

MEMORANDUM TECHNIQUE

DATE Le 6 mars 2009**PROJET No** 07-1221-0028-3700**À** Jean-Sébastien David, Vice-président, Développement Durable
Corporation Minière Osisko**CC****DE** Michel Mailloux et Pierre Groleau

ESTIMATION PAR MODÉLISATION NUMÉRIQUE DU DÉBIT D'EAU S'EXFILTRANT DU PARC À RÉSIDUS VERS LE ROC- CORPORATION MINIÈRE OSISKO, MALARTIC (QUÉBEC)

1.0 INTRODUCTION

Dans le cadre d'un projet de mise en production d'une mine à ciel ouvert située à Malartic, la Corporation minière Osisko (Osisko) a mandaté Golder Associés Ltée (Golder) afin d'évaluer le débit d'exfiltration d'eau du futur parc à résidus miniers vers l'aquifère régional de roc fracturé. Le site minier actuel est caractérisé par la présence de résidus miniers existants provenant de différentes phases d'exploitation d'anciennes mines sur la propriété. Le projet prévoit la mise en place d'un volume de 122 millions de mètres cubes de résidus miniers épaissis à l'endroit occupé actuellement par l'ancien parc à résidus.

La présente étude vise donc à évaluer le taux d'exfiltration de l'eau du parc à résidus vers l'aquifère à l'aide d'un modèle numérique simulant le futur parc à résidus à la fin du projet d'exploitation minière d'Osisko. La méthodologie employée, les résultats obtenus et les conclusions de cette étude sont présentés dans ce document.

Les conditions générales et limitations de cette étude sont jointes à la fin du document.

2.0 CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE

Le contexte hydrogéologique dans le secteur du projet est décrit en détail dans l'étude hydrogéologique de Golder (juillet 2008)¹. Les sections suivantes décrivent le contexte spécifique au parc à résidus.

2.1 Stratigraphie

Dans le cadre de la présente évaluation, les conditions spécifiques du parc à résidus sont illustrées sur deux coupes stratigraphiques typiques (figures 2 et 3). Il est à noter que l'échelle verticale de ces coupes présente une exagération d'un facteur de 5, ce qui accentue fortement l'aspect visuel des pentes. L'emplacement de ces

¹ Évaluation du débit d'exhaure et des impacts potentiels sur les niveaux des eaux souterraines, Osisko Exploration Malartic, Québec, Canada. Golder associés Ltée. Juillet 2008. Référence 07-1221-0028-2400



deux coupes est présenté à la figure 1. Les données utilisées pour la réalisation de ces coupes sont tirées de l'étude hydrogéologique (Golder, juillet 2008).

Tel qu'illustré sur la figure 2, la coupe A-A' s'étend entre le bassin de polissage et le bassin de déversement d'urgence et traverse la halde à stériles et le parc à résidus épaissis projetés. Des dépôts glaciolacustres, constitués d'argile et de silt, sont surtout présents dans la partie sud-est de la coupe, dans le secteur de la Digue 5 et du bassin de polissage. L'épaisseur d'argile est d'environ 6 m dans ce secteur. Les dépôts glaciolacustres sont également présents à l'extrémité nord-ouest de la coupe A-A' sur une épaisseur d'environ 3 m. Une remontée du socle rocheux est observée au centre de la coupe. À cet endroit, les dépôts glaciolacustres (silt et argile) sont absents.

De plus, une unité de till, ayant généralement une épaisseur de 1 m mais pouvant atteindre 5 m, recouvre le roc sur la totalité du secteur à l'étude. Finalement, les résidus existants sont observés sur une épaisseur d'environ 1 m.

La figure 3 illustre la stratigraphie de la coupe B-B' qui traverse le parc à résidus épaissis projeté de même que le parc à résidus existant et le bassin de polissage. Encore ici, le till s'étend sur l'ensemble de la coupe et son épaisseur est d'environ 1 m. Le silt est également présent sur l'ensemble de la coupe B-B'. Le parc à résidus existant est d'épaisseur variable (0 à 4 m) et est contraint à l'ouest par la topographie du terrain et à l'est par la digue 5. L'emplacement proposé des résidus épaissis dans ce secteur surmontera à la fois les résidus existants, le silt, l'argile et le till.

2.2 Conductivités hydrauliques

Le tableau 1 présente les conductivités hydrauliques des unités stratigraphiques mesurées dans le cadre des études antérieures (Golder, juillet 2008). Les données de ce tableau proviennent de mesures effectuées dans le secteur du futur parc à résidus ou en laboratoire. Les données présentées sont représentatives des valeurs typiquement observées pour ces matériaux.

