharge en surface des résidus épaissis sur la migration des cyanures totaux. Il a été montré que le modèle s'avérait robuste relativement à la variabilité de la recharge en surface des résidus épaissis. Il s'avère néanmoins recommandé de continuer à gérer l'aire d'accumulation de façon à minimiser l'infiltration d'eau à sa surface.



Les résultats de la modélisation indiquent que le concept du prolongement du parc à résidus et de la halde à stériles, combinée à l'approche d'amélioration du substrat de ces aménagements présentement envisagée, permettront de respecter les objectifs de protection des eaux souterraines de la Directive 019. De fait, le modèle prédit qu'il n'y aura aucune dégradation significative de la qualité de l'eau souterraine de l'aquifère de roc à plus de 150 m à l'aval de la halde à stériles, le long de la coupe modélisée. Ainsi, considérant l'approche prudente de modélisation et le mode de gestion des résidus proposé, aucun impact aux récepteurs d'eau souterraine n'est appréhendé pour le parc à résidus.

Préalablement au prolongement du parc à résidus, il est recommandé de mettre en place une couche de remblai de faible perméabilité d'une épaisseur d'au moins 1,5 m aux emplacements où l'argile naturelle est absente ou d'épaisseur inférieure à 1 m. De plus, le programme de surveillance des eaux souterraines de la Mine devrait inclure de nouveaux puits aménagés à l'aval du prolongement de la halde à stériles afin de valider les prédictions du modèle et prévenir les impacts aux récepteurs d'eau souterraine.



8.0 RÉFÉRENCES

- Anderson, M.P., and Woessner, W.W., 1992. *Applied groundwater modeling – Simulation of flow and advective transport*. Academic Press inc., Harcourt Brace Jovanovich, Publishers. 381 p.
- Battelle Memorial Institute. 1989. *Chemical Databases for the Multimedia Environmental Pollutant Assessment System (MEPAS)*. Version 1. December 1989.
- Diersch, H.-J. G., 2014. *FEFLOW – Finite element modeling of flow, mass and heat transport in porous and fractured media*. Springer, Berlin Heidelberg, XXXV, 996p.
- Franz, T.J., and Rowe, R.K., 1993. *Simulation of groundwater flow and contaminant transport at a landfill site using models*. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics. Vol. 17- 7, pp. 435-455.
- Gelhar, L.W., Welty, C. and Rehfeldt, K.W., 1992. *A critical review of data on field-scale dispersion in aquifers*. Water Resource Research. 28(7) , pp. 1955-1974
- Golder Associés Ltée, 2008. *Évaluation du débit d'exhaure et des impacts potentiels sur les niveaux des eaux souterraines, Osisko Exploration Malartic, Québec, Canada*. N° Réf. 07-1221-0028-2400
- Golder Associés Ltée, 2009a. *Projet Canadian Malartic – Impacts potentiels du parc à résidus sur la qualité de l'eau souterraine, Corporation minière Osisko, Malartic, Québec*. N° réf. 07-1221-0028-3900
- Golder Associés Ltée, 2009b. *Estimation par modélisation numérique du débit d'eau s'exfiltrant du parc à résidus vers le roc - Corporation minière Osisko, Malartic, (Québec)*. N° réf.07-1221-0028-3700
- Golder Associés Ltée, 2009c. *Rapport factuel d'investigation géotechnique pour le parc à résidus miniers, Projet Canadian Malartic, Corporation minière Osisko, Malartic, Québec*. N° réf. 07-1221-0028-3300
- Golder Associés Ltée, 2009d. *Estimation par solution analytique du taux d'exfiltration du bassin de polissage vers le roc, Corporation minière Osisko, Malartic, Québec*. N° réf. 07-1221-0028-3302
- Golder Associés Ltée, 2009e. *Modélisation des impacts potentiels du bassin sud-est sur la qualité de l'eau souterraine – Projet Canadian Malartic, Corporation minière Osisko, Malartic, Québec*. N° réf. 07-1221-0028-3800
- Golder Associés Ltée, 2010. *Évaluation des effets potentiels du nouveau parc à résidus miniers sur la qualité de l'eau souterraine – Projet Canadian Malartic - Corporation minière Osisko, Malartic (Québec)*. N° réf. 07-1221-0028-3800-2
- Golder Associés Ltée, 2012a. *Rapport factuel d'investigation géotechnique – secteur à l'est du parc à résidus de la Mine*. No réf. 001-11-1221-0105
- Golder Associés Ltée, 2012b. *Investigation des piliers de surface de la mine Barnat-Sladen*. N° réf. 017-10-1221-0123
- Golder Associés Ltée, 2013. *Suivi des eaux souterraines 2012 – Mine Canadian Malartic, Malartic (Québec)*. N° réf. 004-10-1221-4002



- Golder Associés Ltée. 2014a. *Évaluation de la qualité des eaux souterraines dans le secteur du prolongement de la halde à stériles et du parc à résidus, Mine Canadian Malartic, Québec.* N° réf. 002-10-1221-0107-6002
- Golder Associés Ltée, 2014b. *Analyse de la stratigraphie en regard du niveau de protection des eaux souterraines requis pour le prolongement du parc à résidus et de la halde à stériles.* N° réf. 026-13-1221-0020-3040
- Golder Associés Ltée, 2014c. *Rapport de caractérisation de l'eau interstitielle des résidus de la mine Canadian Malartic.* N° réf. 072-13-1221-0020-2020-RF-Rev0
- Golder Associés Ltée. 2014d. *Programme de caractérisation géochimique 2012-2013, Mine Canadian Malartic, Malartic, Québec .* N° réf. 046-13-1221-0020-5010
- Golder Associés Ltée. 2014e. *Plan conceptuel de gestion des eaux et bilan d'eau – Conditions ultimes d'opération.* N° réf. 048-13-1221-0020-4020
- Meeussen, J.C.L., Keizer, M.G. and De Haan, F.A.M. 1992. *The chemical stability and decomposition rate of iron cyanide complexes in soil solutions.* Environmental Science and Technology. 26 (3), pp. 511-516.
- Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec (MEF), 1999. *Guide de classification des eaux souterraines du Québec.* Direction des politiques de l'eau. 12 p.
- Ministère de l'Environnement du Québec (MENV), 1999. *Politique de protection et de réhabilitation des sols et des terrains contaminés.* Direction des politiques du secteur industriel, Service des lieux contaminés, 124 pages. Dernière mise à jour : novembre 2001.
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), 2012. *Directive 019 sur l'industrie minière.* Direction des politiques de l'eau, Services des eaux industrielles. Mars 2012.
- Smith, A. and Mudder, T. 2001. *The Chemistry and Treatment of Cyanidation Wastes.* Mining Journal Books Ltd. Second Edition.
- US Environmental Protection Agency (USEPA). 1999. *Partition Coefficients for Metals in Surface Water, Soil and Wastes.* June 1999.



9.0 SIGNATURES

GOLDER ASSOCIÉS LTÉE

Christian Boyaud, ing., M.Sc.
Hydrogéologue

Pierre Groleau, ing., M.Sc.
Hydrogéologue - Associé principal

Michel Mailloux, ing., M.Sc.
Hydrogéologue - Associé

CB/PG/MM/

Golder, Golder Associés et le concept GA sur son logo sont des marques de commerce de Golder Associates Corporation.

\\golder.gds\gal\montreal\actif\2013\1221\13-1221-0020 osisko - expansion mine malartic\6 livrables émis\062-13-1221-0020-2020-rev2.docx



LÉGENDE

 EMPREINTE PROJÉTÉE DE LA FOSSE, DU PARC À RÉSIDUS ET DE LA HALDE À STÉRILES

NOTES

PROJECTION UTM, ZONE 17, SYSTÈME DE RÉFÉRENCE NAD 83

RÉFÉRENCE

PHOTOS LIDAR FOURNIES PAR CMGP (JUN 2011 ET AOÛT 2012)

CONFIDENTIEL

CLIENT
CANADIAN MALARTIC GP

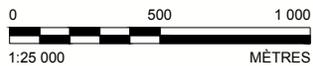
CONSULTANT

AAAA-MM-JJ	2015-07-17
PROJÉTÉ	C. Boyaud
DESSINÉ	S. Betnesky
REVISÉ	C. Boyaud
APPROUVÉ	P. Groleau



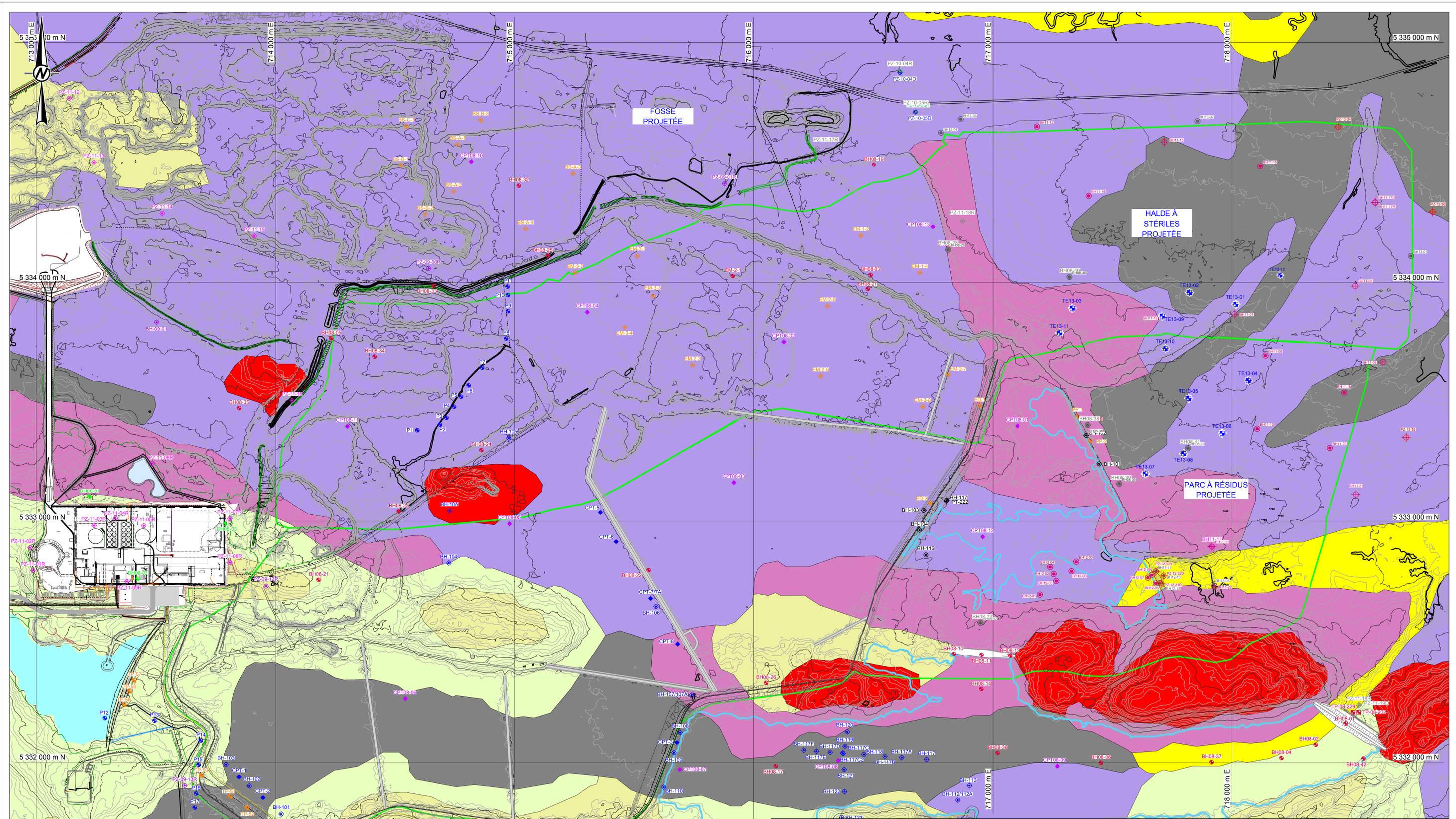
PROJET
ÉTUDE DE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE DES IMPACTS POTENTIELS SUR LA QUALITÉ DE L'EAU SOUTERRAINE DU PROLONGEMENT DE LA HALDE À STÉRILES ET DU PARC À RÉSIDUS, MINE CANADIAN MALARTIC, QUÉBEC - RAPPORT DE MODÉLISATION

TITRE
LOCALISATION DES AMÉNAGEMENTS PROJÉTÉS



N° PROJET	PHASE	Rév.	PLAN
13-1221-0020	2020	2	1

25 mm - SILA MESURE NE CORRESPOND PAS À L'ÉCHELLE. LA TAILLE DE LA FEUILLE A ÉTÉ MODIFIÉE/ANSI A



CONFIDENTIEL

Géologie des dépôts meubles

1a - Till - Couverture discontinue (< 1 m)
1b - Till - Couverture continue (> 1 m)
2a - Sédiments juxtaglaciaires
2b - Sédiments d'épandage proglaciaire
2c - Sédiments granulaires
3a - Sédiments d'eau profonde
3b - Sédiments sublittoraux et de plage
5 - Dépôts alluviaux
6 - Dépôts organiques
R - Roc

LÉGENDE

○ PUIS D'OBSERVATION	— EMPREINTE PROJÉTÉE DU PARC À RÉSIDUS ET DE LA HALDE À STÉRILES
● FORAGE	— EMPREINTE PROJÉTÉE DE LA FOSSE
□ TRANCHÉE D'EXPLORATION	
◆ ESSAI DE PÉNÉTRATION AU CÔNE	

CLIENT
CANADIAN MALARTIC GP

CONSULTANT



AAAA-MM-JJ	2015-07-17
PROJÉTÉ	C. Boyaud
DESSINÉ	S. Betnesky
REVISÉ	C. Boyaud
APPROUVÉ	P. Groleau

