

ANNEXE S2QC-82

Documents divers demandés

Projet : 151-14654-01-200 **Date :** 10 décembre 2015

Numéro de Mémo : 07

Préparé par : Julie Mc Duff, biologiste, M.Sc.

Approuvé par : Guy Jérémie, ing.

À : Christine Baribeau, B.Sc., M.Sc. - CMGP

INVENTAIRES COMPLÉMENTAIRES (2015) CHIROPTÈRES

De nouvelles campagnes de terrain ont été réalisées entre mai et septembre 2015, afin de recueillir des données complémentaires, notamment au niveau des chiroptères. Ces informations s'avèrent nécessaires, tel que stipulé à la question QC-45, de la 1^{ère} série de questions et commentaires de la Direction générale de l'évaluation environnementale et stratégique.

Les nouvelles informations colligées lors des inventaires complémentaires ont permis de compléter le portrait des communautés de chiroptères présentes dans les deux zones d'inventaire et ce, par l'ajout de données pour la période de reproduction des chauves-souris, soit du 1 juin au 31 juillet.

1 MÉTHODOLOGIE

1.1 Espèces ciblées

L'inventaire cible l'ensemble des espèces de chiroptères potentiellement présentes dans le secteur (Jutras et coll., 2012), soit :

- La chauve-souris argentée (*Lasionycteris noctivagans*);
- La chauve-souris cendrée (*Lasiurus cinereus*);
- La chauve-souris rousse (*Lasiurus borealis*);
- La grande chauve-souris brune (*Eptesicus fuscus*);
- Les espèces du genre *Myotis* :
 - o Chauve-souris nordique (*Myotis septentrionalis*);
 - o Petite chauve-souris brune (*Myotis lucifugus*);

Il est à noter que les cris des espèces du genre *Myotis* présentent des caractéristiques similaires, ce qui les rend rarement discriminables entre eux (Fenton et Bell, 1981; Jutras et

coll., 2012). De ce fait, les cris issus des deux espèces du genre *Myotis* ont été regroupés au sein du complexe « Espèce du genre *Myotis* » lors des analyses.

1.2 Méthode d'inventaire

Cette étude a été réalisée en utilisant la technique d'inventaire acoustique fixe. À cet effet, des stations automatisées, constituées de boîtes étanches contenant un détecteur d'ultrasons (*AnaBat® Bat Detector*), un système d'enregistrement et une minuterie, le tout relié à un système de batteries, ont été installées dans les milieux visés par l'étude.

Le principe de fonctionnement des stations automatisées est relativement simple. Durant les heures d'obscurité, le détecteur de chauves-souris demeure en attente de réception d'ultrasons. Lorsqu'il en capte, la fréquence des ultrasons captés par le détecteur est divisée par un facteur présélectionné de 32, 16, 8 ou 4 (8 dans le cas présent), afin de rendre les cris audibles à l'oreille humaine. Ces sons modifiés sont transmis à une interface (*AnaBat®CF Storage ZCAIM*) qui rétablit la fréquence originale des enregistrements, en fonction du facteur de division préalablement sélectionné. L'information est ensuite sauvegardée sur une carte mémoire de format Compact Flash, sous forme de sonagrammes permettant, dans le logiciel *Batview*, de visualiser et d'analyser les cris enregistrés. Les chauves-souris sont alors identifiées par reconnaissance de leur signature sonore, c'est-à-dire par comparaison entre les sonagrammes enregistrés et les caractéristiques connues des cris d'écholocation de chacune des espèces ou groupe d'espèces (collection de référence).

1.3 Emplacement des stations d'enregistrement

Pour cet inventaire, dix (10) stations d'enregistrement ont été installées. L'emplacement des stations d'inventaire acoustique (CM01 à CM10) est illustré sur les Cartes 1 et 2. Le Tableau 1 présente une description générale des milieux dans lesquels les différentes stations d'inventaire acoustique ont été disposées. Les sites visés se trouvent tous en milieux ouverts, généralement humides ou en bordure de cours d'eau. Les appareils ont d'ailleurs été orientés face aux milieux humides ou au couloir des cours d'eau à une hauteur d'environ 1,80 m, tout en évitant de pointer en direction des vents dominants. Les photographies illustrant les milieux dans lesquels les différentes stations ont été installées sont regroupées à l'Annexe A.

Tableau 1 Description sommaire des milieux au niveau des stations d'inventaire et coordonnées

Station	Coordonnées (degré décimal)	Milieu
CM01	N48.11108 W78.07123	Bord de cours d'eau sinueux, écotone entre forêt mature d'épinettes et zone humide avec quenouilles
CM02	N48.12246 W78.07384	Tourbière ouverte avec quelques épinettes et mélèzes
CM03	N48.10685 W78.06354	Couloir avec arbustes reliant une rivière et un bassin de retenue d'eau
CM04	N48.11856 W78.06047	Zone ouverte en bordure de forêt mature avec quelques épinettes basses, jeunes mélèzes et graminées
CM05	N48.12229 W78.06842	Zone humide entre forêt de résineux matures et aulnes
CM06	N48.11992 W78.07148	Barrage de castors, zone humide et ouverte recouverte de quenouilles
CM07	N48.13364 W78.09625	Bord de cours d'eau sinueux avec couverture abondante de graminées
CM08	N48.12992 W78.06776	Bord de cours d'eau. Couloir étroit bordé d'aulnes
CM09	N48.13169 W78.08964	Zone humide ouverte avec quenouilles en bordure d'une forêt mature d'épinettes
CM10	N48.12988 W78.07619	Zone semi-ouverte recouverte de graminées avec quelques arbustes

1.4 Période d'inventaires

Les appareils ont été installés le 27 mai 2015 et retirés au début septembre 2015. Chaque station d'inventaire a été équipée d'un système automatisé, programmé pour être en fonction de 20h00 à 6h00, débutant ainsi avant le coucher du soleil et se terminant après le lever.

Une visite de suivi a été réalisée le 30 juin 2015 afin de vérifier le bon fonctionnement des systèmes et de remplacer les batteries et les cartes mémoires.

1.5 Efforts d'échantillonnage

Parmi l'ensemble des nuits inventoriées, une sélection de treize (13) dates a été effectuée sur la base des conditions météorologiques. Les journées retenues sont celles sans précipitations où la température moyenne (pendant les heures d'inventaire) s'est avérée plus élevée que 10°C et où la vitesse moyenne des vents était inférieure à 20 km/h. Les données météo utilisées pour la sélection sont celles enregistrées par Environnement Canada (2015) à la plus proche station (Val-d'Or). L'effort d'échantillonnage ainsi déployé représente cinq (5) nuits en juin et sept (7) nuits en juillet pour un total de 130 heures de détection potentielles à chaque station.

Le nombre de nuits retenues a été inspiré du protocole développé par le ministère pour les inventaires de chiroptères dans le cadre de futurs parcs éoliens (MRNF, 2008). Ce protocole recommande notamment deux séries de 40 heures d'inventaire en conditions propices au cours de la période de reproduction des chiroptères. La sélection de treize (13) journées permet d'atteindre (ou de dépasser) le nombre d'heures visé tout en permettant de pallier au fait que certaines stations ont vu leur inventaire interrompu au cours du mois de juin en raison de l'épuisement des batteries. Néanmoins, toutes les stations présentent un minimum de dix (10) nuits d'inventaire à l'exception de la station CM09 qui en présente neuf (9) et de la station CM08 qui en présente quatre (4) en raison d'une problématique de système survenue en juillet.

2 RÉSULTATS

2.1 Conditions météorologiques

Le site d'archives météorologique d'Environnement Canada (2015) a été consulté afin de sélectionner les nuits les plus propices aux inventaires de chiroptères. Le Tableau 2 présente les conditions météorologiques qui ont prévalu pendant les heures d'inventaire (20h00 à 6h00) pour les dates sélectionnées.

Tableau 2 Conditions météorologiques enregistrées pendant les heures d'inventaires

Date	Température moyenne (°C)	Précipitations totales journalières (mm)	Vitesse moyenne du vent (km/h)
9 juin 2015	11,7	0	7,2
12 juin 2015	13,75	0	4,45
17 juin 2015	10,41	0	6,54
22 juin 2015	12,77	0	3,90
27 juin 2015	14,35	0	8,82
28 juin 2015	13,65	0	6,36
2 juillet 2015	11,35	0	11
6 juillet 2015	16,89	0	9,2
9 juillet 2015	14,38	0	6,64
10 juillet 2015	13,63	0	3,45
12 juillet 2015	17,8	0	8,45
13 juillet 2015	19,01	0	8,81
24 juillet 2015	14,77	0	4,64

La température nocturne moyenne enregistrée (entre 20h00 et 6h00) à la station météorologique est de 11,43°C pour l'ensemble du mois de juin et de 15,47°C pour l'ensemble de juillet.

2.2 Espèces inventoriées

L'inventaire acoustique a permis de confirmer, pendant la période de reproduction, la présence de trois (3) espèces de chauves-souris ainsi que des chauves-souris du genre *Myotis*, pour un total de 1237 cris enregistrés au cours des nuits sélectionnées :

- la chauve-souris argentée (*Lasionycteris noctivagans*) (17,5 % des enregistrements);
- la chauve-souris cendrée (*Lasiurus cinereus*) (52,5 % des enregistrements);
- la grande chauve-souris brune (*Eptesicus fuscus*) (11,1 % des enregistrements);
- les chauves-souris du genre *Myotis* (0,2 % des enregistrements).

Rappelons ici que les enregistrements de chiroptères appartenant au genre *Myotis* regroupent deux (2) espèces, soit la petite chauve-souris brune (*Myotis lucifugus*) et la chauve-souris nordique (*Myotis septentrionalis*).

Par ailleurs, 18,5 % des enregistrements n'ont pu être identifiés, majoritairement en raison de la mauvaise qualité de ces enregistrements (sonagrammes trop courts ou flous).

Le Tableau 3 synthétise les résultats obtenus lors de l'inventaire acoustique pour les différentes stations automatisées. Pour chaque station, il précise les espèces ou groupe d'espèces recensés, le nombre d'enregistrements identifiés pour chacun ainsi que le nombre total de sonagrammes. Les deux dernières colonnes présentent respectivement le pourcentage relatif d'une espèce donnée à l'intérieur de la station d'inventaire (% par station) et le pourcentage relatif des enregistrements réalisés pour une espèce ou groupe d'espèces à une station donnée par rapport à l'ensemble des enregistrements pour cette espèce (% par espèce).

D'une manière générale, les résultats obtenus indiquent que l'activité des chiroptères est plus importante au nord de la zone d'étude. Par ailleurs, c'est à la station CM-08 que le plus grand nombre d'enregistrements a été réalisé, et ce, bien que la période d'échantillonnage s'est avérée plus courte à cet endroit (4 dates sélectionnées). C'est également à cet endroit que se trouve la plus grande proportion des chauves-souris argentées, cendrées et grandes chauves-souris brunes.

La chauve-souris rousse, une espèce migratrice, n'a pas été répertoriée au cours de cet inventaire. Elle avait toutefois été enregistrée en faible proportion lors de l'inventaire réalisé en 2013 (GENIVAR, 2013).

Tableau 3 Synthèse des résultats obtenus lors de l'inventaire acoustique réalisé en juin et juillet 2015

Station	Espèce ou groupe d'espèces	Nom latin	Nombre enregistrements	% par station	% par espèce
CM01	Chauve-souris argentée	<i>Lasionycteris noctivagans</i>	3	6,25	1,38
	Chauve-souris cendrée	<i>Lasiurus cinereus</i>	26	54,17	4,00
	Grande chauve-souris brune	<i>Eptesicus fuscus</i>	6	12,50	4,35
	Indéterminé	Indéterminé	13	27,08	5,68
	Total		48		
CM02	Chauve-souris argentée	<i>Lasionycteris noctivagans</i>	8	16,67	3,69
	Chauve-souris cendrée	<i>Lasiurus cinereus</i>	26	54,17	4,00
	Chauve-souris du genre <i>Myotis</i>	<i>Myotis</i> sp.	1	2,08	33,33
	Grande chauve-souris brune	<i>Eptesicus fuscus</i>	4	8,33	2,90
	Indéterminé	Indéterminé	9	18,75	3,93
Total		48			
CM03	Chauve-souris argentée	<i>Lasionycteris noctivagans</i>	19	9,69	8,76
	Chauve-souris cendrée	<i>Lasiurus cinereus</i>	90	45,92	13,85
	Chauve-souris du genre <i>Myotis</i>	<i>Myotis</i> sp.	1	0,51	33,33
	Grande chauve-souris brune	<i>Eptesicus fuscus</i>	28	14,29	20,29
	Indéterminé	Indéterminé	58	29,59	25,33
Total		196			
CM04	Chauve-souris argentée	<i>Lasionycteris noctivagans</i>	23	29,87	10,60
	Chauve-souris cendrée	<i>Lasiurus cinereus</i>	43	55,84	6,62
	Grande chauve-souris brune	<i>Eptesicus fuscus</i>	4	5,19	2,90
	Indéterminé	Indéterminé	7	9,09	3,06
Total		77			
CM05	Chauve-souris argentée	<i>Lasionycteris noctivagans</i>	4	18,18	1,84
	Chauve-souris cendrée	<i>Lasiurus cinereus</i>	11	50,00	1,69
	Grande chauve-souris brune	<i>Eptesicus fuscus</i>	4	18,18	2,90
	Indéterminé	Indéterminé	3	13,64	1,31
Total		22			

Tableau 3 Synthèse des résultats obtenus lors de l'inventaire acoustique réalisé en juin et juillet 2015 (suite)

Station	Espèce ou groupe d'espèces	Nom latin	Nombre enregistrements	% par station	% par espèce
CM06	Chauve-souris argentée	<i>Lasionycteris noctivagans</i>	14	25.00	6.45
	Chauve-souris cendrée	<i>Lasiurus cinereus</i>	27	48.21	4.15
	Grande chauve-souris brune	<i>Eptesicus fuscus</i>	8	14.29	5.80
	Indéterminé	Indéterminé	7	12.50	3.06
	Total		56		
CM07	Chauve-souris argentée	<i>Lasionycteris noctivagans</i>	19	9.31	8.76
	Chauve-souris cendrée	<i>Lasiurus cinereus</i>	130	63.73	20.00
	Chauve-souris du genre <i>Myotis</i>	<i>Myotis</i> sp.	1	0.49	33.33
	Grande chauve-souris brune	<i>Eptesicus fuscus</i>	20	9.80	14.49
	Indéterminé	Indéterminé	34	16.67	14.85
Total		204			
CM08	Chauve-souris argentée	<i>Lasionycteris noctivagans</i>	72	24.74	33.18
	Chauve-souris cendrée	<i>Lasiurus cinereus</i>	163	56.01	25.08
	Grande chauve-souris brune	<i>Eptesicus fuscus</i>	30	10.31	21.74
	Indéterminé	Indéterminé	26	8.93	11.35
	Total		291		
CM09	Chauve-souris argentée	<i>Lasionycteris noctivagans</i>	40	22.35	18.43
	Chauve-souris cendrée	<i>Lasiurus cinereus</i>	71	39.66	10.92
	Grande chauve-souris brune	<i>Eptesicus fuscus</i>	22	12.29	15.94
	Indéterminé	Indéterminé	46	25.70	20.09
	Total		179		
CM10	Chauve-souris argentée	<i>Lasionycteris noctivagans</i>	15	12.93	6.91
	Chauve-souris cendrée	<i>Lasiurus cinereus</i>	63	54.31	9.69
	Grande chauve-souris brune	<i>Eptesicus fuscus</i>	12	10.34	8.70
	Indéterminé	Indéterminé	26	22.41	11.35
	Total		116		
Total			1237		

3 CONCLUSION

L'inventaire acoustique des chauves-souris en période de reproduction a permis de confirmer que le site d'étude représente un habitat propice à la reproduction de plusieurs espèces de chauves-souris dont notamment les chauves-souris argentées, les chauves-souris cendrées et les grandes chauves-souris brunes qui se sont avérées présentes à toutes les stations. La chauve-souris cendrée et la chauve-souris argentée sont des espèces migratrices qui figurent sur la *Liste des espèces fauniques susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables* du ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MFFP, 2015b). Ces trois (3) espèces avaient également été répertoriées dans des proportions similaires en 2013, lors d'un inventaire acoustique réalisé au cours de la période de migration (GENIVAR 2013).

L'inventaire a également permis de confirmer la présence de chauves-souris du genre *Myotis* dans l'aire d'étude au cours de la période de reproduction, et ce, bien que seulement trois (3) stations ont permis de l'enregistrer. Les espèces de ce genre avaient également été répertoriées en 2013, lors de l'inventaire en période de migration (GENIVAR 2013). En 2013 comme en 2015, cette espèce représente une très faible proportion des enregistrements réalisés, ce qui n'est pas étonnant comme tenu que les populations de ces espèces ont connu une baisse drastique de leurs effectifs depuis environ cinq ans, notamment suite à l'apparition du syndrome du museau blanc (SMB) dans de nombreux hibernacles (MFFP, 2015a). Les résultats obtenus dans cet inventaire confirment, une fois de plus, l'impact de la maladie sur les populations de chauves-souris de cette région du Québec. La petite chauve-souris brune et la chauve-souris nordique sont d'ailleurs considérées, depuis février 2012, en voie de disparition par le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC). Ce statut a été réexaminé et confirmé en novembre 2013 (COSEPAC, 2014) puis ces espèces ont été ajoutées, le 17 décembre 2014, à l'annexe 1 de la LEP (Gouvernement du Canada, 2014 et COSEPAC, 2015).

Les données obtenues lors de cet inventaire ne modifient pas les résultats de l'analyse des impacts et aucune mesure d'atténuation additionnelle n'est requise.

4 RÉFÉRENCES

- COMITÉ SUR LA SITUATION DES ESPÈCES EN PÉRIL AU CANADA (COSEPAC). 2014. *Rapport annuel du COSEPAC 2013-2014*. Rapport présenté à la ministre de l'Environnement et au Conseil canadien pour la conservation des espèces en péril (CCCEP). 44 pages.
- COMITÉ SUR LA SITUATION DES ESPÈCES EN PÉRIL AU CANADA (COSEPAC). 2015. *Espèces sauvages canadiennes en péril*. Gouvernement du Canada. Site internet consulté en octobre 2015. http://www.cosewic.gc.ca/fra/sct5/index_f.cfm
- ENVIRONNEMENT CANADA. 2015. *Données climatiques historiques. Rapport de données horaires et quotidiennes pour la station météorologique de Val d'Or, Québec*. Site Internet consulté en octobre 2015. <http://climat.meteo.gc.ca/>
- FENTON, M.B. et G.P. BELL. 1981. *Recognition of species on insectivorous bats by their echolocation calls*. Journal of Mammalogy, 62(2) : 233-243.
- GENIVAR 2013. *Inventaire des chiroptères – Mine Canadian Malartic, Malartic*. Rapport sectoriel. 9 pages et annexe.
- GOVERNEMENT DU CANADA. 2014. *Décret modifiant l'annexe 1 de la Loi sur les espèces en péril*. Gazette du Canada Vol. 148, no 26 — Le 17 décembre 2014.
- JUTRAS, J., M. DELORME, J. MC DUFF et C. VASSEUR. *Le suivi des chauves-souris du Québec*. Le Naturaliste Canadien, 136(1) : 48-52.
- MINISTÈRE DE LA FORÊT, DE LA FAUNE ET DES PARCS. 2015b. *Liste des espèces de la faune vertébrée susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables*. Gouvernement du Québec. Site internet consultée en octobre 2015 <http://www3.mffp.gouv.qc.ca/faune/especes/menacees/liste.asp#susceptibles>.
- MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MFFP). 2015a. *Syndrome du museau blanc chez les chauves-souris*. Site en ligne consulté le 12 décembre 2014 : <http://www.mffp.gouv.qc.ca/faune/sante-maladies/syndrome-chauve-souris.jsp>.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE. 2008. *Protocole d'inventaires acoustiques de chiroptères dans le cadre de projets d'implantation d'éoliennes au Québec - 8 janvier 2008*. Ministère des ressources naturelles et de la faune, secteur faune Québec, 10 pages.

ANNEXE 1 DOSSIER PHOTOGRAPHIQUE

Les photos représentent la visée de l'appareil. Les photos ont été prises le 27 mai 2015.



Photo 1 : Station d'inventaire CM01



Photo 2 : Station d'inventaire CM02



Photo 3 : Station d'inventaire CM03



Photo 4 : Station d'inventaire CM04



Photo 5 : Station d'inventaire CM05



Photo 6 : Station d'inventaire CM06



Photo 7 : Station d'inventaire CM07



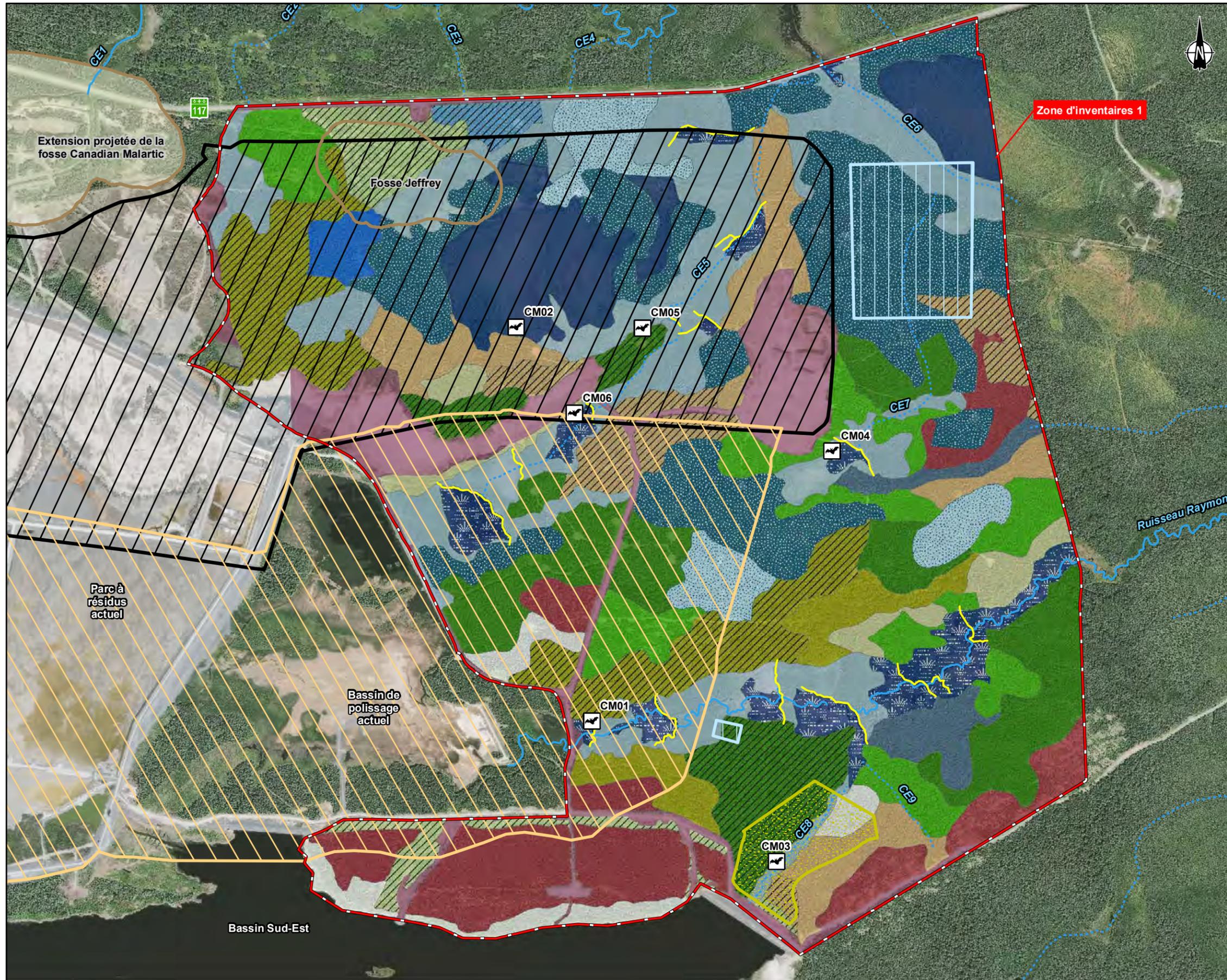
Photo 8 : Station d'inventaire CM08



Photo 9 : Station d'inventaire CM09



Photo 10 : Station d'inventaire CM10



-  Zone d'inventaires 1
- Hydrologie**
 -  Cours d'eau
 -  Cours d'eau intermittent
 -  Barrage à castor (par photo-interprétation)
- Éléments miniers**
 -  Bassin de pompage
 -  Fosse projetée
 -  Halde à mort-terrain est
 -  Halde à stérile
 -  Nouveau bassin de polissage
 -  Parc à résidus final (2027)
- Chiroptères**
 -  Station automatisée (Anabat Bat Detector)
- Groupements végétaux humides**
 -  Aulnaie
 -  Marais à quenouilles
 -  Mélèzaie sur tourbe
 -  Pessière noire humide
 -  Pessière noire humide sur tourbe
 -  Peupleraie baumier
 -  Résineux humide
 -  Tourbière ouverte
- Autres groupements végétaux (nom, type)**
 -  Milieu anthropique, anthropique
 -  Bétulaie blanche à peupliers, terrestre
 -  Feuillus intolérants, terrestre
 -  Milieu ouvert perturbé, terrestre
 -  Mixte à résineux, terrestre
 -  Pessière blanche, terrestre
 -  Pessière noire terrestre, terrestre
 -  Peupleraie à bouleaux blancs, terrestre
 -  Peupleraie à résineux, terrestre
 -  Pinède grise, terrestre
 -  Sapinière à feuillus intolérants, terrestre
 -  Sapinière à résineux, terrestre

MINE CANADIAN MALARTIC

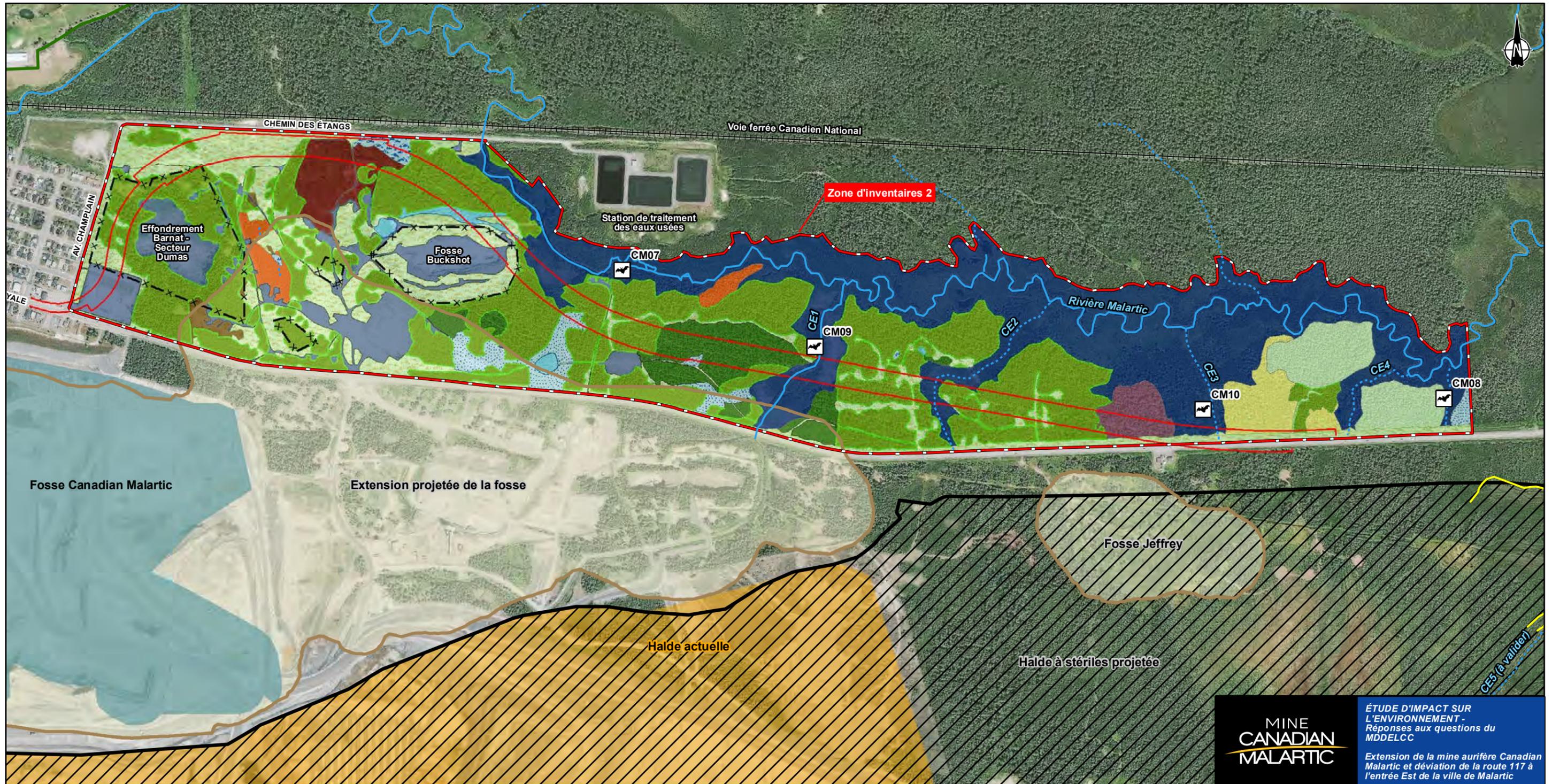
ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT - Réponses aux questions du MDDELCC

Extension de la mine aurifère Canadian Malartic et déviation de la route 117 à l'entrée Est de la ville de Malartic

RQC-45
Carte 1
Localisation des stations automatisées pour l'inventaire des chiroptères dans la zone d'inventaires 1 (site minier)

Sources :
Orthophoto : Digital Globe, WorldView-2 (29-07-2012), 60 cm/pixel
Fichier WSP : 151_14654_01_200_EIC2_093_ChiroptereZone1_160112.mxd
12 janvier 2016

0 125 250 m
NAD83, UTM, zone 17

<p>+++++ Voie ferrée</p> <p>⌈ x — x ⌋ Zone clôturée</p> <p>⌈ x — x ⌋ Zone d'inventaires 2</p>	<p>Hydrologie</p> <p>— Barrage à castor (Observation sur le terrain)</p> <p>CE1 Cours d'eau</p> <p>... Cours d'eau intermittent</p> <p>Déviations de la route 117</p> <p>— Emprise</p>	<p>Éléments miniers</p> <p>Fosse actuelle Canadian Malartic</p> <p>Fosse projetée</p> <p>Halde à stérile actuelle</p> <p>Halde à stériles projetée</p> <p>Chiroptères</p> <p>Station automatisée (Anabat Bat Detector)</p>	<p>Groupements végétaux humides</p> <p>Aulnaie</p> <p>Marais</p> <p>Marécage arbustif et prairie humide</p> <p>Marécage arbustif</p> <p>Peupleraie à aulne</p> <p>Prairie humide</p>	<p>Autres groupements végétaux (nom, type)</p> <p>Mélèze, Terrestre</p> <p>Pessière blanche, Terrestre</p> <p>Résineux, Terrestre</p> <p>Zone artificialisée ou développée, Anthropique</p>	<p>Ancienne coupe</p> <p>Milieu ouvert / perturbé, Terrestre</p> <p>Peupleraie, Terrestre</p> <p>Sapinière, Terrestre</p>
---	--	--	---	--	---

MINE CANADIAN MALARTIC

ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT - Réponses aux questions du MDDELCC

Extension de la mine aurifère Canadian Malartic et déviation de la route 117 à l'entrée Est de la ville de Malartic

RQC-45

Carte 2

Localisation des stations automatisées pour l'inventaire des chiroptères dans la zone d'inventaires 2 (nord de la R117)

Sources : Orthophoto : Digital Globe, WorldView-2 (29-07-2012), 60 cm/pixel
Emprise du tracé : WSP 2014-01-07

Fichier WSP : 151_14654_01_200_EIC2_092_ChiroptereZone2_160112.mxd

12 janvier 2016 151-14654-01

0 100 200 m
NAD83, UTM, zone 17

WSP



Projet : 151-14654-01-200 **Date :** 10 décembre 2015

Numéro de Mémo : 06

Préparé par : Eric Gingras, biologiste, M.Sc.

Approuvé par : Guy Jérémie, ingénieur

À : Christine Baribeau, B.Sc., M.Sc. - CMGP

INVENTAIRES COMPLÉMENTAIRES (2015) HERPÉTOFAUNEFAUNE TERRESTRE

Les campagnes de terrain réalisées en 2015 ont été utilisées afin de compléter les informations portant sur les espèces fauniques présentes dans les deux (2) zones d'inventaires, soit la zone d'inventaire 2, au nord de la Route 117, et la zone d'inventaire 1, qui comprend le site minier Canadian Malartic. Toutes ces informations s'avèrent nécessaires, tel que stipulé aux questions QC-139, QC-142, QC-143 et QC-288, de la 1^{ère} série de questions et commentaires de la Direction générale de l'évaluation environnementale et stratégique.

Les nouvelles informations colligées lors de ces différents inventaires complémentaires ont permis de dresser un portrait plus précis des communautés des espèces de l'herpétofaune et des espèces fauniques terrestres présentes dans les secteurs visés par le projet, à l'exception des micromammifères et des chiroptères, qui font l'objet de mémos techniques distincts.

1 MÉTHODOLOGIE

1.1 Herpétofaune

Les bases de données de l'Atlas des amphibiens et des reptiles du Québec (« AARQ ») et du CDPNQ ont été consultées de nouveau afin d'obtenir la liste des occurrences d'espèces d'amphibiens et de reptiles observées et potentiellement présentes dans le secteur. Les données provenant de la Direction de la gestion de la faune de l'Abitibi-Témiscamingue (MFFP) ont également été obtenus et consultés.

En plus des observations opportunistes, des fouilles actives et une recherche visuelle d'individus des principales espèces susceptibles d'être présentes ont été effectuées dans les habitats propices des différentes zones d'inventaires. Ces activités ont permis de recueillir et de colliger des informations concernant ces espèces. À l'instar des espèces de la faune aviaire, un effort particulier a été accordé aux espèces à statut précaire potentiellement présentes.

Des fouilles en milieu terrestre et près des berges des cours d'eau et des milieux humides ont donc été effectuées en vérifiant avec plus d'attention sous les roches, les bûches, les branches, les amoncellements d'écorces ainsi que dans et en périphérie de monticules de pierres. Cette technique de recherche active permet de favoriser la détection de toutes les espèces d'amphibiens ou de reptiles plus discrètes.

En fonction du protocole standardisé (Larochelle et coll., 2015), il est possible de travailler à la recherche active de couleuvre entre la fin avril et la fin octobre. Dans le cas présent, des fouilles actives ont eu lieu à différents moments de la journée, en fonction des conditions météorologiques observées et du type d'inventaire effectué en même temps que celui visant l'herpétofaune. Des fouilles ont eu lieu assez tôt le matin et en soirée lors de journées chaudes, où alors en milieu de journée lors de journées plus fraîches.

Quatorze (14) stations de recensement de couleuvres, formées chacune de trois (3) bardeaux d'asphalte noirs pour 1 m² de superficie, ont été disposées dans la zone d'inventaires 1. La localisation de ces stations apparaît sur la carte 1 (site minier). Certaines stations ont été localisées à l'extérieur de la zone d'inventaire, pour éviter les différentes zones de travaux dans le secteur (réfection des voies d'accès) et parce que les habitats y sont similaires. Cet aspect de l'inventaire a été réalisé en se basant sur le *Protocole pour les inventaires de couleuvres associées aux habitats de début de succession au Québec*, produit par le ministère des Ressources naturelles et de la Faune de l'époque, en mai 2013. Les bardeaux ont été installés le 2 juin 2015 et vérifiés tout au long de l'été lors des visites pour les inventaires de 2015. La dernière visite a été effectuée le 9 septembre 2015.

1.2 Faune terrestre

Des observations opportunistes ont été réalisées lors de chacune des sorties sur le terrain effectuées en 2015, tant au niveau des inventaires fauniques que floristiques. Ces activités ont permis de recueillir et de colliger des informations concernant ces espèces. Toutes les données concernant les espèces aperçues et/ou entendues ont été colligées, de même que tous les signes de présence. Parmi ces signes, mentionnons la présence de pistes, d'excréments, de tiges broutées et de sentiers utilisés par les différentes espèces fauniques. Certaines espèces de la faune terrestre peuvent être plus facilement associées à un milieu en raison de la présence de signes facilement repérables lors de la réalisation des inventaires.

Tel que mentionné, les espèces de micromammifères et de chiroptères répertoriées et potentiellement présentes font l'objet de mémos techniques distincts.

