

ANNEXE QC-18

Estimation des statistiques des débits sur le ruisseau Raymond

Date: 7 août 2015**N° de référence:** Q18-1527286-200100-Rev0**À:** Christine Baribeau, Christian Roy
Canadian Malartic GP**c.c.:** Carl Pednault**De:** Vlad Rojanschi, Mayana Kissiova**Adresse courriel:** Mayana_Kissiova@golder.com**OBJET : ESTIMATION DES STATISTIQUES DES DÉBITS SUR LE RUISSEAU RAYMOND****1.0 CONTEXTE**

Dans le contexte des études liées à l'extension vers l'est du parc à résidus miniers de la mine Canadian Malartic (la Mine), Golder Associés Ltée (Golder) a préparé une étude (2013) pour estimer les statistiques de débit pour deux points sur le ruisseau Raymond (A et B, voir figure 1 à la fin du document).

Ce mémorandum présente :

- L'approche générale proposée dans l'étude de Golder (2013) pour estimer les statistiques de débit pour les deux points sur le ruisseau Raymond;
- L'étude de modélisation réalisée dans le cadre de la même étude incluant :
 - les données collectées lors d'une campagne de mesures sur le ruisseau Raymond Sud¹;
 - le modèle hydrologique pour le ruisseau Raymond Sud, sa calibration et les résultats de simulation;
 - le transfert des résultats du ruisseau Raymond Sud vers les deux points d'intérêt A et B sur le ruisseau Raymond; et
 - les limitations de la méthodologie utilisée.

2.0 APPROCHE GÉNÉRALE

L'étude de Golder (2013) a permis d'estimer les statistiques de débit du ruisseau Raymond immédiatement en amont (point B) et en aval (point A) de la confluence avec le ruisseau Sans Nom (figure 1). La taille des bassins versants est de 1,1 km² et 0,78 km² pour les points A et B respectivement. Les statistiques de débit présentées

¹Le ruisseau Raymond Sud à l'ouest du site minier et le ruisseau Raymond à l'est du site minier ne sont pas connectés hydrauliquement. Le ruisseau Raymond Sud s'écoule vers le sud, vers le lac Fournier à travers le bassin Johnson, le fossé de dérivation Sud et le ruisseau Mainville.



ont inclus le débit moyen annuel, trois indicateurs ($Q_{2,7}$; $Q_{10,7}$ et $Q_{5,30}$) pour les débits d'étiage hivernal et estival ainsi que les débits de crue (période de retour de 2 ans à 100 ans).

L'analyse de Golder (2013) a utilisé deux sources de données :

1) Genivar (2008) :

- Le débit moyen annuel est la moyenne des débits moyens annuels spécifiques des stations régionales Kinojévis et Harricana (bassins versants de 2 594 km² et 3 724 km² respectivement).
- Les débits d'étiage ont été transposés à partir des quantiles normalisés régionaux de la rivière Kinojévis à Cléricy avec un facteur de réduction de 4,4 selon des données de terrain collectées sur le ruisseau Raymond quelques kilomètres plus en aval des points actuels d'analyse.
- Les débits de crue sont les moyennes des valeurs calculées avec trois méthodes différentes, soit la méthode régionale d'Anctil et coll. (1998) et de Messier et coll. (2007), la méthode rationnelle (MTQ, 2004) et l'analyse de ruissellement régional réalisée par Golder (2002). Il est à noter que les trois méthodes donnent des résultats qui varient allant jusqu'à $\pm 135\%$ l'une par rapport à l'autre; et que la deuxième méthode (MTQ, 2014) calcule des débits de crue instantanée alors que les deux autres méthodes fournissent des valeurs de crue journalière.

Golder a transposé ces résultats aux points A et B par multiplication avec le ratio des bassins versants respectifs.

2) Données de débit collectées par Golder entre novembre 2008 et juin 2010 dans le ruisseau Raymond Sud ainsi qu'une étude de modélisation subséquente. La section 3 ci-dessous décrit les données et l'étude, incluant ses limitations.

Le tableau 1 résume les valeurs des statistiques de débit selon les deux sources. Golder (2013) a recommandé l'utilisation des valeurs soulignées en gris et marquées en gras :

- **Pour les débits moyens et d'étiage** : L'approche basée sur les données collectées dans le ruisseau Raymond Sud et sur l'étude de modélisation subséquente est jugée plus viable parce qu'elle utilise des données collectées sur un bassin versant de taille beaucoup plus proche des bassins versants des points A et B que l'étude de Genivar (2008).
- **Pour les débits de crue** : L'étude de Golder (2013) a recommandé l'utilisation des estimations de Genivar (2008) à cause des limitations de l'étude de modélisation (section 3.4 ci-dessous). Toutefois, il est reconnu que les incertitudes qui y sont associées sont significatives et que les valeurs présentées sont à utiliser avec un grand discernement. Golder ne recommande pas l'utilisation des valeurs présentées pour la conception des structures hydrauliques.