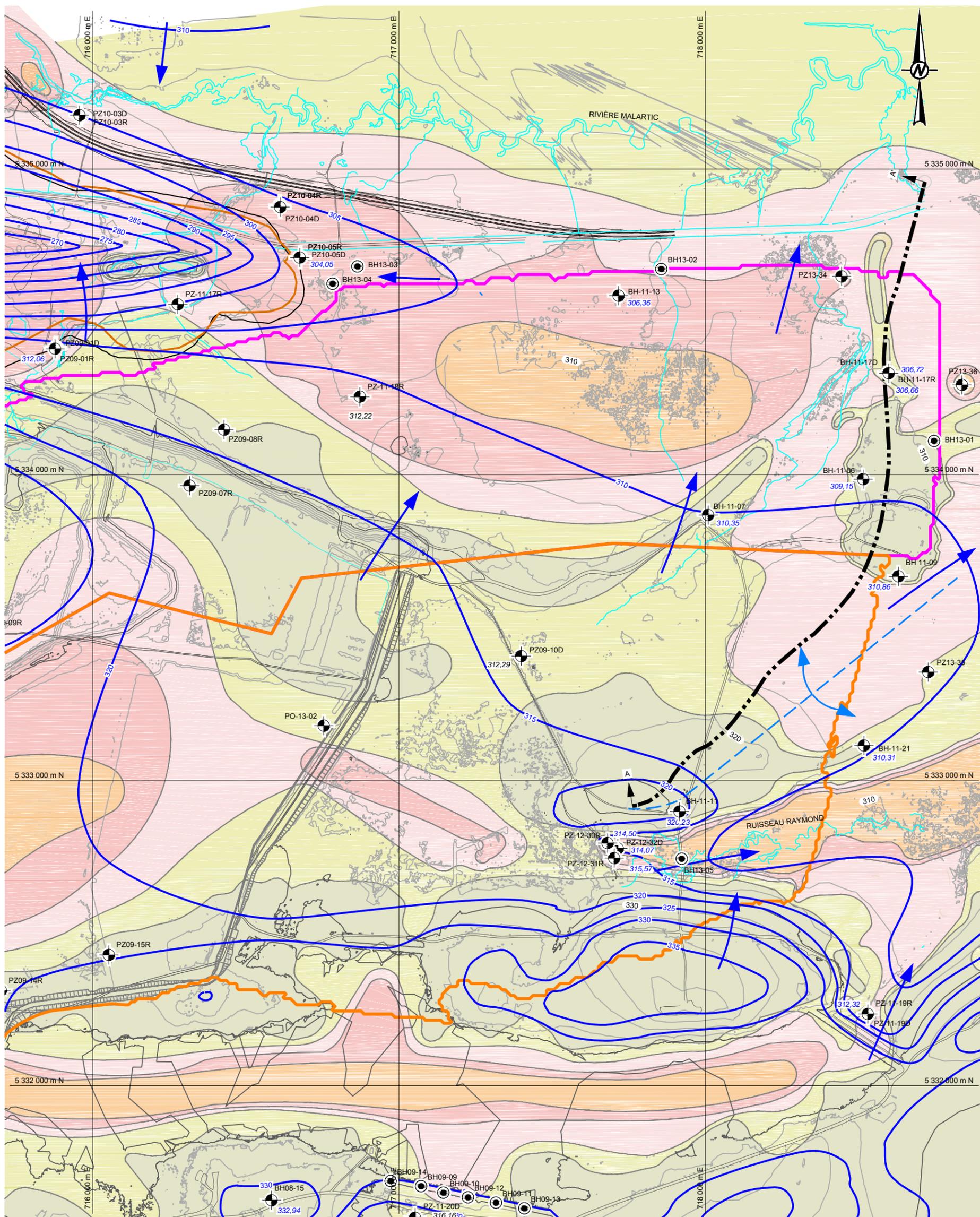
PROJET
ÉTUDE DE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE DES IMPACTS POTENTIELS SUR LA QUALITÉ DE L'EAU SOUTERRAINE DU PROLONGEMENT DE LA HALDE À STÉRILES ET DU PARC À RÉSIDUS, MINE CANADIAN MALARTIC, QUÉBEC - RAPPORT DE MODÉLISATION

TITRE
CARTE DES DÉPÔTS MEUBLES
(COMMISSION GÉOLOGIQUE DU CANADA)

N° PROJET	13-1221-0020	PHASE	2020	Rév.	2	PLAN	2
-----------	--------------	-------	------	------	---	------	---

Chemin: I:\golder\gsg\alberta\SIG\CAD\PROJET\SIG\SIGK\PRODUCTION\13-1221-0020\2020\2020-002.dwg

25 mm - SI LA MESURE NE CORRESPOND PAS À L'ÉCHELLE, LA TAILLE DE LA FEUILLE A ÉTÉ MODIFIÉE - ANSID



LÉGENDE

- PUIS D'OBSERVATION
- EMPREINTE DU PARC À RÉSIDUS PROJETÉ
- EMPREINTE DE LA HALDE À STÉRILES PROJETÉE
- COURBE ISOPIÈZE (m)
- ÉLÉVATION DU NIVEAU D'EAU SOUTERRAINE (m) (SEPTEMBRE 2012)
- DIRECTION D'ÉCOULEMENT DE L'EAU SOUTERRAINE
- LIGNE DE PARTAGE DES EAUX SOUTERRAINES

ÉPAISSEUR DE SOLS COHÉRENTS

- 0 à 1 m
- 1 à 2,5 m
- 2,5 à 5 m
- 5 à 10 m
- >10 m

CONFIDENTIEL

CLIENT
CANADIAN MALARTIC GP

CONSULTANT



AAAA-MM-JJ	2015-07-17
PROJETÉ	C. Boyaud
DESSINÉ	S. Betnesky
REVISÉ	C. Boyaud
APPROUVÉ	P. Groleau

PROJET
ÉTUDE DE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE DES IMPACTS POTENTIELS SUR LA QUALITÉ DE L'EAU SOUTERRAINE DU PROLONGEMENT DE LA HALDE À STÉRILES ET DU PARC À RÉSIDUS, MINE CANADIAN MALARTIC, QUÉBEC - RAPPORT DE MODÉLISATION

TITRE
INTERPRÉTATION DE L'ÉPAISSEUR DES SOLS COHÉRENTS ET DE LA PIÉZOMÉTRIE DU ROC ET LOCALISATION DE LA COUPE MODÉLISÉE

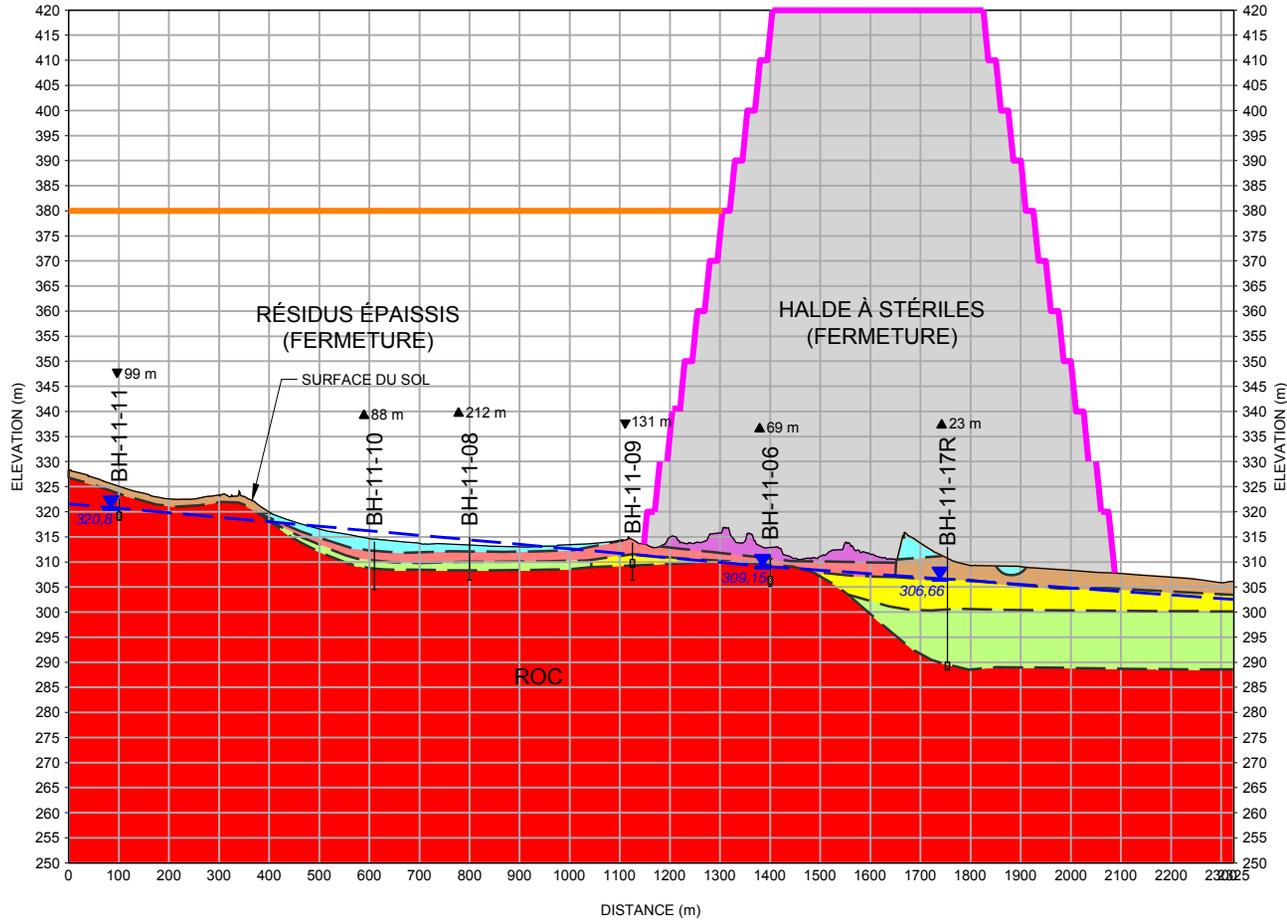
N° PROJET	PHASE	Rév.	PLAN
13-1221-0020	2020	2	3



SI LA MESURE NE CORRESPOND PAS À LA TAILLE DE LA FEUILLE A3, RÉFÉRENCE: ANS/B

A
X: 717762,03
Y: 5332915,46

A'
X: 718717,15
Y: 5334957,69



LÉGENDE

BH-11-10 FORAGE / PUIS
▲88 m DISTANCE DU FORAGE / PUIS PAR RAPPORT À L'AXE DE LA COUPE

PIÉZOMÉTRIE DU ROC

— SURFACE PIÉZOMÉTRIQUE
▼320.23 ÉLEVATION DU NIVEAU DE L'EAU SOUTERRAINE (m)

STRATIGRAPHIE

- REMBLAI
- ARGILE
- SILT
- SABLE ET GRAVIER
- SABLE FIN
- TILL
- SOCLE ROCHEUX

CLIENT
CANADIAN MALARTIC GP

CONSULTANT



AAAA-MM-JJ 2015-07-17
PROJETÉ C. Boyaud
DESSINÉ S. Betnesky
REVISÉ C. Boyaud
APPROUVÉ P. Groleau

PROJET
ÉTUDE DE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE DES IMPACTS POTENTIELS SUR LA QUALITÉ DE L'EAU SOUTERRAINE DU PROLONGEMENT DE LA HALDE À STÉRILES ET DU PARC À RÉSIDUS, MINE CANADIAN MALARTIC, QUÉBEC - RAPPORT DE MODÉLISATION

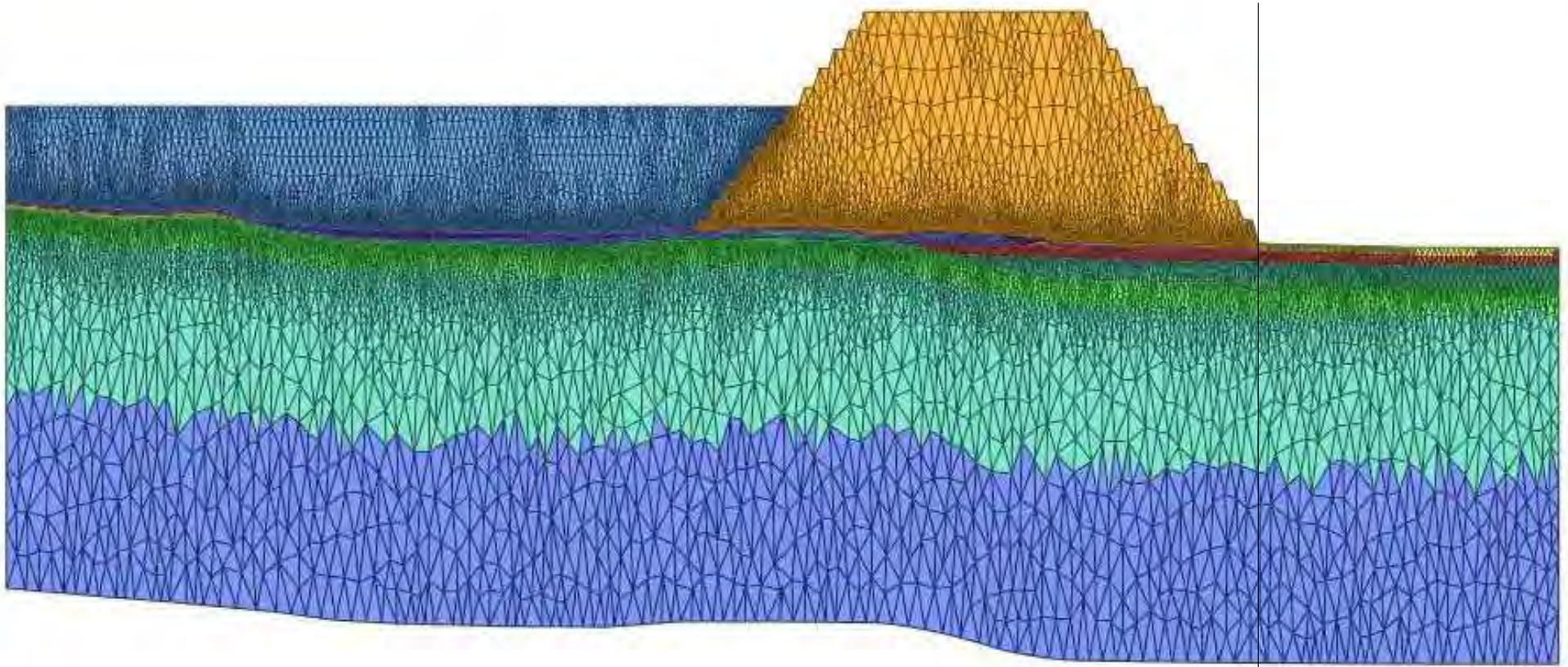
TITRE
COUPE STRATIGRAPHIQUE LE LONG DE L'AXE MODÉLISÉ

N° PROJET	PHASE	Rév.	PLAN
13-1221-0020	2020	2	4

SIL LA MESURE NE CORRESPOND PAS À L'ÉCHELLE, LA TAILLE DE LA FEUILLE A ÉTÉ MODIFIÉE ANS A

26 mm

MAILLAGE D'ÉLÉMENTS FINIS UTILISÉS POUR LE MODÈLE BIDIMENSIONNEL EN COUPE



EXAGÉRATION VERTICALE = 4X

CLIENT
CANADIAN MALARTIC GP

CONSULTANT



AAAA-MM-JJ 2015-07-17
PROJETÉ C. Boyaud
DESSINÉ S. Betnesky
REVISÉ C. Boyaud
APPROUVÉ P. Groleau