2 RÉSULTATS

2.1 Herpétofaune

Selon les données disponibles auprès de l'AARQ (2013), vingt et une (21) espèces de l'herpétofaune sur les trente-huit (38) espèces retrouvées au Québec sont potentiellement présentes dans les deux zones d'inventaires, quoique deux de celles-ci présentent un faible potentiel de présence. Au total, huit (8) espèces ont été observées dans les différentes zones d'inventaires (tableau 1). Les inventaires de 2015 ont permis de répertorier des occurrences de couleuvres à ventre rouge. Cette espèce n'avait pas été répertoriée lors de la réalisation des

inventaires précédents. De plus, en fonction des données disponibles auprès de l'AARQ, cette espèce n'avait pas été répertoriée dans les environs de la Ville de Val d'Or.

Tableau 1 Espèces de l'herpétofaune présentes et potentiellement présentes

Nom français	Nom latin	Potentiel de présence	Espèce observée		
			2007 – 2012	2013	2015
Crapaud, grenouilles et rainettes					
Crapaud d'Amérique	<i>Anaxyrus americanus</i>	X	X	X	X
Grenouille des bois	<i>Lithobates sylvaticus</i>	X	X	X	X
Grenouille du Nord	<i>Lithobates septentrionalis</i>	X	X		
Grenouille léopard	<i>Lithobates pipiens</i>	X	X		X
Grenouille verte	<i>Lithobates clamitans</i>	X	X		X
Ouaouaron	<i>Lithobates catesbeianus</i>	Faible			
Rainette crucifère	<i>Pseudacris crucifer</i>	X	X	X	X
Rainette versicolore	<i>Hyla versicolor</i>	Faible			
Salamandres et triton					
Salamandre à deux lignes	<i>Ambystoma laterale</i>	X			
Salamandre à points bleus	<i>Ambystoma laterale</i>	X			
Salamandre cendrée	<i>Plethodon cinereus</i>	X			
Salamandre maculée	<i>Ambystoma maculatum</i>	X			
Triton vert	<i>Notophthalmus viridescens</i>	X			
Serpents					
Couleuvre à collier	<i>Diadophis punctatus edwardsii</i>	X			
Couleuvre à ventre rouge	<i>Storeria occipitomaculata</i>	X			X
Couleuvre rayée	<i>Thamnophis sirtalis</i>	X	X	X	X
Couleuvre verte	<i>Liochlorophis vernalis</i>	X			
Tortues					
Tortue des bois	<i>Glyptemys insculpta</i>	X			
Tortue moucheté	<i>Emydoidea blandingii</i>	X			
Tortue peinte	<i>Chrysemys picta</i>	X			
Tortue serpentine	<i>Chelydra serpentina serpentina</i>	X			
Nombre d'espèces		21	7	4	7
Nombre total d'espèces observées		8			

Note : La trame grise a été utilisée pour présenter les espèces à statut particulier (provincial et/ou fédéral)

Malgré le peu d'espèces recensées, toutes les espèces apparaissant dans le tableau ont le potentiel de se retrouver dans les deux zones d'inventaires. Le tableau 1 présente les espèces potentiellement présentes de même que les espèces observées de 2007 à 2015. Aucune espèce de l'herpétofaune à statut précaire n'a été répertoriée dans la zone d'étude.

Toutes les espèces de tortues potentiellement présentes se retrouvent à la limite nord de leurs aires de distribution. Le même constat peut être appliqué à la couleuvre verte et à la couleuvre à collier. Cette dernière est également difficile à trouver lors d'inventaires, alors que la couleuvre verte passe une grande partie de temps cachée dans un abri.

Les stations de bardeaux utilisés pour le recensement des couleuvres ont été relevées à au moins six (6) reprises durant le déroulement des nombreux inventaires effectués durant les campagnes d'inventaires floristiques et fauniques complémentaires de 2015.

Le lit de la rivière Malartic est en forme de « U ». Celui-ci présente des pentes prononcées et le talus est recouvert d'une végétation très dense, pratiquement composée de phalaris roseaux à 100 %. Dans la zone d'inventaire 2, aucune plage de sable n'a été répertoriée, et c'est généralement ce type d'habitat qui est recherché par les tortues pour leur permettre de creuser leur nid et déposer leurs œufs. Le substrat est essentiellement composé d'argile compacte.

C'est du moins le type d'habitat recherché par la tortue mouchetée et la tortue des bois. La première est très rare au Québec et sa présence est limitée à l'Outaouais, avec quelques mentions isolées. La tortue des bois recherche des endroits sablonneux dépourvus de végétation, souvent des milieux artificiels, à proximité immédiate d'un cours d'eau. La tortue serpentine creuse son nid dans différents substrat, à l'instar de la tortue peinte. Elle fréquente néanmoins les lacs et marais étendus, de même que les grandes rivières. La tortue peinte affectionne les eaux calmes et peut profonde, riches en végétation et au fond vaseux. Ces deux espèces auraient un peu plus de chance d'être présentes dans les zones d'inventaires, quoiqu'aucun signe de présence n'ait été répertorié durant la réalisation de toutes les campagnes d'inventaire.

La salamandre cendrée est principalement forestière. Au nord, elle semble préférer les pinèdes grises. La salamandre à deux lignes est aquatique. Elle est retrouvée dans divers types de cours d'eau, là où les rives sont pierreuses. La salamandre à points bleus est retrouvée en milieu forestier et dans les tourbières, où elle demeure généralement enfouie dans le sol. À l'instar de la salamandre à points bleus, la salamandre maculée passe la majeure partie de son existence enfouie dans la litière forestière. Le triton vert est aquatique et affectionne les secteurs riches en végétation. L'elfe rouge est forestier. Toutes ces espèces sont communes au Québec, malgré le fait qu'aucun individu n'ait été observé.

Les anoues (grenouilles et rainettes) sont relativement faciles à répertorier par le chant tôt au printemps et/ou en soirée, de même que par observation dans les plans d'eau. La majorité des espèces potentiellement présentes ont été répertoriées.

2.2 Faune terrestre

Les derniers inventaires réalisés mentionnaient qu'en raison de la présence de différents groupements végétaux humides formant une mosaïque intéressante avec les groupements terrestres, diverses espèces de mammifères sont susceptibles d'être retrouvées dans les zones d'inventaires. Ces milieux, malgré le fait qu'ils soient situés dans un paysage perturbé, offrent des conditions propices à l'établissement de communautés d'espèces relativement diversifiées.

Les espèces présentes peuvent donc utiliser les divers habitats disponibles, en autant que les conditions favorables à leur établissement et à leur survie soient présentes. Le tableau 2 présente les espèces observées jusqu'à ce jour, dans les deux zones d'inventaires, et une bonne partie (20 espèces) de celles potentiellement présentes dans les zones d'inventaires et en périphérie. Les espèces à statut précaire sont identifiées avec une trame grise.

Deux (2) nouvelles espèces de mammifères ont été répertoriées lors des inventaires de 2015, soit le porc-épic d'Amérique et le rat musqué.

À noter que cette liste d'espèces n'est pas exhaustive et que d'autres espèces de mammifères pourraient être présentes (Desrosiers et coll., 2002; Prescott et Richard, 1996).

Les espèces de mammifères sont majoritairement actives la nuit, à l'exception de certains rongeurs (ex. : écureuil roux, tamia rayé). Malgré le fait que la période précédant le lever du soleil soit une période propice à l'observation des espèces fauniques terrestres, celles-ci sont discrètes et difficiles à observer directement. Les traces et indices de présences sont alors également recherchés.

Certains groupements végétaux comportent davantage d'indices de présence pour la grande faune. C'est le cas, entre autres, des tourbières où la disponibilité de la canneberge comme source de nourriture pourrait être liée aux indices de présence notés pour l'ours noir.

Par ailleurs, sur l'ensemble des zones d'inventaires, plusieurs signes de la présence de l'orignal (*Alces alces*) ont également été notés. Des traces, des indices de broutage et des excréments ont été observés dans la plupart des groupements inventoriés, qu'ils soient mixtes, résineux et feuillus, terrestres ou humides. De plus, des caches de chasse récentes ont été observées dans quelques sentiers de la zone d'inventaires. Une femelle de bonne taille a été observée durant la réalisation de l'inventaire portant sur les micromammifères.

Tableau 2 Espèces de mammifères présentes et potentiellement présentes

Nom français	Nom latin	Potentiel de présence	Espèce observée		
			2007 – 2012	2013	2015
Belette pygmée	<i>Mustela nivalis</i>	X			
Castor du Canada	<i>Castor canadensis</i>	X	X	X	X
Cerf de Virginie	<i>Odocoileus virginianus</i>	X		X	X
Coyote	<i>Canis latrans</i>	X		X	
Écureuil roux	<i>Sciurus vulgaris</i>	X	X	X	X
Lièvre d'Amérique	<i>Lepus americanus</i>	X	X	X	X
Loup gris	<i>Canis lupus</i>	X			
Lynx du Canada	<i>Lynx canadensis</i>	X			
Marmotte commune	<i>Marmota monax</i>	X		X	X
Marte d'Amérique	<i>Martes americana</i>	X			
Moufette rayée	<i>Mephitis mephitis</i>	X		X	
Orignal	<i>Alces alces</i>	X	X	X	X
Ours noir	<i>Ursus americanus</i>	X	X	X	X
Pékan	<i>Martes pennanti</i>	X			
Porc-épic d'Amérique	<i>Erethizon dorsata</i>	X			X
Rat musqué	<i>Ondatra zibethicus</i>	X			X
Raton laveur	<i>Procyon lotor</i>	X	X		X
Renard roux	<i>Vulpes vulpes</i>	X		X	X
Tamia rayé	<i>Tamias striatus</i>	X		X	X
Vison d'Amérique	<i>Neovison vison</i>	X			
Nombre d'espèces		20	6	10	11

Note : La trame grise a été utilisée pour présenter les espèces à statut particulier (provincial et/ou fédéral)

3 CONCLUSION

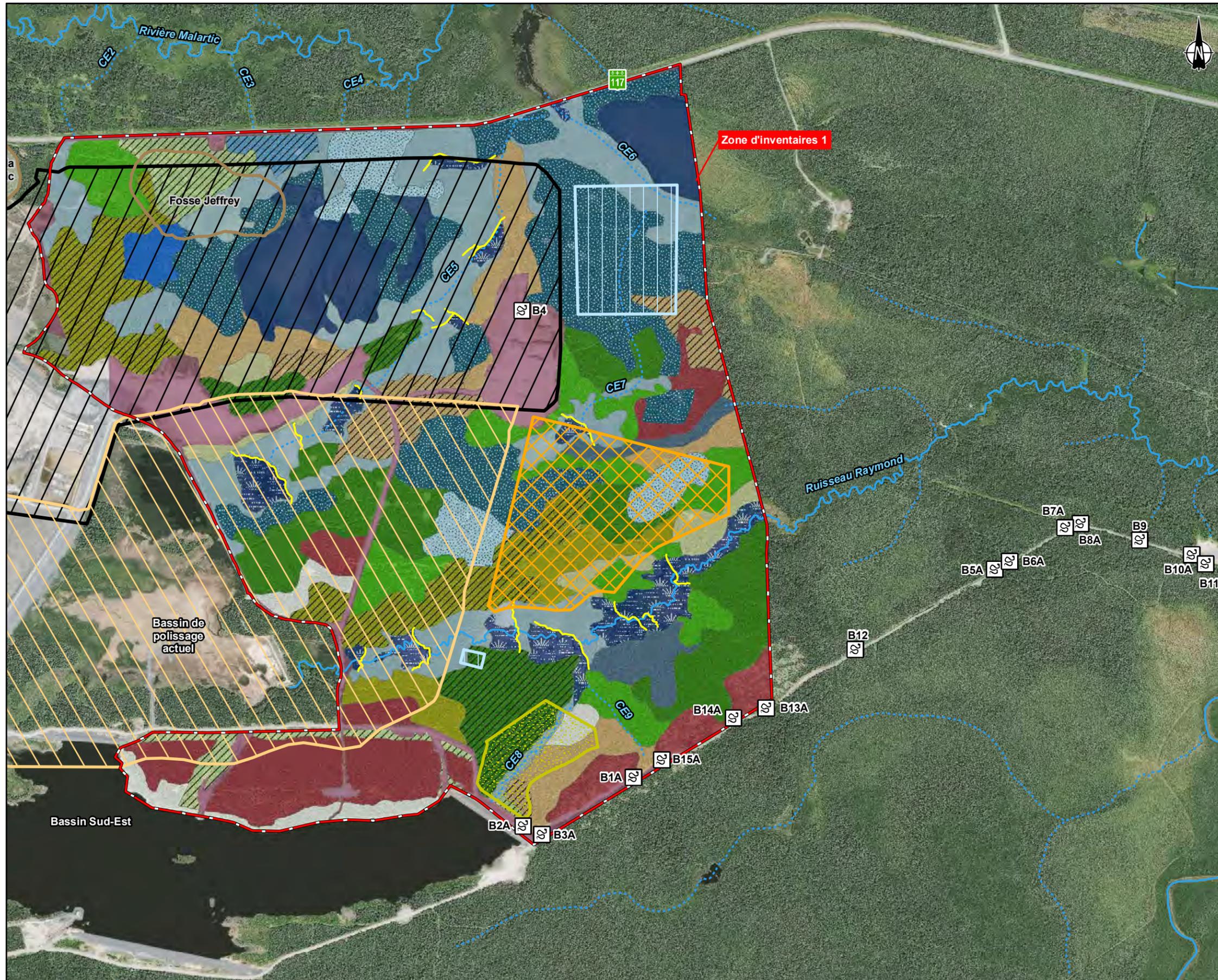
Les inventaires réalisés en 2015 ont permis le recensement d'une (1) nouvelle espèce de l'herpétofaune et de deux (2) nouvelles espèces de mammifères, portant le nombre total d'espèces de l'herpétofaune recensées à huit (8) et à quatorze (14) le nombre d'espèces de mammifères observée depuis le début des études réalisées pour les ÉIE du projet Canadian Malartic.

Les espèces observées sont généralement communes, relativement facile à observer et/ou à entendre et les signes de leur présence laissés dans le milieu naturel peuvent être relevés sans trop de problèmes. Les autres espèces potentiellement présentes sont plus discrètes et demandent plus d'effort et/ou de moyens pour être aperçues.

Les données obtenues lors de cet inventaire ne modifient pas les résultats de l'analyse des impacts et aucune mesure d'atténuation additionnelle n'est requise.

RÉFÉRENCES

- ATLAS DES AMPHIBIENS ET DES REPTILES DU QUÉBEC (AARQ). 2015. *Base de données gérée par la Société d'histoire Naturelle de la Vallée du Saint-Laurent*. Site Internet consulté en octobre 2015. <http://www.atlasamphibiensreptiles.qc.ca/>
- DESROSIER, N., R. MORIN ET J. JUTRAS. 2002. *Atlas des micromammifères du Québec*. Société de la faune et des parcs du Québec. Direction du développement de la faune. 92 pages.
- LAROCHELLE, M., N. TESSIER, S. PELLETIER et L. BOUTHILLIER. 2015. Protocole standardisé pour l'inventaire de couleuvres associées aux habitats de début de succession au Québec. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs. Secteur de la Faune. 11 pages.
- MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS. 2015. *Extraction de données de la base de données de la Direction de la gestion de la faune de l'Abitibi-Témiscamingue, Secteur de la faune et des parcs*. Données cartographiques numériques extraites le 1^{er} juin 2015 par Gaston Trepanier, Chef d'équipe, technicien de la faune et géomatique.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE. 2013. *Protocole pour les inventaires de couleuvres associées aux habitats de début de succession au Québec*. Direction de l'expertise Faune – Forêts – Mines – Territoire de l'Estrie, de Montréal, de la Montérégie et de Laval, de Lanaudière et des Laurentides. 11 pages.
- PRESCOTT, J. et P. RICHARD. 1996. *Mammifères du Québec et de l'Est du Canada*. Guide nature Quintin, Waterloo. 399 pages.



Zone d'inventaires 1

Hydrologie

- CEB Cours d'eau
- Cours d'eau intermittent
- Barrage à castor (par photo-interprétation)

Éléments miniers

- Bassin de pompage
- Fosse projetée
- Halde à mort-terrain est
- Halde à stérile
- Nouveau bassin de polissage
- Parc à résidus final (2027)

Herpétofaune

- Station d'inventaire (bardeaux d'asphalte)

Groupements végétaux humides

- Aulnaie
- Marais à quenouilles
- Mélèzaie sur tourbe
- Pessière noire humide
- Pessière noire humide sur tourbe
- Peupleraie baumier
- Résineux humide
- Tourbière ouverte

Autres groupements végétaux (nom, type)

- Milieu anthropique, anthropique
- Bétulaie blanche à peupliers, terrestre
- Feuillus intolérants, terrestre
- Milieu ouvert perturbé, terrestre
- Mixte à résineux, terrestre
- Pessière blanche, terrestre
- Pessière noire terrestre, terrestre
- Peupleraie à bouleaux blancs, terrestre
- Peupleraie à résineux, terrestre
- Pinède grise, terrestre
- Sapinière à feuillus intolérants, terrestre
- Sapinière à résineux, terrestre

MINE CANADIAN MALARTIC

ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT - Réponses aux questions du MDDELCC

Extension de la mine aurifère Canadian Malartic et déviation de la route 117 à l'entrée Est de la ville de Malartic

RQC-139, RQC-142, RQC-143 et RQC-288

Carte 1

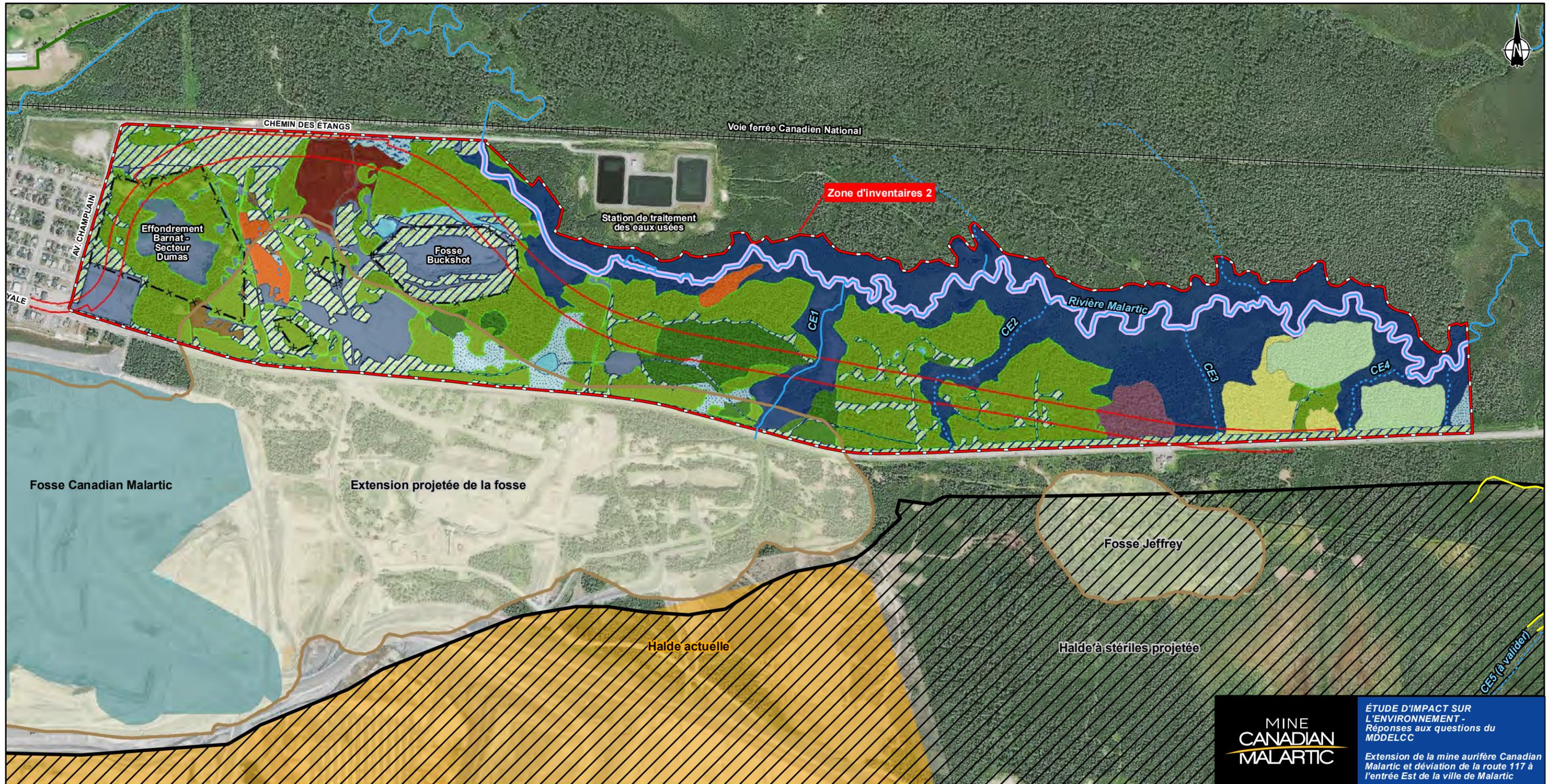
Localisation des stations d'inventaire pour l'herpétofaune (bardeaux d'asphalte) dans la zone d'inventaires 1 (site minier)

Sources :
 Orthophoto : Digital Globe, WorldView-2 (29-07-2012), 60 cm/pixel

Fichier WSP : 151_14654_01_200_EIC2_095_HerpétofauneZone1_160112.mxd

12 janvier 2016 151-14654-01

0 150 300 m
 NAD83, UTM, zone 17



+++++ Voie ferrée	Déviations de la route 117	Herpétofaune	Groupements végétaux humides	Autres groupements végétaux (nom, type)	
⌂ x - x Zone clôturée	— Emprise	▨ Zone de fouille active intensive	▨ Aulnaie	■ Mélèze, Terrestre	■ Ancienne coupe
⌂ x - x Zone d'inventaires 2	Éléments miniers	▨ Fouille active en canot pour les espèces de tortues	▨ Marais	■ Pessière blanche, Terrestre	■ Milieu ouvert / perturbé, Terrestre
Hydrologie	■ Fosse actuelle Canadian Malartic		▨ Marécage arbustif et prairie humide	■ Résineux, Terrestre	■ Peupleraie, Terrestre
— Barrage à castor (Observation sur le terrain)	■ Fosse projetée		▨ Marécage arbustif	■ Zone artificialisée ou développée, Anthropique	■ Sapinière, Terrestre
— CE1 Cours d'eau	■ Halde à stérile actuelle		▨ Peupleraie à aulne		
⋯ Cours d'eau intermittent	▨ Halde à stériles projetée		▨ Prairie humide		

MINE CANADIAN MALARTIC

ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT - Réponses aux questions du MDDELCC

Extension de la mine aurifère Canadian Malartic et déviation de la route 117 à l'entrée Est de la ville de Malartic

RQC-139, RQC-142, RQC-143 et RQC-288

Carte 2

Localisation des zones de fouilles actives pour l'herpétofaune dans la zone d'inventaires 2 (nord de la R117)

Sources : Orthophoto : Digital Globe, WorldView-2 (29-07-2012), 60 cm/pixel
Emprise du tracé : WSP 2014-01-07

Fichier WSP : 151_14654_01_200_EIC2_094_HerpétofauneZone2_160112.mxd

12 janvier 2016 151-14654-01

0 100 200 m
NAD83, UTM, zone 17



Projet : 151-14654-01-200 **Date :** 10 décembre 2015

Numéro de Mémo : 05

Préparé par : Gilles Lupien, technicien de la faune sénior

Révisé par : Eric Gingras, biologiste, M.Sc.

Approuvé par : Guy Jérémie, ingénieur

À : Christine Baribeau, B.Sc., M.Sc. - CMGP

INVENTAIRES COMPLÉMENTAIRES (2015)

MICROMAMMIFÈRES

Les campagnes de terrain réalisées en 2015 ont été utilisées afin de compléter les informations portant sur les espèces fauniques présentes dans les deux (2) zones d'inventaires, soit la zone d'inventaire 2, située au nord de la Route 117, et la zone d'inventaire 1, qui comprend le site minier Canadian Malartic. Ces informations s'avèrent nécessaires, tel que stipulé aux questions QC-139, QC-144, QC-145 et QC-288, de la 1^{ère} série de questions et commentaires de la Direction générale de l'évaluation environnementale et stratégique.

Les nouvelles informations colligées lors de cet inventaire complémentaire ont permis de dresser un portrait plus précis des communautés des espèces de micromammifères présentes dans les secteurs visés par le projet.

La réalisation d'un inventaire automnal (du 5 au 9 septembre) a été retenue puisque cette période correspond à l'abondance maximale d'individus présents dans le cycle annuel de ce groupe d'espèces et permet donc de mieux caractériser leur présence et de bien cerner les impacts potentiels liés au développement de la zone visée par le projet.

Des informations sur les espèces de micromammifères présentes et potentiellement présentes (ex. : musaraignes, souris et campagnols) dans le secteur à l'étude et sur leur utilisation des principaux habitats disponibles ont donc été colligées. Plus précisément, l'inventaire avait pour but de déterminer la composition des espèces qui utilisent le territoire et de valider la présence possible d'espèces à statut précaires ou susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables.

1 MÉTHODOLOGIE

Compte tenu des ressources disponibles et des délais de réalisation, un projet d'inventaire comprenant huit (8) transects a été proposé au MFFP et approuvé par ce dernier. Ce type d'inventaire permet un effort maximal, où chacun des engins de capture utilisés est relevé à chaque jour, pour une période de cinq (5) jours consécutifs, et où tous les pièges sont maintenus opérationnels en tout temps durant cette période.

1.1 Établissement des transects

Pour établir les transects, les différentes cartes de végétation du secteur à l'étude produites à ce jour ont été consultées. Les transects ont été localisés afin que les habitats principaux du secteur à l'étude soit couverts par l'inventaire. L'accessibilité a également contribué, de manière secondaire, au choix des sites. Le tableau 1 décrit les peuplements végétaux observés, alors que les cartes 1 et 2 (présentées à la fin du mémo technique) illustrent la localisation des transects. La topographie du secteur étant très peu accentuée et relativement uniforme, elle n'a donc pas été considérée lors de l'établissement du plan d'inventaire.

Tableau 1 Description sommaire des transects

Transect	Végétation du groupement	Végétation du transect
1	Peupleraie terrestre et sapinière terrestre	Forêt mélangée de jeunes sapins baumier, peupliers faux-tremble, épinettes noires, saules, viornes, et aster à grandes feuilles. Abondante litière au sol.
2	Sapinière terrestre, peupleraie terrestre et milieu ouvert perturbé terrestre	Peuplement assez hétéroclite, issus de perturbations naturelles et anthropiques, avec de gros sapins, peupliers faux-tremble épars, aulnes, saules et framboisiers. Abondante litière composée de gros tronc d'arbres.
3	Peupleraie terrestre, marécage arbustif et prairie humide	Jeune tremblaie (5 à 7 m de hauteur) avec fort couvert de la strate arbustive et herbacée, laquelle est constituée d'aulnes, de framboisiers et de plantes herbacées
4	Pressières noire humide	Pessière à mousse mature, avec régénération en sapin baumier. Recouvrement d'environ 95 % par les mousses, avec présence de lédon du Groenland et de cornouiller du Canada
5	Peuplement résineux par photo-interprétation	Pessière à mousse avec régénération en épinette noire et sapin baumier. Un peu d'éricacées sont présentes. Le recouvrement de mousses atteint environ 90 %.
6	Peupleraie à résineux terrestre	Peupleraie mature avec sapin baumier en sous-étage. De nombreuses espèces d'arbustes sont présentes, dont des viornes, aulnes et sorbiers. La strate herbacée est abondante et essentiellement composée de dierville chèvrefeuille et de bleuets.
7	Pessière noire terrestre et pinède grise terrestre	Forêt mélangée, composée de peupliers, sapins et de pin gris. La strate arbustive est abondante et composée de viornes et d'éricacées (ex. : bleuets, kalmias et lédon). Un peu de mousses et de lichens sont également présents.
8	Milieu anthropique et pessière noire humide	Le premier tiers du transect est constitué d'une prairie sèche avec graminées et cerisiers de Pennsylvanie, le deuxième tiers est une prairie humide à scirpes, carex, de quenouilles et de deux lisières d'aulnes. Le troisième tiers est une pessière mature à mousse.

Chacun des transects comprenait vingt (20) pièges à souris de type Victor, appâtés au beurre d'arachides, visant la capture des rongeurs, ainsi que deux pièges-fosse, visant la capture des micromammifères insectivores. Les pièges étaient distancés de 10 m les uns des autres le long des huit (8) transects linéaires. Tel que précisé, les pièges ont été en fonction durant cinq (5) jours consécutifs, soit du 5 au 9 septembre.

Trois types de pièges à souris (assommoirs) ont été utilisés :

- des pièges Victor usuels avec détentes en cuivre;
- des pièges Victor avec détentes en plastique de couleur jaune;
- des pièges Catchmaster, qui sont des « clones chinois » des pièges Victor à détentes jaunes.

Les pièges-fosses étaient constitués d'un récipient de plastique étanche mesurant environ 10 cm par 22 cm, et d'une profondeur de 22 cm. Lorsque le substrat le permettait, les pièges fosses étaient disposés au début et à la fin des transects, sinon ceux-ci étaient décalés de quelques stations. Les fosses étaient enfoncées jusqu'au niveau du sol et partiellement remplies, avec environ 10 cm d'eau, afin de noyer les individus capturés. Des débris végétaux (ex. : petites branches) étaient disposés « en étoile » autour de la fosse pour diriger les spécimens vers celle-ci.

Les pièges ont été visités quotidiennement, afin de vérifier la présence de capture et de les appâter de nouveau, lorsque nécessaire. Lors de la visite quotidienne des pièges, les renseignements suivant ont été colligés pour chaque engin de capture :

- les captures par type de piège;
- les pièges déclenchés sans capture;
- les pièges non déclenchés mais dont l'appât avait disparu;
- les captures accidentelles;
- les pièges non retrouvés.

Les pièges disparus ont été remplacés sur le champ. Chacune des captures a été conservée dans un sac hermétique individuel, sur lequel la date de capture, le numéro de transect et le numéro de piège étaient inscrits. Les captures ont été conservées sur glace, dans une glacière, puis elles ont été placées au congélateur pour une identification ultérieure en laboratoire.

1.2 Effort de piégeage

Cent soixante (160) pièges à souris de types Victor ont été mis en opération durant cinq (5) jours consécutifs, pour un total de 800 jours-piège.

Seize (16) pièges-fosses ont été utilisés durant la même période, pour un total de 80 jours-piège.

1.3 Conditions météorologiques

L'activité des micromammifères est variable, et comme pour de nombreuses espèces fauniques, elle dépend des conditions climatiques (Kirkland *et al.*, 1998). Selon les résultats obtenus par les travaux de ces auteurs, les taux de captures de micromammifères, et plus particulièrement pour les musaraignes, sont en effet plus élevés lorsqu'une pluie survient pendant les premières heures suivant le coucher du soleil. C'est ce moment de la journée qui correspond à la période de grande activité de ces espèces.

Les conditions météorologiques observées ont été idéales pour la réalisation de l'inventaire. Les températures journalières ont été supérieures à la normale saisonnière, alors que les températures nocturnes ont été plus variables. Les trois premiers jours ont été sans précipitation, alors que les trois derniers en ont reçu en quantité variable. Le tableau 2 présente les conditions météorologiques observées durant la période d'inventaire.

Tableau 2 Conditions climatiques observées lors de l'inventaire

Date	Température minimale (°C)	Température maximale (°C)	Précipitations (mm)
5 septembre 2015	7,9	27,3	0
6 septembre 2015	18,3	26,5	0
7 septembre 2015	21,4	23,6	2,5
8 septembre 2015	13,3	23,4	7
9 septembre 2015	13,3	23,4	7,6

1.4 Identification des spécimens récoltés

L'identification de tous les micromammifères a été réalisée en laboratoire. Les spécimens ont été identifiés à l'aide d'un binoculaire à grossissement variable. Les caractères physiques, crâniens et dentaires des spécimens ont servi de critères d'identification discriminants, tel que reconnus par la littérature scientifique actuelle, dont Maisonneuve et coll. (1997), Lupien (2001), Lupien (2002) et Fauteux D., G. Lupien et coll. (2014). L'Atlas des micromammifères du Québec (Desrosiers et coll., 2002) a également été utilisé pour valider les aires de distribution connues des espèces capturées.

1.5 Disposition des spécimens

Les spécimens ont été congelés aussitôt capturés. Ils ont été transportés dans une glacière et mis au congélateur à la fin de chacune des journées. Ceux-ci ont été dégelés seulement le temps nécessaire aux identifications. Comme leur état de conservation était très satisfaisant, ceux-ci ont été remis au Centre d'interprétation et de réhabilitation des oiseaux de proie de Saint-Fulgence (CIBRO), afin de nourrir les oiseaux de proie en convalescence ou alors aux résidents du Centre. Les spécimens recueillis ont donc permis au Centre d'économiser un peu d'argent et de fournir une nourriture adaptée et naturelle pour leurs oiseaux.

2 RÉSULTATS

2.1 Effort de piégeage

Les pièges de types Victor ont été installés pour réaliser un effort total de 800 nuits-pièges. En cours de réalisation, certains facteurs extérieurs ont fait en sorte que l'effort visé n'a pu être respecté dans son intégralité. Lors des visites, quatorze (14) pièges ont disparus et trois (3) ont été retrouvés brisés. À ces nombres, cent cinquante (150) pièges ont été déclenchés sans produire de captures. Ces déclenchements accidentels sont souvent attribuables à des animaux plus gros que les micromammifères, tels les écureuils et les tamias, qui sont attirés par l'appât (beurre d'arachides) et qui ne sont pas capturés par le type de piège utilisé. De plus, 132 pièges ont été retrouvés encore actifs mais sans appât, ce qui est supérieur à ce qui est normalement observé. Les limaces, qui semblent particulièrement abondantes dans le secteur à l'étude, sont les grandes responsables de la disparition de l'appât, car elles sont attirées par le beurre d'arachide. Il n'était pas rare d'en retrouver quatre (4) ou cinq (5) sur le piège.

Les pièges-fosses ont été fonctionnels pour les 80 nuits-pièges visées.

2.2 Résultats généraux

Le tableau 3 présente la nomenclature des espèces fauniques mentionnées dans le texte et dans le tableau retrouvé en annexe, lequel regroupe l'ensemble des données brutes de l'inventaire.

Tableau 3 Nomenclature des espèces de micromammifères citées

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Code de l'espèce
Campagnol à dos roux de Gapper	<i>Myodes gapperi</i>	GLGA
Campagnol des champs	<i>Microtus pennsylvanicus</i>	MIPE
Campagnol des rochers	<i>Microtus crotorrhinus</i>	MICH
Campagnol sp.	<i>Microtus sp</i>	MISP
Campagnol-lemming de Cooper	<i>Synaptomys cooperi</i>	SYCO
Condylure à nez étoilé	<i>Condylura cristata</i>	COCR
Grande musaraigne	<i>Blarina brevicauda</i>	BLBR
Musaraigne arctique	<i>Sorex arcticus</i>	SOAR
Musaraigne cendrée	<i>Sorex cinereus</i>	SOCI
Musaraigne fuligineuse	<i>Sorex fumeus</i>	SOFU
Musaraigne palustre	<i>Sorex palustris</i>	SOPA
Musaraigne pygmée	<i>Sorex hoyi</i>	MIHO
Phénacomys	<i>Phenacomys ungava</i>	PHIN
Souris à pattes blanches	<i>Peromyscus leucopus</i>	PELE
Souris sauteuse des bois	<i>Napaeozapus insignis</i>	NAIN
Souris sauteuse des champs	<i>Zapus hudsonius</i>	ZAHU
Souris sp.	<i>Peromyscus sp</i>	PEXX
Souris sylvestre	<i>Peromyscus maniculatus</i>	PEMS

Cent quarante-six (146) micromammifères ont été capturés au cours des cinq (5) jours d'inventaire. De ce nombre, 124 spécimens ont été capturés à l'aide des pièges de type Victor, pour un taux de capture de 0,15 capture par nuit-piège, et vingt-deux (22) ont été retrouvés dans les pièges-fosse, pour un taux de capture de 0,27 capture par nuit-piège. Le tableau 4 présente le bilan global des inventaires selon les différents transects.

Les transects les plus productifs ont été les transects 2, 3 et 4, qui ont permis la capture de quatre-vingt-sept (87) spécimens, représentant près de 60 % des captures totales. À l'inverse, les transects 5 et 7 qui ont été les moins productifs, ont permis la capture de seulement 14 spécimens, soit 5 et 9 spécimens respectivement.

Neuf (9) espèces différentes de micromammifères ont été capturées, soit trois (3) espèces de musaraignes, trois (3) espèces de souris et trois (3) espèces de campagnols. Les campagnols dominent avec 83 spécimens capturés (57%), suivi des souris avec 48 spécimens capturés (33%) et finalement 15 musaraignes complètent l'ensemble des captures (10%).