Tableau 1 : Estimation des statistiques de débit aux points A et B sur le ruisseau Raymond (les valeurs recommandées sont surlignées en gris et marquées en gras)

Localisation		Estimation basée sur Genivar (2008) – note 1		Estimation basée sur des données collectées dans le ruisseau Raymond Sud – note 2	
		Point A	Point B	Point A	Point B
Superficie (km²)		1,1	0,78	1,1	0,78
Type de débit	Statistique	Débit (m ³ /s)			
Débit moyen annuel	-	0,018	0,012	0,014	0,010
Débit d'étiage estival	Q _{2,7}	0,0012	0,0008	0,0002	0,0001
	Q _{10,7}	0,0008	0,0005	0,0000	0,0000
	Q _{5,30}	0,0012	0,0008	0,0023	0,0016
Débit d'étiage annuel	Q _{2,7}	0,0008	0,0005	0,0000 (note 4)	0,0000 (note 4)
	Q _{10,7}	0,0006	0,0004	0,0000 (note 4)	0,0000 (note 4)
	Q _{5,30}	0,0006	0,0004	0,0000 (note 4)	0,0000 (note 4)
Débit de crue	1:2 ans	0,44 (note 3)	0,30 (note 3)	0,12 (note 5)	0,08 (note 5)
	1:10 ans	0,62 (note 3)	0,42 (note 3)	0,16 (note 5)	0,11 (note 5)
	1:25 ans	0,70 (note 3)	0,48 (note 3)	0,18 (note 5)	0,13 (note 5)
	1:50 ans	0,76 (note 3)	0,52 (note 3)	0,20 (note 5)	0,14 (note 5)
	1:100 ans	0,78 (note 3)	0,53 (note 3)	0,21 (note 5)	0,15 (note 5)

Notes :

- 1) Ces valeurs sont basées principalement sur des données mesurées aux stations hydrométriques régionales avec des bassins versants de plusieurs milliers de km².
- 2) La section 3 fournit des précisions sur la méthodologie utilisée.
- 3) Les valeurs sont une moyenne des résultats des trois méthodes; une méthode estime des débits de crue instantanée alors que les deux autres estiment des débits de crue journalière.
- 4) Golder a fait ces estimations en l'absence des valeurs mesurées en situation hivernale.
- 5) Golder a calculé de débits de crue journalière. Des limitations (section 3.4) font ainsi que ces résultats sont probablement des sous-estimations.

Les observations additionnelles suivantes sont à prendre en compte :

- Les débits de crue varient grandement avec la superficie du bassin versant, la topographie, le type de sol et la couverture de sol d'un bassin versant. Les débits de crue des petits bassins versants, comme il est le cas pour les points A et B, sont particulièrement sensibles aux variations de ces propriétés. Étant donné que la plupart des estimations indiquées n'ont pas considéré ces aspects, les débits de crue réels pourraient varier de manière significative par rapport aux estimations.
- Les débits d'étiage dépendent principalement des exfiltrations d'eau souterraine dans le ruisseau. Les exfiltrations sont spécifiques à chaque site. En l'absence des mesures directes aux sites A et B, les

estimations des débits d'étiage sont incertaines. Les débits d'étiage estival calculés sont proches de zéro; il est possible que ces débits soient occasionnellement zéro.

- Les valeurs présentées pour le ruisseau Raymond n'incluent aucun apport d'eau en provenance du déversoir du bassin de polissage, qui est situé à l'ouest et en amont du point A.

3.0 ÉTUDE DE MODÉLISATION

3.1 Campagne de mesure sur le ruisseau Raymond Sud

Lors d'une campagne de mesures hydrologiques au site de la Mine et autour de celui-ci, Golder a installé une station de suivi de niveau d'eau sur le ruisseau Raymond Sud (figure 1). La station (illustration 1), qui draine un bassin versant d'environ 2,1 km², a été placée à l'ouest et en amont du chemin du Lac Mourier. Le programme de suivi hydrologique du ruisseau Raymond Sud a inclus :

- Mesures continues du niveau d'eau entre le 13 mai et le 2 décembre 2009 et entre le 9 avril et le 16 juin 2010 à l'aide d'une sonde de pression (illustration 2); et
- Six mesures ponctuelles du débit dans le ruisseau prises entre novembre 2008 et avril 2010 (illustration 3).

Les mesures ponctuelles de débit ont servi pour transformer les séries de niveaux d'eau en série de débit (illustration 4).



Illustration 1 : Station de suivi du niveau d'eau sur le ruisseau Raymond Sud en amont du croisement avec le chemin du Lac Mourier - Photo prise le 13 mai 2009