PROJET
ÉTUDE DE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE DES IMPACTS POTENTIELS SUR LA QUALITÉ DE L'EAU SOUTERRAINE DU PROLONGEMENT DE LA HALDE À STÉRILES ET DU PARC À RÉSIDUS, MINE CANADIAN MALARTIC, QUÉBEC - RAPPORT DE MODÉLISATION

TITRE
MAILLAGE D'ÉLÉMENTS FINIS UTILISÉ POUR LE MODÈLE BIDIMENSIONNEL EN COUPE

N° PROJET	PHASE	Rév.	PLAN
13-1221-0020	2020	2	5



ANNEXE A

Concentrations mesurées dans l'eau interstitielle des résidus de la mine Canadian Malartic

Sommaire des résultats analytiques pour les échantillons d'eau prélevés aux puits d'observation installés dans les résidus miniers

Paramètres	Unités	Critères		PO-13-01				PO-13-02				PO-14-03A		PO-14-03B		PO-14-04A			PO-14-04B		
		Fin de consommation	RESIE	PO-13-01-020913***	PO-13-01-20140114	PO-13-01-20140918	PO-13-01	PO-13-02-020913	PO-13-02-201404114	PO-13-02-20140918	PO-13-02	PO-14-03A-20141123	PO-14-03A	PO-14-03B-20141123	PO-14-03B	PO-14-04A-20141123	PO-14-04A	PO-14-04A	PO-14-04B-20141123	PO-14-04B	PO-14-04B
				02/09/2013	01/14/2014	18/09/2014	07/05/2015	02/09/2013	01/14/2014	18/09/2014	07/05/2015	23/11/2014	07/05/2015	23/11/2014	07/05/2015	23/11/2014	10/03/2015	07/05/2015	23/11/2014	10/03/2015	07/05/2015
METEAUX																					
Aluminium (Al)	µg/L	-	750	250000	77	180	72	1100	30	120	33	40	41	20	1300	90	60	33	90	40	57
Antimoine (Sb)	µg/L	6	-	<20	5	5,1	1,6	<20	<3	2,2	1,7	8,1	8,7	6,8	4,7	9,4	13	8,4	6,1	5,6	4,1
Argent (Ag)	µg/L	100	0,62	<10	<0,3	<0,1	<0,10	<10	<0,3	<0,1	<0,10	0,039	<0,10	0,006	<0,10	0,073	<0,002	<0,10	0,527	<0,002	<0,10
Arsenic (As)	µg/L	25	340	70	6	4,8	2,4	<50	3	4	2,7	5,4	5,1	1,6	4,7	3,7	4,1	4,2	5	5,1	4,5
Baryum (Ba)	µg/L	1000	5300 +	2800	53	44	37	60	48	36	28	31,2	31	40,7	26	23,5	22	21	25,8	25,5	22
Cadmium (Cd)	µg/L	5	2,1	<10	<1	<0,2	<0,20	<10	<1	<0,2	<0,20	0,038	<0,20	0,108	<0,20	0,044	0,078	<0,20	0,072	0,086	<0,20
Calcium (Ca)	µg/L	-	-	-	26000	29000	34000	-	120000	60000	56000	27500	36000	85400	99000	31000	24200	20000	49400	57000	51000
Chrome (Cr)	µg/L	50	-	2300	<5	0,53	<0,5	10	<5	<0,5	<0,50	<0,03	<0,50	0,07	17	0,12	<0,03	0,52	0,11	<0,03	0,79
Cobalt (Co)	µg/L	-	500	310	74	68	49	20	<20	14	4,6	39	49	29,4	18	42,2	43,2	48	71,6	52,2	54
Cuivre (Cu)	µg/L	1000	7,3 +	1100	<3	24	<0,50	38	<3	1,3	<0,50	81,3	46	7,62	<0,50	41,4	30	23	848	108	65
Magnésium (Mg)	µg/L	-	-	-	290	460	500	-	4100	610	2400	2120	2100	3820	7400	1400	1230	1800	3910	5640	1600
Manganèse (Mn)	µg/L	50	-	9300	<3	1,1	0,56	60	6	1,8	2	3,02	1,8	194	560	1,44	0,54	1,3	3,42	3,3	1,1
Molybdène (Mo)	µg/L	70	2000	200	240	310	260	150	120	180	120	152	210	280	270	133	131	160	224	259	190
Nickel (Ni)	µg/L	20	260 +	1000	13	7,3	2,4	20	<10	2,2	1,2	4	1,6	2,7	7,7	2,6	2,2	1,3	31,9	1,6	1,7
Plomb (Pb)	µg/L	10	34 +	330	<1	0,91	<0,10	<10	<1	0,18	<0,10	0,05	<0,10	0,09	16	0,11	<0,01	<0,10	0,16	0,08	<0,10
Potassium (K)	µg/L	-	-	-	120000	130000	140000	-	180000	180000	130000	135000	140000	141000	140000	128000	115000	120000	126000	111000	110000
Sélénium (Se)	µg/L	10	20	<50	2	1,5	<1,0	<50	<1	<1	<1,0	2	1,5	1	<1,0	2	2	1,7	5	3	2,2
Sodium (Na)	µg/L	200000	-	220000	490000	540000	570000	320000	450000	490000	340000	462000	480000	493000	530000	434000	471000	410000	436000	434000	420000
Zinc (Zn)	µg/L	5000	67 +	1200	<5	<5	<5,0	<20	<5	<5	<5,0	<2	<5,0	4	15	3	<2	<5,0	6	3	8,3
CONVENTIONNELS																					
Azote ammoniacal (N-NH3)	mg/L	-	21*	15	23	24	22	22	16	23	24	61,4	48	33,4	46	49,5	48,1	42	45,5	36,2	39
Cyanates	mg/L	-	-	-	-	-	0,78	-	-	-	<0,05	56	42	2,2	2	63	64	31	30	12	39
Cyanures libres (CN-)	mg/L	-	0,022	0,37	0,17	0,47	0,024	0,42	<0,01	0,007	0,009	<2	2,2	<2	0,11	<2	<2	0,59	<2	<2	0,28
Cyanures Totaux (CN)	mg/L	0,2	-	7,5	23	14	11	3,1	1,8	1	3,1	66,5	69	10,6	4,3	66,6	33,8	49	53,4	35,9	43
Fluorure (F)	mg/L	1,5	4	0,9	2,5	2,4	-	1,8	1,5	1,5	-	1,63	-	1,39	-	1,76	1,83	-	1,52	1,42	-
Phosphore total (P)	mg/L	-	3	13	9	<0,05	1	0,06	1,2	<0,05	0,03	<0,03	0,05	0,72	0,88	3,18	0,22	0,07	1,8	0,06	3,6
Nitrates (N-NO3-)	mg/L	-	200	12	<0,04	<0,02	<0,1	2	<0,04	<0,02	<0,04	9,89	1,7	0,05	0,26	2,17	2,02	8,2	3,64	1,65	6,9
Nitrites (N-NO2-)	mg/L	1	0,6**	2,5	0,05	1,2	<0,1	<0,2	<0,04	<0,02	<0,04	3,58	5,3	<0,06	0,02	11,7	12	6,5	6,7	3,9	5,6
Thiocyanate	mg/L	-	-	-	-	-	51	-	-	-	1,5	26	32	25	18	36	36	44	29	19	50
Mesures stabilisées																					
pH	-	-	-	8,24	10,38	9,32	10,44	9,44	9,98	9,48	10,22	10,16	10,11	-	9,23	10,46	10,68	9,86	10,2	9,62	10,39
Température	°C	-	-	15,05	5,34	9,5	12,3	13,02	5,39	7,3	11,6	7	12,8	-	12	3,6	2	5,7	4	1	8,8
Conductivité (µS/cm)	µS/cm	-	-	1691	2850	3100	3136	1759	3289	2900	2269	2616	2892	-	2346	2321	2625	1866	2416	2621	2654

Notes:

- : Non analysé / pas de valeur
- + : Critère établi pour une dureté de 50 mg/L (CaCO₃)
- * : Valeur maximale du critère, établie en fonction du pH et de la température (T); correspondant à 1 X le critère de vie aquatique, effet aigu, à pH=6,94 et T=13,9 °C (MDDEFP, 2013)
- ** : Valeurs de pH et température mesurées le 12 septembre 2007 par Genivar (2008) dans la rivière Malartic à l'aval du prolongement de la halde à stériles proposée
- ** : Critère correspondant à 1 X le critère de vie aquatique, effet aigu, établi pour un cours d'eau récepteur dont la concentration en chlorures est > 10 mg/L (MDDEFP, 2013)
- *** : Échantillon contenant des résidus dans l'eau prélevée
- : Résultat dépassant le critère RESIE
- : Résultat dépassant le critère pour fin de consommation
- : Résultat dépassant le critère pour fin de consommation et le critère RESIE



ANNEXE B

Détermination des coefficients d'adsorption de l'argile silteuse pour les paramètres d'intérêt



MEMORANDUM

TO Michel Mailloux and Christian Boyaud

DATE February 9, 2015

FROM Jennifer Cole and Valerie Bertrand

PROJECT No. 1403061/5030/5033

CALCULATED DISTRIBUTION COEFFICIENT (Kd) – CMPG MALARCTIC

1.0 INTRODUCTION

The objective of this study is to calculate the distribution coefficients (Kd) for various parameters of interest in groundwater at the Malarctic site, including total cyanide (CN-T), weak acid dissociable cyanide (CN-WAD), calcium, copper, nickel, sodium, and zinc. Of particular interest are elements that augment chemical retention in soil (increase Kd): the content of clay minerals and organic matter, the presence of iron and aluminum hydroxides and the current chemical charge of the clay.

This memo documents samples collected, analyses completed, and the results of the Kd calculations.

2.0 SAMPLE COLLECTION

One sample of natural clay (TE-14-03) was collected in an area northeast of the Tailings Storage Facility (TSF) area of the Malarctic Project (Golder, 2014a), outside of the area of influence of the TSF in terms of groundwater and surface water flow. This sample was used in analytical testing in order to calculate Kd values for the clay.

Two samples of TSF pore water were collected for analysis from two monitoring wells located in the TSF and approximately 1750 m apart, including:

- PO-13-01 – 5.7 - 10.1 mbgs; and,
- PO-13-02 – 5.2 - 7.2 mbgs.

Samples were collected by Golder technicians under the supervision of Christian Boyaud (Golder, 2014b).

3.0 ANALYTICAL TESTING

The clay sample was subjected to the following tests:

- Trace metal analysis by ICP-MS (4 acid digest);
- Total organic carbon;
- Semi-quantitative mineralogical analyses by x-ray diffraction (XRD) and evaluation of the XRD patterns by the Rietveld method;
- Sequential Extraction tests following Tessier (1979); and,
- Batch adsorption tests, where the groundwater sample was used as the leach solution.

All testing was completed at SGS Canada Inc. (Lakefield, Ontario).



3.1 Sequential Extraction Tests

Sequential extraction tests were completed following Tessier (1979). The test was conducted for all prescribed steps, including the following: Soluble; Exchangeable and Adsorbed; Metal Carbonates; Easily Reducible and Iron Oxides; Organic matter; and Residual metals. Leachates were analyzed at each stage metals, reported as µg/g as calculated based on the leachate concentration, sample weight and volume for each step.

3.2 Batch Adsorption Tests

The procedure followed for the equilibrium batch adsorption tests is attached.

The water collected from PO-13-01 was selected for use in the equilibrium batch test because of the higher cyanide concentrations in it compared with the sample from PO-13-02, which appeared to have high concentrations of particulates (especially aluminum, iron, manganese) and associated metals (i.e. chromium, titanium).

4.0 RESULTS

Soil chemistry, mineralogy, sequential extraction and batch test results are attached.

A summary of the composition of the clay sample is provided in Table 1, for data relevant to sorption surfaces (i.e. clay minerals, iron oxides, and organic carbon).

Table 1: Summary of Composition of Clay Sample

Solid Composition		TE-14-03
Potential Sorption Surfaces	Total Organic Carbon	0.17%
	Clay Minerals (chlorite)	13%
	Iron-Reducible Phase as FeOOH ¹	8.6%

Notes:

1 - Calculated from Tessier extraction results for the Easily Reducible/Iron Oxide phase, assuming all Fe content is FeOOH

A summary of distribution coefficients and supporting information is provided in Table 2.

Attachments: Batch Sorption Test Tabulated Results: Soil Chemistry, Mineralogy, Sequential Extraction and Batch Test
SGS Certificates of Analysis

References

Golder, 2014a. Rapport Factuel D'Investigation – Bassin de Pompage Nord-est. Présenté à: Canadian Malartic GP. Décembre 2014. N° de référence: 013-14-03061-3000-RF-RevA.

Golder, 2014b. Rapport de caractérisation de l'eau interstitielle des résidus de la mine Canadian Malartic. Présenté à: Canadian Malartic General Partnership. Novembre 2014. N° de référence: 070-13-1221-0020-2020-RF-Rev0.

Tessier, AI, Campbell, P.G.C., and M. Bisson. 1979. Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals. Analytical Chemistry Vol. 51(7):844-851.