2.3 Les musaraignes

Les musaraignes ont un régime alimentaire composé essentiellement d'insectes et d'autres petits animaux. Elles sont moins enclines à être capturées à l'aide de pièges de types Victor appâtés avec du beurre d'arachides. Sur les quinze (15) musaraignes capturées, huit (8) l'ont été dans les pièges-fosses, malgré un effort de capture dix fois moindre. La plupart des musaraignes consomment, entre autres des limaces, ce qui a pu les attirer sur les pièges de type Victor et provoquer leur capture.

Les trois espèces de musaraignes capturées sont des espèces considérées comme communes à l'échelle québécoise. Le territoire à l'étude se retrouve dans leurs aires de distribution connues. La musaraigne fuligineuse était autrefois considérée comme assez rare, mais cela était dû à de mauvaises identifications. À l'heure actuelle, en fonction de meilleures identifications, cette espèce est assez commune dans la partie sud du Québec.

2.4 Les souris

La souris sylvestre et la souris à pattes blanches (*Peromyscus leucopus*) sont deux espèces très apparentées, il est impossible de les distinguer par des caractères physiques et un test d'ADN est nécessaire pour les différencier. Cependant, selon la distribution connue et en fonction des informations fournies par le MFFP (Jean Lapointe, comm. pers.), il semblerait acceptable de conclure que seule la souris sylvestre soit présente dans le territoire à l'étude. Celle-ci est abondante dans le territoire. Quarante (40) spécimens ont été récoltés dans six (6) des huit (8) transects. Son effectif représente 83 % des souris capturées et plus de 27 % de l'échantillon total de micromammifères recueilli.

Les trois (3) espèces de souris capturées se retrouvent à l'intérieur des aires de distribution connues de ces espèces.

Tableau 4 Captures effectuées entre le 4 et le 9 septembre 2015

Espèce	Transect								Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Campagnol à dos roux de Gapper	6	12	7	18	8	11	2	1	64
Campagnol des champs	2	2	10	0	1	1	1	1	18
Campagnol-lemming de Cooper	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Grande musaraigne	2	0	1	1	0	0	0	0	4
Musaraigne cendrée	0	1	2	0	0	0	0	1	4
Musaraigne fuligineuse	0	2	3	2	0	0	0	0	7
Souris sauteuse des bois	1	3	0	0	0	0	0	0	4
Souris sauteuse des champs	1	2	0	0	0	0	0	1	4
Souris sylvestre	3	14	6	0	0	3	2	12	40
Total	15	36	29	22	9	15	5	15	146

Note : La trame grise a été utilisée pour présenter les espèces à statut particulier (provincial et/ou fédéral)

2.5 Les campagnols

Parmi les 83 campagnols capturés, le campagnol à dos roux de Gapper est de loin l'espèce dominante, avec 64 spécimens capturés, soit 77 % des captures totales. C'est la seule espèce de micromammifère qui a été capturée dans tous les transects.

Le campagnol des champs a été retrouvé dans sept (7) des huit (8) transects, il a représenté la capture dominante du transect 3, avec 10 des 18 spécimens capturés au total. Sa présence marquée au transect 3 s'explique par la présence d'habitats plus ouverts, colonisés par une abondante flore composée de plantes herbacées.

Un seul campagnol-lemming de Cooper a été capturé lors de l'inventaire. Ce campagnol est une espèce susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable. La capture a été réalisée dans le transect 4.

Les trois espèces de campagnols retrouvées sont à l'intérieure des aires de répartition connues de chacune de ces espèces.

2.6 Captures accidentelles

Trois (3) captures accidentelles sont survenues au cours de l'inventaire. Un bruant à gorge blanche (*Zonotrichia albicollis*) et un écureuil roux (*Tamiasciurus hudsonicus*) ont été capturés mortellement dans des pièges de type Victor. Une grenouille des bois (*Rana sylvatica*) a été capturée dans un piège-fosse et a été relâchée vivante sur le lieu de capture.

3 DISCUSSION

Les deux buts principaux de cet inventaire de micromammifères étaient de déterminer la composition des espèces qui utilisent le territoire et de statuer sur la présence possible d'espèces à statut précaire.

3.1 Composition des espèces

Selon les cartes de distribution générale des espèces de l'Atlas des micromammifères du Québec, quinze (15) espèces de micromammifères pourraient théoriquement se retrouver dans la zone d'étude. L'inventaire réalisé a permis la capture de neuf (9) espèces. Huit (8) de ces neuf (9) espèces sont considérées comme commune au Québec et dans l'aire d'étude. Seul le campagnol-lemming de Cooper peut être considéré comme rare et préoccupant au Québec.

Les six (6) espèces possiblement présentes dans l'aire d'étude, mais non capturées lors de l'inventaire, sont les suivantes : le campagnol des rochers, le condylure à nez étoilé, la musaraigne arctique, la musaraigne palustre, la musaraigne pygmée et le phénacomys.

Le condylure à nez étoilé est la seule espèce de talpidés présente en Abitibi. Cette espèce vit sous terre dans des terriers et est très peu susceptible d'être capturée par les méthodes de capture standards. Une attention particulière a néanmoins été portée pour localiser les monticules de terre caractéristiques des terriers et galeries creusés par cette espèce. Il ne serait pas impossible que l'on en retrouve le long des cours d'eau présents où le sol meuble peut convenir à cette espèce.

La musaraigne palustre n'est jamais abondante et elle ne s'éloigne pas beaucoup des rives des cours d'eau et des lacs. Pour avoir des chances de déterminer sa présence dans la zone d'étude, il faudrait réaliser des inventaires spécifiques à cette espèce, avec un effort de piégeage suffisant, tout en orientant les recherches vers les berges des plans d'eau et des cours d'eau.

Selon l'Atlas, la musaraigne arctique n'a jamais été capturée près du secteur à l'étude (Desrosiers et coll., 2002). Ce secteur est situé à la limite sud de l'aire de répartition théorique de cette espèce. Il serait donc légitime de croire qu'elle est probablement absente du territoire.

La musaraigne pygmée est présente sur la quasi-totalité du Québec, mais n'est jamais abondante en un endroit précis. Elle a déjà été classée comme une espèce susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable, mais les dernières études réalisées ont démontré qu'elle ne serait pas en précarité.

Le phénacomys fréquente surtout les milieux assez ouverts constitués de buissons, les prés humides, les clairières de broussailles et d'éricacées et les sous-bois herbeux des forêts de conifères clairsemés (Desrosiers et coll., 2002). Les habitats retrouvés dans les transects établis ne correspondent pas vraiment aux types d'habitats fréquentés par cette espèce, ce qui pourrait expliquer son absence dans les captures.

Le campagnol des rochers n'a pas été capturé lors de l'inventaire. Ce campagnol est également une espèce susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable.

3.2 Espèces susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables

Aucune espèce de micromammifère ne possède de statut selon la *Loi sur les espèces menacées ou vulnérable* du Québec et la *Loi sur les espèces en péril* du Canada. Cependant, deux espèces de micromammifères, dont l'aire de répartition provinciale englobe la zone d'étude, apparaissent à la liste des espèces susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérable au Québec, soit le campagnol des rochers et le campagnol-lemming de Cooper.

3.2.1 Le campagnol des rochers

Le campagnol des rochers n'a pas été capturé au cours du présent inventaire. Ce constat n'est pas surprenant puisque les habitats retrouvés dans la zone d'étude ne semblent pas propices à l'établissement de cette espèce.

Selon l'Atlas des micromammifères du Québec (Desrosiers et coll., 2002), cette espèce se retrouverait entre 450 et 1 600 m d'altitude dans le sud de son aire de répartition, alors que le site à l'étude se trouve à environ 322 m d'altitude.

De plus, des travaux réalisés dans la région du Saguenay Lac Saint-Jean suggèrent que cette espèce prospère normalement dans des paysages à la topographie assez accentuée où se retrouvent de vieux éboulis rocheux recouverts de mousses et de végétation arbustive et arborescente abondante et où l'on note la présence d'eau ou un taux d'humidité assez élevé (Jutras, J., G. Lupien, MRNF, données non publiées). On ne retrouve pas ce type d'habitat dans la zone d'étude. La topographie générale de la zone n'est pas du tout accentuée et aucun éboulis rocheux n'a été observé.

3.2.2 Le campagnol-lemming de Cooper

Un seul campagnol-lemming de Cooper a été capturé au cours de l'inventaire. Ce spécimen a été récolté dans le transect 4 où l'habitat correspond à une pessière mature à mousse humide.

Selon l'Atlas (Desrosiers et coll., 2002) ce campagnol fréquente les milieux humides où le couvert végétal est très dense. Il démontre une préférence pour les endroits où le sol est couvert d'une épaisse couche d'humus. Il est retrouvé dans les tourbières, où la sphaigne et les éricacées prédominent, dans les marais herbeux ainsi que dans les forêts mixtes humides, qui entourent ces types d'habitats. Il est également présent dans les champs, les prairies, les clairières créées par les coupes forestières et parmi les rochers, où il y a abondance de mousse.

Lorsque l'ensemble de la zone d'étude est analysé, il n'y a pas beaucoup d'habitats qui correspondent à l'habitat préférentiel de cette espèce, et le type d'habitat couvert par les transects d'inventaire ne couvre pas très bien ces derniers. Comme l'espèce est présente sur le territoire, il est possible de présumer que celle-ci pourrait être présente dans les petites tourbières à mousse retrouvées dans la zone d'étude, de même que dans les marais herbeux retrouvés à proximité de celles-ci. Dans ces endroits, ce campagnol pourrait être plus abondant que ce que les résultats de l'inventaire suggèrent.

4 CONCLUSION

Les buts poursuivis par cet inventaire de micromammifères étaient de déterminer la composition des espèces qui utilisent le territoire à l'étude et de valider la présence possible d'espèces à statut précaire ou susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables. L'inventaire réalisé a permis la capture de neuf (9) espèces. Huit (8) de ces neuf (9) espèces sont considérées comme commune au Québec et dans l'aire d'étude. Seul le campagnol-lemming de Cooper peut être considéré comme rare et préoccupant au Québec.

Deux espèces de micromammifères, dont l'aire de répartition provinciale englobe la zone d'étude, apparaissent à la liste des espèces susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérable au Québec, soit le campagnol des rochers et le campagnol-lemming de Cooper.

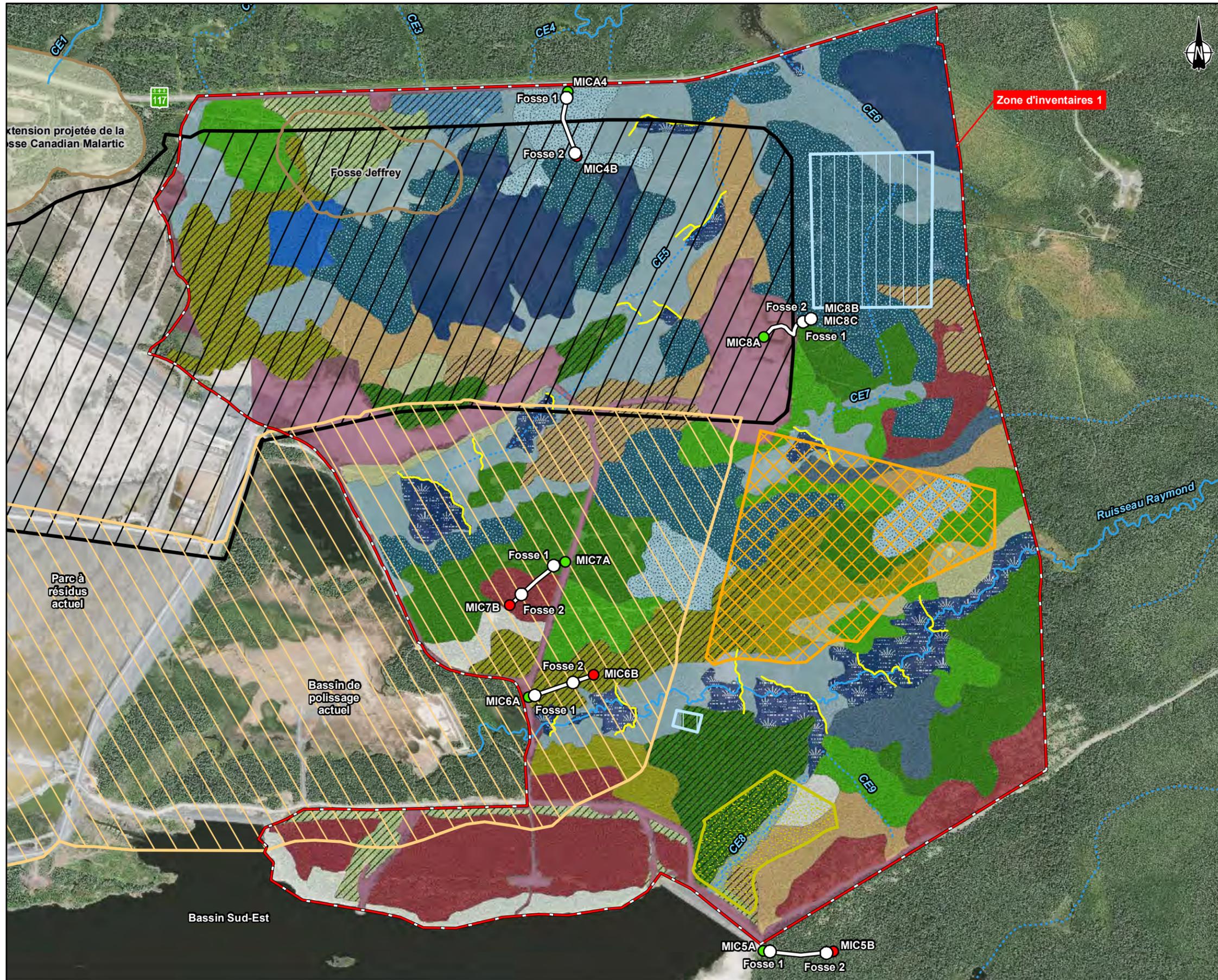
Dans le cas du Campagnol des rochers, son habitat correspond à des paysages à la topographie assez accentuée où se retrouvent de vieux éboulis rocheux recouverts de mousses et de végétation arbustive et arborescente abondante et où l'on note la présence d'eau ou un taux d'humidité assez élevé; ce type d'habitat n'est pas présent dans les zones d'inventaires.

Un seul campagnol-lemming de Cooper a été capturé au cours de l'inventaire. Ce spécimen a été récolté dans le transect 4 où l'habitat correspond à une pessière mature à mousse humide. Lorsque l'ensemble de la zone d'étude est analysé, il n'y a pas beaucoup d'habitats qui correspondent à l'habitat préférentiel de cette espèce.

Les données obtenues lors de cet inventaire ne modifient pas les résultats de l'analyse des impacts et aucune mesure d'atténuation additionnelle n'est requise.

RÉFÉRENCES

- DESROSIERS, N, R MORIN ET J. JUTRAS. 2002. *Atlas des micromammifères du Québec*. Société de la faune et des parcs du Québec. Direction du développement de la faune, Québec, 92 pages.
- FAUTEUX, D., G. LUPIEN *et al.* 2014. *An illustrated key to the mandibles of small mammals of eastern Canada*. Canadian field naturalists, 42 pages.
- JUTRAS, J. 2005. *Protocole pour les inventaires de micromammifères*. Ministère des Ressources naturelles et Faune, Direction du développement de la Faune, 10 pages.
- KIRKLAND, G. L. Jr., P. K. SHEPPARD, M. J. SHAUGHNESSY Jr, and B. A. WOLESLAGLE. 1998. *Factors influencing perceived community structure in nearctic forest small mammals*. Acta Theriologica 43 (2) : 121-135.
- LUPIEN, G. 2001. *Recueil photographique des caractéristiques morphologiques servant à l'identification des micromammifères du Québec*. Société de la faune et des parcs du Québec. 23 pages.
- LUPIEN, G. 2002. *Recueil photographique des caractéristiques morphologiques servant à l'identification des micromammifères du Québec*. Société de la faune et des parcs du Québec. 26 pages.
- MAISONNEUVE, C., R. McNICOLL, S. ST-ONGE et A. DESROSIERS. 1997. *Clé d'identification des micromammifères du Québec*. Ministère de l'Environnement et de la Faune. 19 pages.
- MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MFFP). 2015. *Liste des espèces désignées menacées ou vulnérables au Québec*. Site Internet consulté en octobre 2015: <http://www3.mffp.gouv.qc.ca/faune/especes/menacees/liste.asp>



Zone d'inventaires 1

Hydrologie

- CE8 Cours d'eau
- Cours d'eau intermittent
- Barrage à castor (par photo-interprétation)

Éléments miniers

- Bassin de pompage
- Fosse projetée
- Halde à mort-terrain est
- Halde à stérile
- Nouveau bassin de polissage
- Parc à résidus final (2027)

Microfaune

- Début du transect
- Fin du transect
- Transect
- Piège fosse

Groupements végétaux humides

- Aulnaie
- Marais à quenouilles
- Mélèzaie sur tourbe
- Pessière noire humide
- Pessière noire humide sur tourbe
- Peupleraie baumier
- Résineux humide
- Tourbière ouverte

Autres groupements végétaux (nom, type)

- Milieu anthropique, anthropique
- Bétulaie blanche à peupliers, terrestre
- Feuillus intolérants, terrestre
- Milieu ouvert perturbé, terrestre
- Mixte à résineux, terrestre
- Pessière blanche, terrestre
- Pessière noire terrestre, terrestre
- Peupleraie à bouleaux blancs, terrestre
- Peupleraie à résineux, terrestre
- Pinède grise, terrestre
- Sapinière à feuillus intolérants, terrestre
- Sapinière à résineux, terrestre

MINE CANADIAN MALARTIC

ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT - Réponses aux questions du MDDELCC

Extension de la mine aurifère Canadian Malartic et déviation de la route 117 à l'entrée Est de la ville de Malartic

RQC-139, RQC-144, RQC-145 et RQC-288

Carte 1

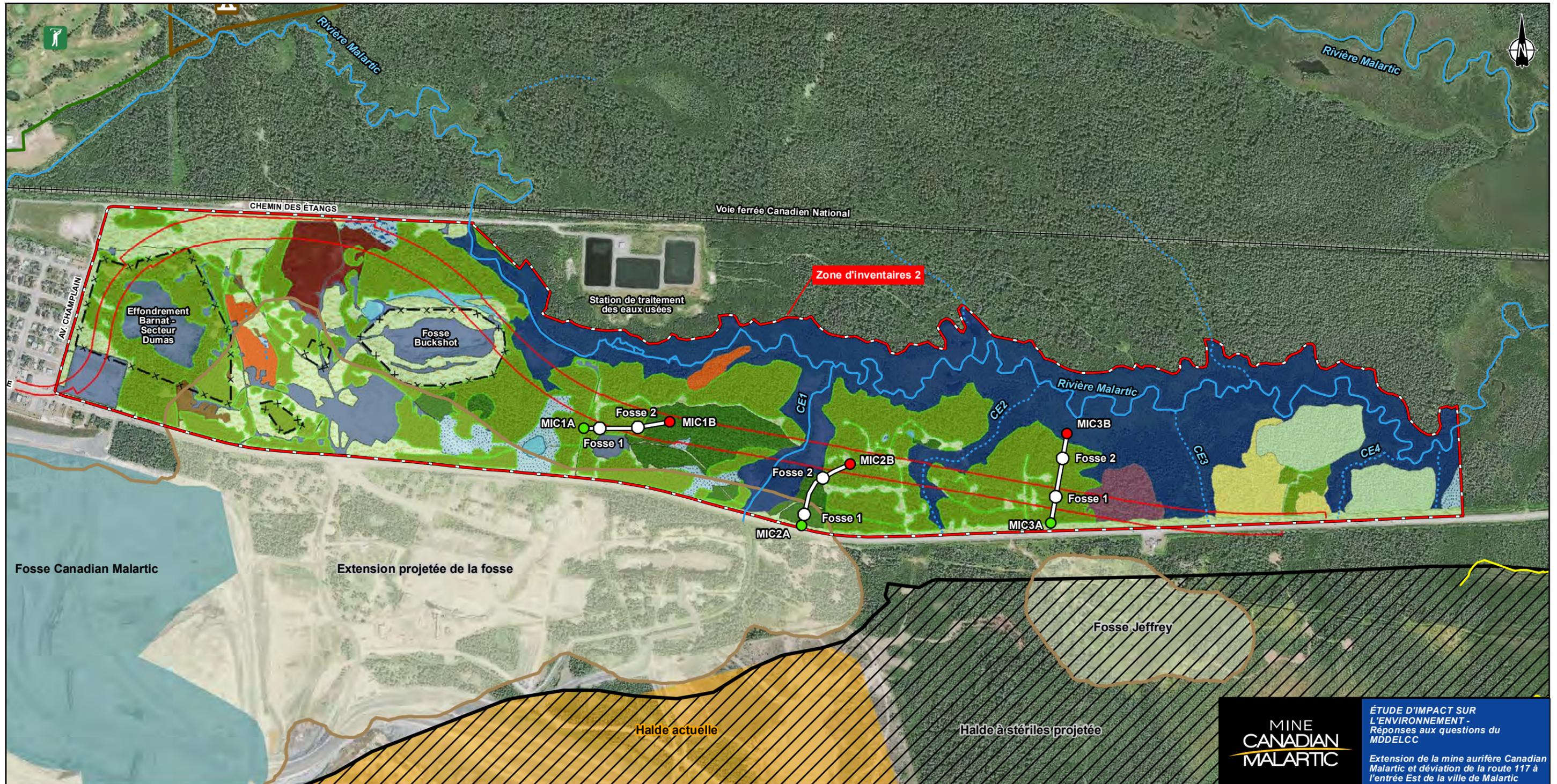
Transects utilisés pour l'inventaire des micromammifères de la zone d'inventaires 1 (site minier Canadian Malartic)

Sources :
 Orthophoto : Digital Globe, WorldView-2 (29-07-2012), 60 cm/pixel
 Fichier WSP : 151_14654_01_200_EIC2_091_TransectsZone1_160112.mxd

0 125 250 m
 NAD83, UTM, zone 17

WSP

12 janvier 2016 151-14654-01



<ul style="list-style-type: none"> +++++ Voie ferrée ⌈ x x x ⌋ Zone clôturée ⊠ Zone d'inventaires 2 Hydrologie — Barrage à castor (Observation sur le terrain) CE1 Cours d'eau ⋯ Cours d'eau intermittent 	<ul style="list-style-type: none"> — Déviation de la route 117 — Emprise Éléments miniers Fosse actuelle Canadian Malartic Fosse projetée Halde à stérile actuelle Halde à stériles projetée 	<ul style="list-style-type: none"> Microfaune ● Début du transect ● Fin du transect — Transect ○ Piège fosse 	<ul style="list-style-type: none"> Groupements végétaux humides Aulnaie Marais Marécage arbustif et prairie humide Marécage arbustif Peupleraie à aulne Prairie humide 	<ul style="list-style-type: none"> Autres groupements végétaux (nom, type) Mélèze, Terrestre Pessière blanche, Terrestre Résineux, Terrestre Zone artificialisée ou développée, Anthropique 	<ul style="list-style-type: none"> Ancienne coupe Milieu ouvert / perturbé, Terrestre Peupleraie, Terrestre Sapinière, Terrestre
---	--	--	--	---	--

MINE CANADIAN MALARTIC

ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT - Réponses aux questions du MDELCC

Extension de la mine aurifère Canadian Malartic et déviation de la route 117 à l'entrée Est de la ville de Malartic

RQC-139, RQC-144, RQC-145 et RQC-288

Carte 2

Transects utilisés pour l'inventaire des micromammifères de la zone d'inventaires 2 (nord de la R117)

Sources : Orthophoto : Digital Globe, WorldView-2 (29-07-2012), 60 cm/pixel
Emprise du tracé : WSP 2014-01-07

Fichier WSP : 151_14654_01_200_EIC2_090_TransectsZone2_160112.mxd

12 janvier 2016 151-14654-01

0 60 120 m
NAD83, UTM, zone 17

WSP





ADDENDA

Engagements liés aux impacts potentiels de l'exploitation de la mine Canadian Malartic sur les puits domestiques dans un rayon de 7 km

Décembre 2015



OBJET DE L'ADDENDA

Cet addenda présente un complément d'informations du Document " Engagements liés aux impacts potentiels de l'exploitation de la mine Canadian Malartic sur les puits domestiques dans un rayon de 7 km " version Juin 2015.

L'investigation, qui sera effectuée par Hydrologie Richelieu, fera l'état de référence en ce qui concerne les nappes d'eau interceptées par tous les puits inventoriés dans un rayon de 7 km de la fosse Canadian Malartic : niveau et qualité de l'eau (teneur de fond locale et signatures hydrochimiques).

Cette investigation inclura le relevé et l'échantillonnage de près d'une centaine de puits privés. En plus de faire un prélèvement d'eau pour plusieurs paramètres physico-chimiques et bactériologiques, les caractéristiques principales des installations seront documentées (type de puits, pompe, et arpentage si jugé requis). Les paramètres visés sont les suivants: pH, température, conductivité électrique de l'eau, arsenic, calcium, cuivre, dureté, fer, magnésium, manganèse, nickel, plomb, potassium, sodium, sulfures, zinc, alcalinité, bicarbonates, cyanures libres, sulfates, sulfures, azote ammoniacal, coliformes totaux et fécaux, et bactéries entérocoques.

Deux campagnes d'échantillonnage sont prévues auprès des citoyens, la première en décembre 2015 et la deuxième au printemps 2016. CMGP prévoit la préparation de rapports individuels pour les citoyens, et d'un rapport global visant à évaluer l'impact du rabattement potentiel par la fosse sur les puits domestiques.





23 octobre 2015

MINE CANADIAN MALARTIC

Plan de restauration - Mise à jour 2015

Présenté à:

Mme Sandra Pouliot
100, chemin du Lac Mourier
Malartic, Québec, J0Y 1Z0

RAPPORT



Numéro de projet: QC259-1527286-Rev0

Distribution:

1 e-exemplaire : Canadian Malartic GP, Malartic,
Québec

1 exemplaire : Golder Associés Ltée, Montréal,
Québec

CONFIDENTIEL





Table des matières

1.0	RÉSUMÉ DU PLAN DE RESTAURATION	1
2.0	INFORMATIONS GÉNÉRALES	2
2.1	Identification du requérant et des personnes ressources	2
2.2	Localisation du site	2
2.3	Utilisation antérieure	2
2.3.1	Anciens parcs à résidus	3
2.3.2	Autres usages	4
2.4	Type d'activité minière et répercussions économiques	4
3.0	MILIEU AMBIANT	5
3.1	Milieu physique	5
3.1.1	Topographie, géomorphologie et sols	5
3.1.2	Régime hydrologique	6
3.1.3	Climat	6
3.1.4	Évaporation	8
3.1.5	Vents	8
4.0	DESCRIPTION GÉNÉRALE DES ACTIVITÉS MINIÈRES	13
4.1	Description des activités actuelles et futures	13
4.2	Géologie et minéralogie	13
4.2.1	Sommaire des résultats des études de caractérisation géochimique réalisées à ce jour	14
4.2.1.1	Études antérieures	14
4.2.1.2	Potentiel acidogène des stériles	15
4.2.1.3	Composition chimique et potentiel de lixiviation des stériles	15
4.2.1.4	Potentiel acidogène du minerai	16
4.2.1.5	Composition chimique et potentiel de lixiviation du minerai	16
4.2.2	Potentiel acidogène des résidus	16
4.2.2.1	Composition chimique et potentiel de lixiviation des résidus	16
4.2.2.2	Qualité de l'eau de procédé	17
4.3	Méthode d'exploitation	17



4.4	Traitement du minerai.....	18
4.5	Haldes à minerai et à mort-terrain	19
4.6	Parc à résidus et halde à stériles.....	19
4.7	Autres secteurs.....	20
4.7.1	Effluents miniers.....	20
4.7.2	Bancs d'emprunts	20
4.8	Gestion des eaux sur le site	21
4.9	Bâtiments et infrastructures	22
4.9.1	Secteur du bureau d'exploration Canadian Malartic	22
4.9.2	Secteur de l'usine et des concasseurs.....	23
4.9.3	Autres secteurs	26
4.9.4	Infrastructures électriques, de transport et de soutien	26
4.10	Produits chimiques	28
4.11	Produits pétroliers.....	29
4.12	Gestion des matières résiduelles et des matières résiduelles dangereuses.....	29
5.0	PROGRAMME DE RESTAURATION DES LIEUX.....	30
5.1	Objectifs du plan de restauration	30
5.2	Travaux de recherche et de développement	30
5.3	Sécurité des lieux	31
5.4	Bâtiments, infrastructures et équipements.....	31
5.5	Équipement et machinerie lourde	32
5.6	Infrastructures de gestion des eaux.....	32
5.7	Fosses	33
5.7.1	Canadian Malartic	33
5.7.2	Gouldie.....	34
5.7.3	Jeffrey	34
5.8	Parc à résidus miniers et halde à stériles	34
5.8.1	Parc à résidus	36
5.8.2	Halde à stériles	37
5.8.3	Contingences	37



5.9	Haldes à minerai et halde mixte.....	38
5.10	Halde à mort-terrain.....	38
5.11	Bassin d'urgence.....	38
5.12	Gestion des sols contaminés.....	38
5.13	Produits pétroliers, produits chimiques, matières résiduelles, matières résiduelles dangereuses, sols et matériaux contaminés.....	38
5.14	Restauration progressive.....	39
6.0	MESURES EN CAS D'ARRÊT TEMPORAIRE DES ACTIVITÉS	40
7.0	PLAN D'URGENCE.....	40
8.0	PROGRAMME DE SURVEILLANCE	41
8.1	Intégrité des ouvrages.....	41
8.2	Suivi environnemental.....	42
8.3	Suivi agronomique.....	42
9.0	CONSIDÉRATIONS ÉCONOMIQUES ET TEMPORELLES	43
10.0	RÉFÉRENCES.....	47



TABLEAUX

Tableau 1: Aires d'accumulation des anciens parcs à résidus 3

Tableau 2: Moyennes mensuelles multiannuelles de la température moyenne journalière (station de Val-d'Or, 1951-2012). 7

Tableau 3: Moyennes multiannuelles des précipitations mensuelles 7
(station de Val-d'Or, 1951-2012). 7

Tableau 4: Moyennes multiannuelles de l'évaporation sur lacs peu profonds – méthode de calcul Morton 8

Tableau 5: Bâtiments et infrastructures du secteur du bureau d'exploration Canadian Malartic 22

Tableau 6: Bâtiments et infrastructures du secteur de l'usine et des concasseurs 23

Tableau 7: Bâtiments et infrastructures des autres secteurs 26

Tableau 9: Produits pétroliers 29

Tableau 10: Estimation des coûts de restauration pour les items inclus dans la garantie financière 43

FIGURE (DANS LE TEXTE)

Figure 3: Rose des vents pour la station de Val-d'Or 9

FIGURES (APRÈS LE TEXTE)

Figure 1 : Plan de localisation de la mine Canadian Malartic

Figure 2 : Utilisation antérieure

Figure 4 : Plan général de la mine en 2015

Figure 5 : Section type de la géométrie des rehaussements du parc à résidus

Figure 6 : Vue en plan schématique (2028)

Figure 7 : Diagramme des flux en condition ultime

Figure 8 : Structures de gestion des eaux de bassins versants – Schéma de la gestion de l'eau sur le site

Figure 9 : Plan des bâtiments et des infrastructures sur le site de la mine

Figure 10 : Vue schématique du site après restauration

Figure 11 : Coupe schématique de la fosse ennoyée

Figure 12 : Coupe schématique – Parc à résidus restauré

Figure 13 : Coupe schématique – Halde à stériles restaurée



ANNEXES

ANNEXE A

Résolution du conseil d'administration

ANNEXE B

Figure montrant le bail minier, les claims et la concession minière

ANNEXE C

Liste des permis

ANNEXE D

Arrangement général de l'usine et schémas du procédé

ANNEXE E

Normes de gestion des matières résiduelles et des matières résiduelles dangereuses

ANNEXE F

Articles de M. Larchevêque et al. 2012 et 2013

ANNEXE G

Détail des coûts de démantèlement



1.0 RÉSUMÉ DU PLAN DE RESTAURATION

La mine Canadian Malartic (la Mine) est située à Malartic, à environ 20 km à l'ouest de Val-d'Or, dans la municipalité régionale de comté (MRC) de La Vallée-de-l'Or. La production commerciale de la Mine a débuté en mai 2011. Le gisement est exploité par le mode d'exploitation à ciel ouvert et la production annuelle est d'environ 20 millions de tonnes de minerai.

Ce plan de restauration présente les activités actuellement en cours, le projet d'extension de la Mine, les travaux de restauration proposés, le suivi anticipé ainsi qu'une estimation des coûts de restauration. Il est aussi question de l'état des travaux de restauration effectués de façon progressive au cours des dernières années. Le plan de restauration a été préparé en tenant compte des plans de restauration antérieurs (Golder, 2009a, 2014g et 2014h) et des lettres de réponses aux questions du Ministère (Golder, 2009c et 2011a).

Avec l'ajout du projet d'extension à l'opération, l'exploitation de la Mine devrait se terminer en 2028.

Les travaux de restauration proposés incluent le réaménagement des talus extérieurs de la fosse Canadian Malartic (incluant son extension vers le secteur Barnat) et son ennoïement. Les fosses Gouldie et Jeffrey seront remblayées au moyen de stériles miniers (Golder 2012). La fosse Gouldie sera recouverte totalement par des stériles miniers tandis que la fosse Jeffrey ne sera recouverte que partiellement par le même matériau.

La restauration du parc à résidus consiste en une série d'activités qui seront mises en place de façon progressive. Le parc à résidus est construit à partir de structures qui sont rehaussées périodiquement en amont, à l'aide de bermes en stériles. Avec l'avancement des rehaussements et en tenant compte des études sur l'optimisation du mode de réhabilitation, des sections du parc pourront être restaurées. À la fin des opérations, le dernier plateau composé de résidus sera aussi restauré.

Le scénario de restauration progressive de la halde à stériles prévoit la mise en place d'un recouvrement répondant à la caractérisation géochimique des résidus et des stériles sur les pentes et sur les surfaces planes et la végétalisation. Une couche de mort-terrain sera aussi mise en place sur certaines surfaces planes et sera revégétée afin de favoriser l'intégration rapide de la halde au paysage.

Finalement, l'ensemble des activités ayant trait au démantèlement des bâtiments et des infrastructures, la caractérisation et la gestion des sols contaminés, le plan d'urgence ainsi que des précisions dans le cas d'un arrêt temporaire des activités sont aussi présentés dans ce document.



2.0 INFORMATIONS GÉNÉRALES

2.1 Identification du requérant et des personnes ressources

Depuis le 16 juin 2014, la Mine est détenue par le Partenariat Canadian Malartic (CMGP) qui a été formé par les compagnies Yamana Gold Inc. (Yamana) et les Mines Agnico Eagle Limitée (AEM) pour assurer la gestion des actifs de la Mine.

Yamana est une société constituée en vertu de la Loi sur les sociétés par actions. Le siège social de Yamana est situé à Toronto. Yamana est un producteur d'or qui exploite plusieurs sites en Amérique du sud et en Amérique centrale.

AEM est une société constituée en vertu de la Loi sur les sociétés par actions (Ontario) dont le siège social se situe à Toronto. AEM possède sept mines situées au Canada, en Finlande et au Mexique, avec des activités d'exploration et de développement dans chacune de ces régions ainsi qu'aux États-Unis. L'entreprise est spécialisée dans l'extraction, la transformation et la production d'or, mais produit également d'autres métaux, notamment de l'argent, du zinc et du cuivre.

CMGP opère la Mine et possède deux projets d'exploration au Canada soit, le projet Hammond Reef et le projet Kirkland Lake. Le siège social est situé à Malartic à l'adresse suivante :

100, chemin du Lac Mourier
Malartic (Québec) J0Y 1Z0
Tel. : 819-757-2225
Fax. : 819-757-2351
www.canadianmalartic.com

Le directeur à l'environnement et au développement durable du Partenariat Canadian Malartic est M. Pascal Lavoie. Une copie de la résolution du conseil d'administration autorisant M. Pascal Lavoie à soumettre le plan de restauration est fournie à l'annexe A.

2.2 Localisation du site

La figure 1 montre la localisation de la Mine, qui est située approximativement à 20 km à l'ouest de Val-d'Or, dans la municipalité régionale de comté (MRC) de La Vallée-de-l'Or. La propriété se trouve principalement à l'intérieur des limites de la municipalité de Malartic, la limite sud de la propriété se trouvant sur le territoire de la municipalité de Rivière-Héva. La propriété, ayant une superficie de 5 655 hectares, comprend des baux miniers, des droits de surface et une concession minière dont les limites sont illustrées sur le plan cadastral présenté à l'annexe B. L'ensemble du site est situé sur des terres appartenant à la Couronne et à Canadian Malartic GP.

