

ANNEXE QC-70

**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**

Date: 4 août 2015**N° de projet:** Q70-1527286-20100-MTF-Rev0**À:** Christine Baribeau
Canadian Malartic GP**c.c:** Christian Roy**De:** Pierre Groleau; Christian Boyaud**Adresse courriel:** pierre_groleau@golder.com;
christian_boyaud@golder.com**RÉPONSE À LA QUESTION 70****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**

La stratigraphie prévalant dans le secteur du prolongement des aires d'accumulation, exposée en détail dans Golder (2014a), indique une présence discontinue de l'argile dans la colonne de dépôts meubles du secteur. Lorsque présente, son épaisseur varie entre 0,47 et 12,53 m, dans l'empreinte du prolongement du parc à résidus. L'évaluation du débit de percolation à la position des différents points de sondage considérés, basée sur la stratigraphie réellement présente au droit de chaque position sondée, a montré que certains contextes stratigraphiques entraînaient un débit de percolation quotidien inférieur à 3,3 L/m², même s'il n'y avait pas 3 m d'argile localement en place (Golder, 2014b). Le Tableau A, inséré à la suite du texte, présente le détail de la stratigraphie à chaque sondage réalisé dans l'empreinte du prolongement du parc à résidus, la conductivité hydraulique verticale équivalente au droit de chacun des sondages, de même que le débit de percolation quotidien calculé à chacune de ces positions.

Le débit de percolation entre la surface des dépôts meubles sous-jacents aux résidus épaissis et l'aquifère du roc a été évalué à l'aide de l'équation de Darcy, en l'occurrence $q = K \, dh/dl$, paramétrée pour le calcul du flux vertical ($q = q_v$), en posant $K = K_v$ et en considérant un gradient hydraulique (dh/dl) correspondant au gradient hydraulique vertical (dh/dz). La colonne stratigraphique de dépôts meubles a été modélisée par un système à une seule couche qui possède une conductivité hydraulique verticale équivalente ($K_{v \, \text{equ}}$) qui est fonction de l'épaisseur (b_i) et de la conductivité hydraulique verticale (K_{v_i}) de chacune des unités de dépôt meubles en place à la position considérée. Les unités qui n'étaient pas présentes au droit de la position n'étaient pas incluses dans le calcul de la conductivité hydraulique verticale équivalente, et donc du débit de percolation.



La conductivité hydraulique verticale équivalente d'un profil à n unités de dépôts meubles a été déterminée à l'aide de l'équation suivante :

$$K_{v\text{ equ}} = \frac{\sum_{i=1}^n b_i}{\sum_{i=1}^n \frac{b_i}{K_{vi}}}$$

Le scénario considéré pour le calcul du débit de percolation supposait 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 considéré comme très prudent (conservateur) (Golder, 2014b). En effet, cette hypothèse suppose que le flux d'écoulement à travers la colonne de dépôts meubles engendre une perte de charge suffisamment élevée pour que la surface de la nappe du roc sous-jacent soit positionnée au contact dépôts meubles-roc. En réalité, le niveau d'eau souterraine de l'aquifère de roc est généralement au-dessus du toit du roc. Par ailleurs, l'hypothèse du gradient unitaire suppose qu'il y a une source infinie d'eau de disponible pour soutenir le régime d'écoulement, ce qui ne sera pas le cas. En réalité, le concept du parc à résidus ne prévoit pas d'accumulation d'eau à l'intérieur du parc, mais plutôt un drainage vers l'extérieur. Par extension, il n'y aura pas de colonne d'eau en surface des résidus, ou encore en surface des dépôts meubles, qui pourra créer une charge hydraulique sur le matériel sous-jacent.

En présence d'un gradient unitaire, la conductivité hydraulique verticale équivalente doit être inférieure à $3,8 \times 10^{-8}$ m/s pour que le débit de percolation soit inférieur à $3,3$ L/m²/j. Une telle conductivité hydraulique est supérieure aux conductivités hydrauliques verticales maximales mesurées tant pour l'argile que le silt en place au site. En effet, les conductivités hydrauliques verticales considérées pour le silt et l'argile dans le modèle de calcul de la percolation, respectivement 5×10^{-9} et 5×10^{-10} m/s, représentent des valeurs maximales ou quasi maximales mesurées sur ces dépôts, dans le cadre des investigations au site (Golder, 2014a, 2014b). Conséquemment, en l'absence d'autres dépôts meubles ou de résidus épais, la présence de silt ou d'argile serait suffisante pour assurer un débit de percolation inférieur à $3,3$ L/m²/j, même s'il s'agit de couches de silt ou d'argile de faible épaisseur.