\\golder.gds\gall\Ottawa\Active\2014\0_Mining\14-03061 CMPG - Osisko Batch Tests\Malartic_Internal Memo_Kd calculations_9Feb2015.docx



MEMORANDUM

Table 2: Summary of Tessier Results, Batch Test Results, and Distribution Coefficients

Parameters	Tessier Extraction Results						Initial Leach Solution (mg/L) ²	Batch Test Results Range for Stages 1-5 (mg/L) ²	Average Calculated Kd (mL/g) ³
	Fraction 1	Fraction 2	Fraction 3	Fraction 4	Fraction 5	Fraction 6			
	Water Soluble Metals	Exchan-geable Metals	Metals Bound to Carbonates	Metals Bound to Fe and Mn Oxides	Bound to Organic Material	Residual Metals			
pH	-	-	-	-	-	-	9.3	9.1 - 9.4	-
Cyanide (total)	-	-	-	-	-	-	20	17 - 22	4
Cyanide (WAD)	-	-	-	-	-	-	0.51	0.3 - 0.4	21
Calcium	1.0%	5.2%	6.1%	2.2%	4.8%	81%	137	27 - 47	207
Copper	3.7%	0.4%	8.6%	19%	33%	35%	0.18	0.02 - 0.03	485
Sodium	0.1%	0.01%	87%	0.9%	0.04%	12%	508	506 - 523	0.5
Nickel	2.0%	0.3%	3.7%	18%	6.2%	70%	0.16	0.002 - 0.003	4140
Zinc	1.8%	0.3%	0.6%	15%	9.6%	73%	0.21	0.001 - 0.02	2243

Notes:

- 1 - As proportion per fraction of total extracted concentration
- 2 - Except pH which is unitless
- 3 - Average of the Kd values calculated for each leach stage

BATCH ADSORPTION TEST PROCEDURES

To be carried out at room temperature, approximately 20°C using a procedure whereby the fresh contaminated groundwater is successively equilibrated with the same specimen of natural, uncontaminated soil, while keeping track of the cumulative incremental adsorbed concentration and equilibrium solution phase concentration at the end of each equilibration. Five equilibrations will be completed for each sample, to yield a five-point adsorption isotherm from which can be calculated an adsorption coefficient (K_d value) and the total adsorption capacity of the soil.

1. Measure approximately 15 g (dry weight) of natural soils provided by Golder and place it in a 500 ml glass centrifuge bottle;
2. Add approximately 300 ml of the leachate provided by Golder to the bottle containing the soil and allow the mixture to equilibrate for a period of 24 hours with periodic agitation;
3. After 24 hours equilibration period, separate the solution by centrifuging (and filter (45µm filter) for dissolved metals analysis);
4. Analyze the solution for:
 - a. pH, Eh, conductivity, alkalinity, sulphate, F;
 - b. ICP-MS for low level detection for the suite of dissolved parameters to include, as a minimum: Ag, Al, As, B, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, U, Zn;
5. Add another 300 ml of fresh leachate (measure pH, Eh of leachate before addition to soil) to the same natural soil and let equilibrate for 24 hours with periodic agitation;
6. Repeat steps 3 and 4;
7. Repeat steps 5 and 6 for a total of 5 extractions, analyzing the solution after equilibration for each of the 5 times; and,
8. Report water chemistry and leachate volume added after each step, report soil dry weight measured before and after the test.

Parameter	Units	PO-13-01	PO-13-02
pH	no unit	9.3	9.2
Alkalinity	mg/L as CaCO ₃	94	74
Conductivity	µS/cm	3060	2890
Redox Potential	mV	-86	48
Fluoride	mg/L	2.5	1.3
Sulphate	mg/L	1200	1300
Cyanide (total)	mg/L	20	1.4
Cyanide (free)	mg/L	< 2	< 2
Cyanide (WAD)	mg/L	0.51	0.020
Silver	mg/L	0.00033	0.0024
Aluminum	mg/L	48	148
Arsenic	mg/L	0.016	0.017
Barium	mg/L	0.61	2.0
Beryllium	mg/L	0.0020	0.0048
Boron	mg/L	0.072	0.072
Bismuth	mg/L	0.0030	0.0092
Calcium	mg/L	137	312
Cadmium	mg/L	0.0011	0.0021
Cobalt	mg/L	0.092	0.18
Chromium	mg/L	0.44	1.3
Copper	mg/L	0.18	0.81
Iron	mg/L	82	306
Potassium	mg/L	182	309
Lithium	mg/L	0.052	0.17
Magnesium	mg/L	41	142
Manganese	mg/L	1.7	5.2
Molybdenum	mg/L	0.21	0.16
Sodium	mg/L	508	483
Nickel	mg/L	0.16	0.58
Lead	mg/L	0.061	0.17
Antimony	mg/L	0.0036	< 0.0002
Selenium	mg/L	< 0.01	< 0.01
Tin	mg/L	0.0014	0.0023
Strontium	mg/L	1.6	4.3
Titanium	mg/L	4.0	14
Thallium	mg/L	0.00080	0.0032
Uranium	mg/L	0.0054	0.014
Vanadium	mg/L	0.18	0.57
Tungsten	mg/L	0.11	0.093
Yttrium	mg/L	0.033	0.075
Zinc	mg/L	0.21	0.76

Mineral/ Compound	Formula	TE-14-03 OCT4500-01 (wt %)
Quartz	SiO ₂	24.1
Albite	NaAlSi ₃ O ₈	31.2
Microcline	KAlSi ₃ O ₈	8.1
Anorthite	CaAl ₂ Si ₂ O ₈	6.3
Chlorite	(Fe, ₁ (Mg,Mn) ₅ Al)(Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₈	12.7
Muscovite	KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂	6.3
Tremolite	Ca ₂ Mg ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	7.3
Dolomite	CaMg(CO ₃) ₂	3.8
Calcite	CaCO ₃	0.1
Total		99.9

Parameter	Units	TE-14-03					
		Fraction 1 Water Soluble Metals	Fraction 2 Exchangeable Metals	Fraction 3 Metals Bound to Carbonates	Fraction 4 Metals Bound to Fe and Mn Oxides	Fraction 5 Bound to Organic Material	Fraction 6 Residual metals
Ag	µg/g	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.010	< 0.01	0.15
Al	µg/g	640	64	170	1200	2000	76000
As	µg/g	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5
Ba	µg/g	5.6	0.50	42	16	6.8	440
Be	µg/g	0.010	< 0.01	0.020	0.12	0.020	0.97
B	µg/g	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	12
Bi	µg/g	< 2	< 2	< 2	5.0	< 2	57
Ca	µg/g	250	1300	1500	540	1200	20000
Cd	µg/g	< 0.02	< 0.02	< 0.02	0.030	0.020	0.080
Co	µg/g	0.19	0.020	0.49	2.9	0.98	7.5
Cr	µg/g	1.4	< 0.5	0.80	2.3	2.8	69
Cu	µg/g	0.90	0.10	2.1	4.6	8.1	8.6
Fe	µg/g	460	41	280	3200	1200	32000
K	µg/g	200	420	890	220	140	22000
Li	µg/g	< 0.3	< 0.3	< 0.3	1.1	1.1	15
Mg	µg/g	210	150000	2900	920	520	15000
Mn	µg/g	11	26	51	120	32	440
Na	µg/g	140	32	200000	2000	81	28000
Ni	µg/g	0.70	< 0.1	1.3	6.4	2.2	25
Pb	µg/g	0.19	< 0.05	< 0.05	0.74	2.2	8.9
P	µg/g	8.0	< 3	< 3	59	440	110
Si	µg/g	900	210	320	1100	1500	18000
U	µg/g	0.039	< 0.002	0.28	0.22	0.22	0.62
V	µg/g	1.5	0.30	0.50	3.9	3.9	75
Y	µg/g	< 0.2	< 0.2	1.0	1.0	2.1	< 2
Zn	µg/g	1.2	< 0.2	0.40	9.9	6.3	48

Parameter	Units	PO-13-01	TE-14-03					
		Initial Leach Solution	Batch Adsorption Test					
			Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 5	
Sample weight	g	not applicable	15	15	15	15	15	
Volume Leach Solution Added	mL		294	294	294	294	294	
Volume Leach Solution Recovered	mL		287	289	286	288	280	
% Moisture (wet wt) Before	%		29	not applicable				
Initial pH	no unit		9.8	9.9	9.8	9.9	9.8	
Final pH	no unit		9.3	9.1	9.3	9.4	9.4	
pH	no unit	9.3	9.1	9.3	9.4	9.4	9.3	
Conductivity	µS/cm	3060	2910	2940	3010	3060	3080	
Alkalinity	mg/L as CaCO ₃	94	73	80	87	89	91	
Redox Potential	mV	-86	112	96	95	94	98	
Fluoride	mg/L	2.5	2.3	2.5	2.5	2.5	2.4	
Sulphate	mg/L	1200	1100	1100	1200	1200	1200	
Cyanide (total)	mg/L	20	22	18	17	19	18	
Cyanide (free)	mg/L	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	
Cyanide (WAD)	mg/L	0.51	0.37	0.41	0.39	0.33	0.39	
Silver	mg/L	0.00033	0.000010	0.000017	0.000018	0.000029	0.000051	
Aluminum	mg/L	48	0.40	0.93	0.93	0.61	0.67	
Arsenic	mg/L	0.016	0.0091	0.0094	0.0084	0.0087	0.0084	
Barium	mg/L	0.61	0.26	0.22	0.19	0.19	0.17	
Boron	mg/L	0.072	0.043	0.040	0.045	0.068	0.064	
Beryllium	mg/L	0.0020	< 0.000007	0.0000070	< 0.000007	< 0.000007	< 0.000007	
Bismuth	mg/L	0.0030	< 0.000007	< 0.000007	0.000022	< 0.000007	< 0.000007	
Calcium	mg/L	137	47	33	29	28	27	
Cadmium	mg/L	0.0011	< 0.000003	< 0.000003	0.00017	< 0.000003	< 0.000003	
Cobalt	mg/L	0.092	0.067	0.069	0.066	0.077	0.076	
Chromium	mg/L	0.44	0.00068	0.0016	0.0018	0.00098	0.0011	
Copper	mg/L	0.18	0.017	0.016	0.015	0.017	0.035	
Iron	mg/L	82	6.1	6.4	6.4	6.5	6.5	
Potassium	mg/L	182	104	117	129	142	144	
Lithium	mg/L	0.052	0.0054	0.0038	0.0033	0.0040	0.0037	
Magnesium	mg/L	41	4.7	2.5	1.7	1.2	1.1	
Manganese	mg/L	1.7	0.030	0.024	0.020	0.016	0.016	
Molybdenum	mg/L	0.21	0.29	0.29	0.27	0.31	0.31	
Sodium	mg/L	508	506	519	523	513	522	
Nickel	mg/L	0.16	0.0025	0.0027	0.0027	0.0021	0.0021	
Lead	mg/L	0.061	0.00029	0.00054	0.00063	0.00040	0.00036	
Antimony	mg/L	0.0036	0.0058	0.0058	0.0057	0.0060	0.0057	
Selenium	mg/L	< 0.01	0.0030	0.0030	0.0030	0.0020	0.0020	
Tin	mg/L	0.0014	0.00012	0.00012	0.000070	0.00024	0.00017	
Strontium	mg/L	1.6	0.73	0.67	0.68	0.75	0.80	
Titanium	mg/L	4.0	0.015	0.034	0.036	0.023	0.024	
Thallium	mg/L	0.00080	0.000028	0.000032	0.000036	0.000024	0.000024	
Uranium	mg/L	0.0054	0.00095	0.00063	0.00066	0.0011	0.00092	
Vanadium	mg/L	0.18	0.053	0.058	0.058	0.056	0.051	
Tungsten	mg/L	0.11	0.11	0.11	0.11	0.13	0.13	
Yttrium	mg/L	0.033	0.00089	0.0017	0.0014	0.0011	0.00082	
Zinc	mg/L	0.21	0.0010	0.0060	0.015	0.0060	0.0080	



SGS Canada Inc.

P.O. Box 4300 - 185 Concession St.
Lakefield - Ontario - KOL 2H0
Phone: 705-652-2000 FAX: 705-652-6365

01-October-2014

Golder Associates Limited

Attn : Jennifer Cole

32 Steacie Drive
Kanata, ON
K2K 2A9,

Phone: 613-592-9600
Fax:613-592-9601

Date Rec. : 23 September 2014
LR Report: CA12642-SEP14
Reference: CMPG/Osisko
PO#14-03061

Copy: #1

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Final Report

Analysis	3: Analysis Approval Date	4: Analysis Approval Time	5: PO-13-01	6: PO-13-02
Sample Date & Time			18-Sep-14 15:30	18-Sep-14 16:45
Temperature Upon Receipt [°C]	---	---	8.0	8.0
pH [no unit]	29-Sep-14	15:18	9.34	9.16
Alkalinity [mg/L as CaCO3]	29-Sep-14	15:18	94	74
Conductivity [µS/cm]	29-Sep-14	15:18	3060	2890
Redox Potential [mV]	29-Sep-14	15:43	-86	48
Fluoride [mg/L]	25-Sep-14	16:24	2.48	1.32
Sulphate [mg/L]	01-Oct-14	09:35	1200	1300
Cyanide (total) [mg/L]	24-Sep-14	08:39	19.9	1.35
Cyanide (free) [mg/L]	24-Sep-14	08:30	< 2	< 2
Cyanide (WAD) [mg/L]	24-Sep-14	08:30	0.51	0.02
Silver (total) [mg/L]	25-Sep-14	13:01	0.00033	0.00241
Aluminum (total) [mg/L]	24-Sep-14	16:04	48.1	148
Arsenic (total) [mg/L]	25-Sep-14	13:01	0.016	0.017
Barium (total) [mg/L]	25-Sep-14	13:01	0.612	1.95
Beryllium (total) [mg/L]	25-Sep-14	13:01	0.0020	0.0048
Boron (total) [mg/L]	25-Sep-14	13:01	0.072	0.072
Bismuth (total) [mg/L]	25-Sep-14	13:01	0.0030	0.0092
Calcium (total) [mg/L]	24-Sep-14	16:04	137	312
Cadmium (total) [mg/L]	25-Sep-14	13:01	0.00113	0.00213
Cobalt (total) [mg/L]	25-Sep-14	13:01	0.0922	0.183
Chromium (total) [mg/L]	25-Sep-14	13:01	0.441	1.30
Copper (total) [mg/L]	25-Sep-14	13:01	0.178	0.811
Iron (total) [mg/L]	24-Sep-14	16:04	82.1	306
Potassium (total) [mg/L]	24-Sep-14	16:04	182	309
Lithium (total) [mg/L]	25-Sep-14	13:01	0.0518	0.171
Magnesium (total) [mg/L]	24-Sep-14	16:04	40.6	142
Manganese (total) [mg/L]	25-Sep-14	13:01	1.74	5.21
Molybdenum (total) [mg/L]	25-Sep-14	13:01	0.209	0.164
Sodium (total) [mg/L]	24-Sep-14	16:04	508	483



SGS Canada Inc.