2.3 Utilisation antérieure

Le gisement Canadian Malartic a été découvert en 1926 et c'est dans ce même secteur, appelé le camp minier aurifère de Malartic, que les anciennes mines Canadian Malartic, Barnat/Sladen et East Malartic ont été exploitées. La Mine a été exploitée sans interruption de 1935 à 1965. En 1964, Falconbridge Nickel Itée a acheté la Mine et, suivant la fin de la production en 1965, a réaménagé l'usine afin d'y traiter le minerai de nickel de sa mine Marbridge jusqu'en 1968. La mine Sladen a débuté sa production en 1938 et a été acquise par Barnat Mines, sa voisine, en 1948. L'exploitation de la mine Barnat/Sladen s'est poursuivie jusqu'en 1970,



année où elle fut achetée par Lake Shore Minerals Ltd qui l'exploitera de 1976 à 1979. La mine East Malartic a, quant à elle, été exploitée avec quelques interruptions de 1935 à 1979. En 1979, la compagnie Long Lac Exploration Ltd, qui allait devenir Lac Minerals en 1982, a racheté l'ensemble du camp minier Malartic et y a entrepris des activités d'exploration de 1980 à 1988. La propriété a été vendue en 1990 à la compagnie Barrick Gold puis vendue à nouveau en 2002 à Mines McWatters. Cette même année, Mines McWatters a déclaré faillite et le site d'East Malartic a été placé, à l'époque, sous la responsabilité du ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF).

Bien que toute production de minerai ait cessée dans le secteur en 1979, le traitement de minerai à forfait s'est poursuivi jusqu'en 2002. L'usine de traitement du minerai de l'ancienne mine East Malartic, d'une capacité de traitement de 3 000 t/jour, était située immédiatement à l'est de la propriété et le minerai provenant des mines Bousquet 1 et 2 ainsi que de la mine Doyon y a été traité. Toutes les activités au site d'East Malartic ont été arrêtées en 2002, au moment où celui-ci est tombé sous la responsabilité du MRNF.

En 2004, Osisko Exploration a acheté un intérêt de 100 % de la propriété (initialement 6 claims et 1 concession minière) auprès du syndic de faillite chargé de la liquidation des actifs de Mines McWatters. Osisko Exploration a ensuite acquis des claims additionnels de sorte que la propriété compte maintenant plusieurs baux miniers, des claims et une concession minière. En 2008, le démantèlement de l'ancienne usine de la mine East-Malartic a été entrepris et ces travaux sont maintenant complétés.

En 2014, Yamana et AEM ont fait l'acquisition de la Mine et ont formé le Partenariat Canadian Malartic (CMGP)

2.3.1 Anciens parcs à résidus

Au moment où Osisko a fait l'acquisition de la propriété, celle-ci était composée d'anciennes infrastructures comprenant des parcs à résidus miniers restaurés, ainsi qu'un parc à résidus orphelin composé de digues et de bassins qui sont présentés à la figure 2. Étant donné la très longue période durant laquelle les activités de traitement de minerai ont eu cours, le volume de résidus entreposés est important. Il a été démontré par le passé, dans le cadre de plusieurs études, que les résidus potentiellement générateurs d'acide proviennent de l'usinage des minerais sulfureux des mines Bousquet et Doyon.

Les résidus ont été entreposés dans plusieurs aires d'accumulation dont les détails sont fournis dans le tableau 1.

Tableau 1: Aires d'accumulation des anciens parcs à résidus

Nom	Période	Description du contenu	Épaisseur	Infrastructure actuelle sur l'empreinte
Parc à résidus Canadian Malartic	1935-1965	Canadian Malartic - Résidus non-générateurs d'acide	5 à 11 m	Halde à minerai et fosse
Cellule 1	1938-1960	East Malartic - Résidus non-générateurs d'acide partiellement végétés	4 à 7 m	Parc à résidus
Cellules 2 et 3	1960-1979 1980-1989	East Malartic - Résidus non-générateurs d'acide Doyon/Bousquet 1 - Résidus potentiellement générateurs d'acide	3 et 9 m	Halde à stériles Parc à résidus



Nom	Période	Description du contenu	Épaisseur	Infrastructure actuelle sur l’empreinte
Parc à résidus Barnat/Sladen	1938-1992	Résidus non-générateurs d'acide	3 à 11 m	Fosse
Parc à résidus East Malartic	1992-2002	Bousquet 1 et 2 - Résidus potentiellement générateurs d'acide	(6,8 M m ³)	Parc à résidus
Bassin de sédimentation	1980-2002		N/A	Parc à résidus
Bassin de polissage	1980-		N/A	Bassin de polissage

2.3.2 Autres usages

Pendant plusieurs années, la municipalité de Malartic a opéré un site d'enfouissement municipal qui se trouve au nord-ouest de l'usine de traitement de minerai. Ce site n'est pas sous la responsabilité de CMGP. De plus, une zone de sols, ayant des concentrations de soufre supérieures aux critères provinciaux du Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains et de la Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés, a été identifiée dans le secteur des concasseurs primaire et secondaire. Les autorités provinciales ont été informées et les sols ont été excavés et placés dans le parc à résidus de la East-Malartic.

2.4 Type d'activité minière et répercussions économiques

La production commerciale de la Mine a débuté en mai 2011. Le gisement est exploité par le mode d'exploitation à ciel ouvert et la production annuelle est d'environ 20 millions de tonnes de minerai.

La Mine emploie actuellement 693 personnes et crée plusieurs emplois indirects dans la région. CMGP applique une politique visant à maximiser l'achat local de biens et l'emploi des services et de la main-d'œuvre à Malartic et en Abitibi-Témiscamingue. Cette politique s'étendra jusqu'aux activités de fermeture. En phase de fermeture du projet, CMGP prévoit des retombées économiques pour la région durant la restauration en mode continu et la restauration définitive du site.



3.0 MILIEU AMBIANT

Cette section présente une description sommaire des principales composantes des milieux physique, biologique et humain. Une grande partie de l'information présentée dans ce qui suit est tirée du premier plan de restauration de la Mine (Golder, 2009a) qui avait été préparé à l'aide de l'étude d'impact de 2008 réalisée par la firme Genivar (devenue WSP; Genivar, 2008) et de celle de 2015 réalisée par la même firme (WSP, 2015). La section climat a été mise à jour en fonction des données obtenues d'études effectuées par Golder (Golder, 2014a).

3.1 Milieu physique

3.1.1 Topographie, géomorphologie et sols

Le relief de la zone d'étude est peu accentué, l'altitude oscillant entre 310 et 335 m environ sur les deux tiers du territoire (surtout à l'est) à l'exception de quelques collines qui peuvent atteindre une élévation de plus de 350 m.

La ville de Malartic se situe dans la zone boréale et dans le domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc. Le paysage forestier est dominé par les peuplements de sapins et d'épinettes blanches, mélangés à des bouleaux blancs sur les sites mésiques. Sur les sites moins favorables, les épinettes noires, les pins gris et les mélèzes, accompagnés de bouleaux blancs et de peupliers faux-tremble sont présents.

Les dépôts meubles du site de la Mine sont principalement caractérisés par la présence de dépôts glaciaires. Les dépôts glaciaires observés sur le site se divisent en trois groupes distincts : le till, les dépôts d'origine fluvioglaciaires et les dépôts d'origine glaciolacustres. Selon les informations provenant des travaux d'investigation ainsi que de la littérature, ces unités sont spatialement hétérogènes et sont d'épaisseurs variables. Aucune de ces unités n'est présente en continu sur le site.

L'unité à la base de la stratigraphie est le till. Dans le secteur de la Mine, le till est principalement exposé sur les hauts topographiques (ou collines) et son épaisseur est généralement de moins d'un mètre à ces endroits. Les pentes des collines sont généralement couvertes par un dépôt continu de till d'épaisseur généralement supérieure à 1 m.

Le retrait glaciaire a mis en place des dépôts fluvioglaciaires, principalement sous la forme d'eskers, qui sont localement présents dans la région sous forme de structures linéaires. Ceux-ci sont principalement composés de sable et de gravier et ont été quasi entièrement exploités depuis les années 1930.

Les dépôts glaciolacustres sont les sédiments qui se sont déposés sur les terres immergées. Les dépôts typiques d'un environnement glaciolacustre sont les argiles varvées. Les dépôts glaciolacustres ont une épaisseur variable qui peut atteindre plus de 10 m dans le secteur à l'étude. Ils sont généralement observés dans les secteurs où l'élévation du sol est inférieure à 325 m. Des dépôts plus grossiers associés à des environnements sublittoraux ou littoraux du paléolac Barlow-Ojibway se sont également déposés antérieurement aux argiles et au silt argileux lors de la phase transgressive de ce dernier.

Des tourbières se sont formées sur certains dépôts argileux. 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.



3.1.2 Régime hydrologique

Le réseau hydrographique de la zone d'étude est constitué de petits ruisseaux à écoulement lent formant de nombreux petits méandres. Ce réseau inclut les ruisseaux CE1 à CE9 et le ruisseau Raymond. Les ruisseaux CE1 à CE4, situés au nord de la route 117 actuelle, et les ruisseaux CE5 à CE7, situés à l'est du parc à résidus, s'écoulent vers la rivière Malartic. La rivière Malartic, située au nord de la zone d'étude, traverse la municipalité de Malartic. Les ruisseaux CE8 et CE9 sont situés en aval du bassin Sud-est et s'écoulent vers le ruisseau Raymond.

L'effluent final de la Mine se jette actuellement dans le ruisseau Raymond, puis dans la rivière Piché. Cette rivière constitue l'exutoire du lac Fournière et son régime hydrologique est principalement relié aux variations du niveau du lac. Bien que les travaux de construction du bassin de polissage 2015 (nommé bassin de polissage futur dans la demande de certificat d'autorisation) incluent la relocalisation de l'effluent final, ce dernier continuera de se jeter dans le ruisseau Raymond. L'écoulement des ruisseaux CE8 et CE9 sera modifié à la suite de la construction du bassin de polissage 2015, mais l'eau continuera de s'écouler vers le ruisseau Raymond.

Les eaux naturelles du fossé de dérivation sud de la partie ouest du site minier se jettent dans le ruisseau Mainville, lequel coule jusqu'au lac Fournière.

Actuellement, les eaux naturelles du fossé de dérivation nord sont mélangées aux eaux de contact de la Mine et s'écoulent actuellement vers la fosse Mammoth puis sont pompées dans le système de gestion des eaux de contact de la Mine. Des travaux sont prévus pour dévier les eaux de la dérivation nord vers la dérivation sud.

La Mine étant en partie localisée sur le site d'une ancienne mine, notamment celle de East-Malartic, le régime hydrologique dans ce secteur a été modifié par différentes infrastructures. Plusieurs de ces infrastructures ont été conservées pour les activités de la Mine.

L'extension de la Mine viendra modifier le régime hydrographique de la partie nord et est du site. Les eaux de contact seront acheminées vers des fossés collecteurs qui s'écouleront vers des bassins de pompage. À l'image de la gestion des eaux actuelle, les eaux de contact seront ensuite pompées vers le bassin Sud-est. Les eaux continueront d'être redirigées soit vers l'usine de traitement de l'effluent final, soit transférées au bassin de polissage pour être déversées dans le ruisseau Raymond.

3.1.3 Climat

Les sections 3.1.3 à 3.1.5 présentent les données de précipitations, de température, d'évaporation en lacs et de vents. L'inventaire des variables climatiques sont recueillies à partir de données obtenues de différentes organisations gouvernementales ainsi qu'à partir de plusieurs analyses statistiques calculées par Golder (Golder 2014a).

La région est sous l'influence d'un climat continental froid et modérément humide. L'éloignement des grandes nappes d'eau tempérées et la position géographique du territoire font en sorte que le climat affiche une grande variabilité, de fortes amplitudes thermiques annuelles et journalières ainsi que des précipitations fréquentes et irrégulières. Le tableau 2 montre les moyennes mensuelles multiannuelles de la température moyenne journalière et le tableau 3 présente les moyennes multiannuelles des précipitations mensuelles, telles que mesurées à la station météorologique de Val-d'Or entre 1951 et 2012.



Tableau 2: Moyennes mensuelles multiannuelles de la température moyenne journalière (station de Val-d'Or, 1951-2012).

Mois	Température (°C)
Janvier	-16,8
Février	-14,5
Mars	-8,0
Avril	1,1
Mai	9,2
Juin	14,8
Juillet	17,3
Août	15,8
Septembre	10,9
Octobre	4,5
Novembre	-3,3
Décembre	-12,5
Annuel	1,6

Tableau 3: Moyennes multiannuelles des précipitations mensuelles (station de Val-d'Or, 1951-2012).

Mois	Précipitations totales (mm)
Janvier	58
Février	48
Mars	56
Avril	58
Mai	68
Juin	91
Juillet	101
Août	93
Septembre	103
Octobre	82
Novembre	81
Décembre	67
Annuel	906



3.1.4 Évaporation

Le tableau 4 présente les valeurs mensuelles et multiannuelles d'évaporation sur lacs peu profonds calculées selon la méthode Morton (Morton, 1983). Les paramètres utilisés dans ce calcul sont la température moyenne, la température du point de rosée et l'ensoleillement. L'analyse a été effectuée pour la période de 1969 à 1999, soit 30 années de données disponibles. La moyenne multiannuelle mensuelle a été utilisée lorsque la situation requérait des années en dehors de la plage disponible.

Tableau 4: Moyennes multiannuelles de l'évaporation sur lacs peu profonds – méthode de calcul Morton

Mois	Évaporation (mm)
Janvier	0
Février	0
Mars	20
Avril	58
Mai	101
Juin	124
Juillet	136
Août	108
Septembre	54
Octobre	25
Novembre	2
Décembre	0
Annuel	627

3.1.5 Vents

Les données de la station de Val-d'Or pour la période 1971-2012 ont été utilisées pour faire une analyse des vitesses et des directions des vents. Selon ces données, les directions principales du vent sont du nord-ouest et du sud (voir figure 3).

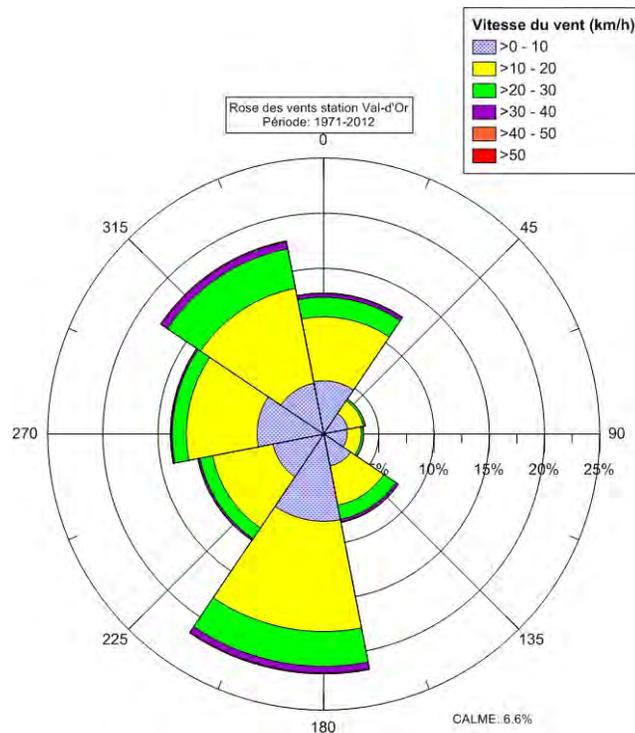


Figure 3: Rose des vents pour la station de Val-d'Or

3.2 Milieu biologique

Deux zones inventaires ont été analysées dans le cadre de l'étude d'impact environnemental (EIE) de 2015 (WSP, 2015). La zone d'inventaire 1 est située au sud de la route 117 et couvre une superficie d'un peu plus de 600 ha tandis que la zone d'inventaire 2 est située au nord de la route 117 et couvre une superficie de près de 175 ha.

3.2.1 Flore

La zone d'inventaire 1 du milieu biologique comprend une proportion de 49,4 % de végétation terrestre et 43 % de milieux humides, le reste est occupé par le milieu anthropique (7,6 %). Le peuplement terrestre est dominé par le sapin baumier ainsi que par les épinettes noires et blanches. Ces espèces sont généralement accompagnées par le bouleau blanc et le peuplier faux-tremble. Le sapin baumier est aussi abondant. Les milieux humides de la zone inventaire 1 sont représentés par des pessières noires sur un sol contenant de la tourbe plus ou moins épaisse. Aux abords des cours d'eau on retrouve des zones d'eau libre, des marais riverains et des marécages arbustifs. Ceux-ci se distinguent en aulnaies, en sphaignes et en éricacées. Rappelons que le milieu naturel a été passablement perturbé par les opérations minières passées, principalement du côté est du chemin du Lac Mourier.

La zone inventaire 2 inclut les mêmes trois grands groupes que la zone 1, soit les milieux terrestres (58,9 %), les milieux humides (32,5 %) et les milieux anthropiques (8,7 %). Les milieux terrestres sont caractérisés par les peupliers. Les secteurs bien drainés sont dominés par le peuplier faux-tremble alors que les secteurs mal drainés sont dominés par le peuplier baumier. Les milieux humides sont caractérisés par des marais, le



marécage arbustif et la pessière noire. Les marais sont peuplés de quenouilles à larges feuilles, de carex, de mousses et de graminées. Le marécage arbustif est peuplé d'aulnes rugueux, de saules et de cornouillers stolonifères.

Aucune occurrence d'espèces floristiques ayant un statut particulier (espèces menacées, vulnérables ou susceptibles d'être désignées ainsi) n'est présente et les inventaires n'ont pas permis d'identifier d'espèces floristiques à statut précaire dans la zone d'inventaire. De plus, aucune espèce floristique à statut précaire n'a le potentiel de se retrouver dans le secteur à l'étude.

3.2.2 Faune

Ichtyofaune

La faune aquatique dans les cours d'eau dans la région est variée. On a retrouvé, lors de l'étude d'impact de 2008, plus de 14 espèces différentes dont aucune à statut précaire. Six espèces présentent un intérêt pour la pêche sportive, particulièrement le doré, la perchaude et le grand brochet. Deux plans d'eau ont révélé une diversité plus marquée des espèces de poissons, soit le lac Fournière et la rivière Piché. Le lac Fournière est aussi plus vulnérable, car aucun apport migratoire de poissons de l'aval vers l'amont n'est possible.

L'ÉIE (WSP, 2015) indique que la communauté ichthyenne présente sur les zones d'inventaires 1 et 2 est relativement homogène d'un cours d'eau à l'autre. On a retrouvé, lors de cette étude, six espèces de poissons, dont quatre des six espèces capturées font partie de la famille des cyprinidés. L'épinoche est omniprésente, mais des barbottes brunes et différents ménés ont aussi été recensés. Selon l'étude d'impact environnemental, toutes les espèces de poissons capturées possèdent un niveau de tolérance à la pollution intermédiaire ou sont tolérants à la pollution. Le type d'habitat aquatique qui domine dans le réseau hydrique des zones d'inventaires est le chenal.

Avifaune

Le recensement des espèces d'oiseaux effectué lors de l'ÉIE (WSP, 2015) a permis d'en identifier 88 dont des pics, des passereaux, des oiseaux de proie, des canards, etc. De ce lot, deux espèces d'oiseau qui sont susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables au Québec ont été recensées, soit l'engoulevant d'Amérique et le quiscale rouilleux. Certains bassins issus de l'exploitation minière se sont révélés être un habitat intéressant pour la sauvagine et les échassiers.

Herpétofaune

Selon les ÉIE de WSP (2008 et 2015), 18 espèces de l'herpétofaune sont potentiellement présentes dans les zones d'inventaires. Au total, quatre espèces ont été observées dans la zone d'inventaires 1 et sept dans la zone d'inventaires 2. Les espèces observées sont des couleuvres, des crapauds, des grenouilles, des ouaouarons et des rainettes. Des salamandres et des tritons sont potentiellement présents sur le site mais n'ont pas été observés. Aucune espèce à statut précaire n'est présente et/ou potentiellement présente dans la zone étudiée.

Faune terrestre

On retrouve comme mammifères appartenant à la grande faune des ours noirs, des orignaux et des castors tandis que les mammifères carnivores sont représentés par le loup, le lynx du Canada, le renard roux et la martre d'Amérique.



Des espèces appartenant à la petite faune et des micromammifères sont aussi présents. Des chauves-souris rousses, cendrées, argentées et pygmées ont été observées sur le site et ces dernières sont des espèces fauniques susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables selon le MFFP (2014). Des chauves-souris brunes et nordiques sont potentiellement présentes sur le site. Elles sont considérées en voie de disparition par le COSEPAC. Le campagnol-lemming de Cooper est potentiellement présent sur le site et est une espèce susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable.

Habitats fauniques et aires écologiques avec statut

L'ÉIE (WSP, 2015) a permis d'identifier la présence de l'habitat du rat musqué, lequel est situé à un peu moins de 3,5 km à l'est de la zone d'inventaire 1 et présente une superficie de 101,5 ha. Une aire de concentration d'oiseaux aquatiques est située à moins de 1,5 km au nord de la zone d'inventaires 2 et présente une superficie de 65,7 ha.

La réserve de biodiversité projetée de la forêt Piché-Lemoine est située à un peu moins de 6 km au sud-est de la zone d'étude et couvre une superficie de 93,8 km². Un refuge biologique projeté exclu de la production forestière est situé au nord du lac Fournière et à l'ouest de la forêt Piché-Lemoine.

3.3 Milieu humain

Au commencement, le projet minier aurifère Canadian Malartic a nécessité la relocalisation de 205 bâtiments résidentiels privés et de 5 bâtiments institutionnels, tous situés dans le quartier sud. La perte de ce secteur résidentiel a été compensée par le nouveau quartier nord. Ce dernier comprend des espaces verts, l'école primaire « Les Explorateurs », l'école des adultes « Le Trait d'Union » ainsi que des espaces pour le développement résidentiel futur de la ville. En 2011, 41 autres propriétés ont été relocalisées. De plus, quatre autres propriétés seront relocalisées ou achetées dû à l'emplacement du tracé de la déviation de la route 117.

CMGP s'efforce de maintenir un dialogue avec la communauté d'accueil et avec les différentes parties prenantes impliquées. Pour ce faire, elle utilise divers outils de diffusion de l'information tels que des assemblées publiques, des sondages, un comité de suivi, des rubriques dans le journal local et autres moyens.

CMGP accorde une grande importance aux plaintes déposées par les citoyens de la ville de Malartic. Un système de réception, de documentation et de gestion des plaintes a été implanté par la Mine pour favoriser une cohabitation harmonieuse avec les citoyens de la ville.

3.4 Planification et aménagement du territoire

Les activités de la Mine touchent surtout la ville de Malartic et, dans une moindre mesure, la municipalité de Rivière-Héva (la municipalité de Lac-Fouillac a été annexée à Rivière-Héva en août 2009). En 2014, la population de Malartic se chiffrait à 3 297 personnes et celle de Rivière-Héva à 1 575 personnes (Répertoire des municipalités, ministères des Affaires municipales, régions et occupation du territoire du Québec, 2015).

Le milieu urbain de Malartic est majoritairement constitué de terrains privés. À l'extérieur de la zone urbaine, les terres appartiennent principalement au domaine public qui relève du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN). On y compte aussi quelques grandes propriétés privées détenues par CMGP.

Les installations minières et les chemins d'accès du site minier sont implantés sur des terrains publics et privés qui font l'objet de droits d'occupation délivrés par le MERN ou d'acquisition par CMGP. L'aménagement de la



fosse à ciel ouvert selon le plan initial a requis la relocalisation d'une partie du quartier sud de Malartic. En 2011, d'autres propriétés ont été relocalisées et quelques-unes sont prévues être relocalisées pour la phase d'extension, tel que mentionné à la section 3.3.

3.5 Infrastructure de transport

La région comprend deux routes sous la responsabilité du MTQ : la route 117 et le chemin du Lac Mourier. La route 117 fait partie du réseau national et constitue le seul lien nord-sud entre la région de Montréal et d'Abitibi-Témiscamingue. Elle est la route la plus utilisée en Abitibi-Témiscamingue pour le transport des personnes et des marchandises. Son utilisation pour le transport hors norme en fait un lien routier stratégique. Quant au chemin du Lac Mourier, il dessert le parc industriel de l'ouest de Malartic et les résidents de Rivière-Héva établis sur le 6^e Rang et sur le bord du Lac Mourier. Ce chemin constitue l'unique accès routier à la zone de villégiature du lac Mourier et au parc industriel de Malartic.

Il est important de noter que le projet d'extension prévoit la construction d'une déviation de la route 117 afin de permettre l'agrandissement vers l'est de la fosse à ciel ouvert Canadian Malartic. La figure 6 montre le tracé de la déviation de la route 117.

3.6 Autorisation diverses

La liste des certificats d'autorisation obtenus du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques¹ (MDDELCC) et des permis obtenus du MERN est présentée à l'annexe C.

¹ MDDELCC : ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 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).



4.0 DESCRIPTION GÉNÉRALE DES ACTIVITÉS MINIÈRES

4.1 Description des activités actuelles et futures

Le complexe minier Canadian Malartic est principalement constitué de la fosse CM, de l'usine de traitement du minerai, de la halde à stériles située directement au sud et à l'est de la fosse CM et du parc à résidus adossé à celle-ci. Le bassin Sud-est, d'une capacité d'environ 6 Mm³, est le principal bassin collecteur des eaux minières du site et il fournit la plus grande partie de l'eau de procédé nécessaire au fonctionnement de l'usine de traitement du minerai. Toutes les infrastructures du site minier sont présentées à la figure 4.

Actuellement, les activités de la Mine sont centrées sur l'exploitation du gisement d'or au moyen de la fosse CM. La production journalière moyenne de l'usine est d'environ 55 000 tonnes. Dans le futur, la Mine prévoit l'exploitation de l'extension de la fosse CM (secteur Barnat) et de la fosse Jeffrey, et selon l'ÉIE (WSP, 2014), l'estimation des réserves d'or prouvées et probables s'élèverait à 1 474 kT d'or.

La fosse CM originale comptait 183 Mt de minerai et 326 Mt de stériles pour un total de 510 Mt. La fosse Gouldie, dont l'exploitation est maintenant complétée, contenait 5,1 Mt de minerai et 15,3 Mt de stériles. La fosse Jeffrey, qui devrait être exploitée de la fin de l'année 2017 au début de l'année 2018, contient environ 4,6 Mt de minerai et 7,6 Mt de stériles. Enfin, avec l'agrandissement de la fosse CM et en incluant les fosses Gouldie et Jeffrey, la Mine compte maintenant 342 Mt de minerai et 767 Mt de stériles pour un total de 1 109 Mt. L'exploitation de la Mine devrait se terminer en 2028.

4.2 Géologie et minéralogie

Le gisement CM est interprété comme étant un système porphyrique aurifère archéen, consistant en un halo étendu de minéralisation disséminée en or et pyrite à l'intérieur d'un porphyre dioritique et de métasédiments altérés (altération potassique). Les travaux de forage et de compilation ont permis de délimiter le système aurifère qui mesure 1 900 m par 350 m (épaisseur réelle variant de 40 à 270 m), jusqu'à une profondeur verticale de 320 m. Le système est ouvert à l'ouest, au sud et en profondeur.

La géologie du gisement CM est largement définie par les unités métasédimentaires du Groupe de Pontiac qui se trouvent immédiatement au sud de la Zone tectonique de Cadillac. La partie centre nord de la propriété couvre la zone de faille sur une distance d'environ 3,5 km et se compose de métavolcanites mafiques à ultramafiques du Groupe de Piché. Dans le secteur du gisement CM, la zone de faille subit un changement d'orientation du sud-est vers l'est. Les roches des groupes de Pontiac et Piché sont recoupées par plusieurs intrusions porphyriques épizonales de compositions syénitiques, syénitiques quartzifères, monzonitiques quartzifères, granodioritiques ou tonalitiques. Ces intrusions forment des dykes, des lentilles discontinues et des petits stocks isolés. Les gisements d'or de la région de Malartic sont associés à des roches porphyriques qui sont généralement de composition syénitique (alcaline) et d'âge syntectonique (Timiskaming).

La minéralisation est principalement encaissée dans des sédiments clastiques altérés du Groupe de Pontiac (greywacke turbiditique, mudstone et un peu de siltstone) qui se trouvent au-dessus d'une intrusion porphyrique épizonale de diorite (secteurs CM et Gouldie). La minéralisation est également présente dans la partie supérieure de l'intrusion porphyrique. L'intrusion porphyrique rétrécit et disparaît à la mine Sladen Malartic, tandis que la minéralisation disséminée se poursuit dans les greywackes silicifiées, formant un corps tabulaire subvertical qui est tronqué par la faille de Cadillac à l'extrémité ouest de la mine East Malartic. La minéralisation forme une enveloppe continue de pyrite [FeS₂] disséminée avec de l'or natif fin (< 20 microns) et des traces de



chalcopryrite [CuFeS₂], de sphalérite [ZnS], de molybdénite [MoS₂] et de tellures aurifères-argentifères et argentifères (Eakins, 1962; Fallara et al., 2000).

4.2.1 Sommaire des résultats des études de caractérisation géochimique réalisées à ce jour

En 2007, un programme de caractérisation géochimique des stériles, du minerai et des résidus de la Mine a été initié par Osisko dans le cadre de l'ÉIE de 2008. Les réserves ayant augmenté depuis le début des opérations au site (production commerciale en mai 2011), le programme de caractérisation géochimique a été poursuivi en 2012 par Osisko et continue depuis sous la direction de CMGP.

Une caractérisation supplémentaire des stériles, du minerai et des résidus a été entreprise afin de définir les propriétés géochimiques du résidu minier et sur chaque lithologie de stérile du gisement, sur un nombre d'échantillons proportionnel à leur volume respectif (Golder, 2014b). Des échantillons ont été prélevés dans les secteurs Canadian Malartic (fosse Canadian Malartic actuelle) et Gouldie (fosse Gouldie), ainsi que Barnat (agrandissement de la fosse Canadian Malartic vers l'est). Des résidus et de l'eau de procédé provenant de l'exploitation en cours (secteur Canadian Malartic) ont également été prélevés à l'usine de traitement du minerai et dans le parc à résidus. Sur l'ensemble du programme 2012-2013, un total de 245 échantillons de stériles, 41 échantillons de minerai, 18 échantillons de résidus et 2 échantillons d'eau de procédé ont été prélevés et soumis à des essais statiques réalisés selon les recommandations de la Directive 019 sur l'industrie minière (2012) du MDDELCC.

Des essais d'altération cinétique ont également été réalisés. Dix échantillons composites de résidus, de stériles et de minerai prélevés par Osisko des secteurs Canadian Malartic et Barnat, initiés en 2007, ont été poursuivis sur 5 ans, jusqu'à la fin 2013. Des essais cinétiques additionnels ont été initiés en 2014 sur 17 échantillons de stériles, 2 échantillons de minerai et 2 échantillons de résidus prélevés dans le cadre du programme 2012-2013 (Golder, 2015a). Les essais sur les échantillons classifiés comme potentiellement générateurs d'acide (8 échantillons de stériles, 2 échantillons de minerai et 2 échantillons de résidus) sont en cours. Tous les autres essais ont été arrêtés après 30 semaines puisque les taux de lixiviation étaient stabilisés. De plus, 3 essais en colonnes ont également été initiés regroupant des échantillons du programme de 2012-2013 afin de tester les trois lithologies majeures du gisement (métasédiments – Groupe de Pontiac, porphyres et les ultramafiques – Groupe de Piché. Ces essais sont actuellement en cours.

Les paragraphes suivants présentent un sommaire des résultats du programme de caractérisation géochimique entrepris depuis 2012. L'ensemble des résultats de cette étude et un sommaire des programmes de caractérisation qui ont précédé cette étude sont présentés dans le rapport de géochimie environnementale pour la Mine (Golder, 2014b) ainsi qu'un memorandum technique résumant les résultats des travaux de géochimie réalisés en 2015 (Golder, 2015a).

4.2.1.1 Études antérieures

Les études antérieures réalisées sur des échantillons composites de stériles, de minerai et de résidus démontraient que les échantillons sélectionnés possèdent une capacité neutralisante immédiate pouvant neutraliser l'acide à court et à moyen terme pour une partie des stériles, des résidus et du minerai. Toutefois, les résultats ne statuaient pas sur la réactivité à long terme des échantillons analysés et sur la proportion de résidus et de stériles qui possédaient une plus grande quantité de sulfures que ceux analysés.



4.2.1.2 Potentiel acidogène des stériles

Pour l'ensemble des stériles testés, les concentrations en soufre sont basses, variant de 0,01 % à 2,6 %, avec des moyennes par lithologie entre 0,15 % et 0,4 % à l'exception de quelques lithologies moins représentées qui possèdent des moyennes de 0,6 % à 1,2 %. Le potentiel neutralisant est généralement faible à l'exception des lithologies ultramafiques (UM) et des schistes qui possèdent une capacité neutralisante substantiellement plus élevée. Le ratio du potentiel neutralisant ($RPN^2 = PN/PA$) varie de 0,7 à 257 avec des moyennes lithologiques qui sont généralement inférieures à 7, sauf pour les lithologies ultramafiques et les schistes qui ont des RPN moyens substantiellement plus élevés. Près de la moitié des échantillons de porphyre et de greywacke des trois secteurs sont classifiés potentiellement acidogènes, alors que les schistes et les roches ultramafiques du secteur Barnat ne le sont pas (sauf pour 1 échantillon) selon les barèmes de la Directive 019 (mars 2012). Cependant, les essais cinétiques réalisés sur 5 échantillons composites de stériles pendant 5 ans indiquent qu'il n'y a pas de mobilité des métaux au-delà des critères applicables ni d'oxydation des minéraux sulfurés sur la période d'essai pour aucun des 5 échantillons. Ceci suggère que les minéraux sulfurés dans les échantillons analysés ont une faible réactivité à court et à moyen terme. Les taux de consommation minéralogique basés sur les résultats d'essais cinétiques disponibles à ce jour suggèrent que tous les échantillons classifiés potentiellement acidogènes soumis aux essais (métasédiments et porphyres) ont une propension à l'acidification à long terme. Toutefois, le délai avant l'épuisement de la capacité neutralisante est substantiellement long (quelques dizaines d'années), ce qui permet l'implantation progressive d'un système de contrôle du drainage minier acide tout au long de l'opération de la Mine.

4.2.1.3 Composition chimique et potentiel de lixiviation des stériles

Aucun échantillon de stériles n'est classifié à risque élevé, selon la Directive 019. Pour toutes les lithologies, des dépassements marginaux des critères A du sol sont observés. Les résultats d'essais TCLP qui définissent la classification de lixivabilité d'un résidu minier indiquent que la moitié des échantillons du secteur Canadian Malartic, et quelques échantillons du secteur Gouldie, dans la partie complètement au nord de la fosse Gouldie, sont classifiés comme lixiviables selon la Directive 019. Cependant, les conditions de lixiviation de l'essai TCLP sont très agressives, utilisant un acide acétique qui ne sera pas produit dans l'empilement de stériles (Golder, 2014b). Cet essai ne représente donc pas les conditions susceptibles de se produire dans l'empilement de stériles à la Mine. Les essais SPLP et les essais cinétiques, jugés plus représentatifs des conditions au site, ne montrent pas de potentiel de mobilité. La classification de lixiviable pour les échantillons classifiés potentiellement générateurs d'acide ou non n'est pas corroborée par les essais cinétiques en cours ou réalisés préalablement. Le potentiel de lixiviation de ces échantillons est considéré faible (inférieur aux critères de qualité d'eau) tant que l'oxydation des sulfures est contrôlée afin de prévenir l'acidification.

Ainsi, en se basant sur les résultats des essais représentatifs des conditions au site, le potentiel de lixiviation des stériles est considéré faible, pourvu qu'il n'y ait pas de déclenchement des processus de génération d'acide à long terme.

Des essais additionnels en cellules humides et en colonne sur les stériles sont toujours en cours. Ces essais permettront de mieux statuer sur la mobilité des métaux dans des conditions similaires à celles observées sur le terrain et de mettre en place des mesures de contrôle appropriées.

² RPN : ratio du potentiel neutralisant (PN) sur le potentiel acidogène (PA) ($RPN = PN/PA$)



4.2.1.4 Potentiel acidogène du minerai

La majorité des échantillons de minerai de greywacke (métasédiments) et de porphyre sont potentiellement acidogènes alors que le minerai ultramafique ne l'est pas. Toutefois, des essais cinétiques réalisés sur deux échantillons composites de minerai montrent qu'il n'y a pas d'oxydation des minéraux sulfurés ni d'acidification sur 5 ans d'essais. Ainsi, la réactivité de ces échantillons est basse et la capacité neutralisante est soutenue à court et à moyen terme. Ces résultats sont corroborés par les essais en cellules humides en cours. Les taux de consommation minéralogique basés sur les résultats d'essais cinétiques disponibles à ce jour suggèrent que les deux échantillons de minerai classifiés potentiellement acidogènes soumis aux essais (métasédiments et porphyres) ont une propension à l'acidification à long terme. Il n'est pas anticipé que le minerai soit entreposé sur le site à long terme avant son traitement à l'usine.