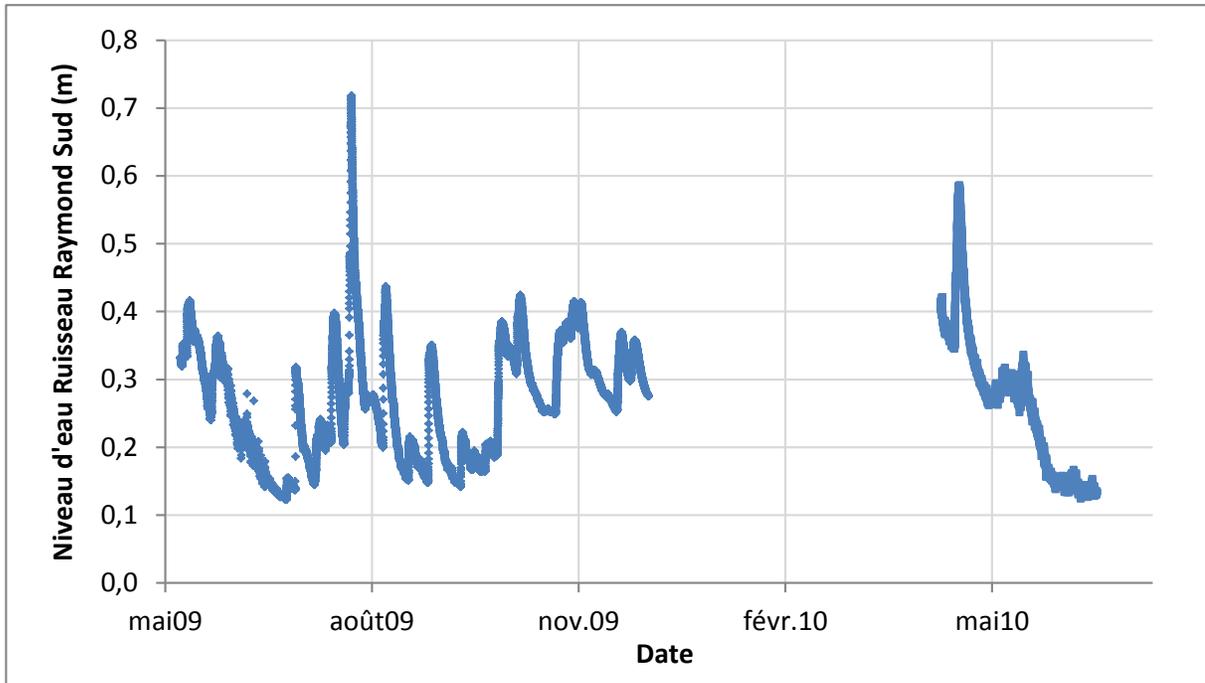


Illustration 2 : Données de niveau d'eau collectées à la station sur le ruisseau Raymond Sud

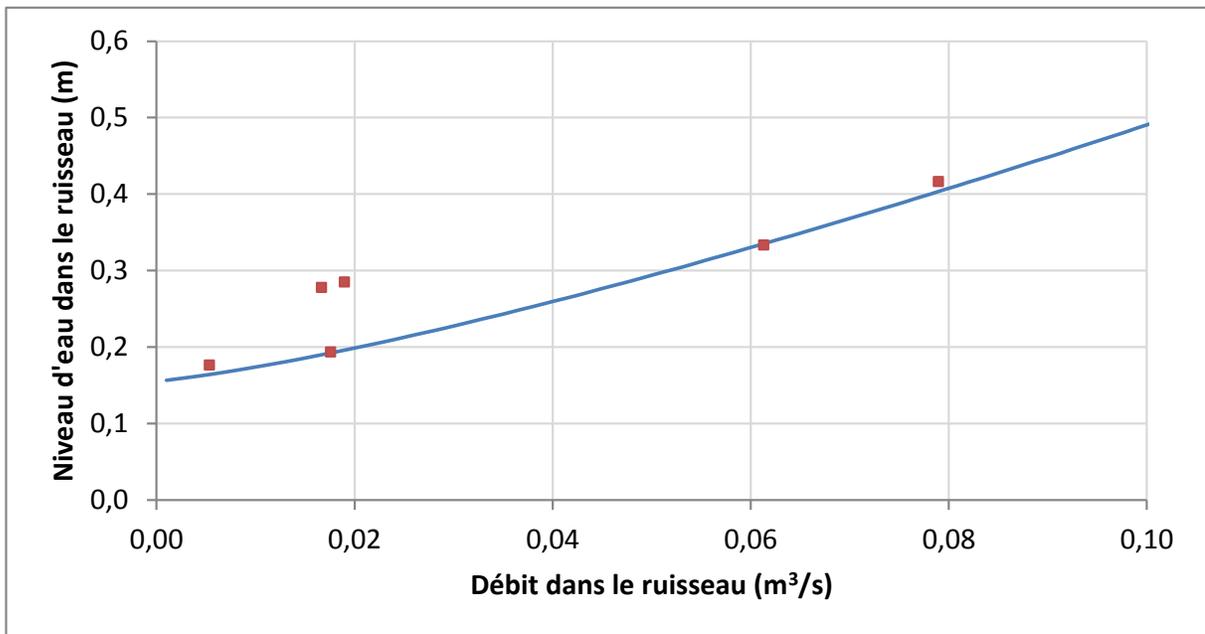


Illustration 3 : Courbe de jaugeage (niveau d'eau par rapport au débit) de la station sur le ruisseau Raymond Sud