P.O. Box 4300 - 185 Concession St.
Lakefield - Ontario - K0L 2H0
Phone: 705-652-2000 FAX: 705-652-6365

08-October-2014

Golder Associates

Attn : Christian Boyaud

1170, boulevard Lebourgneuf, bureau 200
Quebec, QC
G2K 2E3,

Phone: +1 418 781 0285
Fax: +1 418 781 0290

Date Rec. : 23 September 2014
LR Report: CA12634-SEP14
Reference: CMPG/Osisko
PO#14-03061

Copy: #1

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Final Report

Analysis	3: Analysis Approval Date	4: Analysis Approval Time	5: TE-14-03
Sample Date & Time			18-Sep-14 15:30
Total Organic Carbon [%]	08-Oct-14	09:07	0.170
Mercury [µg/g]	07-Oct-14	14:02	< 0.05
Silver [µg/g]	07-Oct-14	09:00	0.26
Aluminum [µg/g]	07-Oct-14	10:43	77000
Arsenic [µg/g]	07-Oct-14	09:00	1.2
Barium [µg/g]	07-Oct-14	09:00	580
Beryllium [µg/g]	07-Oct-14	09:00	1.2
Bismuth [µg/g]	07-Oct-14	09:00	0.17
Calcium [µg/g]	07-Oct-14	10:43	22000
Cadmium [µg/g]	07-Oct-14	09:00	0.22
Cobalt [µg/g]	07-Oct-14	09:00	14
Chromium [µg/g]	07-Oct-14	09:00	60
Copper [µg/g]	07-Oct-14	09:00	26
Iron [µg/g]	07-Oct-14	10:43	37000
Potassium [µg/g]	07-Oct-14	10:43	20000
Lithium [µg/g]	07-Oct-14	09:00	32
Magnesium [µg/g]	07-Oct-14	10:43	17000
Manganese [µg/g]	07-Oct-14	09:00	600
Molybdenum [µg/g]	07-Oct-14	09:00	0.4
Nickel [µg/g]	07-Oct-14	09:00	42
Lead [µg/g]	07-Oct-14	09:00	11
Antimony [µg/g]	07-Oct-14	09:00	< 0.8
Selenium [µg/g]	07-Oct-14	09:00	4.9
Tin [µg/g]	07-Oct-14	09:00	1.3
Strontium [µg/g]	07-Oct-14	09:00	290

SGS Canada Inc.

P.O. Box 4300 - 185 Concession St.
Lakefield - Ontario - KOL 2H0
Phone: 705-652-2000 FAX: 705-652-6365

LR Report : CA12634-SEP14

Analysis	3: Analysis Approval Date	4: Analysis Approval Time	5: TE-14-03
Titanium [µg/g]	07-Oct-14	09:00	2300
Thallium [µg/g]	07-Oct-14	09:00	0.47
Uranium [µg/g]	07-Oct-14	09:00	1.4
Vanadium [µg/g]	07-Oct-14	09:00	80
Yttrium [µg/g]	07-Oct-14	09:00	9.6
Zinc [µg/g]	07-Oct-14	09:00	62

*Brian Graham B.Sc.
Project Specialist
Environmental Services, Analytical*

SGS Canada Inc.

P.O. Box 4300 - 185 Concession St.
 Lakefield - Ontario - KOL 2H0
 Phone: 705-652-2000 FAX: 705-652-6365

LR Report : CA12642-SEP14

Analysis	3: Analysis Approval Date	4: Analysis Approval Time	5: PO-13-01	6: PO-13-02
Nickel (total) [mg/L]	25-Sep-14	13:01	0.164	0.578
Lead (total) [mg/L]	25-Sep-14	13:01	0.0614	0.167
Antimony (total) [mg/L]	25-Sep-14	13:01	0.0036	< 0.0002
Selenium (total) [mg/L]	25-Sep-14	13:01	< 0.01	< 0.01
Tin (total) [mg/L]	25-Sep-14	13:01	0.0014	0.0023
Strontium (total) [mg/L]	24-Sep-14	16:04	1.58	4.31
Titanium (total) [mg/L]	25-Sep-14	13:01	4.03	13.9
Thallium (total) [mg/L]	25-Sep-14	13:01	0.00080	0.00322
Uranium (total) [mg/L]	25-Sep-14	13:01	0.00543	0.0139
Vanadium (total) [mg/L]	25-Sep-14	13:01	0.179	0.567
Tungsten (total) [mg/L]	25-Sep-14	13:01	0.114	0.0928
Yttrium (total) [mg/L]	25-Sep-14	13:01	0.0327	0.0750
Zinc (total) [mg/L]	24-Sep-14	16:04	0.207	0.757

 Brian Graham B.Sc.
 Project Specialist
 Environmental Services, Analytical

SGS Canada Inc.

P.O. Box 4300 - 185 Concession St.
 Lakefield - Ontario - K0L 2H0
 Phone: 705-652-2000 FAX: 705-652-6365

29-October-2014

Golder Associates Ltd

Attn : Christian Boyaud

1170, boul, Lebourgneuf, bureau 200
 Quebec, ON
 G2K 2E3,

Phone: +1 418 781 0285
 Fax:+1 418 781 0290

Date Rec. : 23 September 2014
LR Report: CA12636-SEP14
Reference: Tessier Leach
 CMPG/Osisko
 PO#14-03061

Copy: #1

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Final Report

Analysis	3: Analysis Approval Date	4: Analysis Approval Time	5: TE-14-03
Sample Date & Time			18-Sep-14 15:30
Silver [µg/g]	29-Oct-14	09:44	< 0.01
Aluminum [µg/g]	29-Oct-14	09:19	640
Arsenic [µg/g]	29-Oct-14	09:44	< 0.5
Barium [µg/g]	29-Oct-14	09:19	5.6
Beryllium [µg/g]	29-Oct-14	09:19	0.01
Boron [µg/g]	29-Oct-14	09:19	< 1
Bismuth [µg/g]	29-Oct-14	09:19	< 2
Calcium [µg/g]	29-Oct-14	09:19	250
Cadmium [µg/g]	29-Oct-14	09:44	< 0.02
Cobalt [µg/g]	29-Oct-14	09:44	0.19
Chromium [µg/g]	29-Oct-14	09:44	1.4
Copper [µg/g]	29-Oct-14	09:44	0.9
Iron [µg/g]	29-Oct-14	09:19	460
Potassium [µg/g]	29-Oct-14	09:19	200
Lithium [µg/g]	29-Oct-14	09:18	< 0.3
Magnesium [µg/g]	29-Oct-14	09:18	210
Manganese [µg/g]	29-Oct-14	09:18	11
Molybdenum [µg/g]	29-Oct-14	09:18	< 1
Sodium [µg/g]	29-Oct-14	09:18	140
Nickel [µg/g]	29-Oct-14	09:44	0.7
Lead [µg/g]	29-Oct-14	09:44	0.19
Phosphorus (total) [µg/g]	29-Oct-14	09:18	8
Antimony [µg/g]	29-Oct-14	09:44	< 0.8
Selenium [µg/g]	29-Oct-14	09:44	< 0.7
Tin [µg/g]	29-Oct-14	09:18	< 1
Silicon [ug/L]	29-Oct-14	09:18	900

SGS Canada Inc.

P.O. Box 4300 - 185 Concession St.
 Lakefield - Ontario - K0L 2H0
 Phone: 705-652-2000 FAX: 705-652-6365

LR Report : CA12636-SEP14

Analysis	3: Analysis Approval Date	4: Analysis Approval Time	5: TE-14-03
Thallium [µg/g]	29-Oct-14	09:18	< 2
Uranium [µg/g]	29-Oct-14	09:44	0.039
Vanadium [µg/g]	29-Oct-14	09:18	1.5
Tungsten [µg/g]	29-Oct-14	09:18	< 1
Yttrium [µg/g]	29-Oct-14	09:18	< 0.2
Zinc [µg/g]	29-Oct-14	09:18	1.2

*Brian Graham B.Sc.
 Project Specialist
 Environmental Services, Analytical*

SGS Canada Inc.

P.O. Box 4300 - 185 Concession St.
 Lakefield - Ontario - K0L 2H0
 Phone: 705-652-2000 FAX: 705-652-6365

29-October-2014

Golder Associates Ltd

Attn : Christian Boyaud

1170, boul, Lebourgneuf, bureau 200
 Quebec, ON
 G2K 2E3,

Phone: +1 418 781 0285
 Fax: +1 418 781 0290

Date Rec. : 23 September 2014
LR Report: CA12637-SEP14
Reference: Tessier Leach
 CMPG/Osisko
 PO#14-03061

Copy: #1

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Final Report

Analysis	3: Analysis Approval Date	4: Analysis Approval Time	5: TE-14-03
Sample Date & Time			18-Sep-14 15:30
Silver [µg/g]	29-Oct-14	09:44	< 0.01
Aluminum [µg/g]	29-Oct-14	09:20	64
Arsenic [µg/g]	29-Oct-14	09:44	< 0.5
Barium [µg/g]	29-Oct-14	09:20	0.5
Beryllium [µg/g]	29-Oct-14	09:20	< 0.01
Boron [µg/g]	29-Oct-14	09:20	< 1
Bismuth [µg/g]	29-Oct-14	09:20	< 2
Calcium [µg/g]	29-Oct-14	09:20	1300
Cadmium [µg/g]	29-Oct-14	09:44	< 0.02
Cobalt [µg/g]	29-Oct-14	09:44	0.02
Chromium [µg/g]	29-Oct-14	09:44	< 0.5
Copper [µg/g]	29-Oct-14	09:44	0.1
Iron [µg/g]	29-Oct-14	09:20	41
Potassium [µg/g]	29-Oct-14	09:20	420
Lithium [µg/g]	29-Oct-14	09:20	< 0.3
Magnesium [µg/g]	29-Oct-14	09:20	150000
Manganese [µg/g]	29-Oct-14	09:20	26
Molybdenum [µg/g]	29-Oct-14	09:20	< 1
Sodium [µg/g]	29-Oct-14	09:20	32
Nickel [µg/g]	29-Oct-14	09:44	< 0.1
Lead [µg/g]	29-Oct-14	09:45	< 0.05
Phosphorus (total) [µg/g]	29-Oct-14	09:45	< 3
Antimony [µg/g]	29-Oct-14	09:45	< 0.8
Selenium [µg/g]	29-Oct-14	09:45	< 0.7
Tin [µg/g]	29-Oct-14	09:19	< 1
Silicon [ug/L]	29-Oct-14	09:19	210

SGS Canada Inc.

P.O. Box 4300 - 185 Concession St.
 Lakefield - Ontario - K0L 2H0
 Phone: 705-652-2000 FAX: 705-652-6365

LR Report : CA12637-SEP14

Analysis	3: Analysis Approval Date	4: Analysis Approval Time	5: TE-14-03
Thallium [µg/g]	29-Oct-14	09:19	< 2
Uranium [µg/g]	29-Oct-14	09:45	< 0.002
Vanadium [µg/g]	29-Oct-14	09:19	0.3
Tungsten [µg/g]	29-Oct-14	09:19	< 1
Yttrium [µg/g]	29-Oct-14	09:19	< 0.2
Zinc [µg/g]	29-Oct-14	09:19	< 0.2

*Brian Graham B.Sc.
 Project Specialist
 Environmental Services, Analytical*

SGS Canada Inc.

P.O. Box 4300 - 185 Concession St.
 Lakefield - Ontario - K0L 2H0
 Phone: 705-652-2000 FAX: 705-652-6365

29-October-2014

Golder Associates Ltd

Attn : Christian Boyaud

1170, boul, Lebourgneuf, bureau 200
 Quebec, ON
 G2K 2E3,

Phone: +1 418 781 0285
 Fax:+1 418 781 0290

Date Rec. : 23 September 2014
LR Report: CA12638-SEP14
Reference: Tessier Leach
 CMPG/Osisko
 PO#14-03061

Copy: #1

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Final Report

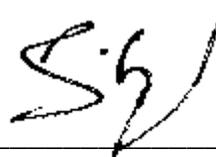
Analysis	3: Analysis Approval Date	4: Analysis Approval Time	5: TE-14-03
Sample Date & Time			18-Sep-14 15:30
Silver [µg/g]	29-Oct-14	09:45	< 0.01
Aluminum [µg/g]	29-Oct-14	09:20	170
Arsenic [µg/g]	29-Oct-14	09:45	< 0.5
Barium [µg/g]	29-Oct-14	09:20	42
Beryllium [µg/g]	29-Oct-14	09:20	0.02
Boron [µg/g]	29-Oct-14	09:20	< 1
Bismuth [µg/g]	29-Oct-14	09:20	< 2
Calcium [µg/g]	29-Oct-14	09:20	1500
Cadmium [µg/g]	29-Oct-14	09:45	< 0.02
Cobalt [µg/g]	29-Oct-14	09:45	0.49
Chromium [µg/g]	29-Oct-14	09:45	0.8
Copper [µg/g]	29-Oct-14	09:45	2.1
Iron [µg/g]	29-Oct-14	09:20	280
Potassium [µg/g]	29-Oct-14	09:20	890
Lithium [µg/g]	29-Oct-14	09:20	< 0.3
Magnesium [µg/g]	29-Oct-14	09:20	2900
Manganese [µg/g]	29-Oct-14	09:20	51
Molybdenum [µg/g]	29-Oct-14	09:20	< 1
Sodium [µg/g]	29-Oct-14	09:20	200000
Nickel [µg/g]	29-Oct-14	09:45	1.3
Lead [µg/g]	29-Oct-14	09:45	< 0.05
Phosphorus (total) [µg/g]	29-Oct-14	09:20	< 3
Antimony [µg/g]	29-Oct-14	09:45	< 0.8
Selenium [µg/g]	29-Oct-14	09:45	< 0.7
Tin [µg/g]	29-Oct-14	09:20	< 1
Silicon [ug/L]	29-Oct-14	09:20	320

SGS Canada Inc.

P.O. Box 4300 - 185 Concession St.
 Lakefield - Ontario - K0L 2H0
 Phone: 705-652-2000 FAX: 705-652-6365

LR Report : CA12638-SEP14

Analysis	3: Analysis Approval Date	4: Analysis Approval Time	5: TE-14-03
Thallium [µg/g]	29-Oct-14	09:20	< 2
Uranium [µg/g]	29-Oct-14	09:45	0.28
Vanadium [µg/g]	29-Oct-14	09:20	0.5
Tungsten [µg/g]	29-Oct-14	09:20	< 1
Yttrium [µg/g]	29-Oct-14	09:20	1.0
Zinc [µg/g]	29-Oct-14	09:20	0.4



*Brian Graham B.Sc.
 Project Specialist
 Environmental Services, Analytical*

SGS Canada Inc.