Tableau 1: Compilation des valeurs de conductivités hydrauliques

Unités	Conductivités hydrauliques (m/s)		
	Valeur minimum	Valeur maximum	Valeur moyenne
Résidus miniers existants	$4,1 \times 10^{-7}$	$1,2 \times 10^{-6}$	$9,0 \times 10^{-7}$
Résidus épaissis	$1,3 \times 10^{-8}$	$5,5 \times 10^{-7}$	$5,1 \times 10^{-8*}$
Silt	$2,4 \times 10^{-9}$	$7,4 \times 10^{-7}$	$6,7 \times 10^{-8}$
Argile	$5,7 \times 10^{-10}$	$2,2 \times 10^{-8}$	$5,1 \times 10^{-9}$
Till	$1,7 \times 10^{-7}$	$8,9 \times 10^{-7}$	$4,8 \times 10^{-7}$
Roc	$3,2 \times 10^{-9}$	$2,8 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-6}$

* cette valeur a été établit à partir d'essais de perméabilité réalisés sur le terrain et d'essais de dissipation effectués en laboratoire.

3.0 MODÉLISATION NUMÉRIQUE

Les travaux de modélisation ont été réalisés à partir de deux modèles bidimensionnels en coupe représentant chacune des coupes stratigraphiques présentées à la section précédente. Les modèles sont construits avec le logiciel Feflow - Finite Element Subsurface Flow System (Dierch 2004 a et b). Celui-ci utilise la méthode des éléments finis pour résoudre les équations d'écoulement de l'eau souterraine.

Le choix de la position des coupes a été fait de façon à obtenir une représentation typique de la stratigraphie du secteur du futur parc à résidus. Ainsi, les coupes sélectionnées permettent de couvrir deux situations stratigraphiques distinctes :

- 1) Le modèle représentant la coupe A-A' simule la halde à stériles et le parc à résidus qui reposent sur différents substrats, soit des sédiments glaciolacustres peu perméables (silt et argile) ou des matériaux plus perméables (till). Ainsi, les résidus et les stériles sont déposés à des endroits où l'argile est absente sur 50 % de la coupe, ce qui représente un scénario où l'exfiltration est susceptible d'être la plus élevée pour le secteur étudié.
- 2) Le second modèle (coupe B-B') simule le parc à résidus qui repose en totalité sur des sédiments glaciolacustres, scénario où l'exfiltration est susceptible d'être moins élevée à cause de la plus faible perméabilité du substrat.

Chacun des modèles simule les conditions à la fin du projet d'exploitation minière d'Osisko, soit avec le profil anticipé des résidus épaissis et de la halde à stériles à ce stade. Les simulations ont été réalisées en régime permanent, sans fluctuations journalières ou saisonnières du niveau de la nappe phréatique.

3.1 Construction du maillage et conditions limites

Coupe A-A'

La coupe A-A' a été discrétisée en 11 307 éléments finis triangulaires. Le modèle simule une coupe de 3 000 m de long et le maillage a été raffiné autour des lits d'argile et de till (figure 4). La taille minimale des éléments est de 1 m.

Pour la coupe A-A', les conditions de charge hydraulique qui ont été imposées au modèle sont :

- charge hydraulique imposée au roc à une élévation de 325,8 m à la limite nord-ouest de la coupe. Cette valeur de charge provient des données piézométriques de 2008;
- charge hydraulique imposée au roc à une élévation de 321,8 m à la limite sud-est de la coupe. Cette valeur de charge provient des données piézométriques de 2008; et
- charge hydraulique imposée à une élévation de 325,0 m en surface au niveau du bassin de polissage.

De plus, des conditions de flux estimées à 71 mm/an et 47 mm/an ont été imposées au sommet du modèle respectivement pour les résidus épaissis et la halde à stériles pour simuler la recharge. Ces valeurs ont été calculées à partir d'un bilan hydrologique simplifié où la recharge est égale aux précipitations moins l'évapotranspiration et le ruissellement. Les données de précipitations moyennes enregistrées à l'Aéroport de Val-d'Or ont été utilisées alors que l'évapotranspiration a été évaluée selon la formule de Thornthwaite. Quant aux coefficients de ruissellement, des valeurs de 0,7 et de 0,8 ont été considérées respectivement pour les résidus épaissis et la halde à stériles. Ces coefficients de ruissellement ont été estimés sur la base des données disponibles et en tenant compte des pentes qu'auront les flancs de la halde à stériles et du parc à résidus (Golder, 19 décembre 2008²). Lorsque les résidus ou les stériles sont absents, un taux de recharge de

² Analyse annuelle du bilan hydrique pour la mine Osisko à Malartic, Révision 1. Golder Associé Ltée. 19 décembre 2008. Référence 07-1221-0028-3000.

