



Réponses aux questions et commentaires pour la demande de modification du décret 388-2017 de la mine Canadian Malartic

Projet d'agrandissement du parc à résidus sur le territoire
de la Municipalité de Malartic par Canadian Malartic GP

12 avril 2022

1. CONCEPTION ET STABILITÉ DES CELLULES DU PARC À RÉSIDUS

QCM - 1

Selon l'initiateur, la conception des cellules PR7 et PR8 sera réalisée selon les critères présentés dans le document intitulé *Tailings storage facility design basis memorandum* (DBM) de Golder (2021¹). Ces critères de conception ont été retenus par l'initiateur en fonction des conditions présentes sur le site minier et respecteraient ceux proposés dans le Canadian Dam Association (2019²), ainsi que ceux de la Directive 019 sur l'industrie minière (MDDEP, 2012³). L'initiateur doit fournir les informations pertinentes du document DBM afin que le MELCC puisse confirmer que les critères de conception choisis respectent les exigences de la Directive 019.

RQCM - 1 :

La réponse à cette question se trouve dans le mémorandum préparé par Golder et présenté à l'annexe RQCM-1.

QCM - 2

L'initiateur doit expliquer comment la vidange du BSE dans la zone de construction va influencer la stabilité de la digue 5 et de la cellule PR1. Le cas échéant, l'initiateur doit présenter les détails conceptuels des mesures qui seront mises en place pour assurer la stabilité de la digue 5 et de la cellule PR1 pendant la période transitoire entre la vidange du bassin et la déposition des résidus miniers dans la cellule PR7.

RQCM - 2 :

La réponse à cette question se trouve dans le mémorandum préparé par Golder et présenté à l'annexe RQCM-2.

QCM - 3

Selon l'initiateur, les analyses de stabilité de la berme PR7 ont été réalisées en considérant la mise en place d'une clé de stabilité composée d'enrochement sous la berme, et ce, dans le secteur où le dépôt de sols cohérents est le plus important. L'initiateur doit fournir les analyses de stabilité qui ont été réalisées, notamment celles qui démontrent la capacité portante du sol sous les cellules PR7 et PR8.

De plus, le promoteur doit présenter les détails de la construction et de l'exploitation des deux nouvelles cellules au moment des demandes d'autorisation en vertu de l'article 22 de la LQE, notamment en ce qui a trait à la mise en place d'un remblai de matériaux de faible perméabilité pour assurer des mesures d'étanchéité visant à protéger les eaux souterraines, ainsi qu'un rapport détaillant les analyses de stabilité réalisées, incluant une évaluation des tassements et du potentiel de liquéfaction. Enfin, l'initiateur devra démontrer qu'il respecte toutes les exigences de la section 2.9.3 de la Directive 019 sur l'industrie minière.

RQCM - 3 :

La réponse à cette question se trouve dans le mémorandum préparé par Golder et présenté à l'annexe RQCM-3.

QCM - 4

L'initiateur doit clarifier si le concept de la berme PR7 prévoit une étanchéisation du côté du BSE. Entre autres, des explications doivent être fournies concernant le régime anticipé d'écoulement des eaux à travers la berme, en prenant en considération le niveau des eaux souterraines (zone saturée en eau) dans la cellule PR7 et le niveau d'eau dans le BSE.

RQCM - 4 :

La réponse à cette question se trouve dans le mémorandum préparé par Golder et présenté à l'annexe RQCM-4.

QCM - 5

Selon l'initiateur, le fossé PR7 aura une longueur totale d'environ 1,2 km et sera construit partiellement en remblai et en excavation. La profondeur maximale d'excavation atteindra 14 m. L'initiateur doit expliquer comment l'aménagement des fossés profonds à proximité immédiate de l'aire d'accumulation des résidus miniers pourra être effectué sans affecter la stabilité géotechnique de la berme PR7. Le cas échéant, l'initiateur doit expliquer comment la présence des excavations de 14 m de profondeur a été prise en compte dans les analyses de stabilité de la berme PR7.

RQCM - 5 :

La réponse à cette question se trouve dans le mémorandum préparé par Golder et présenté à l'annexe RQCM-5.

2. GESTION DES EAUX

QCM - 6

En 2015, lors de la révision des OER de MCM, le MELCC recommandait une norme en matière en suspension (MES) plus basse que celle de la Directive 019 compte tenu de l'absence de dilution au point de rejet et de la sensibilité particulière du milieu aux métaux et des dépassements d'OER mesurés pour plusieurs d'entre eux⁴. Pour les MES, la concentration allouée à l'effluent est de 8,75 mg/l.

La construction de la cellule PR7 empiètera dans le BSE et la zone de sédimentation du bassin sera éliminée. En prenant en considération le fait que cette zone représente une première étape de traitement des eaux dans le bassin, permettant une sédimentation et une séparation des eaux chargées en matières en suspension du reste du BSE, son retrait va modifier le fonctionnement du bassin et son efficacité pour le traitement des eaux. L'initiateur doit expliquer les effets anticipés de l'élimination de la zone de sédimentation sur la qualité des eaux dans le BSE, notamment pour atteindre l'objectif de rejet pour les matières en suspension. Il doit aussi indiquer les mesures qu'il mettra en place afin de compenser l'absence de la zone de sédimentation pendant et après les travaux de construction de la berme PR7.

RQCM - 6 :

L'eau du BSE est recyclée dans le procédé de l'usine de traitement du minerai et n'est pas directement rejetée à l'effluent final. La zone de sédimentation du bassin ne constitue pas une première étape de traitement des eaux dans le BSE. L'aménagement d'une zone de sédimentation avait pour objectif de favoriser la décantation des eaux venant du parc avant que ces eaux ne soient réutilisées par l'usine. Cette zone de sédimentation n'a donc pas été aménagée en se basant sur des critères de concentration en MES mais simplement sur la performance de ralentissement de l'écoulement de l'eau pour faciliter la sédimentation des MES.

Advenant le cas où il soit requis que l'eau du BSE soit déchargée dans l'environnement, CMGP s'assurera que l'effluent final respecte la directive 019 et tende à respecter les objectifs de rejet pour les matières en suspension. À cet effet, CMGP tient à préciser qu'il existe présentement sur le site une usine de traitement de l'effluent (UTE) permettant, lorsque requis, de traiter l'eau du BSE avant sa décharge au bassin de polissage. L'UTE est conçue pour traiter l'eau à un débit de 1 000 m³/h avec une capacité maximale de 1 250 m³/h. Elle permet de traiter les métaux, les matières en suspension et le cyanure.

QCM - 7

La profondeur des excavations qui seront réalisées pour aménager les fossés de collecte des eaux autour des nouvelles cellules PR7 et PR8 peut atteindre jusqu'à 14 m. En prenant en considération la proximité de la zone saturée des eaux souterraines, l'initiateur doit indiquer si des exfiltrations des eaux souterraines sont attendues dans les fossés. En outre, les données concernant la position du radier des futurs fossés par rapport à la surface de la zone saturée en eau doivent être fournies. Le cas échéant, l'initiateur doit expliquer si les quantités d'eaux souterraines drainées par les fossés de collecte ont été prises en compte dans le bilan des eaux gérées dans le BSE.

RQCM - 7 :

La réponse à cette question se trouve dans le mémorandum préparé par Golder et présenté à l'annexe RQCM-7.

3. EAU SOUTERRAINE

QCM - 8

Aux sections 5.1.4.1 du document déposé en appui à la demande de modification de décret et 3.0 de l'Annexe B2, l'initiateur mentionne que les résultats du suivi de la qualité des eaux souterraines ont été comparés avec les critères pour l'eau de consommation (EC) et les critères de résurgence dans les eaux de surface (RES) du Guide d'intervention du Ministère pour la protection des sols et la réhabilitation des terrains contaminés. Cette méthode ne représente qu'une première étape de l'analyse des résultats du suivi de la qualité des eaux souterraines. Le MELCC préconise l'utilisation des recommandations de la fiche d'information concernant la méthode d'analyse des résultats du suivi de la qualité des eaux souterraines qui se trouve à l'adresse suivante : [fiche-info-analyse-resultats-suivi-qualite.pdf \(gouv.qc.ca\)](http://fiche-info-analyse-resultats-suivi-qualite.pdf).

En résumé, pour chaque paramètre analysé, les résultats de suivi doivent être comparés :

- entre eux dans le temps;
- avec le bruit de fond naturel;
- avec les valeurs du guide d'intervention du Ministère (EC et RES).

Ces comparaisons doivent être accompagnées d'une analyse de tendance (voir le guide technique de suivi de la qualité des eaux souterraines du MELCC), qui se trouve à l'adresse suivante : <https://www.environnement.gouv.qc.ca/Eau/souterraines/Guide-modelisation-hydrogeologique.pdf>

L'initiateur doit refaire l'analyse des résultats de suivi dans les huit puits d'observation qui se trouvent à proximité des deux cellules PR7 et PR8 et adopter cette méthode pour l'ensemble des puits du programme de suivi lors de la préparation des prochains rapports de suivi. Cette nouvelle interprétation des données doit permettre d'évaluer si la présence et l'exploitation du parc à résidus miniers ont occasionné ou non, au fil des années, une hausse des concentrations de certains paramètres de la qualité de l'eau souterraine et dans l'affirmative, l'initiateur devra proposer des mesures pour inverser cette tendance et pour prévenir des dépassements des critères de qualité applicables. En outre, l'initiateur doit fournir une explication des raisons les plus probables expliquant les dépassements des critères pour l'arsenic et d'autres éléments dans les cinq puits près du site et évaluer si l'ajout de deux nouvelles cellules dans le parc à résidus miniers est susceptible d'accroître la fréquence ou l'intensité de tels dépassements.

RQCM - 8 :

Lors de la préparation des prochains rapports de suivi de la qualité de l'eau souterraine l'analyse des résultats sera réalisée en adoptant la méthode préconisée par le MELCC. L'analyse des données des huit puits à proximité des cellules PR7 et PR8 selon la méthode recommandée sera présentée dans le rapport de suivi de la qualité des eaux souterraines 2022 qui sera déposée en mars 2023. Advenant que l'interprétation des résultats permet de confirmer qu'une hausse des concentrations de certains paramètres de la qualité de l'eau souterraine est attribuable à l'exploitation des cellules PR7 et PR8, CMGP proposera des mesures pour inverser cette tendance et pour prévenir des dépassements des critères de qualité applicables. De plus, le rapport du suivi de la qualité des eaux souterraines 2022 présentera une explication quant aux raisons les plus probables expliquant les dépassements des critères pour l'arsenic et les autres éléments dans les cinq puits près du site, l'interprétation des données du suivi environnemental prendra en considération l'ajout des deux nouvelles cellules.

QCM - 9

Selon l'initiateur, l'évaluation des débits de percolation sous l'empreinte des futures cellules PR7 et PR8 montre un dépassement systématique de la valeur de 3,3 l/m²/j suggérer par la Directive 019 sur l'industrie minière. Il est donc prévu de fortifier les endroits problématiques par l'ajout de matériaux de faible perméabilité. Pour le calcul du taux de percolation (voir le tableau A de l'annexe B2), l'initiateur a ajouté une couche uniforme de 10 m de résidus épaissis sur l'ensemble du site (PR7 et PR8). Cette démonstration n'est pas recevable. Seules les conditions naturelles sur le terrain doivent être prises en compte pour le calcul du taux de percolation (sans prendre en

considération l'accumulation anticipée des résidus miniers solides ni aucune autre mesure d'imperméabilisation du site). L'initiateur doit donc refaire le calcul du taux de percolation en simulant le pire scénario (conditions naturelles sur place avec une charge hydraulique maximale).

Aux sections 5.1.4.2 de l'étude d'impact et 6.1.1 de l'Annexe B1⁵, il est mentionné que des travaux supplémentaires sont nécessaires afin de compléter la caractérisation des cellules PR7 et PR8. L'initiateur doit donc exécuter les travaux de caractérisation additionnelle afin d'avoir toutes les informations nécessaires pour évaluer le niveau d'étanchéité des formations en place dans l'empreinte des deux nouvelles cellules projetées.

En outre, le promoteur doit fournir les détails des tests de conductivités hydrauliques verticales mesurées à l'emplacement des deux cellules (la couche géologique ciblée, la profondeur, la plage des valeurs mesurées, etc.).

Afin de satisfaire aux exigences du MELCC en matière de protection des eaux souterraines, l'initiateur devra également mettre à jour l'étude de modélisation de transport de contaminants, comme exigé dans la Directive 019 sur l'industrie minière, en considérant les informations complémentaires mentionnées précédemment. Cette étude de modélisation numérique devrait simuler le pire scénario (conditions naturelles sans les travaux d'imperméabilisation, colonne d'eau maximale, concentrations sources maximales et sans facteur de retard). La présentation des travaux de modélisation doit être réalisée selon les recommandations du *Guide de présentation des travaux de modélisation hydrogéologique* du MELCC, qui se trouve à l'adresse suivante : <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/souterraines/Guide-modelisation-hydrogeologique.pdf>.

La modélisation du transport des contaminants devra permettre d'évaluer l'impact de l'aménagement des deux nouvelles cellules sur les autres usagers des eaux souterraines (puits résidentiels et puits municipaux) et sur le milieu à proximité.

En fonction des résultats (avec le taux de percolation révisé), l'initiateur doit proposer des mesures pour augmenter l'étanchéité des deux cellules (utilisation d'une géomembrane, utilisation d'argile...etc.), le cas échéant.

L'initiateur doit s'engager à présenter toutes les informations détaillées (type des sols ou de géomembrane, volume des sols, propriétés hydrauliques des sols, propriétés géotechniques, méthode de mise en place...etc.) au moment des demandes d'autorisation en vertu de l'article 22 de la LQE. L'initiateur doit aussi s'engager à mettre à jour l'étude de transport des contaminants dans les eaux souterraines pour simuler un scénario avec les mesures d'imperméabilisation pour démontrer leur efficacité pour protéger la qualité des eaux souterraines.

RQCM - 9 :

La réponse à cette question se trouve dans le memorandum préparé par Golder et présenté à l'annexe RQCM-9.

4. QUALITÉ DE L'ATMOSPHÈRE

QCM - 10

L'initiateur indique à la section 3.1 du document de sa demande de modification de décret⁶ que les activités de la mine Canadian Malartic sont incluses dans la modélisation de la dispersion atmosphérique présentée dans le contexte de la demande de modification de décret. Selon la compréhension du MELCC, c'est la modélisation de la dispersion atmosphérique des contaminants présentée dans la demande de modification de décret de la mine Canadian Malartic pour l'exploitation des zones souterraines minéralisées du projet Odyssey, datée de novembre 2021⁷, qui a été utilisée. Ainsi toutes les sources d'émission du scénario 1 (incluant Odyssey) seraient incluses dans la modélisation fournie. Dans l'éventualité où des sources d'émission seraient ajoutées ou manquantes au scénario 1, la modélisation de la dispersion atmosphérique de la présente demande devra être mise à jour.

L'initiateur indique dans le document de sa demande de modification que les bermes existantes des cellules du parc à résidus sur le site de la mine Canadian Malartic sont périodiquement rehaussées et que ces activités n'ont pas été incluses dans les modélisations de la dispersion atmosphérique des contaminants antérieurs. Selon l'information présentée, mise à part la construction des bermes PR7 et PR8, seule la berme PR5 serait rehaussée. L'initiateur doit indiquer si des travaux sont planifiés aux autres bermes durant la période de réalisation du projet. Le cas échéant, il devra fournir une description détaillée de ceux-ci (les bermes impliquées, la quantité de matière manipulée, la fréquence et la durée des activités, etc.) et inclure ces sources d'émission dans l'étude de modélisation.

RQCM – 10 :

La réponse à cette question se trouve dans le mémorandum préparé par WSP et présenté à l'annexe RQCM-10 à RQCM-13.

QCM - 11

À la section 4.2.3 (Boutage) du document de sa demande de modification de décret, l'initiateur mentionne que le nombre moyen d'équipes prévues pour une année d'opérations est de 3,5 et que celles-ci sont réparties selon les ratios de volumes (tonnage) mensuels de matériel à déplacer. Ainsi, il y aurait, en moyenne et en considérant des activités en continu 24 heures par jour durant toute l'année, 1,04 équipe qui travaille avec le bouteur sur chenille n°1 (PR8), 1,04 équipe qui travaille avec le bouteur sur chenille n°2 (PR8), 0,62 équipe qui travaille avec le bouteur sur chenille n° 3 (PR7) et 0,80 équipe qui travaille avec le bouteur sur chenille n°4 (PR5). Au tableau A-2-6 (Caractéristiques physiques et taux d'émission – Boutage), l'initiateur présente un facteur d'utilisation annuel, qui est établi à partir des fractions d'équipe divisées par 2, ce qui ne semble pas correspondre avec la description fournie à la section 4.2.3. Ainsi, l'initiateur doit expliquer comment il a établi le facteur d'utilisation annuel et pourquoi il est divisé par 2.

RQCM - 11 :

La réponse à cette question se trouve dans le mémorandum préparé par WSP et présenté à l'annexe RQCM-10 à RQCM-13.

QCM - 12

À la section 4.2.4 (Érosion éolienne) du document de sa demande de modification, l'initiateur a appliqué un facteur d'atténuation, basé sur le nombre de jours moyens au cours d'une année où il y a des précipitations d'au moins 0,254 mm, pour évaluer les émissions annuelles de particules générées par l'érosion éolienne des bermes. Les données météorologiques utilisées proviennent de la station de Val D'Or pour la période de 2010 à 2020. Pour avoir des données plus représentatives, et être en concordance avec la méthode préconisée pour choisir l'échantillon des données pour la modélisation, seules les données de précipitation de la station de Val-D'Or pour la période de 2016 à 2020 doivent être utilisées pour établir le facteur d'atténuation attribuable aux précipitations. L'initiateur doit présenter le nouveau facteur d'atténuation obtenu pour les précipitations, corriger les taux d'émission concernés et démontrer les effets de ces changements sur les résultats de la modélisation.

Un deuxième facteur d'atténuation, identifié comme facteur de « source active annuelle », a été utilisé pour les bermes des cellules PR5, PR7 et PR8. Ce facteur a été établi à partir des mois durant lesquels les travaux sont effectués sur chacune des bermes. En l'absence de travaux, le phénomène d'érosion éolienne n'a donc pas été considéré. Considérant que l'état de la surface des bermes va varier en fonction des conditions météorologiques (assèchement de la surface, modification de la surface à la suite de périodes de gel et de dégel, etc.), et que cela pourrait engendrer de l'érosion éolienne, l'initiateur doit s'engager à revoir son plan intégré de gestion des émissions atmosphériques pour y inclure des inspections visuelles régulières des bermes et prévoir des mesures d'atténuation dans l'éventualité où le phénomène d'érosion éolienne serait observé. Les données d'inspection devront être consignées dans un registre.

RQCM - 12:

La réponse à cette question se trouve dans le mémorandum préparé par WSP et présenté à l'annexe RQCM-10 à RQCM-13.

QCM - 13

À la section 5.9.6.2 (Teneurs en silice utilisées pour la modélisation) du document de sa demande de modification, l'initiateur mentionne que les activités du projet sont toutes associées à la manipulation de roches stériles provenant de la halde et que l'échantillon SIL1 a été jugé le plus représentatif des sources pour établir les teneurs en silice cristalline. Selon notre compréhension, la manipulation de roches stériles concerne les activités de boutage et de chargement/déchargement. L'initiateur doit préciser quelles teneurs en silice cristalline ont été appliquées aux activités de camionnage sur les routes, ainsi qu'à l'érosion éolienne.

RQCM – 13 :

La réponse à cette question se trouve dans le mémorandum préparé par WSP et présenté à l'annexe RQCM-10 à RQCM-13.

QCM - 14

Une analyse a été effectuée par le MELCC concernant les résultats de suivi de la silice cristalline réalisés en 2019 et en 2020. Les conclusions sont à l'effet que les résultats du suivi pour le critère annuel de silice cristalline aux stations A2 et A3 sont supérieurs à ceux obtenus par la modélisation des opérations minières autorisées en décembre 2018, et ce, malgré l'application de mesures d'atténuation. L'initiateur doit proposer des mesures d'atténuation supplémentaires lors de la construction des digues des deux nouvelles cellules du parc à résidus pour réduire les émissions de silice cristalline et s'engager à les mettre en place.

RQCM – 14 :

CMGP s'est engagé à mettre en œuvre son « **Plan intégré de gestion des émissions atmosphériques** » dans lequel les différentes mesures de mitigation appliquées sur le site de CMGP sont mentionnées. Parmi les mesures citées, celles applicables à la construction des deux nouvelles cellules seront mises en place, lorsque nécessaire :

- Le matériel utilisé pour la construction des bermes des nouvelles cellules sera arrosé avant le chargement;
- Autant que possible, lors du chargement et du déchargement, la hauteur à laquelle le matériel est relâché ainsi que la distance sur laquelle il sera en chute libre seront gardées au minimum afin de minimiser les émissions de poussières;
- Puisque la poussière s'accumule généralement à proximité de la machinerie, le nettoyage et l'arrosage régulier des zones de travail seront effectués afin d'empêcher la remise en suspension de ces poussières;
- Lorsque requis, les routes de transport et les voies d'accès vers les nouvelles cellules tout comme celles sur l'ensemble du site seront maintenues humides afin de réduire la poussière générée par les véhicules. La fréquence et l'intensité d'arrosage des routes seront ajustées en fonction des conditions météorologiques. Les journées ensoleillées combinées à des températures élevées contribuent à l'évaporation plus rapide de l'eau étendue et nécessite un arrosage plus fréquent;
- La vitesse des véhicules a un impact majeur sur la quantité de poussière générée au niveau de la route. Au besoin, une limitation de vitesse sera imposée pour les camions;
- Le personnel de CMGP et ses sous-traitants sont informés et sensibilisés aux bonnes pratiques permettant de réduire les émissions de poussières sur le site;
- Si requis, les activités de construction des cellules PR7 et PR8 seront interrompues.

À ces mesures déjà prévues, s'ajouteront les mesures supplémentaires suivantes :

- La présence d'un surveillant de chantier qui sera responsable de l'application du suivi environnemental relié à la mise en place des cellules incluant le suivi des émissions de particules ainsi que la présence en tout temps, lorsque les conditions climatiques le requiert, d'un camion à eau dédié aux travaux de construction.

CMGP tient à mentionner qu'il met en place les mesures de mitigation prévues à son plan de gestion des émissions atmosphériques et, lorsque requis les activités sur le site sont modulées. Selon la situation, un arrêt des opérations dans le ou les secteurs problématiques est effectué et si requis, l'ensemble des opérations incluant celles sur le parc à résidus sont arrêtées. À titre indicatif, en 2021, les arrêts d'équipements pour le contrôle des émissions de particules ont totalisé 6 782 heures.

QCM - 15

À la section 6.1 (Secteur Sud) du document de sa demande de modification, l'initiateur présente uniquement les résultats du scénario de base, considérant qu'aucun dépassement n'est modélisé aux récepteurs sensibles du secteur sud. Puisque des dépassements ont lieu dans le domaine d'application, l'initiateur doit aussi présenter les résultats d'un scénario optimisé pour le secteur sud. L'initiateur devra présenter ces résultats, sans quoi, il n'est pas possible de comparer les résultats de cette étude avec la situation présentement autorisée.

RQCM - 15 :

La réponse à cette question se trouve dans le mémorandum préparé par WSP et présenté à l'annexe RQCM-15.

5. ÉMISSION DE GAZ À EFFET DE SERRE

QCM - 16

Les émissions de GES reliées au projet sont issues principalement de la combustion du diesel par la machinerie et au transport des matériaux nécessaires à la construction des nouvelles cellules du parc à résidus ainsi qu'au déboisement de 59,9 ha.

Phase de construction

Les activités de construction généreront environ 12 843 tonnes d'équivalent CO₂ la première année, 12 645 t la deuxième année et 9 780 t la troisième année.

Les méthodologies de calcul utilisées par l'initiateur pour quantifier les émissions de GES pour la phase de construction sont adéquates. Toutefois, l'initiateur doit présenter la perte de capacité deséquestration de CO₂ attribuable au déboisement (annuelle et sur 100 ans). Les équations présentées ci-dessous peuvent être utilisées à cette fin :

$$P_{SEQAn} = N_H \times CBA \times (1 + T_x) \times CC \times \frac{44}{12}$$

$$P_{SEQ100\text{ ans}} = P_{SEQAn} \times 100$$

Où :

PSEQAn = Perte de capacité de séquestration annuelle de CO₂, en tonnes de CO₂ par année;

PSEQ100ans = Perte de capacité de séquestration de CO₂ sur une période de 100 ans, en tonnes de CO₂;

NH = Nombre d'hectares déboisés;

CBA = Taux annuel de croissance de la biomasse aérienne, en tonnes de matière sèche par hectare et par an;

T_x = Taux de biomasse souterraine par rapport à la biomasse aérienne;

CC = Contenu en carbone du bois, exprimé en tonnes de carbone par tonne de matières sèches;

44/12 = Ratio masse moléculaire de CO₂ par rapport à la masse moléculaire de C.

Le tableau suivant présente les références suggérées pour estimer les valeurs des paramètres de l'équation.

<i>Perte de capacité de séquestration de CO₂ : Paramètres suggérés</i>	
Paramètre	Références du GIEC
<i>CBA</i>	Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. Volume 4. Chapitre 4: Terres forestières. Tableau 4.9
<i>T_x</i>	Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Tableau 4.4
<i>CC</i>	Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. Volume 4. Chapitre 4: Terres forestières. Tableau 4.3

RQCM - 16:

La perte de capacité de séquestration de CO₂ attribuable au déboisement annuelle ainsi que sur 100 ans ont été calculées en utilisant les paramètres suggérés dans les lignes directrices 2006 du GIEC (volume 4).

La perte de capacité de séquestration annuelle de CO₂ est de 301 tonnes par année :

$$P_{SEQAn} = N_H \times CBA \times (1 + T_x) \times CC \times \frac{44}{12}$$

$$P_{SEQAn} = 59,9 \times 2,1 \times (1 + 0,39) \times 0,47 \times \frac{44}{12}$$

$$P_{SEQAn} = 301 \text{ tonnes}$$

La perte de capacité de séquestration annuelle de CO₂ est de 30 132 tonnes sur une période de 100 ans :

$$P_{SEQ100 \text{ ans}} = P_{SEQAn} \times 100$$

$$P_{SEQ100 \text{ ans}} = 301 \times 100$$

$$P_{SEQ100 \text{ ans}} = 30\,132 \text{ tonnes}$$

6. MILIEUX HUMIDES ET HYDRIQUES

QCM - 17

Les inventaires réalisés sur le terrain par l'initiateur semblent avoir démontré l'absence de cours d'eau dans l'emprise prévue de la cellule PR8. Toutefois, la carte de la Base de données topographiques du Québec (BDTQ) montre deux têtes de cours d'eau prenant naissance à cet endroit. De plus, l'imagerie satellitaire montre des ouvertures rectilignes qui ressemblent beaucoup à des cours d'eau et des photos aériennes permettent d'observer un étang avec barrage de castors dans la zone prévue pour la cellule PR8.

Or, selon l'initiateur, les images satellitaires ne présentent pas de cours d'eau et aucun n'a été observé sur le terrain. Le MELCC souhaite avoir davantage d'information sur les campagnes d'échantillonnages et de caractérisations qui ont été faites sur le terrain et qui portent l'initiateur à conclure en l'absence de cours d'eau dans la zone de la cellule PR8. L'initiateur doit donc démontrer que ces cours d'eau sont réellement inexistantes et expliquer ce qu'il est permis d'observer sur les images satellitaires et les photos aériennes.

À défaut de données disponibles issues d'inventaires au terrain, la superficie maximale touchée pourra être évaluée à partir des images aériennes ou satellitaires et le détail pourra être fourni lors de la demande d'autorisation ministérielle en vertu de l'article 22 de la LQE.

RQCM-17 :

Dans le cadre de la demande d'autorisation ministérielle en vertu de l'article 22 de la LQE pour la construction de la cellule PR8, CMGP s'assurera de confirmer s'il y a présence ou non de cours d'eau dans le secteur visé par les travaux et selon le cas, de confirmer la superficie qui sera touchée par les travaux. La validation pourra se faire en précisant les informations sur les campagnes d'échantillonnage et de caractérisations qui ont été faites sur le terrain et qui ont permis de conclure en l'absence de cours d'eau ainsi qu'en expliquant ce qu'il est permis d'observer sur les images satellitaires et les photos aériennes. De plus, si nécessaire, un complément aux inventaires réalisés sur le terrain sera effectué.

CMGP prend note de l'alternative proposée, c'est-à-dire, qu'à défaut de données disponibles issues d'inventaires au terrain, la superficie maximale touchée pourra être évaluée à partir des images aériennes ou satellitaires et le détail présenté lors de la demande d'autorisation ministérielle en vertu de l'article 22 de la LQE.

QCM - 18

La demande de modification de décret présente les superficies de milieux humides qui seront empiétées par les infrastructures projetées, auxquelles s'ajoute la superficie du bassin sud-est qui devait être, selon le plan de compensation de 2018, entièrement transformé en milieu humide à la fin de l'exploitation de la mine, mais qui servira plutôt comme aire d'accumulation de résidus. Il est écrit, à la page 83, que l'empiètement des cellules dans le BSE est de 306 379,41 m² (30,64 ha). Toutefois, à la page 131, on mentionne que sur les 84,19 ha de milieux humides qui devaient être créés en guise de compensation dans le BSE, il y aura plutôt la création de 51,07 ha, ce qui correspond à un manque à gagner de 33,12 ha. Ainsi, les superficies de milieux humides

compensées dans le BSE sont plus grandes à la page 83 qu'à la page 131. L'initiateur doit confirmer la superficie exacte du BSE, celle qui sera amputée par les cellules projetées et la mise à niveau de la digue C, et la superficie résultante à compenser. Une carte illustrant les milieux humides concernés et leurs superficies doit être présentée.

Comme une partie des superficies prévues en création de milieux humides pour des pertes antérieures sera amputée par le présent projet, l'initiateur doit présenter une compensation de rechange, ce qui a été entamé en début d'année 2021 avec le MELCC. Cette compensation devra être approuvée lors de la demande d'autorisation ministérielle en vertu de l'article 22 de la LQE pour les travaux occasionnant ces pertes.

RQCM – 18 :

Il est important de mentionner que seule la construction de la nouvelle cellule PR7 et la mise à niveau de la digue C empiètent dans le BSE. La superficie exacte du BSE qui sera amputée par la cellule projetée PR7 (27,65 ha) et la mise à niveau de la digue C (5,47 ha) est de 33,12 ha ce qui correspond à l'information qui est présentée au tableau 7-2 (p. 113) de la demande de modification de décret. Toutefois, il est à noter qu'une erreur a été décelée dans le tableau 7-2. En première colonne, « Étang » devrait plutôt être « Étang et marais » et le terme « Marais » devrait être remplacé par « Marécage arbustif ». La carte présentée à l'annexe RQCM-18 montre l'empiètement de la cellule PR7 et de la digue C sur les milieux humides compensatoires prévus être créés dans le BSE lors de sa restauration. La superficie des zones amputées est précisée dans la légende qui accompagne la carte. Puisqu'il n'est pas possible d'éviter et de minimiser ces pertes antérieures, CMGP s'engage à compenser monétairement le manque à gagner de 33,12 ha en vertu du Règlement sur la compensation pour l'atteinte aux milieux humides et hydriques et autres dispositions réglementaires.

QCM - 19

Avec le projet d'agrandissement du parc à résidus, il est prévu que le débit moyen annuel à l'effluent final de la mine Canadian Malartic augmentera de 20 % en 2023 à 54 % en 2033. Cette augmentation fera en sorte d'accroître le débit moyen annuel à 32 700 m³/j en 2023 et jusqu'à un maximum de 41 700 m³/j en 2033.

Malgré une stabilité dans la concentration des contaminants attendus à l'effluent, une augmentation du débit apportera des charges accrues de contaminants et une pression supplémentaire sur le milieu récepteur. En complément des exigences fixées par la directive 019 sur l'industrie minière à ce sujet, le MELCC établit des objectifs environnementaux de rejets (OER) de contaminants qui sont transmis aux initiateurs de projets. Les concentrations mesurées à l'effluent de la mine Canadian Malartic en 2020, présentées au tableau 5-4 du document de la demande de l'initiateur, indiquent des teneurs au-delà des OER établis pour le cadmium, le zinc, le nickel et le cuivre. L'augmentation des charges de contaminants attendues à la suite de la mise en place des cellules du parc à résidus pourrait prolonger la distance d'influence du rejet, occasionner des dépassements de critère de qualité de l'eau ou des OER dans le milieu récepteur ou engendrer de nouvelles zones d'érosion. Afin d'évaluer l'impact des modifications apportées au projet, l'initiateur doit fournir de plus amples informations concernant les changements anticipés des charges de contaminants qui seront rejetées, et ce, en considérant l'élimination de

la zone de sédimentation du BSE (voir QCM-9). L'initiateur doit aussi comparer les concentrations de contaminants attendues à l'effluent final avec les OER.

S'il appert que l'augmentation du débit de l'effluent final agrandit la zone perturbée dans le ruisseau Raymond, que l'augmentation des charges de contaminants soit susceptible d'occasionner davantage de dépassement des critères de qualité des eaux ou des OER, ou encore de compromettre la sécurité d'infrastructures se trouvant en aval, l'initiateur doit indiquer qu'elles sont les mesures d'atténuation ou de suivi qu'il mettra en place ou les modifications qu'il propose à son système de traitement de l'effluent final.

RQCM – 19 :

Tout d'abord, il est important de rappeler que l'eau du BSE est recyclée dans le procédé de l'usine de traitement du minerai et n'est pas directement rejetée à l'effluent final. L'aménagement d'une zone de sédimentation avait pour objectif de favoriser la décantation des eaux venant du parc avant qu'elles ne soient réutilisées par l'usine. Advenant le cas où il soit requis que l'eau du BSE soit déchargée dans l'environnement, CMGP s'assurera que l'effluent final respecte la directive 019 et tende à respecter les OER. Tel que mentionné précédemment, il existe présentement sur le site une usine de traitement de l'effluent (UTE) permettant, lorsque requis, de traiter l'eau du BSE avant sa décharge au bassin de polissage, c'est pour cette raison que CMGP n'anticipe pas de changements au niveau des charges de contaminants rejetées reliés à l'élimination de la zone de sédimentation.

CMGP tient à rappeler que le programme de suivi de la qualité de l'eau actuellement en place permettra de documenter précisément les effets sur le ruisseau Raymond. Advenant que des effets non anticipés ou plus grands que prévus sont observés, CMGP évaluera les diverses mesures d'atténuation qui pourraient être mises en place.

7. FAUNE AQUATIQUE

QCM – 20

À la section 5.2.2.1 (page 75) de l'étude déposée en appui à la présente modification de décret, peu d'information est disponible au sujet du lieu des pêches ou de la caractérisation des cours d'eau. Le document mentionne que les pêches ont été faites en dehors de la zone d'étude, au sud de celle-ci, et que plusieurs poissons ont été capturés, mais il est impossible d'avoir de l'information sur les cours d'eau situés à proximité de l'emplacement de la cellule PR8.