4.2.1.5 Composition chimique et potentiel de lixiviation du minerai

Le minerai n'est pas caractérisé comme un résidu à risque élevé. La composition chimique d'éléments majeurs et traces est peu variable à travers toutes les lithologies minéralisées et comprend quelques éléments qui dépassent les critères A du sol. Les essais de lixiviation TCLP indiquent qu'une partie du minerai est classifiée lixiviable. Les dépassements de critères observés en essais TCLP ne sont pas observés dans les essais SPLP ni dans les essais cinétiques réalisés sur deux échantillons composites de minerai sur une période de 5 ans. De plus, la classification lixiviable pour les échantillons classifiés potentiellement générateurs d'acide ou non n'est pas corroborée par les essais cinétiques en cours. Le potentiel de mobilisation des métaux d'un empilement de minerai semble donc être faible si l'acidification du matériel ne se réalise pas durant la période d'opération, ce qui n'est pas anticipé sur la courte période d'exposition du minerai.

4.2.2 Potentiel acidogène des résidus

Les échantillons de résidus possèdent une concentration légèrement plus élevée de soufre (autour de 1 %) que les stériles et une capacité neutralisante similaire. La majorité des résidus analysés sont classifiés comme étant potentiellement acidogènes selon la Directive 019. Toutefois, des essais cinétiques réalisés sur trois échantillons de résidus sur une période de 5 ans n'ont pas démontré d'oxydation des minéraux sulfurés, ce qui suggère une faible réactivité des résidus à court et à moyen terme. Les résultats des cellules humides en cours révèlent un taux d'oxydation des sulfures relativement élevés. Les calculs de prévisions suggèrent alors que les sulfures seront complètement oxydés avant, ou dans un délai similaire, à l'épuisement de la capacité neutralisante. Il est toutefois probable que les résidus saturés s'oxydent beaucoup plus lentement sur le site qu'en cellule humide et que la capacité neutralisante s'épuise avant l'oxydation complète des sulfures, ce qui pourrait permettre le développement de l'acidification à long terme pour la portion exposée et/ou non saturée des résidus.

Des essais additionnels en cellules humides ainsi que des analyses plus poussées sur les résidus sont toujours en cours et permettront de confirmer les résultats obtenus à ce jour.

4.2.2.1 Composition chimique et potentiel de lixiviation des résidus

Aucun échantillon de résidus n'est classifié à risque élevé, selon la Directive 019. La composition chimique des résidus montre des dépassements des critères A du sol pour quelques métaux. Les résultats d'essais de lixiviation TCLP classifient les résidus comme étant lixiviables. Toutefois, les dépassements observés en essais TCLP ne sont pas observés dans les essais SPLP ni dans les essais cinétiques réalisés entre 2008 et 2013 sur deux échantillons de résidus. Les essais cinétiques ont confirmé que les métaux ne sont pas mobilisés en



concentrations supérieures aux critères applicables. Ainsi, le potentiel de lixiviation des résidus est considéré faible, s'il n'y a pas de déclenchement des processus de génération d'acide.

4.2.2.2 Qualité de l'eau de procédé

L'eau de procédé cyanurée subit un procédé de destruction des cyanures. L'analyse de deux échantillons d'eau de procédé, prélevés à l'usine de traitement de minerai, montre des dépassements des critères d'effluent de la Directive 019 et des critères de qualité d'eau souterraine. La qualité de l'eau de procédé doit respecter les critères en vigueur avant son rejet à l'environnement. Si requis, l'eau est traitée par l'usine de traitement de l'effluent.

4.3 Méthode d'exploitation

La Mine exploite présentement un gisement d'or au moyen de la fosse à ciel ouvert Canadian Malartic (CM). Les opérations minières fonctionnent 24 heures/jour, 365 jours par année avec 4 équipes travaillant 12 heures par quart de travail, en rotation.

La fosse CM, qui constitue la principale fosse de la Mine, est exploitée depuis 2011. À la fin des opérations, elle aura une forme irrégulière et mesurera environ 3,75 km de longueur par 0,9 km de largeur.

La géométrie de l'extension sera similaire à celle de la fosse initiale. À l'origine, l'angle de pente inter-rampe était de 55°, à l'exception de la portion nord-est où l'angle était plutôt de 46°. La géométrie des bancs d'exploitation du secteur de l'extension a elle aussi été conçue en bonne partie avec un angle de pente inter-rampe de 55°; seule la portion recoupant directement la faille de Cadillac, située à l'extrémité ouest de l'ancienne mine East Malartic, a un angle de pente inter-rampe moindre (50°). Hormis cette dernière portion, le concept des murs finaux sera constitué d'un mur d'une hauteur de 20 m, prédécoupé à angle de 75°, séparé par une banquette de captage de 8,0 à 8,5 m entre chaque banc. Ces paramètres seront de 20 m (hauteur), 70° (angle) et 9,5 m (banquette) pour la portion recoupant la faille de Cadillac.

La fosse Gouldie est située au sud-est de la fosse CM. Elle a été exploitée de 2014 à 2015. Elle possède une superficie de 179 000 m². La fosse Jeffrey, qui sera en exploitation de la fin de 2017 au début de 2018, aura une superficie de 96 350 m².

La première étape des opérations minières est le forage. Les patrons de forages sont ajustés par le département d'ingénierie selon la localisation dans la fosse et plus précisément selon les distances par rapport à la ville située au nord de la fosse CM et la proximité des anciens chantiers souterrains. La densité, le diamètre des trous, les hauteurs de bourres et les charges (émulsion) par délai sont les principaux paramètres ajustés. Le but est de minimiser les vibrations et les suppressions d'air, tout en évitant les projections lors du sautage. Il y a deux périodes autorisées de sautage par jour, soit de 11h à 12h et de 15h à 16h.

Une fois le sautage effectué, les équipes de chargement et de transport peuvent commencer leur travail. Les principaux équipements de chargement sont : trois pelles hydrauliques électriques à chargement par le devant d'une capacité de 28 m³, trois chargeurs à benne frontale et une pelle rétrocaveuse diesel. Le transport de roche (minerai et stérile) après sautage est assuré au moyen d'une flotte de camions 793F de 227 tonnes. Le minerai est normalement transporté au concasseur primaire et parfois sur les haldes à minerai. La roche stérile est transportée vers la halde à stériles, où elle est mise en place par banc de 10 m à l'aide de bouteurs D10T.



4.4 Traitement du minerai

L'usine de traitement du minerai regroupe les équipements de concassage et de broyage, les épaisseurs, les circuits de lixiviation et d'adsorption de l'or (charbon en pulpe), les circuits d'éluion du charbon et les cellules d'électrolyse précédant la coulée d'or puis, finalement, le circuit de réactivation du charbon et l'unité de détoxification de la solution contenue dans les résidus miniers.

Le circuit de concassage comprend un concasseur giratoire (primaire) et un circuit de concassage secondaire incluant les deux concasseurs coniques. L'ajout d'une ligne auxiliaire ou d'un concasseur tertiaire est à l'étude. Les équipements de broyage comprennent un broyeur semi-autogène et trois broyeurs à boulets identiques. La première partie du système de broyage, qui inclut le broyeur semi-autogène, avec ses deux concasseurs à galets, ainsi que les deux broyeurs à boulets secondaires, est en circuit fermé avec cyclones. Cette partie permet de réduire le minerai à une granulométrie de 135 microns. Le minerai est ensuite acheminé vers le broyeur tertiaire pour la réduction finale du matériel à une granulométrie de 65 microns. Par la suite, le matériel est dirigé par gravité vers l'épaisseur de lixiviation de 65 m de diamètre. Celui-ci contrôle la densité d'alimentation du circuit de lixiviation qui doit être d'environ 50 % solides.

Le circuit de lixiviation est composé de 20 cuves disposées en 4 rangées de 5 cuves. Ce circuit est conçu pour un temps de rétention d'environ 30 heures. L'or est extrait du minerai broyé par dissolution dans une solution contenant du cyanure et de la chaux. La pulpe résultante est, par la suite, dirigée vers le circuit de charbon en pulpe (CEP); le charbon activé adsorbe l'or dissous. Le circuit CEP est constitué de deux carrousels de sept réservoirs chacun.

Le charbon chargé d'or est séparé de la pulpe sur un tamis et ensuite dirigé vers le circuit d'éluion par pompage dans deux réservoirs d'éluion (10 t de capacité chacun). La désorption du charbon se fait selon le procédé à pression « Zadra », soit par lavage à 140°C dans une solution de caustique avec une faible teneur en cyanure. Suivant l'éluion, l'or se retrouve dans une nouvelle solution appelée solution mère. L'or contenu dans la solution mère est récupéré par électrolyse, alors que le charbon désorbé, pauvre en or, est refroidi à l'eau, avant d'être acheminé au circuit de réactivation pour être réutilisé dans le CEP.

Six cellules d'électrolyse permettent de récupérer l'or par placage sur des cathodes d'acier inoxydable. Après une étape de séchage, le produit de placage (boue aurifère) est alimenté dans un four à induction avec d'autres produits permettant ainsi de couler l'or en dorés. Les dorés ont une pureté en or variant entre 45 et 65 %, la balance étant principalement de l'argent et quelques autres métaux, tel le cuivre. Le procédé de l'électrolyse est confiné dans un secteur de l'usine fortement protégé.

La pulpe de résidus (après récupération de l'or par le charbon) est envoyée dans l'épaisseur de rejets. Les résidus épaissis sont dirigés vers une unité de détoxification CombinOx® où les cyanures sont détruits par oxydation avec du dioxyde de soufre et du peroxyde en présence de cuivre. L'acide sulfurique, aussi utilisée dans le procédé, est neutralisée par la chaux. Cette pulpe est, par la suite, acheminée vers le parc à résidus. Ce procédé sera modifié à l'hiver 2016 afin de ne plus utiliser du dioxyde de soufre. En remplacement, de l'acide de Caro sera utilisée, permettant la destruction des cyanures et la précipitation des cyanures de fer avec du sulfate de cuivre ou de zinc.

L'annexe D présente l'arrangement général de l'usine ainsi que les schémas de procédé.



4.5 Haldes à minerai et à mort-terrain

Trois haldes à minerai sont prévues. L'une d'elle (basse teneur) est présentement enclavée dans la halde à stériles et sera graduellement remplacée par des stériles. Avec l'extension Canadian Malartic, la halde située directement au sud-est des concasseurs devient une halde mixte et son empreinte augmentera à 573 100 m². Une troisième halde à minerai est présente au nord des concasseurs, mais sera épuisée au moment de la restauration.

Trois haldes à mort-terrain sont maintenant prévues. Outre celle originalement située au nord du concasseur giratoire, une deuxième se trouve à l'ouest de la halde à stériles et une troisième à l'est du prolongement du parc à résidus.

4.6 Parc à résidus et halde à stériles

Le parc à résidus est actuellement délimité par la halde à stériles au nord et par une berme de départ, constituée de stériles miniers, construite sur le terrain naturel ou sur les digues de l'ancien parc à résidus East Malartic. Ainsi, le développement de la halde à stériles est étroitement lié à celui du parc à résidus puisqu'il consiste en une mise en place contigüe des résidus et des stériles. Les stériles miniers sont aussi intégrés à la construction du parc à résidus et continueront de l'être au moment des travaux de restauration de celui-ci. Avec le projet d'extension, le parc à résidus et la halde à stériles seront prolongés vers l'est. De plus, une fois l'exploitation terminée dans la partie est de la fosse Canadian Malartic, celle-ci pourrait être utilisée comme aire d'accumulation des stériles et des résidus.

Parc à résidus

Le concept du parc à résidus repose sur un développement progressif à l'aide de cellules et l'utilisation de résidus épaissis entreposés sans retenue d'eau. Les cellules sont mises en place grâce à un système de structures construites au moyen de stériles miniers. Le pourtour des cellules constitué des structures de confinement (les inclusions), de la berme de départ et des séries de rehaussements sont perméables, et ce, dans le but de permettre à l'eau des résidus de se drainer, ce qui favorise leur consolidation. À ce jour, les résidus sont épaissis à une teneur en solides variant de 57 % à 62 %. Depuis les derniers ajustements aux équipements faits depuis le début de l'année 2015 et jusqu'au 24 mai 2015, 87 % des moyennes quotidiennes démontrent que l'épaississement se situait entre 57 % et 61 % de teneurs en solides en conditions normales d'opération. Des travaux importants sont prévus à l'automne 2015 pour améliorer la performance de l'épaississeur. Ces travaux devraient permettre d'augmenter la teneur en solides des résidus à leur point d'arrivée au parc à résidus.

Les structures de pourtour du parc existant consistent en une combinaison de digues de faible perméabilité construites lors de l'exploitation de la mine East Malartic et d'une berme de départ perméable construite dans le cadre de l'exploitation de la Mine. Ces structures sont rehaussées successivement à même la surface des résidus. La majorité des rehaussements et de la berme de départ sont des structures perméables, permettant la création d'un parc à résidus sans retenue d'eau favorisant la consolidation des résidus. La pente globale des rehaussements est actuellement d'environ 6 degrés (10 %). Une section type de la géométrie des rehaussements est présentée sur la figure 5. Le prolongement du parc vers l'est implique la mise en place d'une section de la berme de départ qui sera aussi perméable et qui sera munie d'un système de transitions permettant de retenir efficacement les résidus et de drainer l'eau.



L'extension Canadian Malartic générera une quantité additionnelle de 136 Mt de résidus pour un total de 319 Mt.

Les résidus sont déposés en bout de tuyau parfois sectionné en différents points de déposition, soit une méthode s'apparentant au saigné (« spiggoting »). Les points de déposition sont généralement placés aux limites nord du parc ou le long de certaines parties de la berme de départ afin de faciliter le drainage des eaux vers le bassin Sud-est, qui est la principale structure de collecte des eaux minières.

Afin de favoriser une distribution adéquate des résidus sur tout l'espace disponible, des inclusions ont été construites à l'intérieur du parc. Ce système de berme et d'inclusions a permis l'organisation de l'espace en cellules de dimensions adéquates pour l'opération du parc. La présence de cellules permet aussi d'alterner la déposition d'une cellule à l'autre, à partir de différents points de déposition, favorisant ainsi la consolidation des résidus avant la construction des rehaussements en amont.

Halde à stériles

La halde représente la limite nord du parc à résidus. De façon générale, sa mise en place consiste en une pente globale de 2,5H:1V, par bancs successifs de 10 m de hauteur et ayant une pente individuelle de 1,35H:1V. Des paliers de 11,5 m de large sont aménagés entre chacun des bancs. La séquence de développement de la halde est dépendante de l'exploitation des fosses Gouldie et Jeffrey. Tel que montré à la figure 4, la construction de la halde s'est faite autour de la fosse Gouldie. L'exploitation de la fosse Gouldie étant maintenant terminée, elle sera remplie de stériles miniers prochainement puis la halde viendra ensuite recouvrir l'empreinte de la fosse. Le recouvrement de l'empreinte de la fosse Gouldie est actuellement en cours et devrait se terminer au courant de l'année 2016.

La même situation aura lieu à l'endroit de la fosse Jeffrey. Une fois l'exploitation de la fosse Jeffrey terminée, elle sera également remplie de stériles et la halde viendra recouvrir partiellement l'espace occupé par celle-ci.

L'extension Canadian Malartic générera une quantité additionnelle de 378 Mt de stériles pour un total de 704 Mt.

La figure 6 présente une vue en plan de la Mine et de ses infrastructures au moment de la cessation des activités minières, soit en 2028.

4.7 Autres secteurs

4.7.1 Effluents miniers

L'effluent final de la Mine est actuellement situé au bassin de polissage et sera déplacé à l'endroit du bassin de polissage 2015 qui est actuellement en construction. Ce dernier sera situé au pied de la digue A du bassin Sud-est. Une usine de traitement de l'effluent a été construite près de l'usine de traitement du minerai. L'eau du bassin Sud-est y est acheminée par pompage. L'eau traitée pourra ensuite être envoyée au bassin de polissage (actuel ou 2015), au bassin Sud-est (lorsque l'usine fonctionne en circuit fermé) ou à l'usine de traitement du minerai si cette eau nécessite un traitement.

4.7.2 Bancs d'emprunts

Quatre bancs d'emprunts sont présents sur le site, soit un banc de sable au nord du bassin de polissage actuel, un banc d'argile un peu plus à l'est et deux bancs de till à l'est, dont un partiellement restauré. Les deux bancs d'emprunt ont été majoritairement utilisés pour la construction des digues du bassin Sud-est. À la fin de la vie de



la mine, les deux bancs d'emprunts seront entièrement recouverts par les aires d'accumulation des stériles et des résidus.

4.8 Gestion des eaux sur le site

Des structures de gestion des eaux (fossés collecteurs et de dérivation, bassins, stations de pompage) protègent les bassins versants naturels autour du site minier. Le fossé de dérivation Sud draine l'eau du bassin Johnson et l'eau pompée du bassin versant naturel à l'ouest du site minier vers le ruisseau Mandeville, qui l'achemine jusqu'au lac Fournière.

À l'intérieur du site minier, des fossés collecteurs entourent les haldes (à stériles, à minerai et à mort-terrain) et le parc à résidus miniers, sauf une partie du parc à résidus qui draine directement vers le bassin Sud-est. Les fossés collectent l'eau de ruissellement, ainsi que l'eau du ressuage des résidus miniers, et les acheminent vers le bassin Sud-est. Le transport se fait par gravité ou, lorsque la topographie ne le permet pas, par pompage, à travers des bassins intermédiaires.

L'eau souterraine et l'eau de ruissellement, qui sont collectées dans la fosse CM, sont pompées soit vers l'usine pour être utilisées comme eau de procédé, soit vers le bassin Sud-est. Lorsque la qualité le permet, cette eau est directement dirigée vers le bassin de polissage.

Actuellement, l'eau collectée dans le bassin Sud-est est majoritairement pompée comme eau de procédé vers l'usine de traitement du minerai mais elle peut être également pompée vers le bassin de polissage lorsque la qualité est conforme et qu'il y a des surplus (volume excédentaire). Une usine de traitement de l'effluent a été mise en place et permet, au besoin, de traiter l'eau avant sa transition vers le bassin de polissage. Après un séjour dans le bassin de polissage, l'eau est rejetée vers l'environnement par le ruisseau Raymond lorsque la qualité de celle-ci respecte les critères des normes en vigueur.

Lorsque la construction du bassin de polissage 2015 sera terminée, à l'automne 2015, l'eau excédentaire, depuis l'usine de traitement ou directement provenant du bassin Sud-est, sera rejetée dans celui-ci. Le bassin de polissage actuel servira alors de cellule de remplissage du parc à résidus. De nouveaux fossés et bassins de pompages seront construits au fur et à mesure que le projet d'extension sera développé.

La figure 7 présente le diagramme des flux pour le projet d'extension de la mine tandis que la figure 8 présente le schéma de la gestion de l'eau sur le site en condition ultime avec le positionnement approximatif des structures de gestion des eaux qui sont décrites ci-dessous.

Bassin Johnson

Le bassin Johnson est un bassin d'eau propre qui sert principalement de réserve d'eau en cas d'incendie et, en cas de problème occasionnel, d'approvisionnement partiel à l'usine de traitement de minerai. En opération normale, l'eau du bassin versant de 2,9 km² quitte le bassin Johnson par un déversoir à seuil libre et s'écoule dans le fossé de dérivation Sud.

Bassin Sud-est

Le bassin Sud-est, d'une capacité d'environ 6 M m³, est le principal bassin collecteur des eaux minières du site. Les eaux de ruissellement et les eaux issues du ressuage des résidus miniers lors de leur consolidation, à la suite de leur déposition dans le parc à résidus, sont collectées par ce bassin. L'eau pompée de la fosse Canadian Malartic est aussi partiellement envoyée vers le bassin Sud-est. Le bassin fournit la plus grande partie



de l'eau de procédé nécessaire au fonctionnement de l'usine de traitement du minerai. L'excédent d'eau est pompé vers le bassin de polissage actuel, qui sera remplacé à l'automne 2015 par le bassin de polissage 2015 (2015), lorsque la qualité respecte les critères des normes en vigueur et qu'il y a un excès par rapport au besoin de l'usine. Tel que mentionné, cette eau sera traitée au besoin par l'usine de traitement de l'effluent.

Bassin de polissage actuel et bassin de polissage 2015

Le bassin de polissage actuel est adjacent au parc à résidus et reçoit les eaux du bassin Sud-est. Le bassin de polissage 2015 est en construction au pied du bassin Sud-est, en aval de la digue A, et remplacera le bassin de polissage actuel. L'eau y effectue un séjour et une fois que sa qualité respecte les critères des normes en vigueur, elle est rejetée à l'environnement au ruisseau Raymond par un point de suivi instrumenté qui est l'effluent final.

Bassin de pompage Nord-est

Le bassin de pompage Nord-est sera situé à l'est de la halde à stériles et recevra les eaux des fossés de collecte situés au pied de la halde (portion nord) et fossé collecteur Est-1 situé au pied du parc à résidus dans ce secteur. L'eau sera ensuite pompée vers le bassin Sud-est.

4.9 Bâtiments et infrastructures

Une carte des bâtiments et des infrastructures du site est présentée à la figure 9. En plus des bâtiments et des infrastructures reliées à la production ou aux divers services, les infrastructures électriques, les routes et les infrastructures de soutien sont identifiées.

4.9.1 Secteur du bureau d'exploration Canadian Malartic

Dans le secteur du bureau d'exploration Canadian Malartic se situant au 100, chemin du Lac Mourier, on retrouve les bureaux d'exploration Canadian Malartic, deux garages, une carothèque, des espaces d'entreposage de matériel ainsi que des entrepôts de carottes extérieurs, comme décrit dans le tableau suivant.

Tableau 5: Bâtiments et infrastructures du secteur du bureau d'exploration Canadian Malartic

#	Bâtiment	Dimensions (m) ou superficie (m ²)	N ^{bre} d'étages ou hauteur (m)	Construction		
				murs	plancher	toit
1	Bureau d'exploration Canadian Malartic et garages	2 040 m ²	1 (bureaux) 2 (garages)	revêtement en métal sur charpente en acier	béton	revêtement en métal sur charpente en acier
2	Carothèque (roulotte)	170 m ²	1	roulotte préfabriquée		
3	Petit garage	105 m ²	4 m	revêtement en métal sur charpente en bois	béton	revêtement en métal sur charpente en acier
4	MégaDome	320 m ²	6 m	revêtement en membrane sur charpente en métal	béton	revêtement en membrane sur charpente en métal



#	Bâtiment	Dimensions (m) ou superficie (m ²)	N ^{bre} d'étages ou hauteur (m)	Construction		
				murs	plancher	toit
5	MégaDome	930 m ²	8 m	revêtement en membrane sur charpente en métal	béton	revêtement en membrane sur charpente en métal
6	Entrepôts de carottes d'exploration (extérieur)	4 335 m ²	-	revêtement en métal sur charpente en acier		

4.9.2 Secteur de l'usine et des concasseurs

Le secteur de l'usine comprend l'usine de traitement du minerai ainsi que toutes les infrastructures s'y rattachant, comme le concasseur primaire et les concasseurs secondaires ainsi que les convoyeurs pour le transport du minerai. Les bâtiments et les infrastructures qui sont localisés près de l'usine ont également été inclus dans la liste présentée dans le tableau 6.

Tableau 6: Bâtiments et infrastructures du secteur de l'usine et des concasseurs

#	Bâtiment	Dimensions (m) ou superficie (m ²)	N ^{bre} d'étages ou hauteur (m)	Construction		
				murs	plancher	toit
7	Concasseur primaire	669 m ²	67,4 m dont 28,6 m souterrain	revêtement en métal sur charpente en acier	béton	revêtement en métal sur charpente en acier
8	Concasseurs secondaires	1 340 m ²		revêtement en métal sur charpente en acier	béton	revêtement en métal sur charpente en acier
9	MégaDome	334 m ²	8 m	revêtement en membrane sur charpente en métal	béton	revêtement en membrane sur charpente en métal
10	Convoyeur (minerai transporté du concasseur primaire au dôme)	1 222 m de long	-	revêtement en métal sur charpente en acier		
11	Manutention du minerai (dôme - entreposage fermé et convoyeur)	Dôme : 6 230 m ² convoyeur : 150m de long	43,6 m	revêtement en métal sur charpente en acier	béton	-



MINE CANADIAN MALARTIC - PLAN DE RESTAURATION - MISE À JOUR 2015 CONFIDENTIEL

#	Bâtiment	Dimensions (m) ou superficie (m ²)	N ^{bre} d'étages ou hauteur (m)	Construction		
				murs	plancher	toit
12	MégaDome	705 m ²	8 m	revêtement en membrane sur charpente en métal	béton	revêtement en membrane sur charpente en métal
13	Garage multiservices	530 m ²	7 m	revêtement en membrane sur charpente en métal	béton	revêtement en membrane sur charpente en métal
14	Usine (broyage, récupération de l'or, circuits des réactifs, service au procédé, salle électrique principale, laboratoire, bureaux de l'usine)	15 100 m ²	37,4 m	revêtement en métal sur charpente en acier	béton	revêtement en métal sur charpente en acier
15	Épaississeur (silo)	3 320 m ²		béton et acier	béton	ouvert
16	Cuve de lixiviation	11 360 m ² (aire totale où se trouvent les 20 cuves)	19,2 m	Cuve en acier		
17	Unité de détoxification (2)	730 m ² (aire totale où se trouvent les 2 silos)	16,0 m	cuve en acier	béton	ouvert
18	Unité à l'acide de Caro (au-dessus de l'unité de détoxification)	En construction				
19	Réservoirs de réactifs (4)	n/d	variable	cuve en acier	béton	fermé
20	Circuit résidus épaissis (cuves)	3 320 m ²	7 m	cuve en acier	béton	ouvert
21	Roulotte de chantier	160 m ²	1 étage	roulotte préfabriquée		
22	Roulotte de chantier	790 m ²	1 étage	roulotte préfabriquée		
23	Poste de garde	120 m ²	1 étage	revêtement en métal sur charpente en acier	béton	revêtement en métal sur charpente en acier



MINE CANADIAN MALARTIC - PLAN DE RESTAURATION - MISE À JOUR 2015 CONFIDENTIEL

#	Bâtiment	Dimensions (m) ou superficie (m ²)	N ^{bre} d'étages ou hauteur (m)	Construction		
				murs	plancher	toit
24	Bâtiment administratif, services mine	8620 m ²	1 étage	revêtement en métal sur charpente en acier	béton	revêtement en métal sur charpente en acier
25	MégaDome	815 m ²	8 m	revêtement en membrane sur charpente en métal	béton	revêtement en membrane sur charpente en métal
26	MégaDome	750 m ²	8 m	revêtement en membrane sur charpente en métal	béton	revêtement en membrane sur charpente en métal
27	MégaDome	340 m ²	6 m	revêtement en membrane sur charpente en métal	béton	revêtement en membrane sur charpente en métal
28	Roulotte	105 m ²	1 étage	roulotte préfabriquée		
29	Dépôt pétrolier (5 réservoirs 50 000L et 1 réservoir 4 500L) et un poste de distribution de carburant	aire des 6 réservoirs : 250 m ² Aire de distribution de carburant : 160 m ²	1	réservoir en acier poste de distribution en béton armé avec toit en métal		
30	Garage Norascon	500 m ²	6 m	revêtement en métal sur charpente en acier	béton	revêtement en métal sur charpente en acier
31	Balance pour camion	340 m ²	-	-	-	-
32	Station de pompage du bassin Johnson	140 m ²	5 m	revêtement en métal sur charpente en acier	béton	revêtement en métal sur charpente en acier
33	Usine de traitement de l'effluent	1 105 m ²	2	revêtement en métal sur charpente en acier	béton	revêtement en métal sur charpente en acier



4.9.3 Autres secteurs

Le tableau 7 présente un sommaire des bâtiments présents dans d'autres secteurs du site.

Tableau 7: Bâtiments et infrastructures des autres secteurs

#	Bâtiment	Dimensions (m) ou superficie (m ²)	N ^{bre} d'étages ou hauteur (m)	Construction		
				murs	plancher	toit
34	Station de pompage du bassin Sud-est	220 m ²	5 m	revêtement en métal sur charpente en acier	béton	revêtement en métal sur charpente en acier
35	Station de l'usine de traitement de l'eau	220 m ²	5 m	revêtement en métal sur charpente en acier	béton	revêtement en métal sur charpente en acier
36	Garage à l'est de la fosse (sera démantelé avant la fermeture)	475 m ²	7 m	revêtement en métal sur charpente en acier	béton	revêtement en métal sur charpente en acier
37	Salle à manger (fosse)	160 m ²	1 étage	Roulotte préfabriquée		
38	Roulotte pour changement de quart	160 m ²	1 étage	Roulotte préfabriquée		
39	Station d'entreposage des explosifs	Matériel appartenant à un sous-traitant				
40	Garage au sud de la digue 5	370 m ²	6 m	revêtement en métal sur charpente en acier	béton	revêtement en métal sur charpente en acier

4.9.4 Infrastructures électriques, de transport et de soutien

Ligne de transmission 120 kV

Une ligne de transmission électrique de 120 kV a été construite sur 19 km entre le réseau local de 120 kV d'Hydro-Québec au poste de Cadillac et la station principale adjacente à l'usine. Des portiques en bois constituent la majorité des tours supportant cette ligne, à l'exception des supports d'angles et d'ancrages qui sont constitués de tours d'acier galvanisé. La distance moyenne entre les tours est de 200 m et la largeur de l'emprise déboisée est de 46 m. Cette ligne de transmission a été mise en service par Hydro-Québec en septembre 2010.



Sous-station principale

La sous-station principale près de l'usine est équipée de trois transformateurs électriques de 120-13,8 kV ayant une capacité de 42,56 et 70 MVA. La charge est également répartie entre les trois transformateurs, soit environ 28 MW chacun. Un bâtiment de type préfabriqué abrite un réseau de distribution électrique de 13,8 kV qui est relié aux différents secteurs du site minier.

Réseau de distribution

Un grand local électrique se trouve dans l'usine de traitement du minerai; celui-ci contient des transformateurs et de l'équipement de distribution pour les circuits de charges de 5 kV et 600V. L'usine est aussi équipée de cinq autres petits locaux électriques. Le circuit de la Mine est alimenté par deux transformateurs de 25 kV chacun.

Un réseau de distribution de 25 kV d'une distance de 17,9 km alimente les divers composants de la mine tels les concasseurs, le système de recirculation d'eau, le pompage souterrain, les équipements électriques de la fosse, l'entrepôt d'explosifs et le site de préparation de l'émulsion.

Génératrice d'urgence

Cinq génératrices d'urgences sont installées aux endroits stratégiques suivants afin de pallier à une panne ou lors de l'entretien de la ligne de 120 kV : au bassin Sud-est, au bassin Johnson, à l'usine de traitement du minerai, au garage de l'entretien mécanique et aux concasseurs primaire et secondaire. Les génératrices ne permettent toutefois pas de maintenir les opérations d'usinage.

Routes

Les routes existantes permettent la circulation entre la fosse, les haldes, les concasseurs, l'usine de traitement du minerai, l'entrepôt d'explosifs et le site de préparation de l'émulsion, le parc à résidus, les bassins ainsi que toutes les autres infrastructures de soutien. De manière générale, les routes ont une largeur de 12 m et sont construites de matériau granulaire provenant des bancs d'emprunt du site. Un total de 37 km de routes est aménagé sur le site.

Les chemins de production ont 35 m de largeur et sont construits à partir d'enrochement de stériles miniers.

Butte-écran et parc linéaire

Une butte-écran et un parc linéaire ont été aménagés entre la fosse CM et la limite sud de la zone urbaine de Malartic afin d'assurer la sécurité des citoyens et d'atténuer les impacts visuels, la contribution sonore et les poussières des activités minières. La butte-écran sera prolongée vers l'est et suivra l'extension de la fosse CM jusqu'à son extrémité nord.



4.10 Produits chimiques

Le Tableau 8 présente la liste des produits chimiques utilisés, et leur quantité, pour le traitement du minerai et la détoxification.

Tableau 8: Liste et quantité des réactifs utilisés pour le traitement du minerai et le traitement de l'eau (2014)

CONSOMMATION 2014			
Réactifs	Quantité (Kg)		
	Usine de traitement du minerai	Usine de traitement de l'effluent	Total
Acide nitrique (67%)	3 533	-	3 533
Charbon activé frais	477 388	-	477 388
Chaux vive	8 695 714	-	8 695 714
Cyanure de sodium (100% NaCN)	5 437 563	-	5 437 563
Antitartre	235 397	-	235 397
Dioxyde de soufre	1 805 409	-	1 805 409
Floculant	648 400	500	648 900
Boulet 1"	3 950 081	-	3 950 081
Boulet 3"	6 590 334	-	6 590 334
Boulet 5"	8 142 110	-	8 142 110
Oxygène liquide (m ³)	1 561 774	-	1 561 774
Peroxyde hydrogène (100% H ₂ O ₂)	1 918 253	94 819	2 013 072
Soude caustique (100% NaOH)	524 762	37 301	562 063
Sulfate de cuivre	782 500	8 750	791 250
Sulfate de zinc	-	3 648	3 648
Acide sulfurique	-	72 002	72 002
Sulfate ferrique (hydraté)	11 651	-	11 651

Étant donné les faibles quantités consommées mensuelles, les réactifs nécessaires au raffinage du concentré d'or tels que la silice, le borate de sodium, le nitrate de sodium et le carbonate de sodium ne sont plus comptabilisés.



4.11 Produits pétroliers

Le tableau qui suit présente les détails concernant l'entreposage de tous les produits pétroliers qui se trouvent sur le site de la Mine.

Tableau 9: Produits pétroliers

Description	Localisation*	Entreposage	Ravitaillement
Gaz naturel	Conduite souterraine	N/A	N/A
Diesel	Dépôt pétrolier	5 réservoirs de 50 000L 1 réservoir de 4 500L (diesel coloré)	Au dépôt ou par camion-citerne
Diesel	Ouest station électrique	1 réservoir 25 000L 2 réservoirs 2 000L	
Essence	Dépôt pétrolier	1 réservoir de 4 500L	Au dépôt ou par camion-citerne
Huile de lubrification	Porte 14 bureau administratif	6 réservoirs variant de 4 500L à 22 700L	Camion livraison

4.12 Gestion des matières résiduelles et des matières résiduelles dangereuses

La Mine a adopté des normes pour la gestion des matières résiduelles et pour les matières résiduelles dangereuses. Les détails de ces normes sont présentés à l'annexe E.



5.0 PROGRAMME DE RESTAURATION DES LIEUX

5.1 Objectifs du plan de restauration

Le but du plan de restauration est de décrire les activités que la Mine prévoit faire en vue de retourner le terrain à des conditions qui limitent le risque pour la santé et la sécurité publiques et l'environnement et de satisfaire les exigences du Gouvernement du Québec ainsi que du décret autorisant l'exploitation du projet minier aurifère Canadian Malartic par CMGP (préalablement propriété de Corporation Minière Osisko). Le plan inclut une description de l'opération et fournit une estimation de coûts pour la garantie financière exigée par le Ministère de l'Énergie et des Ressources Naturelles (MERN). Ce plan de restauration tient compte du projet d'Extension Canadian Malartic, dont l'Étude d'impact environnemental a été déposée auprès du MDDELCC au début de l'année 2015 (WSP, 2015). Le présent document a été préparé selon les exigences présentées dans le document du MERN intitulé : « Guide et modalités de préparation du plan et exigences générales en matière de restauration des sites miniers au Québec » (MRN, 1997).

Les objectifs suivants ont été établis:

- Développer un plan de restauration utilisant les techniques qui sont adaptées aux besoins d'une fermeture, d'un point de vue environnemental, acceptable;
- Veiller à ce que les risques pour la santé et la sécurité publiques soient limités par l'entremise des travaux qui incluront:
 - la démolition des bâtiments, des conduites et des lignes électriques, si ces dernières ne peuvent être cédées;
 - le scellement et la stabilisation de toutes les ouvertures de la Mine en surface comme les puits, les portails, les chantiers et les puits de ventilation, s'il y a lieu;
 - l'enlèvement de la machinerie, de l'équipement, des conteneurs d'entreposage et des débris de construction;
 - l'enlèvement et la disposition, de façon sécuritaire, des produits chimiques, pétroliers et autres déchets dangereux;
 - la réhabilitation complète du parc à résidus et de la halde à stériles;
 - le suivi de l'intégrité physique et de la stabilité chimique des lieux après la fermeture; et
 - la préparation d'un rapport sur l'état des lieux du site à la fin des travaux.

Aux fins de référence durant la lecture de la présente section qui traite de la restauration, la figure 10 fournit une vue en plan projetée du site après la restauration.

5.2 Travaux de recherche et de développement

Des travaux de recherche et de développement ont été mis de l'avant par la Mine et ont pour but d'identifier les espèces végétales les plus efficaces pour la restauration rapide de certaines infrastructures du site (halde à stériles et parc à résidus) et qui permettront aussi de redonner un aspect le plus naturel possible au site par la favorisation de l'auto-réimplantation d'un écosystème naturel. Ces travaux ont été entrepris par une équipe de



chercheurs de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (UQAT) et seront poursuivis par CMGP en 2015. Les résultats obtenus à ce jour ont fait l'objet de plusieurs publications (Larchevêque et al., 2012, 2013 et 2015; Guittonny-Larchevêque et al., 2015a et 2015b). Parallèlement à cela, CMGP soutient via l'Institut de recherche en mines et en environnement (IRME) plusieurs projets de recherche qui aideront à améliorer la gestion à long terme des aires d'accumulation. Un sommaire des travaux effectués par Mme Marie Larchevêque est présenté à l'annexe F.