50 mm/an a été assigné en surface (Golder, juillet 2008). En considérant que le taux de recharge est une estimation, une analyse de sensibilité du modèle à ce paramètre a été effectuée en variant le taux de recharge par un facteur de 50%.

Coupe B-B'

La coupe B-B' a été discrétisée en 12 393 éléments finis triangulaires. Le modèle simule une coupe de 2 400 m de long et le maillage a été raffiné autour des lits d'argile et de till (figure 5). La taille minimale des éléments est de 1 m.

Pour la coupe B-B', les conditions de charge hydraulique qui ont été imposées au modèle sont :

- charge hydraulique imposée au roc à une élévation de 326,5 m à la limite ouest de la coupe. Cette valeur de charge provient des données piézométriques de 2008;
- charge hydraulique imposée au roc à une élévation de 321,8 m à la limite est de la coupe. Cette valeur de charge provient des données piézométriques de 2008; et
- charge hydraulique imposée à une élévation de 325,0 m en surface au niveau du bassin de polissage.

De plus, une condition de flux estimée à 71 mm/an a été imposée au sommet du modèle pour simuler la recharge au niveau des résidus épaissis. Lorsque les résidus sont absents, un taux de recharge de 50 mm/an a été assigné en surface.

3.2 Conductivités hydrauliques

Pour chacune des coupes, les conductivités hydrauliques simulées dans le modèle hydrogéologique pour le cas de base sont les valeurs moyennes présentées au tableau 1, qui proviennent de mesures réalisées sur le terrain ou en laboratoire. Une conductivité hydraulique de 1×10^{-5} m/s a été supposée pour la halde à stériles, car aucune mesure de ce paramètre n'a été effectuée. Il est anticipé que les stériles auront une conductivité hydraulique plus élevée, mais une valeur faible a été sélectionnée de façon à ce que l'évaluation de l'exfiltration soit conservatrice. De plus, une analyse de la sensibilité du modèle à ce paramètre a été effectuée en diminuant la conductivité hydraulique des stériles d'un ordre de grandeur.

3.3 Résultats

3.3.1 Cas de base

Le tableau 2 présente un sommaire des débits d'exfiltration quotidiens par unité de surface pour le cas de base. Ces débits unitaires correspondent à la quantité d'eau en provenance des résidus et des stériles qui atteint le roc. Ces débits sont présentés en fonction du type de matériau sur lequel reposent les résidus (substrat glaciolacustre ou till). Le débit d'exfiltration quotidien moyen varie de 0,09 à 0,17 L/m². Le débit d'exfiltration quotidien maximum au niveau de la coupe A-A' est de 0,25 L/m², alors qu'il est de 0,19 L/m² pour la coupe B-B'. En guise de comparaison, la Directive 019 sur l'industrie minière (avril 2005) stipule qu'une aire d'entreposage de résidus miniers lixiviables ou acidogènes doit être conçue de sorte à ce que le débit d'exfiltration quotidien soit inférieur à 3,3 L/m². Les valeurs présentées au tableau 2 sont toutes inférieures par plus d'un ordre de grandeur au débit quotidien maximum stipulé par la Directive 019.

Tableau 2: Débits unitaires d'exfiltration pour le cas de base

Coupe	Débit quotidien (L/m ²)	
	Moyen	Maximum
A-A'	0,11 (substrat de till)	0,25
	0,09 (substrat glaciolacustre)	
B-B'	0,17 (substrat glaciolacustre)	0,19

3.3.2 Analyse de sensibilité

Une analyse de sensibilité a été effectuée afin d'étudier l'incertitude liée à la variation de certains paramètres du modèle. Les simulations suivantes ont été effectuées lors de l'analyse de sensibilité :

- **SS1** : augmentation de la recharge au niveau des stériles et des résidus épaissis par un facteur de 50% ;
- **SS2** : augmentation d'un ordre de grandeur de la conductivité hydraulique de l'argile ($5,1 \times 10^{-8}$ m/s) ;
- **SS3** : diminution d'un ordre de grandeur de la conductivité hydraulique des résidus épaissis ($5,8 \times 10^{-9}$ m/s) ;
- **SS4** : augmentation d'un facteur de 2 de la conductivité hydraulique des résidus épaissis ($1,2 \times 10^{-7}$ m/s) ;
- **SS5** : diminution d'un ordre de grandeur de la conductivité hydraulique des stériles ($1,0 \times 10^{-6}$ m/s).

Les résultats de l'analyse de sensibilité sont présentés au tableau 3. Ces résultats indiquent que pour chacun des cas considérés, le débit d'exfiltration est toujours inférieur par plus d'un ordre de grandeur au débit quotidien maximum stipulé par la Directive 019. Par ailleurs, les résultats montrent que le débit d'exfiltration calculé avec le modèle est peu sensible aux modifications des valeurs de conductivités hydrauliques de l'argile et des résidus (simulations SS2 à SS4). Le modèle montre plus de sensibilité aux modifications des valeurs de recharge et de conductivité hydraulique des stériles (simulations SS1 et SS5).