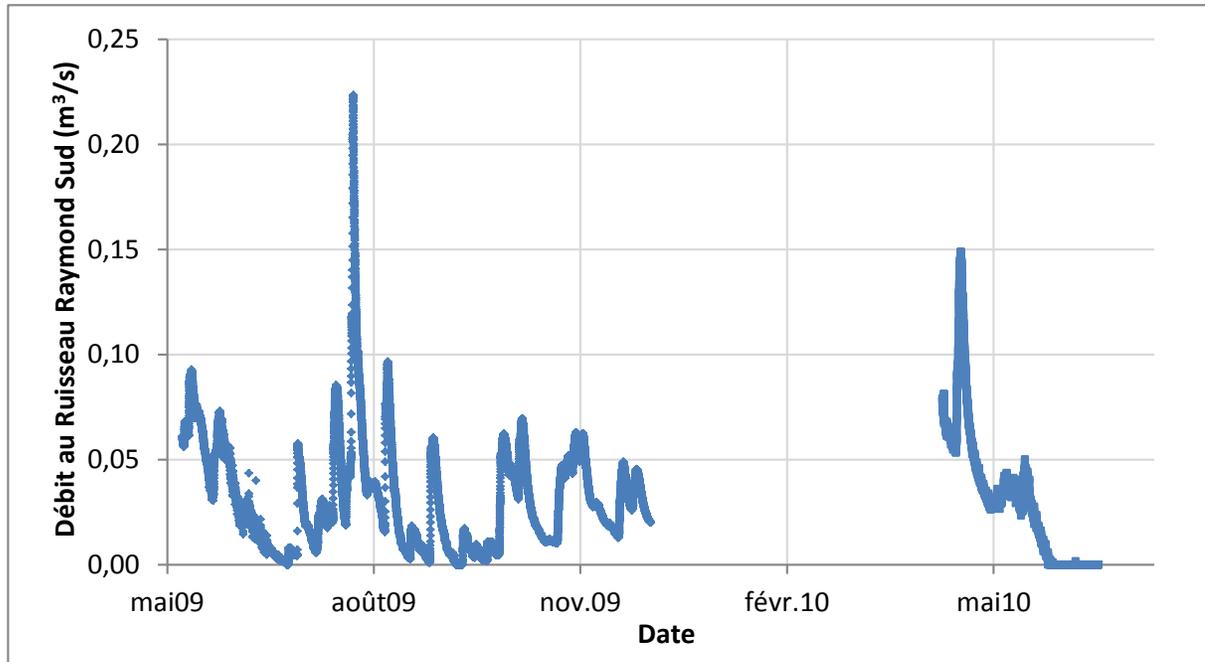


Illustration 4 : Données de débit estimées au ruisseau Raymond Sud

3.2 Modélisation hydrologique du ruisseau Raymond Sud

3.2.1 Développement du modèle

Golder a développé un outil numérique de modélisation hydrologique pour simuler les débits dans le ruisseau Raymond Sud. L'illustration 5 présente le diagramme conceptuel du modèle, qui suit des procédures de modélisation hydrologiques standards (par exemple, Maidment, 1993). Les flux d'eau par unité d'aire de sol sont décrits sur une base journalière s'appuyant sur un bilan incluant les précipitations (pluie et fonte des neiges), l'évapotranspiration, l'emmagasinage d'eau dans le sol et l'excédent. Chaque surface sur le site minier est modélisée par un système de réservoirs linéaires, incluant le couvert de neige et deux réservoirs (supérieur et inférieur), qui conceptualise les processus hydrologiques sur et dans le sol.

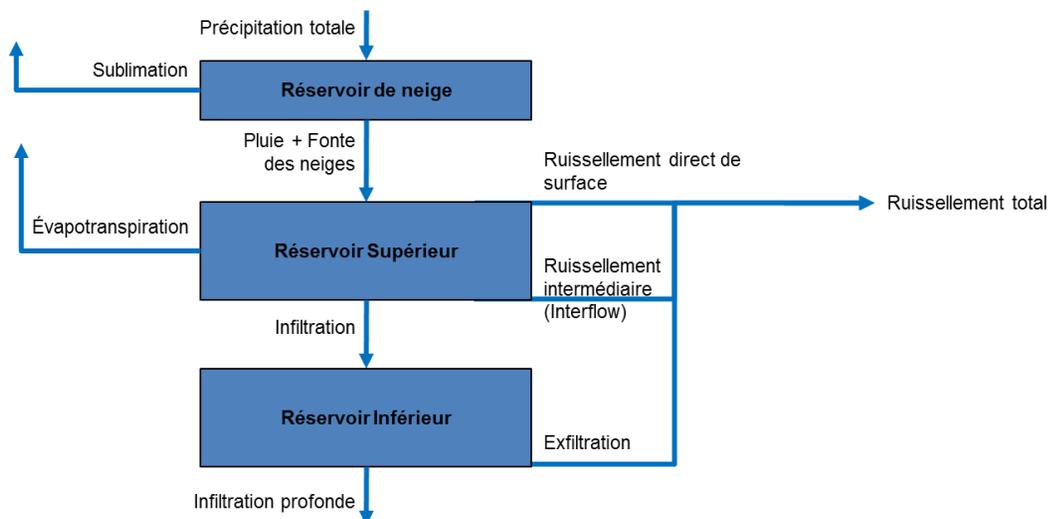


Illustration 5 : Diagramme conceptuel du modèle hydrologique développé

3.2.2 Calibration du modèle

Le modèle hydrologique a été calibré en se basant sur les résultats du suivi hydrologique du ruisseau Raymond Sud ainsi que sur les données climatiques historiques de la station de Val-d'Or (température et précipitation) et de la station d'Amos (évaporation). L'illustration 6 présente les résultats de calibration pour les données de 2009. La performance du modèle est jugée comme étant satisfaisante avec un coefficient de corrélation de 0,72 entre les données issues des mesures et les résultats de modélisation. Le tableau présente les valeurs des paramètres calibrés; il est important de noter qu'il s'agit d'un modèle conceptuel et, par conséquent, les valeurs des paramètres n'ont pas une interprétation physique directe.

3.2.3 Simulations et extraction des résultats

Nous avons simulé environ 55 années de données climatiques (illustration 7) en utilisant les données disponibles pour la station de Val-d'Or A (1954 à 2010). Les résultats de simulation ont permis d'extraire les statistiques de ruissellement et de débit dans le ruisseau Raymond Sud à l'endroit de la station de suivi (illustrations 8, 9, 10 et 11) :

- le ruissellement moyen annuel a été estimé à 391 mm/an, soit un débit moyen annuel de 0,025 m³/s;
- le débit d'étiage estival (mai à novembre) Q_{2,7} a été estimé à 0,00031 m³/s (ruissellement équivalent de 0,013 mm/jour);
- le débit d'étiage estival Q_{10,7} a été estimé à 0,0 m³/s (ruissellement équivalent de 0 mm/jour);
- le débit d'étiage estival Q_{5,30} a été estimé à 0,0041 m³/s (ruissellement équivalent de 0,17 mm/jour); et
- le débit de crue journalier 1 :10 ans a été estimé à 0,3 m³/s (ruissellement équivalent de 13mm/jour).