5.3 Sécurité des lieux

Il est prévu actuellement que les voies d'accès de la fosse Canadian Malartic, incluant le secteur Barnat, seront condamnées et l'accès sera sécurisé conformément aux usages en vigueur.

Idéalement, il sera préférable d'éviter autant que possible l'aménagement de clôtures. Ces installations nécessitent de l'entretien à long terme et sont une stratégie de restauration à préconiser en dernier recours. Une revue géotechnique sera faite de tous les murs finaux afin d'évaluer leur stabilité à long terme. Cette étude géotechnique vérifiera entre autre la stabilité des parois de la fosse et permettra d'établir si des travaux correctifs sont requis ainsi que les zones de recul sécuritaires. Aux endroits ne pouvant pas être corrigés ou présentant des risques à long terme, la mise en place de clôtures sera alors envisagée.

Du côté nord de la fosse, le parc linéaire et la butte-écran, qui seront toujours présents au moment de la fermeture, agiront comme mesure supplémentaire de protection. Les fosses Gouldie et Jeffrey, deux fosses de moindre ampleur, seront remblayées et couvertes par la halde à stériles (couverture complète dans le cas de la fosse Gouldie et partielle dans le cas de la fosse Jeffrey). Il ne sera donc pas nécessaire d'installer des clôtures ou d'effectuer d'étude complémentaire en vue de leur restauration.

5.4 Bâtiments, infrastructures et équipements

Puisqu'il y a peu de différences entre les bâtiments, les infrastructures et les équipements qui étaient prévus dans le projet d'origine, ceux actuellement existants et ceux prévus dans le cadre de l'Extension Canadian Malartic, le principe de restauration demeure le même et est résumé dans ce qui suit.

Étant donné la localisation relativement urbaine du site minier, les bâtiments pourraient être utilisés pour une autre vocation. Si les bâtiments ne pouvaient pas être cédés, réutilisés par la Mine ou vendus à la fin de la vie de la Mine, CMGP procédera à leur démantèlement et les rebuts seront vendus ou recyclés. En ce qui concerne l'usine de traitement du minerai, il est prévu de procéder à son démantèlement et de vendre les équipements ayant une valeur économique. Les empreintes de tous les bâtiments qui auront été démantelés seront végétalisées. Si des remblais rocheux sont toujours présents sur l'empreinte des bâtiments après leur démolition, un recouvrement approprié sera aussi mis en place.

Les infrastructures de soutien enfouies dans le sol seront laissées en place à moins que la vocation future du site ne le permette pas. Toutefois, les conduites ayant servi au transport de matières dangereuses seront retirées et gérées conformément à la réglementation en vigueur au moment de la cessation des activités. Toutes les infrastructures de soutien se trouvant en surface seront démantelées et enlevées des lieux selon la réglementation en vigueur au moment de la cessation des activités.

Les infrastructures de transport se limitent aux chemins et aux sentiers aménagés sur le site. Tous ces chemins seront restaurés (scarification et végétalisation) au fur et à mesure qu'ils ne seront plus requis pour les activités



d'exploitation, de restauration, de suivi et d'entretien (Figure 10). S'il est considéré que ces chemins puissent représenter une source de contamination à long terme par la présence de matériaux acidogènes ou lixiviables, ils seront excavés et les matériaux résiduels entreposés dans la fosse.

Au moment de la cessation des activités, les équipements, la machinerie lourde, les conteneurs d'entreposage et les débris de construction seront vendus à des tiers, éliminés auprès de récupérateurs locaux ou mis au rebut. Finalement, la ligne électrique de 25 kV présente sur le site de la Mine sera démantelée lorsque les travaux n'exigeront plus d'approvisionnement en électricité.

Malgré la récupération de tout déversement de matières dangereuses lors des opérations et dans le cas où la qualité des sols montrait une contamination selon les normes en vigueur au moment de la cessation des activités, les sols seront décontaminés.

5.5 Équipement et machinerie lourde

Les équipements d'extraction et de traitement du minerai ainsi que la machinerie lourde seront retirés des lieux. Ils seront, si possible, déplacés vers d'autres sites de CMPG, vendus à des tiers, éliminés auprès de récupérateurs locaux ou mis au rebut.

5.6 Infrastructures de gestion des eaux

Pendant les activités de restauration, les eaux de ruissellement de tout le site, incluant celles du parc à résidus et de la halde à stériles, continueront d'être dirigées vers le bassin Sud-est. Au fur et à mesure que les travaux de restauration seront réalisés et quand la qualité de l'eau répondra aux normes en vigueur, le ruissellement de surface de certains secteurs pourra être redirigé vers l'environnement et les structures de gestion des eaux pourront graduellement arrêter leur fonctionnement et les aires qui y sont associées pourront être restaurées, tel que décrit dans ce qui suit.

Les infrastructures de gestion des eaux comprennent les fossés de dérivation des eaux propres, les fossés de collecte des eaux de contact, les trois bassins de pompage (Nord-est, Est et Sud-ouest), le bassin Johnson, le bassin Sud-est et le bassin de polissage 2015 situé directement en aval de la digue A du bassin Sud-est. L'ancien bassin de polissage de la mine East-Malartic aura été recouvert par le parc à résidus pendant les opérations.

Tous les fossés et les ponceaux qui ne seront plus requis seront restaurés; les ponceaux seront enlevés et recyclés. L'eau du bassin versant Nord, dirigée vers la dérivation Sud pendant l'opération, sera redirigée vers la fosse à ciel ouvert pour créer un apport d'eau complémentaire et ainsi contribuer à son ennoisement. Les empreintes des bassins de pompage seront caractérisées et, si les sédiments constituent un résidu minier à faible risque selon les critères de la Directive 019, ils seront laissés sur place. Sinon, ils seront excavés et transportés, si possible, dans la fosse ou dans le parc à résidus. Les bermes, si applicable, seront ensuite bréchées et l'empreinte des bassins sera reboisée.

Bassin Johnson

À la suite du démantèlement des infrastructures de la Mine, le bassin Johnson accumulant de l'eau propre ne sera plus nécessaire. Le niveau d'eau dans le bassin Johnson sera abaissé afin de pouvoir pratiquer une brèche dans le barrage et de permettre l'écoulement naturel des eaux en direction du fossé de dérivation sud. Il est à



noter que le bassin Johnson a été construit en aval d'une vallée, ainsi un petit étang sera donc naturellement présent à cet endroit. L'empreinte de l'ennoiement au-dessus du niveau d'eau de l'étang sera ensuite reboisée.

Bassin de polissage 2015

La digue du bassin de polissage 2015 sera bréchée dès que l'ennoiement de la fosse pourra débuter et que les eaux du bassin Sud-est pourront être pompées vers celle-ci. De façon similaire aux bassins de pompage, le bassin de polissage 2015 sera vidé et les sédiments présents seront caractérisés et éliminés de la façon appropriée. L'empreinte de l'ennoiement du bassin sera reboisée et une brèche sera pratiquée dans sa digue aval afin de rétablir l'écoulement naturel des eaux.

Bassin Sud-est

Si leur qualité le permet, les eaux du bassin Sud-est seront directement pompées dans la fosse pendant une période d'environ trois ans afin d'accélérer son remplissage. Le bassin Sud-est ne sera démantelé que lorsque les eaux du site respecteront les critères en vigueur.

À partir du moment où le bassin Sud-est ne sera plus en fonction, les sédiments présents dans son empreinte seront caractérisés. Si les sédiments constituent un résidu minier à faible risque selon les critères de la Directive 019, ils seront laissés sur place. Sinon, ils seront excavés et transportés, si possible, dans une petite section du parc à résidus qui n'aura pas été encore restaurée. Une brèche sera pratiquée dans la digue A afin de rétablir l'écoulement naturel des eaux (Figure 10). L'empreinte de l'ennoiement sera reboisée. Si d'autres digues formant le bassin Sud-est devaient entraver l'écoulement naturel des eaux, elles seraient aussi ouvertes à l'aide d'une brèche.

Il est important de mentionner que l'usine de traitement de l'effluent sera maintenue en opération tant que la qualité de l'eau de surface, particulièrement celle des eaux de ruissellement et d'exfiltration du parc à résidus et de la halde, ne rencontre pas les critères en vigueur ou tant que persistera un risque d'une dégradation de la qualité de l'eau à long terme.

5.7 Fosses

5.7.1 Canadian Malartic

Le concept de restauration de la fosse repose sur le réaménagement de ses talus extérieurs et l'ennoiement. Il serait possible que durant les dernières années d'exploitation, une certaine quantité de stériles provenant de la partie est de la fosse (secteur Barnat) soit entreposée principalement dans la partie ouest, où les activités de production auront déjà cessé (Golder, 2014e). Une certaine quantité de résidus pourrait aussi être entreposée avec les stériles dans la fosse.

L'entreposage de stériles et de résidus dans la fosse est une alternative intéressante par rapport à l'entreposage en surface puisqu'elle réduit les empreintes de la halde à stériles et du parc à résidus, de même que la période nécessaire à l'ennoiement de la fosse. Ce mode de gestion est celui reconnu comme étant le plus efficace et le plus robuste pour gérer des rejets miniers, des résidus et des stériles qui sont potentiellement acidogènes ou lixiviables. De plus, dans un contexte où des rejets miniers n'ont pas commencé à produire de la contamination, ce mode de gestion est de loin le plus souhaitable. Golder a été mandatée afin d'évaluer l'utilisation potentielle de la fosse comme aire d'accumulation et les résultats sont présentés dans un memorandum technique (Golder, 2014c). Selon ce document, un confinement hydraulique de la fosse peut être réalisé en stabilisant le niveau



d'eau du lac de fosse à la fermeture à une élévation approximative de 308,5 m si ce niveau est inférieur au niveau des eaux souterraines dans le roc encaissant. Ce niveau d'eau peut être maintenu par l'établissement d'un écoulement gravitaire en aménageant un déversoir sur la crête de la fosse qui rejoindrait le cours d'eau 1 (CE1), tributaire de la rivière Malartic. Selon les informations actuelles (Golder, 2014c), le temps de remplissage de la fosse jusqu'au niveau 308,5 m varierait entre 33 et 37 ans, et les stériles et les résidus seraient recouverts d'eau après environ 16 ans. Il est important de noter que ce temps de remplissage variera en fonction de la quantité de stériles et de résidus entreposés dans la fosse. Une coupe schématique de la fosse envoyée est présentée à la Figure 11.

Une partie des talus extérieurs de la fosse ont déjà fait l'objet de travaux de réaménagement, notamment la stabilisation des sols par régalaage ou par adoucissement des pentes dont la résultante est de 2H:1V. Le reste de la crête et des talus du pourtour de la fosse fera l'objet de travaux de réaménagement similaires et, au moment de la fermeture, ces talus seront reboisés. Les travaux incluent aussi la protection des sols superficiels contre l'action des vagues par la mise en place d'un parement de stériles. Il est possible que des travaux d'aménagement de la rampe d'accès principale soient entrepris afin de créer un milieu qui favoriserait la fraie des poissons.

5.7.2 Gouldie

La fosse Gouldie est enclavée dans la halde à stériles et a été exploitée en 2014 jusqu'en juillet 2015. Elle a une empreinte de 179 000 m². La fosse Gouldie, maintenant inactive, sera entièrement remblayée avec des stériles de la fosse Canadian Malartic. La halde à stériles recouvrira ensuite entièrement la fosse Gouldie.

5.7.3 Jeffrey

Lorsque l'autorisation sera obtenue, la Mine prévoit aussi l'exploitation de la fosse Jeffrey. La fosse Jeffrey, qui est située à l'est de la fosse Canadian Malartic, aura une empreinte de 96 350 m² et son exploitation s'échelonnnera de la fin de 2017 au début de 2018. À la fin de son exploitation, tout comme la fosse Gouldie, la fosse Jeffrey sera entièrement remblayée avec des stériles. La halde à stériles recouvrira ensuite partiellement la fosse Jeffrey.

5.8 Parc à résidus miniers et halde à stériles

Les résultats des études de caractérisation géochimique réalisées par Golder (Golder, 2014b) démontrent, de façon cohérente avec les études précédentes, que les résidus et les stériles de la Mine présentent un risque de génération de drainage minier acide et de lixiviation faible à négligeable à court et moyen terme. Ces résultats sont aussi généralement soutenus par les observations de terrain. Les études de modélisation et de suivi de la qualité de l'eau souterraine des aménagements de la halde à stériles et du parc à résidus dans le secteur de la Mine, selon leur développement actuel, réalisées par Golder (Golder, 2009b et 2010), démontrent le respect des objectifs de protection de l'eau souterraine énoncés dans la Directive 019.

Il subsiste cependant un risque quant au comportement géochimique des résidus et une portion substantielle des stériles à long terme (après plusieurs décennies). Les études récentes tendent à montrer que les résidus et les stériles sont potentiellement acidogènes sur une très longue période à partir des prédictions faites avec les méthodes usuelles. Un programme de suivi et d'essais sur le terrain est en cours afin de mieux définir le risque à long terme et d'y appliquer des mesures de mitigation adéquates. Même si cette possibilité ne peut se confirmer véritablement qu'avec le temps et possiblement à la suite d'essais à plus grande échelle réalisés sur



le terrain, il n'en demeure pas moins que dans un contexte de réduction du risque à long terme, des mesures de mitigation additionnelles seront élaborées au cours des prochaines années.

Ainsi, afin d'établir un plan d'exploitation et de restauration robuste indépendant des incertitudes, une approche prudente misant sur l'implantation de mesures de mitigation additionnelles et une planification de leur intégration dès maintenant a été proposée dans les réponses aux questions du plan de restauration de 2014 (Golder, 2015b). Bien que ces mesures puissent ne pas être nécessaires, CMGP désire tout de même les définir et les implanter afin que le risque que le potentiel de génération d'acide se matérialise à long terme soit bien contrôlé.

Le plan de restauration de 2009 incluait déjà la mise en place d'une couche de mort-terrain et la végétalisation des empilements. Ces mesures permettent d'obtenir une meilleure intégration visuelle des lieux ainsi que, dans une certaine mesure, de diminuer les infiltrations d'eau de surface avec le temps. Ce recouvrement sera renforcé par l'ajout d'un élément de faible perméabilité qui diminuera davantage l'infiltration d'eau et la consommation précoce des éléments neutralisants présents dans les résidus et les stériles, et créera ainsi une barrière potentiellement plus efficace à la pénétration de l'oxygène. La nature de ce recouvrement n'est pas encore établie et sera l'objet de travaux additionnels au cours des prochaines années. À cet effet, plusieurs essais de laboratoire et de terrain ont été entrepris par CMGP afin de tester divers scénarios de recouvrement. Il est clair que la stratégie retenue permettra la réhabilitation progressive du site durant l'opération.

L'implantation de telles mesures s'intégrera aux objectifs de restauration actuels, dont les plus importants sont les suivants :

- Il est reconnu que la mise en place d'un élément de faible perméabilité additionnel sur l'ensemble de l'empreinte combinée du parc et de la halde nécessitera de grandes quantités de matériaux. Rappelons que l'utilisation de matériaux naturels décapés (mort-terrain) lors du développement de la fosse fait partie du plan de restauration actuel et qu'ils sont déjà utilisés comme couche de végétalisation. L'utilisation de matériaux miniers sera préconisée au lieu de matériaux naturels afin de ne pas devoir développer de bancs d'emprunt additionnels.
- Un des grands objectifs de l'utilisation des résidus épaissis pour la gestion en surface est l'implantation d'une restauration progressive. Cet objectif sera poursuivi, soit par le choix d'un matériau approprié, soit par le choix d'une technologie appropriée. Il est cependant admis que la mise en place de mesures de mitigation additionnelles pourrait nécessiter un certain délai afin de bien définir les caractéristiques et les paramètres des nouveaux éléments. La restauration progressive débutera à la suite de la réalisation d'un certain nombre d'études. Cette éventualité est requise afin de permettre l'identification de la meilleure option possible. Le calendrier d'application des mesures retenues permettra de compléter les travaux avec un minimum d'écart par rapport aux opérations minières.
- La mise en place de mesures de mitigation est une façon de gérer les incertitudes et donc, les risques à long terme. Des mesures de contingence seront prises dans ce nouveau processus afin que l'ensemble des risques soit bien géré.

La superficie du parc à résidus augmentera avec l'Extension Canadian Malartic et passera de 460 ha à 619 ha environ. La superficie de l'empreinte de la halde sera d'environ 440 ha et son élévation finale sera approximativement à 430 m. La restauration d'une telle superficie nécessitera une grande quantité de matériaux de faible perméabilité (si cette approche est retenue).



Afin de pouvoir rencontrer cette demande, il est présentement envisagé qu'une portion des résidus produits soit désulfurée et utilisée pour constituer un recouvrement de faible perméabilité. La désulfuration partielle se fera pendant l'opération sur une portion des matériaux et permettra de respecter l'engagement pour la mise en place d'une restauration progressive. L'épaisseur du recouvrement reste à déterminer, mais sera variable en fonction des différents secteurs du parc et de la nature des stériles ou des résidus qu'on y retrouve. Une étude plus détaillée sur la faisabilité de ce concept est en cours. Celle-ci a débuté avec plusieurs essais de laboratoire et de terrain initiés par CMGP à l'été 2015.

En supposant qu'une option de désulfuration soit utilisée efficacement au site, une faible quantité de résidus à haute teneur en sulfures (sous-produit) serait produite à l'issue du procédé de désulfuration. Ce sous-produit serait géré séparément, soit par sa mise en place dans la fosse, sous l'élévation prévue du niveau d'eau, ou dans une cellule aménagée au parc à résidus, sous le niveau anticipé de la nappe phréatique à long terme. Selon notre connaissance du site, plusieurs secteurs répondent à ces critères.

Présentement, en parallèle avec plusieurs activités, Golder est en voie de réaliser certaines études techniques pour le prolongement de la halde et du parc vers l'est dans le cadre du projet d'Extension Canadian Malartic. Une des études en cours est l'étude de stabilité pour le prolongement de la halde et du parc. Par ailleurs, les analyses de stabilité du parc à résidus et de la halde à stériles actuels ont été présentées au MERN dans un memorandum technique daté du 25 février 2011 (Golder, 2009c). Quoique ces analyses soient toujours pertinentes, il est anticipé que le projet d'Extension aura un impact sur la configuration des installations existantes et que les nouvelles recommandations de la Directive 019, en termes de stabilité, nécessiteront aussi qu'une revue des analyses soit faite. Les analyses, en conditions d'opération et en fin d'opération, sont disponibles et font partie intégrante du projet d'extension Canadian Malartic.

5.8.1 Parc à résidus

Tel que mentionné précédemment, la superficie du parc à résidus augmentera notablement avec le projet de l'Extension Canadian Malartic et passera de 500 ha à 619 ha environ (Golder, 2014f). Un total de 319 Mt de résidus sera emmagasiner sur le site, ce qui correspond à 136 Mt de plus que le projet original.

Les travaux de restauration prévus pour le parc à résidus consisteront donc en une série d'activités qui seront mises en place de façon progressive et, autant que possible, couplées avec les opérations. Le parc à résidus est construit soit à partir d'une digue existante ou soit à partir d'une berme de départ faite de stériles et rehaussée périodiquement en amont à l'aide de bermes en stériles. Au fur et à mesure de l'avancement des rehaussements, des sections ne subissant plus de modifications pourront être restaurées. La surface de chaque palier entre les bermes, qui est constituée d'enrochement, serait recouverte d'une couche de faible perméabilité et d'une couche de mort-terrain amendée au besoin pour être ensuite végétalisée à la fin des opérations comme prévu originalement. Cette végétation permettra de contrôler l'érosion hydraulique et éolienne, le cas échéant.

Le scénario de restauration modifié se voudrait un scénario plus robuste permettant de réduire le risque associé à la possibilité que les matériaux ne deviennent acidogènes à long terme. Plusieurs essais de laboratoire et de terrain ont été entrepris par CMGP afin de tester divers scénarios de recouvrement pour le parc à résidus.

À la fin des opérations, les deux derniers plateaux composés de résidus seraient restaurés de la même façon. Des aménagements seraient mis en place afin de contrôler le drainage et permettre la reprise d'une végétation le plus rapidement et le plus efficacement possible.



La figure 12 présente une coupe schématique du parc à résidus restauré.

5.8.2 Halde à stériles

Tel que mentionné précédemment, avec l'agrandissement de la fosse, le tonnage de stériles à entreposer passera de 378 Mt à 704 Mt. La superficie de l'empreinte de la halde sera d'environ 440 ha et son élévation finale sera approximativement à 430 m (Golder, 2014f).

Il est important de noter que dans les secteurs qui seront occupés à la suite du développement de l'Extension Canadian Malartic, la conception de la halde à stériles inclura les améliorations de la fondation requises pour fournir un niveau de protection respectant les objectifs de protection prescrits par la Directive 019. Ainsi, il sera requis d'ajouter un remblai de faible perméabilité dans les secteurs où la stratigraphie actuelle montre une épaisseur insuffisante de sols fins.

La poursuite du suivi de la qualité de l'eau souterraine dans le secteur de la Mine et la mise en place d'un programme de surveillance dans les secteurs occupés à la suite du développement de l'Extension Canadian Malartic permettront de valider les prédictions des modèles numériques et de prévenir les pertes d'usage de l'eau souterraine.

Les pentes de la halde seront recouvertes par une couche de faible perméabilité et une couche de mort-terrain amendée au besoin. Ces activités pourront être faites de manière progressive et être terminées à la fin des opérations sur le site. Au moment de la restauration du site, les pentes de la halde pourront faire l'objet d'un ensemencement hydraulique. Pour les surfaces planes, les travaux prévus consisteront à mettre en place une couche de faible perméabilité (à être définie dans les prochaines années), une couche de mort-terrain amendée au besoin et à planter des espèces arbustives à croissance rapide. La croissance des arbres favorisera l'intégration rapide de la halde au paysage. Comme pour le parc à résidus, plusieurs essais de laboratoire et de terrain ont été entrepris par CMGP afin de tester divers scénarios de recouvrement de la halde à stériles.

Le développement d'un recouvrement pour les pentes de la halde à stériles est sans doute le plus gros défi technique au site de la Mine. Il est prévu que l'intégration des résultats de travaux de recherche en cours contribuera au développement d'une solution optimale pouvant être intégrée naturellement dans les opérations. Une attention toute particulière sera accordée à cette question en 2015 et 2016.

La figure 13 présente une coupe schématique de la halde à stériles restaurée.

5.8.3 Contingences

Le plan de restauration proposé vise l'établissement d'un scénario prudent afin de diminuer les incertitudes à long terme. Étant donné qu'il s'agit de la gestion d'incertitudes, un certain nombre de scénarios ont été envisagés afin de pouvoir proposer des mesures de contingence appropriées pour ce plan de restauration :

- Les mesures implantées pourraient ne pas résulter en une diminution suffisante de l'infiltration d'eau ou la qualité d'eau d'exfiltration pourrait ne pas répondre aux critères de déversement à l'environnement. Afin de gérer ce risque, l'usine de traitement de l'effluent final serait maintenue en service aussi longtemps que nécessaire.
- Les quantités de résidus désulfurés pourraient s'avérer insuffisantes. Ce risque pourrait facilement être éliminé par l'usinage du minerai à faible teneur mis en réserve.



- Des variations dans la granulométrie ou dans la qualité des matériaux pourraient rendre les travaux difficiles à réaliser. Ce risque est possible avec des matériaux naturels. Toutefois, les résidus étant un produit de procédé, leur granulométrie serait très bien contrôlée.
- La mise en place pourrait s'avérer complexe. Ce risque serait faible en ce qui concerne les surfaces planes ou le sommet de la halde et les plateaux. Cependant, des essais de terrain seraient réalisés pour établir une méthode réalisable avec des engins de chantier, en ce qui concerne les pentes et les plateaux de faible largeur.

Des difficultés imprévues pourraient survenir lors de la mise en place. Étant donné qu'il s'agit d'utiliser des résidus, les résidus désulfurés pourraient être déposés à n'importe quel moment dans les cellules du parc.

5.9 Haldes à minerai et halde mixte

Trois haldes à minerai sont prévues. L'une d'elle (basse teneur) est présentement enclavée dans la halde à stériles et sera graduellement remplacée par des stériles. Avec l'Extension Canadian Malartic, la halde située au sud-est des concasseurs devient une halde mixte et son empreinte augmentera à 573 000 m². Une troisième halde à minerai est présente au nord des concasseurs et sera épuisée au moment de la restauration. Au moment de la restauration, les trois haldes ne contiendront plus de minerai. Ces haldes sont situées sur des plateformes de stériles et leur empreinte sera caractérisée, recouverte et reboisée. La halde mixte sera réhabilitée de la même façon que la halde à stériles.

5.10 Halde à mort-terrain

Trois haldes à mort-terrain sont maintenant prévues. Outre celle originalement située au nord du concasseur primaire, une deuxième se trouve dans la partie ouest de la halde à stériles et une troisième à l'est du prolongement du parc à résidus. Les matériaux de ces haldes seraient graduellement utilisés pour les activités de restauration progressive. Actuellement, il est anticipé que le mort-terrain dans les haldes aura été utilisé au complet pour la restauration du site. Toutefois, si à la fin de la vie de la Mine, des portions des haldes à mort-terrain restent en surface, elles seront végétées.

5.11 Bassin d'urgence

Au moment de la cessation des activités minières, l'empreinte du bassin d'urgence sera caractérisée et si des sédiments contaminés s'y trouvent, ils seront entreposés en fonction du type de contamination selon les règles en vigueur. Une ou plusieurs brèches seront faites dans la digue; l'empreinte, excluant les secteurs profonds excavés dans le socle rocheux, sera ensuite reboisée.

5.12 Gestion des sols contaminés

Au moment de la cessation des activités minières et à la suite de la caractérisation des sols près des bâtiments, si la présence de sols contaminés est identifiée sur le site, ceux-ci seront entreposés en fonction du type de contamination et selon les règles en vigueur.

5.13 Produits pétroliers, produits chimiques, matières résiduelles, matières résiduelles dangereuses, sols et matériaux contaminés

Tous les produits chimiques et pétroliers ainsi que toutes les matières résiduelles dangereuses présentes sur le site lors de la fermeture, et non requis pour les opérations de postfermeture, seront retirés de la propriété. Les



produits chimiques utilisés dans les divers circuits du procédé de traitement du minerai et du traitement de l'eau seront récupérés pour être retournés aux fournisseurs, vendus à des tiers ou éliminés par des firmes spécialisées et autorisées à gérer ces produits.

Une fois vides, les réservoirs de surface seront retirés du site selon les règlements en vigueur au moment de la cessation des activités. Les sols sous-jacents aux réservoirs seront caractérisés et, si l'évaluation des sols montrait une contamination selon les normes en vigueur au moment de la cessation des activités, ces sols pourront être excavés et envoyés à une firme spécialisée ou un traitement *in situ* pourra être fait, selon le cas.

Finalement, les matières dangereuses présentes sur le site lors de la cessation des activités de la Mine seront retirées du site par des firmes spécialisées.

5.14 Restauration progressive

Tel que mentionné précédemment, les talus extérieurs de la fosse ont déjà fait l'objet de travaux de réaménagement, notamment la stabilisation des sols par régilage ou par adoucissement des pentes dont la résultante est de 2H:1V.

Certaines activités de restauration progressive localisées au parc à résidus, au bassin Sud-est et au banc d'emprunt zone 5 (# ASB 1260) ont débuté en 2013. Bien que les superficies restaurées soient limitées (131 000 m²), ces activités s'inscrivent dans le cadre d'un projet de recherche et de développement et permettront d'optimiser l'efficacité des travaux de restauration futurs.

Si les études en cours sur les résidus et les stériles démontrent la nécessité d'implanter des mesures de mitigation additionnelles au-delà de ce qui était prévu originalement, des ajustements seront réalisés aux travaux de restauration déjà réalisés afin qu'ils permettent de rencontrer les nouveaux objectifs. Cependant, les efforts de restauration tel que réalisés présentement seront poursuivis, puisqu'il est important de ne pas accuser des retards dans la restauration progressive ou de perdre des opportunités de réalisation des travaux. Néanmoins, des efforts seront mis en 2015 et 2016 pour développer un plan robuste pouvant s'intégrer aux opérations et permettre la continuation de la restauration progressive et la réalisation de correctifs (si requis) dans les zones déjà réhabilitées. Les efforts de recherche, d'essais et de conception, particulièrement en ce qui concerne la géochimie et la désulfuration, permettront de confirmer la faisabilité technique et économique de certaines mesures de mitigation.

Par ailleurs, des travaux de recherche en cours (e.g. Larchevêque et al., 2012 et 2013) évaluent l'efficacité de différents types d'amendements qui, utilisés lors des travaux de restauration progressive et aussi finale, permettraient une croissance plus rapide des espèces arbustives et leur maintien comme support au milieu environnant. Il est déjà possible d'évaluer que la quantité de mort-terrain ou de tout autre substrat disponible sur le site de la Mine pourrait être insuffisante au moment de la fermeture pour toutes les surfaces qui devront être restaurées. D'ici là et à travers différents programmes de recherche, CMGP fera en sorte d'identifier différentes sources potentielles d'amendements qui pourront être ajoutés au mort-terrain lors de la restauration du site.



6.0 MESURES EN CAS D'ARRÊT TEMPORAIRE DES ACTIVITÉS

Conformément aux normes en vigueur, des mesures de sécurité seront prises advenant une cessation temporaire des activités minières et CMGP avisera les autorités compétentes, le cas échéant. On entend par cessation temporaire un arrêt des activités minières de moins de six mois.

Les mesures de sécurité visent à restreindre l'accès au site, aux différents bâtiments et aux autres structures, à maintenir le contrôle de la qualité des effluents et à assurer les stabilités physique et chimique des différentes aires d'accumulation.

Les mesures suivantes seront appliquées lors d'un arrêt temporaire des activités minières :

- L'accès au site sera interdit et la barrière demeurera en place à l'entrée du site;
- L'accès aux différents bâtiments sera interdit au moyen de portes verrouillées;
- L'entreposage des produits chimiques sera sécurisé : les contenants seront entreposés selon leur compatibilité et les locaux seront verrouillés;
- Les déchets dangereux seront entreposés temporairement dans un entrepôt respectant la réglementation et éliminés par la suite par une firme autorisée;
- Une présence sera maintenue sur le site pour assurer l'entretien des équipements et veiller à la sécurité du site;
- Si la fermeture dure moins de six mois, les réservoirs de produits pétroliers seront jaugés une fois par semaine; après six mois de fermeture, ces réservoirs seront vidés de leur contenu et les endroits où sont entreposés des carburants seront fermés et cadennassés. Si la période d'inactivité dure plus de deux ans, tous les équipements pétroliers seront retirés des lieux et un programme de caractérisation des sols sera réalisé. Si la caractérisation révèle que des sols sont contaminés selon les normes en vigueur, ils pourront être excavés et envoyés à une firme spécialisée ou un traitement *in situ* pourra être fait, selon le cas;
- Le maintien des opérations de contrôle de la qualité de l'effluent sera poursuivi, conformément aux normes en vigueur; et
- Des mesures seront prises pour assurer la stabilité physique et chimique des différentes aires d'accumulation.

7.0 PLAN D'URGENCE

Le plan des mesures d'urgence proposé pour l'extension Canadian Malartic est présenté à l'annexe 11-1 de l'ÉIE (WSP, 2014).

Par ailleurs, la Mine possède déjà un plan des mesures d'urgence en condition d'exploitation. À la fin des opérations, un plan des mesures d'urgence contenant un programme d'intervention en vue de gérer les accidents ayant un potentiel à haut risque pouvant survenir sur le site de la Mine durant et après les travaux de restauration, sera mis en place. Le programme comprendra les mesures immédiates à appliquer, les mesures



et méthodes pour délimiter la zone à risque et les coordonnées des personnes responsables du site minier et des organismes avec qui communiquer.

8.0 PROGRAMME DE SURVEILLANCE

Le programme de surveillance sera réalisé pour une période minimale de dix ans suivant la fin des opérations et comprendra un suivi de l'intégrité des ouvrages, un suivi environnemental et un suivi agronomique.

Les programmes de suivi qui seront mis en place dans le cadre du projet seront en conformité avec les exigences provinciales et fédérales applicables au projet. D'autres programmes ne faisant actuellement l'objet d'aucune exigence seront aussi appliqués en vue d'assurer la réussite du projet et son acceptabilité sociale et environnementale.

Le programme de surveillance sera sous la responsabilité du directeur de l'environnement et du développement durable du site minier.

8.1 Intégrité des ouvrages

Une fois la restauration complétée, il ne devrait rester en apparence sur le site que le parc à résidus, la halde à stériles et la fosse. L'usine de traitement de l'effluent et les structures de contrôle du parc à résidus demeureront en opération jusqu'à ce que les critères du MDDELCC soient respectés et seront démantelées par la suite.

Le programme de suivi de l'intégrité des ouvrages comprendra un suivi de la stabilité des structures laissées en place après la restauration du site, incluant :

- la halde à stériles;
- la fosse CM incluant son agrandissement; et
- les bermes du parc à résidus.

Une inspection régulière permettra d'évaluer l'état des structures. Elle sera faite par un ingénieur en géotechnique d'une firme de génie-conseils conjointement avec un responsable de CMGP. Cette inspection consistera en une visite de chaque structure. Toutes les observations seront notées dans le rapport de terrain, localisées sur un plan et des photographies seront prises. Les inspections auront lieu au printemps après la fonte des neiges, mais avant la période d'été.

Les inspections visuelles permettront de détecter les manifestations anormales de surface qui sont indicatrices d'anomalies dans le comportement de l'ouvrage. Lorsque des conditions inhabituelles seront observées durant l'inspection, celles-ci seront consignées au rapport d'inspection et feront l'objet d'un suivi. Si des correctifs s'avéraient nécessaires pour la sécurité des passants ou pour la qualité de l'environnement, ils seraient appliqués dans les plus brefs délais.

Au moment de l'inspection, l'inspecteur notera les fissures, les signes d'érosion, les affaissements, les glissements, les zones humides, etc. Ces observations seront numérotées pour les repérer facilement au schéma du parc à résidus et de la halde à stériles. Pour les fissures, les affaissements, les glissements et les



déformations, les dimensions (longueur, largeur, profondeur) seront notées. Pour les sillons d'érosion, la longueur moyenne des sillons et leur profondeur seront notées. Dans le cas des zones humides et des nappes d'eau, celles-ci seront mesurées en indiquant la longueur et la largeur ou le diamètre de la zone affectée.

De plus, l'usine de traitement de l'effluent sera inspectée régulièrement afin de permettre son bon fonctionnement. L'inspection se fera lors de l'entretien mensuel des équipements.

À la suite de chacune des inspections annuelles, un rapport sera produit et consistera en un résumé des observations faites, une analyse des relevés piézométriques ainsi que des recommandations.

8.2 Suivi environnemental

Le suivi environnemental aura comme principaux objectifs de suivre l'évolution de certaines composantes environnementales sensibles et d'identifier les tendances ou les impacts résultant des activités du projet. Le suivi se poursuivra pour un minimum de dix ans et se poursuivra jusqu'à ce que les résultats des cinq dernières années consécutives respectent les conditions détaillées dans la Directive 019.

Une attention particulière sera portée à la qualité de l'eau dans la ou les zones de rejet d'effluent, ainsi qu'à la qualité de l'eau souterraine en périphérie de la fosse CM, de la halde à stériles et du parc à résidus. Le programme sera élaboré selon les exigences provinciales et fédérales en vigueur au moment de la fermeture de la Mine.

La version définitive du plan de fermeture comprendra un tableau résumant les activités de suivi environnemental et leur calendrier ainsi qu'une figure localisant les points d'échantillonnage.

Le programme de suivi environnemental, pour l'exploitation de la fosse et de l'usine de traitement de minerai du complexe, est présenté au chapitre 12 de l'ÉIE (WSP, 2014).

8.3 Suivi agronomique

Le suivi agronomique permettra de vérifier l'état de la reprise de la végétation sur le site et d'y apporter les correctifs nécessaires, au besoin. Un suivi agronomique sera fait annuellement, en saison estivale, pendant les cinq premières années suivant la fermeture de la Mine. Si les résultats de la végétalisation, du reboisement et de l'ensemencement sont jugés concluants, le suivi agronomique cessera après la cinquième année. En cas contraire, des suivis seront réalisés tant et aussi longtemps qu'il n'y aura pas eu trois années consécutives concluantes.



9.0 CONSIDÉRATIONS ÉCONOMIQUES ET TEMPORELLES

Un seul tableau d'estimation de coût présente aujourd'hui l'ensemble des items inclus dans la restauration. Une numérotation a été ajoutée et permettra la comparaison avec les futures mises à jour.