Tableau 3: Débits d'exfiltration pour chacun des cas considérés lors de l'analyse de sensibilité

Coupe	Débit quotidien moyen					
	(L/m ²)					
	Cas de base	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5
A-A' (substrat de till)	0,11	0,13	0,11	0,11	0,11	0,14
A-A' (substrat glaciolacustre)	0,09	0,13	0,10	0,09	0,10	0,10
B-B' (substrat glaciolacustre)	0,17	0,20	0,18	0,17	0,17	- *

* La coupe B-B' n'intercepte pas les stériles et par conséquent la sensibilité de ce paramètre n'affecte pas les résultats

4.0 CONCLUSIONS

La présente évaluation a permis de simuler, à l'aide d'un modèle numérique, le taux d'exfiltration de l'eau du futur parc à résidus vers l'aquifère du roc à la fin du projet d'exploitation minière d'Osisko. Les résultats de l'évaluation permettent de tirer les conclusions suivantes :

- Selon les résultats obtenus avec le modèle, le débit d'exfiltration quotidien moyen varie entre 0,09 et 0,17 L/m², alors que le débit maximal varie entre 0,19 et 0,25 L/m². Ces valeurs sont inférieures de plus d'un ordre de grandeur au débit d'exfiltration quotidien maximum stipulé par la Directive 019 (3,3 L/m²) ;
- L'analyse de sensibilité du modèle numérique démontre le respect du débit quotidien maximum de la Directive 019 par plus d'un ordre de grandeur, même après la variation significative de certains paramètres du modèle.

Ces résultats indiquent que le taux d'exfiltration de l'eau du futur parc à résidus miniers du projet d'Osisko à Malartic, tel que simulé par le modèle numérique, rencontre nettement le débit d'exfiltration quotidien maximum stipulé dans la Directive 019.