L'absence des données mesurées pour la période hivernale ne permet pas de comparer l'estimation des débits pendant cette période. Toutefois, la taille réduite du bassin versant et les valeurs estivales mesurées suggèrent que les débits d'étiage hivernal sont égaux à zéro (écoulement intermittent) ou qu'ils sont très proches de zéro.

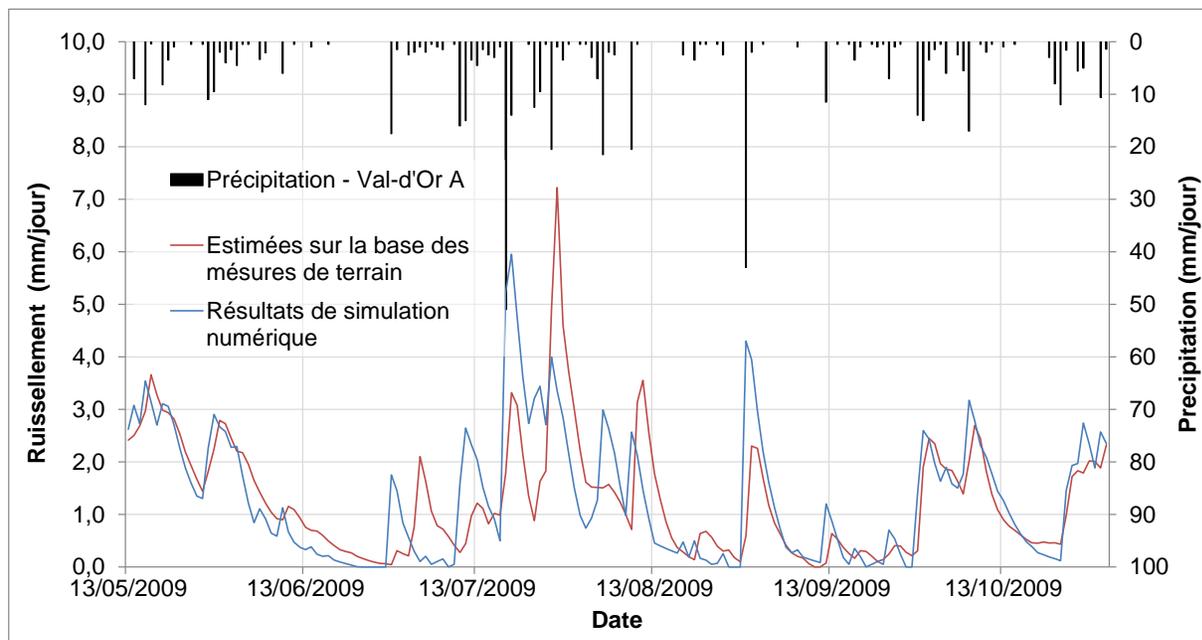


Illustration 6 : Résultats de calibration du modèle hydrologique pour le ruisseau Raymond Sud

Tableau 2 : Paramètres calibrés pour le modèle hydrologique

Propriété	Unité	Ruisseau Raymond Sud
Évapotranspiration (% évaporation potentielle)	%	0,9
Fonte des neiges - température de base	degC	-2,44
Fonte des neiges - facteur degré-jour	mm/(degC*jour)	1,82
Sublimation	mm/ jour	0,0
Capacité du réservoir supérieur (RS)	mm	65
Coefficient du réservoir supérieur (note 1)	1/jour	0,13
Infiltration potentielle RS to RI	mm/ jour	20
Capacité du réservoir inférieur (RI)	mm	300
Coefficient du réservoir inférieur (note 1)	1/jour	0,05
Infiltration potentielle hors du RI	mm/jour	0,55

Note 1 : Le coefficient d'un réservoir est égal au ratio entre le taux d'évacuation régulière du réservoir et la quantité d'eau emmagasinée dans le réservoir.

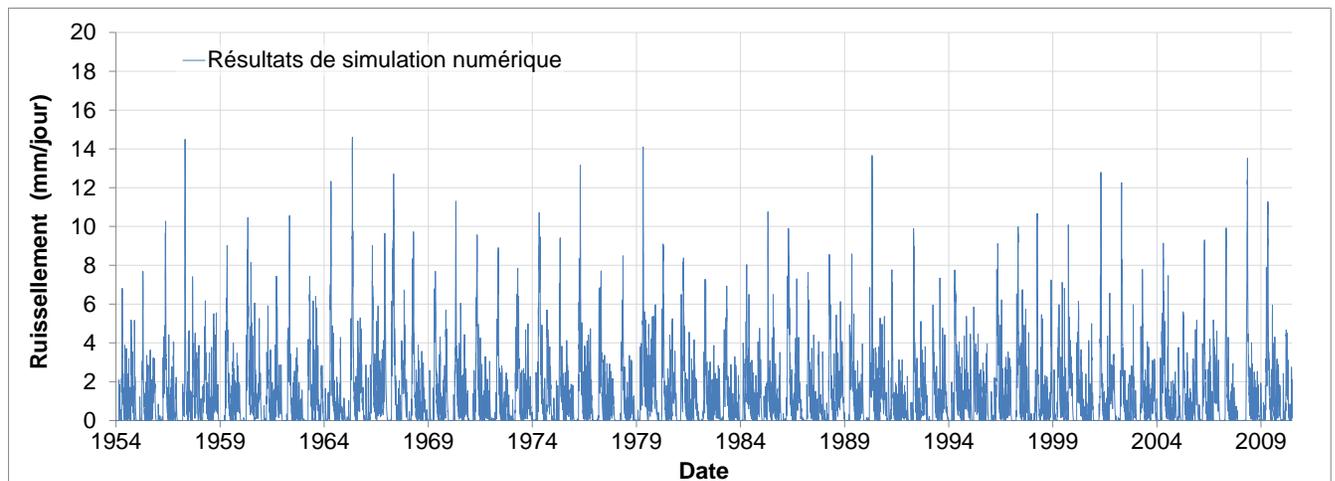


Illustration 7 : Résultats de simulation pour le bassin versant du ruisseau Raymond Sud - 55 années de données journalières de ruissellement