Comme mentionné à la question QCM-19, en présence de cours d'eau à l'emplacement de la cellule PR8, des poissons pourraient remonter les ruisseaux à partir du lac Fournière et passer une partie de leur cycle vital à ces endroits. Dans un tel cas, l'initiateur devra aussi réévaluer les impacts du projet sur le poisson et son habitat, et proposer, le cas échéant, des mesures d'atténuation ou de compensation additionnelles.

RQCM - 20:

Tel que mentionné en réponse à la question QCM-17, dans le cadre de la demande d'autorisation ministérielle en vertu de l'article 22 de la LQE pour la construction de la cellule PR8, CMGP s'assurera de confirmer s'il y a présence ou non de cours d'eau dans ce secteur. En présence de cours d'eau à l'emplacement de la cellule PR8, CMGP évaluera les impacts du projet sur le poisson et son habitat et proposera des mesures d'atténuation ou de compensation additionnelles.

8. FAUNE AVIENNE

QCM - 21

L'initiateur indique une présence potentielle de hibou des marais dans la zone d'étude ou à proximité, tandis que la consultation des banques de données disponibles indique une présence confirmée en période de nidification (fin avril), c'est-à-dire qu'un hibou a été observé deux années différentes (2014 et 2018) sur le site de Canadian Malartic. Dans le cas de l'hirondelle rustique, une nidification est confirmée à proximité (2011 à 2013), alors que le document de la demande de modification de décret ne le mentionne pas. D'autres banques de données sources devraient être consultées pour bonifier les données d'espèces potentiellement présentes ou avec présence confirmée, telles que SOS-POP et eBird.

L'initiateur doit préciser quelles mesures seront mises de l'avant pour éviter de perturber les activités de reproduction du hibou des marais et de l'hirondelle rustique lors des travaux de construction des deux nouvelles cellules du parc à résidus.

RQCM - 21 :

Afin de ne pas perturber les activités de reproduction du hibou du marais et de l'hirondelle rustique lors de travaux de construction des deux nouvelles cellules du parc à résidus CMGP s'assurera de mettre en place les mesures suivantes :

- Dans le cas du hibou des marais, advenant le cas où les travaux de déboisement doivent être réalisés pendant la période de nidification, des travaux de reconnaissance de nids occupés par ces oiseaux seront effectués. Si une nichée est trouvée, CMGP mettra en place une zone de protection intégrale de 50 m de rayon autour du nid et ce, tel que recommandé par le MFFP.
- Dans le cas de l'hirondelle rustique considérant que cette espèce niche sur des infrastructures et qu'aucune infrastructure n'est présente dans le secteur des deux nouvelles cellules, il est peu probable de se retrouver en présence de cette espèce. Toutefois, le cas où des travaux de construction doivent être réalisés pendant la période de nidification et que l'hirondelle rustique soit observée, des travaux de reconnaissance de nids occupés par ces oiseaux seront effectués. Si une nichée est trouvée, CMGP mettra en place une zone de protection intégrale de 50 m de rayon autour du nid.

QCM - 22

Dans la mesure d'atténuation AVI 01 de l'Annexe C (tableau C-7, p. C-27 du document de la demande de modification de décret), il est énoncé que la période recommandée pour le

déboisement (début octobre à la fin mars) permet d'éviter la période de reproduction de la majorité des espèces aviaires et des chiroptères, à l'exception des strigidés. Or, en plus de certains strigidés, certains oiseaux de proie diurnes sont aussi des nicheurs hâtifs qui pourraient débiter leur nidification avant la fin mars, mais aucune mesure d'atténuation n'est proposée pour les oiseaux de proie hâtifs par rapport au déboisement.

L'initiateur devra proposer des mesures d'atténuation pour les oiseaux de proie nichant hâtivement et utilisant le milieu forestier comme, par exemple :

- Ajuster la période de déboisement pour éviter la période de nidification de ces espèces;
- Valider la présence/absence de nids (nid de branches ou cavité) préalablement au déboisement.

Par ailleurs, l'engoulevent d'Amérique, le hibou des marais, de même que d'autres espèces comme le busard des marais, nichent au sol en milieux ouverts et sont identifiés comme potentiellement présents dans le secteur des travaux. Toutefois, aucune mesure d'atténuation, n'outre AIR 08, ne permet de prévenir ou de limiter les impacts des travaux sur ces espèces, tels que le décapage des sols. Par ailleurs, un milieu nouvellement déboisé ou décapé pourrait inciter ces espèces à s'y installer avant l'aménagement de structures, et ainsi créer un piège écologique.

L'initiateur devra aussi proposer des mesures d'atténuation pour les oiseaux nichant au sol comme, par exemple :

- Effectuer les travaux en milieux ouverts propices à ces espèces en dehors de leur période de nidification;
- Effectuer une validation de la présence/absence de sites de nidification préalablement aux travaux dans ces milieux ouverts propices, incluant les milieux nouvellement ouverts.

RQCM-22 :

Considérant que certains strigidés et que certains oiseaux de proie diurnes sont des nicheurs hâtifs qui pourraient débiter leur nidification avant la fin mars CMGP ajustera, dans la mesure du possible, la période de déboisement pour éviter la période de nidification de ces espèces. Advenant le cas où les travaux de déboisement doivent être réalisés pendant la période de nidification, des travaux de reconnaissance de nids occupés par ces oiseaux seront effectués. Si une nichée est trouvée, CMGP mettra en place une zone de protection intégrale de 50 m de rayon autour du nid et ce, tel que recommandé par le MFFP.

De plus, considérant que certaines espèces d'oiseaux nichant au sol sont potentiellement présents dans le secteur, CMGP effectuera, dans la mesure du possible, les travaux en milieux ouverts en dehors de leur période de nidification. Advenant le cas où des travaux en milieux ouverts doivent être effectués pendant la période de nidification, une validation de la présence/absence de sites de nidification sera réalisée préalablement à ceux-ci et ce, en incluant les milieux nouvellement ouverts. En présence d'œufs, d'oisillons ou d'un adulte présentant un comportement de nidification, une zone de protection intégrale de 75 m de rayon autour du point d'observation sera respectée. Aucuns travaux ou aucun déplacement dans la zone ne seront permis pendant la période de nidification.

9. EFFETS CUMULATIFS

QCM – 23

L'agrandissement du complexe minier au fil du temps a généré des effets cumulatifs sur la faune et ses habitats. La cellule PR8 empiètera sur 555 739 m² (55,6 ha) de milieu naturel, dont 103 792 m² sont en milieu humide. Cet empiètement s'ajoute aux dizaines de milliers d'hectares (près de 20 000 ha) occupés par le site minier existant. Dans ce contexte, advenant de nouvelles modifications au projet dans l'avenir, l'initiateur devra :

- Informer le MELCC au sujet des modifications significatives qui sont ou pourraient être envisagées;
- Adapter les zones d'étude écologique pour ne pas se limiter aux empiètements du site minier, mais pour comprendre les zones potentiellement perturbées par le site minier et les modifications à venir;
- Rectifier les impacts globaux du site minier, si requis;
- Adapter les suivis sur certaines composantes du milieu, le cas échéant, pour tenir compte de l'envergure grandissante du site minier.

RQCM-23 :

Advenant de nouvelles modifications au projet, CMGP devra :

- Informer le MELCC au sujet des modifications significatives qui sont ou pourraient être envisagées;
- Adapter les zones d'étude écologique pour ne pas se limiter aux empiètements du site minier, mais pour comprendre les zones potentiellement perturbées par le site minier et les modifications à venir;
- Rectifier les impacts globaux du site minier, si requis;
- Adapter les suivis sur certaines composantes du milieu, le cas échéant, pour tenir compte de l'envergure grandissante du site minier.

10. COMMENTAIRE

QCM - 24

Il est à noter que les cellules PR7 et PR8 devront faire l'objet d'une autorisation d'emplacement destiné aux résidus miniers en vertu de l'article 241 de la Loi sur les mines. La dernière mise à jour des autorisations d'emplacements destinés aux résidus miniers n'inclut pas ces nouvelles superficies. L'initiateur du projet devra contacter le MERN à cet égard.

RQCM - 24 :

CMGP a pris note du commentaire et à contacter le MERN afin de s'assurer d'obtenir l'autorisation requise en vertu de l'article 241 de la Loi sur les mines.

ANNEXE RQCM-1

MEMORANDUM TECHNIQUE**DATE** 8 avril 2022

0783-20439682-51108-QCM-1-Rev0

À Nathalie Tremblay
Mine Canadian Malartic**C.C****DE** Marielle Limoges**ADRESSE COURRIEL** mlimoges@golder.com**DÉVELOPPEMENT DES CELLULES PR7 ET PR8 – RÉPONSE À LA QUESTION QCM-1 DU MELCC**

En tant que concepteur, Golder Associés Ltée (Golder) a été mandatée par Mine Canadian Malartic (MCM) pour répondre à la question QCM-1 des Questions et commentaires pour la demande de modification du décret 388-2017 de la mine Canadian Malartic – Projet d'agrandissement du parc à résidus sur le territoire de la Municipalité de Malartic par Canadian Malartic GP Dossier 3211-16-013. La question du ministère est reprise ci-dessous, suivie de la réponse de Golder.

Question

QCM - 1 Selon l'initiateur, la conception des cellules PR7 et PR8 sera réalisée selon les critères présentés dans le document intitulé *Tailings storage facility design basis memorandum (DBM) de Golder (2021)*. Ces critères de conception ont été retenus par l'initiateur en fonction des conditions présentes sur le site minier et respecteraient ceux proposés dans le *Canadian Dam Association (2019)*, ainsi que ceux de la *Directive 019 sur l'industrie minière (MDDEP, 2012)*. L'initiateur doit fournir les informations pertinentes du document DBM afin que le MELCC puisse confirmer que les critères de conception choisis respectent les exigences de la Directive 019.

Réponse

Les critères de conception tiennent compte à la fois des exigences fournies par la Directive 019 sur l'industrie minière, des recommandations promulguées par l'Association canadienne des barrages (ACB) et de critères de conception qui sont propres à la mine Canadian Malartic en fonction de leur gestion du risque. Les critères de conception des cellules PR7 et PR8 respectent au minimum les exigences à caractère géotechnique, hydrologique et hydrogéologique fournies par la Directive 019.

Il convient de rappeler que les cellules PR7 et PR8 seront des aires d'accumulation sans retenues d'eau. Ainsi, les deux recommandations fournies dans la section 2.9.3.2 de la Directive 019 ont été considérées :

Réseau de drainage : tel que présenté à la section 5.2 du rapport fourni par Golder (2021 – le 0610), le réseau de drainage périphérique des cellules PR7 et PR8 sera conçu de façon à drainer de façon sécuritaire une crue ayant une récurrence de 1:100 ans. L'eau sera évacuée de l'intérieur des cellules par pompage, au début de leur opération, ou par des déversoirs gravitaires, le reste du temps. Le système de pompage et les déversoirs seront conçus pour gérer de manière sécuritaire la crue maximale probable. L'eau évacuée des deux cellules sera acheminée vers le bassin Sud-est, qui est prévu de pouvoir gérer la crue de projet définie dans la section 2.9.3.1. de la Directive 019.

Résistance aux séismes : la cellule PR7 sera conçue pour résister au minimum à un séisme de conception d'une période de récurrence de 2 475 ans. Cette approche est conforme à celle présentée à la section 8.3.4.4 de l'*Étude d'impact sur l'environnement déposée en janvier 2015 pour l'extension de la mine aurifère Canadian Malartic et de déviation de la route 117 à l'entrée Est de la ville de Malartic*. Rappelons que la période de récurrence avait été définie d'une part, en fonction de la classification du parc à résidus. Cette classification avait été réalisée selon la méthodologie proposée par l'ACB lors de l'étude d'impact (voir section 8.3.4.2 de l'étude d'impact), et correspondait à « risque important », ce qui suggérerait, selon l'ACB, l'utilisation d'une probabilité annuelle de dépassement pour les séismes de 1:1 000 ans. Il est attendu que la classification des cellules PR7 et PR8 demeurera similaire à celle estimée pour le parc à résidus dans l'étude d'impact. Cependant, lors de la conception détaillée qui sera présentée en appui à la demande du certificat d'autorisation, la classification sera discutée et revue au besoin. D'autre part, rappelons que la Directive 019 recommande que la récurrence du séisme de conception ne soit pas inférieure à la probabilité de dépassement annuelle de 1:2 475 ans pour une aire d'accumulation avec retenue d'eau. Dans notre cas, l'aire d'accumulation est sans retenue d'eau et une probabilité de dépassement annuelle minimum de 1:2 475 ans a tout de même été sélectionnée et sera utilisée pour la conception détaillée.

La section 2.3 de la Directive 019 présente les exigences en matière de protection des eaux souterraines. Tel que discuté dans la section 6.0 du rapport de Golder (2021), la nature des résidus miniers à entreposer requiert des mesures de protection de niveau A et une valeur seuil de 3,3 l/m²/jour pour le débit de percolation maximal admissible à travers les dépôts en place. Une étude de modélisation démontrant le respect du débit de percolation admissible de même que le respect des objectifs de protection de l'eau souterraine de la Directive 019 (section 2.3.1) sera déposée lors de la demande de certificat d'autorisation. Rappelons que MCM possède déjà un programme de suivi de l'eau souterraine en place pour les opérations actuelles et qu'au besoin, il sera bonifié selon les exigences de la Directive 019 (section 2.3.2) lors de la demande de certificat d'autorisation.

La Directive 019 présente des critères de stabilité géotechnique pour les structures à retenue d'eau (section 2.9.3.1), mais n'en spécifie pas pour les aires d'accumulation sans retenue d'eau (section 2.9.3.2), pour lesquelles le concepteur doit justifier les critères choisis. Pour les nouvelles structures de retenue des résidus miniers (bermes PR7 et PR8, la philosophie de l'évaluation de la stabilité présentée dans le tableau 2.7 de la section 2.9.3.1 sera appliquée et tiendra compte de la nature contractante des résidus miniers.

Les analyses seront effectuées pour le mode de rupture applicable pour une berme en enrochement, lequel se produit par cisaillement. Ainsi, des analyses de stabilité doivent être réalisées pour définir la géométrie qui satisfait les facteurs de sécurité visés. Les paramètres de résistance au cisaillement seront adaptés à la condition d'analyse. Ainsi, les conditions d'analyses et les facteurs de sécurité visés sont décrits au Tableau 1 ci-dessous :

Tableau 1 : Facteurs de sécurité visés pour les analyses de stabilité

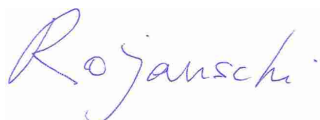
Phase de développement de la cellule PR7	Condition	Facteur de sécurité
Construction	Statique (amont, aval et central)	1,3
Opération et transition vers la fermeture	Statique – pic (amont, aval et central)	1,5
	Statique – post-liquéfaction (aval et central)	1,3
	Sismique – pseudo-statique (aval et central)	1,1

Une distribution représentative des pressions d'eau sera utilisée pour chaque phase de développement.

Pour les analyses en condition pseudo-statiques, un coefficient sismique horizontal correspondant à 50% sera appliqué à l'accélération maximale au roc, sur la base de l'analyse sismique probabiliste spécifique au site effectuée par Golder. Les analyses de stabilité en condition pseudo-statique seront effectuées en tenant compte de la résistance au pic des matériaux.

En ce qui concerne la capacité portante, la conception tiendra compte des tassements anticipés sous la structure et un facteur de sécurité de 1,5 sera visé, tel qu'indiqué au tableau 1 ci-dessus pour la stabilité centrale en condition statique (glissement horizontal passant par la fondation).

Golder Associés Ltée



Vlad Rojanschi, ing., Dr.
Ingénieur ressources en eau



Marielle Limoges Shaiget, ing
Ingénieure en géotechnique

MLS/MDB/VR/LG//PG/em

ANNEXE RQCM-2

MEMORANDUM TECHNIQUE

DATE 8 avril 2022

0784-20439682-51108-QCM-2-Rev0

À Nathalie Tremblay
Mine Canadian Malartic

C.C

DE Golder Associés Ltée

ADRESSE COURRIEL ematos@golder.com

DÉVELOPPEMENT DES CELLULES PR7 ET PR8 – RÉPONSE À LA QUESTION QCM-2 DU MELCC

En tant de concepteur, Golder a été mandatée par MCM pour réponse à la question QCM-2 des Questions et commentaires pour la demande de modification du décret 388-2017 de la mine Canadian Malartic – Projet d'agrandissement du parc à résidus sur le territoire de la Municipalité de Malartic par Canadian Malartic GP Dossier 3211-16-013. La question du ministère est reprise ci-dessous, suivie de la réponse de Golder.

Question

QCM - 2 L'initiateur doit expliquer comment la vidange du BSE dans la zone de construction va influencer la stabilité de la digue 5 et de la cellule PR1. Le cas échéant, l'initiateur doit présenter les détails conceptuels des mesures qui seront mises en place pour assurer la stabilité de la digue 5 et de la cellule PR1 pendant la période transitoire entre la vidange du bassin et la déposition des résidus miniers dans la cellule PR7.

Réponse

La vidange rapide du bassin Sud-Est directement en aval du secteur PR1C n'est pas prévue. Une analyse de stabilité a toutefois été réalisée pour démontrer que si la condition de vidange rapide survenait, le facteur de sécurité en condition statique ne serait pas affecté.

Le tableau suivant présente le facteur de sécurité de la cellule PR1C dans le secteur de la digue 5 en condition statique pour la configuration actuelle (Golder, 2021a), ainsi que celui obtenu pour la condition statique, en considérant une vidange rapide en aval de la cellule PR1C.

Tableau 1: Facteurs de sécurité visé et obtenus en condition statique, cellule PR1C secteur digue 5

	F.S. visé	F.S. calculé Configuration actuelle	F.S. calculé Vidange rapide
Condition statique	1.5	1.6	1.6

Les figures suivantes montrent les cercles de rupture obtenus pour les deux cas analysés soient, en condition actuelle et en condition de vidange rapide.

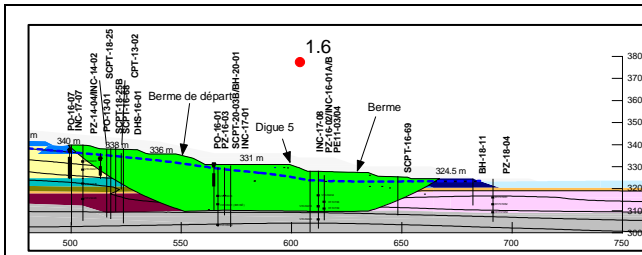


Figure 1 : Cercle de rupture pour le facteur de sécurité minimum obtenu en condition statique pour la configuration actuelle – bassin avec une élévation du niveau de l'eau à 323 m.

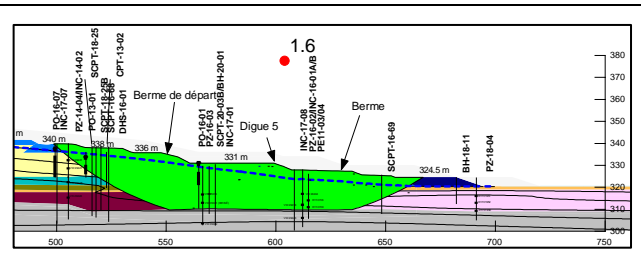


Figure 2 : Cercle de rupture pour le facteur de sécurité minimum obtenu en condition de vidange rapide – bassin vide.

On remarque que le cercle de rupture associé au facteur de sécurité minimum est similaire d'une analyse à l'autre, ce qui confirme que le niveau de l'eau dans les analyses n'influence pas de manière notable le résultat obtenu. Ce résultat confirme par le fait même que la berme conçue dans le cadre du rapport de Golder (2021a) et construite en mars 2021 (Golder, 2021b) satisfait la stabilité en condition statique en cas de vidange rapide du bassin. Il est à noter que le régime de pressions interstitielles utilisé dans les fondations est le même d'une analyse à l'autre. Ainsi, seul le niveau d'eau dans le bassin a été changé d'une analyse à l'autre. Le facteur de sécurité minimum reste toutefois inchangé lorsque le niveau de l'eau dans le bassin est abaissé pour simuler un cas de vidange rapide.

RÉFÉRENCE

Golder Associés Ltée (2021a), *Mise à jour de la conception de la cellule PR1C – Secteur digue 5, Mine Canadian Malartic*, Québec. No. réf. 0233-19115345-21502-RF-Rev0.

Golder Associés Ltée (2021b), *Construction des bermes intérimaires à la Digue 5, Mine Canadian Malartic*, Québec. No. réf. 0582-20439682-21206-Rev0.

Golder Associés Ltée

Michaël Demers Bonin, ing., M.Sc.A.
 Ingénieur en géotechnique

Marielle Limoges Shagetz, ing
 Ingénieure en géotechnique

MLS/MDB/LG/em

ANNEXE RQCM-3

MEMORANDUM TECHNIQUE**DATE** 08 avril 2022**N° de référence** 0785-20439682-51108-QCM3-Rev0**À** Nathalie Tremblay | Directrice environnement
Mine Canadian Malartic**C.C****DE** Michaël D. Bonin et Laurent Gareau**ADRESSE COURRIEL** ematos@golder.com**DÉVELOPPEMENT DES CELLULES PR7 ET PR8 – RÉPONSE À LA QUESTION QCM-3 DU MELCC****1.0 MISE EN CONTEXTE**

En tant de concepteur, Golder Associées Ltée (Golder) a été mandatée par MCM pour réponse à la question QCM-3 des Questions et commentaires pour la demande de modification du décret 388-2017 de la mine Canadian Malartic – Projet d'agrandissement du parc à résidus sur le territoire de la Municipalité de Malartic par Canadian Malartic GP Dossier 3211-16-013. La question du ministère est reprise ci-dessous, suivie de la réponse de Golder dans les sous-sections suivantes.

Question

QCM - 3 *Selon l'initiateur, les analyses de stabilité de la berme PR7 ont été réalisées en considérant la mise en place d'une clé de stabilité composée d'enrochement sous la berme, et ce, dans le secteur où le dépôt de sols cohérents est le plus important. L'initiateur doit fournir les analyses de stabilité qui ont été réalisées, notamment celles qui démontrent la capacité portante du sol sous les cellules PR7 et PR8.*

De plus, le promoteur doit présenter les détails de la construction et de l'exploitation des deux nouvelles cellules au moment des demandes d'autorisation en vertu de l'article 22 de la LQE, notamment en ce qui a trait à la mise en place d'un remblai de matériaux de faible perméabilité pour assurer des mesures d'étanchéité visant à protéger les eaux souterraines, ainsi qu'un rapport détaillant les analyses de stabilité réalisées, incluant une évaluation des tassements et du potentiel de liquéfaction. Enfin, l'initiateur devra démontrer qu'il respecte toutes les exigences de la section 2.9.3 de la Directive 019 sur l'industrie minière.

Réponse

En réponses à la première question, la section 2.0 ci-dessous résume les résultats des analyses de stabilité réalisées à l'endroit des bermes PR7 et PR8. En ce qui concerne la capacité portante, la réponse élaborée se trouve à la section 3.0.

Pour le deuxième paragraphe de la question, les détails de la construction et de l'exploitation des nouvelles cellules seront présentés dans le rapport de conception qui sera émis en support à la demande du certificat d'autorisation pour la cellule correspondante.

2.0 ANALYSES DE STABILITÉ

Cette section présente les résultats des analyses de stabilité des bermes PR7 (2.1) et PR8 (2.2).

2.1 PR7

Des analyses de stabilité préliminaires ont été réalisées à l'endroit de la coupe critique dans le bassin Sud-Est (BSE) afin de s'assurer que le concept de la berme PR7 à l'élévation 354 m permettra de satisfaire les critères de conception. Les analyses de stabilité réalisées considèrent la mise en place d'une clé de stabilité dans le secteur où le dépôt de sols cohérents est le plus important.

Ces analyses ont été réalisées sur la base de notre expérience et des caractérisations in situ et en laboratoire des matériaux de remblai (résidus miniers CM et stériles miniers) et des sols de fondation du site de MCM.

Le tableau 1 présente un sommaire des facteurs de sécurité de même que les critères visés applicables. L'annexe A présente les surfaces de rupture, les paramètres de résistance au cisaillement de même que les facteurs de sécurité associés aux analyses de stabilité par équilibre aux limites réalisées pour la berme PR7 à l'élévation 354 m. Les facteurs de sécurité obtenus sont supérieurs aux critères visés pour les trois conditions analysées. Il à noter que les facteurs de sécurité diffèrent de ceux présentés dans Golder (2021)¹ en raison de l'utilisation de paramètres de résistance au cisaillement mis à jour pour tenir compte de la plus récente caractérisation géotechnique des résidus miniers.

La géométrie de la berme PR7 se précise dans le temps et diffère du concept original (Golder, 2021). Ainsi, la géométrie montrée à l'annexe A comprend une crête de 10 m de largeur à l'élévation 354 m, une pente aval de 2H :1V et une pente amont de 2H :1V entre les élévations 334 m et 354 m, mais de 3H :1V en-dessous de 334 m. De plus, les analyses de stabilité démontrent qu'une clé d'une largeur minimale de 40 m à la base est requise. Ces analyses demeurent préliminaires et la géométrie finale de la berme PR7 seront présentées lors du dépôt de la demande de certificat d'autorisation pour la cellule PR7. À noter que d'autres coupes types seront également présentées dans le rapport de conception de la cellule PR7.

Tableau 1: Facteurs de sécurité visés et obtenus pour les analyses de stabilité de la berme PR7

Phase de développement de la cellule PR7	Condition	Facteur de sécurité visé	Facteur de sécurité obtenu ¹
Construction	Statique (amont, aval et central)	1,3	À venir ²
Opération et transition vers la fermeture	Statique – pic (amont, aval et central)	1,5	1,5 (figure A-01)
	Statique – post-liquéfaction (aval et central)	1,3	1,4 (figure A-02)
	Sismique – pseudostatique 2 475 ans (aval et central)	1,1	1,3 (figure A-03)

¹ : Ces valeurs réfèrent aux résultats obtenus par la méthode optimisée dans l'annexe A.

² : L'attention a jusqu'à maintenant été portée vers les analyses de stabilité à l'élévation ultime de la berme PR7, mais cette condition sera vérifiée lors de la conception détaillée qui accompagnera la demande du certificat d'autorisation.

2.2 PR8

Les analyses de stabilité de la berme PR8 ont été réalisées conformément à la géométrie de la berme PR8 présentée dans le concept des cellules PR7 et PR8 (Golder, 2021). Toutefois, les facteurs de sécurité diffèrent de ceux présentés dans Golder (2021) en raison de l'utilisation de paramètres de résistance mis à jour pour tenir compte de la plus récente caractérisation géotechnique des résidus miniers.

Le tableau 2 présente un sommaire des facteurs de sécurité de même que les critères visés applicables. L'annexe B présente les surfaces de rupture, les paramètres de résistance au cisaillement de même que les facteurs de sécurité associés aux analyses de stabilité par équilibre aux limites réalisées pour la berme PR8. Les facteurs de sécurité obtenus sont supérieurs aux critères visés pour les trois conditions analysées.

Ces analyses sont préliminaires et la géométrie finale de la berme PR8 sera présentée lors du dépôt de la demande du certificat d'autorisation, le cas échéant.

Tableau 2: Facteurs de sécurité visés et obtenus pour les analyses de stabilité de la berme PR8

Phase de développement de la cellule PR7	Condition	Facteur de sécurité visé	Facteur de sécurité obtenu ¹
Construction	Statique (amont, aval et central)	1,3	À venir ²
Opération et transition vers la fermeture	Statique – pic (amont, aval et central)	1,5	2,5 (figure B-01)
	Statique – post-liquéfaction (aval et central)	1,3	2,5 (figure B-02)
	Sismique – pseudostatique (aval et central)	1,1	2,3 (figure B-03)

¹ : Ces valeurs réfèrent aux résultats obtenus par la méthode optimisée dans l'annexe B.

² : L'attention a jusqu'à maintenant été portée vers les analyses de stabilité à l'élévation ultime de la berme PR7, mais cette condition sera vérifiée lors de la conception détaillée qui accompagnera la demande du certificat d'autorisation.

3.0 CAPACITÉ PORTANTE

La capacité portante d'une fondation d'une digue d'un parc à résidus miniers peut être divisée en deux mécanismes distincts, soit 1) la résistance au cisaillement et 2) le tassement. Pour une digue dont la configuration comprendrait un noyau, le poinçonnement constituerait un troisième mécanisme impliqué dans l'évaluation de la capacité portante, mais ce dernier n'est pas considéré dans le cas présent en raison de la mise en place de remblais homogènes flexibles. Cet aspect est discuté dans un paragraphe suivant.

La question de la résistance au cisaillement des fondations sous les cellules PR7 et PR8 de même que sous les bermes de confinement a été traitée dans la section 2.0. Il a été démontré que les géométries proposées satisfont les critères de sécurité visés. Par exemple, un facteur de sécurité supérieur à 1.5 est atteint pour la stabilité centrale en condition statique (glissement horizontal passant par la fondation) à l'endroit des bermes PR7 et PR8.

Le parc à résidus miniers ainsi que les bermes de confinement constituent des remblais flexibles homogènes lesquels causeront des tassements des fondations dont l'amplitude variera selon la nature des sols et les propriétés de déformation correspondantes. Dans la mesure où les infrastructures sont conçues de façon à ce que le tassement anticipé n'affecte pas leur fonctionnalité où celle de leurs composantes, il est estimé que ce mécanisme ne présente pas un risque pour la performance de la structure. Dans le cas de la berme PR7, l'influence du tassement sera analysée lors de l'ingénierie détaillée de la cellule PR7 et ce, pour deux secteurs représentatifs de l'ensemble de l'empreinte, soit dans la portion du (BSE) et ailleurs sous l'empreinte.

Dans le secteur du BSE, la majorité du dépôt d'argile glacio-lacustre sera excavée sous la berme PR7 afin d'être remplacée par des stériles miniers qui constitueront la clé de stabilité tel que montrée à l'annexe A. Néanmoins, la berme PR7 se verra aménagée sur le dépôt glacio-lacustre dans certains secteurs, dont le pied de talus de la pente amont. Dans ces secteurs, l'influence des tassements sera étudiée à l'aide du logiciel SETTLE3D et les composantes telles que les filtres de la pente amont seront conçues en prévision des tassements anticipés. Les propriétés de déformation qui seront assignés à chaque matériau dans le modèle SETTLE3D seront estimées sur la base des données disponibles notamment les essais de consolidation en laboratoire pour l'argile glacio-lacustre.

Ailleurs sous l'empreinte de la section de la berme construite dans le BSE, le mort-terrain sera en majorité excavé jusqu'à l'atteinte d'un matériau granulaire compétent (till, sable dense) ou du socle rocheux selon le premier observé lors de l'excavation. Dans ce contexte, les tassements anticipés dans ces secteurs sous l'empreinte de la berme PR7 demeurent faibles. Ce même raisonnement s'applique à la berme PR8 où la nature et l'épaisseur des sols de fondation facilitent leur excavation jusqu'à l'atteinte d'un ou l'autre des critères mentionnés ci-dessus.

Références

Golder Associés Ltée-Membre de WSP, 2021. Concept des cellules de déposition PR7 et PR8, Mine Canadian Malartic, n° réf. :0610-20439682-51103-RF-Rev0.

Golder Associés Ltée



Michaël Demers Bonin, ing., M.Sc.A.
Ingénieur en géotechnique



Laurent Gareau, ing.
Ingénieur senior en géotechnique

MDB/LG/MLS/em

Pièces jointes: Annexe A : Résultats des analyses de stabilité de la berme PR7
 Annexe B : Résultats des analyses de stabilité de la berme PR8

ANNEXE A

**Résultats des analyses de stabilité
de la berme PR7**

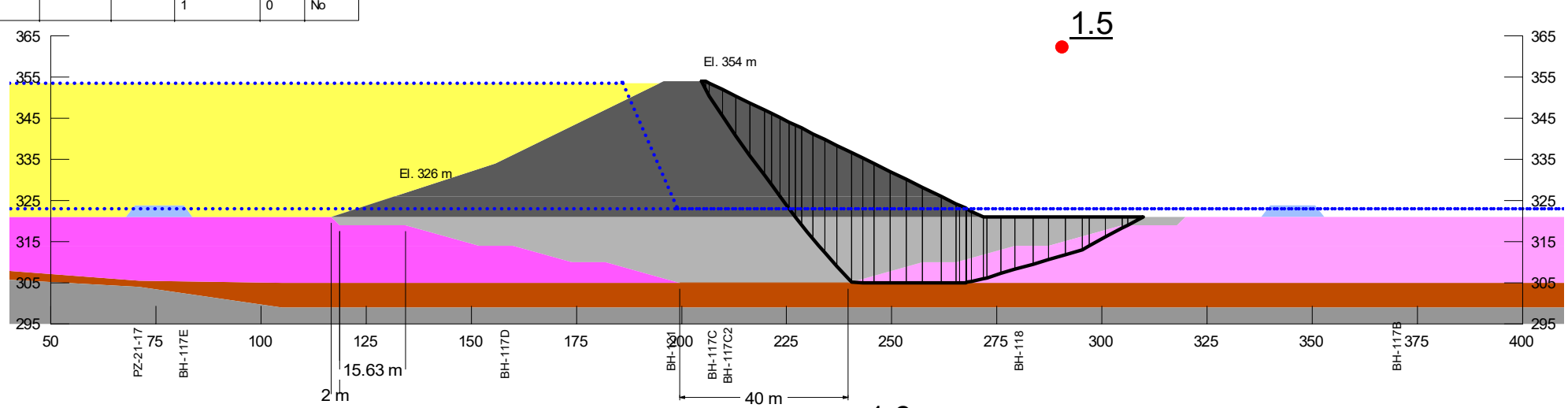
Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Function	Effective Cohesion (kPa)	Minimum Strength (kPa)	Tau/Sigma Ratio	Cohesion Fn	Effective Friction Angle (°)	Piezometric Line	B-bar	Add Weight
Light Pink	1a. Cohesive soils - Undrained OC	Spatial Mohr-Coulomb	16.5					Profil 2021	0	1	0.7	No
Dark Pink	1b. Cohesive soils - Undrained - Peak NC (0.22)	SHANSEP	16.5			23	0.22			1	0.7	No
Brown	2a. Glacial till - Drained	Mohr-Coulomb	20		0				35	2	0	No
Dark Grey	3a. Waste Rock Fill - Drained - LEPS	Shear/Normal Fn.	20.5	Leps Function (tau=1.899sig ^{0.898})						1	0	Yes
Light Grey	3b. Waste Rock Fill - Shear Key - LEPS	Shear/Normal Fn.	20.5	Leps Function (tau=1.899sig ^{0.898})						1	0	No
Blue	3c. Waste Rock Fill - Drained - 40	Mohr-Coulomb	20.5		0				40	1	0	No
Yellow	4a. Tailings - Undrained - Peak (0.31)	SHANSEP	20			0	0.31			2	0	Yes
Dark Grey	5. Bedrock	Bedrock (Impenetrable)								1	0	No

CLÉ DE STABILITÉ BERME PR7
ÉLÉVATION DE LA BERME PR7 = 354 m
CONDITION STATIQUE
Paramètres au pic - CAS 1 (0.31)

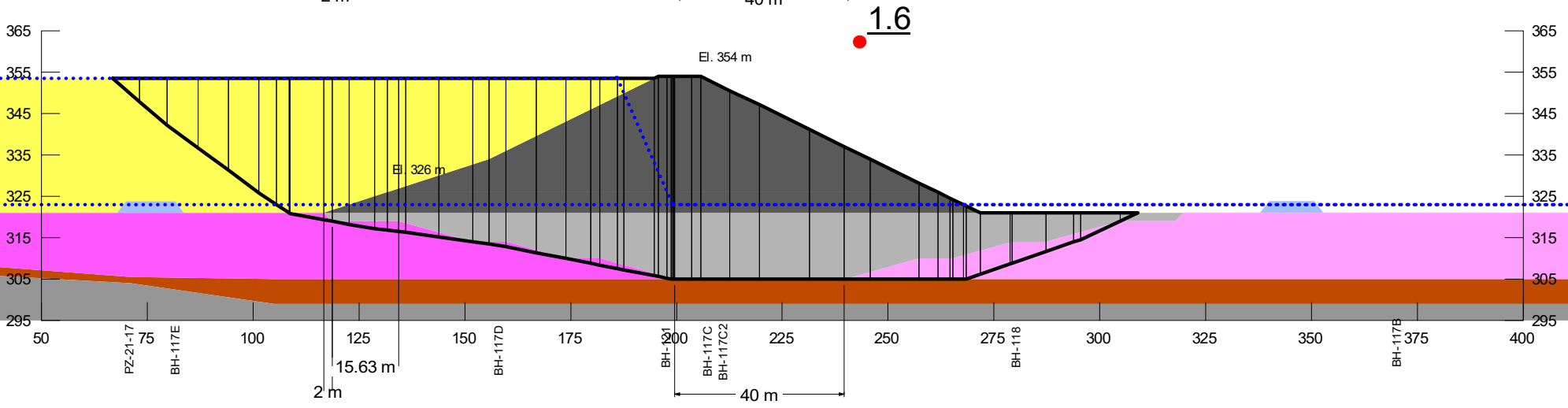
	RUPTURE CRITIQUE	AUTRE RUPTURE
FS	1,6 (1,5)	1,7 (1,6)

Les valeurs entre parenthèse présentent les facteurs de sécurité optimisés.