GOLDER ASSOCIÉS LTÉE



Michel Mailloux, ing., M.Sc.
Hydrogéologue

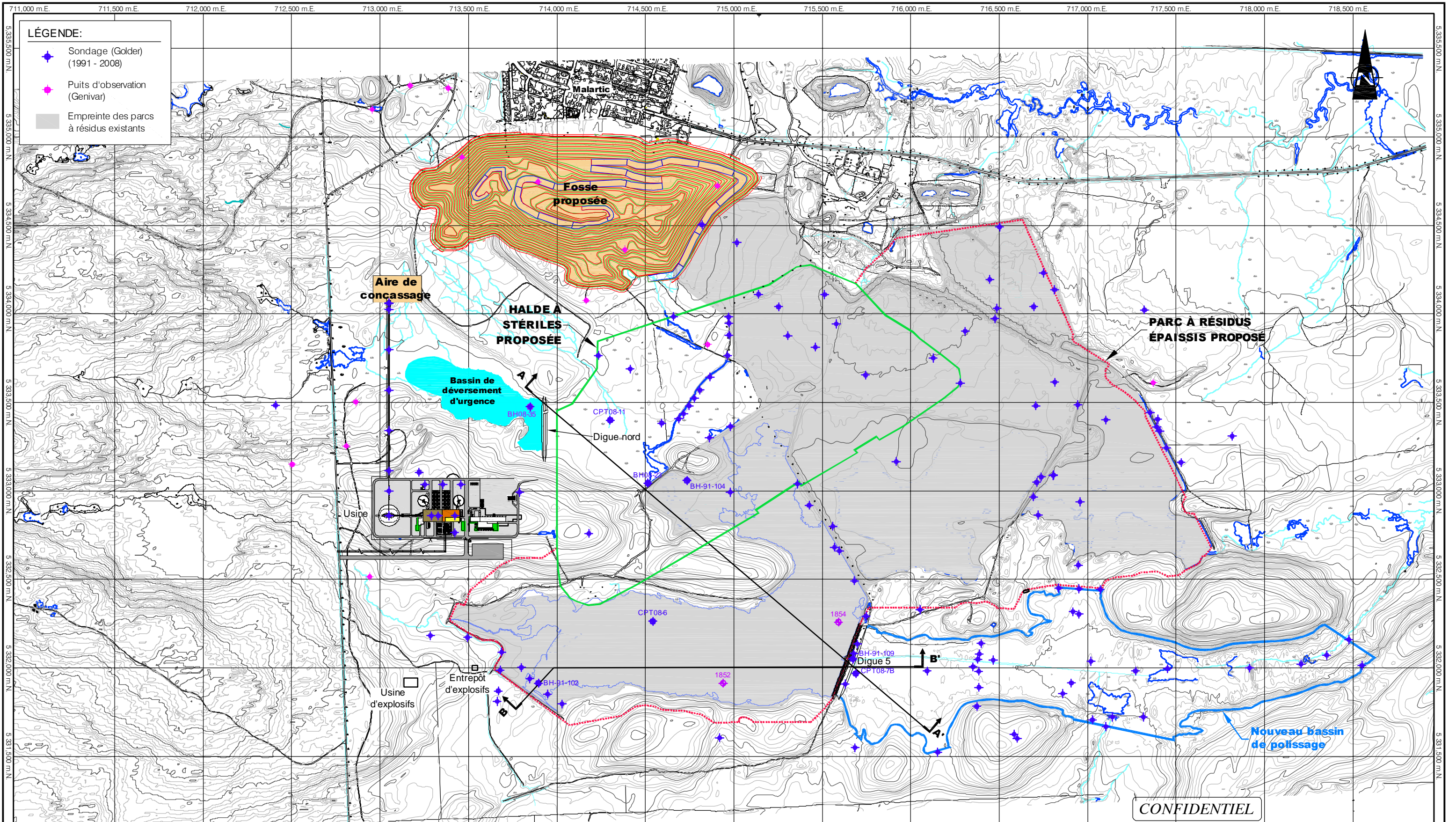
MM/PG

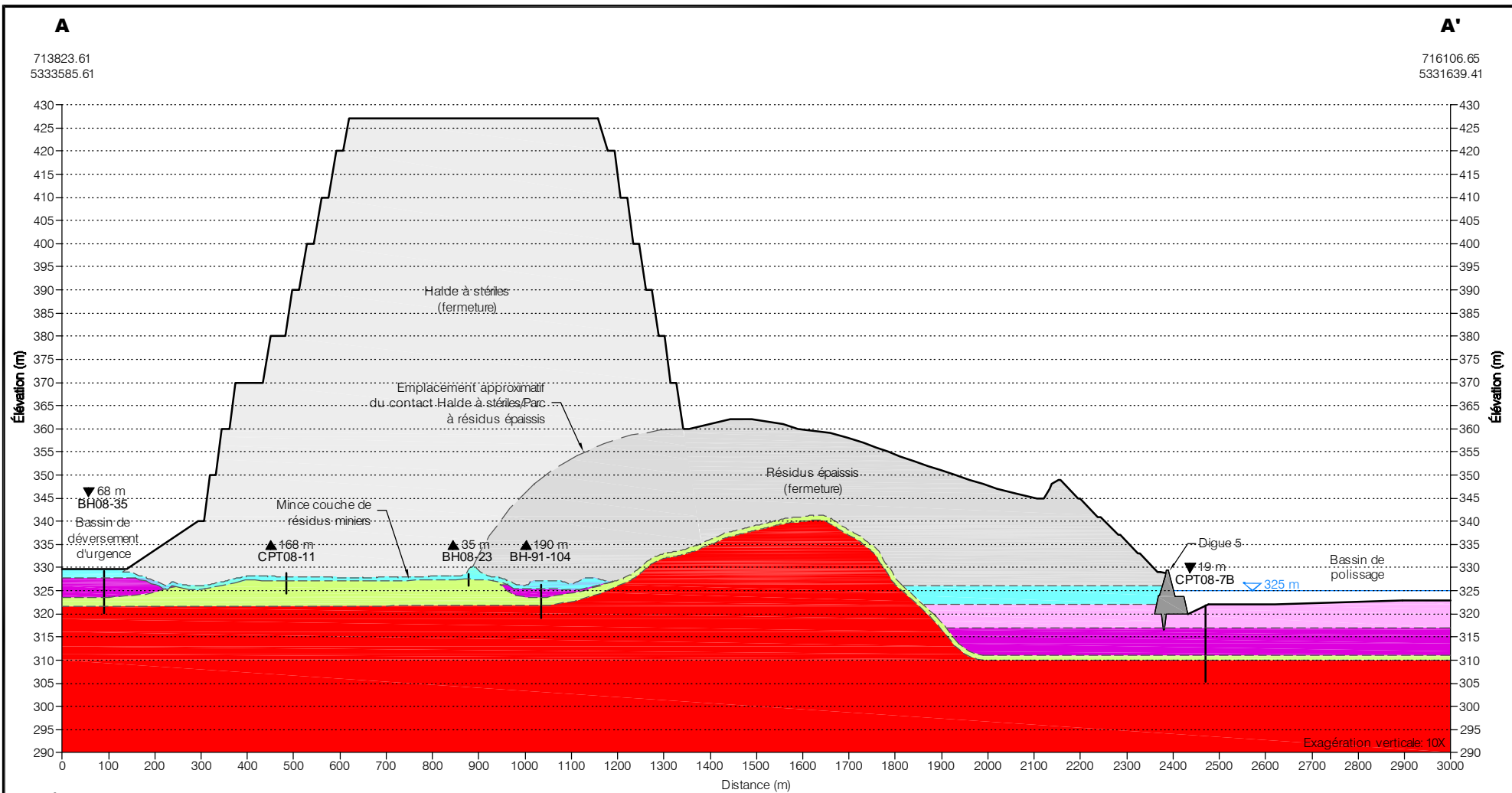


Pierre Groleau, ing., M.Sc.
Associé

c:\documents and settings\pgroleau\desktop\memo technique 07-1221-0028-3700_rev1.doc