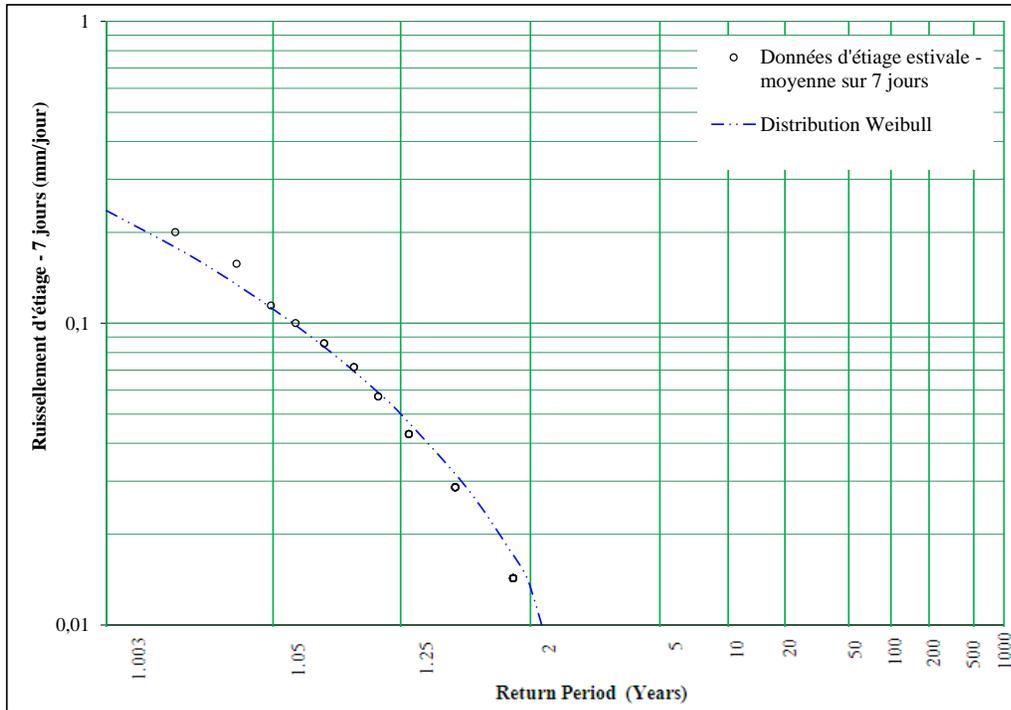


Illustration 8 : Résultats de simulation pour le bassin versant du ruisseau Raymond Sud - Analyse de fréquence des débits d'été estival sur 7 jours

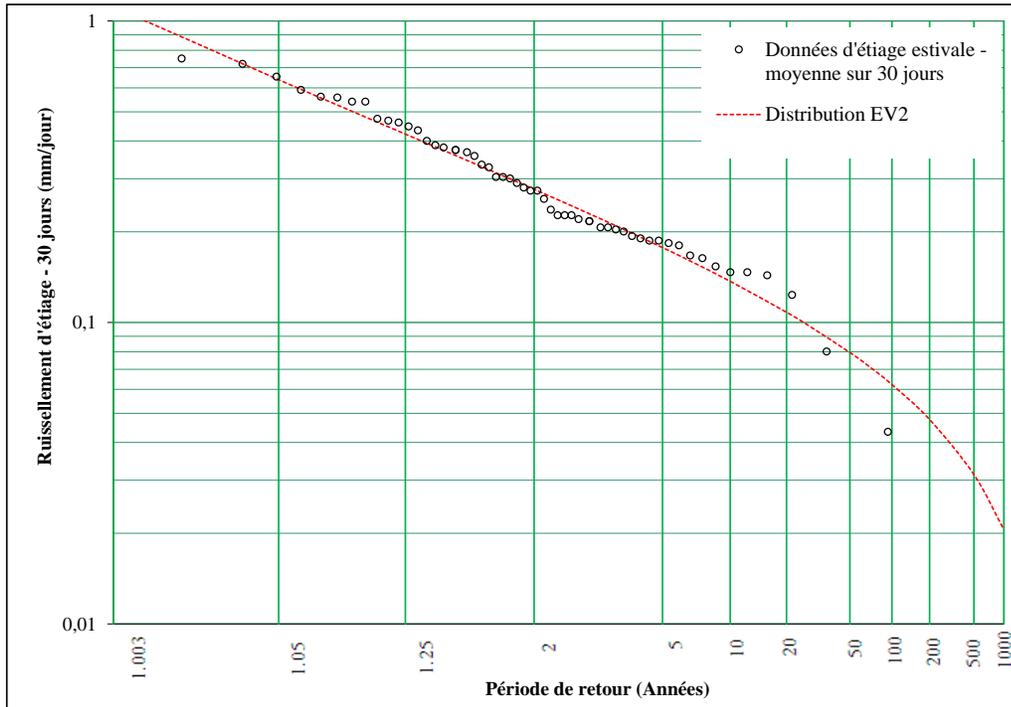


Illustration 9 : Résultats de simulation pour le bassin versant du ruisseau Raymond Sud - Analyse de fréquence des débits d'été estival sur 30 jours