RUPTURE À PARTIR DE LA DIGUE



RUPTURE À PARTIR DU PARC



CLIENT
MINE CANADIAN MALARTIC

CONSULTANT
wsp GOLDER

DATE AVRIL 2022
 PRÉPARÉE R. ABOU HALKA
 RÉVISÉE M.D. BONIN
 APPROUVÉE M. LIMOGES

PROJET
DÉVELOPPEMENT DES CELLULES PR7 ET PR8 – RÉPONSE À LA QUESTION QCM-3 DU MELCC

TITRE
ANNEXE A - ANALYSES DE STABILITÉ DE LA BERME PR7 - FIGURE A-01

PROJET No. 20439682 Phase No. 51108 Rev 0 FIGURE A-01

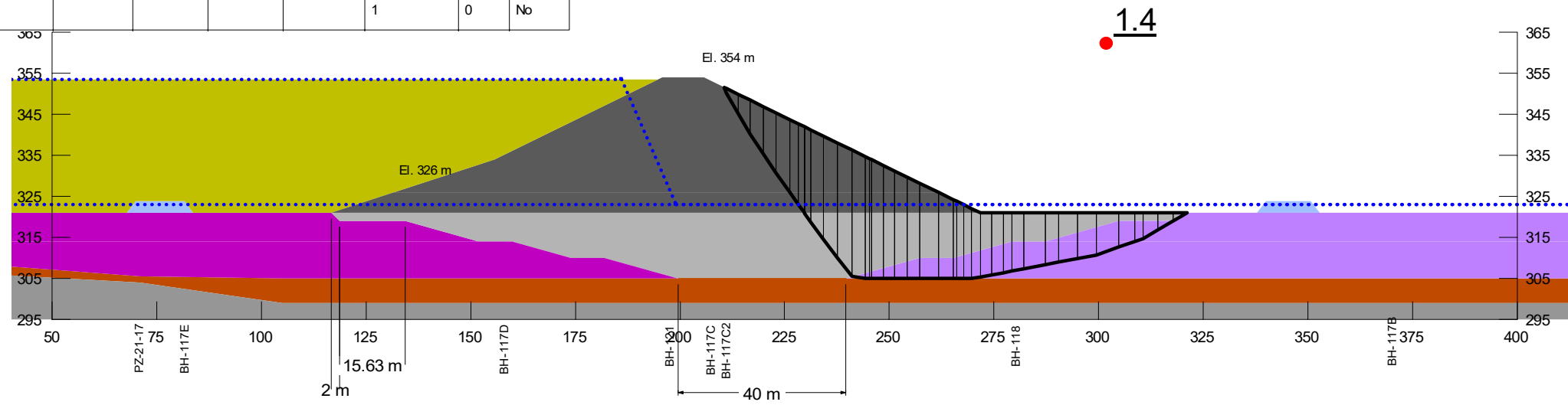
Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Function	Effective Cohesion (kPa)	Cohesion Fn	Effective Friction Angle (°)	Minimum Strength (kPa)	Tau/Sigma Ratio	Piezometric Line	B-bar	Add Weight
■	1c. Cohesive soils - Undrained - Post-Peak NC (0.17)	SHANSEP	16.5					18	0.17	1	0.7	No
■	1g. Cohesive soils - Undrained OC PP (80%)	Spatial Mohr-Coulomb	16.5			Profil 2021 80%	0			1	0	No
■	2a. Glacial till - Drained	Mohr-Coulomb	20		0		35			2	0	No
■	3a. Waste Rock Fill - Drained - LEPS	Shear/Normal Fn.	20.5	Leps Function (tau=1.899sig ^{0.898})						1	0	Yes
■	3b. Waste Rock Fill - Shear Key LEPS	Shear/Normal Fn.	20.5	Leps Function (tau=1.899sig ^{0.898})						1	0	No
■	3c. Waste Rock Fill - Drained - 40	Mohr-Coulomb	20.5		0		40			1	0	No
■	4d. Tailings - Undrained - Liquefied	SHANSEP	20					0	0.08	2	0	Yes
■	5. Bedrock	Bedrock (Impenetrable)								1	0	No

CLÉ DE STABILITÉ BERME PR7
ÉLÉVATION DE LA BERME PR7 = 354 m
CONDITION STATIQUE
Paramètres post-liquéfaction et post-pic

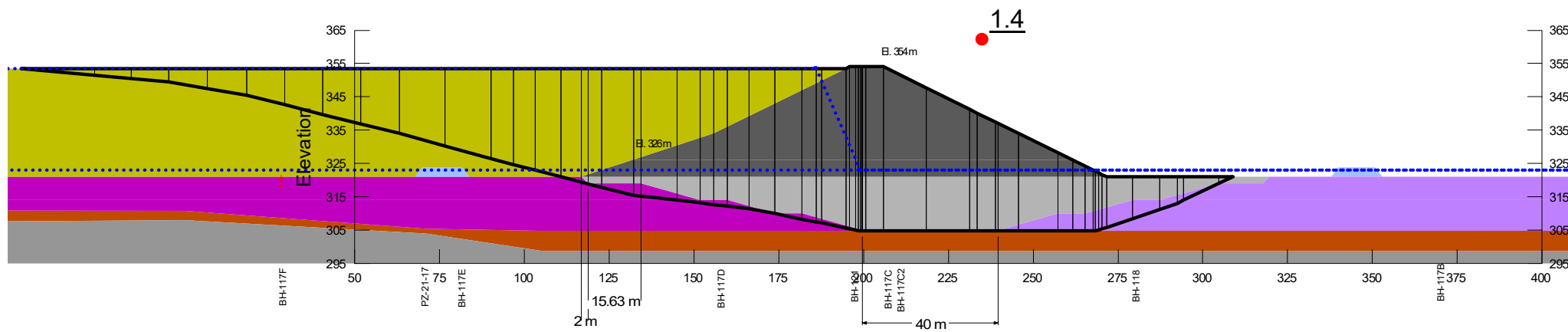
	RUPTURE CRITIQUE	AUTRE RUPTURE
FS	1,5 (1,4)	1,5 (1,4)

Les valeurs entre parenthèse présentent les facteurs de sécurité optimisés.

RUPTURE À PARTIR DE LA DIGUE



RUPTURE À PARTIR DU PARC



CLIENT
MINE CANADIAN MALARTIC

CONSULTANT

DATE AVRIL 2022
PREPARÉE R. ABOU HALKA
RÉVISÉE M.D. BONIN
APPROUVÉE M. LIMOGES

PROJET
DÉVELOPPEMENT DES CELLULES PR7 ET PR8 – RÉPONSE À LA QUESTION QCM-3 DU MELCC

TITRE
ANNEXE A - ANALYSES DE STABILITÉ DE LA BERME PR7 - FIGURE A-02

PROJET No. Phase No. Rev FIGURE
20439682 51108 0 A-02

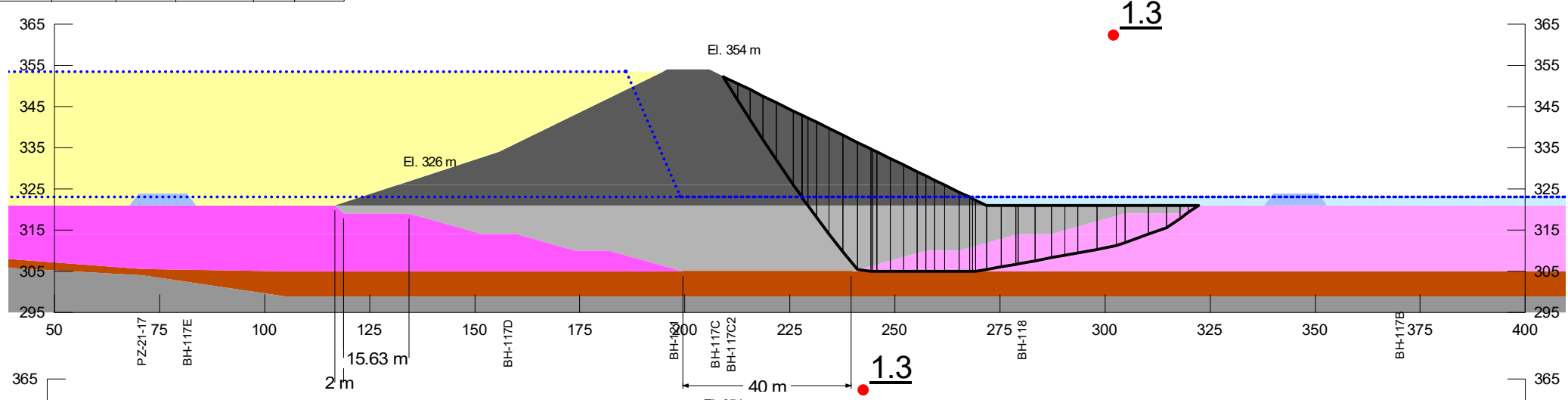
Color	Name	Slope Stability Material Model	Unit Weight (kN/m³)	Strength Function	Effective Cohesion (kPa)	Minimum Strength (kPa)	Tau/Sigma Ratio	Cohesion Fn	Effective Friction Angle (°)	Piezometric Line	B-bar	Add Weight
Light Purple	1a. Cohesive soils - Undrained OC	Spatial Mohr-Coulomb	16.5					Profil 2021	0	1	0.7	No
Dark Purple	1b. Cohesive soils - Undrained - Peak NC (0.22)	SHANSEP	16.5		23		0.22			1	0.7	No
Light Brown	2a. Glacial till - Drained	Mohr-Coulomb	20		0				35	2	0	No
Dark Brown	2b. Glacial till - Impenetrable	Bedrock (Impenetrable)								2	0	No
Dark Grey	3a. Waste Rock Fill - Drained - LEPS	Shear/Normal Fn.	20.5	Leps Function (tau=1.899sig*0.898)						1	0	Yes
Light Grey	3b. Waste Rock Fill - Shear Key - LEPS	Shear/Normal Fn.	20.5	Leps Function (tau=1.899sig*0.898)						1	0	No
Blue	3c. Waste Rock Fill - Drained - 40	Mohr-Coulomb	20.5		0				40	1	0	No
Yellow	4b. Tailings - Undrained - Peak (0.23)	SHANSEP	20		0		0.23			2	0	Yes
Dark Grey	5. Bedrock	Bedrock (Impenetrable)								1	0	No

CLÉ DE STABILITÉ BERME PR7
ÉLÉVATION DE LA BERME PR7 = 354 m
CONDITION PSEUDOSTATIQUE
Pseudostatique (kh = 0.034) (période de récurrence de 2 475 ans)

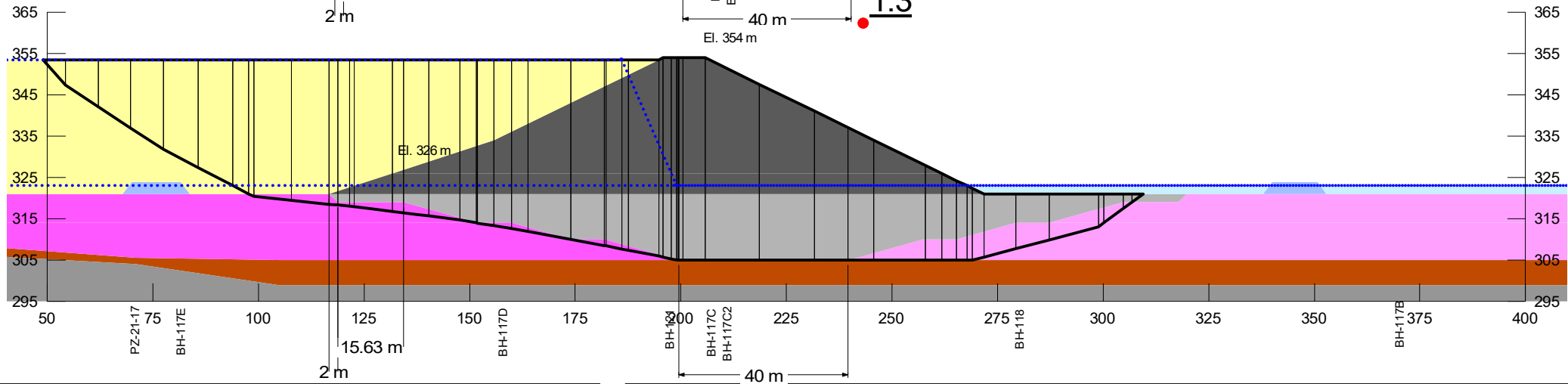
	RUPTURE CRITIQUE	AUTRE RUPTURE
FS	1,4 (1,3)	1,4 (1,3)

Les valeurs entre parenthèse présentent les facteurs de sécurité optimisés.

RUPTURE À PARTIR DE LA DIGUE



RUPTURE À PARTIR DU PARC



CLIENT
MINE CANADIAN MALARTIC

CONSULTANT



DATE AVRIL 2022
 PRÉPARÉE R. ABOU HALKA
 RÉVISÉE M.D. BONIN
 APPROUVÉE M. LIMOGES

PROJET
DÉVELOPPEMENT DES CELLULES PR7 ET PR8 – RÉPONSE À LA QUESTION QCM-3 DU MELCC

TITRE
ANNEXE A - ANALYSES DE STABILITÉ DE LA BERME PR7 - FIGURE A-03

PROJET No. 20439682 Phase No. 51108 Rev 0 FIGURE A-03

ANNEXE B

**Résultats des analyses de stabilité
de la berme PR8**

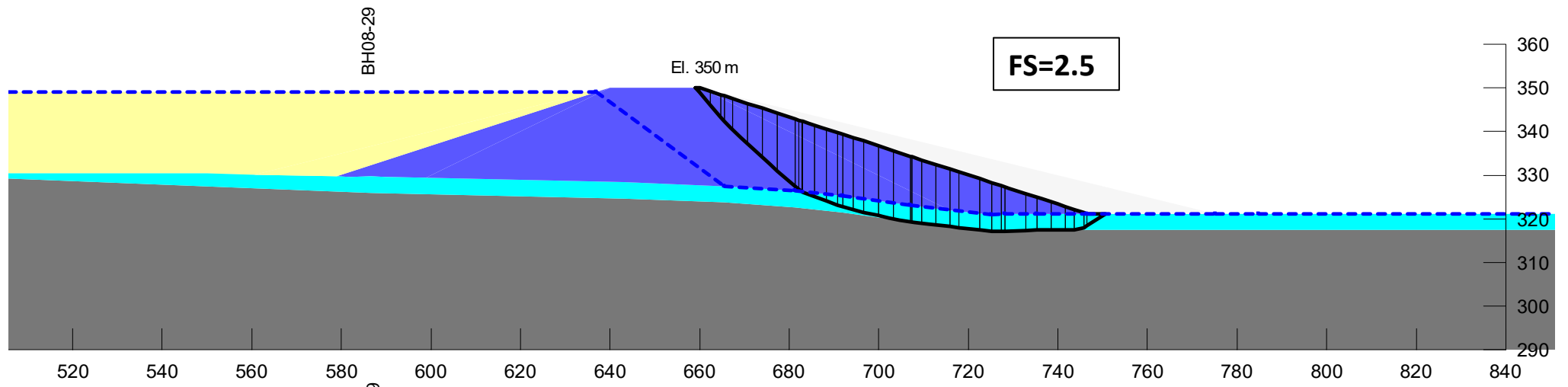
Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Minimum Strength (kPa)	Tau/Sigma Ratio	Strength Function	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
Blue	a. Dike Fill Materials	Shear/Normal Fn.	20.5			LEPS 1.899s'0.898			0	1
Cyan	b. Glacial Till (drained)	Mohr-Coulomb	20				0	35	0	1
Yellow	c. Tailings - Undrained - Peak (0.31)	SHANSEP	20	5	0.31					1
Grey	7. Socle rocheux	Bedrock (Impenetrable)								1

BERME PR8
ÉLÉVATION DE LA BERME PR8 = 350 m
CONDITION STATIQUE
Paramètres au pic - CAS 1 (0.31)

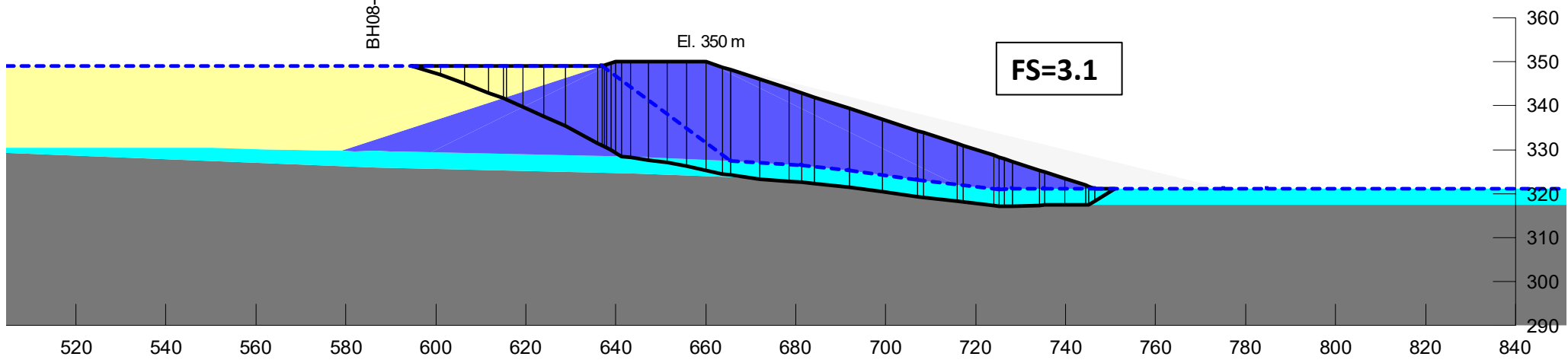
	RUPTURE CRITIQUE	AUTRE RUPTURE
FS	2.6 (2.5)	3,4 (3,1)

Les valeurs entre parenthèse présentent les facteurs de sécurité optimisés.

RUPTURE À PARTIR DE LA DIGUE



RUPTURE À PARTIR DU PARC



CLIENT
MINE CANADIAN MALARTIC

CONSULTANT

DATE AVRIL 2022
 PRÉPARÉE R. ABOU HALKA
 RÉVISÉE M.D. BONIN
 APPRouvÉE M. LIMOGES

PROJET
DÉVELOPPEMENT DES CELLULES PR7 ET PR8 – RÉPONSE À LA QUESTION QCM-3 DU MELCC
 TITRE
ANNEXE B - ANALYSES DE STABILITÉ DE LA BERME PR8 - FIGURE A-01

PROJET No. 20439682	Phase No. 51108	Rev 0	FIGURE B-01
------------------------	--------------------	----------	----------------

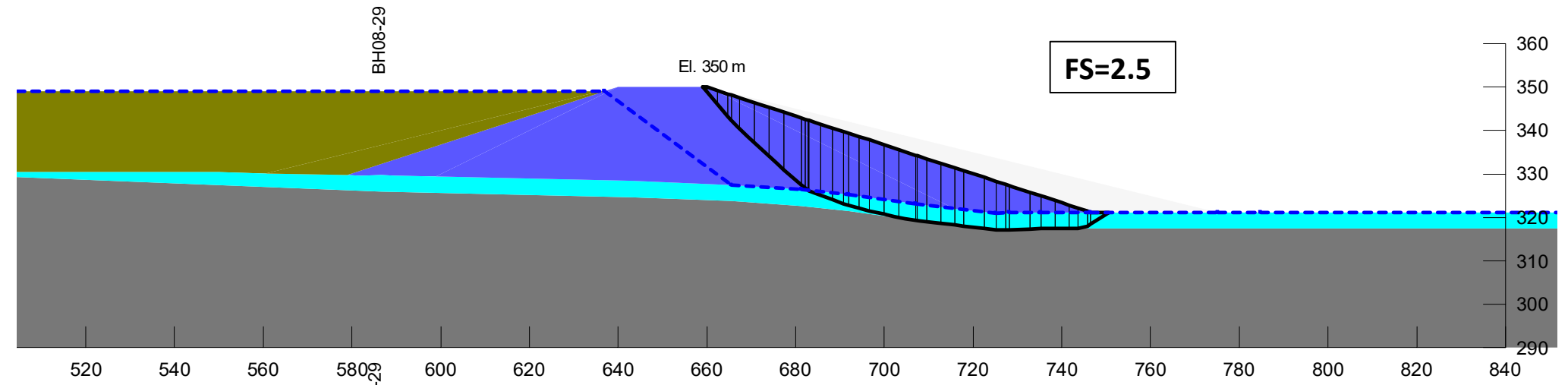
Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Minimum Strength (kPa)	Tau/Sigma Ratio	Strength Function	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
■	a. Dike Fill Materials	Shear/Normal Fn.	20.5			LEPS 1.899s'0.898			0	1
■	b. Glacial Till (drained)	Mohr-Coulomb	20				0	35	0	1
■	c. Tailings - Undrained - Liquefied (0.08)	SHANSEP	20	5	0.08					1
■	7. Socle rocheux	Bedrock (Impenetrable)								1

BERME PR8
ÉLÉVATION DE LA BERME PR8 = 350 m
CONDITION STATIQUE
Paramètres post-liquéfaction

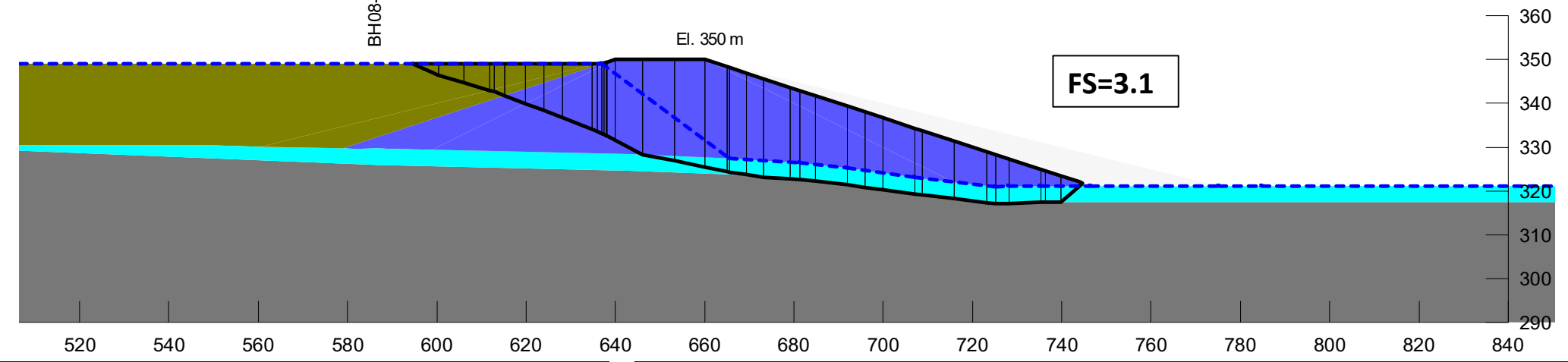
	RUPTURE CRITIQUE	AUTRE RUPTURE
FS	2,6 (2,5)	3,5 (3,1)

Les valeurs entre parenthèse présentent les facteurs de sécurité optimisés.

RUPTURE À PARTIR DE LA DIGUE



RUPTURE À PARTIR DU PARC



CLIENT
MINE CANADIAN MALARTIC

CONSULTANT



DATE AVRIL 2022
PREPARÉE R. ABOU HALKA
RÉVISÉE M.D. BONIN
APPROUVÉE M. LIMOGES

PROJET
DÉVELOPPEMENT DES CELLULES PR7 ET PR8 – RÉPONSE À LA QUESTION QCM-3 DU MELCC

TITRE
ANNEXE B - ANALYSES DE STABILITÉ DE LA BERME PR8 - FIGURE A-02

PROJET No. 20439682	Phase No. 51108	Rev 0	FIGURE B-02
------------------------	--------------------	----------	----------------

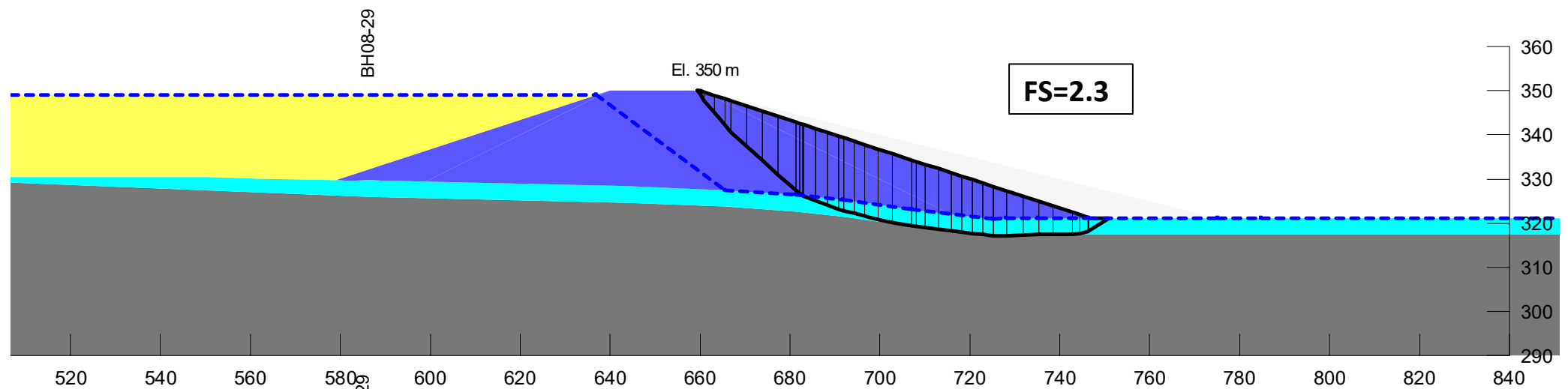
Color	Name	Slope Stability Material Model	Unit Weight (kN/m³)	Minimum Strength (kPa)	Tau/Sigma Ratio	Strength Function	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
■	a. Dike Fill Materials	Shear/Normal Fr.	20.5			LEPS 1.899s'0.898			0	1
■	b. Glacial Till (impenetrable)	Bedrock (Impenetrable)								1
■	c. Tailings - Undrained - Peak (0.23)	SHANSEP	20	5	0.23					1
■	7. Socle rocheux	Bedrock (Impenetrable)								1

BERME PR8
ÉLÉVATION DE LA BERME PR8 = 350 m
CONDITION PSEUDOSTATIQUE
Pseudostatique (kh = 0.034) (période de récurrence de 2 475 ans)

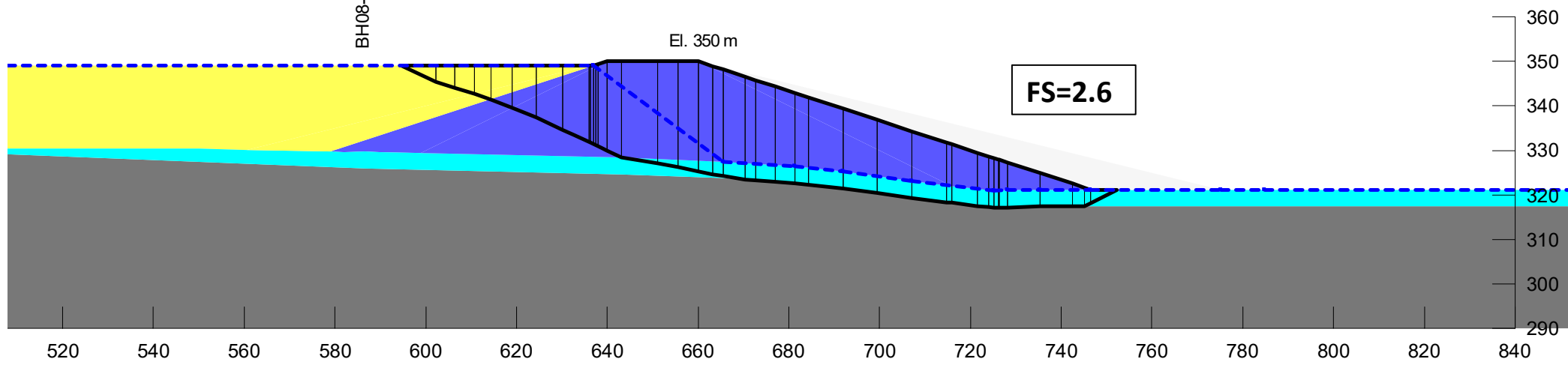
	RUPTURE CRITIQUE	AUTRE RUPTURE
FS	2,3 (2,3)	2,8 (2,6)

Les valeurs entre parenthèse présentent les facteurs de sécurité optimisés.

RUPTURE À PARTIR DE LA DIGUE



RUPTURE À PARTIR DU PARC



CLIENT
MINE CANADIAN MALARTIC

CONSULTANT

DATE AVRIL 2022
 PRÉPARÉE R. ABOU HALKA
 RÉVISÉE M.D. BONIN
 APPROUVÉE M. LIMOGES

PROJET
DÉVELOPPEMENT DES CELLULES PR7 ET PR8 – RÉPONSE À LA QUESTION QCM-3 DU MELCC

TITRE
ANNEXE B - ANALYSES DE STABILITÉ DE LA BERME PR8 - FIGURE A-03

PROJET No. 20439682	Phase No. 51108	Rev 0	FIGURE B-03
------------------------	--------------------	----------	----------------

ANNEXE RQCM-4

MEMORANDUM TECHNIQUE

DATE 6 avril 2022

N° de référence 0786-20439682-51108-QCM-4-Rev0

À Nathalie Tremblay
Mine Canadian Malartic

C.C

DE Pierre Groleau

ADRESSE COURRIEL pgroleau@golder.com

DÉVELOPPEMENT DES CELLULES PR7 ET PR8 – RÉPONSE À LA QUESTION QCM-4 DU MELCC

En tant que concepteur, Golder Associés Ltée (Golder) a été mandatée par Mine Canadian Malartic (MCM) pour répondre à la question QCM-4 des Questions et commentaires pour la demande de modification du décret 388-2017 de la mine Canadian Malartic – Projet d'agrandissement du parc à résidus sur le territoire de la Municipalité de Malartic par Canadian Malartic GP Dossier 3211-16-013. La question du ministère est reprise ci-dessous, suivie de la réponse de Golder.

Question

QCM - 4 *L'initiateur doit clarifier si le concept de la berme PR7 prévoit une étanchéisation du côté du BSE. Entre autres, des explications doivent être fournies concernant le régime anticipé d'écoulement des eaux à travers la berme, en prenant en considération le niveau des eaux souterraines (zone saturée en eau) dans la cellule PR7 et le niveau d'eau dans le BSE.*

Réponse

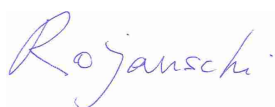
Comme pour les autres structures de rétention du parc à résidus épaissis de la mine Canadian Malartic (MCM), le concept de la berme PR7 est sans retenue d'eau, donc sans étanchéisation. À MCM, la plupart des structures de rétention des résidus ne sont pas étanches afin que l'eau interstitielle des résidus puisse s'écouler à travers les structures de rétention vers l'extérieur du parc pour être ensuite collectée via des fossés périphériques. Le fait de ne pas accumuler d'eau dans le parc à résidus favorise la stabilité géotechnique des aménagements et la protection des eaux souterraines.

Ainsi, dans la cellule PR7, l'eau interstitielle pourra s'écouler à travers la berme PR7 vers le bassin Sud-Est (BSE). Une partie de cette eau s'écoulera également vers le fossé périphérique au sud de la cellule PR7 qui collectera cette eau pour la déverser au BSE. Même si la berme PR7 n'est pas étanche, un système de gestion de l'eau de contact sera mis en place via un déversoir opérationnel. Au début de la déposition des résidus dans cette cellule, l'élévation de la plage de résidus sera plus basse que le seuil initial du déversoir. Pendant cette période, l'eau accumulée dans la cellule PR7 sera évacuée soit par un déversoir temporaire, par pompage ou par des siphons vers le BSE.

Concernant le niveau d'eau dans le BSE, selon le bilan d'eau d'ici 2039, les niveaux d'eau dans le BSE varient, avec les conditions climatiques et avec les saisons, de 319,2 m à 322,2 m (valeurs médianes) et de 320,4 m à 324,0 m (valeurs 95^e percentile). Le niveau du BSE est généralement haut avant l'arrivée du gel pour assurer l'alimentation en eau de l'usine de traitement du minerai durant l'hiver. Ce niveau diminue par la suite jusqu'au dégel, moment où le niveau cible est de 321,5 m pour pouvoir absorber la crue printanière. En considérant que le fond de la cellule PR7 est à une élévation généralement supérieure à 321 m, il est anticipé qu'il y aura peu d'eau du BSE dans le secteur de la cellule PR7 avant le début de la déposition des résidus. Cette eau sera évacuée vers le BSE via le système de gestion de l'eau en place, comme décrit ci-dessus.