Des coûts de conception avaient été prévus à l'item de restauration de la fosse, soit 330 000 \$ pour la conception et la construction d'un déversoir, et à l'item de la halde à stériles, soit 1 000 000 \$ pour la conception et l'aménagement pour la gestion des eaux de surface. Les coûts associés à l'ingénierie, la conception ou encore la supervision, incluant la conception et la construction d'un déversoir et les travaux d'aménagement pour la gestion des eaux de surface, sont maintenant calculés en appliquant 10 % à l'ensemble des coûts.

Les coûts de démantèlement ont été calculés séparément pour chaque bâtiment, tels que présentés à l'annexe G, et le pourcentage de la contingence a été augmenté à 15 %.

Tableau 10: Estimation des coûts de restauration pour les items inclus dans la garantie financière

Description	Quantité	Unité	Coût unitaire	Total
1.0 Sécurisation des lieux				
1.1 Sécurisation de la fosse (clôture)	6 703	m	115 \$	770 845 \$
2.0 Bâtiments, infrastructures et équipements				
2.1 Démantèlement des bâtiments*	1	chaque	8 775 000 \$	8 775 000 \$
2.2 Nivelage et scarification des empreintes	69	ha	**2 000 \$	138 200 \$
2.3 Ensemencement hydraulique des empreintes	69	ha	**8 000 \$	552 800 \$
3.0 Réhabilitation des chemins et des surfaces de roulement				
3.1 Nivelage et scarification des empreintes	43	ha	**2 000 \$	85 536 \$
3.2 Ensemencement hydraulique des empreintes	43	ha	** 8 000 \$	342 144 \$
3.3 Démantèlement des fossés et des ponceaux	1	chaque	660 000 \$	660 000 \$
4.0 Sols contaminés et déchets				
4.1 Provision pour la gestion des sols contaminés	1	chaque	4 400 000 \$	4 400 000 \$
4.2 Provision pour la gestion des matières résiduelles dangereuses	1	chaque	550 000 \$	550 000 \$
5.0 Restauration de la fosse				
5.1 Mise en eau	2	ans	1 100 000 \$	2 200 000 \$
5.2 Préparation des talus extérieurs (réalisée)	-	ha	16 000 \$	- \$
5.3 Reboisement des talus extérieurs	17.5	ha	**3 000 \$	52 500 \$



Description	Quantité	Unité	Coût unitaire	Total
6.0 Restauration des infrastructures de gestion des eaux				
6.1 Préparation de l'empreinte du bassin Sud-est (incluant caractérisation et gestion des sédiments)	132,3	ha	**16 000 \$	2 116 800 \$
6.2 Reboisement de l'empreinte du bassin Sud-est	132,3	ha	**3 000 \$	396 900 \$
6.3 Reboisement de l'empreinte du bassin Johnson	16,1	ha	**3 000 \$	48 300 \$
6.4 Préparation de l'empreinte du bassin d'urgence	6,5	ha	**16 000 \$	104 000 \$
6.5 Reboisement de l'empreinte du bassin d'urgence	6,5	ha	**3 000 \$	19 500 \$
6.6 Préparation de l'empreinte du bassin de pompage Nord-est	19,5	ha	**16 000 \$	312 000 \$
6.7 Reboisement de l'empreinte du bassin de pompage Nord-est	19,5	ha	**3 000 \$	58 500 \$
6.8 Préparation de l'empreinte du bassin de polissage 2015	10,5	ha	**16 000 \$	168 000 \$
6.9 Reboisement de l'empreinte du bassin de polissage 2015	10,5	ha	**3 000 \$	31 500 \$
6.10 Préparation de l'empreinte du bassin de pompage Sud-ouest	0,7	ha	**16 000 \$	11 200 \$
6.11 Reboisement de l'empreinte du bassin de pompage Sud-ouest	0,7	ha	**3 000 \$	2 100 \$
6.12 Préparation de l'empreinte du bassin de pompage Est	0,4	ha	**16 000 \$	6 400 \$
6.13 Reboisement de l'empreinte du bassin de pompage Est	0,4	ha	**3 000 \$	1 200 \$
7.0 Halde à stériles				
Surfaces horizontales (plateau supérieur est seulement, environ moitié de la totalité du plateau supérieur de la halde)				
7.1 Recouvrement de faible perméabilité (surfaces horizontales)	70.7	ha	**50 000 \$	3 353 065 \$
7.2 Recouvrement de protection en stériles (surfaces horizontales)	70.7	ha	10 000\$	707 013 \$
7.3 Mise en place de mort-terrain (surfaces horizontales)	70.7	ha	**5 000 \$	353 507 \$
7.4 Ensemencement hydraulique et végétalisation (surfaces horizontales)	70.7	ha	**3 000 \$	212 104 \$



Description	Quantité	Unité	Coût unitaire	Total
Pentes de la halde à stériles (pentes des deux derniers plateaux est seulement)				
7.5 Préparation des pentes	29.3	ha	**15 000 \$	439 838 \$
7.6 Recouvrement de faible perméabilité des pentes	29.3	ha	**65 000 \$	1 905 963 \$
7.7 Recouvrement de protection en stériles des pentes	29.3	ha	**15 000\$	439 383 \$
7.8 Mise en place de mort-terrain dans les pentes	29.3	ha	**6 000 \$	175 935 \$
7.9 Ensemencement hydraulique des pentes avec retouche	29.3	ha	**3 000 \$	87 968 \$
7.10 Conception et aménagement pour la gestion des eaux de drainage	forfaitaire		1 000 000 \$	1 000 000 \$
8.0 Restauration des haldes mixte, à minerai et à mort-terrain (1)				
8.1 Préparation de l'empreinte – Halde mixte	57,0	ha	**15 000 \$	855 000 \$
8.2 Reboisement de l'empreinte – Halde mixte	57,0	ha	**3 000 \$	171 000 \$
8.3 Préparation de l'empreinte – Halde à minerai	4,9	ha	**15 000 \$	73 500 \$
8.4 Reboisement – Halde à minerai	4,9	ha	**3 000 \$	14 700 \$
8.5 Préparation du terrain (trois haldes à mort-terrain)	57,1	ha	**15 000\$	856 500 \$
8.6 Reboisement de l'empreinte – Halde à mort-terrain nord-ouest	7,4	ha	**3 000 \$	22 200 \$
8.7 Reboisement – Halde à mort-terrain au sud de la halde mixte	6,9	ha	**3 000 \$	20 700 \$
8.8 Reboisement de l'empreinte – Halde à mort-terrain est	42,8	ha	**3 000 \$	128 400 \$
9.0 Restauration du parc à résidus				
9.1 Gestion de l'eau (aménagement pour la gestion des eaux de surface)	1,0	chaque	2 750 000 \$	2 750 000 \$
9.2 Préparation du terrain (plateau final plus la surface des quatre derniers rehaussements)	358	ha	**15 000 \$	5 220 000 \$
9.3 Recouvrement de faible perméabilité (plateau final plus la surface des quatre derniers rehaussements)	358	ha	**50 000 \$	17 900 000 \$



Description	Quantité	Unité	Coût unitaire	Total
9.4 Recouvrement de protection de stérile (plateau final plus la surface des quatre derniers rehaussements)	358	ha	**10 000 \$	3 580 000 \$
9.5 Mise en place de mort-terrain (plateau final plus la surface des quatre derniers rehaussements)	358	ha	**5 000 \$	1 790 000 \$
9.6 Végétalisation et hydroensemencement au parc (plateau final plus la surface des quatre derniers rehaussements)	358	ha	**3 000 \$	1 074 000 \$
10.0 Suivi post-restauration				
10.1 Suivi agronomique	5	ans	100 000 \$	500 000 \$
10.2 Intégrité des ouvrages	5	ans	35 000 \$	175 000 \$
10.3 Suivi environnemental post-exploitation	2	ans	250 000 \$	500 000 \$
10.4 Suivi environnemental post-restauration	10	ans	250 000 \$	2 500 000 \$
Sous-total				68 791 653 \$
Frais d'ingénierie 10 %				6 879 165 \$
Contingence de 15 %				10 318 748 \$
Total				85 989 567 \$

* Le total des coûts de démantèlement, tels qu'estimés dans le rapport présenté à l'annexe G, est de 9 750 000 \$ et inclut une contingence de 10 %. Puisque l'estimation des coûts de restauration nécessite aussi l'ajout d'une contingence de 15 %, la contingence de 10 % a été soustraite et le coût de démantèlement présenté à l'item 2.1 est de 8 775 000 \$.

** Coûts unitaires fournis par CMGP.

Le total des coûts associés à la restauration de la Mine est de 85 989 567 \$.

L'objectif principal de l'implantation des mesures complémentaires décrites plus haut est de débiter rapidement les travaux de restauration progressive et de les terminer à la fin de la vie de la Mine ou peu après. Les investissements nécessaires en ce qui a trait à la conception et à la construction d'une unité de désulfuration seraient faits (advenant que cette option soit retenue pour la restauration) pendant l'opération. Il est présentement envisagé que les coûts d'opération de l'unité soient inclus dans les coûts d'opération de la Mine. La mise en place du recouvrement serait faite pendant l'opération. Si la planification, qui sera raffinée au cours des deux prochaines années, montrait que la mise en place doit se prolonger au-delà de la vie opérationnelle de la Mine, un ajustement du coût de restauration serait fait lors de la prochaine mise à jour du plan de restauration.

L'usine de traitement de l'effluent final est en opération normale depuis le début 2015, et est utilisée au besoin pour le traitement de l'eau de l'effluent. Selon les provisions du plan actuel, un contrôle de la qualité de l'effluent, de par le maintien de l'usine de traitement de l'effluent final, est déjà prévu pour la période de post-restauration. Il est anticipé qu'avec l'avancement de la restauration progressive, les secteurs restaurés depuis quelques années et sous observation serviront de témoins. Les coûts seront donc ajustés dans les prochaines éditions du plan de fermeture, si nécessaire, et tel que statué dans le plan de fermeture.



10.0 RÉFÉRENCES

- Eakins, P.R., 1962. Geological Setting of Gold Deposits of the Malartic District, Quebec. Ministère des Ressources naturelles du Québec, RG -99, 139 pages.
- Fallara, F., Simon-Ross, P. et Sansfaçon, R., 2000. Caractérisation géochimique, pétrographique et structurale : nouveau modèle métallogénique du camp minier de Malartic. Ministère des Ressources naturelles du Québec, MB 2000-15.
- Genivar (2008). Projet minier aurifère Canadian Malartic – Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social – Rapport principal. Rapport de GENIVAR société en commandite à la Corporation minière Osisko. 734 pages et annexes.
- Golder Associés Ltée, 2009a. *Mine Canadian Malartic - Plan de restauration Version I*. Décembre 2009. Réf. # 001-09-1221-0039.
- Golder Associés Ltée, 2009b. *Estimation par modélisation numérique du débit d'eau s'exfiltrant du parc à résidus vers le roc – Corporation minière Osisko – Révision 1*. 6 mai 2009. Réf. # 07-1221-0028-3700.
- Golder Associés Ltée. 2009c. *Deuxième série de réponses aux questions et commentaires du MRNF concernant le plan de restauration – Canadian Malartic (lettre du 22 décembre 2010)*. 25 février 2011. 004-09-1221-0039-MTF.
- Golder Associés Ltée, 2011a. *Réponses aux questions et commentaires du MDDEP - Plan de restauration du projet Canadian Malartic*. 4 février 2011. Réf. # 003-09-1221-0039.
- Golder Associés Ltée, 2012. *Mine Canadian Malartic: Étude conceptuelle du remblaiement des fosses Gouldie et Charlie avec des stériles miniers*. 31 mai 2012. 001-12-1221-0025-1000-MTF
- Golder Associés Ltée, 2014a. *Plan de gestion des eaux – bilan d'eau – conditions ultimes d'opération*. 048-13-1221-0020
- Golder Associés Ltée, 2014b. *Caractérisation géochimique des stériles et des résidus miniers- Interprétation des essais statiques sur les échantillons prélevés par Osisko, mine Canadian Malartic*. 2014. 019-13-1221-0020-5010.
- Golder Associés Ltée, 2014c. *Évaluation du temps de remplissage de la fosse*. 042-13-1221-0020-2030.
- Golder Associés Ltée. 2014d. *Rapport de caractérisation des résidus miniers*. Novembre 2014. 021-13-1221-0020-3020.
- Golder Associés Ltée, 2014e. *Évaluation du potentiel de la fosse Canadian Malartic pour une utilisation comme aire d'accumulation de stériles et de résidus miniers*. 2014. 020-13-1221-0020-2010.
- Golder Associés Ltée, 2014f. *Conception du prolongement du parc à résidus et de la halde à stériles*. Novembre 2014. 008-1403061-4000.
- Golder Associés Ltée, 2014g. *Plan de restauration – Mise à jour 2014. Juin 2014*. 003-13-1221-0124-Rev0.



- Golder Associés Ltée, 2014h. Mise à jour du concept de restauration de la mine Canadian Malartic – Projet d’extension de Canadian Malartic. Juin 2014. 037-13-1221-0020-3070-RevC.
- Golder Associés Ltée, 2015a. Travaux de caractérisation géochimique réalisés en 2015. Juillet 2015. 083-13-1221-0020-MTF-RevA.
- Golder Associés Ltée, 2015b. *Réponses aux commentaires du MERN et du MDDELCC*. Janvier 2014. 006-13-1221-0124.
- Guittonny-Larchevêque M, Bussière B, Pednault C. (2015a). Tree-substrate water relations and root development in tree plantations used for mine tailings reclamation. Soumis à Journal of Environmental Quality.
- Guittonny-Larchevêque M. (2015b). Selecting graminoids to increase substrate macroporosity for the revegetation of milled tailings of a gold mine. Mine Closure 2015 Proceedings. Mine Closure 2015, Vancouver, Canada, 2015-06-02 (851-862).
- Larchevêque, M., Desrochers, A., Bussière, B. Cartier, H., Baribeau, C., Pednault, C. et David, J.-S. 2012. *How to grow trees on the wastes of a boreal gold mine – identification of the main physico-chemical limitations*. In *Mine Closure 2012*, Fourie A.B. & Tibbett M. (Eds), Australian Center for Geomechanics, The University of Western Australia, 467-480.
- Larchevêque, M., Desrochers, A., Bussière, B., Cartier, H. et David, J.-S.. 2013. *Revegetation of non acid-generating, thickened tailings with boreal trees: a greenhouse study*. Journal of Environmental Quality 42: 351-360. Répertoire des municipalités, Ministères des Affaires municipales, Régions et Occupation du territoire du Québec. Page internet consultée le 21 avril 2013 : <http://www.mamrot.gouv.qc.ca/repertoire-des-municipalites>.
- Larchevêque M, Desrochers A, Bussière B, Cimon D. (2015). *Planting trees in soils above non-acid generating wastes of a boreal gold mine*. *Ecoscience*. 21(3-4)
- WSP Canada Inc. (2015). Rapport principal d’étude d’impact sur l’environnement du projet d’Extension de la Mine aurifère Canadian Malartic et déviation de la route 117 à l’entrée est de la ville de Malartic. Rapport réalisé pour Canadian Malartic GP. 13 chapitres et annexes.



Page signatures de projet

GOLDER ASSOCIÉS LTÉE

Caroline-Emmanuelle Morisset, Ph.D., géo.
Géochimiste

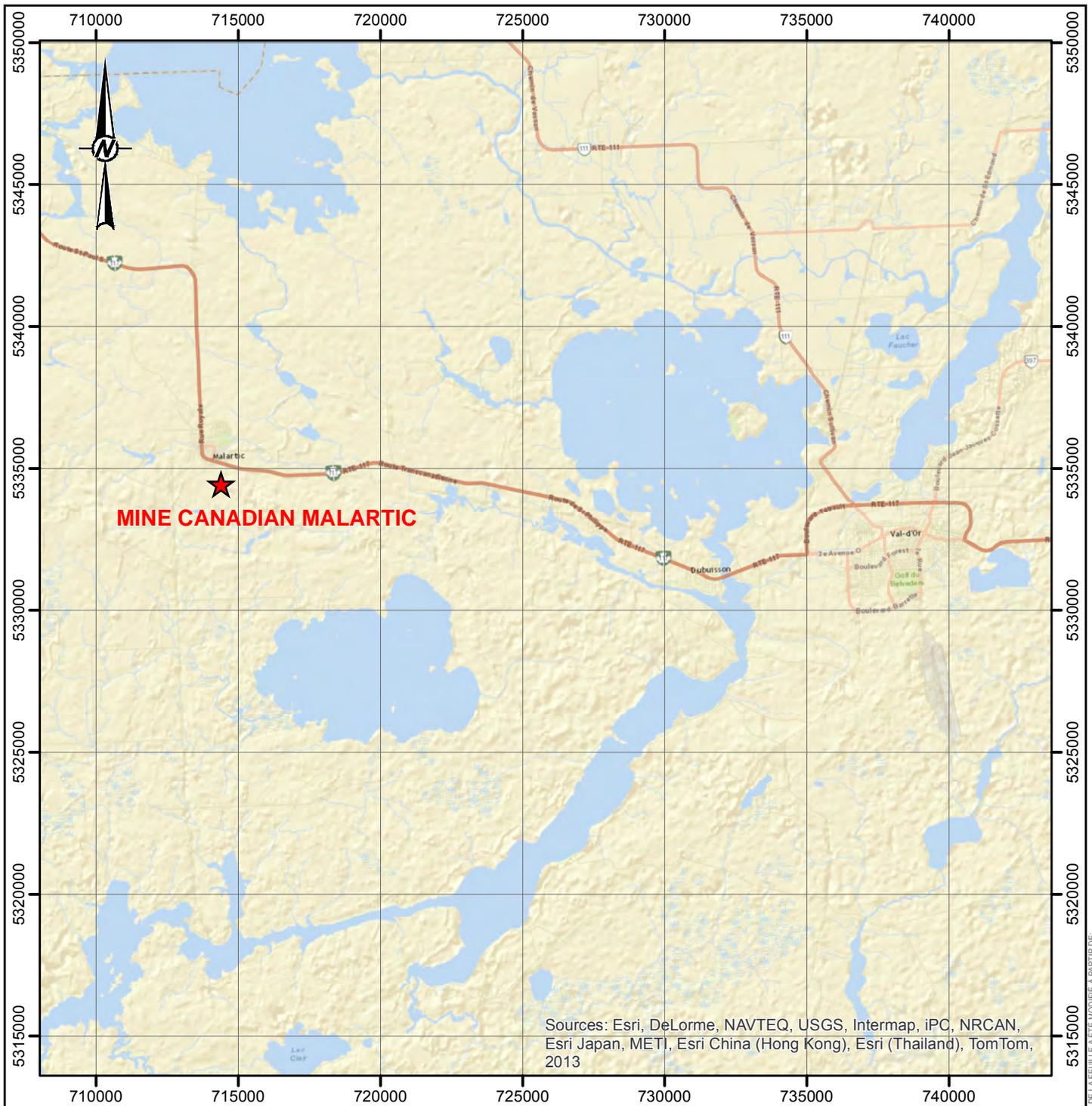
Marielle Limoges Shaiget, ing., P.Eng (TN)
Ingénieure géologue

Mayana Kissiova, ing., M.Eng.
Associée principale et directrice de projet

CEM/MLS/MK/jlm

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

\\golder.gds\gal\montreal\actif\2015\3 proj\1527286 cmgp ministere malartic\5 préparation livrables\20100- qministère- phase iii- mai 2015\q259\rev0\qc259-1527286_rev0.docx



Sources: Esri, DeLorme, NAVTEQ, USGS, Intermap, iPC, NRCAN, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), Esri (Thailand), TomTom, 2013

CLIENT
CANADIAN MALARTIC GP

PROJET
PLAN DE RESTAURATION
MISE À JOUR 2015

TITRE
PLAN DE LOCALISATION DE LA MINE CANADIAN MALARTIC

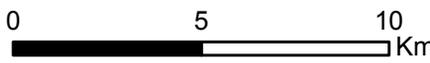
CONSULTANT	AAAA-MM-JJ	2015-08-18
	PROJETÉ	M. Limoges
	DESSINÉ	R. Gravel
	VÉRIFIÉ	C.-E. Morisset
	APPROUVÉ	M. Kissiova

PROJET 1527286 PHASE 20100 Rév. 0 FIGURE 1

CONFIDENTIEL

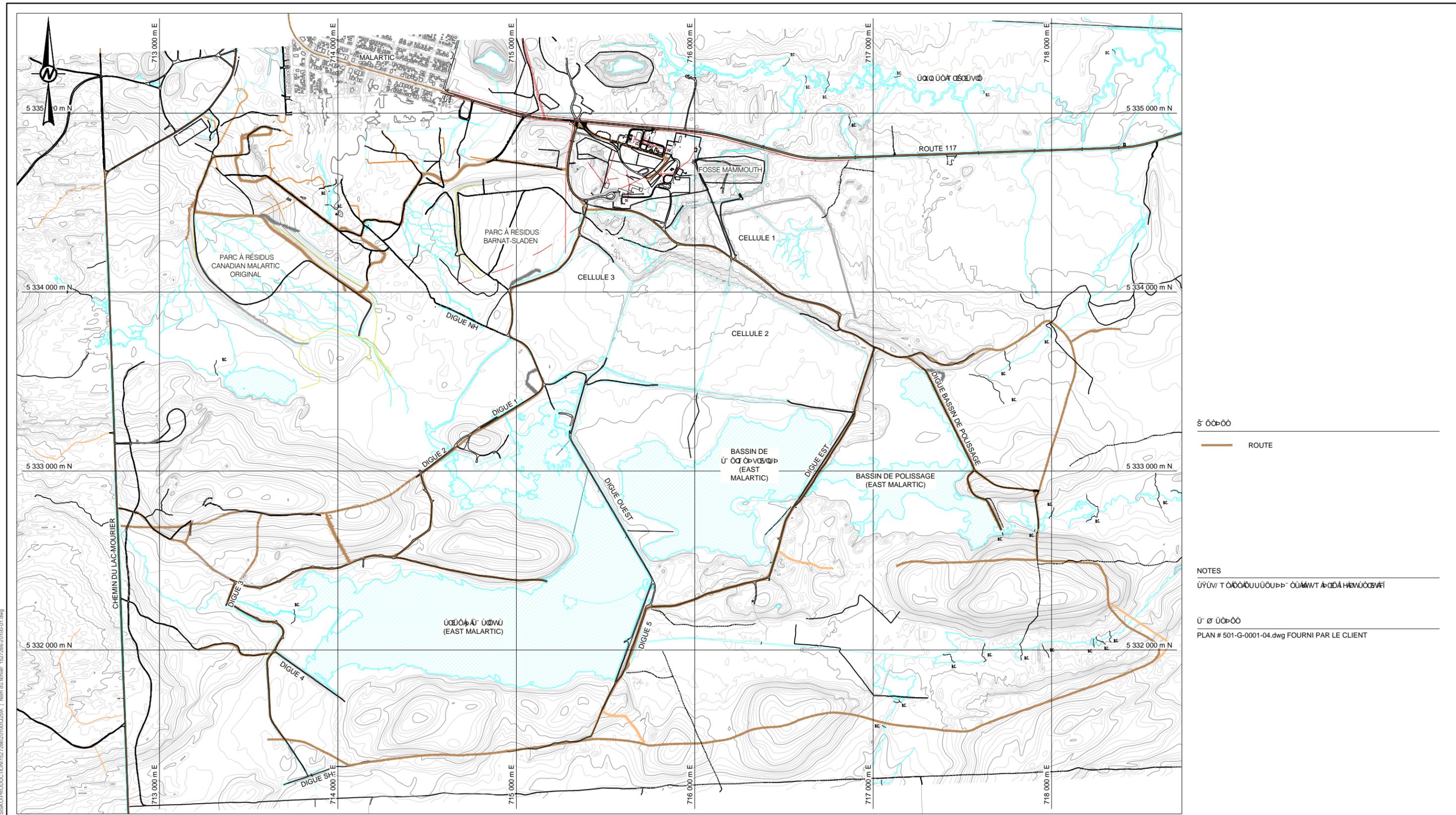
NOTES

SYSTÈME DE COORDONNÉES:
NAD 83, UTM ZONE 17



Path: H:\CAD\PROJETS\OSISKO\PRODUCTION\1527286\201002\59\1527286-20100-01.mxd

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



NOTES
ΥΠΟΥ Τ ΟΔΟΠΟΙΟΥΣΟΥΠΡ ΟΥΜΑΝΤ Α ΟΕΑ Η ΕΜΠΟΕΝΕΙ
Τ Τ ΟΠΟ
PLAN # 501-G-0001-04.dwg FOURNI PAR LE CLIENT

CONFIDENTIEL

CLIENT
CANADIAN MALARTIC GP

PROJET
PLAN DE RESTAURATION
Τ ΟΠ ΑΡ ΜΩ Α ΕΠ

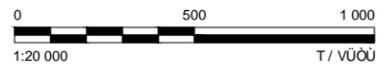
CONSULTANT

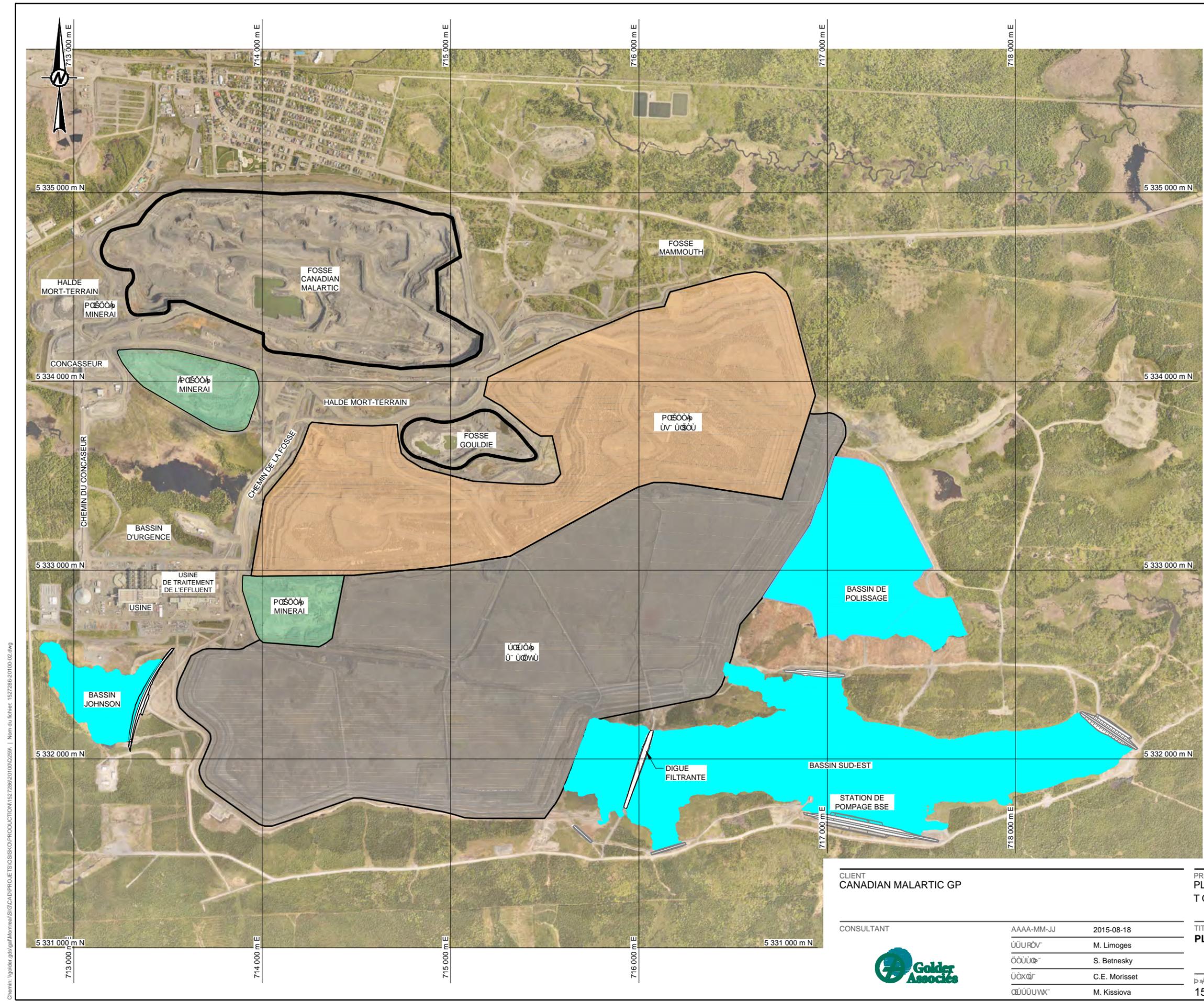


AAAA-MM-JJ	2015-08-18
ΟΟΟΥΡΩΝ	M. Limoges
ΟΟΟΥΩ	S. Betnesky
ΥΟΧΩ	C.E. Morisset
ΑΕΥΟΥΩΚ	M. Kissiova

TITRE
UTILISATION ANTÉRIEURE

Π ΟΥΟΥΡΩΝ	PHASE	0. Ε
1527286	20100	0





ΣΥΜΒΟΛΟ

- ΟΤ ΥΠΟΦΩΤ ΥΟ ΣΩΡ ΟΛΥΜΩΣΕΡΑΙΟΦΑΛΥΝ ΎΔΡΟΥ -2015
- ΟΤ ΥΠΟΦΩΤ ΥΟ ΣΩΡ ΟΛΥΜΩΣΟΛΥΟΦΑΛΥ ΎΔΡΟΥ -2015
- ΟΤ ΥΠΟΦΩΤ ΥΟ ΣΩΡ ΟΠΟΙΩΣΕΡΑΙΟΦΑΤ ΦΕΡΟΥΑΙ
- LIMITE DE LA FOSSE

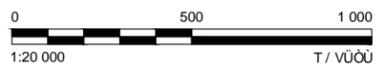
NOTE

ΥΨΥΥ Τ ΟΠΟΙΟΥΥΟΥΠΤ ΟΥΑΜΤ ΑΑΕΑ ΗΕΖΥΟΑΤ

ΥΨΥΟΥΟ

PHOTOS FOURNIES PAR OSISKO (JUN 2015)

CONFIDENTIEL



CLIENT
CANADIAN MALARTIC GP

PROJET
PLAN DE RESTAURATION
ΤΟΥ ΑΥΛΟΥ

CONSULTANT

AAAA-MM-JJ	2015-08-18
ΥΟΥΟΥ	M. Limoges
ΟΟΥΟΥ	S. Betnesky
ΥΟΥΟΥ	C.E. Morisset
ΑΕΥΟΥΥΚ	M. Kissiova

TITRE

PLAN GÉNÉRAL DE LA MINE EN 2015



ΠΟΥΟΥΟΥ
1527286

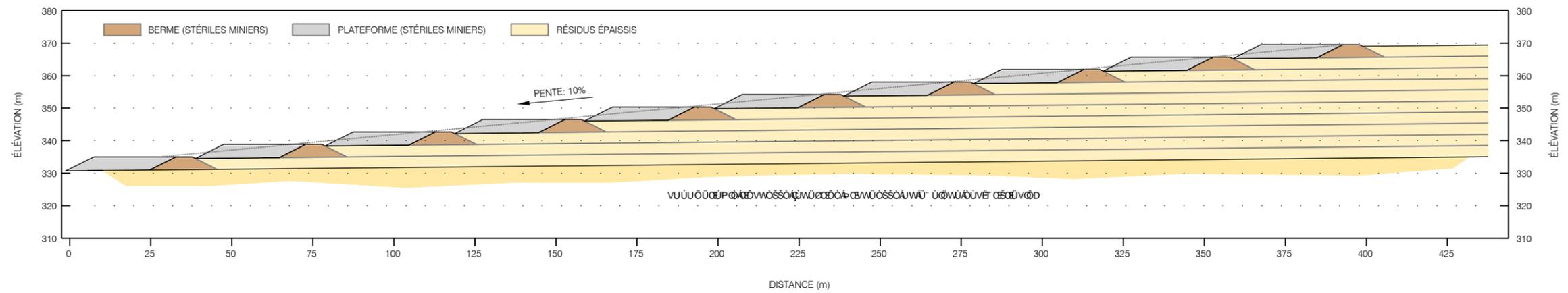
PHASE
20100

Ψ.Ε
0

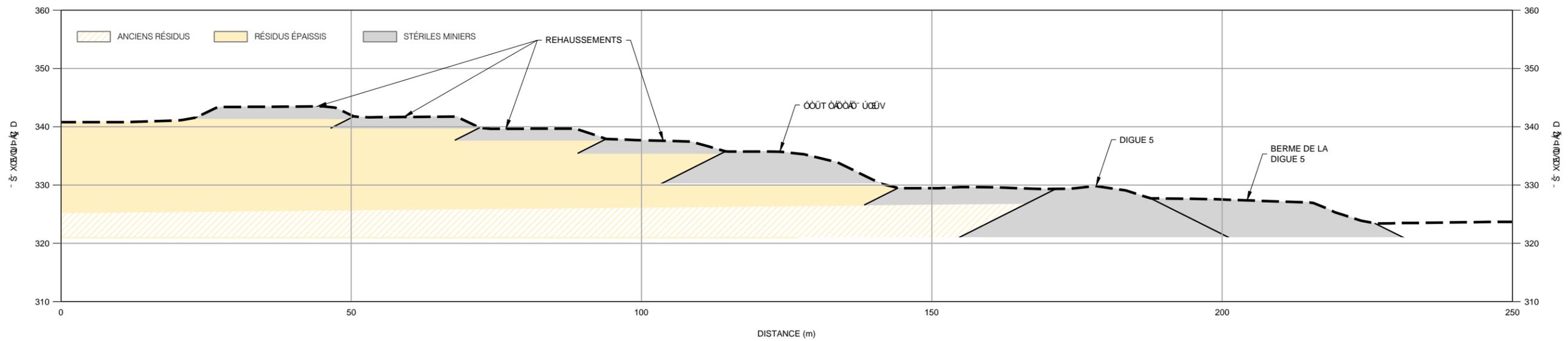
FIGURE
4

Chemins: \golden\gold\proj\osisko\production\1527286\20150818\1527286-2015-08-18.dwg

User: C:\Users\gold\Documents\osisko\proj\osisko\production\1527286\20150818\1527286-2015-08-18.dwg



COUPE TYPE LONGITUDINALE DANS LE SECTEUR DE LA DIGUE 5



COUPE TYPE TRANSVERSALE DANS LE SECTEUR DE LA DIGUE 5

CONFIDENTIEL

CLIENT
CANADIAN MALARTIC GP

CONSULTANT

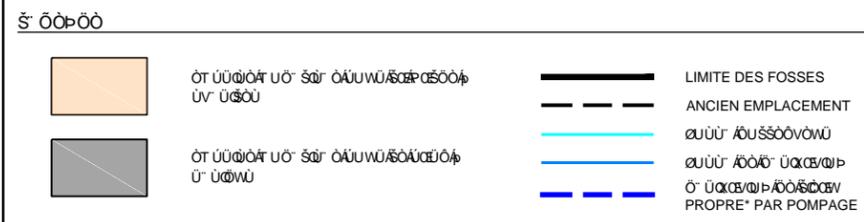
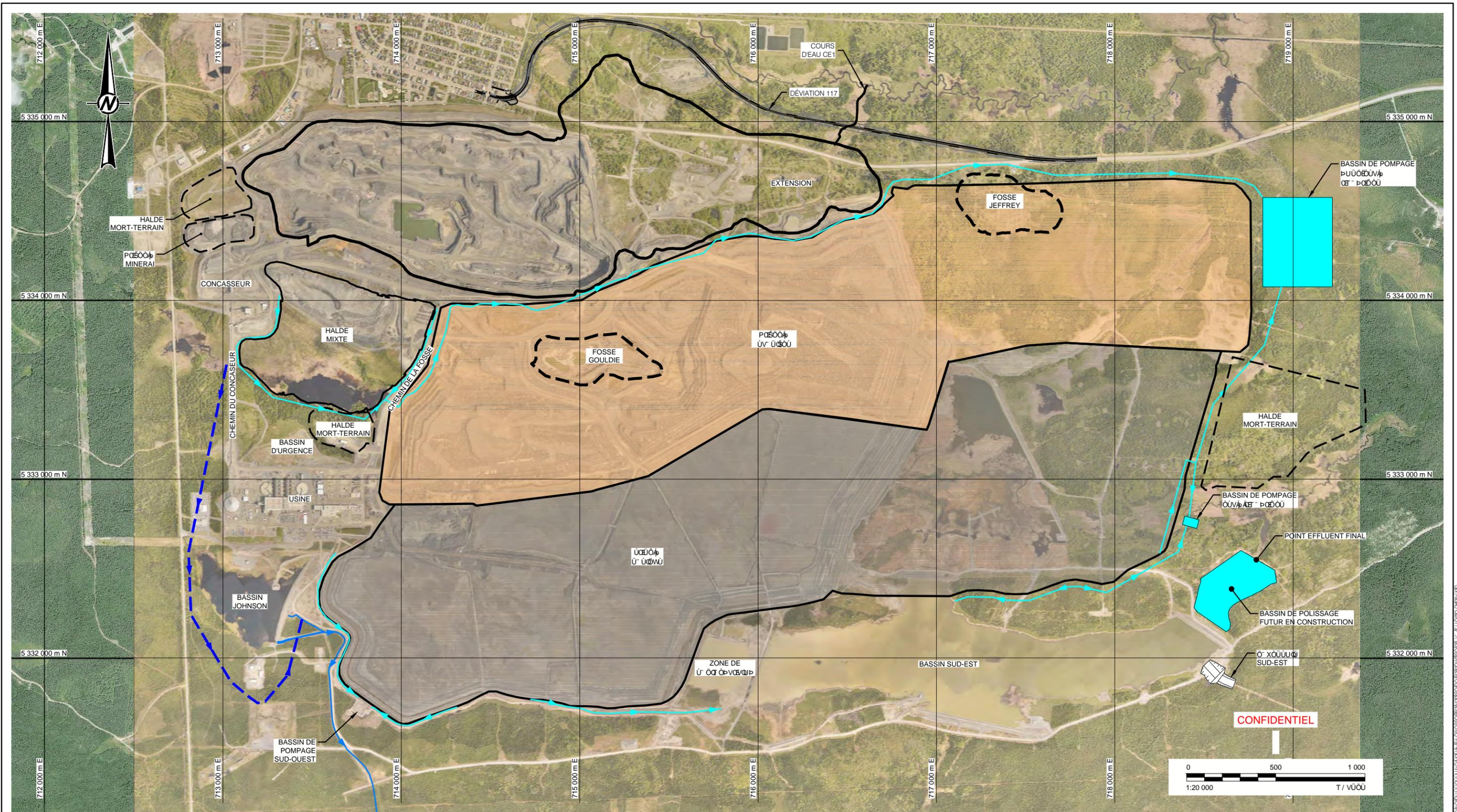