P.O. Box 4300 - 185 Concession St.
 Lakefield - Ontario - K0L 2H0
 Phone: 705-652-2000 FAX: 705-652-6365

29-October-2014

Golder Associates Ltd

Attn : Christian Boyaud

1170, boul, Lebourgneuf, bureau 200
 Quebec, ON
 G2K 2E3,

Phone: +1 418 781 0285
 Fax:+1 418 781 0290

Date Rec. : 23 September 2014
LR Report: CA12639-SEP14
Reference: Tessier Leach
 CMPG/Osisko
 PO#14-03061

Copy: #1

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Final Report

Analysis	3: Analysis Approval Date	4: Analysis Approval Time	5: TE-14-03
Sample Date & Time			18-Sep-14 15:30
Silver [µg/g]	29-Oct-14	09:45	0.01
Aluminum [µg/g]	29-Oct-14	09:21	1200
Arsenic [µg/g]	29-Oct-14	09:21	< 0.5
Barium [µg/g]	29-Oct-14	09:21	16
Beryllium [µg/g]	29-Oct-14	09:21	0.12
Boron [µg/g]	29-Oct-14	09:21	< 1
Bismuth [µg/g]	29-Oct-14	09:21	5
Calcium [µg/g]	29-Oct-14	09:21	540
Cadmium [µg/g]	29-Oct-14	09:45	0.03
Cobalt [µg/g]	29-Oct-14	09:45	2.9
Chromium [µg/g]	29-Oct-14	09:45	2.3
Copper [µg/g]	29-Oct-14	09:45	4.6
Iron [µg/g]	29-Oct-14	09:21	3200
Potassium [µg/g]	29-Oct-14	09:21	220
Lithium [µg/g]	29-Oct-14	09:21	1.1
Magnesium [µg/g]	29-Oct-14	09:21	920
Manganese [µg/g]	29-Oct-14	09:21	120
Molybdenum [µg/g]	29-Oct-14	09:21	< 1
Sodium [µg/g]	29-Oct-14	09:21	2000
Nickel [µg/g]	29-Oct-14	10:50	6.4
Lead [µg/g]	29-Oct-14	09:46	0.74
Phosphorus (total) [µg/g]	29-Oct-14	09:21	59
Antimony [µg/g]	29-Oct-14	09:45	< 0.8
Selenium [µg/g]	29-Oct-14	09:45	< 0.7
Tin [µg/g]	29-Oct-14	09:21	< 1
Silicon [ug/L]	29-Oct-14	09:21	1100

SGS Canada Inc.

P.O. Box 4300 - 185 Concession St.
 Lakefield - Ontario - K0L 2H0
 Phone: 705-652-2000 FAX: 705-652-6365

LR Report : CA12639-SEP14

Analysis	3: Analysis Approval Date	4: Analysis Approval Time	5: TE-14-03
Thallium [µg/g]	29-Oct-14	09:21	< 2
Uranium [µg/g]	29-Oct-14	09:46	0.22
Vanadium [µg/g]	29-Oct-14	09:21	3.9
Tungsten [µg/g]	29-Oct-14	09:21	< 1
Yttrium [µg/g]	29-Oct-14	09:21	1.0
Zinc [µg/g]	29-Oct-14	09:21	9.9

*Brian Graham B.Sc.
 Project Specialist
 Environmental Services, Analytical*

SGS Canada Inc.

P.O. Box 4300 - 185 Concession St.
 Lakefield - Ontario - K0L 2H0
 Phone: 705-652-2000 FAX: 705-652-6365

29-October-2014

Golder Associates Ltd

Attn : Christian Boyaud

1170, boul, Lebourgneuf, bureau 200
 Quebec, ON
 G2K 2E3,

Phone: +1 418 781 0285
 Fax:+1 418 781 0290

Date Rec. : 23 September 2014
LR Report: CA12640-SEP14
Reference: Tessier Leach
 CMPG/Osisko
 PO#14-03061

Copy: #1

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Final Report

Analysis	3: Analysis Approval Date	4: Analysis Approval Time	5: TE-14-03
Sample Date & Time			18-Sep-14 15:30
Silver [µg/g]	29-Oct-14	09:46	< 0.01
Aluminum [µg/g]	29-Oct-14	09:22	2000
Arsenic [µg/g]	29-Oct-14	09:46	< 0.5
Barium [µg/g]	29-Oct-14	09:22	6.8
Beryllium [µg/g]	29-Oct-14	09:22	0.02
Boron [µg/g]	29-Oct-14	09:22	< 1
Bismuth [µg/g]	29-Oct-14	09:22	< 2
Calcium [µg/g]	29-Oct-14	09:22	1200
Cadmium [µg/g]	29-Oct-14	09:46	0.02
Cobalt [µg/g]	29-Oct-14	09:46	0.98
Chromium [µg/g]	29-Oct-14	09:46	2.8
Copper [µg/g]	29-Oct-14	09:46	8.1
Iron [µg/g]	29-Oct-14	09:22	1200
Potassium [µg/g]	29-Oct-14	09:22	140
Lithium [µg/g]	29-Oct-14	09:22	1.1
Magnesium [µg/g]	29-Oct-14	09:22	520
Manganese [µg/g]	29-Oct-14	09:22	32
Molybdenum [µg/g]	29-Oct-14	09:22	< 1
Sodium [µg/g]	29-Oct-14	09:22	81
Nickel [µg/g]	29-Oct-14	09:46	2.2
Lead [µg/g]	29-Oct-14	09:46	2.2
Phosphorus (total) [µg/g]	29-Oct-14	09:22	440
Antimony [µg/g]	29-Oct-14	09:46	< 0.8
Selenium [µg/g]	29-Oct-14	09:46	< 0.7
Tin [µg/g]	29-Oct-14	09:21	< 1
Silicon [ug/L]	29-Oct-14	09:21	1500

SGS Canada Inc.

P.O. Box 4300 - 185 Concession St.
 Lakefield - Ontario - K0L 2H0
 Phone: 705-652-2000 FAX: 705-652-6365

LR Report : CA12640-SEP14

Analysis	3: Analysis Approval Date	4: Analysis Approval Time	5: TE-14-03
Thallium [µg/g]	29-Oct-14	09:21	< 2
Uranium [µg/g]	29-Oct-14	09:46	0.22
Vanadium [µg/g]	29-Oct-14	09:21	3.9
Tungsten [µg/g]	29-Oct-14	09:21	< 1
Yttrium [µg/g]	29-Oct-14	09:21	2.1
Zinc [µg/g]	29-Oct-14	09:21	6.3

*Brian Graham B.Sc.
 Project Specialist
 Environmental Services, Analytical*

SGS Canada Inc.

P.O. Box 4300 - 185 Concession St.
 Lakefield - Ontario - K0L 2H0
 Phone: 705-652-2000 FAX: 705-652-6365

29-October-2014

Golder Associates Ltd

Attn : Christian Boyaud

1170, boul, Lebourgneuf, bureau 200
 Quebec, ON
 G2K 2E3,

Phone: +1 418 781 0285
 Fax:+1 418 781 0290

Date Rec. : 23 September 2014
LR Report: CA12641-SEP14
Reference: Tessier Leach -
 CMPG/Osisko
 PO#14-03061

Copy: #1

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Final Report

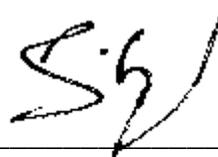
Analysis	3: Analysis Approval Date	4: Analysis Approval Time	5: TE-14-03
Sample Date & Time			18-Sep-14 15:30
Silver [µg/g]	29-Oct-14	09:46	0.15
Aluminum [µg/g]	29-Oct-14	09:23	76000
Arsenic [µg/g]	29-Oct-14	09:46	< 0.5
Barium [µg/g]	29-Oct-14	09:23	440
Beryllium [µg/g]	29-Oct-14	09:23	0.97
Boron [µg/g]	29-Oct-14	09:23	12
Bismuth [µg/g]	29-Oct-14	09:23	57
Calcium [µg/g]	29-Oct-14	09:22	20000
Cadmium [µg/g]	29-Oct-14	09:46	0.08
Cobalt [µg/g]	29-Oct-14	09:46	7.5
Chromium [µg/g]	29-Oct-14	09:46	69
Copper [µg/g]	29-Oct-14	09:46	8.6
Iron [µg/g]	29-Oct-14	09:22	32000
Potassium [µg/g]	29-Oct-14	09:22	22000
Lithium [µg/g]	29-Oct-14	09:22	15
Magnesium [µg/g]	29-Oct-14	09:22	15000
Manganese [µg/g]	29-Oct-14	09:22	440
Molybdenum [µg/g]	29-Oct-14	09:22	< 1
Sodium [µg/g]	29-Oct-14	09:22	28000
Nickel [µg/g]	29-Oct-14	09:46	25
Lead [µg/g]	29-Oct-14	09:46	8.9
Phosphorus (total) [µg/g]	29-Oct-14	09:22	110
Antimony [µg/g]	29-Oct-14	09:46	< 0.8
Selenium [µg/g]	29-Oct-14	09:46	< 0.7
Tin [µg/g]	29-Oct-14	09:22	2
Silicon [ug/L]	29-Oct-14	09:22	18000

SGS Canada Inc.

P.O. Box 4300 - 185 Concession St.
 Lakefield - Ontario - K0L 2H0
 Phone: 705-652-2000 FAX: 705-652-6365

LR Report : CA12641-SEP14

Analysis	3: Analysis Approval Date	4: Analysis Approval Time	5: TE-14-03
Thallium [µg/g]	29-Oct-14	09:22	< 2
Uranium [µg/g]	29-Oct-14	09:46	0.62
Vanadium [µg/g]	29-Oct-14	09:22	75
Tungsten [µg/g]	29-Oct-14	09:22	1
Yttrium [µg/g]	29-Oct-14	09:22	< 2
Zinc [µg/g]	29-Oct-14	09:22	48



*Brian Graham B.Sc.
 Project Specialist
 Environmental Services, Analytical*

SGS Canada Inc.

P.O. Box 4300 - 185 Concession St.
 Lakefield - Ontario - K0L 2H0
 Phone: 705-652-2000 FAX: 705-652-6365

24-October-2014

Golder Associates Ltd

Attn : Christian Boyaud

1170, boul, Lebourgneuf, bureau 200
 Quebec, ON
 G2K 2E3,

Date Rec. : 02 October 2014
LR Report: CA15039-OCT14
Reference: CMPG/Osisko
 PO#14-03061

Copy: #1

Phone: +1 418 781 0285
 Fax:+1 418 781 0290

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Final Report

Analysis	3: Analysis Approval Date	4: Analysis Approval Time	5: TE-14-03
Sample Date & Time			18-Sep-14 15:30
Sample weight [g]	16-Oct-14	09:21	15
Volume Leach Solution Added [mL]	16-Oct-14	09:26	294
Volume Leach Solution Recovered [mL]	16-Oct-14	09:21	287
Initial pH	16-Oct-14	09:21	9.80
Final pH	16-Oct-14	09:21	9.33
% Moisture (wet wt) Before [%]	16-Oct-14	09:23	29.1
pH [no unit]	21-Oct-14	15:23	9.07
Conductivity [µS/cm]	21-Oct-14	15:23	2910
Alkalinity [mg/L as CaCO3]	21-Oct-14	15:23	73
Redox Potential [mV]	22-Oct-14	08:48	112
Fluoride [mg/L]	17-Oct-14	13:28	2.28
Sulphate [mg/L]	23-Oct-14	13:08	1100
Cyanide (total) [mg/L]	21-Oct-14	14:01	21.7
Cyanide (free) [mg/L]	21-Oct-14	13:07	< 2
Cyanide (WAD) [mg/L]	21-Oct-14	13:07	0.37
Silver [mg/L]	22-Oct-14	10:40	0.000010
Aluminum [mg/L]	16-Oct-14	10:35	0.40
Arsenic [mg/L]	22-Oct-14	10:40	0.0091
Barium [mg/L]	22-Oct-14	10:40	0.260
Boron [mg/L]	22-Oct-14	10:40	0.0429
Beryllium [mg/L]	22-Oct-14	10:40	< 0.000007
Bismuth [mg/L]	22-Oct-14	10:40	< 0.000007
Calcium [mg/L]	16-Oct-14	10:35	46.7
Cadmium [mg/L]	22-Oct-14	10:39	< 0.000003
Cobalt [mg/L]	22-Oct-14	10:39	0.0667
Chromium [mg/L]	22-Oct-14	10:39	0.00068
Copper [mg/L]	22-Oct-14	10:39	0.0169
Iron [mg/L]	16-Oct-14	10:44	6.10
Potassium [mg/L]	17-Oct-14	09:37	104

SGS Canada Inc.

P.O. Box 4300 - 185 Concession St.
 Lakefield - Ontario - KOL 2H0
 Phone: 705-652-2000 FAX: 705-652-6365

LR Report : CA15039-OCT14

Analysis	3: Analysis Approval Date	4: Analysis Approval Time	5: TE-14-03
Lithium [mg/L]	22-Oct-14	10:39	0.00540
Magnesium [mg/L]	16-Oct-14	10:44	4.66
Manganese [mg/L]	22-Oct-14	10:39	0.0301
Molybdenum [mg/L]	22-Oct-14	10:39	0.290
Sodium [mg/L]	17-Oct-14	09:37	506
Nickel [mg/L]	22-Oct-14	10:39	0.0025
Lead [mg/L]	22-Oct-14	10:39	0.00029
Antimony [mg/L]	22-Oct-14	10:39	0.0058
Selenium [mg/L]	22-Oct-14	10:39	0.003
Tin [mg/L]	22-Oct-14	10:39	0.00012
Strontium [mg/L]	16-Oct-14	10:44	0.725
Titanium [mg/L]	22-Oct-14	10:39	0.0148
Thallium [mg/L]	22-Oct-14	10:39	0.000028
Uranium [mg/L]	22-Oct-14	10:39	0.000947
Vanadium [mg/L]	22-Oct-14	10:39	0.0533
Tungsten [mg/L]	22-Oct-14	10:39	0.112
Yttrium [mg/L]	22-Oct-14	10:39	0.000886
Zinc [mg/L]	22-Oct-14	10:39	0.001

*Brian Graham B.Sc.
 Project Specialist
 Environmental Services, Analytical*

SGS Canada Inc.