Durant la déposition des résidus dans la cellule PR7 et jusqu'à la fermeture, avant la mise en place d'un recouvrement, le niveau de la nappe phréatique dans les résidus demeurera près de la surface des résidus. Le régime d'écoulement anticipé sera similaire à celui observé dans le parc à résidus où l'eau interstitielle des résidus s'écoule principalement vers les structures périphériques. Cette eau s'écoulera donc vers la berme PR7 et le BSE. En fermeture, les mêmes concepts de fermeture que ceux du parc à résidus actuel seront mis en place à la cellule PR7.

Golder Associés Ltée



Vlad Rojanshi, P.Eng., Dr.-Ing.
Ingénieur senior en Ressources en eau



Pierre Groleau, ing., M.Sc.
Ingénieur senior en hydrogéologie

PG/MLS/VR/cd

ANNEXE RQCM-5

MEMORANDUM TECHNIQUE

DATE 6 avril 2022

0787-20439682-51108-QCM-5-Rev0

À Nathalie Tremblay
Directrice environnement, Mine Canadian Malartic

C.C

DE Vlad Rojanschi et Marielle Limoges

ADRESSE COURRIEL : ematos@golder.com

DÉVELOPPEMENT DES CELLULES PR7 ET PR8 – RÉPONSE À LA QUESTION QCM-5 DU MELCC

En tant de concepteur, Golder Associés Ltée (Golder) a été mandatée par MCM pour réponse à la question QCM-5 des Questions et commentaires pour la demande de modification du décret 388-2017 de la mine Canadian Malartic – Projet d'agrandissement du parc à résidus sur le territoire de la Municipalité de Malartic par Canadian Malartic GP Dossier 3211-16-013. La question du ministère est reprise ci-dessous, suivie de la réponse de Golder.

Question

QCM - 5 Selon l'initiateur, le fossé PR7 aura une longueur totale d'environ 1,2 km et sera construit partiellement en remblai et en excavation. La profondeur maximale d'excavation atteindra 14 m. L'initiateur doit expliquer comment l'aménagement des fossés profonds à proximité immédiate de l'aire d'accumulation des résidus miniers pourra être effectué sans affecter la stabilité géotechnique de la berme PR7. Le cas échéant, l'initiateur doit expliquer comment la présence des excavations de 14 m de profondeur a été prise en compte dans les analyses de stabilité de la berme PR7.

Réponse

L'ingénierie détaillée du fossé PR7 est actuellement (avril 2022) en préparation en même temps que l'ingénierie détaillée de la berme PR7. Toutes les analyses techniques préparées dans le cadre de la conception seront documentées dans le rapport de conception de la cellule PR7.

Tel que mentionné dans la question du Ministère, le fossé PR7 a une longueur prévue d'environ 1,2 km. La profondeur du fossé varie entre un maximum d'environ 14 m et un minimum d'environ 1 m en fonction de la topographie du terrain naturel au pied de la berme PR7. Des digues de rétention d'eau sont prévues du côté sud du fossé aux endroits, où le niveau d'eau de crue dépasse l'élévation du terrain naturel; les digues empêcheront un déversement vers l'environnement lors de la crue de conception du fossé. La distance entre le haut du talus du fossé PR7 et le pied de talus aval de la berme PR7 variera entre 3 m et 22 m environ le long de son alignement. Ces dimensions sont préliminaires et pourront être modifiées pendant l'ingénierie détaillée.

Pour les segments du fossé PR7 où sa profondeur est la plus importante, le socle rocheux est très proche de la surface (entre 0 et 1 m) tandis qu'il se trouve à environ 1 m à 2 m sous la surface pour les segments de plus faible profondeur.

Les analyses de stabilité pour la conception de la berme PR7 seront réalisées pour plusieurs coupes en deux dimensions aux endroits jugés les plus défavorables. La présence du fossé PR7 sera prise en considération dans le choix des coupes. Néanmoins, en raison de la faible profondeur du socle rocheux, il est estimé que le fossé PR7 n'influencera pas de manière significative la stabilité de la berme PR7. La géométrie et les matériaux de construction de la berme seront tout de même ajustés de façon que les critères de stabilité applicables soient satisfaits sur l'ensemble de l'alignement de la berme PR7.

Golder Associés Ltée



Vlad Rojanschi, ing., Dr.-Ing.
Ingénieur ressources en eau



Marielle Limoges Shaiget, ing
Ingénieure en géotechnique

VR/MLS/em

ANNEXE RQCM-7

MEMORANDUM TECHNIQUE

DATE 11 avril 2022

0788-20439682-51108-QCM-7-Rev0

À Nathalie Tremblay
Mine Canadian Malartic

C.C

DE Pierre Groleau

ADRESSE COURRIEL pgrroleau@golder.com

DÉVELOPPEMENT DES CELLULES PR7 ET PR8 – RÉPONSE À LA QUESTION QCM-7 DU MELCC

En tant que concepteur, Golder Associés Ltée (Golder) a été mandatée par Mine Canadian Malartic (MCM) pour répondre à la question QCM-7 des Questions et commentaires pour la demande de modification du décret 388-2017 de la mine Canadian Malartic – Projet d’agrandissement du parc à résidus sur le territoire de la Municipalité de Malartic par Canadian Malartic GP Dossier 3211-16-013. La question du ministère est reprise ci-dessous, suivie de la réponse de Golder.

Question

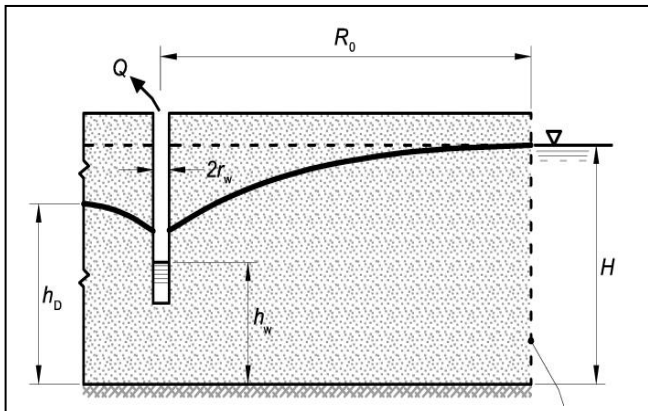
QCM - 7 *La profondeur des excavations qui seront réalisées pour aménager les fossés de collecte des eaux autour des nouvelles cellules PR7 et PR8 peut atteindre jusqu’à 14 m. En prenant en considération la proximité de la zone saturée des eaux souterraines, l’initiateur doit indiquer si des exfiltrations des eaux souterraines sont attendues dans les fossés. En outre, les données concernant la position du radier des futurs fossés par rapport à la surface de la zone saturée en eau doivent être fournies. Le cas échéant, l’initiateur doit expliquer si les quantités d’eaux souterraines drainées par les fossés de collecte ont été prises en compte dans le bilan des eaux gérées dans le BSE.*

Réponse

Le fossé de la cellule PR8 sera peu profond (profondeurs de 1 m à 2 m) et les exfiltrations d’eau souterraine dans ce fossé sont considérées comme négligeables. Le fossé PR7 aura une profondeur moyenne d’environ 5 m sur une longueur d’environ 1200 m. En considérant que la nappe phréatique est à environ 1 m de profondeur sur le site de MCM, la position du radier du fossé PR7 sera principalement sous le niveau de cette nappe. Des exfiltrations d’eau souterraine sont donc attendues dans ce fossé. Le débit des exfiltrations d’eau souterraine dans le fossé PR7 peut être estimé en utilisant l’équation analytique de Mansur et Kaufman (1962)¹ :

$$Q = \left[\left(0.73 + 0.27 \frac{(H - h_w)}{H} \right) \frac{Kx}{2R_0} (H^2 - h_w^2) \right]$$

¹ Mansur, C.I., and R.I. Kaufman, 1962: Dewatering, Chapter 3 in Foundation Engineering, G.A. Leonards (ed.), McGraw-Hill Book Company, New York, New York, pp. 241-350.



Où:

$H = 5$ m, soit la profondeur moyenne du fossé PR7 en considérant une nappe phréatique à la surface (hypothèse prudente)

$H_w = 1$ m, soit le niveau d'eau moyen estimé dans le fossé PR7

$K = 4 \times 10^{-7}$ m/s, soit la conductivité hydraulique moyenne du roc supérieur estimée avec le modèle hydrogéologique calibré pour le site de MCM, en considérant que le fossé PR7 sera aménagé principalement dans le roc

$X = 1200$ m, soit la longueur du fossé proposé

$R_0 = 15$ m, soit le rayon d'influence (ou la distance de rabattement) estimé

L'exfiltration de l'eau souterraine est attendue à s'écouler majoritairement d'un seul côté

Le débit des exfiltrations (Q) ainsi estimé est de $31 \text{ m}^3/\text{jour}$ par rapport à un débit moyen total dans le fossé PR7 estimé à $7\,600 \text{ m}^3/\text{j}$. Il est à noter que cette estimation repose sur des hypothèses et représente un ordre de grandeur du débit des exfiltrations d'eau souterraine anticipées dans le fossé de la cellule PR7. Cette quantité d'eau n'a pas été considérée dans le bilan d'eau, car elle est négligeable parmi les différents apports d'eau de ce bilan, tel que présenté dans le document de Golder (N/Réf. 0610-20439682-51103-RF-Rev0). Le débit des exfiltrations est aussi négligeable par rapport aux débits de crue dans le fossé PR7; le débit de conception, soit le débit de crue 1 :100 ans, a été estimé à environ $13 \text{ m}^3/\text{s}$ ou $1,1 \text{ M m}^3/\text{jour}$, soit quatre ordres de grandeur de plus que le débit des exfiltrations.

Golder Associés Ltée

Vlad Rojanschi, ing., Dr.
Ingénieur ressource en eau

Pierre Groleau, ing., M.Sc.
Ingénieur en hydrogéologie

ANNEXE RQCM-9

MEMORANDUM TECHNIQUE**DATE** 8 avril 2022

0789-20439682-51108-QCM-9-Rev0

À Nathalie Tremblay
Mine Canadian Malartic**C.C****DE** Pierre Groleau**ADRESSE COURRIEL** pgrroleau@golder.com**DÉVELOPPEMENT DES CELLULES PR7 ET PR8 – RÉPONSE À LA QUESTION QCM-9 DU MELCC**

En tant que concepteur, Golder Associés Ltée a été mandatée par Mine Canadian Malartic (MCM) pour répondre à la question QCM-9 des Questions et commentaires pour la demande de modification du décret 388-2017 de la mine Canadian Malartic – Projet d'agrandissement du parc à résidus sur le territoire de la Municipalité de Malartic par Canadian Malartic GP Dossier 3211-16-013. La question du ministère est reprise ci-dessous, suivie de la réponse de Golder.

Question

QCM - 9 Selon l'initiateur, l'évaluation des débits de percolation sous l'empreinte des futures cellules PR7 et PR8 montre un dépassement systématique de la valeur de 3,3 l/m²/j suggérer par la Directive 019 sur l'industrie minière. Il est donc prévu de fortifier les endroits problématiques par l'ajout de matériaux de faible perméabilité. Pour le calcul du taux de percolation (voir le tableau A de l'annexe B2), l'initiateur a ajouté une couche uniforme de 10 m de résidus épais sur l'ensemble du site (PR7 et PR8). Cette démonstration n'est pas recevable. Seules les conditions naturelles sur le terrain doivent être prises en compte pour le calcul du taux de percolation (sans prendre en considération l'accumulation anticipée des résidus miniers solides ni aucune autre mesure d'imperméabilisation du site). L'initiateur doit donc refaire le calcul du taux de percolation en simulant le pire scénario (conditions naturelles sur place avec une charge hydraulique maximale).

Réponse

L'approche de calcul du débit de percolation qui a été présentée est une évaluation préliminaire (N/Réf. 0610-20439682-51103-RF-Rev0). Elle vise à évaluer le besoin d'améliorer le substrat du parc à résidus pour satisfaire les objectifs de protection des eaux souterraines énoncés par la Directive 019. Cette approche a d'ailleurs permis d'identifier que plus de 70% des positions évaluées pourraient requérir une amélioration du substrat. Il est à noter que cette même approche a déjà été utilisée avec succès pour le projet d'extension de la mine Canadian Malartic.

Le scénario considéré pour le calcul du débit de percolation suppose l'accumulation de 10 m de résidus épais déposés sur le sol, des résidus complètement saturés et l'existence d'un gradient hydraulique unitaire dans le profil vertical ($dh/dz = 1$ m). Ce scénario est également valable pour une épaisseur supérieure de résidus, car le gradient hydraulique vertical demeure unitaire. L'emploi d'un gradient hydraulique unitaire à travers le profil vertical représente un cas extrême, car il suppose que le niveau d'eau dans l'aquifère de roc est au contact des dépôts meubles alors qu'il est généralement plus élevé sur le site. Ainsi, le gradient hydraulique vertical réellement attendu

sera plus faible. De plus, il est important de rappeler que les structures de rétention du parc à résidus de MCM, incluant les bermes PR7 et PR8 proposées, sont des structures perméables. Comme pour le parc à résidus existant, les nouvelles cellules PR7 et PR8 sont donc sans retenue d'eau et la charge hydraulique effective sur le substrat du parc à résidus demeure plus faible que celle employée pour cette évaluation préliminaire. À la demande du Ministère, le tableau ci-joint présente le calcul du débit de percolation avec et sans la couche de résidus épaissis.

Comme mentionné dans la documentation déposée pour la demande de modification de décret (N/Réf. 0610-20439682-51103-RF-Rev0) :

Malgré les évidences stratigraphiques et géomorphologiques disponibles, la délimitation des zones qui pourraient nécessiter une amélioration du substrat est pour le moment approximative. Des travaux additionnels seront requis avant les phases de conception détaillée et de construction des aménagements afin d'en préciser l'extension exacte.

Ces travaux comprendront notamment une étude de modélisation numérique pour prédire avec plus de précision le débit de percolation attendu et déterminer si le substrat permettra de respecter les objectifs de protection de l'eau souterraine, selon la section 2.3.1 de la Directive 019. Lorsque des mesures d'amélioration du substrat seront requises, le modèle numérique évaluera si ces mesures permettront de respecter les objectifs de protections de l'eau souterraine. Cette étude sera déposée avec la demande d'autorisation en vertu de l'article 22 de la Loi sur la qualité de l'environnement. Cette demande inclura également les données des travaux de caractérisation additionnels à l'emplacement des deux cellules et leur interprétation, notamment l'évaluation des conductivités hydrauliques verticales.

À cette étape du projet de développement des cellules PR7 et PR8, l'étude de modélisation réalisée pour le projet Extension Canadian Malartic (N/Réf. 062-13-1221-0020-2020-Rev4) est jugée adéquate pour une première évaluation du respect des objectifs de protection des eaux souterraines. Le contexte hydrogéologique de cette étude, notamment la stratigraphie, est similaire à celui des cellules PR7 et PR8. De plus, dans le cas de l'Extension, l'épaisseur de résidus déposés dans le parc était jusqu'à deux fois plus importante. Cette étude concluait :

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. (...) 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.

Par ailleurs, il n'y a pas d'impact réel ou appréhendé aux récepteurs d'eau souterraine sur la base du suivi des eaux souterraines réalisé à MCM depuis 2011, ce qui indique la bonne performance des aménagements mis en place.

Cordialement,

Golder Associés Ltée



Jennifer Lallier, ing.
Ingénieure en hydrogéologie



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

PG/JL/em

Pièces jointes: 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. N/Réf. 062-13-1221-0020-2020-Rev4. Septembre 2016

TABLEAU
Calcul du débit de percolation au niveau de l'empreinte des cellule PR7 et PR8

Sondage	X	Y	Futurs résidus épaissis	Anciens résidus miniers	Sable silteux à silt sableux	Argile	Silt	Till	Kv_equ avec futurs résidus épaissis	Kv_equ sans les futurs résidus épaissis	Débit avec futurs résidus épaissis	Débit sans les futurs résidus épaissis
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(L/m ² /j)	(L/m ² /j)
BH08-15	716584	5331625	10		0,15				1E-07	1E-06	>3,3	>3,3
BH08-16	716153	5331523	10				2,64		2E-08	5E-09	1,7	0,4
BH08-17	716092	5331983	10			10,5	0,78	0,81	1E-09	6E-10	0,1	0,0
BH08-18	715685	5331549	10		0,91		0,92	1,52	5E-08	2E-08	>3,3	1,5
BH08-29	714919	5331606	10					4,2	1E-07	5E-07	>3,3	>3,3
PE11-05	715666	5332079	10		4,26	6,71			2E-09	8E-10	0,1	0,1
PO-16-01	715589	5332017	10	6,22	1,5	8,62			2E-09	9E-10	0,1	0,1
PZ09-14R	715700	5332312	10		0,76				1E-07	1E-06	>3,3	>3,3
PZ11-21	715487	5331524	10		2,51				1E-07	1E-06	>3,3	>3,3
PZ11-21R	715487	5331524	10					2,51	1E-07	5E-07	>3,3	>3,3
PZ14-41R	714492	5331754	10					0,65	1E-07	5E-07	>3,3	>3,3
PZ14-42R	718470	5333540	10		0,15				1E-07	1E-06	>3,3	>3,3
PZ14-43R	716044	5332228	10		0,53				1E-07	1E-06	>3,3	>3,3
PZ14-45R	715670	5331576	10		1,7				1E-07	1E-06	>3,3	>3,3
PZ-16-02	715630	5332001	10		8,84	10,97	0,92	1,52	1E-09	1E-09	0,1	0,1
PZ-16-20	714973	5331900	10	3,05		3,05	1,52	2,74	3E-09	2E-09	0,3	0,1
PZ-16-22	715689	5332068	10			6,4	0,61	0,76	1E-09	6E-10	0,1	0,1
TP-08-143	716496	5332161	10				1,8		3E-08	5E-09	2,2	0,4
TP-08-144	716454	5332143	10		0,2		0,6	0,2	5E-08	8E-09	>3,3	0,7
TP-08-145	716432	5332137	10		0,5		0,3	0,2	7E-08	2E-08	>3,3	1,4
TP-08-146	716380	5332165	10					0,2	1E-07	5E-07	>3,3	>3,3
TP-08-147	716351	5332150	10		0,4	0,6			8E-09	8E-10	0,7	0,1
TP-08-148	716263	5332139	10		0,1	0,9			6E-09	6E-10	0,5	0,0
TP-08-149	716255	5332158	10		0,5				1E-07	1E-06	>3,3	>3,3
TP-08-150	716176	5332157	10		0,8				1E-07	1E-06	>3,3	>3,3
TP-08-151	716186	5332148	10		0,1	1,4			4E-09	5E-10	0,3	0,0
TP-08-152	716117	5332152	10						1E-07	1E-06	>3,3	>3,3
TP-08-153	716093	5332181	10			0,5		0,1	1E-08	6E-10	0,8	0,1
TP-08-154	716053	5332160	10						1E-07	1E-06	>3,3	>3,3
TP-08-155	716013	5332141	10		0,4				1E-07	1E-06	>3,3	>3,3
TP-08-156	715981	5332160	10			1,8	0,7		3E-09	7E-10	0,3	0,1
TP-08-157	715819	5332197	10		0,2				1E-07	1E-06	>3,3	>3,3
TP-08-34	716130	5331529	10					2,3	1E-07	5E-07	>3,3	>3,3
TP-08-47	715631	5331501	10			0,8	1		6E-09	1E-09	0,5	0,1
TP-08-47B	715551	5331576	10					0,3	1E-07	5E-07	>3,3	>3,3
TP-08-48	715555	5331611	10					0,8	1E-07	5E-07	>3,3	>3,3
TP-08-49	715556	5331776	10						1E-07	1E-06	>3,3	>3,3

TABLEAU
Calcul du débit de percolation au niveau de l'empreinte des cellule PR7 et PR8

Sondage	X	Y	Futurs résidus épaissis	Anciens résidus miniers	Sable silteux à silt sableux	Argile	Silt	Till	Kv_equ avec futurs résidus épaissis	Kv_equ sans les futurs résidus épaissis	Débit avec futurs résidus épaissis	Débit sans les futurs résidus épaissis
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(L/m ² /j)	(L/m ² /j)
TP-08-50	715611	5331825	10		0,8				1E-07	1E-06	>3,3	>3,3
TP-08-51	715680	5331779	10			1,2			4E-09	5E-10	0,4	0,0
TP-08-52	715663	5331718	10			2			3E-09	5E-10	0,3	0,0
TP-08-53	715740	5331700	10			1,2			4E-09	5E-10	0,4	0,0
TP-08-54	715670	5331619	10			1,2			4E-09	5E-10	0,4	0,0
TP-08-55	715746	5331523	10					1,8	1E-07	5E-07	>3,3	>3,3
TP-08-56	715800	5331588	10		0,2				1E-07	1E-06	>3,3	>3,3
TP-08-57	715882	5331672	10			1,5			4E-09	5E-10	0,3	0,0
TP-08-58	715981	5331617	10			1,4			4E-09	5E-10	0,3	0,0
TP-08-59	716238	5331596	10			1			5E-09	5E-10	0,5	0,0
TP-08-60	716262	5331593	10		0,2				1E-07	1E-06	>3,3	>3,3
TP-08-61	716299	5331509	10					1	1E-07	5E-07	>3,3	>3,3
TP-08-62	716423	5331595	10		0,1			1,4	1E-07	5E-07	>3,3	>3,3
TP-08-63	716401	5331600	10					0,5	1E-07	5E-07	>3,3	>3,3
TP-08-64	716386	5331703	10		0,4				1E-07	1E-06	>3,3	>3,3
TP-08-65	716327	5331853	10			2			3E-09	5E-10	0,3	0,0
TP-08-66	716290	5331745	10		0,2				1E-07	1E-06	>3,3	>3,3
TP-08-67	716283	5331689	10		0,2			0,6	1E-07	6E-07	>3,3	>3,3
TP-08-68	716313	5331550	10					0,5	1E-07	5E-07	>3,3	>3,3
TP-08-69	716412	5331570	10					0,5	1E-07	5E-07	>3,3	>3,3
TP-08-70	716128	5331759	10					2	1E-07	5E-07	>3,3	>3,3
TR-03	714123	5331633	10		0,1			0,8	1E-07	5E-07	>3,3	>3,3
TR-04	714163	5331657	10		0,1			0,7	1E-07	5E-07	>3,3	>3,3
TR-05	714200	5331667	10		0,1			0,8	1E-07	5E-07	>3,3	>3,3
TR-06	714256	5331680	10		0,1			1	1E-07	5E-07	>3,3	>3,3
TR-07	714301	5331689	10		0,1			0,9	1E-07	5E-07	>3,3	>3,3
TR-08	714779	5331741	10		0,1			0,6	1E-07	5E-07	>3,3	>3,3
TR-09	714810	5331739	10		0,1				1E-07	1E-06	>3,3	>3,3
TR-10	714864	5331735	10		0,1				1E-07	1E-06	>3,3	>3,3
TR-11	714912	5331720	10		0,1			1,8	1E-07	5E-07	>3,3	>3,3
TR-12	715004	5331709	10		0,2				1E-07	1E-06	>3,3	>3,3
TR-13	715054	5331689	10		0,1			1,2	1E-07	5E-07	>3,3	>3,3
TR-14	715122	5331688	10		0,1			0,3	1E-07	6E-07	>3,3	>3,3
TR-15	715168	5331689	10		0,1			0,3	1E-07	6E-07	>3,3	>3,3
TR-16	715279	5331684	10		0,1			1,3	1E-07	5E-07	>3,3	>3,3
TR-17	715322	5331696	10		0,1			0,1	1E-07	7E-07	>3,3	>3,3
TR-18	715374	5331680	10		0,1			1,3	1E-07	5E-07	>3,3	>3,3

Golder Associés

TABLEAU
Calcul du débit de percolation au niveau de l'empreinte des cellule PR7 et PR8

Sondage	X	Y	Futurs résidus épaissis	Anciens résidus miniers	Sable silteux à silt sableux	Argile	Silt	Till	Kv_equ avec futurs résidus épaissis	Kv_equ sans les futurs résidus épaissis	Débit avec futurs résidus épaissis	Débit sans les futurs résidus épaissis
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(L/m ² /j)	(L/m ² /j)
TR-19	715422	5331687	10		0,1			0,3	1E-07	6E-07	>3,3	>3,3
TR-20	715481	5331694	10		0,1				1E-07	1E-06	>3,3	>3,3
TR-21	715525	5331683	10		0,1			0,6	1E-07	5E-07	>3,3	>3,3
TR-22	715581	5331657	10		0,1			0,7	1E-07	5E-07	>3,3	>3,3
TR-23	715638	5331675	10		0,1			3,9	1E-07	5E-07	>3,3	>3,3
TR-24	715685	5331681	10		0,3				1E-07	1E-06	>3,3	>3,3

 : Débit de percolation supérieur à la valeur maximale de 3,3 L/m²/j prescrite par la Directive 019



Septembre 2016

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-Rev4

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.....	9
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	RESULTATS DE MODELISATION.....	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 épaisiss	28
6.1.2.4	Coefficient d'adsorption	31
6.1.2.5	Porosité de l'argile	32
6.1.2.6	Paramètres capillaires des résidus	33
6.2	Simulations prédictives – Sodium	35
6.3	Simulations prédictives – Cuivre	35
6.3.1	Cas de base	35
6.3.2	Analyse de sensibilité	36
6.3.2.1	Définition des concentrations sources dans la halde à stériles	36
6.3.2.2	Résultats	38
6.4	Limites du modèle	40
7.0	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	41
8.0	RÉFÉRENCES	43
9.0	SIGNATURES	45

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 capillaire du modèle de Van Genuchten 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
Tableau 7: Paramétrage capillaire du modèle de Van Genuchten appliqué aux résidus épaisiss pour le scénario #8 de l'analyse de sensibilité	34
Tableau 8: Contaminants d'intérêt pour la halde à stériles	37
Tableau 9: Concentrations sources en contaminants considérées pour la simulation incluant le prolongement de la halde à stériles comme source additionnelle de contamination	38

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 cyanures totaux dans l'aquifère de roc – scénario #6 : Coefficient de retard des dépôts peu perméables = 5.....	32
Figure 9: Variation temporelle des concentrations en cyanures totaux dans l'aquifère de roc – scénario #7 : Porosité de l'argile divisée par 2.....	33
Figure 10: Variation temporelle des concentrations en cyanures totaux dans l'aquifère de roc – scénario #8 : Paramètres capillaires modifiées pour les résidus épaisés	34
Figure 11: Variation temporelle des concentrations en sodium dans l'aquifère de roc.....	35
Figure 12: Variation temporelle des concentrations en cuivre dans l'aquifère de roc en considérant seulement le prolongement du parc à résidus comme source potentielle de contamination des eaux souterraines (Cas de base). Les concentrations maximales simulées pour ce cas sont inférieures à 5×10^{-6} mg/L	36
Figure 13: Variation temporelle des concentrations en nickel dans l'eau souterraine en considérant la halde à stériles comme source additionnelle de contamination des eaux souterraines – scénario #9.....	39
Figure 14: Variation temporelle des concentrations en cuivre dans l'eau souterraine en considérant la halde à stériles comme source additionnelle de contamination des eaux souterraines – scénario #10.....	40

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 x 10 ⁻⁷ à 1,2 x 10 ⁻⁶	3,4 x 10 ⁻⁸ à 5,5 x 10 ⁻⁷
Argile / argile silteuse à silt argileux	5,7 x 10 ⁻¹⁰ à 1,4 x 10 ⁻⁸	5,0 x 10 ⁻¹¹ à 1,0 x 10 ⁻⁸
Silt / silt sableux	2,4 x 10 ⁻⁹ à 7,4 x 10 ⁻⁷	6,0 x 10 ⁻¹¹ à 3,9 x 10 ⁻⁹
Sable (glaciolacustre)	2,0 x 10 ⁻⁶ à 6,0 x 10 ⁻⁴	-
Sable et gravier (fluvioglacière)	3,0 x 10 ⁻⁶	-
Till	1,4 x 10 ⁻⁷ à 8,9 x 10 ⁻⁷	-
Roc	5,0 x 10 ⁻⁹ à 1,0 x 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 à 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 épaissis, 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 épaissis et des stériles. Dans l'axe vertical, l'eau percole graduellement à travers les résidus épaissis 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 épaissis 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 épaissis. 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 épaissis 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 épaissis 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 pour le cas de base du modèle numérique 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 épaissis 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 épaissis 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 épaissis, 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 ensemencement 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 épaissis 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 épais. Dans le cas des résidus épais, 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 Ni : 4140 ml/g	2,0E-06	1,0E-09	0,1	0,01
Silt	6,4E-08	0,1	1,0E-05	0,4	0,2		2,0E-06	1,0E-09	0,1	0,01
Till	4,8E-07	1	1,0E-05	0,3	0,2	CN totaux : 0,4 Cu : 4,19 Na : 0 Ni : 1,22 ml/g	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 Ni : 4140 ml/g	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 Ni : 4140 ml/g	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 capillaire du modèle de Van Genuchten modifié.

Tableau 4: Paramétrage capillaire du modèle de Van Genuchten 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) pour le prolongement du parc à résidus :

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 épaissis. 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.

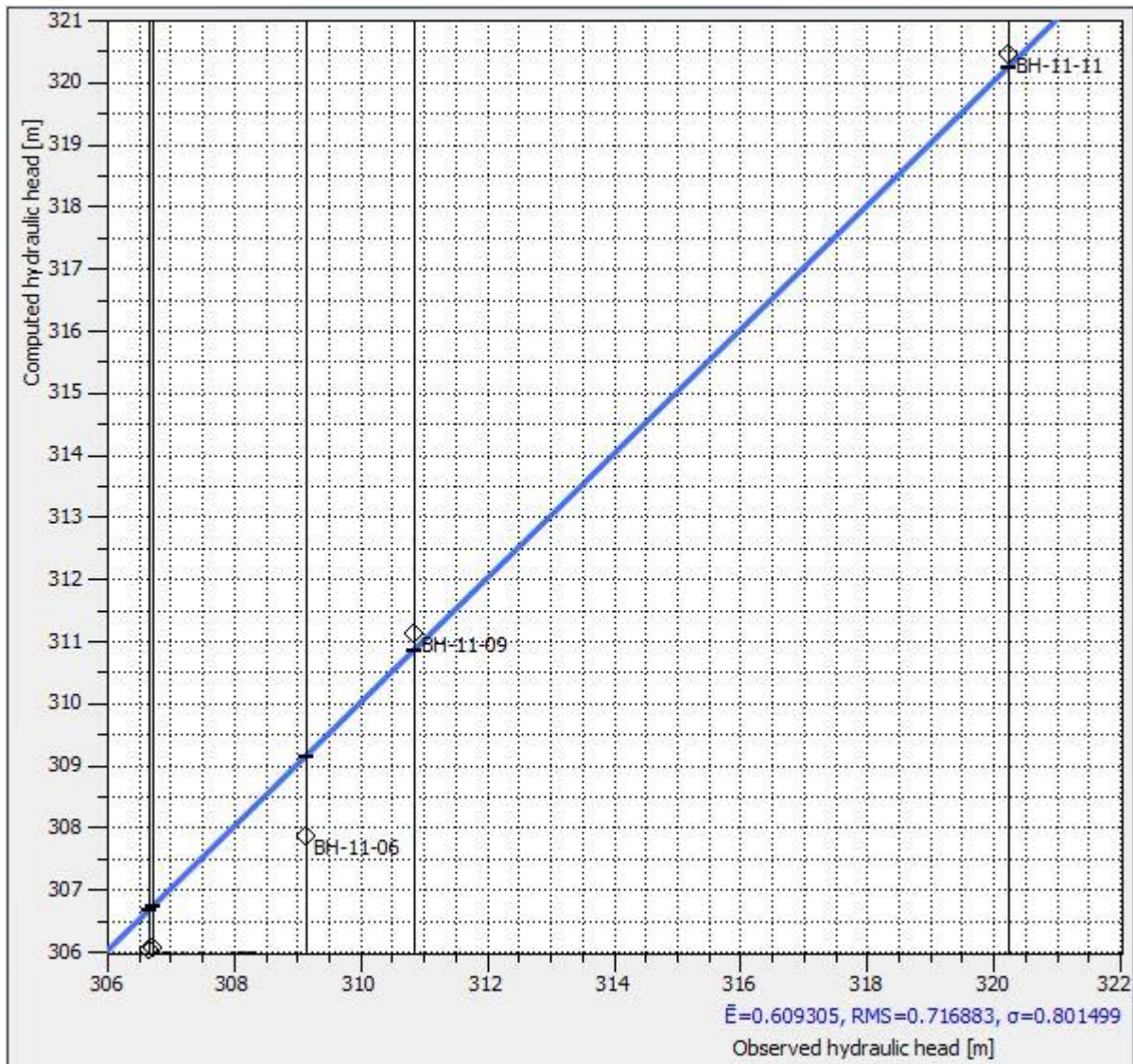


Figure 1: Comparaison entre les charges hydrauliques mesurées et simulées - modèle d'écoulement calé

6.0 RESULTATS DE MODELISATION

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 épais 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.

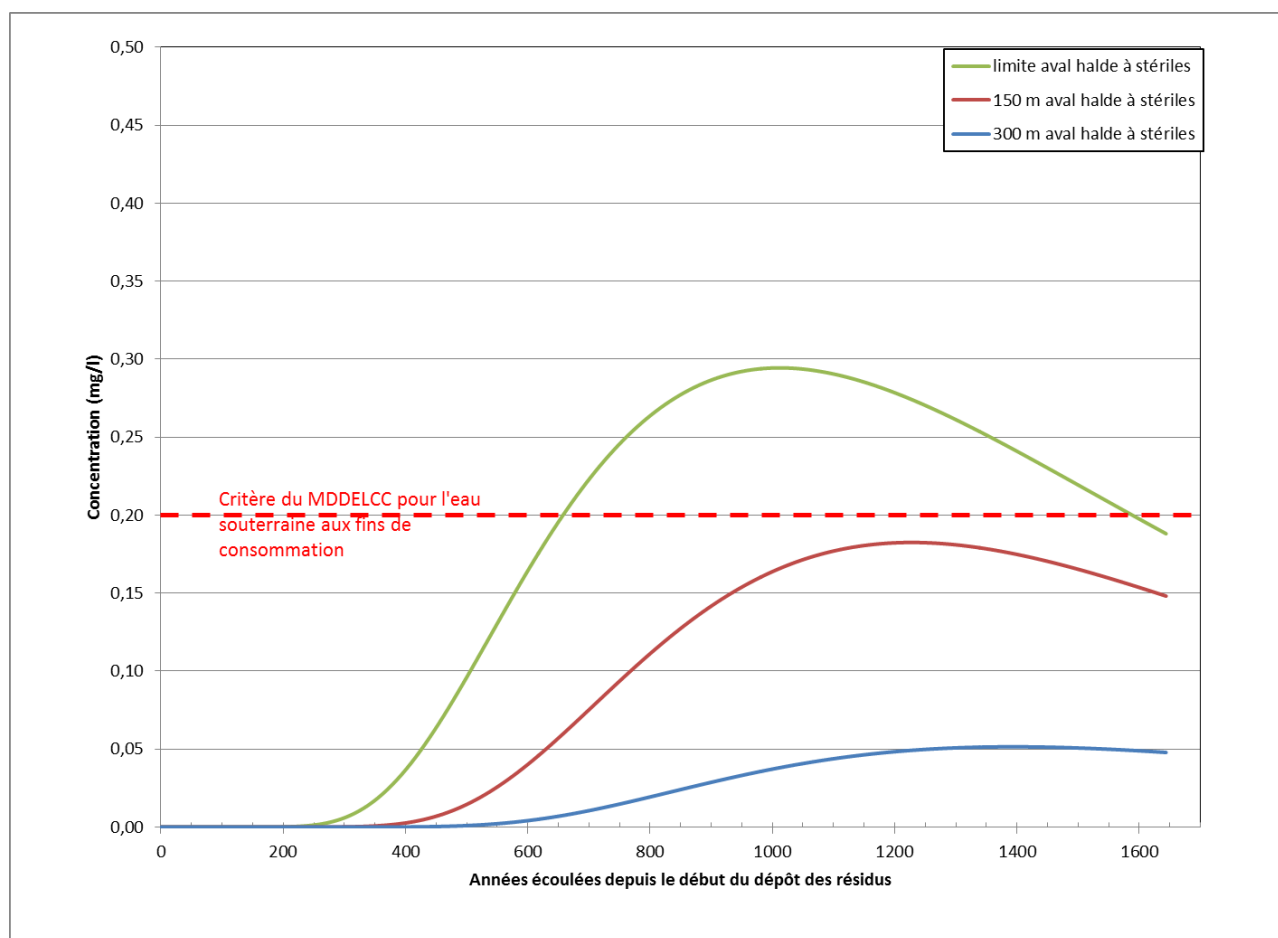


Figure 2: Variation temporelle des concentrations en cyanures totaux dans l'aquifère de roc – cas de base

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 d'abord 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.