p.j. Figures 1 à 5
Conditions générales et limitations





LÉGENDE:

BH08-23 Forage

▼ 46 m Distance du forage p/r à l'axe de la coupe

- Résidus existants
- Argile
- Roc
- Silt
- Till

CONFIDENTIEL

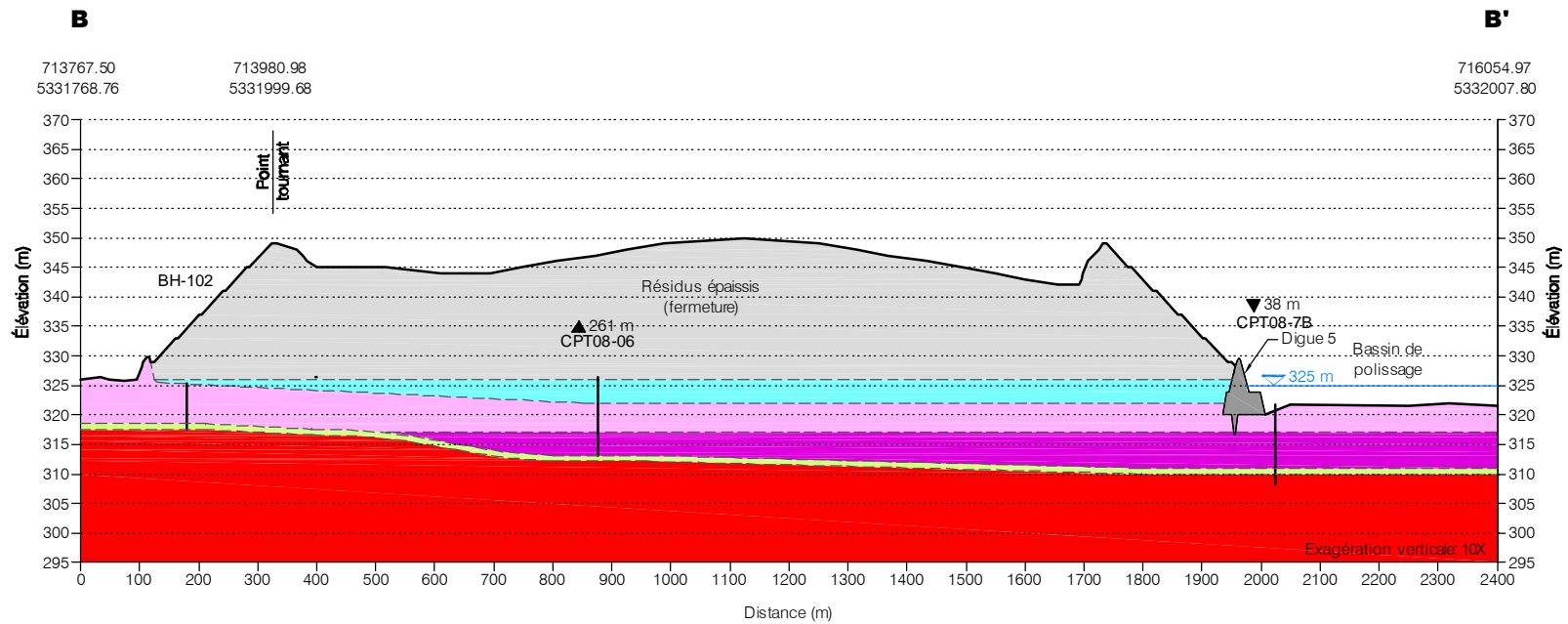
Date: 2009-02-23	Échelle: H 1:12 500 V 1:1250
Dessiné par: R. Gravel	Projeté par: M. Rivérin
Vérifié par: M. Mailloux	Approuvé par: P. Groleau
No. de dessin: 0712210028-3000-3700-01	No. de projet: 07-1221-0028

ESTIMATION PAR MODÉLISATION NUMÉRIQUE DU DÉBIT D'EAU S'EXFILTRANT DU PARC À RÉSIDUS VERS LE ROC

Golder Associés
9200, boul. de l'Acadie, bureau 10
 Montréal (Québec) H4N 2T2
 Tél.: (514) 383-0990 Fax: (514) 383-5332