P.O. Box 4300 - 185 Concession St.
 Lakefield - Ontario - K0L 2H0
 Phone: 705-652-2000 FAX: 705-652-6365

24-October-2014

Golder Associates Ltd

Attn : Christian Boyaud

1170, boul, Lebourgneuf, bureau 200
 Quebec, ON
 G2K 2E3,

Date Rec. : 02 October 2014
LR Report: CA15040-OCT14
Reference: CMPG/Osisko
 PO#14-03061

Copy: #1

Phone: +1 418 781 0285
 Fax:+1 418 781 0290

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Final Report

Analysis	3: Analysis Approval Date	4: Analysis Approval Time	5: TE-14-03
Sample Date & Time			18-Sep-14 15:30
Sample weight [g]	16-Oct-14	09:22	15
Volume Leach Solution Added [mL]	16-Oct-14	09:25	294
Volume Leach Solution Recovered [mL]	16-Oct-14	09:22	289
Initial pH	16-Oct-14	09:22	9.89
Final pH	16-Oct-14	09:22	9.46
pH [no unit]	21-Oct-14	15:23	9.29
Conductivity [µS/cm]	21-Oct-14	15:23	2940
Alkalinity [mg/L as CaCO3]	21-Oct-14	15:23	80
Redox Potential [mV]	22-Oct-14	08:49	96
Fluoride [mg/L]	17-Oct-14	13:28	2.48
Sulphate [mg/L]	23-Oct-14	13:09	1100
Cyanide (total) [mg/L]	21-Oct-14	14:01	17.6
Cyanide (free) [mg/L]	21-Oct-14	13:07	< 2
Cyanide (WAD) [mg/L]	21-Oct-14	13:07	0.41
Silver [mg/L]	22-Oct-14	10:40	0.000017
Aluminum [mg/L]	16-Oct-14	10:45	0.93
Arsenic [mg/L]	22-Oct-14	10:40	0.0094
Barium [mg/L]	22-Oct-14	10:40	0.215
Boron [mg/L]	22-Oct-14	10:40	0.0402
Beryllium [mg/L]	22-Oct-14	10:40	0.000007
Bismuth [mg/L]	22-Oct-14	10:40	< 0.000007
Calcium [mg/L]	16-Oct-14	10:45	32.5
Cadmium [mg/L]	22-Oct-14	10:40	< 0.000003
Cobalt [mg/L]	22-Oct-14	10:40	0.0687
Chromium [mg/L]	22-Oct-14	10:40	0.00164
Copper [mg/L]	22-Oct-14	10:40	0.0158
Iron [mg/L]	16-Oct-14	10:45	6.36
Potassium [mg/L]	17-Oct-14	09:38	117
Lithium [mg/L]	22-Oct-14	10:40	0.00377

SGS Canada Inc.

P.O. Box 4300 - 185 Concession St.
 Lakefield - Ontario - KOL 2H0
 Phone: 705-652-2000 FAX: 705-652-6365

LR Report : CA15040-OCT14

Analysis	3: Analysis Approval Date	4: Analysis Approval Time	5: TE-14-03
Magnesium [mg/L]	16-Oct-14	10:45	2.49
Manganese [mg/L]	22-Oct-14	10:40	0.0235
Molybdenum [mg/L]	22-Oct-14	10:40	0.287
Sodium [mg/L]	17-Oct-14	09:38	519
Nickel [mg/L]	22-Oct-14	10:40	0.0027
Lead [mg/L]	22-Oct-14	10:40	0.00054
Antimony [mg/L]	22-Oct-14	10:40	0.0058
Selenium [mg/L]	22-Oct-14	10:40	0.003
Tin [mg/L]	22-Oct-14	10:40	0.00012
Strontium [mg/L]	16-Oct-14	10:45	0.670
Titanium [mg/L]	22-Oct-14	10:40	0.0342
Thallium [mg/L]	22-Oct-14	10:40	0.000032
Uranium [mg/L]	22-Oct-14	10:40	0.000632
Vanadium [mg/L]	22-Oct-14	10:40	0.0580
Tungsten [mg/L]	22-Oct-14	10:40	0.113
Yttrium [mg/L]	22-Oct-14	10:40	0.00173
Zinc [mg/L]	22-Oct-14	10:40	0.006

*Brian Graham B.Sc.
 Project Specialist
 Environmental Services, Analytical*

SGS Canada Inc.

P.O. Box 4300 - 185 Concession St.
 Lakefield - Ontario - K0L 2H0
 Phone: 705-652-2000 FAX: 705-652-6365

24-October-2014

Golder Associates Ltd

Attn : Christian Boyaud

1170, boul, Lebourgneuf, bureau 200
 Quebec, ON
 G2K 2E3,

Date Rec. : 02 October 2014
LR Report: CA15041-OCT14
Reference: CMPG/Osisko
 PO#14-03061

Copy: #1

Phone: +1 418 781 0285
 Fax:+1 418 781 0290

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Final Report

Analysis	3: Analysis Approval Date	4: Analysis Approval Time	5: TE-14-03
Sample Date & Time			18-Sep-14 15:30
Sample weight [g]	16-Oct-14	09:22	15
Volume Leach Solution Added [mL]	16-Oct-14	09:25	294
Volume Leach Solution Recovered [mL]	16-Oct-14	09:22	286
Initial pH	16-Oct-14	09:22	9.76
Final pH	16-Oct-14	09:22	9.54
pH [no unit]	21-Oct-14	15:23	9.35
Conductivity [µS/cm]	21-Oct-14	15:23	3010
Alkalinity [mg/L as CaCO3]	21-Oct-14	15:23	87
Redox Potential [mV]	22-Oct-14	08:49	95
Fluoride [mg/L]	17-Oct-14	13:28	2.48
Sulphate [mg/L]	23-Oct-14	13:09	1200
Cyanide (total) [mg/L]	21-Oct-14	14:01	16.5
Cyanide (free) [mg/L]	21-Oct-14	13:07	< 2
Cyanide (WAD) [mg/L]	21-Oct-14	13:07	0.39
Silver [mg/L]	22-Oct-14	15:43	0.000018
Aluminum [mg/L]	15-Oct-14	13:43	0.93
Arsenic [mg/L]	22-Oct-14	15:43	0.0084
Barium [mg/L]	22-Oct-14	15:43	0.192
Boron [mg/L]	22-Oct-14	15:43	0.0445
Beryllium [mg/L]	22-Oct-14	15:43	< 0.000007
Bismuth [mg/L]	22-Oct-14	15:43	0.000022
Calcium [mg/L]	15-Oct-14	13:43	28.6
Cadmium [mg/L]	22-Oct-14	15:43	0.000166
Cobalt [mg/L]	22-Oct-14	15:43	0.0664
Chromium [mg/L]	22-Oct-14	15:43	0.00182
Copper [mg/L]	22-Oct-14	15:43	0.0150
Iron [mg/L]	15-Oct-14	13:43	6.41
Potassium [mg/L]	16-Oct-14	11:52	129
Lithium [mg/L]	22-Oct-14	15:43	0.00325

SGS Canada Inc.

P.O. Box 4300 - 185 Concession St.
 Lakefield - Ontario - KOL 2H0
 Phone: 705-652-2000 FAX: 705-652-6365

LR Report : CA15041-OCT14

Analysis	3: Analysis Approval Date	4: Analysis Approval Time	5: TE-14-03
Magnesium [mg/L]	15-Oct-14	13:43	1.67
Manganese [mg/L]	22-Oct-14	15:43	0.0200
Molybdenum [mg/L]	22-Oct-14	15:43	0.273
Sodium [mg/L]	16-Oct-14	11:52	523
Nickel [mg/L]	22-Oct-14	15:43	0.0027
Lead [mg/L]	22-Oct-14	15:43	0.00063
Antimony [mg/L]	22-Oct-14	15:43	0.0057
Selenium [mg/L]	22-Oct-14	15:43	0.003
Tin [mg/L]	22-Oct-14	15:43	0.00007
Strontium [mg/L]	15-Oct-14	13:43	0.682
Titanium [mg/L]	22-Oct-14	15:43	0.0358
Thallium [mg/L]	22-Oct-14	15:43	0.000036
Uranium [mg/L]	22-Oct-14	15:43	0.000663
Vanadium [mg/L]	22-Oct-14	15:43	0.0575
Tungsten [mg/L]	22-Oct-14	15:43	0.113
Yttrium [mg/L]	22-Oct-14	15:43	0.00138
Zinc [mg/L]	22-Oct-14	15:43	0.015

*Brian Graham B.Sc.
 Project Specialist
 Environmental Services, Analytical*

SGS Canada Inc.

P.O. Box 4300 - 185 Concession St.
 Lakefield - Ontario - K0L 2H0
 Phone: 705-652-2000 FAX: 705-652-6365

29-October-2014

Golder Associates Ltd

Attn : Christian Boyaud

1170, boul, Lebourgneuf, bureau 200
 Quebec, ON
 G2K 2E3,

Date Rec. : 02 October 2014
LR Report: CA15042-OCT14
Reference: CMPG/Osisko
 PO#14-03061

Copy: #1

Phone: +1 418 781 0285
 Fax:+1 418 781 0290

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Final Report

Analysis	3: Analysis Approval Date	4: Analysis Approval Time	5: TE-14-03
Sample Date & Time			18-Sep-14 15:30
Sample weight [g]	16-Oct-14	09:22	15
Volume Leach Solution Added [mL]	16-Oct-14	09:26	294
Volume Leach Solution Recovered [mL]	16-Oct-14	09:22	288
Initial pH	16-Oct-14	09:22	9.87
Final pH	16-Oct-14	09:22	9.50
pH [no unit]	21-Oct-14	15:23	9.35
Conductivity [µS/cm]	21-Oct-14	15:23	3060
Alkalinity [mg/L as CaCO3]	21-Oct-14	15:23	89
Redox Potential [mV]	22-Oct-14	08:49	94
Fluoride [mg/L]	17-Oct-14	13:29	2.49
Sulphate [mg/L]	23-Oct-14	13:09	1200
Cyanide (total) [mg/L]	21-Oct-14	14:01	19.2
Cyanide (free) [mg/L]	21-Oct-14	13:07	< 2
Cyanide (WAD) [mg/L]	21-Oct-14	13:07	0.33
Silver [mg/L]	29-Oct-14	15:14	0.000029
Aluminum [mg/L]	24-Oct-14	13:52	0.61
Arsenic [mg/L]	29-Oct-14	15:14	0.0087
Barium [mg/L]	29-Oct-14	15:14	0.185
Boron [mg/L]	29-Oct-14	15:14	0.0675
Beryllium [mg/L]	29-Oct-14	15:14	< 0.000007
Bismuth [mg/L]	29-Oct-14	15:14	< 0.000007
Calcium [mg/L]	24-Oct-14	13:52	27.5
Cadmium [mg/L]	29-Oct-14	15:14	< 0.000003
Cobalt [mg/L]	29-Oct-14	15:14	0.0770
Chromium [mg/L]	29-Oct-14	15:14	0.00098
Copper [mg/L]	29-Oct-14	15:14	0.0169
Iron [mg/L]	24-Oct-14	13:52	6.49
Potassium [mg/L]	27-Oct-14	14:36	142
Lithium [mg/L]	29-Oct-14	15:14	0.00395

SGS Canada Inc.

P.O. Box 4300 - 185 Concession St.
 Lakefield - Ontario - KOL 2H0
 Phone: 705-652-2000 FAX: 705-652-6365

LR Report : CA15042-OCT14

Analysis	3: Analysis Approval Date	4: Analysis Approval Time	5: TE-14-03
Magnesium [mg/L]	24-Oct-14	13:52	1.20
Manganese [mg/L]	29-Oct-14	15:14	0.0159
Molybdenum [mg/L]	29-Oct-14	15:14	0.306
Sodium [mg/L]	27-Oct-14	14:36	513
Nickel [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.0021
Lead [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.00040
Antimony [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.0060
Selenium [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.002
Tin [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.00024
Strontium [mg/L]	24-Oct-14	13:53	0.750
Titanium [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.0232
Thallium [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.000024
Uranium [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.00108
Vanadium [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.0561
Tungsten [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.127
Yttrium [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.00111
Zinc [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.006

*Brian Graham B.Sc.
 Project Specialist
 Environmental Services, Analytical*

SGS Canada Inc.

P.O. Box 4300 - 185 Concession St.
 Lakefield - Ontario - K0L 2H0
 Phone: 705-652-2000 FAX: 705-652-6365

29-October-2014

Golder Associates Ltd

Attn : Christian Boyaud

1170, boul, Lebourgneuf, bureau 200
 Quebec, ON
 G2K 2E3,

Date Rec. : 02 October 2014
LR Report: CA15043-OCT14
Reference: CMPG/Osisko
 PO#14-03061

Copy: #1

Phone: +1 418 781 0285
 Fax:+1 418 781 0290

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Final Report

Analysis	3: Analysis Approval Date	4: Analysis Approval Time	5: TE-14-03
Sample Date & Time			18-Sep-14 15:30
Sample weight [g]	16-Oct-14	09:22	15
Volume Leach Solution Added [mL]	16-Oct-14	09:26	294
Volume Leach Solution Recovered [mL]	16-Oct-14	09:22	280
Initial pH	16-Oct-14	09:22	9.76
Final pH	16-Oct-14	09:22	9.50
% Moisture (wet wt) After [%]	16-Oct-14	09:22	47.8
pH [no unit]	21-Oct-14	15:23	9.29
Conductivity [µS/cm]	21-Oct-14	15:23	3080
Alkalinity [mg/L as CaCO3]	21-Oct-14	15:23	91
Redox Potential [mV]	22-Oct-14	08:49	98
Fluoride [mg/L]	17-Oct-14	13:29	2.43
Sulphate [mg/L]	23-Oct-14	13:09	1200
Cyanide (total) [mg/L]	21-Oct-14	14:01	18.3
Cyanide (free) [mg/L]	21-Oct-14	13:08	< 2
Cyanide (WAD) [mg/L]	21-Oct-14	13:08	0.39
Silver [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.000051
Aluminum [mg/L]	24-Oct-14	13:53	0.67
Arsenic [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.0084
Barium [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.166
Boron [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.0637
Beryllium [mg/L]	29-Oct-14	15:15	< 0.000007
Bismuth [mg/L]	29-Oct-14	15:15	< 0.000007
Calcium [mg/L]	24-Oct-14	13:53	27.4
Cadmium [mg/L]	29-Oct-14	15:15	< 0.000003
Cobalt [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.0757
Chromium [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.00113
Copper [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.0346
Iron [mg/L]	24-Oct-14	13:53	6.50
Potassium [mg/L]	27-Oct-14	14:36	144

SGS Canada Inc.