Par la suite, l'analyse de sensibilité a ciblé le coefficient d'adsorption des unités de dépôts meubles peu perméables (soit le silt et l'argile), la porosité de l'argile et les paramètres capillaires des résidus afin de vérifier leurs effets sur les résultats de la modélisation.

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 ($\lambda = 1 \times 10^{-5} 1/j$) 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.

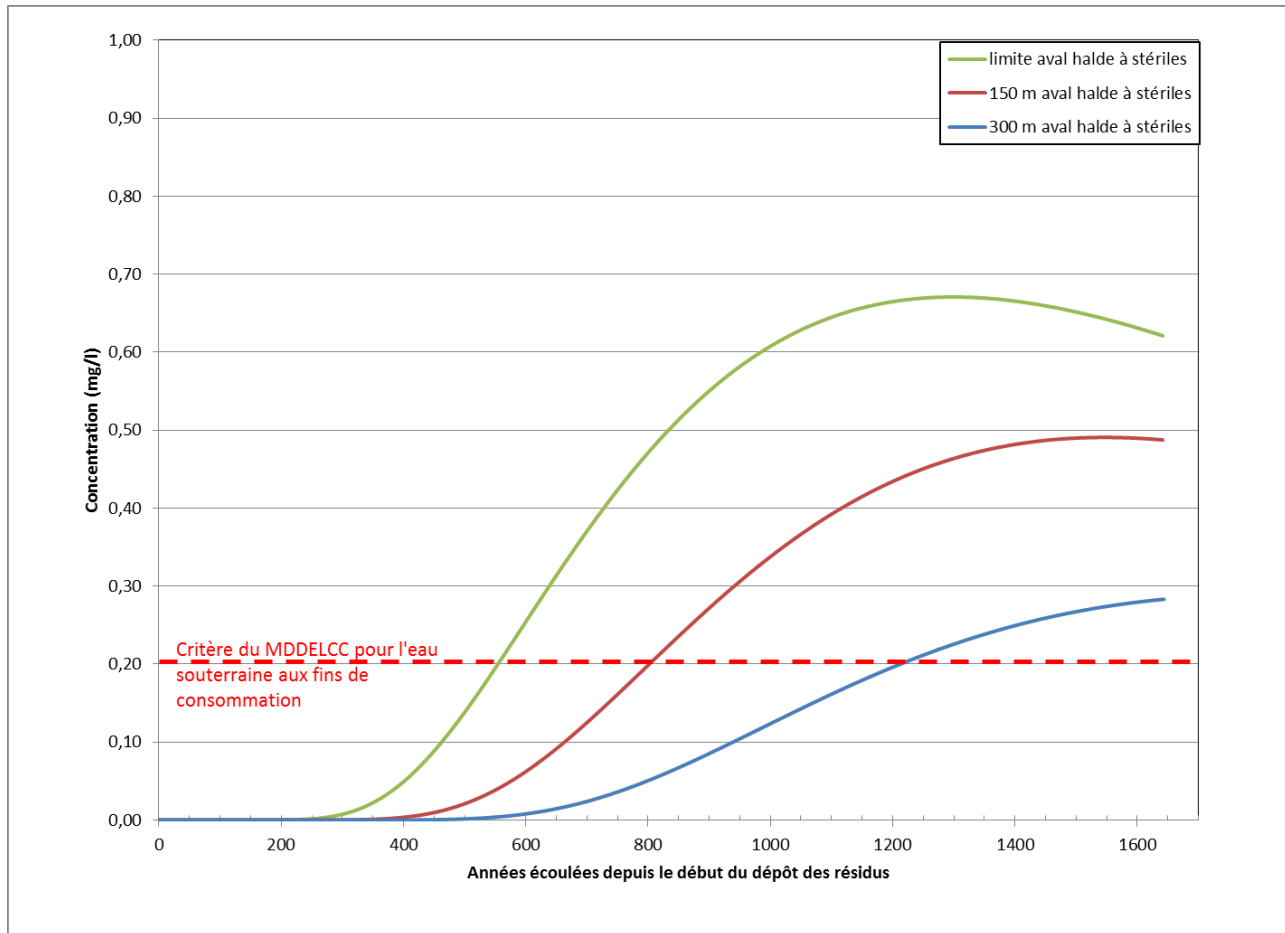


Figure 3: Variation temporelle des concentrations en cyanures totaux dans l'aquifère de roc – scénario #1 : $\lambda = 0$

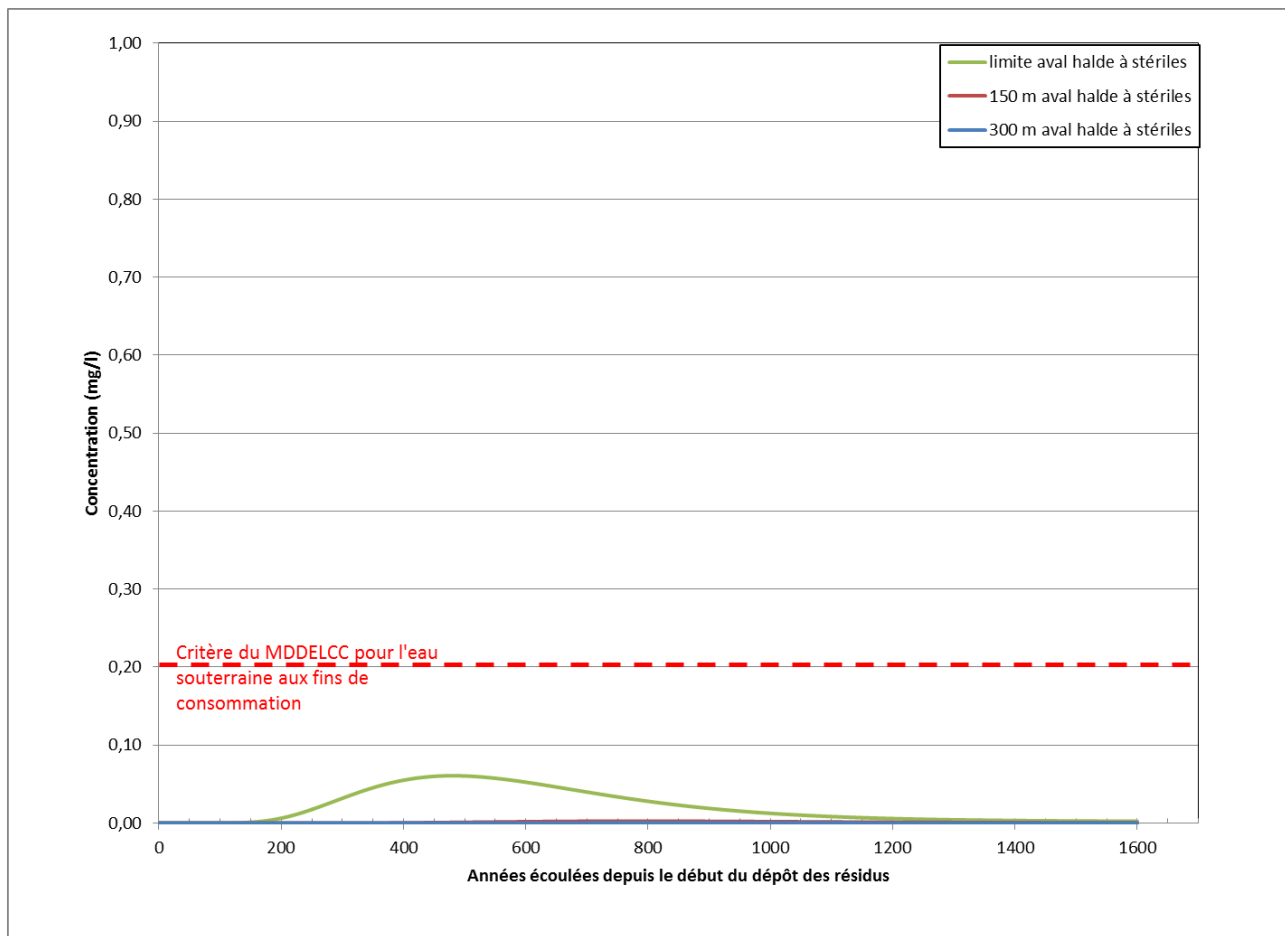


Figure 4: Variation temporelle des concentrations en cyanures totaux dans l'aquifère de roc – scénario #2 : $\lambda = 1 \times 10^{-5} 1/j$

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.

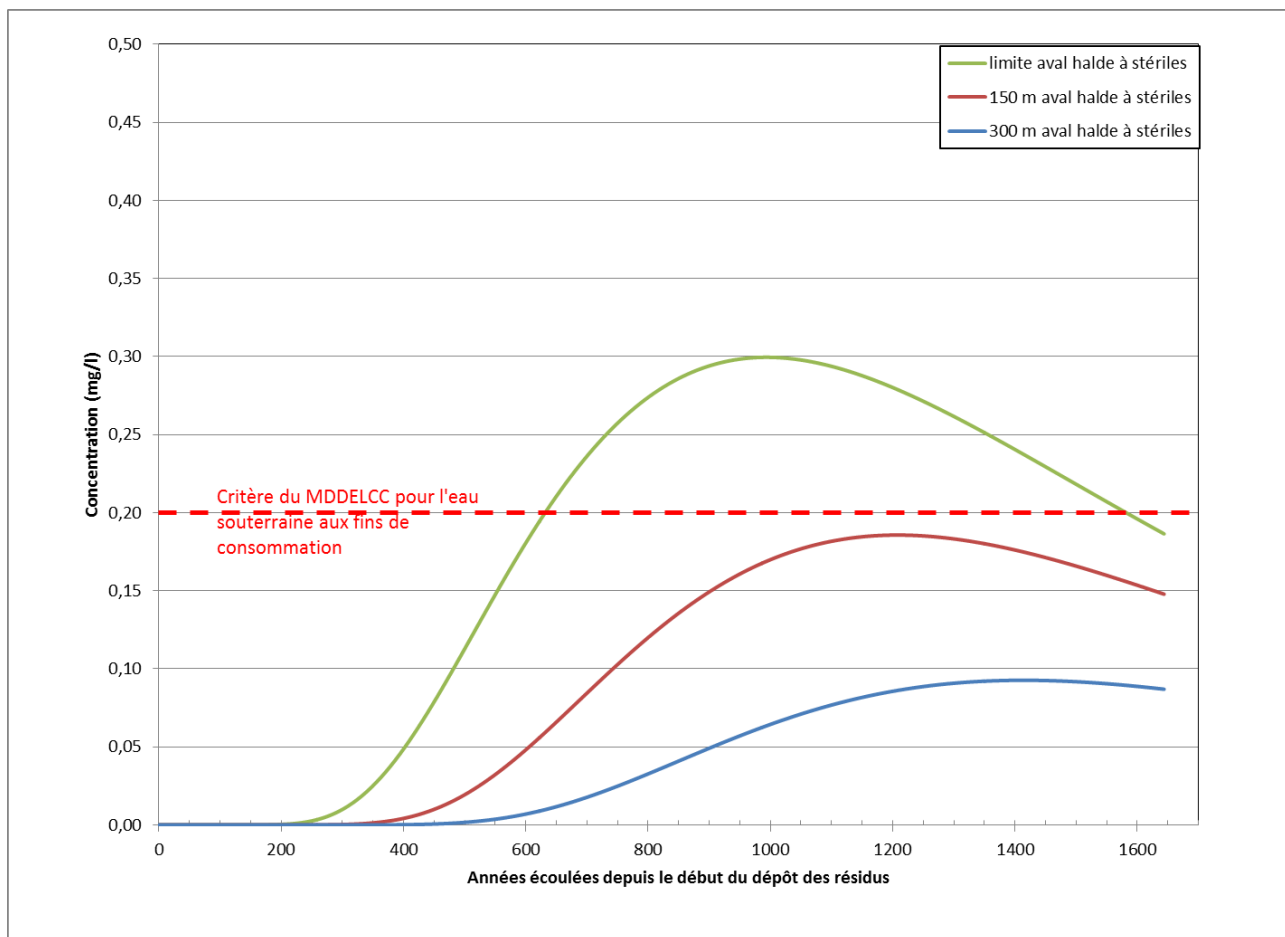


Figure 5: Variation temporelle des concentrations en cyanures totaux dans l'aquifère de roc – scénario #3 : K remblai de fondation X 10

6.1.2.3 Infiltration au niveau des résidus épaissis

Le scénario #4 considère une recharge en surface des résidus épaissis 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 épaissis. 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.

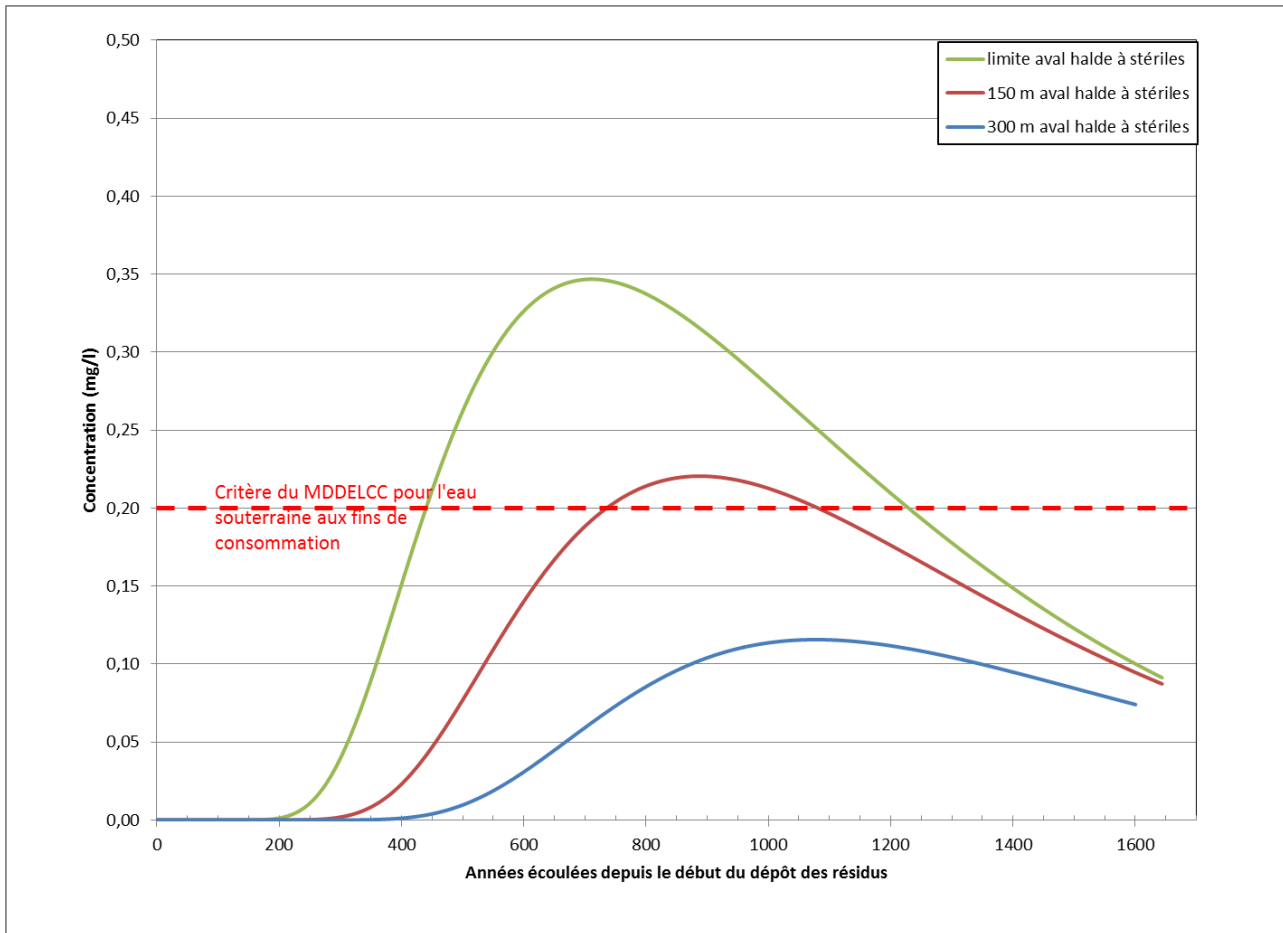


Figure 6: Variation temporelle des concentrations en cyanures totaux dans l'aquifère de roc – scénario #4 : Recharge X 2

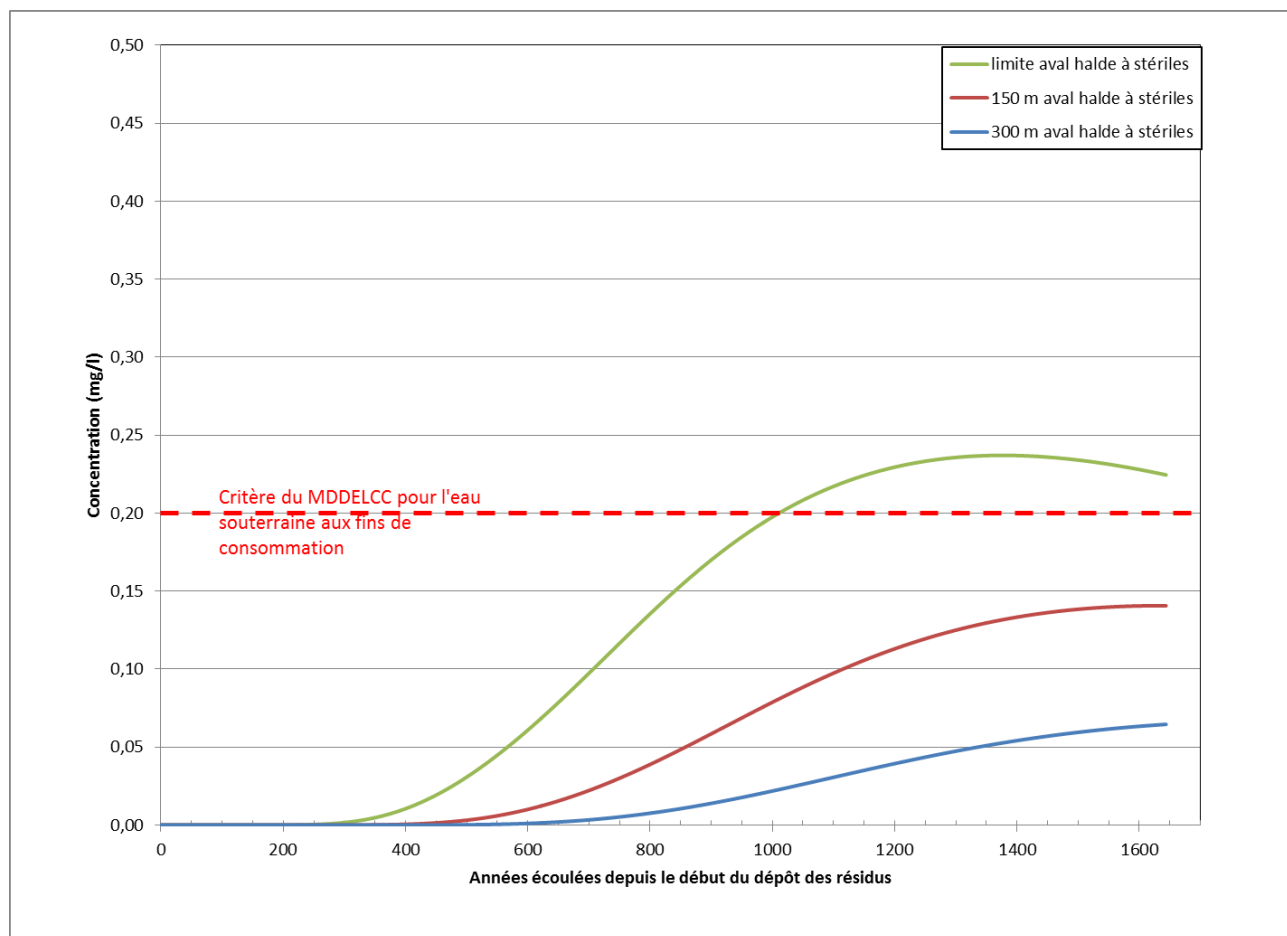


Figure 7: Variation temporelle des concentrations en cyanures totaux dans l'aquifère de roc – scénario #5 : Recharge / 2

6.1.2.4 Coefficient d'adsorption

Le scénario #6 de l'analyse de sensibilité du modèle a été réalisé avec un coefficient d'adsorption plus faible pour les cyanures dans les dépôts peu perméables (silt et argile), équivalent à un coefficient de retard de 5 (ce coefficient de retard varie de 14 à 18 pour le cas de base). Les résultats de ce scénario sont présentés sur la figure 8 ci-dessous. Il est à noter que ce scénario est très conservateur, car le facteur de retard est plus faible que l'intervalle obtenu à partir de valeurs de la littérature (coefficient de retard variant entre 7 et 60 selon Smith et Mudder, 2001). Comme l'illustre la figure 8 ci-dessous, les concentrations maximales en cyanures totaux prédites par ce scénario seraient environ 1,5 fois supérieures à celles prédites avec le cas de base. Bien qu'il soit très conservateur, ce scénario permet d'apprécier la variabilité des concentrations simulées en regard du coefficient de retard. Le suivi de la qualité des eaux souterraines en aval des aires d'accumulation de résidus permettra de confirmer les prédictions du modèle. À noter que CMGP prévoit mettre en place un procédé de destruction des cyanures avec l'acide de Caro. Ce procédé permettra de réduire les concentrations en ferrocyanures, l'espèce de cyanures la plus difficile à dégrader, de sorte que les cyanures résiduels seront plus faciles à dégrader, ce qui confirme l'approche conservatrice de la modélisation de transport de contaminants.

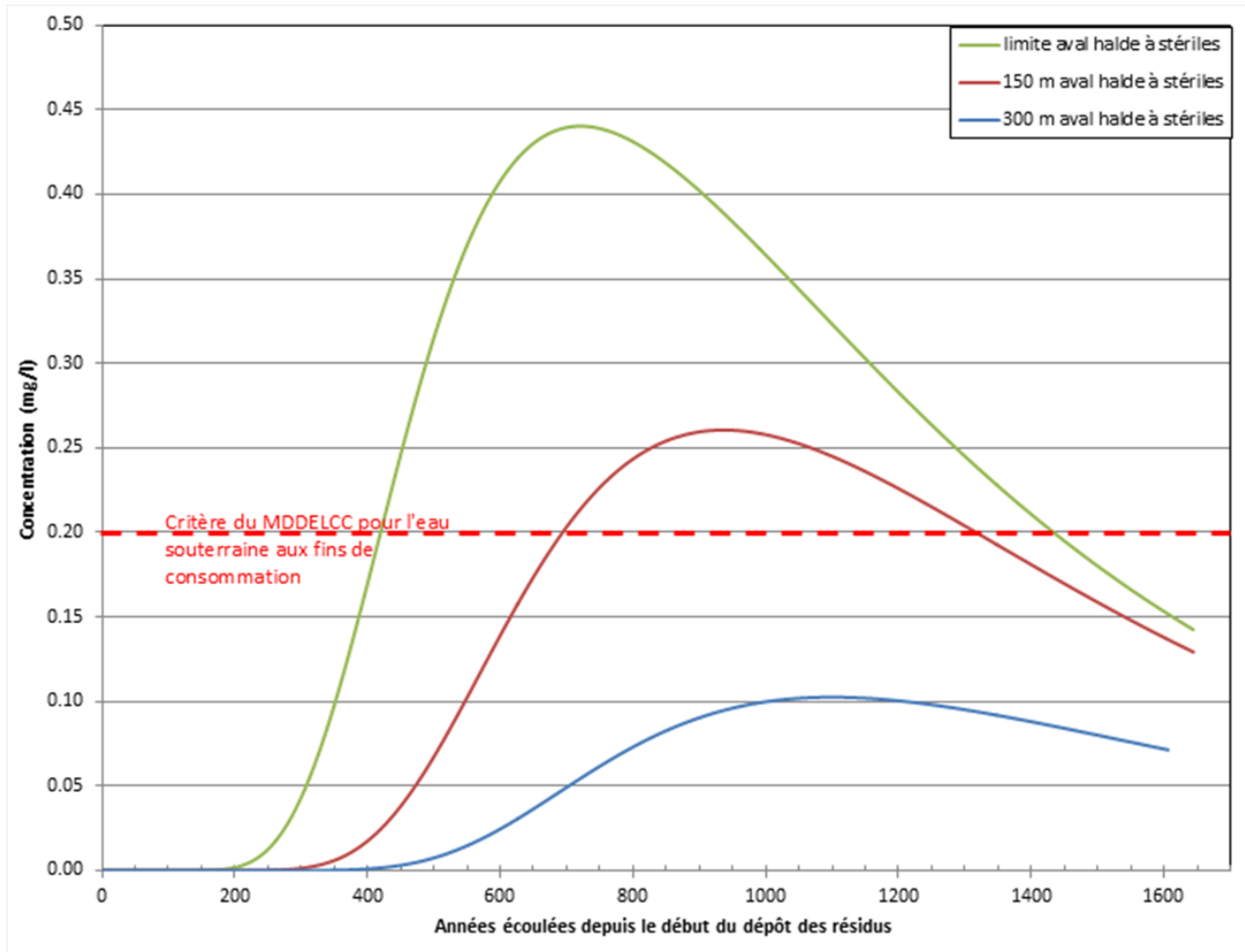


Figure 8: Variation temporelle des concentrations en cyanures totaux dans l'aquifère de roc – scénario #6 : Coefficient de retard des dépôts peu perméables = 5

6.1.2.5 Porosité de l'argile

Le scénario #7 de l'analyse de sensibilité a été fait en utilisant une porosité de l'argile deux fois plus faible (5%) que pour le cas de base. Comme illustré sur la figure 9 ci-dessous, les résultats montrent que ce paramètre a peu d'influence sur la migration des contaminants prédite par le modèle, car le pic des concentrations est légèrement plus faible que le cas de base modélisé.

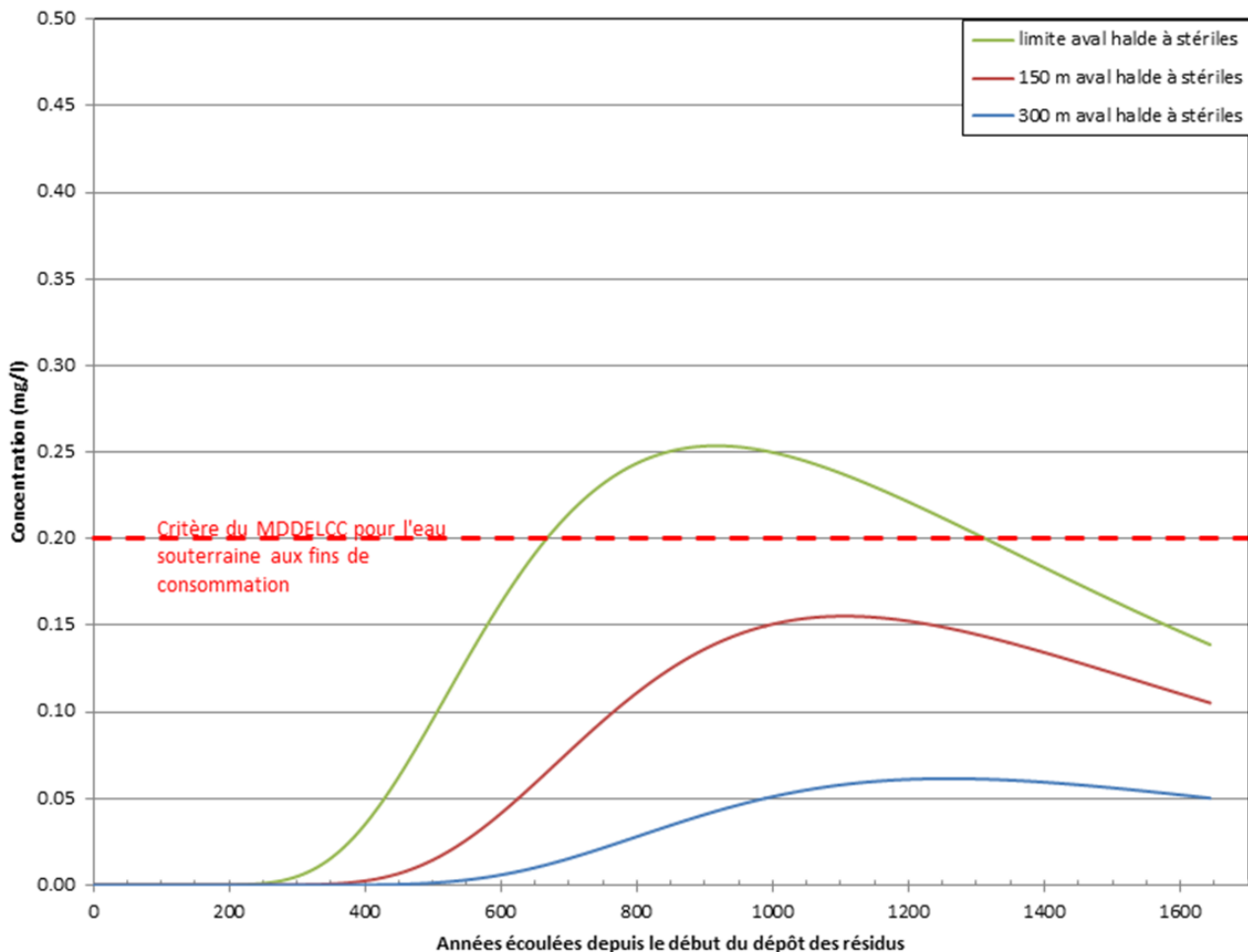


Figure 9: Variation temporelle des concentrations en cyanures totaux dans l'aquifère de roc – scénario #7 : Porosité de l'argile divisée par 2

6.1.2.6 Paramètres capillaires des résidus

Pour cette étude de modélisation, des paramètres capillaires génériques ont été appliqués pour chaque paramètre du modèle (section 5.3). Ces valeurs, qui influent sur l'écoulement non saturé, sont identiques pour chacune des unités hydrostratigraphiques. Cette simplification est jugée sans impact significatif sur les concentrations prédites, en raison du fait que le transport de la contamination s'effectue en très grande majorité en milieu saturé (moins de 1% de l'écoulement se fait en milieu non saturé).

Par ailleurs, les données de laboratoire disponibles pour les résidus indiquent une frange capillaire importante, ce qui implique que l'eau dans les résidus serait moins mobile que ce qui a été modélisé. Le fait d'utiliser les paramètres capillaires Van Genuchten par défaut est donc une simplification conservatrice. Dans le cadre de l'analyse de sensibilité (scénario #8), une vérification a été faite avec le modèle en utilisant les données obtenues en laboratoire pour les résidus (Golder 2014e et tableau 7). Comme illustré sur la figure 10 ci-dessous, les résultats montrent que le pic de concentration à l'aval est similaire, la seule différence notable étant que ce pic est observé plus tard dans le temps en utilisant les paramètres obtenus en laboratoire.



Tableau 7: Paramétrage capillaire du modèle de Van Genuchten appliqué aux résidus épais pour le scénario #8 de l'analyse de sensibilité

Paramètre (unités)	Valeur
α (1/m)	0,1
n (-)	1,9
m (-)	0,47
δ (-)	2

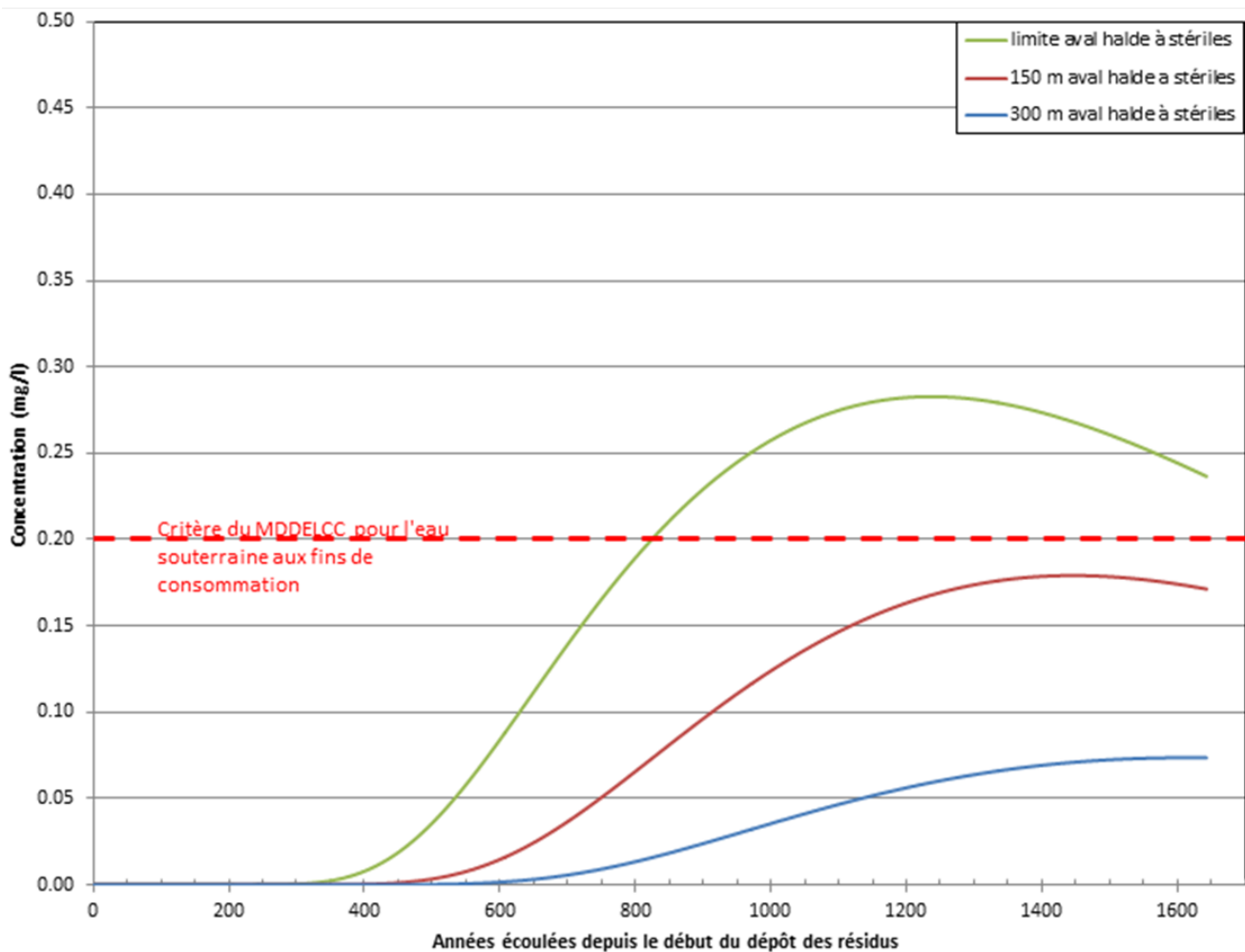


Figure 10: Variation temporelle des concentrations en cyanures totaux dans l'aquifère de roc – scénario #8 : Paramètres capillaires modifiés pour les résidus épais



6.2 Simulations prédictives – Sodium

La figure 11 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'excèderaient pas le critère aux fins de consommation du MDDELCC à la limite aval de la halde à stériles.