La conductivité hydraulique verticale considérée pour les résidus épais dans le modèle de calcul de la percolation, en l'occurrence 1×10^{-7} m/s, est représentative de celle mesurée dans les résidus épais produits par la Mine et déjà en place dans le parc à résidus existant (Golder, 2014b, 2014c). Le fait de considérer une colonne de résidus au-dessus de dépôts de silt ou d'argile en place a donc pour effet d'augmenter la conductivité hydraulique verticale équivalente du profil stratigraphique. Ceci s'applique également aux autres types de dépôts meubles (till, sable fin à graveleux, sable silteux) en place dans le secteur du prolongement, étant donné qu'ils possèdent aussi une conductivité hydraulique supérieure à $3,8 \times 10^{-8}$ m/s. Les différents profils stratigraphiques intersectés dans le prolongement du parc à résidus ont révélé que le débit de percolation était systématiquement inférieur à $3,3$ L/m²/j, dès que de l'argile était présente dans le profil, peu importe les autres dépôts meubles en place, et en considérant la présence de 10 m de résidus saturés. Ceci est visible au Tableau A. À nouveau, il faut souligner que des résidus complètement saturés représentent un pire cas, qui ne sera valable qu'au moment précis de la déposition, étant donné que le drainage et la désaturation des résidus s'amorceront dès leur mise en place.

Afin de trouver l'épaisseur minimale d'argile nécessaire pour assurer un débit de percolation inférieur à 3,3 L/m²/j, le débit de percolation à tous les points de sondage où de l'argile est en place a été recalculé, en faisant varier itérativement l'épaisseur d'argile. Il est apparu que, dans le pire des cas, 0,15 m d'argile serait suffisant pour assurer un débit de percolation inférieur à 3,3 L/m²/j.

Par ailleurs, en l'absence d'argile, les sondages effectués dans le prolongement du parc à résidus ont révélé que le débit de percolation était systématiquement inférieur à 3,3 L/m²/j, dès qu'une couche de silt d'épaisseur égale ou supérieure à 1,3 m était présente dans le profil stratigraphique, peu importe les autres dépôts meubles en place, et en considérant la présence de 10 m de résidus saturés.

Il est donc conclu que la présence de 0,15 m d'argile, ou, en l'absence d'argile, la présence de 1,3 m de silt est suffisante pour assurer le respect du taux de percolation quotidien maximum de 3,3 L/m² permis, dans le prolongement du parc à résidus. Ceci, même en considérant des hypothèses de calcul prudentes (conservatrices).

Bibliographie

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*. No réf. : 002-10-1221-0107-6002-RF-Rev2.

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*. No réf. : 026-13-1221-0020-3040-MTF-Rev2.

Golder Associés ltée, 2014c. *Rapport de caractérisation des résidus miniers*. No réf. : 021-13-1221-0020-3020-RF-Rev0.



Christian Boyaud, ing., M.Sc.
Hydrogéologue

CB/PG/



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

p.j. : Tableau A: Débits de percolation sous 10 m de futurs résidus épaissis, prolongement du parc à résidus

\\golder.gds\gal\montreal\actif\2015\3 proj\1527286 cmgp ministere malartic\5 préparation livrables\20100- qministère- phase iii- mai 2015\q70\rev0\q70-1527286-20100-mtf-rev0.docx

TABLEAU A

Débits de percolation sous 10 m de futurs résidus épais, prolongement du parc à résidus