P.O. Box 4300 - 185 Concession St.
 Lakefield - Ontario - KOL 2H0
 Phone: 705-652-2000 FAX: 705-652-6365

LR Report : CA15043-OCT14

Analysis	3: Analysis Approval Date	4: Analysis Approval Time	5: TE-14-03
Lithium [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.00369
Magnesium [mg/L]	24-Oct-14	13:53	1.08
Manganese [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.0160
Molybdenum [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.308
Sodium [mg/L]	27-Oct-14	14:36	522
Nickel [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.0021
Lead [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.00036
Antimony [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.0057
Selenium [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.002
Tin [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.00017
Strontium [mg/L]	24-Oct-14	13:53	0.803
Titanium [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.0238
Thallium [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.000024
Uranium [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.000915
Vanadium [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.0508
Tungsten [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.129
Yttrium [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.000824
Zinc [mg/L]	29-Oct-14	15:15	0.008

*Brian Graham B.Sc.
 Project Specialist
 Environmental Services, Analytical*



Quantitative X-Ray Diffraction by Rietveld Refinement

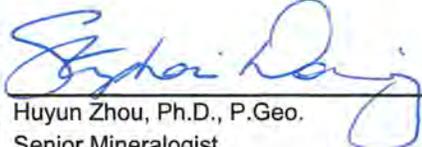
Report Prepared for: *Environmental -Analytical*
Project Number/ LIMS No. *Custom XRD/MI4500-OCT14*
Sample Receipt: *October 1, 2014*
Sample Analysis: *October 3, 2014*
Reporting Date: *October 9, 2014*

Instrument: BRUKER AXS D8 Advance Diffractometer
Test Conditions: Co radiation, 40 kV, 35 mA
Regular Scanning: Step: 0.02°, Step time: 1s, 2θ range: 3-80°
Interpretations : PDF2/PDF4 powder diffraction databases issued by the International Center for Diffraction Data (ICDD). DiffracPlus Eva and Topas software.
Detection Limit: 0.5-2%. Strongly dependent on crystallinity.

Contents:

- 1) Method Summary
- 2) Summary of Mineral Assemblages
- 3) Quantitative XRD Results
- 4) XRD Pattern(s)


Kim Gibbs, H.B.Sc., P.Geol.
Senior Mineralogist


for Huyun Zhou, Ph.D., P.Geol.
Senior Mineralogist

ACCREDITATION: SGS Minerals Services Lakefield is accredited to the requirements of ISO/IEC 17025 for specific tests as listed on our scope of accreditation, including geochemical, mineralogical and trade mineral tests. To view a list of the accredited methods, please visit the following website and search SGS Canada - Minerals Services - Lakefield: <http://palcan.scc.ca/SpecsSearch/GLSearchForm.do>.



Method Summary

The Rietveld Method of Mineral Identification by XRD (ME-LR-MIN-MET-MN-D05) method used by SGS Minerals Services is accredited to the requirements of ISO/IEC 17025.

Mineral Identification and Interpretation:

Mineral identification and interpretation involves matching the diffraction pattern of an unknown material to patterns of single-phase reference materials. The reference patterns are compiled by the Joint Committee on Powder Diffraction Standards - International Center for Diffraction Data (JCPDS-ICDD) database and released on software as Powder Diffraction Files (PDF).

Interpretations do not reflect the presence of non-crystalline and/or amorphous compounds, except when internal standards have been added by request. Mineral proportions may be strongly influenced by crystallinity, crystal structure and preferred orientations. Mineral or compound identification and quantitative analysis results should be accompanied by supporting chemical assay data or other additional tests.

Quantitative Rietveld Analysis:

Quantitative Rietveld Analysis is performed by using Topas 4.2 (Bruker AXS), a graphics based profile analysis program built around a non-linear least squares fitting system, to determine the amount of different phases present in a multicomponent sample. Whole pattern analyses are predicated by the fact that the X-ray diffraction pattern is a total sum of both instrumental and specimen factors. Unlike other peak intensity-based methods, the Rietveld method uses a least squares approach to refine a theoretical line profile until it matches the obtained experimental patterns.

Rietveld refinement is completed with a set of minerals specifically identified for the sample. Zero values indicate that the mineral was included in the refinement calculations, but the calculated concentration was less than 0.05wt%. Minerals not identified by the analyst are not included in refinement calculations for specific samples and are indicated with a dash.

DISCLAIMER: This document is issued by the Company under its General Conditions of Service accessible at <http://www.sgs.com/en/Terms-and-Conditions.aspx>. Attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction issues defined therein. Any holder of this document is advised that information contained hereon reflects the Company's findings at the time of its intervention only and within the limits of Client's instructions, if any. The Company's sole responsibility is to its Client and this document does not exonerate parties to a transaction from exercising all their rights and obligations under the transaction documents. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law.

WARNING: The sample(s) to which the findings recorded herein (the "Findings") relate was(were) drawn and / or provided by the Client or by a third party acting at the Client's direction. The Findings constitute no warranty of the sample's representativeness of any goods and strictly relate to the sample(s). The Company accepts no liability with regard to the origin or source from which the sample(s) is/are said to be extracted.

Summary of Rietveld Quantitative Analysis X-ray Diffraction Results

Quantitative X-ray Diffraction Results

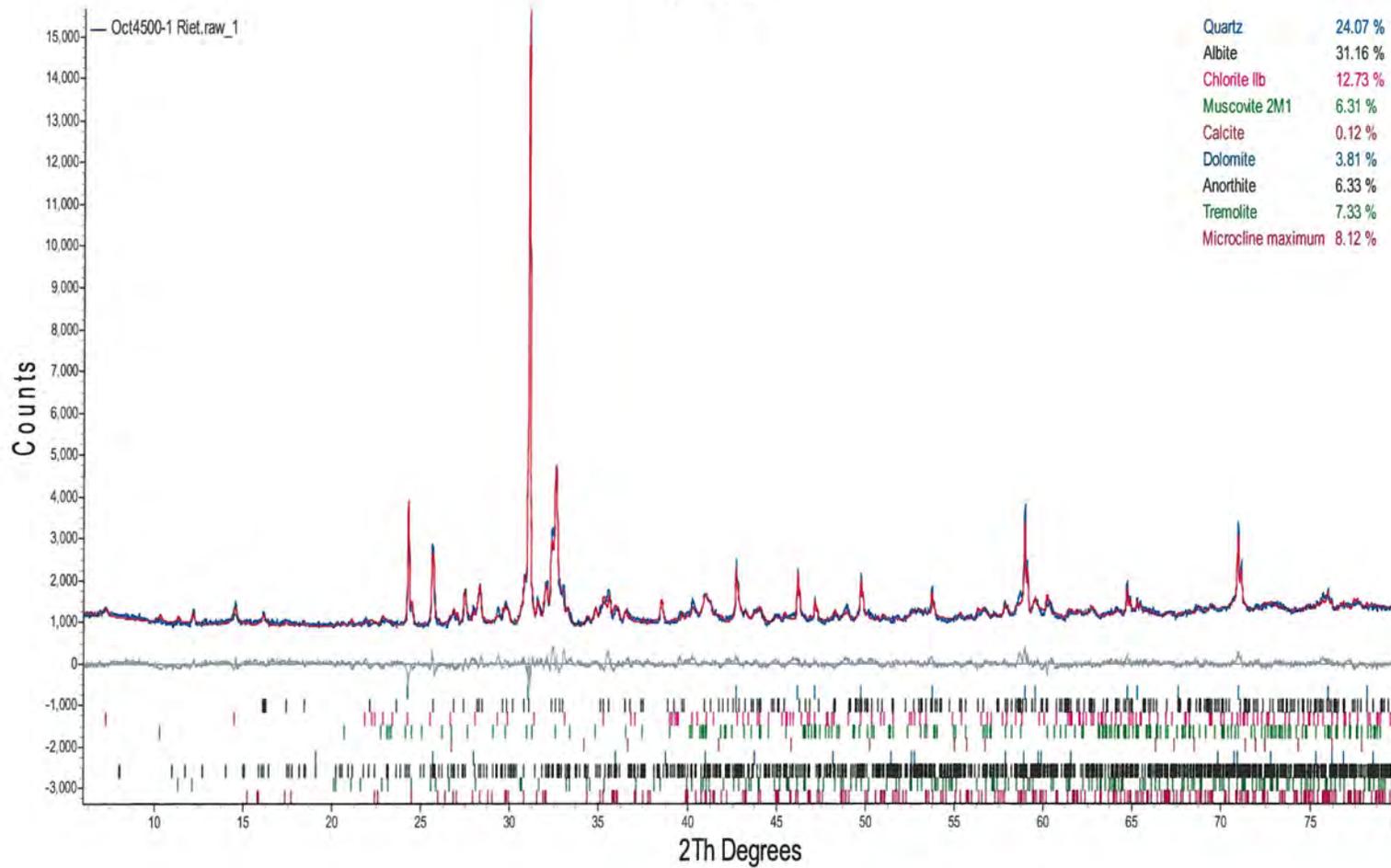
Mineral/Compound	TE-14-03
	OCT4500-01 (wt %)
Quartz	24.1
Albite	31.2
Chlorite	12.7
Muscovite	6.3
Calcite	0.1
Dolomite	3.8
Anorthite	6.3
Tremolite	7.3
Microcline	8.1
TOTAL	100

Zero values indicate that the mineral was included in the refinement, but the calculated concentration is below a measurable value.

Dashes indicate that the mineral was not identified by the analyst and not included in the refinement calculation for the sample.

Mineral/Compound	Formula
Quartz	SiO ₂
Albite	NaAlSi ₃ O ₈
Chlorite	(Fe,(Mg,Mn) ₅ ,Al)(Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₈
Muscovite	KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂
Calcite	CaCO ₃
Dolomite	CaMg(CO ₃) ₂
Anorthite	CaAl ₂ Si ₂ O ₈
Tremolite	Ca ₂ Mg ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂
Microcline	KAlSi ₃ O ₈

TE-14-03





ANNEXE C

Conditions générales et limitations – Modélisation numérique

UTILISATION DU RAPPORT ET DE SON CONTENU

Ce rapport a été préparé pour l'usage exclusif du Client ou de ses agents. Les données factuelles, les interprétations, les commentaires, les recommandations et les fichiers électroniques qu'il contient sont spécifiques à l'étude qu'il couvre et ne s'appliquent à aucun autre projet ou autre site. Ces informations ne doivent en aucun cas être utilisées à d'autres fins que celles spécifiées aux objectifs du mandat à moins que cela ne soit clairement indiqué dans le texte de ce rapport ou formellement autorisé par Golder. Ce rapport doit être lu dans son ensemble, puisque des sections pourraient être faussement interprétées lorsque prises individuellement ou hors contexte. Par ailleurs, le texte de la version finale de ce rapport prévaut sur tout autre texte, opinion ou version préliminaire émis par Golder.

Golder ne pourra être tenue responsable de dommages résultant de conditions souterraines imprévisibles, de conditions qui lui seraient inconnues, de l'inexactitude de données provenant d'autres sources que Golder et de changements ultérieurs aux conditions du site à moins d'avoir été prévenue par le Client de tout événement, activité, information, découverte passée ou future susceptible de modifier les conditions souterraines décrites dans ce rapport et d'avoir eu la possibilité de réviser les interprétations, commentaires et recommandations formulés dans ce rapport. De plus, Golder ne pourra être tenue responsable de dommages résultant de toutes modifications futures aux règlements, normes ou critères applicables, de toute utilisation faite du présent rapport par un tiers et/ou à des fins autres que celles pour lesquelles il a été rédigé, de perte de valeur réelle ou perçue du site ou de la propriété, ni de l'échec d'une quelconque transaction en raison des informations factuelles contenues dans ce rapport.

Les références aux lois et règlements contenues dans ce rapport sont fournies à titre indicatif, sur une base technique. Comme les lois et règlements sont sujets à interprétation, Golder recommande au Client de consulter ses conseillers juridiques afin d'obtenir les avis appropriés.

MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE

Un modèle numérique utilise des lois scientifiques et des hypothèses dictées par le jugement professionnel pour intégrer les données disponibles à l'intérieur d'une représentation mathématique conceptualisant les caractéristiques essentielles d'un système hydrogéologique existant. Bien qu'un modèle numérique ne puisse représenter toute la réalité détaillée d'un système hydrogéologique existant, un modèle numérique valide est un outil capable d'en simuler de façon raisonnable le comportement sous diverses contraintes et conditions. La validité du modèle ainsi que sa précision dépendent de la quantité, de la qualité et de la distribution des données disponibles de même que de la complexité du contexte géologique, la géochimie du milieu et la nature des composés dissous. Ainsi, chaque modélisation hydrogéologique est une simplification d'un système réel et les résultats obtenus doivent donc être interprétés et utilisés avec précaution et discernement. Le modèle décrit dans ce rapport ne fait pas exception.

Les travaux de modélisation hydrogéologique effectués par Golder et décrits dans ce rapport furent réalisés conformément aux règles et pratiques professionnelles reconnues et acceptées au moment de leur réalisation. À moins d'avis contraire, les résultats de travaux antérieurs ou simultanés, provenant d'autres sources que Golder, cités et/ou utilisés dans ce rapport furent considérés comme ayant été obtenus en respectant les règles et pratiques professionnelles reconnues et acceptées et, conséquemment, comme étant valides. Ce modèle constitue un outil scientifique de prédiction permettant d'évaluer les impacts de modifications imposées à un système hydrogéologique existant et/ou permettant de comparer divers scénarios dans le cadre d'un processus décisionnel. Cependant, la précision du modèle demeure liée à l'incertitude normale inhérente aux travaux de modélisation hydrogéologique et, même si une attention professionnelle a été apportée lors de sa construction et des simulations, aucune garantie directe ou indirecte n'est donnée.

Propriété de ses employés et forte d'une expérience de plus de 50 ans, Golder Associés, une organisation d'envergure mondiale, a pour raison d'être de contribuer au développement de la Terre tout en préservant son intégrité. Nous fournissons à nos clients des solutions durables comprenant une gamme étendue de services spécialisés en consultation, conception et construction dans les domaines des sciences de la Terre, de l'environnement et de l'énergie.

Pour en savoir plus, visitez golder.com

Afrique	+ 27 11 254 4800
Asie	+ 86 21 6258 5522
Océanie	+ 61 3 8862 3500
Europe	+ 44 1628 851851
Amérique du Nord	+ 1 800 275 3281
Amérique du Sud	+ 56 2 2616 2000

solutions@golder.com
www.golder.com

Golder Associés Ltée
1001, boul. de Maisonneuve Ouest, 7e étage
Montréal (Québec) H3A 3C8
Canada
T: +1 (514) 383-0990