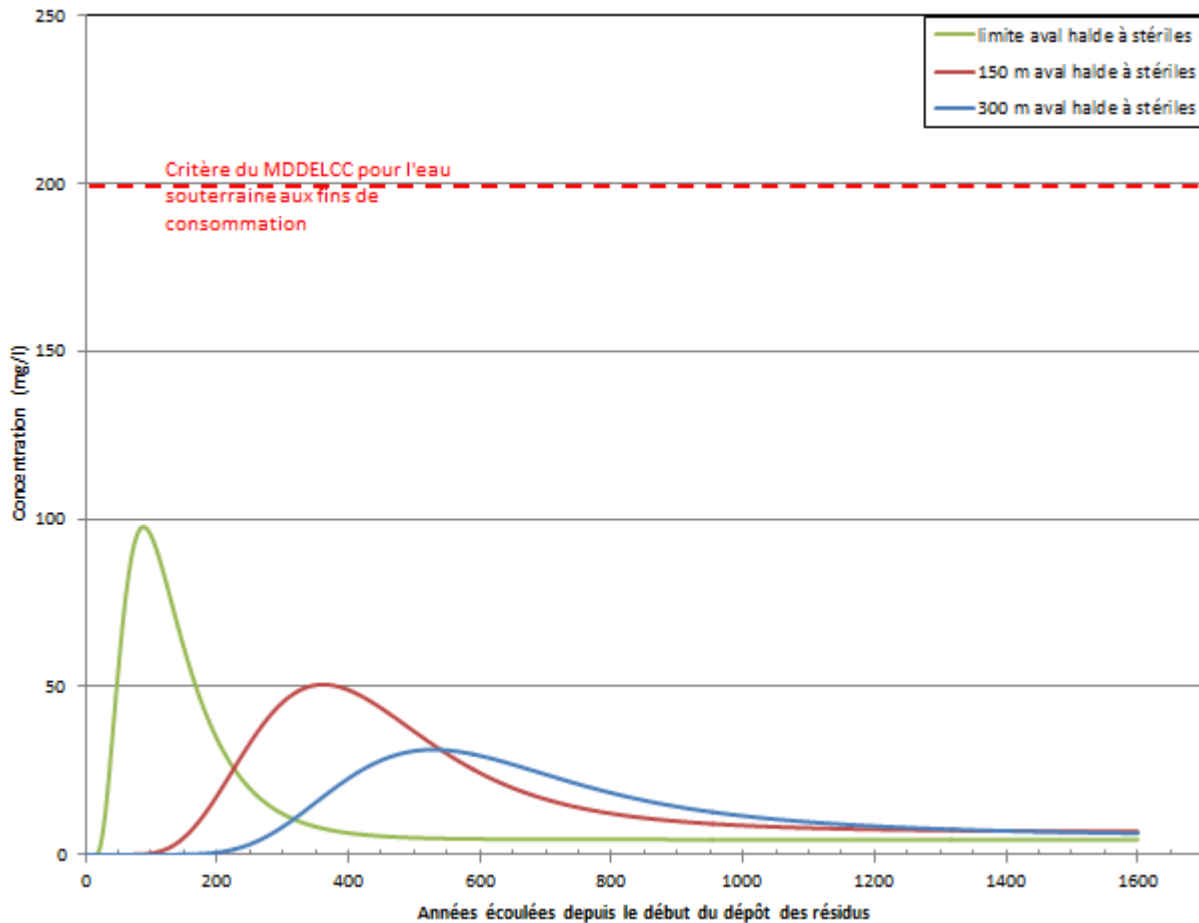


Figure 11: Variation temporelle des concentrations en sodium dans l'aquifère de roc

6.3 Simulations prédictives – Cuivre

6.3.1 Cas de base

La figure 12 montre l'évolution des concentrations simulées en cuivre dans l'eau souterraine en fonction du temps pour le cas de base, qui considère seulement le prolongement du parc à résidus comme source potentielle de contamination (aucun contaminant en provenance des stériles n'est considéré). Il est observé sur cette figure que les concentrations en cuivre à la limite aval de la halde à stériles sont très faibles (inférieures à 5×10^{-6} mg/L) et n'excèderaient pas le critère RESIE du MDDELCC.

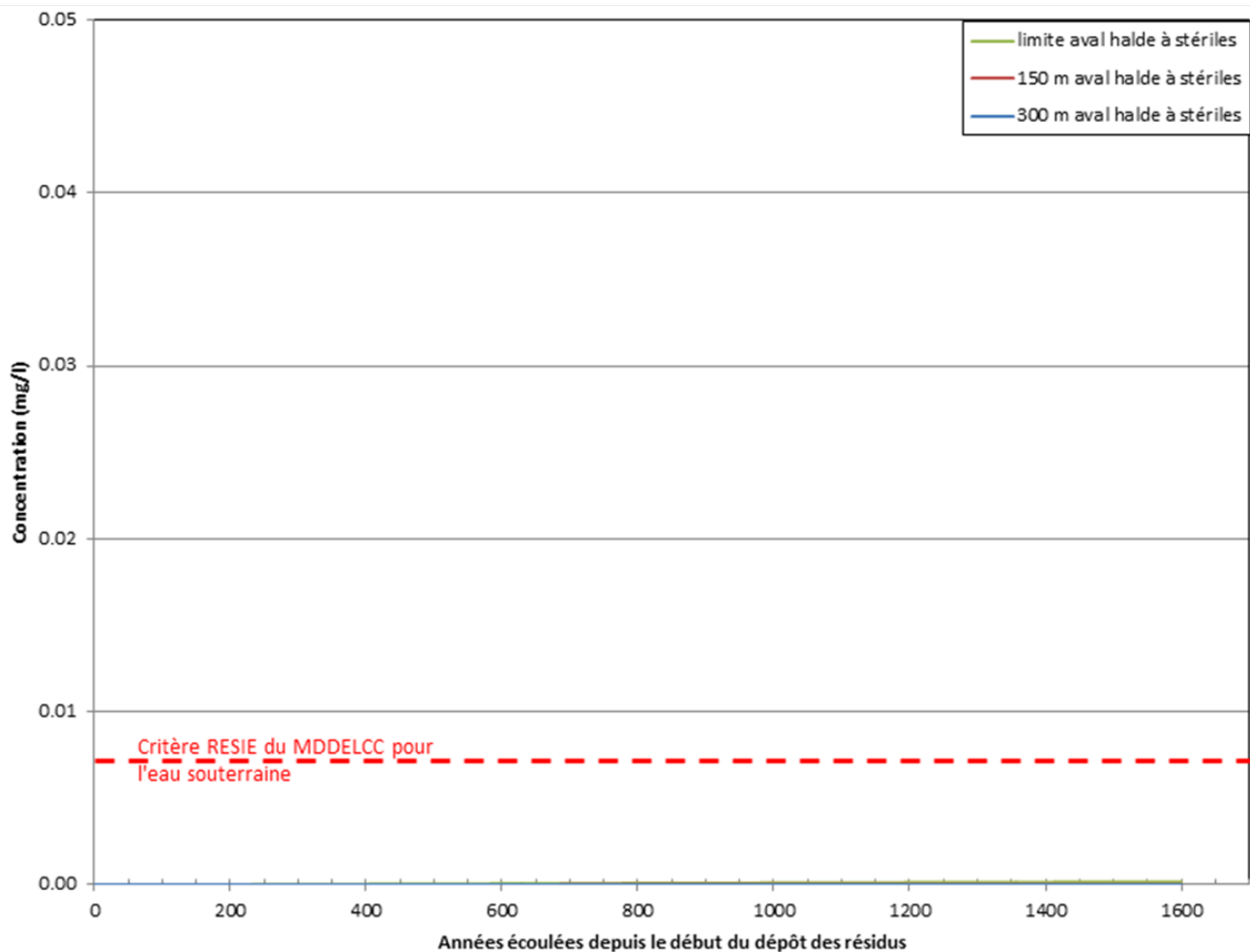


Figure 12: Variation temporelle des concentrations en cuivre dans l'aquifère de roc en considérant seulement le prolongement du parc à résidus comme source potentielle de contamination des eaux souterraines (Cas de base). Les concentrations maximales simulées pour ce cas sont inférieures à 5×10^{-6} mg/L

6.3.2 Analyse de sensibilité

Un scénario d'analyse de sensibilité a été effectué en considérant une source additionnelle de contamination en métaux dans le prolongement de la halde à stériles.

6.3.2.1 Définition des concentrations sources dans la halde à stériles

L'identification des contaminants d'intérêt pour la halde à stériles a considéré les résultats de l'analyse des métaux extractibles et des essais de lixiviation (SPLP et TCLP) réalisés sur 41 échantillons de minerai ainsi que sur 245 échantillons de stériles. Des statistiques ont été calculées sur les résultats des essais SPLP et TCLP pour chaque paramètre analysé, pour l'ensemble des échantillons. Lorsque la concentration d'un paramètre était sous la limite de détection, une valeur égale à la moitié de la limite de détection a été attribuée pour le calcul des



statistiques. Pour chacun des paramètres, le ratio entre la moyenne des concentrations (M_C) et le critère le plus restrictif (C_R) a été calculé (M_C/C_R). Les contaminants d'intérêt sont ceux qui présentent un ratio M_C/C_R supérieur à 1 et qui excédait le critère A de la Politique lors de l'analyse des métaux extractibles. Le tableau 8 présente les contaminants d'intérêt et leurs statistiques.

Tableau 8: Contaminants d'intérêt pour la halde à stériles

Essai	Paramètre	Concentration Médiane ⁽¹⁾ (mg/L)	Concentration Moyenne (mg/L)	Critère ⁽²⁾ RESIE ⁽³⁾ (mg/L)	Critère ⁽²⁾ FC ⁽⁴⁾ (mg/L)	Ratio M_C/C_R ⁽⁵⁾
SPLP	Zn	<i>0,003</i>	0,063	0,067	5	0,95
	Ni	<i>0,001</i>	0,0032	0,26	0,02	0,16
	Cu	<i>0,001</i>	0,0018	0,0073	1	0,24
	Pb	<i>0,001</i>	0,0020	0,034	0,01	0,20
TCLP	Ni	0,021	0,058	0,26	0,02	2,9
	Cu	0,0015	0,011	0,0073	1	1,5
	Pb	0,015	0,025	0,034	0,01	2,5

⁽¹⁾ : les valeurs en italiques correspondent à la limite de détection du paramètre. Ceci signifie que le paramètre était non-détecté dans plus de la moitié des échantillons analysés

⁽²⁾ : critères de la Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés, MENV (1999)

⁽³⁾ : résurgence dans les eaux de surface ou infiltration dans les égouts

⁽⁴⁾ : fin de consommation

⁽⁵⁾ : moyenne des concentrations / critère le plus restrictif

Les essais SPLP donnent généralement des résultats plus représentatifs des processus hydrochimiques susceptibles de se produire dans un empilement tel que la halde à stériles projetée, par rapport aux résultats des essais TCLP. En effet, l'essai TCLP est réalisé en milieu acétique, ce qui n'est pas représentatif des conditions qui prévalent dans un empilement de stériles ou de minerai. Dans une optique d'utiliser une approche de modélisation prudente, les résultats des essais TCLP ont néanmoins été analysés et interprétés.

L'analyse des essais SPLP a révélé qu'aucun paramètre ne présente une moyenne des concentrations excédant le critère le plus restrictif (un ratio M_C/C_R supérieur à 1. Le ratio M_C/C_R maximal évalué est de 0,95, et il correspond au zinc. À titre indicatif, les données propres au nickel, au cuivre et au plomb sont également rapportées, dans le tableau 8. Sur la base des résultats des essais SPLP, il apparaît que le lixiviat qui pourra percoler de la halde à stériles vers les formations géologiques sous-jacentes respectera les critères de qualité de l'eau souterraine les plus restrictifs.

Les ratios calculés à partir des résultats des essais TCLP montrent que le cuivre, le nickel et le plomb présentent des ratios M_C/C_R supérieurs à 1. Considérant que le nickel présente le ratio M_C/C_R le plus élevé des deux types de matériaux testés, ce contaminant a été retenu pour l'analyse de sensibilité. En raison de sa mobilité généralement élevée, et significativement plus grande que celle du plomb, le cuivre a également été retenu. Deux scénarios d'analyse de sensibilité ont donc été développés : un pour la simulation de la migration du nickel (scénario #9), et un autre pour le cuivre (scénario #10).

Les concentrations sources considérées pour le prolongement de la halde à stériles sont présentés au tableau 9. Une concentration source égale à la concentration moyenne en nickel et en cuivre obtenue lors des essais TCLP a été imposée dans l'ensemble de la masse de la halde à stériles, à son stade ultime de développement. Cette concentration représente ainsi une masse finie de contaminants disponible à la migration. Une concentration



initiale égale à zéro a été définie pour le reste des unités du modèle. Les concentrations simulées n'incluent donc pas les teneurs de fond, soit celles pouvant déjà être présentes dans l'environnement. Ainsi, la concentration « réelle » correspondrait à la somme de la valeur simulée et de la teneur de fond. Toutefois, les teneurs de fond pour les contaminants d'intérêts sont généralement sous les limites de détection du laboratoire et leur contribution n'est donc pas jugée significative. Pour le prolongement du parc à résidus, les concentrations sources ont été définies sur la moyenne des résultats d'analyses obtenue à partir d'échantillons d'eau interstitielle prélevés à cinq reprises entre septembre 2013 et mai 2015 à partir de quatre puits d'observation (voir section 4.4)

Tableau 9: Concentrations sources en contaminants considérées pour la simulation incluant le prolongement de la halde à stériles comme source additionnelle de contamination

Paramètres	Concentration source parc à résidus – Cas de base (mg/L)	Concentration source halde à stériles – Source additionnelle pour l'analyse de sensibilité (mg/L)
Nickel	0,053	0,058
Cuivre	451	0,011

6.3.2.2 Résultats

Les figures 13 et 14 montrent respectivement l'évolution des concentrations simulées en nickel et en cuivre dans l'eau souterraine en fonction du temps en considérant le prolongement de la halde à stériles comme source additionnelle de contamination des eaux souterraines. Il est observé sur ces figures que les concentrations en nickel et en cuivre à la limite aval de la halde à stériles seraient faibles et n'excèderaient pas les critères RESIE et fins de consommation du MDDELCC.

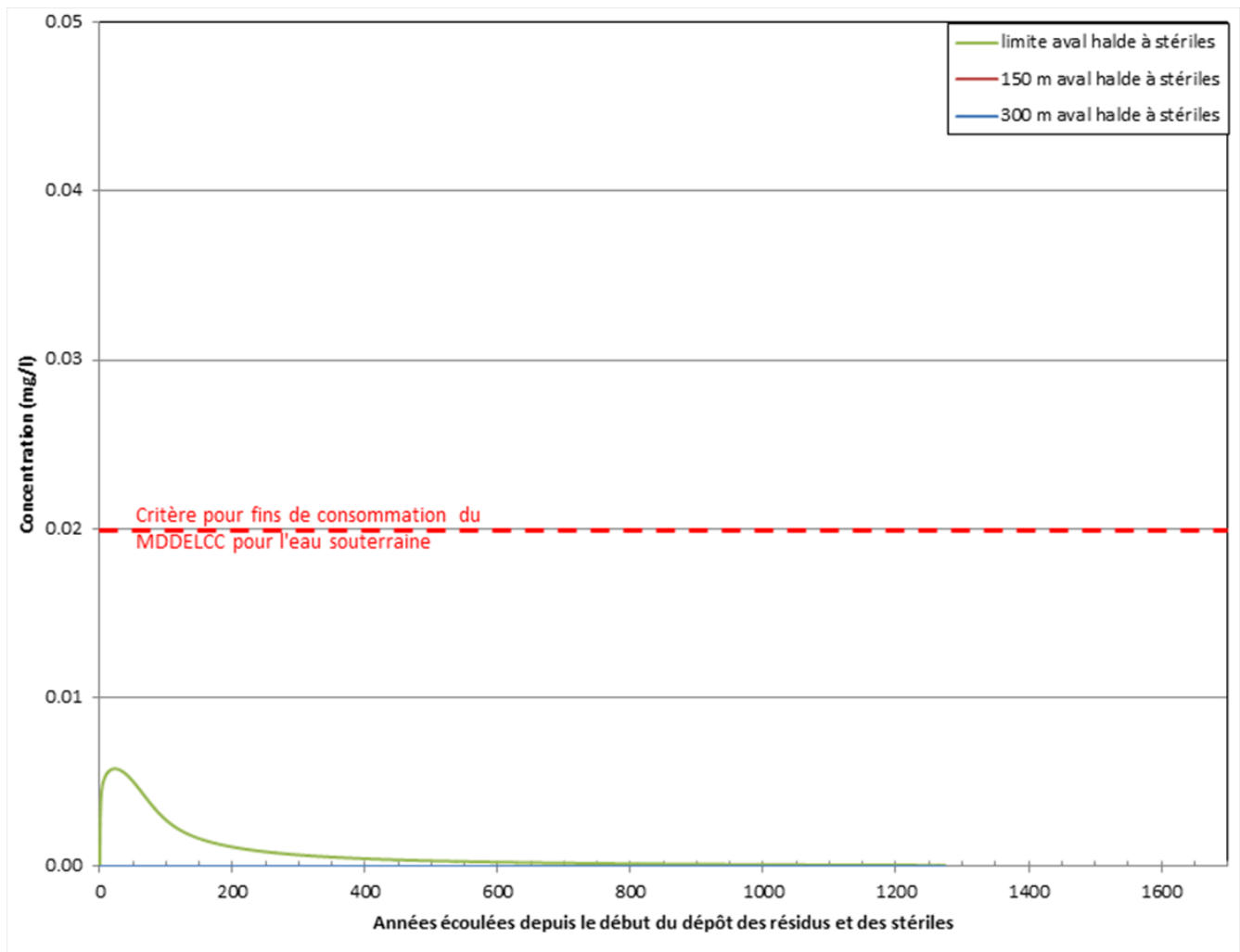


Figure 13: Variation temporelle des concentrations en nickel dans l'eau souterraine en considérant la halde à stériles comme source additionnelle de contamination des eaux souterraines – scénario #9

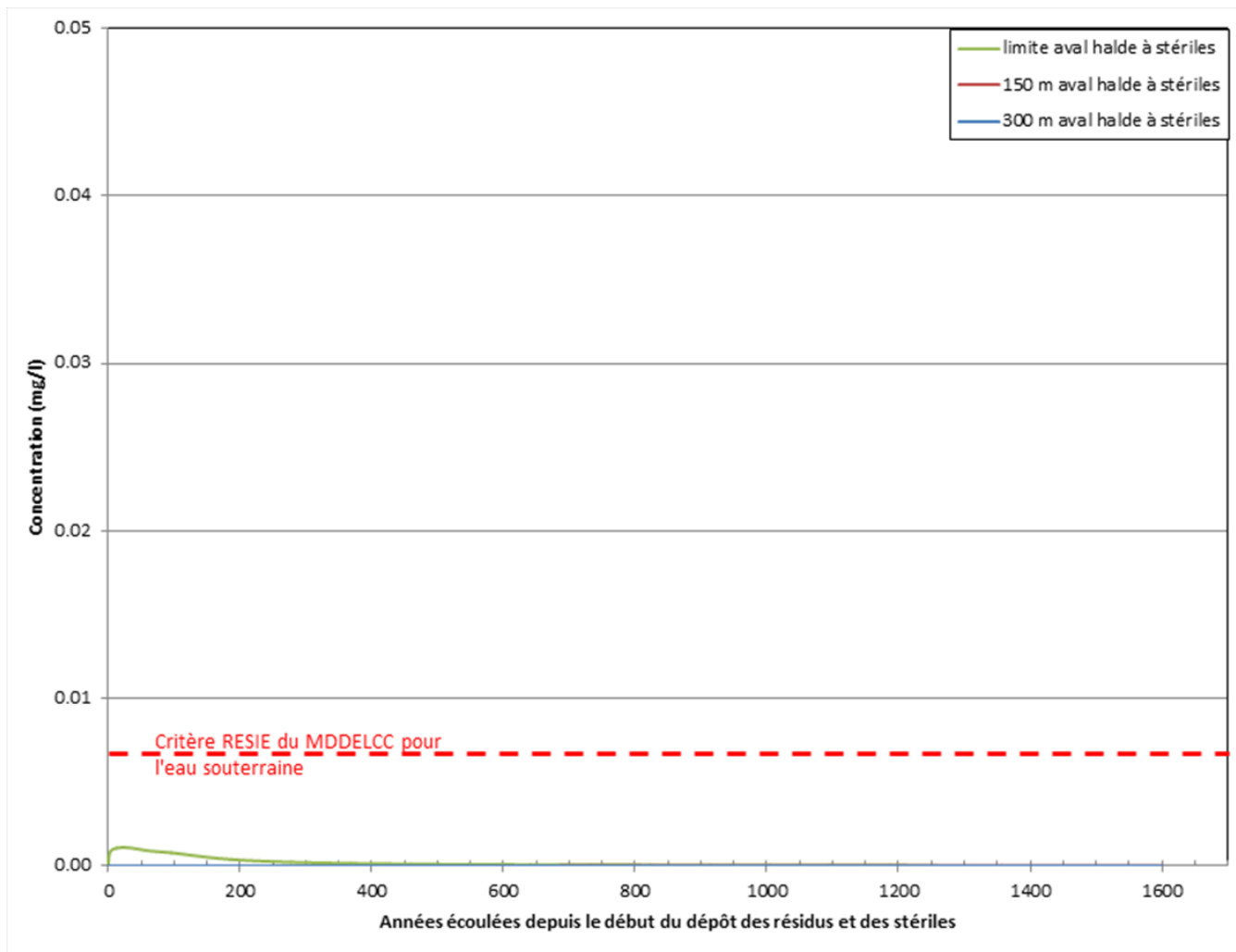


Figure 14: Variation temporelle des concentrations en cuivre dans l'eau souterraine en considérant la halde à stériles comme source additionnelle de contamination des eaux souterraines – scénario #10

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 épais 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 épais. 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 et la halde à stériles.

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. 021-13-1221-0020-3020 Rev 0
- Golder Associés Ltée. 2014f. *Rapport de caractérisation des résidus miniers, Mine Canadian Malartic, Malartic, Québec .* N° réf. 046-13-1221-0020-5010
- 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

Michel Mailloux, ing., M.Sc.
Hydrogéologue, associé

Pierre Groleau, ing., M.Sc.
Hydrogéologue, associé principal


MM/PG/

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

n:\actif\2013\1221\13-1221-0020 osisko - expansion mine malartic\6 livrables émis\062 étude de modélisation\062-13-1221-0020-2020-rev4.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 (JUIN 2011 ET AOÛT 2012)

CONFIDENTIEL

CLIENT
CANADIAN MALARTIC GP

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

CONSULTANT

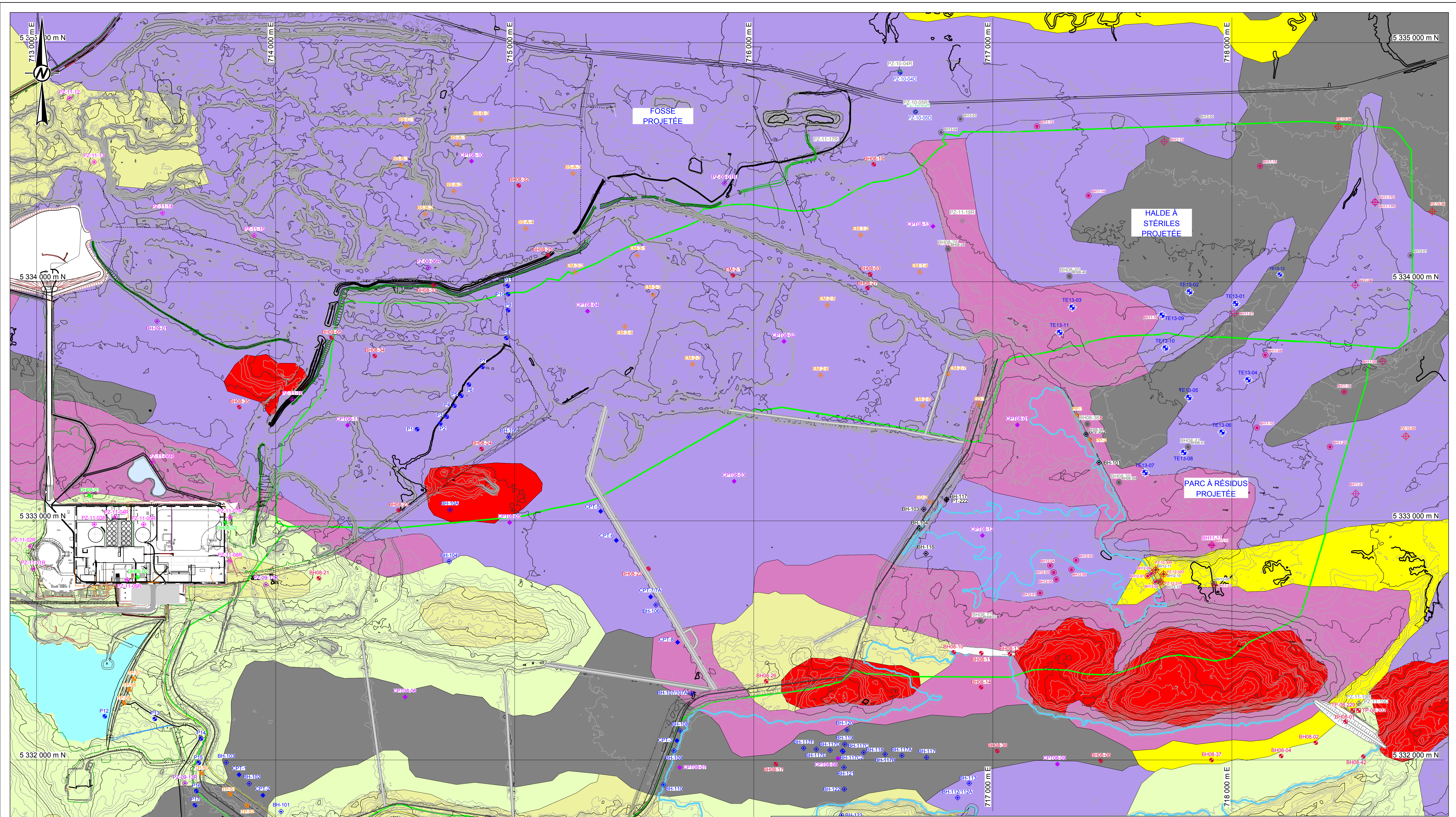
AAAA-MM-JJ	2015-07-17
PROJÉTÉ	C. Boyaud
DESSINÉ	S. Betnesky
REVISÉ	C. Boyaud
APPROUVÉ	P. Groleau

TITRE
LOCALISATION DES AMÉNAGEMENTS PROJÉTÉS

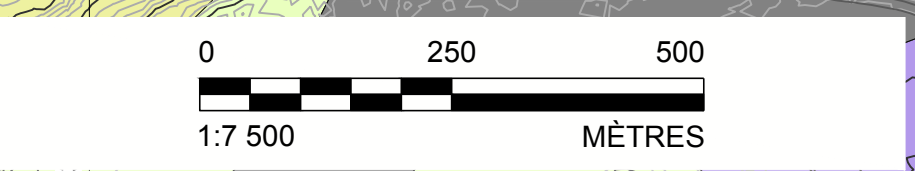


N° PROJET	PHASE	Rév.	PLAN
13-1221-0020	2020	4	1

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



CONFIDENTIEL



LÉGENDE

- PUIXS D'OBSERVATION
- FORAGE
- TRANCHÉE D'EXPLORATION
- ◆ ESSAI DE PÉNÉTRATION AU CÔNE
- EMPREINTE PROJÉTÉE DU PARC À RÉSIDUS ET DE LA HALDE À STÉRILES
- EMPREINTE PROJÉTÉE DE LA FOSSE

- 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

CLIENT
CANADIAN MALARTIC GP

CONSULTANT



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

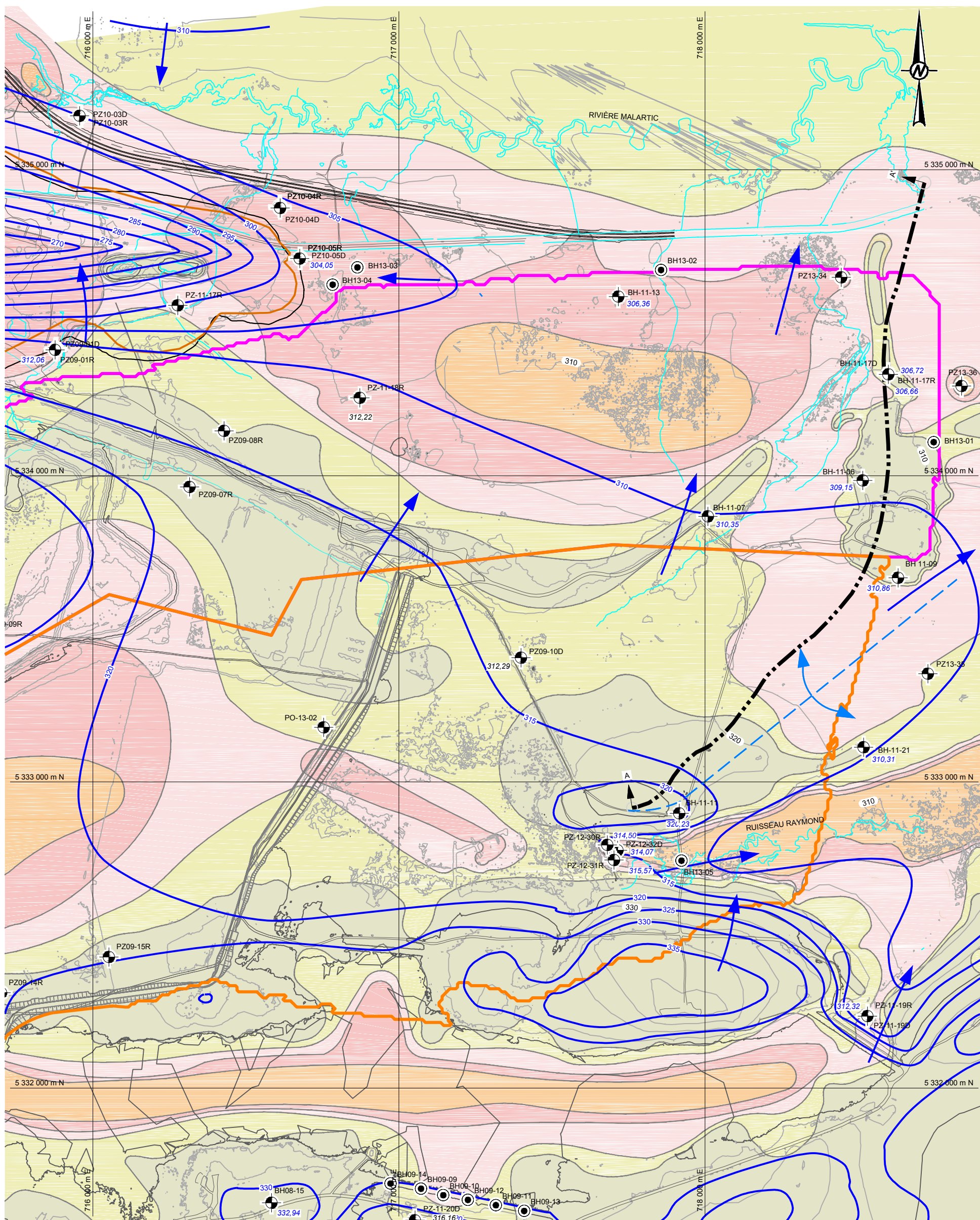
PROJET
ÉTUDE DE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE DES IMPACTS POTENTIELS SUR LA QUALITÉ DE L'EAU SOUTERRAINE DU PROLONGEMENT DE LA HALDE À STÉRILES ET DU PARC À RÉSIDUS, MINE CANADIAN MALARTIC, QUÉBEC - RAPPORT DE MODÉLISATION

**TITRE
CARTE DES DÉPÔTS MEUBLES
(COMMISSION GÉOLOGIQUE DU CANADA)**

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

Chemin: I:\golder\gsg\alberta\SIG\CAD\PROJET\SIG\SIG\PRODUCTION\13-1221-0020\2020\02020.dwg

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



LÉGENDE

- PUIS D'OBSERVATION
- EMPREINTE DU PARC À RÉSIDUS PROJETÉ
- EMPREINTE DE LA HALDE À STÉRILES PROJETÉE
- COURBE ISOPIÈZE (m)
- ÉLEVATION 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