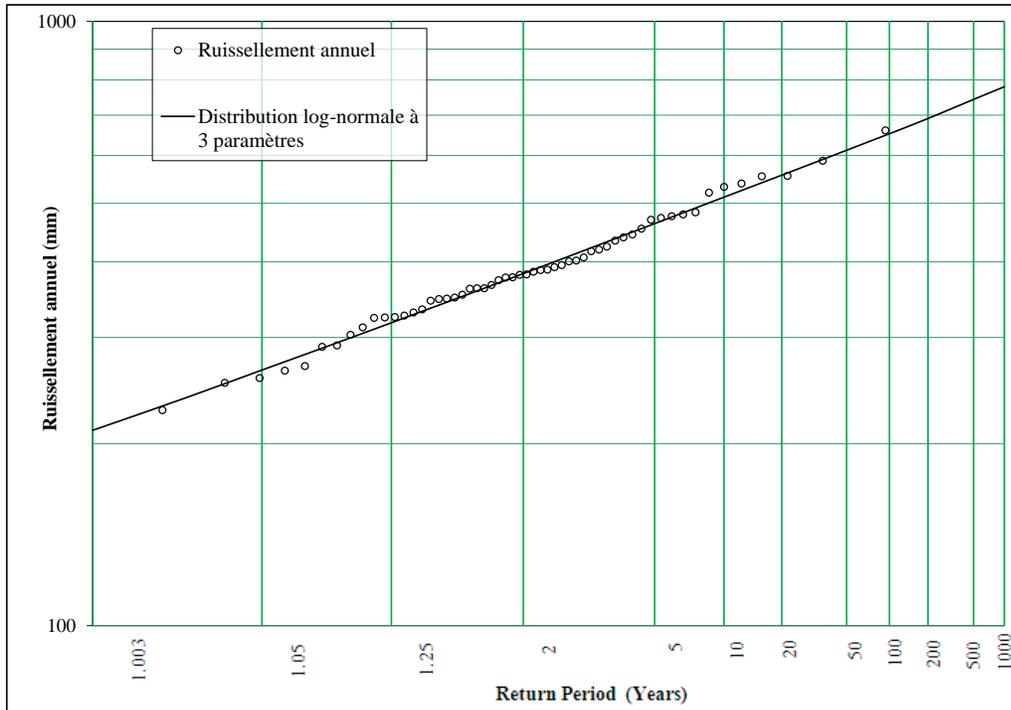


Illustration 10 : Résultats de simulation pour le bassin versant du ruisseau Raymond Sud - Analyse de fréquence du ruissellement annuel

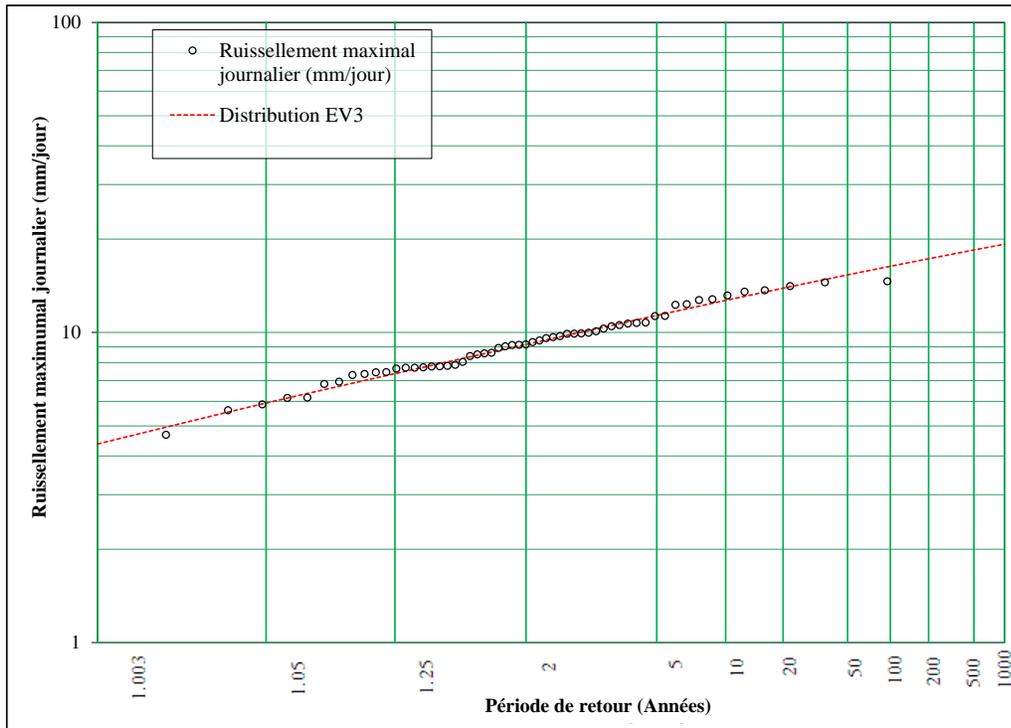


Illustration 11 : Résultats de simulation pour le bassin versant du ruisseau Raymond Sud - Analyse de fréquence du ruissellement journalier maximal

3.3 Transfert des résultats de modélisation au ruisseau Raymond

Les résultats de modélisation au ruisseau Raymond Sud ont été transférés aux points A et B du ruisseau Raymond par multiplication avec le ratio des bassins versants respectifs. Le ratio est égal à 0,55 pour le point A, et à 0,36 pour le point B.