COUPE A-A'

FIGURE **2**



LÉGENDE:

- BH-102 Forage
- ▼ 38 m Distance du forage p/r à l'axe de la coupe
- Résidus existants
- Argile
- Roc
- Silt
- Till

CONFIDENTIEL

Date: 2009-02-23	Échelle: H 1:12 500 V 1:1250
Dessiné par: R. Gravel	Projeté par: M. Rivérin
Vérifié par: M. Mailloux	Approuvé par: P. Groleau
No. de dessin: 0712210028-3000-3700-01	No. de projet: 07-1221-0028

ESTIMATION PAR MODÉLISATION NUMÉRIQUE DU DÉBIT D'EAU S'EXFILTRANT DU PARC À RÉSIDUS VERS LE ROC

Golder Associés
 9200, boul. de l'Acadie, bureau 10
 Montréal (Québec) H4N 2T2
 Tél.: (514) 383-0990 Fax: (514) 383-5332

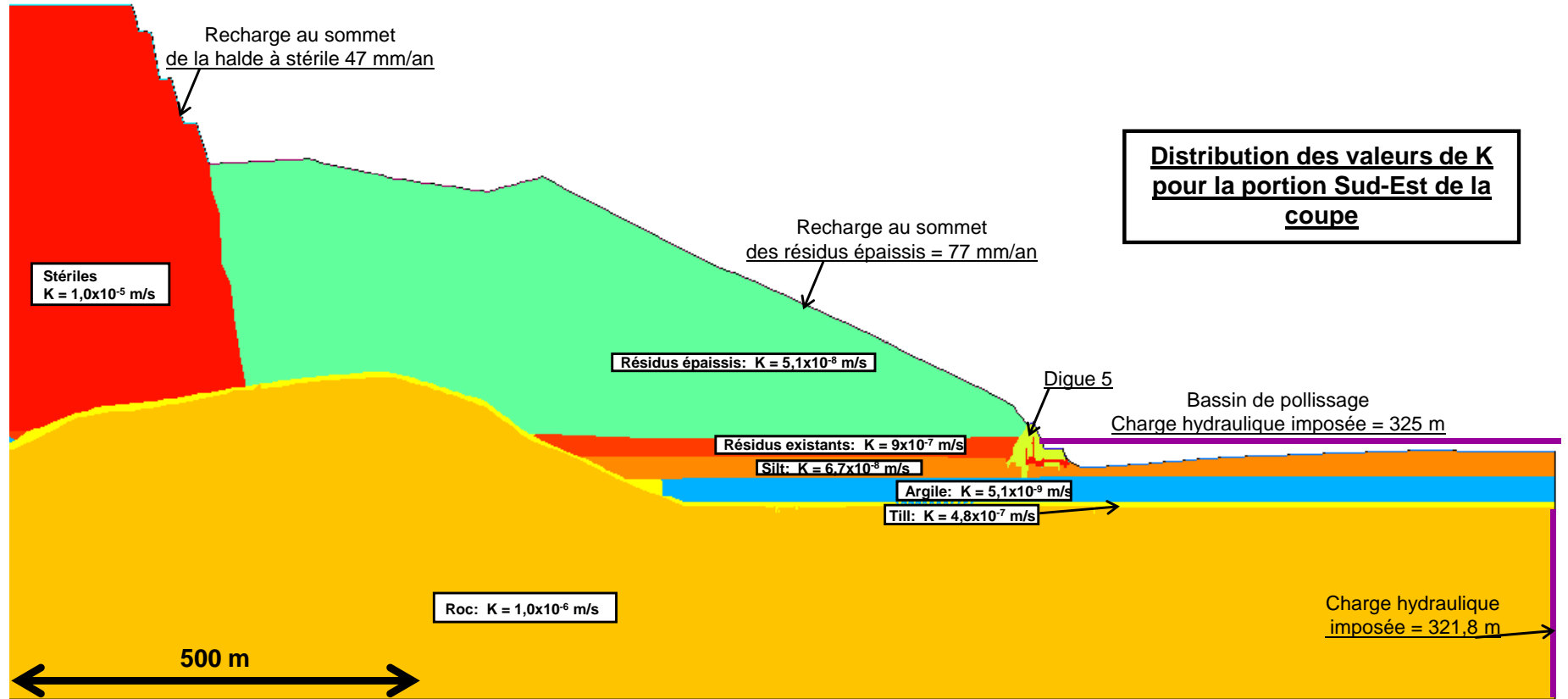
COUPE B-B'