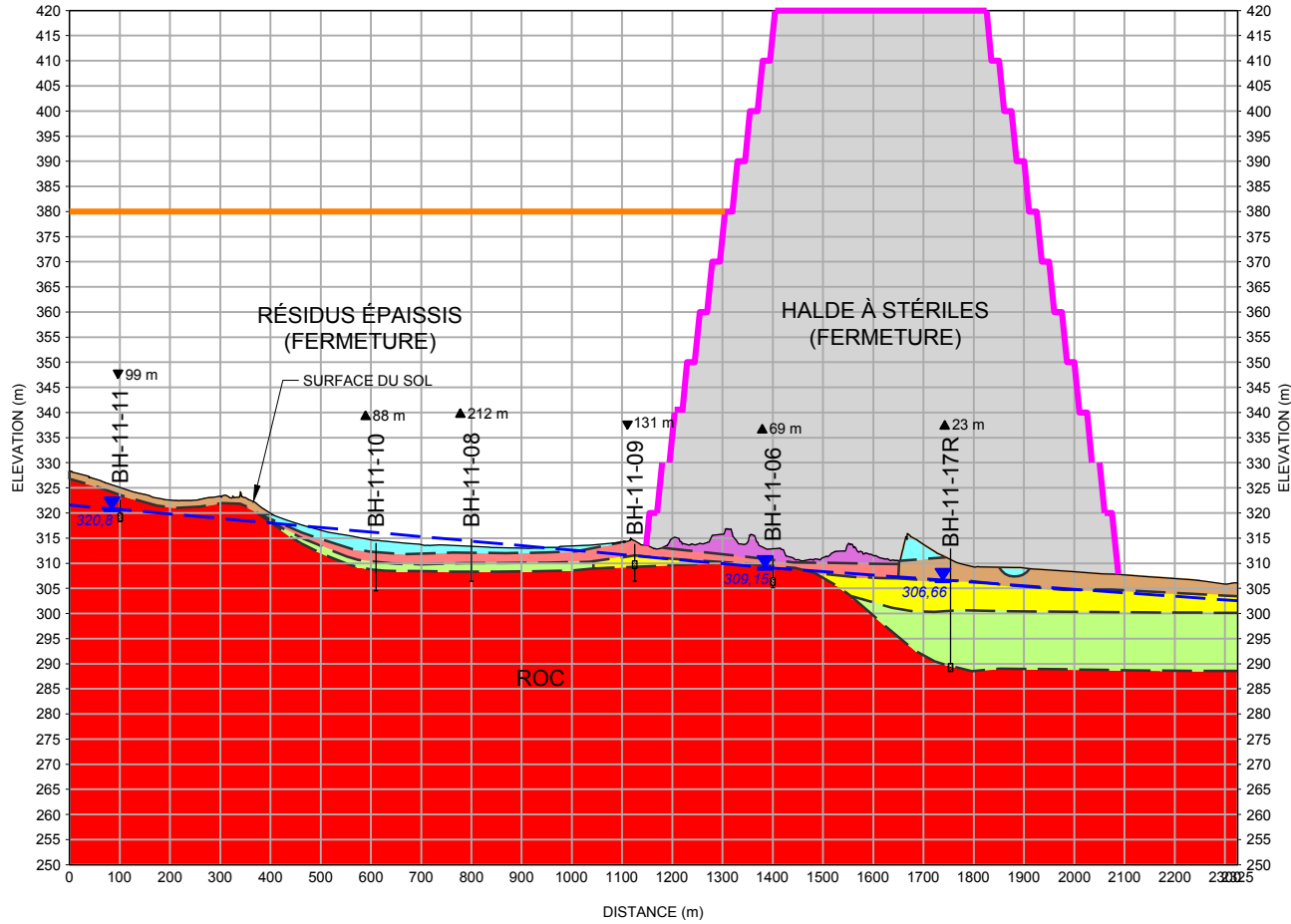
N° PROJET 13-1221-0020 PHASE 2020 Rév. 4 PLAN 3



SI LA MESURE NE CORRESPOND PAS À L'ÉCHELLE, LA TAILLE DE LA FEUILLE A ÉTÉ MODIFIÉE. ANS/B 25 mm

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 ÉLÉVATION DU NIVEAU DE L'EAU SOUTERRAINE (m)

STRATIGRAPHIE

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

CONFIDENTIEL

CLIENT
CANADIAN MALARTIC GP

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

CONSULTANT

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

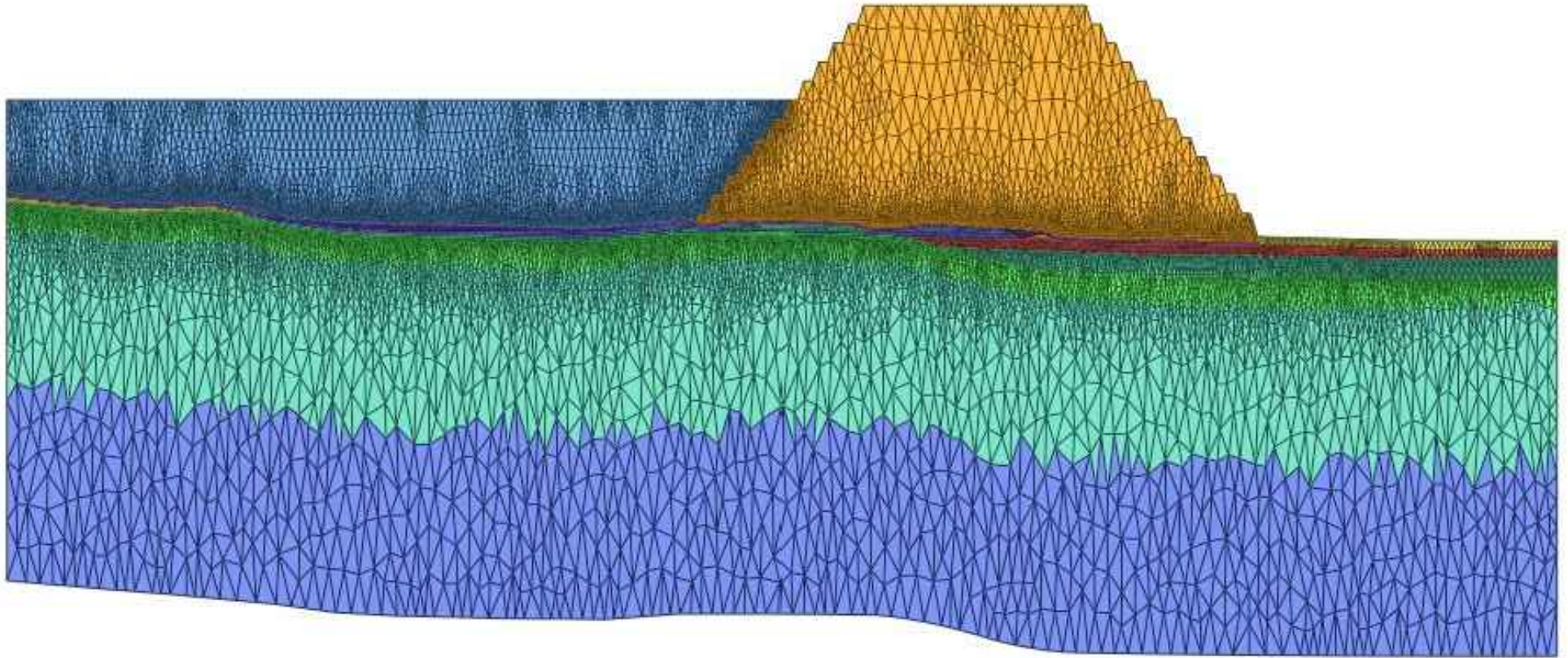
TITRE
COUPE STRATIGRAPHIQUE LE LONG DE L'AXE MODÉLISÉ



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

SIL LA MESURE NE CORRESPOND PAS A L'ECHELLE, LA TAILLE DE LA FEUILLE A ETE MODIFIEE ANSI A 26 mm

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



EXAGÉRATION VERTICALE = 4X

CONFIDENTIEL

CLIENT
CANADIAN MALARTIC GP

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

CONSULTANT

AAAA-MM-JJ 2015-07-17

TITRE

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



PROJETÉ C. Boyaud

DESSINÉ S. Betnesky

REVISÉ C. Boyaud

APPROUVÉ P. Groleau

N° PROJET
13-1221-0020

PHASE
2020

Rév.
4

PLAN
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 Procedure 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 - K0L 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

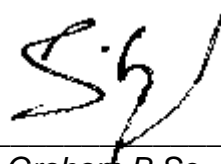
Analysis	3: Analysis Approval Date	4: Analysis Approval Time	5: TE-14-03
Sample Date & Time			18-Sep-14 15:30
Sample weight [g]	16-Oct-14	09:22	15
Volume Leach Solution Added [mL]	16-Oct-14	09:26	294
Volume Leach Solution Recovered [mL]	16-Oct-14	09:22	288
Initial pH	16-Oct-14	09:22	9.87
Final pH	16-Oct-14	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*



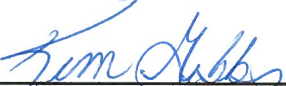
Quantitative X-Ray Diffraction by Rietveld Refinement

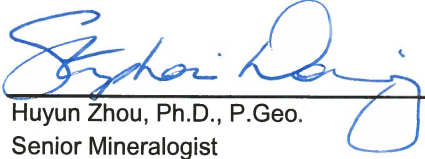
Report Prepared for: *Environmental -Analytical*
Project Number/ LIMS No. *Custom XRD/MI4500-OCT14*
Sample Receipt: *October 1, 2014*
Sample Analysis: *October 3, 2014*
Reporting Date: *October 9, 2014*

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

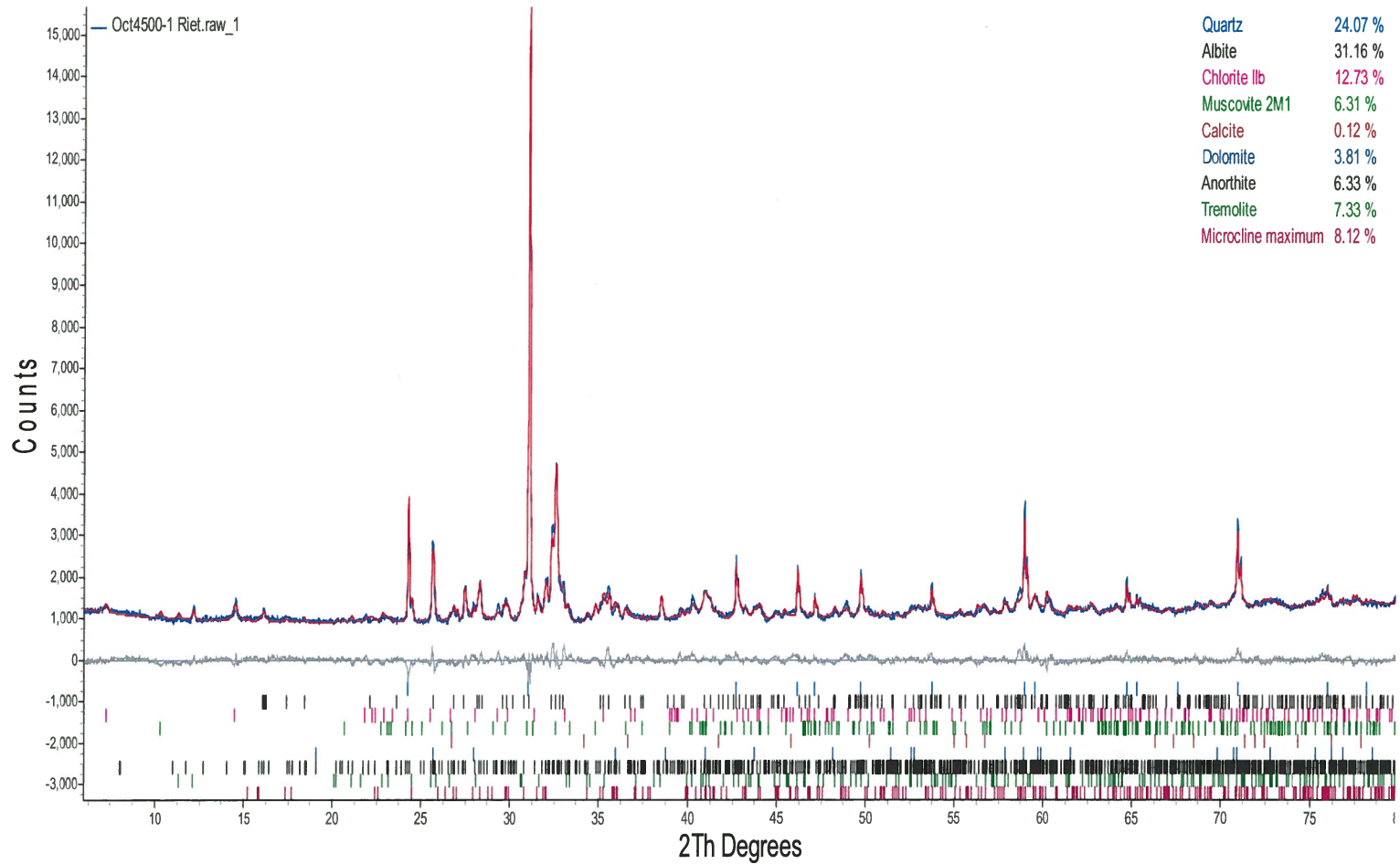
Mineral/Compound	TE-14-03
	OCT4500-01 (wt %)
Quartz	24.1
Albite	31.2
Chlorite	12.7
Muscovite	6.3
Calcite	0.1
Dolomite	3.8
Anorthite	6.3
Tremolite	7.3
Microcline	8.1
TOTAL	100

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
9200, boul. de l'Acadie, bureau 10
Montréal (Québec) H4N 2T2
Canada
T: +1 (514) 383 0990



ANNEXE RQCM-10 à RQCM-13

MÉMORANDUM

À : Kim Cournoyer et Nathalie Tremblay (CMGP)

DE : Julien Poirier (WSP)

OBJET : Réponses à la 1ère série de questions du MELCC, QCM-10 à QCM-13 – Modification de décret PR7-PR8

DATE : 8 avril 2022

QCM-10

L'initiateur indique à la section 3.1 du document de sa demande de modification de décret que les activités de la mine Canadian Malartic sont incluses dans la modélisation de la dispersion atmosphérique présentée dans le contexte de la demande de modification de décret. Selon la compréhension du MELCC, c'est la modélisation de la dispersion atmosphérique des contaminants présentée dans la demande de modification de décret de la mine Canadian Malartic pour l'exploitation des zones souterraines minéralisées du projet Odyssey, datée de novembre 2021⁷, qui a été utilisée. Ainsi toutes les sources d'émission du scénario 1 (incluant Odyssey) seraient incluses dans la modélisation fournie. Dans l'éventualité où des sources d'émission seraient ajoutées ou manquantes au scénario 1, la modélisation de la dispersion atmosphérique de la présente demande devra être mise à jour.

L'initiateur indique dans le document de sa demande de modification que les bermes existantes des cellules du parc à résidus sur le site de la mine Canadian Malartic sont périodiquement rehaussées et que ces activités n'ont pas été incluses dans les modélisations de la dispersion atmosphérique des contaminants antérieurs. Selon l'information présentée, mise à part la construction des bermes PR7 et PR8, seule la berme PR5 serait rehaussée. L'initiateur doit indiquer si des travaux sont planifiés aux autres bermes durant la période de réalisation du projet. Le cas échéant, il devra fournir une description détaillée de ceux-ci (les bermes impliquées, la quantité de matière manipulée, la fréquence et la durée des activités, etc.) et inclure ces sources d'émission dans l'étude de modélisation.

⁷ WSP, Canadian Malartic GP, Modification du projet de la mine Canadian Malartic (Décrets 914-2009, 388-2017 et 1370-2018) – Exploitation des zones souterraines minéralisées du projet Odyssey – Réponses aux questions et commentaires du MELCC, projet no -171-08287-03, 8 novembre 2021.

RÉPONSE

D'abord, l'interprétation du MELCC quant au scénario de départ est exacte. Le scénario utilisé correspond bien au scénario 1 (incluant Odyssey) de la modélisation de la dispersion atmosphérique des contaminants présentée dans la demande de modification de décret de la mine Canadian Malartic pour l'exploitation des zones souterraines minéralisées du projet Odyssey, datée de novembre 2021.

Ensuite, pour ce qui est de la précision sur les travaux planifiés aux autres bermes durant la période de réalisation, le tableau QCM10-1 présente le calendrier prévu pour toute la durée du projet, soit de juillet 2022 à octobre 2024. Cette séquence montre qu'il y a six bermes existantes présentant des travaux réalisés simultanément au projet. Cependant, la berme PR5 est celle dont les travaux sont les plus importants pour cette période avec un volume total à placer d'environ 1,2 Mm³ comparativement à au plus 0,2 Mm³ pour la seconde berme existante en importance (PR1C).

Cette séquence montre également d'importantes variations mensuelles sur la position des travaux prévus aux infrastructures existantes avant février 2023. Ceci complexifie la caractérisation d'un scénario de modélisation pour cette période, et ce, en raison de travaux qui ne sont pas directement liés au projet en évaluation.

Néanmoins, à partir de cette séquence des travaux, deux situations « pire cas » ont été sélectionnées pour la modélisation, soit une situation représentative de la période journalière (correspondant aux mois d'août et septembre 2023, en orange ci-dessous) et une situation représentative de la période annuelle (correspondant aux mois de mars 2023 à février 2024, en bleu/orange ci-dessous). Pour ces deux situations, parmi les infrastructures existantes, uniquement la berme PR5 présente des travaux prévus. Les travaux aux autres bermes existantes surviennent donc à des périodes où l'intensité des travaux est moindre, et ce, à la fois en considérant uniquement le projet et en considérant la combinaison du projet et des infrastructures existantes. Ces périodes n'ont donc pas été retenues comme scénario de modélisation.

Tableau QCM10-1 : Séquence de construction prévue des infrastructures existantes et les nouvelles infrastructures (PR7 et PR8) pour la période du projet

Année	Mois	Volume à placer (m ³)							
		Infrastructures existantes						Nouvelles infrastructures	
		PR1A	PR1C	PR1E	PR2	PR5	PR6	PR7	PR8
2022	Juillet	0	120 000	0	0	0	0	133 900	0
	Août	0	0	114 400	0	0	0	133 900	0
	Septembre	0	0	42 200	65 000	0	0	133 900	0
	Octobre	100 100	0	0	0	48 000	0	153 900	0
	Novembre	0	100 000	0	0	120 000	0	98 900	0
	Décembre	0	0	0	0	126 250	0	133 900	0
2023	Janvier	0	0	0	112 000	0	60 000	133 900	0
	Février	0	0	0	0	60 000	60 000	153 900	0
	Mars	0	0	0	0	120 000	0	133 900	0
	Avril	0	0	0	0	114 250	0	133 900	0
	Mai	0	0	0	0	24 106	0	148 900	0
	Juin	0	0	0	0	120 000	0	133 900	0
	Juillet	0	0	0	0	174 250	0	73 900	0
	Août	0	0	0	0	0	0	0	367 900
	Septembre	0	0	0	0	0	0	0	367 900
	Octobre	0	0	0	0	120 000	0	0	252 900
	Novembre	0	0	0	0	174 250	0	0	222 900
	Décembre	0	0	0	0	0	0	0	302 900
2024	Janvier	0	0	0	0	0	0	0	302 900
	Février	0	0	0	0	0	0	0	302 900
	Mars	0	0	0	0	0	0	50 000	0
	Avril	0	0	0	0	0	0	50 000	0
	Mai	0	0	0	0	0	0	0	100 000
	Juin	0	0	0	0	0	0	175 000	0
	Juillet	0	0	0	0	0	0	63 500	55 000
	Août	0	0	0	0	0	0	0	125 000
	Septembre	0	0	0	0	0	0	76 400	0
	Octobre	0	0	0	0	0	0	100 000	0
Total		100 100	220 000	156 600	177 000	1 201 106	120 000	2 215 600	2 400 300

QCM-11

À la section 4.2.3 (Boutage) du document de sa demande de modification de décret, l'initiateur mentionne que le nombre moyen d'équipes prévues pour une année d'opérations est de 3,5 et que celles-ci sont réparties selon les ratios de volumes (tonnage) mensuels de matériel à déplacer. Ainsi, il y aurait, en moyenne et en considérant des activités en continu 24 heures par jour durant toute l'année, 1,04 équipe qui travaille avec le bouteur sur chenille no1 (PR8), 1,04 équipe qui travaille avec le bouteur sur chenille no2 (PR8), 0,62 équipe qui travaille avec le bouteur sur chenille no 3 (PR7) et 0,80 équipe qui travaille avec le bouteur sur chenille no4 (PR5). Au tableau A-2-6 (Caractéristiques physiques et taux d'émission –Boutage), l'initiateur présente un facteur d'utilisation annuel, qui est établi à partir des fractions d'équipe divisées par 2, ce qui ne semble pas correspondre avec la description fournie à la section 4.2.3. Ainsi, l'initiateur doit expliquer comment il a établi le facteur d'utilisation annuel et pourquoi il est divisé par 2.

RÉPONSE

D'abord, le calcul du nombre d'équipe moyen annuel pour chacun des secteurs a été effectué à partir des volumes mensuels à placer et du nombre d'équipe prévu pour chaque mois, présenté au tableau 4 du rapport de modélisation. Pour chacun des mois, le nombre d'équipe prévu a donc été réparti à chacun des secteurs proportionnellement au volume (ou tonnage) à placer prévu pour ce mois. La moyenne annuelle du nombre d'équipe est ensuite calculée pour chacun des secteurs.

Afin de détailler la méthode de calcul, le tableau QCM11-1 reprend le tableau 4 du rapport de modélisation et y ajoute ce calcul de la répartition des équipes selon les secteurs. En exemple, le calcul est explicitement donné pour le mois de mars 2023 et le secteur PR5. Ce tableau permet donc retrouver les nombres d'équipe associés à chacun des secteurs donnés à la section 4.2.3 du rapport de modélisation.

Deuxièmement, ce nombre d'équipe a été associé à chacune des sources actives considérées pour chacun des secteurs. Pour les secteurs PR5 et PR7, une seule source de boutage a été considérée dans le scénario annuel de modélisation. Le nombre d'équipe moyen a donc été directement associé à ces sources, soit 0,62 équipe moyenne pour tdoz03 et 0,80 équipe moyenne pour tdox04. Pour le secteur PR8, deux sources de boutage ont été considérées dans le scénario annuel de modélisation. Ainsi, le nombre d'équipe moyen a été réparti également sur chacune des sources, soit 1,04 équipe moyenne pour tdoz01 et 1,04 équipe moyenne pour tdox02, pour un total de 2,08 équipes moyennes associées à PR8.

Finalement, afin de bien comprendre le calcul du facteur d'utilisation annuel et la justification du facteur 2, il est adéquat de clarifier la définition d'une « équipe » dans le cadre de la description des activités. Celle-ci est donnée à la section 3.3.1 :

L'horaire de travail sera de 24 heures par jour avec, au plus, deux équipes de jour et deux équipes de nuit, soit un total de quatre équipes. [...] Une équipe de travail consiste en une pelle hydraulique pour le chargement, quatre camions de transport et un bouteur positionné sur la berme pour le placement des stériles.

Cette définition implique qu'une équipe de travail représente les activités des équipements lors d'un quart de jour ou de nuit, soit 12 heures dans une journée, et qu'un seul bouteur est prévu pour chacune des équipes de travail. Ainsi, un bouteur considéré actif pour une journée complète, soit 24 heures, représente deux équipes. Dans la modélisation, chacune des sources de boutage a été modélisée comme active en continu 24 heures par jour et représente donc chacune l'équivalent de deux équipes modélisées.

Le facteur d'utilisation annuel pour la modélisation correspond donc au ratio entre le nombre d'équipe moyen annuel associé à une source et le nombre d'équipe que représente cette source dans la modélisation. Par exemple, pour la source tdoz01, le facteur d'utilisation annuel correspond donc à :

$$\text{Facteur utilisation annuel (tdoz01)} = \frac{1,04 \text{ équipe moyen annuel}}{2 \text{ équipes modélisées}} = 52 \%$$

Tableau QCM11-1 : Calcul du nombre d'équipe annuel moyen par secteur

Mois	Volume à placer (m ³)			Nombre d'équipe	Répartition des équipes selon les secteurs		
	Infrastructures existantes	Nouvelles infrastructures			Infrastructures existantes	Nouvelles infrastructures	
	Berme PR5	Berme PR7	Berme PR8		Berme PR5	Berme PR7	Berme PR8
Mars 2023	120 000	133 900	0	3	$\frac{120\,000}{120\,000 + 133\,900} \times 3 \text{ équipes} = 1,42$	1,58	0
Avril 2023	114 250	133 900	0	3	1,38	1,62	0
Mai 2023	24 106	148 900	0	2	0,28	1,72	0
Juin 2023	120 000	133 900	0	3	1,42	1,58	0
Juillet 2023	174 250	73 900	0	3	2,11	0,89	0
Août 2023	0	0	367 900	4	0	0	4
Septembre 2023	0	0	367 900	4	0	0	4
Octobre 2023	120 000	0	252 900	4	1,29	0	2,71
Novembre 2023	174 250	0	222 900	4	1,76	0	2,24
Décembre 2023	0	0	302 900	4	0	0	4
Janvier 2024	0	0	302 900	4	0	0	4
Février 2024	0	0	302 900	4	0	0	4
Moyenne mensuelle	70 571	52 042	176 692	3,5	0,80	0,62	2,08
Total	846 856	624 500	2 120 300	-	-	-	-

QCM-12

À la section 4.2.4 (Érosion éolienne) du document de sa demande de modification, l'initiateur a appliqué un facteur d'atténuation, basé sur le nombre de jours moyens au cours d'une année où il y a des précipitations d'au moins 0,254 mm, pour évaluer les émissions annuelles de particules générées par l'érosion éolienne des bermes. Les données météorologiques utilisées proviennent de la station de Val D'Or pour la période de 2010 à 2020. Pour avoir des données plus représentatives, et être en concordance avec la méthode préconisée pour choisir l'échantillon des données pour la modélisation, seules les données de précipitation de la station de Val-D'Or pour la période de 2016 à 2020 doivent être utilisées pour établir le facteur d'atténuation attribuable aux précipitations. L'initiateur doit présenter le nouveau facteur d'atténuation obtenu pour les précipitations, corriger les taux d'émission concernés et démontrer les effets de ces changements sur les résultats de la modélisation.

RÉPONSE

Le facteur d'atténuation liée aux précipitations a pour objectif d'évaluer un effet moyen sur les émissions, sur une période de longue durée (période annuelle). Or, ce facteur d'atténuation moyen n'est pas intrinsèquement lié aux conditions de dispersion et n'a donc pas à être restreint aux années de l'échantillon météorologique utilisé pour la modélisation. D'ailleurs, la pratique courante en météorologie pour calculer des tendances moyennes est plutôt de se baser sur le long terme. Notamment, le calcul des normales climatiques vise à représenter des périodes de 30 ans et l'OMM¹ recommande d'avoir au moins 80 % des années disponibles sur cette période (donc 24 années minimum).

¹ WMO, 2018. *Guide to Climatological Practices*, 978-92-63-10100-6.

De plus, WSP est d'avis que la proposition du MELCC ne peut être appliquée de façon générale pour tous les projets. En effet, il est important de souligner que la disponibilité des données de précipitations n'intervient pas dans la sélection des années de l'échantillon météorologique. Il est parfois difficile de trouver des années récentes avec un nombre de données manquantes acceptables pour les paramètres de dispersion, il en serait encore plus contraignant de prendre les précipitations en considération. Or, sans égard pour la disponibilité des données de précipitations lors de la sélection de l'échantillon météorologique, les années choisies pourraient être de moindre qualité en ce qui concerne les données de précipitations et un biais, possiblement important, pourrait être introduit.

Ainsi, l'évaluation des précipitations dans le cadre de la présente étude a été guidée par la disponibilité des données récentes aux trois stations de Val-d'Or. À cet effet, le tableau QCM12-1 illustre, pour chacune des stations, le nombre de jours par mois où les données de précipitation sont disponibles. Pour les années récentes, on observe que les stations 7098600 et 7098605 présentent une faible disponibilité des données et ne peuvent donc pas être retenues pour l'analyse. Pour la station 7098603 (correspondant à la station retenue pour l'échantillon météorologique), la disponibilité des données est bonne. En contrepartie, les normales climatiques (30 ans) ne peuvent être calculées à cette station puisque les données ne sont disponibles qu'à partir de juillet 2008. Le nombre moyen de jours avec au moins 0,254 mm de précipitations a alors été estimé à 176 j/an, en considérant les données de 2010 à 2020, soit l'équivalent d'environ 10 ans de données.

Pour les années antérieures à 2008, seule la station 7098600 présente des données. La disponibilité des données est excellente et les normales climatiques pour cette station ont d'ailleurs été calculées par Environnement Canada pour la période 1971 à 2000. Pour cette station et cette période, le nombre moyen de jours avec au moins 0,254 mm de précipitations est d'environ 188 j/an. La valeur utilisée dans l'étude de modélisation (176 j/an) apparaît donc raisonnable.

Finalement, comme il est mentionné à la section 7.2.1 du rapport de modélisation :

Les taux d'émission utilisés pour représenter les différentes sources fugitives sont estimés à l'aide d'équations empiriques visant à donner un ordre de grandeur des émissions plutôt qu'un chiffre exact. De plus, l'efficacité de l'atténuation appliquée dans le but de contrôler ces émissions ne peut qu'être estimée grossièrement.

Ainsi, l'utilisation de valeur moyenne sur le long terme semble tout indiquée pour cet exercice et la précision du facteur d'atténuation liée aux précipitations utilisée dans la présente étude est jugée satisfaisante.

Tableau QCM12-1 : Données de précipitations journalières disponibles aux stations de Val-d'Or

Station météorologique	Mois	Nombre de jours de données disponibles												
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Val-d'Or A CYVO WMO #71725 7098600	Janvier	31	31	31	31	30	31	31	31	31	26	30	20	30
	Février	29	28	28	28	29	28	28	28	29	22	27	21	26
	Mars	31	31	31	31	30	31	31	31	31	28	29	29	30
	Avril	30	30	30	29	30	30	30	30	20	21	27	26	28
	Mai	28	19	2	1	0	0	0	0	0	3	0	0	1
	Juin	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Juillet	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Août	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Septembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Octobre	0	10	21	4	8	10	1	15	1	2	27	0	7
	Novembre	30	30	30	26	30	30	30	30	23	27	28	30	27
	Décembre	31	31	31	30	31	31	31	31	29	30	28	31	29
Val-d'Or CGVO WMO #71725 7098603	Janvier	0	31	31	31	0	31	29	30	31	31	31	30	31
	Février	0	28	26	28	0	28	28	25	27	28	28	1	29
	Mars	0	31	31	30	0	31	31	28	31	30	31	31	31
	Avril	0	30	29	30	0	30	27	30	30	30	29	30	30
	Mai	0	30	30	31	0	31	30	31	30	30	31	31	31
	Juin	0	28	30	30	20	30	30	30	29	30	28	30	30
	Juillet	29	31	31	31	30	30	30	31	31	31	31	31	27
	Août	30	31	30	23	31	30	31	31	29	31	31	29	2
	Septembre	30	30	30	0	29	30	28	28	30	30	30	30	29
	Octobre	31	29	31	0	31	29	29	31	29	31	30	31	30
	Novembre	30	30	30	0	30	28	29	30	30	29	28	30	30
	Décembre	27	31	30	0	31	31	29	30	31	30	31	30	31
Val-d'Or A CYVO WMO #71941 7098605	Janvier	0	0	0	0	29	20	22	31	31	26	23	31	31
	Février	0	0	0	0	27	19	19	28	26	20	22	26	29
	Mars	0	0	0	0	31	20	22	30	31	26	22	31	31
	Avril	0	0	0	0	28	26	20	30	29	22	21	30	30
	Mai	0	0	0	0	30	30	30	30	31	23	27	31	31
	Juin	0	0	0	0	28	27	30	26	29	22	19	30	30
	Juillet	0	0	0	0	28	22	22	28	19	21	20	29	30
	Août	0	0	0	7	30	17	21	30	22	20	27	31	30
	Septembre	0	0	0	30	30	20	30	30	26	23	27	30	30
	Octobre	0	0	0	31	29	22	29	31	21	20	17	31	31
	Novembre	0	0	0	30	27	20	25	30	22	22	30	30	29
	Décembre	0	0	0	30	30	20	23	30	21	22	31	31	31

Légende : Les mois en vert présentent 25 jours de données et plus, en orange présentent entre 16 et 24 jours de données et en rouge présentent 15 jours de données et moins.

QCM-13

À la section 5.9.6.2 (Teneurs en silice utilisées pour la modélisation) du document de sa demande de modification, l'initiateur mentionne que les activités du projet sont toutes associées à la manipulation de roches stériles provenant de la halde et que l'échantillon SIL1 a été jugé le plus représentatif des sources pour établir les teneurs en silice cristalline. Selon notre compréhension, la manipulation de roches stériles concerne les activités de boutage et de chargement/déchargement. L'initiateur doit préciser quelles teneurs en silice cristalline ont été appliquées aux activités de camionnage sur les routes, ainsi qu'à l'érosion éolienne.

RÉPONSE

Comme présenté à la description des opérations, les principales activités de construction du projet consistent en la construction et le rehaussement de bermes de retenue à partir de stériles miniers provenant des haldes à stériles. Sur les haldes, les stériles sont chargés dans des camions miniers à l'aide d'excavatrices pour être transportés vers les bermes en construction. Les matériaux sont ensuite placés à l'aide de bouteurs. La justification du choix de l'échantillon pour les teneurs en silice cristalline est donnée ci-dessous pour chacune des activités du projet.

D'abord, puisque les activités de manutention et de boutage concernent directement les stériles provenant de la halde, l'échantillon SIL1 a été sélectionné pour ces activités.

Ensuite, puisque les bermes sont construites à partir de stériles provenant des haldes, l'échantillon SIL1 a également été sélectionné pour l'érosion éolienne des bermes en construction. Il s'agit du même choix que pour les sources d'érosion éolienne du site de MCM.

Enfin, la majorité des routes de transport du projet sont en réalité directement les bermes du parc à résidus, lesquelles sont construites à partir de stériles provenant des haldes. Dans ce contexte, l'échantillon SIL1 a également été sélectionné pour les activités de camionnage sur les routes. À titre indicatif, l'échantillon SIL1 présente des teneurs plus élevées en silice cristalline que les échantillons SIL5 et SIL6 utilisés pour les routes de l'ensemble des activités de MCM.



Julien Poirier, ing., M. Sc.
Chargé de projet – Qualité de l'air

JP/nl

ANNEXE RQCM-15

MÉMORANDUM

À : Kim Cournoyer et Nathalie Tremblay (CMGP)

DE : Julien Poirier et Philippe Lachance (WSP)

OBJET : Réponses à la 1ère série de questions du MELCC, QCM-15 – Modification de décret PR7-PR8

DATE : 12 avril 2022

QCM-15

À la section 6.1 (Secteur Sud) du document de sa demande de modification, l'initiateur présente uniquement les résultats du scénario de base, considérant qu'aucun dépassement n'est modélisé aux récepteurs sensibles du secteur sud. Puisque des dépassements ont lieu dans le domaine d'application, l'initiateur doit aussi présenter les résultats d'un scénario optimisé pour le secteur sud. L'initiateur devra présenter ces résultats, sans quoi, il n'est pas possible de comparer les résultats de cette étude avec la situation présentement autorisée.