Sondage	X	Y	Futurs résidus épais	Anciens résidus miniers épais	Sable silteux à silt sableux	Argile	Silt	Sable fin à sable graveleux	Sable et gravier et till	Kv équivalent avec futurs résidus épais	Débit avec futurs résidus épais
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(L/m ² /j)
BH08-39	717528	5333161	10		2,28					1E-07	>3,3
BH08-41	717817	5333309	10						0,7	1E-07	>3,3
BH11-08	718140	5333694	10			0,47	2,23	1,94		1E-08	0,9
BH11-10	718105	5333389	10			2,86	1,54		1,02	3E-09	0,2
BH11-11	717916	5332898	10		1,32 m de remblai					1E-07	>3,3
BH11-18	718470	5333540	10			1,83	3,06	1,51		4E-09	0,3
BH11-20	718410	5333310	10				3,49			2E-08	1,5
BH11-22	717926	5332734	10		10,91	9,45	2,74		1,22	2E-09	0,2
BH12-07	717647	5332768	10	5		2,46	1,63		2,18	4E-09	0,3
BH12-08	717681	5332745	10	0,7	1,67	3,8			0,2	2E-09	0,2
BH12-09	717664	5332779	10	1,31		3,55	2,3		3,4	3E-09	0,2
BH12-10	717714	5332777	10			12,53	4,57		0,45	1E-09	0,1
BH12-11	717681	5332794	10	3,35		6,1	0,6	7	2,48	2E-09	0,2
BH12-12	717703	5332745	10	1,45	1,98	3,59			1,22	2E-09	0,2
PZ-09-10D	717398	5333406	10		2,85	1,37		2,29		6E-09	0,5
BH13-05	717923	5332743	10			10,67	10,18	1,44	0,41	1E-09	0,1
TE13-04	718068	5333590	10			4,15				2E-09	0,1
TE13-05	717820	5333516	10			4				2E-09	0,1
TE13-06	717959	5333371	10					2	0,2	1E-07	>3,3
TE13-07	717637	5333202	10						0,5	1E-07	>3,3
TE13-08	717799	5333286	10				0,3	2,2	0,2	8E-08	>3,3
TE13-10	717722	5333723	10						2,3	1E-07	>3,3
TP-08-166	717385	5332514	10				2,5			2E-08	1,8
TP-08-167	717508	5332502	10			1,7				3E-09	0,3
TP-08-206	718222	5332661	10				1,3			3E-08	2,7
TP-08-207	718167	5332645	10				2			2E-08	2,1
TP-08-209	718058	5332619	10							1E-07	>3,3
TP-08-210	718023	5332633	10						0,9	1E-07	>3,3
TP-08-212	717769	5332653	10				1,4		0,3	3E-08	2,7
TP-08-213	717732	5332611	10		0,85					1E-07	>3,3
TP-08-214	717933	5332830	10		0,8		1,6			3E-08	2,5
TP-08-215	717949	5332821	10		0,1					1E-07	>3,3
TP-08-216	717976	5332840	10		1,6			1,1		1E-07	>3,3
TP-08-217	718037	5332855	10		1		1,7			3E-08	2,5
TP-08-222	718188	5332959	10				1,3	0,5		3E-08	2,8
TP-08-223	718273	5333043	10				1,3	0,5		3E-08	2,8
TP-08-224	718372	5333046	10				1,3	0,5		3E-08	2,8
TP-08-225	718213	5333120	10				1,3	0,5		3E-08	2,8
TP-08-226	718124	5333107	10						0,6	1E-07	>3,3
TP-08-387	718353	5333620	10			2,7				2E-09	0,2
TP-08-388	718413	5333583	10			3,8				2E-09	0,2
TP-08-389	718556	5333560	10			2,3				3E-09	0,2
TP-08-390	718473	5333645	10			2,7				2E-09	0,2
TP-08-397	717789	5333664	10			2,6				2E-09	0,2
TP-08-398	717859	5333721	10			0,6	1,6			8E-09	0,7
TE14-101	717262	5332528	10							1E-07	>3,3
TE14-102	717154	5332496	10		0,4		0,2	0,4		8E-08	>3,3
TE14-103	717472	5332386	10		0,5		2,5			2E-08	1,9
TE14-104	717569	5332479	10		0,6		2,25		0,31	2E-08	2,1
TE14-105	717836	5332628	10		0,95					1E-07	>3,3
TE14-106	717935	5332628	10				0,7	0,3		5E-08	>3,3
BH-14-305B	718299	5332648	10		0,87	4,11	6,11			2E-09	0,2
BH-14-306A	718356	5332946	10			7,62	6,1	0,46	0,61	1E-09	0,1

: Débit de percolation supérieur à la valeur maximale de 3,3 L/m²/j prescrite par la Directive 019 du MDDELCC pour les mesures de protection de niveau A (MDDEP, 2012)