FIGURE
3

Maillage en éléments finis



Exagération verticale = 1X



Exagération verticale = 5X

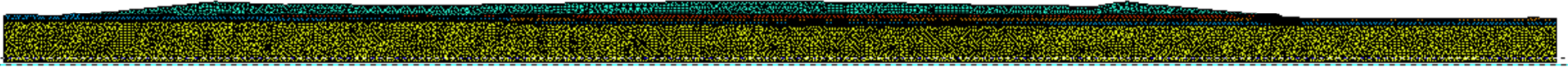
CONFIDENTIEL



CLIENT	
DESSINÉ PAR: M.M.	DATE: 5 mars 2009
VÉRIFIÉ PAR: P.G.	DATE: 5 mars 2009
ÉCHELLE: Pas à l'échelle	L

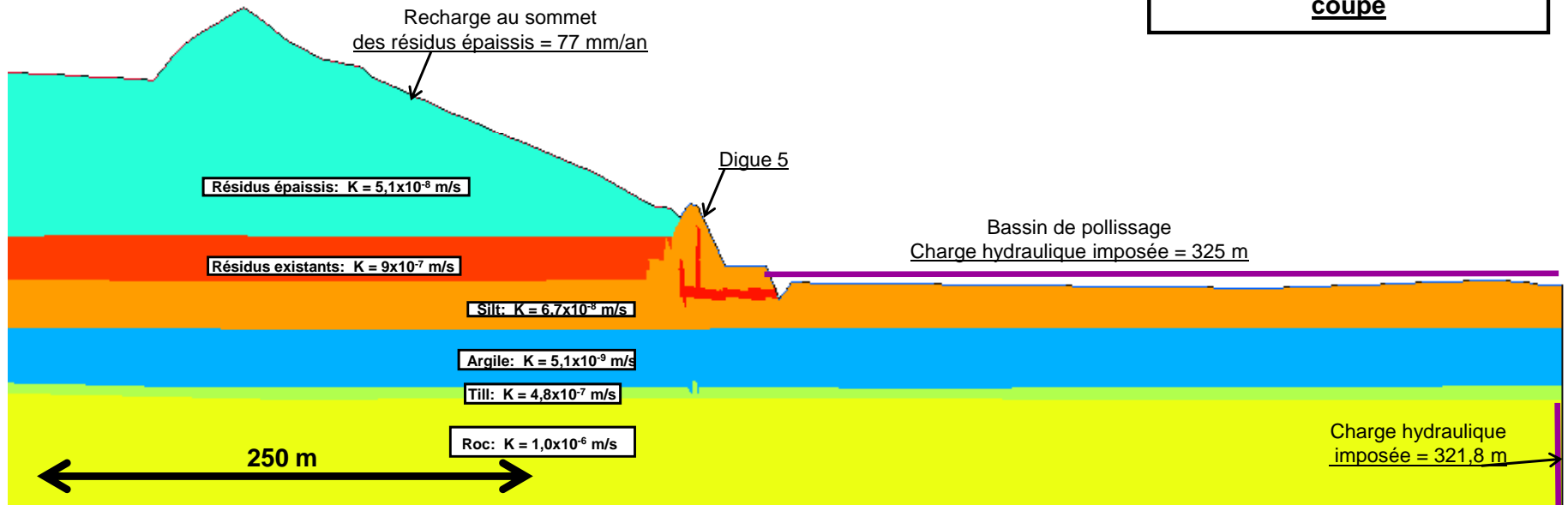
PROJET: ESTIMATION PAR MODÉLISATION NUMÉRIQUE DU DÉBIT D'EAU S'EXFILTRANT DU PARC À RÉSIDUS VERS LE ROC - CORPORATION MINIÈRE OSISKO, MALARTIC, QUÉBEC	
TITRE: Maillage d'éléments finis utilisés pour la coupe A-A' et distribution des valeurs de perméabilité (K) pour la portion Sud-Est de la coupe	
PROJET No: 07-1221-0028	FIGURE No: 4

Maillage en éléments finis



Exagération verticale = 1X

Distribution des valeurs de K pour la portion Est de la coupe



Exagération verticale = 5X

CONFIDENTIEL



		PROJET ESTIMATION PAR MODÉLISATION NUMÉRIQUE DU DÉBIT D'EAU S'EXFILTRANT DU PARC À RÉSIDUS VERS LE ROC - CORPORATION MINIÈRE OSISKO, MALARTIC, QUÉBEC	
DESSINÉ PAR:	M.M.	DATE:	5 mars 2009
VÉRIFIÉ PAR:	P.G.	DATE:	5 mars 2009
ÉCHELLE:		L	
Pas à l'échelle		PROJET No	07-1221-0028
		FIGURE No	5

CONDITIONS GÉNÉRALES ET LIMITATIONS
RAPPORT DE MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE

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.