RÉPONSE

Les activités de construction sont typiquement très variables en intensité, dans l'espace et dans le temps. Elles sont donc difficiles à représenter de façon convenable à l'aide de la modélisation. Néanmoins, suivant la section 5.1 du *Guide d'instructions - Préparation et réalisation d'une modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques - Projets miniers* du MELCC (MDDELCC, 2017), le MELCC exige la modélisation des phases de construction et de « représenter les conditions qui maximiseront les répercussions sur la qualité de l'atmosphère ».

À cet effet, et tel que présenté dans l'étude de modélisation (WSP, 2021), le calendrier de construction a été analysé et deux situations « pires cas » ont été évaluées et modélisées sur l'ensemble de l'échantillon météorologique (cinq années complètes de données météo). Les opérations prévues au mois d'août et septembre 2023 ont alors été retenues comme situation « pire cas » journalière tandis que les mois de mars 2023 à février 2024 ont été retenus pour la situation « pire cas » annuelle. Or, en particulier pour la situation journalière, il faut rappeler que l'intensité des opérations modélisées n'est prévue que sur une courte période (2 mois) par rapport aux 28 mois planifiés pour la construction. Les dépassements alors modélisés et leur occurrence ne sont donc pas représentatifs de la situation probable de l'ensemble de la période de construction.

À la suite des discussions avec les représentants du MELCC, le scénario de construction a été mis à jour afin de mettre les résultats en perspective et de quantifier le degré de conservatisme de l'étude initiale. Dans ce contexte, les opérations planifiées pour chacun des 28 mois de construction ont été modélisées, pour un total de 28 scénarios de construction. Ces scénarios ont été caractérisés à partir des sources associées aux bermes PR5, PR7 et PR8 déjà caractérisées dans l'étude de modélisation et dont les émissions ont été ajustées selon les volumes mensuels à placer, présentés au tableau QCM10-1. Pour les infrastructures existantes, les volumes de toutes les bermes ont été associés à PR5. Bien qu'en réalité des travaux seraient réalisés sur d'autres bermes, il s'agit d'une hypothèse raisonnable afin de ne pas complexifier davantage la caractérisation des scénarios de modélisation, et ce, pour des activités qui ne sont pas directement liées au projet en évaluation. Pour chacun des scénarios, les activités d'exploitation de MCM sont considérées constantes en continu.

De plus, ces 28 scénarios ont été modélisés pour les mois correspondants de l'échantillon météorologique. Le scénario de janvier 2023, par exemple, est ainsi modélisé sur les 5 mois de janvier de l'échantillon météorologique. La procédure permet donc de conserver la diversité des conditions fournie par l'échantillon météorologique, tout en modélisant une situation plus réaliste de la séquence de construction prévue.

Les résultats pour les composés qui présentaient des dépassements au secteur sud, soit les particules totales, les particules fines, le nickel et la silice cristalline, sont présentés aux figures QCM15-1 à QCM15-5. Les courbes d'isoconcentrations illustrent, pour chacun des récepteurs, les concentrations maximales obtenues sur l'ensemble des cinq années de l'échantillon météorologique. Pour les périodes 1 heure et 24 heures, les concentrations maximales obtenues sur l'ensemble des 28 scénarios sont présentées. Pour la période annuelle, les concentrations moyennes pour les 12 scénarios de mars 2023 à février 2024, considérés comme la situation pire cas annuelle, sont présentées.

Cette façon de présenter les résultats permet de synthétiser les concentrations modélisées sur une même carte, mais ne permet pas d'apprécier la probabilité d'occurrence des événements. Le portrait présenté est donc particulièrement pessimiste pour des scénarios de construction, qui sont variables et de durée limitée. À cet effet, le nombre de dépassements probables sur l'ensemble des 28 mois de construction est également illustré sur chacune des figures 1 heure et 24 heures. Ceux-ci représentent la somme des dépassements modélisés pour les 28 scénarios, divisée par le nombre d'années de l'échantillon météorologique (5). Une valeur de 0.2, par exemple, indique qu'un seul dépassement a été modélisé sur les 28 mois de construction et les 5 années de l'échantillon météorologiques. Selon la modélisation, il y aurait donc 20 % des chances d'observer un dépassement à ce récepteur, sur l'ensemble de la période de construction de 28 mois.

Par ailleurs, il est important de rappeler que la mine Canadian Malartic et le projet de construction sous étude se situent en terres publiques. Or, suivant la section 4.3 *Cas de projets sur des terres publiques* du *Guide d'instructions - Préparation et réalisation d'une modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques - Projets miniers*, une distance de 300 m est utilisée par le MELCC dans l'évaluation des dépassements :

« Si les normes et les critères de qualité de l'atmosphère ne sont pas respectés, pour un ou plusieurs contaminants, à une distance de 300 mètres et plus des installations du projet, le promoteur doit démontrer au MDDELCC que des mesures d'atténuation courantes ont été appliquées là où c'est réalisable sur les plans technique et économique. »

Afin d'aider l'interprétation des résultats, la domanialité des territoires (publique ou privé) au sud de la limite d'application et une ligne correspondant à une distance de 300 m des infrastructures du projet sont cartographiées sur les figures.

Finalement, les résultats des nouvelles modélisations (28 scénarios de construction) sont résumés au tableau QCM15-1, pour chacune des substances, et discuté dans les sous-sections suivantes.

Tableau QCM15-1 : Résumés des résultats de modélisation au secteur sud – 28 scénarios de construction

Substance	Type de seuil	Période	Limite d'application	300 m des infrastructures	Récepteurs sensibles
PMT	Norme	24 heures	5,6 d.p.	◆	✓
PM _{2,5}	Norme	24 heures	◆	✓	✓
Nickel	Norme	24 heures	✓	✓	✓
SiO ₂	Critère	1 heure	2 d.p.	◆	✓
SiO ₂	Critère	1 an	✗	✗	✓
d.p. Dépassement probable. ✓ La concentration totale maximale est inférieure à la valeur limite. ◆ La concentration totale maximale est supérieure à la valeur limite et le nombre de dépassement probable est inférieur à 1 sur 28 mois. ✗ La concentration totale maximale est supérieure à la valeur limite.					

Particules totales (PMT)

Les résultats pour les PMT montrent des dépassements dans le domaine d'application, et ce, autant en terres publiques qu'en terres privées. Cependant, ces dépassements n'atteignent pas les résidences le long du chemin des Merles. De plus, on peut constater que le nombre de dépassement probable de PMT au-delà de la limite de 300 m des infrastructures est en tout point inférieur à un.

La fréquence de dépassement probable estimée à la limite d'application est d'au plus 5,6 journées pour la totalité des 28 mois du projet. Or, à titre de comparaison, le scénario pire cas présenté à l'étude de modélisation comportait 20 journées de dépassement annuel (sur 12 mois). De plus, bien que l'étude de modélisation présentait des dépassements modélisés jusqu'à une distance de 500 m au sud de la limite d'application, la présente analyse montre que les dépassements probables (d'une journée ou plus par 28 mois) sont restreints à moins de 150 m de la limite. Ceci témoigne du conservatisme de la méthode de modélisation des activités de construction initialement employée, comme il était discuté à la section 6.1.1 de l'étude de modélisation.

Particules fines (PM_{2.5})

Les résultats pour les PM_{2.5} montrent des dépassements pour quelques récepteurs sur la limite d'application. Cependant, le nombre de dépassement probable est en tout point inférieur à un. Le nombre de dépassement probable maximal est de 0,6, indiquant une probabilité de 60 % d'avoir 1 dépassement 24 heures au cours des 28 mois de construction. À titre de comparaison, le scénario pire cas présenté à l'étude de modélisation comportait 3 journées de dépassement annuel (sur 12 mois).

Nickel (Ni)

Les résultats pour les 28 scénarios de construction ne présentent pas de dépassement pour le nickel. En effet, en modélisant la variation des opérations mensuelles selon la séquence de construction prévue, les légers dépassements initialement modélisés dans le scénario pire cas présentés dans l'étude de modélisation ne sont plus rencontrés. À titre de comparaison, le scénario pire cas présenté à l'étude de modélisation comportait 3 journées de dépassement annuel (sur 12 mois).

Silice cristalline (SiO₂)

Période 1 heure

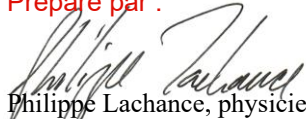
Les résultats pour la silice cristalline sur une période d'une heure montrent des dépassements dans le domaine d'application, en terres publiques, ainsi qu'à la limite d'application avec des terres privées. Le nombre de dépassement probable au-delà du 300 m est en tout point inférieur à un. À la limite d'application, un maximum de 2 dépassements probables est modélisé, soit 2 heures sur 28 mois de construction. Suivant la modélisation, c'est donc dire que le critère 1 heure est respecté 99,99 % du temps. À titre de comparaison, le scénario pire cas présenté à l'étude de modélisation comportait 14 heures de dépassement annuel (sur 12 mois).

Période annuelle

Les résultats pour la silice cristalline sur une période annuelle montrent des dépassements dans le domaine d'application, et ce, autant en terres publiques qu'en terre privées. Cependant, ces dépassements n'atteignent pas les résidences le long du chemin des Merles, et ce, de manière similaire à ce qui était présenté à l'étude de modélisation.

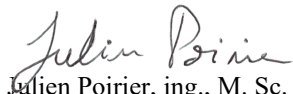
La concentration maximale modélisées, incluant la concentration initiale, à la limite d'application au sud représente 0,112 µg/m³, soit 161 % du critère annuel. À titre de comparaison, cette concentration est inférieure à la concentration maximale modélisée à la limite d'application du scénario optimisé au tableau A 5 de l'étude de 2018 (WSP, 2018). En effet, ce scénario présentait une concentration maximale de 0,157 µg/m³, soit 224 % du critère annuel.

Préparé par :



Philippe Lachance, physicien, M. Sc.
Spécialiste sénior en qualité de l'air

Révisé par :



Julien Poirier, ing., M. Sc.
Chargé de projet – Qualité de l'air

PL/jp

RÉFÉRENCES

QUÉBEC, MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC). 2017. *Guide d'instructions – Préparation et réalisation d'une modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques – Projets miniers.*

WSP. 2021. *Agrandissement du parc à résidus de la mine aurifère Canadian Malartic - Étude de modélisation de la dispersion atmosphérique.* Trois-Rivières, Québec. Rapport produit pour Canadian Malartic GP.

WSP. 2018. *Modification du décret 388-2017 de la mine Canadian Malartic - Projet Odyssey - Modélisation des concentrations de silice cristalline.* Trois-Rivières, Québec. Mémo technique produit pour Canadian Malartic GP.

Figure QCM15-1 : Concentrations maximales modélisées - Particules totales (PMT) - 24 heures – 28 scénarios de construction

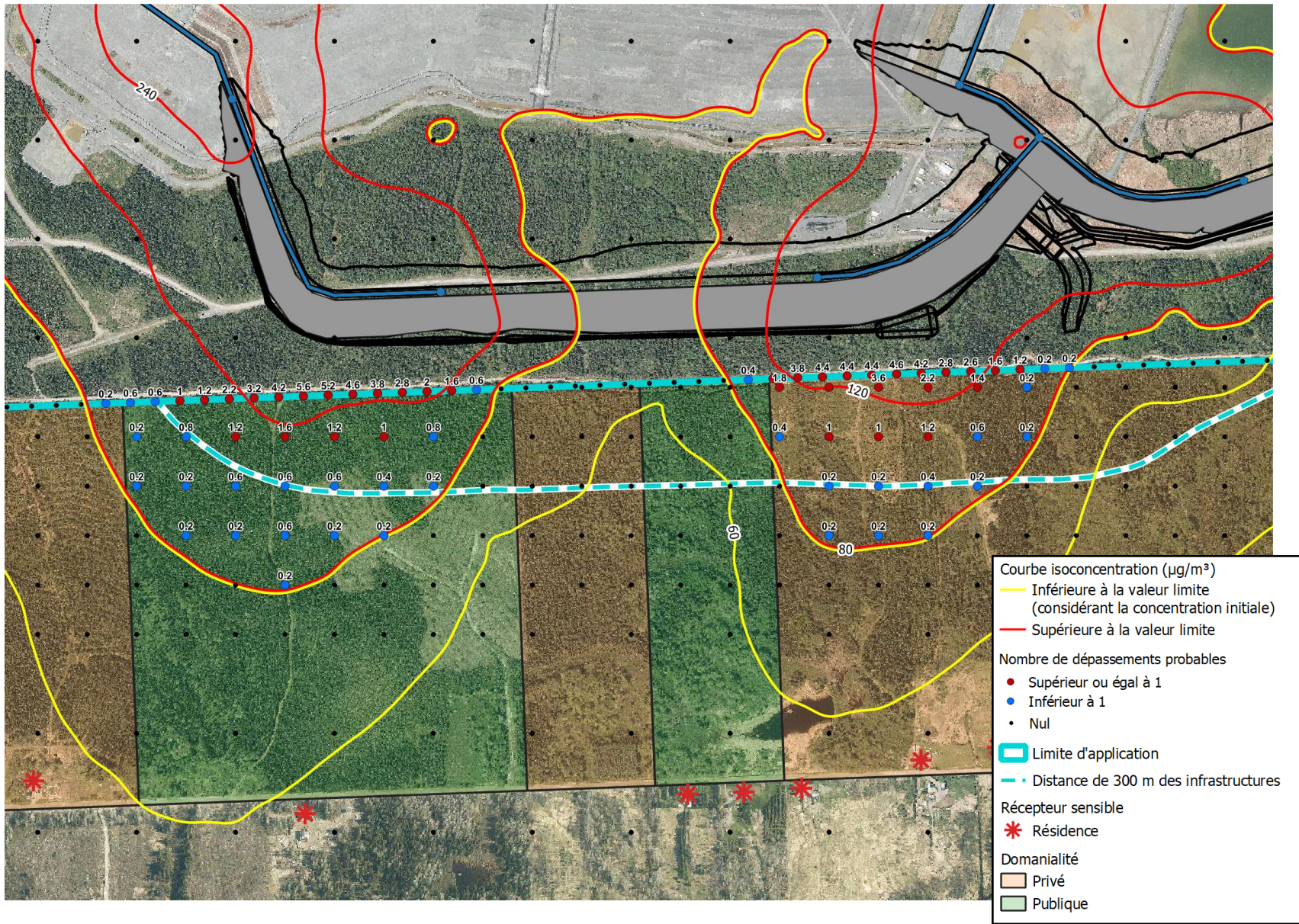


Figure QCM15-2 : Concentrations maximales modélisées - Particules fines (PM_{2.5}) - 24 heures - 28 scénarios de construction

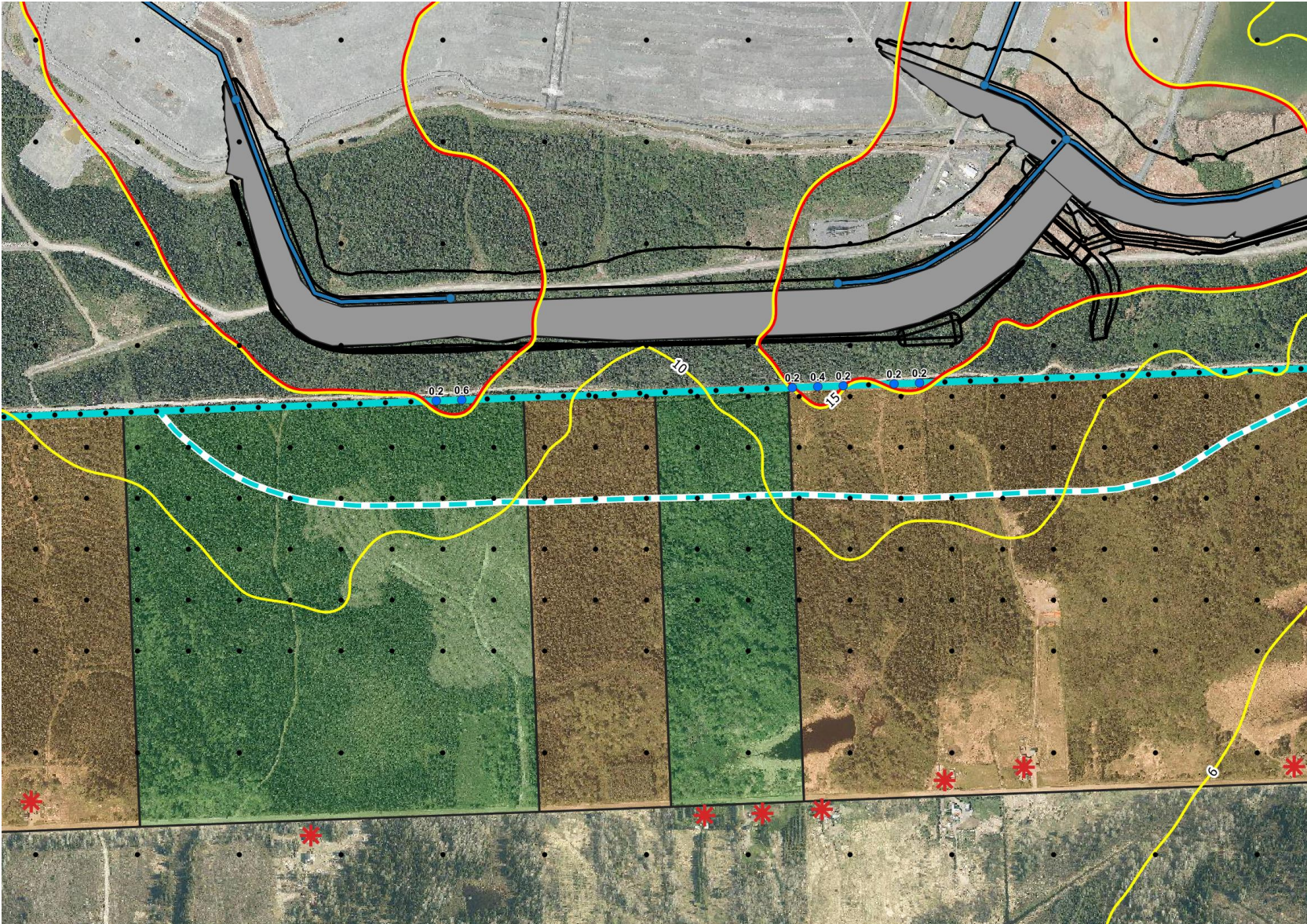


Figure QCM15-3 : Concentrations maximales modélisées - Nickel (Ni) - 24 heures - 28 scénarios de construction

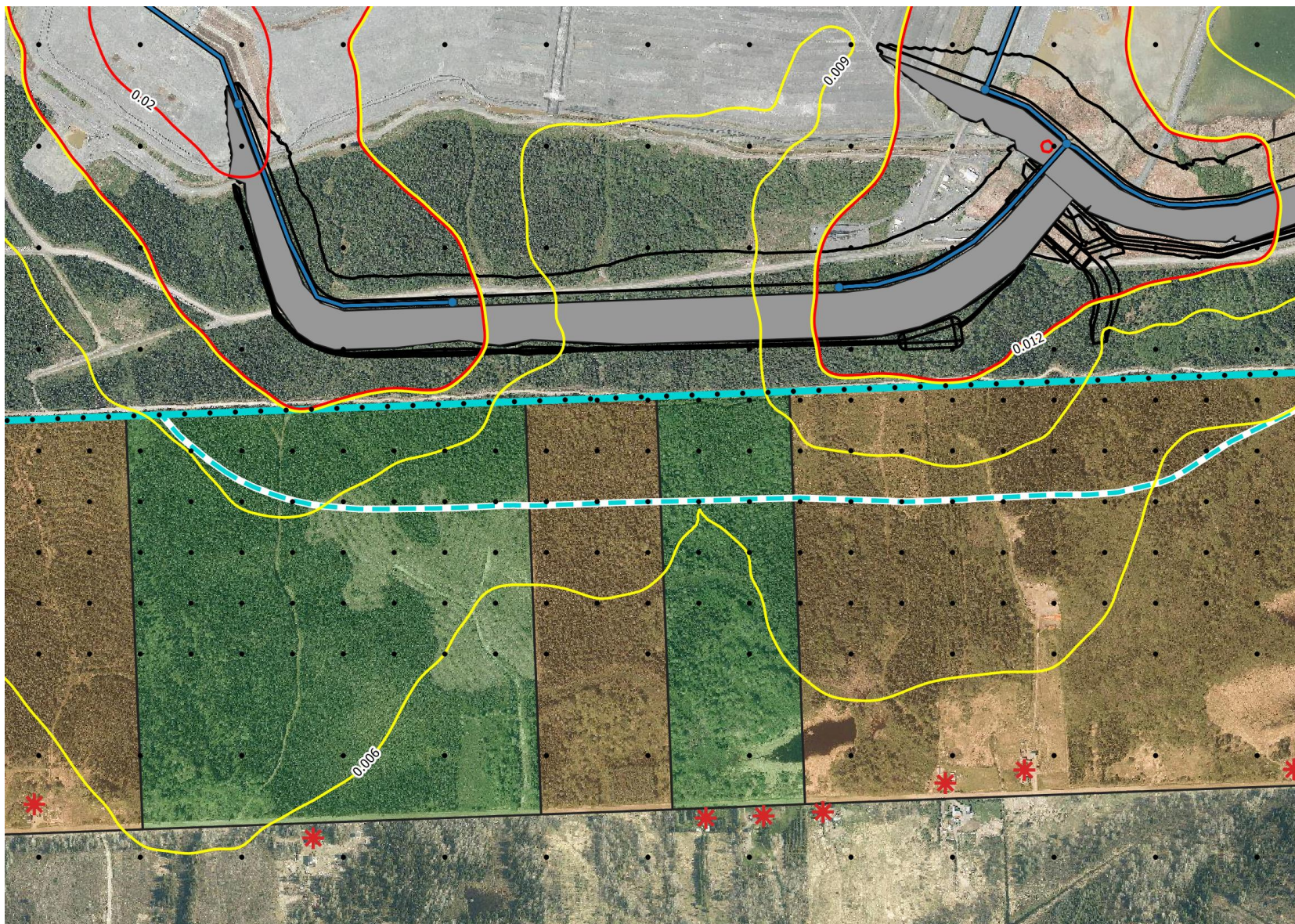


Figure QCM15-4 : Concentrations maximales modélisées - Silice cristalline (SiO₂) - 1 heure - 28 scénarios de construction

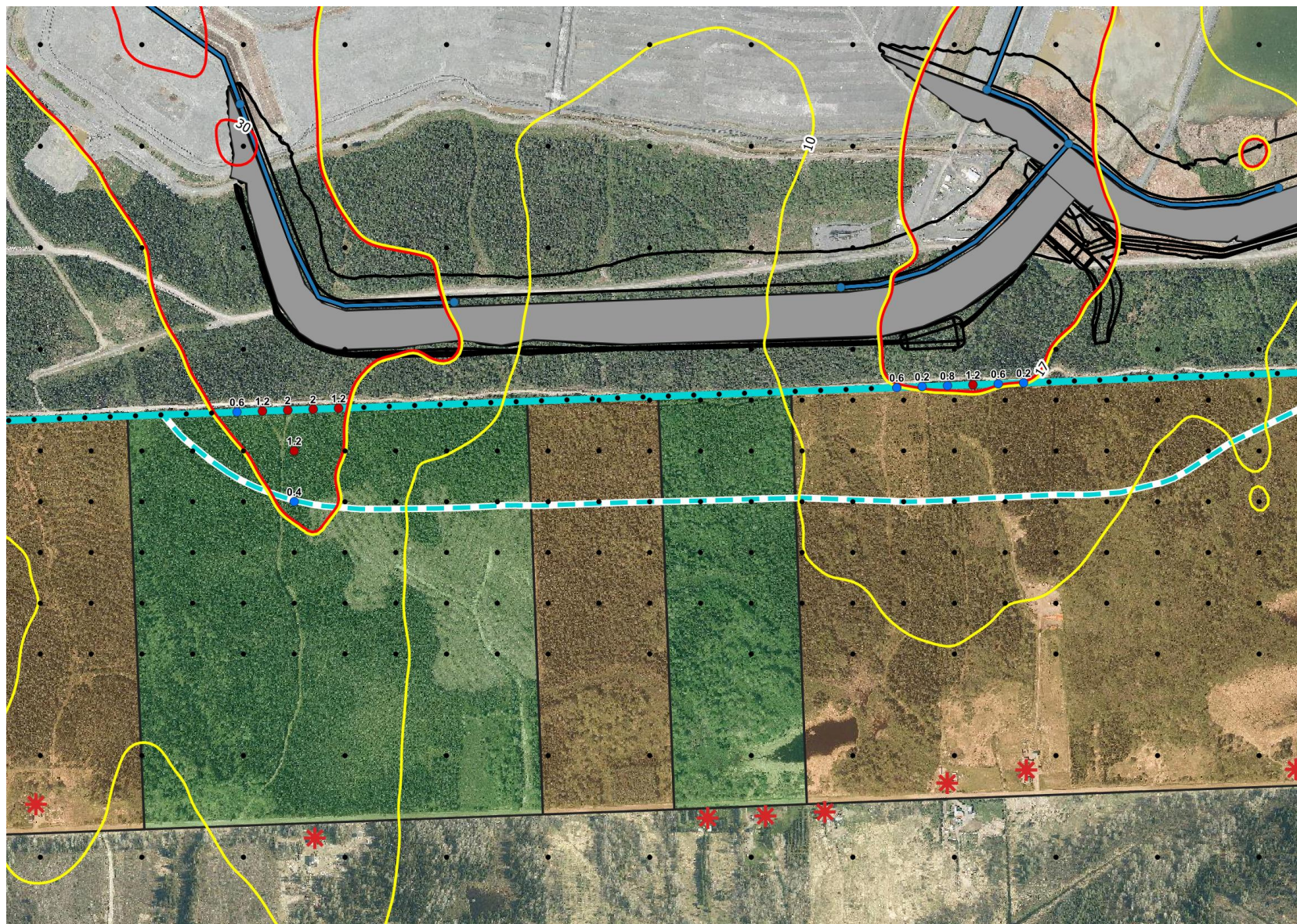
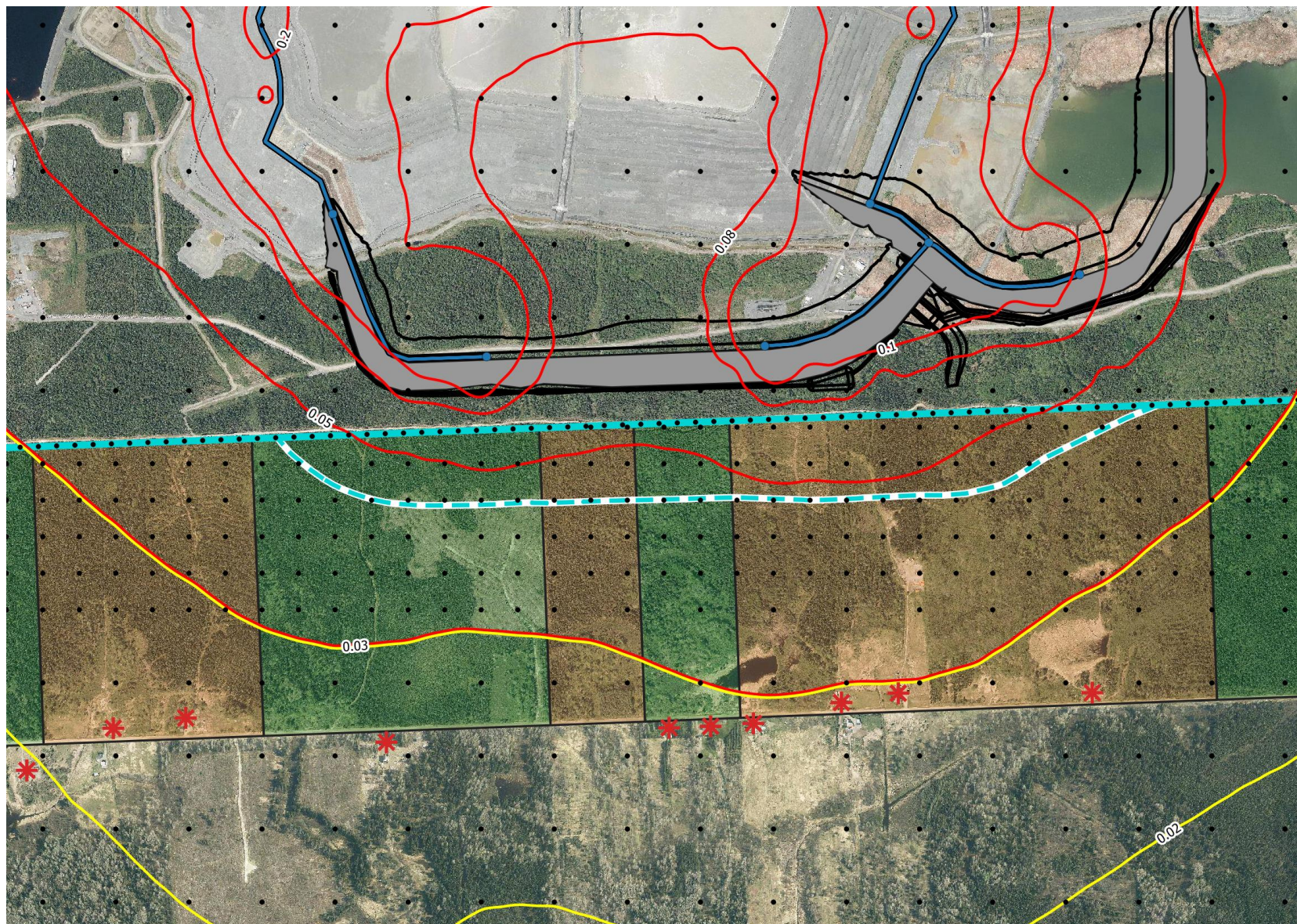
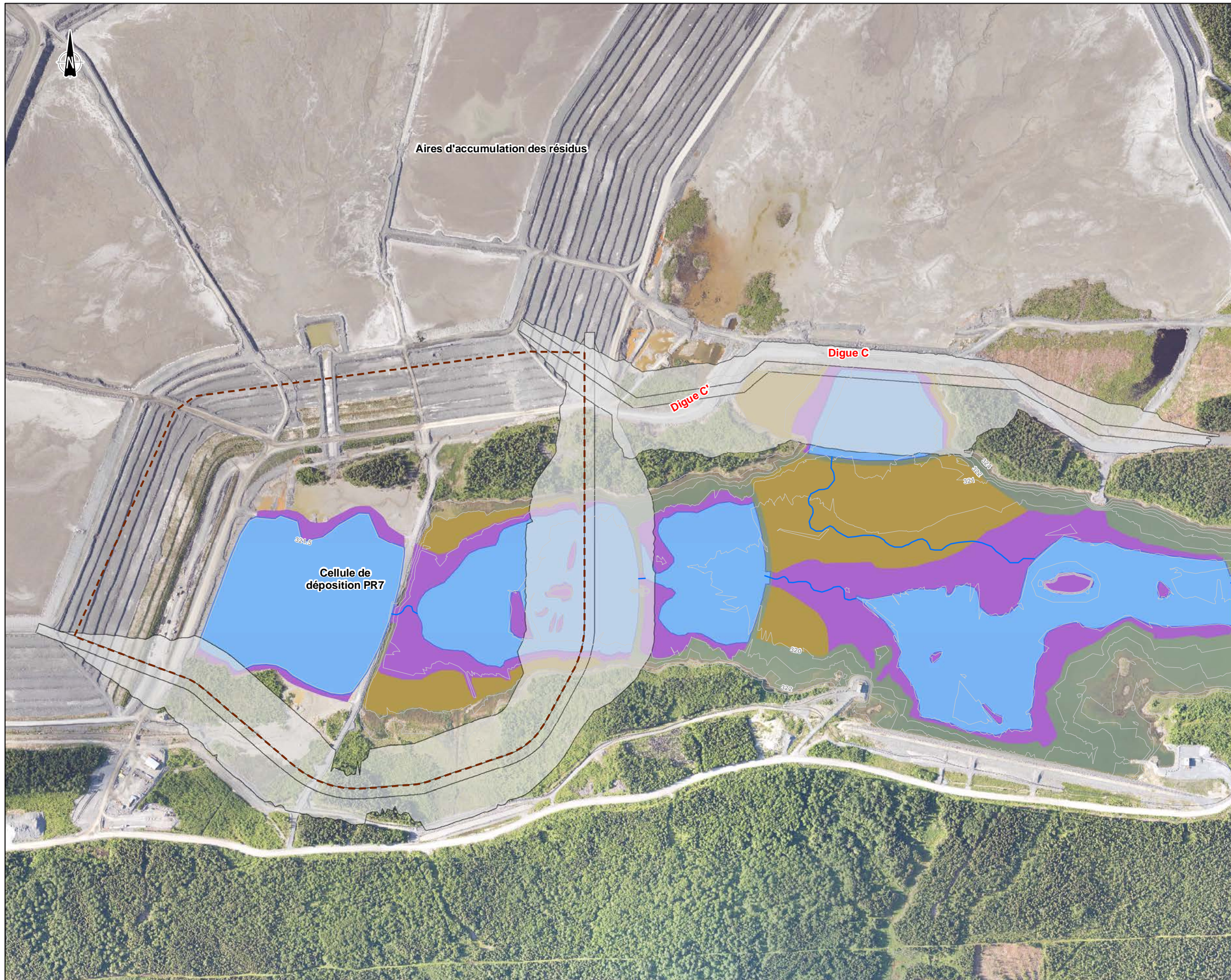


Figure QCM15-5 : Concentrations maximales modélisées - Silice cristalline (SiO₂) - 1 an - Scénario de construction mars 2023 à février 2024



ANNEXE RQCM-18



Aménagement proposé

- Chenal d'étiage
- - - Limite de la future cellule de déposition
- Empreinte finale des digues à construire

Milieu humide (superficies empiétées PR7 / superficies empiétées Digue C)

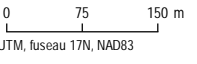
- Marécage arborescent (2,89 ha / 1,66 ha)
- Marécage arbustif (5,44 ha / 0,78 ha)
- Étang et marais (19,32 ha / 3,03 ha)
- Bathymétrie (m)

MINE CANADIAN MALARTIC

Agrandissement du parc à résidus de la mine aurifère Canadian Malartic
Demande de modification du décret 388-2017 de la mine Canadian Malartic - Réponses aux questions et commentaires du MELCC

Carte RQCM-18
Empiètement de la cellule PR7 et de la digue C sur les milieux humides compensatoires prévus au plan de compensation 2018

Sources :
WSP, photo interprétation des milieux humides
GRHO, hydrographie, MERN Québec, 2020
Ligne électrique, plan: 40-ODV-411-E-000-2500.dwg, 2020-11
Digues projetées, plan: MCM, 2021-07-20
Espèce à statut particulier (EMVS), inventaire Englobe, 2020
Herpétofaune, inventaire Englobe, 2020
Orthophoto, résolution 50 cm, Canadian Malartic, 2020-06



Avril 2022

Préparée par : C. Martineau
Dessinée par : C. Thériault
Vérfiée par : K. Santhir
211_04226_00_RQCM_18_014_Emp_MH_Comp_220407.mxd