Tableau 3 : Transfert des résultats de modélisation au ruisseau Raymond

Localisation		Ruisseau Raymond Sud	Point A sur le ruisseau Raymond (note 3)	Point B sur le ruisseau Raymond (note 3)
Superficie du bassin versant (km²)		2,1	1,1	0,78
Type de débit	Statistique	Débit (m ³ /s)		
Débit moyen annuel	-	0,026	0,014	0,010
Débit d'étiage estival	Q _{2,7}	0,0003	0,0002	0,0001
	Q _{10,7}	0,0000	0,0000	0,0000
	Q _{5,30}	0,0041	0,0023	0,0016
Débit d'étiage annuel (note 1)	Q _{2,7}	0,0000	0,0000	0,0000
	Q _{10,7}	0,0000	0,0000	0,0000
	Q _{5,30}	0,0000	0,0000	0,0000
Débit de crue journalier (note 2)	1:2 ans	0,23	0,12	0,08
	1:10 ans	0,31	0,16	0,11
	1:25 ans	0,35	0,18	0,13
	1:50 ans	0,38	0,20	0,14
	1:100 ans	0,40	0,21	0,15

Notes :

- 1) Estimations faites en l'absence des valeurs mesurées en situation hivernale.
- 2) Débits de crue journalière.
- 3) Des mesures de débit dans le ruisseau Raymond dans le voisinage des points A et B n'ont pas été disponibles pour vérifier le transfert des statistiques de débit du ruisseau Raymond Sud vers le ruisseau Raymond.

3.4 Limitations de l'analyse

La section 2 a présenté les limitations principales associées aux résultats de l'étude de modélisation. Les paragraphes suivants reprennent et complètent certaines de ces limitations :

- L'analyse n'a pas utilisé de mesures locales sur le ruisseau Raymond dans le voisinage des points A et B analysés. Les différences entre les bassins versants du ruisseau Raymond et celui du ruisseau Raymond Sud pourraient faire en sorte que les statistiques de débit ne soient pas parfaitement transférables.
- La section 2 a mentionné des limitations générales associées au transfert des débits de crue et d'étiage d'un bassin versant à l'autre. En plus, le calcul des débits de crue par l'étude de modélisation sur le ruisseau Raymond Sud est considéré particulièrement incertain :

- Les mesures discrètes de débit sur le ruisseau Raymond Sud n'ont pas eu lieu en situation de crue. La fonction de transformation des niveaux d'eau mesurés en valeurs de débit (la courbe de jaugeage à l'illustration 3) n'a pas été validée pour des débits de crue.
- La géométrie du ruisseau Raymond Sud indique que ce ruisseau déborde fréquemment en situation de crue, aussi à cause de la présence du ponceau sous le chemin du Lac Mourier en aval de la station. Cela implique que la courbe de jaugeage sous-estime les débits de crue; cette sous-estimation influencera probablement les estimations des débits de crue au tableau 3.

Nous espérons que ce mémorandum technique répond à vos questions de manière satisfaisante. N'hésitez pas à contacter les soussignés pour toute clarification.

GOLDER ASSOCIÉS LTÉE



Vlad Rojanschi, Dr.-Ing., Eng.
Associé, ingénieur en ressources hydriques



Mayana Kissiova, ing., M.Eng
Associée principale

VR/MK/ig

\\golder.gds\gal\montreal\actif\2015\3 proj\1527286 cmgp ministere malartic\6 livrables émis\20100- phase iii- 1re série de questions\q18-1527286-200100-rev0.docx

Pièce jointe : Figure 1 – Plan de situation

4.0 RÉFÉRENCES

Genivar, 2008. Projet minier aurifère Canadian Malartic - *Étude d'impact sur l'environnement*. Août 2008. AA106790.

Golder, 2013. Golder Associés Ltée, 26 juillet 2013. 001-13-1221-0020/4060/4062-RevA-*Estimation des statistiques de débit sur le ruisseau Raymond*. Courriel électronique adressé à la Corporation Minière Osisko (M. Carl Pednault).

Maidment, D.R., 1993. *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill.



LÉGENDE

— LIMITE BASSIN VERSANT

0,33 Km² AIRE DU BASSIN VERSANT

RÉFÉRENCE

PHOTO LIDAR FOURNI PAR OSISKO (JUN 2011)



CLIENT
CANADIAN MALARTIC GP

CONSULTANT



AAAA-MM-JJ	2015-05-21
PROJETÉ	J. Lutti
DESSINÉ	S. Betnesky
REVISÉ	V. Rojanschi
APPROUVÉ	V. Rojanschi

PROJET
ESTIMATION DES STATISTIQUES DES DÉBITS
SUR LE RUISSEAU RAYMOND

TITRE
PLAN DE SITUATION

N° PROJET	PHASE	Rév.	FIGURE
1527286	20100	0	1

Chemin: \\golder\gdm\Montreal\GIS\CAD\PROJETS\OSISKO\PRODUCTION\1527286\201001_1_Nom du fichier: 1527286-201001_01.dwg

SI LA MESURE NE CORRESPOND PAS À L'ÉCHELLE LA TAILLE DE LA FEUILLE A ÉTÉ MODIFIÉE ANS/B 28 mm