AAAA-MM-JJ 2015-08-18
 ΟΥΟΥΡΩΝ M. Limoges
 ΟΟΟΥΩ S. Betnesky
 ΟΟΧΩ C.E. Morisset
 ΟΕΙΟΥΩΧ M. Kissiova

PROJET
PLAN DE RESTAURATION
TΩΩΑΡΩΩΩΓΕΓ

TITRE
SECTION TYPE DE LA GÉOMÉTRIE DES REHAUSSEMENTS DU PARC À RÉSIDUS AVEC UNE COUPE TYPE À LA DIGUE 5

1527286 PHASE 20100 0 FIGURE 5



NOTE
 ΕΥΥΜ/Τ ΤΟ ΟΔΟΤΗΤΑΡ ΟΔΥΜΩΣΕΩΣ ΟΔΥΜΩΣΕΩΣ
 -LES EAUX DITES COMME PROPRES SONT LES EAUX DE RUISSELLEMENT P
 ΣΟΥΥ ΟΔΥΜΩΣΕΩΣ ΟΔΥΜΩΣΕΩΣ ΟΔΥΜΩΣΕΩΣ
 ΟΪΟΔΟΤΗΤΑ

ΟΪΟΔΟΤΗΤΑ

- PHOTOS FOURNIES PAR OSISKO ET CMGP (JUILLET 2012 ET JUIN 2015)
- CONTOURS DES FOSSES FOURNI PAR CMGP (OCTOBRE 2014)

CLIENT
 CANADIAN MALARTIC GP

CONSULTANT



AAAA-MM-JJ	2015-08-18
ΟΔΥΜΩΣ	M. Limoges
ΟΔΥΜΩΣ	S. Betnesky
ΟΔΥΜΩΣ	C.E. Morisset
ΟΔΥΜΩΣ	M. Kissiova

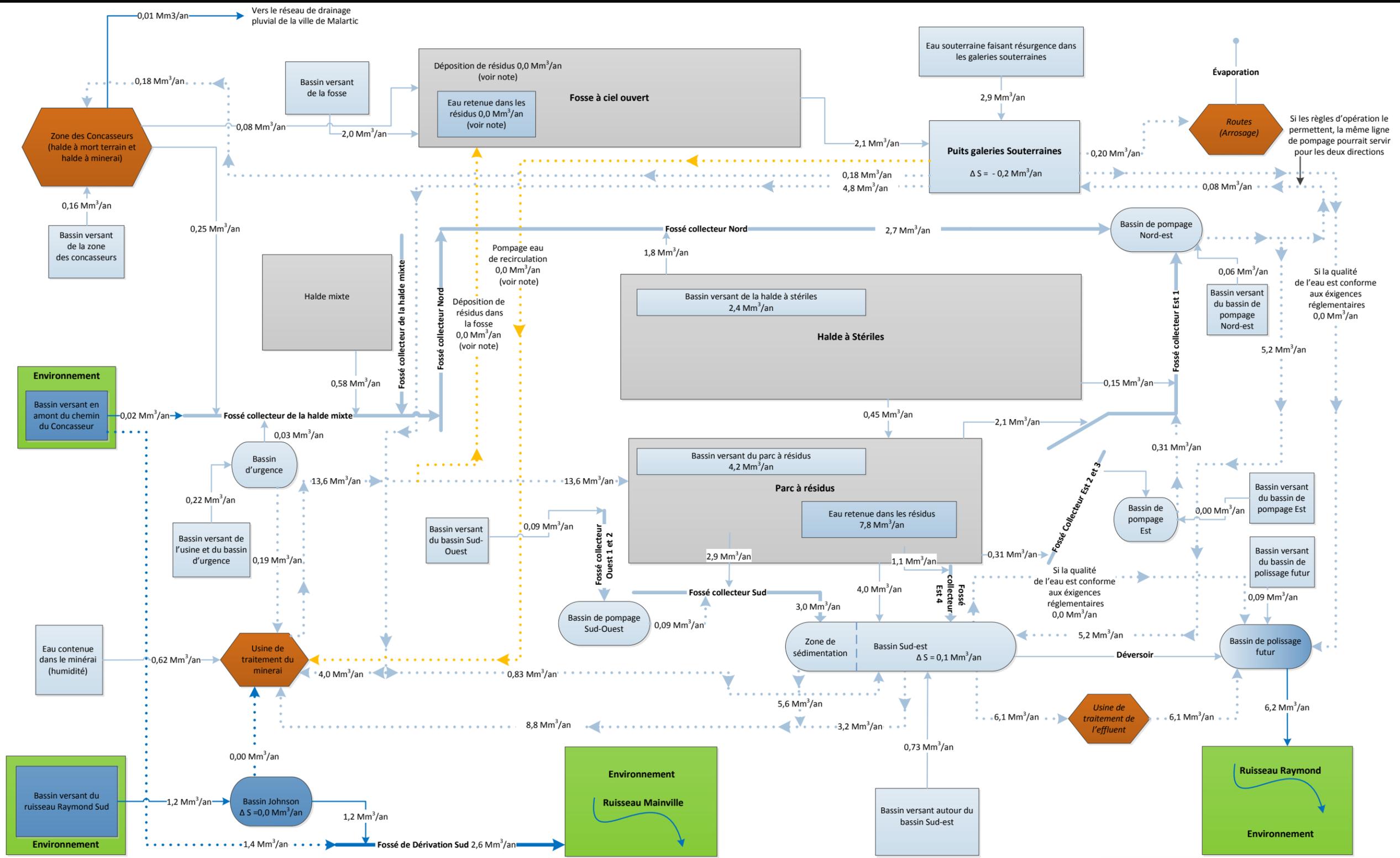
PROJET
 PLAN DE RESTAURATION
 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟ

TITRE
 VUE EN PLAN SCHÉMATI UE
 MINE CANADIAN MALARTIC

PROJET	PHASE	É.Γ.Ε.	FIGURE
1527286	20100	0	6

Chem: \goldier\gds\gdm\PROJET\SISKO\PRODUCTION\1527286\2010\02\59\ Nom du fichier: 1527286-2010\04.dwg

25 mm



LÉGENDE

- Conduite
- Fossé gravitaire —
- Cours d'eau naturel
- Batiments / Routes
- Bassins
- Aires des sites/ Bassins versants
- Eau propre
- Eau de contact
- Fosse à ciel ouvert / zones de dépositions
- Batiments / Routes
- Environnement

ΔS = Emmagasiner d'eau pendant la simulation

NOTE:
 Conduite de pompage SEULEMENT s'il y a Déposition de résidus dans la fosse

PROJET PLAN DE RESTAURATION – MISE À JOUR 2015

TITRE **DIAGRAMME DES FLUX EN CONDITIONS ULTIMES**

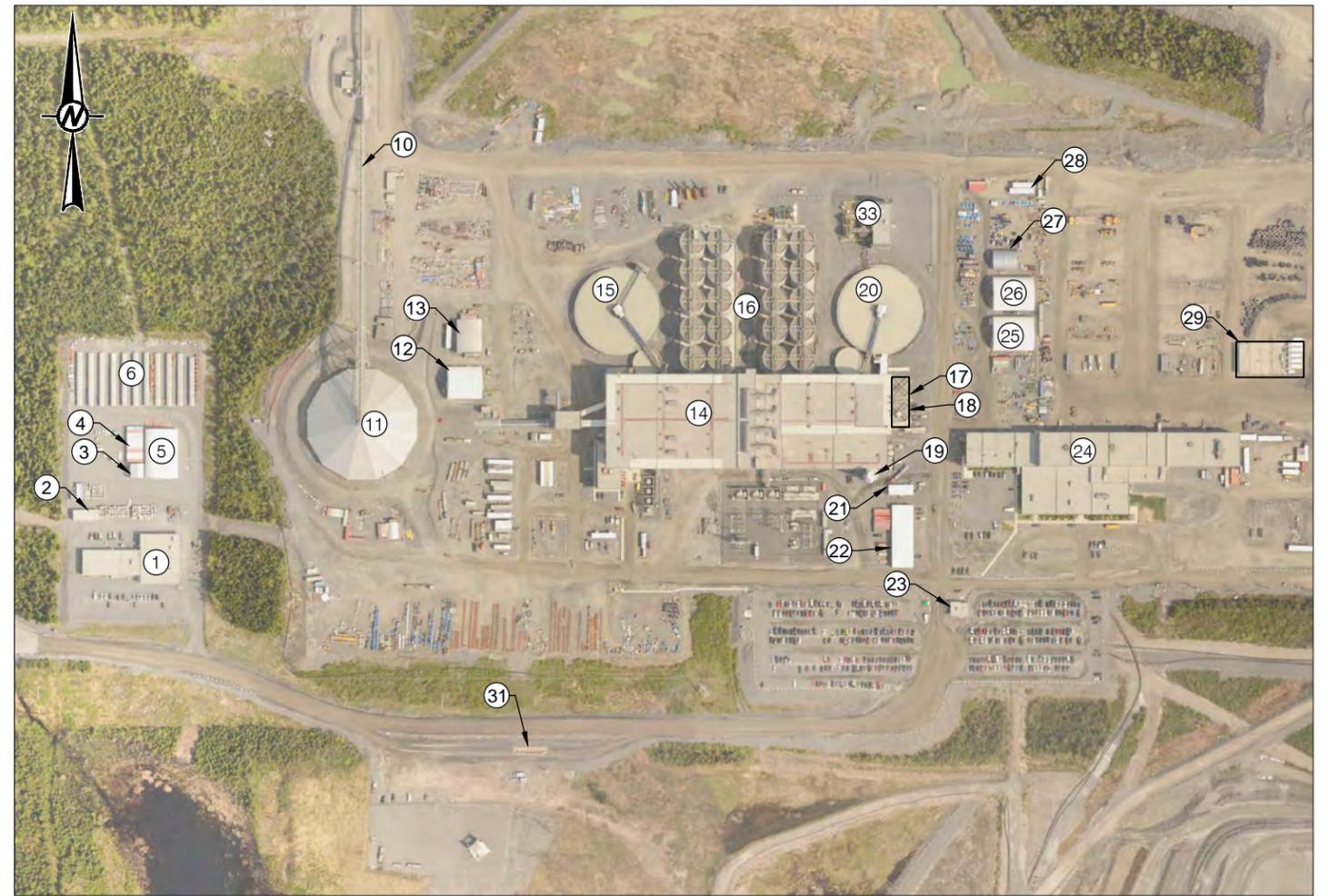
No. PROJET. 1527286	No. FICHER 1527286
PROJETÉ V.R. 2013-08-05	REV./#
DÉSSINÉ F.F. 2013-08-05	
VÉRIFIÉ J.-P.L. 2014-11-04	
APPROUVÉ M.K. 2014-11-04	

FIGURE 7

Golden Associés



VUE DU SITE
- OP OSSOFA M AEE



VUE DU COMPLEXE MINIER
- OP OSSOFA M AEE

Σ ΟΡΘΟΡΘΩΣ ΓΡΑΦΗ

- | | |
|---|--|
| 1. BUREAU D'EXPLORATION CANADIAN MALARTIC ET GARAGES | 20. ΟΡΘΟΡΘΩΣ: ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗΡΙΑ |
| 2. ΟΡΘΟΡΘΩΣ/ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗΡΙΑ | 21. ROULOTTE DE CHANTIER |
| 3. PETIT GARAGE | 22. ROULOTTE DE CHANTIER |
| 4. Τ' ΟΡΘΟΡΘΩΣ | 23. POSTE DE GARDE |
| 5. Τ' ΟΡΘΟΡΘΩΣ | 24. ΟΡΘΟΡΘΩΣ ΤΕΡΜΑΤΟΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ |
| 6. ΟΡΘΟΡΘΩΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ | 25. Τ' ΟΡΘΟΡΘΩΣ |
| 7. CONCASSEUR PRIMAIRE | 26. Τ' ΟΡΘΟΡΘΩΣ |
| 8. CONCASSEUR SECONDAIRE | 27. Τ' ΟΡΘΟΡΘΩΣ |
| 9. Τ' ΟΡΘΟΡΘΩΣ | 28. ROULOTTE |
| 10. ΟΡΘΟΡΘΩΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ | 29. ΟΡΘΟΡΘΩΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ |
| 11. Τ' ΟΡΘΟΡΘΩΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ | 30. GARAGE NORASCON |
| 12. Τ' ΟΡΘΟΡΘΩΣ | 31. BALANCE POUR CAMION |
| 13. GARAGE MULTI-SERVICES | 32. STATION DE POMPAGE DU BASSIN JOHNSON |
| 14. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗΡΙΑ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ | 33. USINE DE TRAITEMENT DE L'EFFLUENT |
| 15. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗΡΙΑ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ | 34. STATION DE POMPAGE DU BASSIN SUD-EST |
| 16. CUVES DE LIXIVIATION | 35. STATION DE POMPAGE DE L'USINE DE TRAITEMENT DE L'EAU |
| 17. ΟΡΘΟΡΘΩΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ | 36. ΟΡΘΟΡΘΩΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ |
| 18. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗΡΙΑ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ | 37. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗΡΙΑ |
| 19. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗΡΙΑ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ | 38. ROULOTTE POUR CHANGEMENT DE QUART |
| | 39. USINE D'EXPLOSIFS ORICA |
| | 40. GARAGE AU SUD DE LA DIGUE 5 |

NOTES

ΥΠΟΥΧΟΛΟΓΙΣΤΗΡΙΑ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ

ΠΡΟΣΟΧΗ

ΥΠΟΥΧΟΛΟΓΙΣΤΗΡΙΑ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ/ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ

CONFIDENTIEL



CLIENT
CANADIAN MALARTIC GP

CONSULTANT

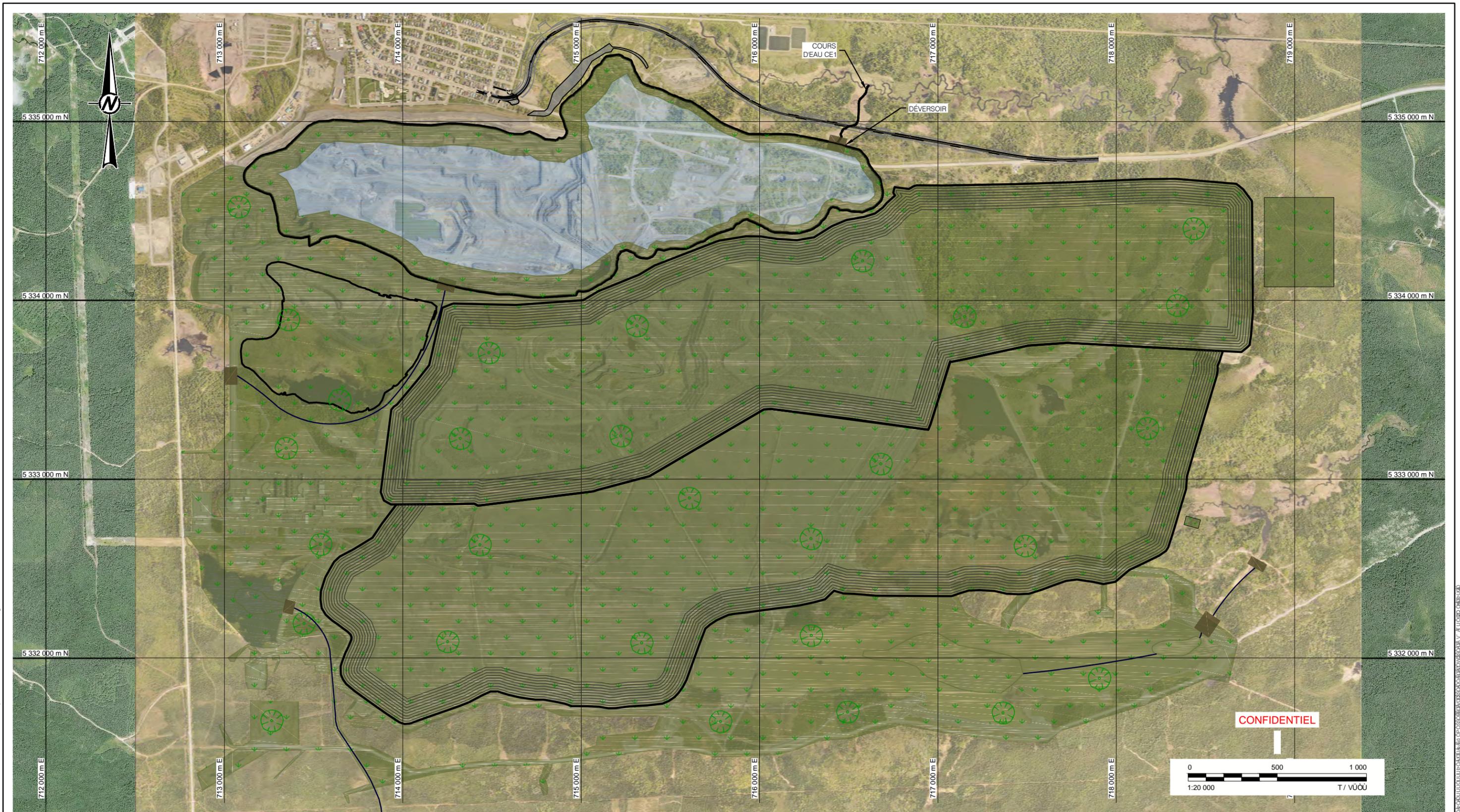


AAAA-MM-JJ	2015-08-18
ΥΠΟΥΧΟΛΟΓΙΣΤΗΡΙΑ	M. Limoges
ΟΡΘΟΡΘΩΣ	S. Betnesky
ΥΠΟΥΧΟΛΟΓΙΣΤΗΡΙΑ	C.E. Morisset
ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ	M. Kissiova

PROJET
PLAN DE RESTAURATION
ΤΕΡΜΑΤΟΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ

TITRE
PLAN DES TIMENTS ET DES IN RASTRUCTURES SUR LE SITE DE LA MINE

ΥΠΟΥΧΟΛΟΓΙΣΤΗΡΙΑ	PHASE	0	FIGURE	9
1527286	20100			



chemin:\goldier\gds\gdm\projets\OSISKO\PRODUCTION\1527286\2010\02\59\1 - Nom du fichier: 1527286-2010\04.dwg

Σ ΟΡΘΟ
 ΟΜΟΙΟΥΣΤΕΥΜΑ ΟΥ

NOTE
 ΕΥΥΜ/Τ ΟΜΟΙΟΥΣΤΕΥΜΑ ΟΥΜΑΤ Α ΟΔΑ Η ΖΥΠΟΑΤ
 -LES EAUX DITES COMME PROPRES SONT LES EAUX DE RUISSELLEMENT P
 ΣΟΥΥ ΥΔΑΥΙΟΟΣΑΥΠΟΔΟΑΧΑΥ Α ΟΣΑΤ ΟΣΕ
Υ Ο ΟΡΘΟ
 • PHOTOS FOURNIES PAR OSISKO (JUILLET 2012 ET JUIN 2015)
 • CONTOURS DES FOSSES FOURNI PAR CMGP (OCTOBRE 2014)

CLIENT
 CANADIAN MALARTIC GP

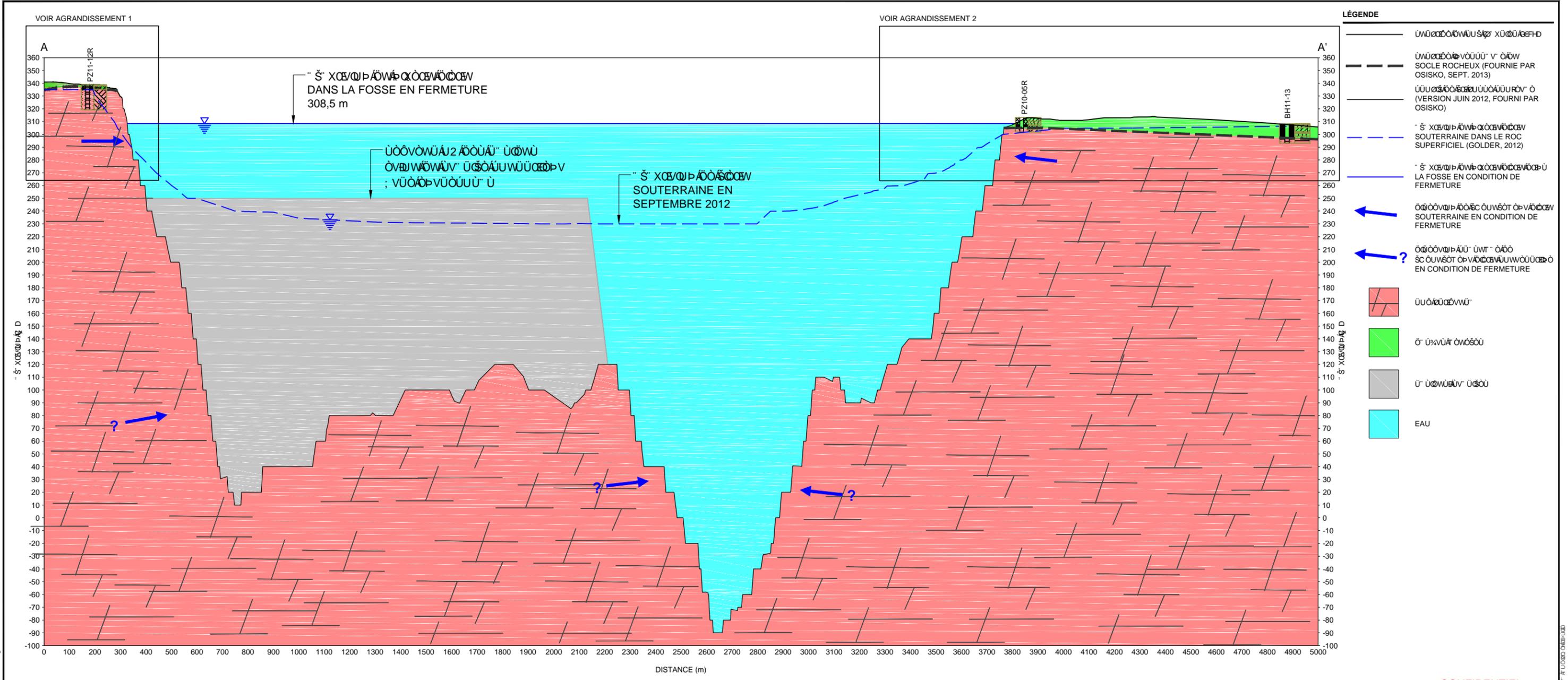
CONSULTANT	AAAA-MM-JJ	2015-08-18
	ΥΟΥΡΩΥ	M. Limoges
	ΟΟΥΟ	S. Betnesky
	ΥΟΧΑΥ	C.E. Morisset
	ΟΕΥΟΥΥΚ	M. Kissiova



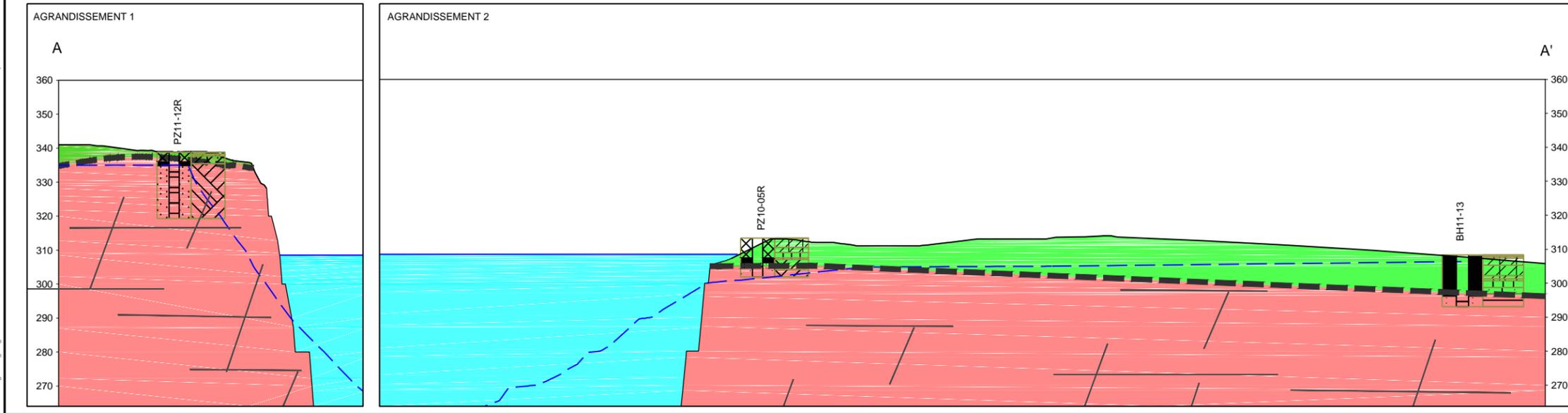
PROJET
 PLAN DE RESTAURATION
 Τ ΟΥ ΑΡΥΥΩΣΕΥ
 TITRE
 VUE SCHÉMATI UE DU SITE APR S RESTAURATION
 MINE CANADIAN MALARTIC

Π ΑΥΟΥΡΩΥ	PHASE	Ú.çÉ	FIGURE
1527286	20100	0	10

25 mm



CONFIDENTIEL



CLIENT
CANADIAN MALARTIC GP

PROJET
PLAN DE RESTAURATION
TQAPAWWAGEFI

TITRE
COUPE SCHÉMATI UE DE LA OSSE ENNOYÉE

CONSULTANT

AAAA-MM-JJ	2015-08-18
ÚÚURÓV	M. Limoges
ÓÓÚÚE	S. Betnesky
ÚÚXW	C.E. Morisset
AEÚÚUWK	M. Kissiova

PHASE
20100

Ú.çÉ
0

FIGURE
11

25 mm

Chemini: \polder_gds\gal\Montreal\G\CAD\PROJETS\OSISKO\PRODUCTION\1527286\20100\Q2591 | Nom du fichier: 1527286-20100-06.dwg



ANNEXE A

Résolution du conseil d'administration

**MANAGEMENT COMMITTEE OF
CANADIAN MALARTIC CORPORATION
(the "Corporation")**

SPECIAL RESOLUTION adopted by unanimous written consent of the Voting Management Committee members of the Corporation as of the 3rd day of September, 2014.

GRANTING OF AUTHORITY

Subject to any restrictions or requirements set forth in the Unanimous Shareholders Agreement, as amended from time to time, **BE IT UNANIMOUSLY RESOLVED:**

1. **THAT** any two (2) of the following persons being any member of the Management Committee or any director or any Vice President appointed by the Management Committee of the Corporation, acting jointly and representing each shareholder of the Corporation, be and they are hereby authorized, for and in the name of and on behalf of the Corporation, to execute and to deliver all agreements, instruments, amendments, certificates and other documents and to do all such other acts or things and to make such filings as he may determine to be necessary or advisable in relation to the business, assets, properties, land, claims or other interests held directly or indirectly by or on behalf of the Corporation, the execution of any such agreement, instrument, amendment, certificate or other document or the doing of any such other act or thing or the making of any such filing being conclusive evidence of such determination.
2. **THAT** the secretary or the treasurer of the Corporation, acting jointly, with any one member of the Management Committee or any one director or any one Vice President appointed by the Management Committee of the Corporation, be and they are hereby authorized, for and in the name of and on behalf of the Corporation, to execute and to deliver all agreements, instruments, amendments, certificates and other documents and to do all such other acts or things and to make such filings as he may determine to be necessary or advisable in relation to the business, assets, properties, land, claims or other interests held directly or indirectly by or on behalf of the Corporation, the execution of any such agreement, instrument, amendment, certificate or other document or the doing of any such other act or thing or the making of any such filing being conclusive evidence of such determination.
3. **THAT** any general manager or any officer of the Corporation be, provided that the value of the commitment made on behalf of the Corporation does not exceed one million Canadian dollars for budgeted items and two hundred and fifty thousand Canadian dollars (CDN\$250,000) for unbudgeted items, authorized, for and in the name of and on behalf of the Corporation, to execute and to deliver all agreements, instruments, amendments, certificates and other documents and to do all such other acts or things as he or she may determine to be necessary or advisable in relation to the business, assets, properties, land,

claims or other interests held directly or indirectly by or on behalf of the Corporation, the execution of any such agreement, instrument, amendment, certificate or other document or the doing of any such other act or thing being conclusive evidence of such determination.

4. **THAT** a limited authority is hereby granted to any other manager or superintendent of the Corporation in accordance with the Policy regarding approval of purchase orders and purchases, as amended from time to time.
5. **THAT** any two (2) members of the Management Committee or any two (2) officers of the Corporation, acting jointly and representing each shareholder of the Corporation, be, provided that the value of the commitment made on behalf of the Corporation does not exceed two hundred and fifty thousand Canadian dollars (CDN\$250,000), authorized, from time to time, to delegate authority in writing to one or more employees, contractors or other delegates to execute and to deliver such agreements, instruments, amendments, certificates and other documents and to do such other acts or things or to make such filings, applications or other communications with any governmental or regulatory authority, including any or all of the actions described in the foregoing resolutions, as they may determine to be necessary or advisable in relation to the business, assets, properties, land, claims or other interests held directly or indirectly by or on behalf of the Corporation, and such delegation may be for either a limited or unlimited period of time, the execution of any such written grant of authority being conclusive evidence of such delegation of authority.
6. **THAT** any preceding resolution pertaining to the granting of authority is hereby repealed and replaced by the foregoing.
7. **THAT** these resolutions may be signed in one or more counterparts and transmitted by electronic means. Each such counterpart is deemed to be an original and together they constitute one and the same set of resolutions.

Yvon Sylvestre
Co-Chair

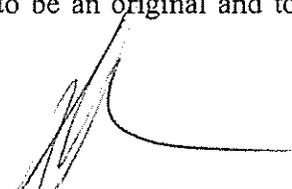


Darcy Marud
Co-Chair

claims or other interests held directly or indirectly by or on behalf of the Corporation, the execution of any such agreement, instrument, amendment, certificate or other document or the doing of any such other act or thing being conclusive evidence of such determination.

4. **THAT** a limited authority is hereby granted to any other manager or superintendent of the Corporation in accordance with the Policy regarding approval of purchase orders and purchases, as amended from time to time.
5. **THAT** any two (2) members of the Management Committee or any two (2) officers of the Corporation, acting jointly and representing each shareholder of the Corporation, be, provided that the value of the commitment made on behalf of the Corporation does not exceed two hundred and fifty thousand Canadian dollars (CDN\$250,000), authorized, from time to time, to delegate authority in writing to one or more employees, contractors or other delegates to execute and to deliver such agreements, instruments, amendments, certificates and other documents and to do such other acts or things or to make such filings, applications or other communications with any governmental or regulatory authority, including any or all of the actions described in the foregoing resolutions, as they may determine to be necessary or advisable in relation to the business, assets, properties, land, claims or other interests held directly or indirectly by or on behalf of the Corporation, and such delegation may be for either a limited or unlimited period of time, the execution of any such written grant of authority being conclusive evidence of such delegation of authority.
6. **THAT** any preceding resolution pertaining to the granting of authority is hereby repealed and replaced by the foregoing.
7. **THAT** these resolutions may be signed in one or more counterparts and transmitted by electronic means. Each such counterpart is deemed to be an original and together they constitute one and the same set of resolutions.

Yvon Sylvestre
Co-Chair



Darcy Marud
Co-Chair

MANAGEMENT COMMITTEE
OF
CANADIAN MALARTIC CORPORATION
(the "Corporation")

on behalf of

CANADIAN MALARTIC GP
(the "Partnership")

SPECIAL RESOLUTION adopted by unanimous written consent of the Voting Management Committee members of the Corporation as of the 3rd day of September, 2014.

GRANTING OF AUTHORITY

Subject to any restrictions or requirements set forth in the Unanimous Shareholders Agreement and Partnership Agreement, as amended from time to time, **BE IT UNANIMOUSLY RESOLVED:**

1. **THAT** any two (2) of the following persons being any member of the Management Committee of the Corporation, or any director or any Vice President appointed by the Management Committee of the Corporation on behalf of the Partnership, acting jointly and representing Yamana Malartic Canada Inc. and 2421451 Ontario Inc., be and they are hereby authorized, for and in the name of and on behalf of the Partnership, to execute and to deliver all agreements, instruments, amendments, certificates and other documents and to do all such other acts or things and to make such filings as he may determine to be necessary or advisable in relation to the business, assets, properties, land, claims or other interests held directly or indirectly by or on behalf of the Partnership, the execution of any such agreement, instrument, amendment, certificate or other document or the doing of any such other act or thing or the making of any such filing being conclusive evidence of such determination.

2. **THAT** the secretary or the treasurer of the Partnership, acting jointly, with any one member of the Management Committee or any one director or any one Vice President appointed by the Management Committee of the Corporation on behalf of the Partnership, be and they are hereby authorized, for and in the name of and on behalf of the Partnership, to execute and to deliver all agreements, instruments, amendments, certificates and other documents and to do all such other acts or things and to make such filings as he may determine to be necessary or advisable in relation to the business, assets, properties, land, claims or other interests held directly or indirectly by or on behalf of the Partnership, the execution of any such agreement, instrument, amendment, certificate or other document or the doing of any such other act or thing or the making of any such filing being conclusive evidence of such determination.

3. **THAT** any general manager or any officer of the Partnership be, provided that the value of the commitment made for and in the name of and on behalf of the Partnership does not exceed one million Canadian dollars for budgeted items and two hundred and fifty thousand Canadian dollars (CDN\$250,000) for unbudgeted items, authorized, for and in the name of and on behalf of the Corporation, authorized to execute and to deliver all agreements, instruments, amendments, certificates and other documents and to do all such other acts or things as he or she may determine to be necessary or advisable in relation to the business, assets, properties, land, claims or other interests held directly or indirectly by or on behalf of the Partnership, the execution of any such agreement, instrument, amendment, certificate or other document or the doing of any such other act or thing being conclusive evidence of such determination.
4. **THAT** a limited authority is hereby granted to any other manager or superintendent of the Partnership in accordance with the Policy regarding approval of purchase orders and purchases, as amended from time to time.
5. **THAT** any two (2) members of the Management Committee or any two (2) officers of the Partnership, acting jointly and representing Yamana Malartic Canada Inc. and 2421451 Ontario Inc., be, provided that the value of the commitment made on behalf of the Corporation does not exceed two hundred and fifty thousand Canadian dollars (CDN\$250,000), authorized, from time to time, to delegate authority in writing to one or more employees, contractors or other delegates to execute and to deliver such agreements, instruments, amendments, certificates and other documents and to do such other acts or things or to make such filings, applications or other communications with any governmental or regulatory authority, including any or all of the actions described in the foregoing resolutions, as they may determine to be necessary or advisable in relation to the business, assets, properties, land, claims or other interests held directly or indirectly by or on behalf of the Partnership, and such delegation may be for either a limited or unlimited period of time, the execution of any such written grant of authority being conclusive evidence of such delegation of authority.
6. **THAT** any preceding resolution pertaining to the granting of authority is hereby repealed and replaced by the foregoing.
7. **THAT** these resolutions may be signed in one or more counterparts and transmitted by electronic means. Each such counterpart is deemed to be an original and together they constitute one and the same set of resolutions.

Dated September 3rd, 2014.

Yvon Sylvestre
Co-Chair

Darcy Marud
Co-Chair

3. **THAT** any general manager or any officer of the Partnership be, provided that the value of the commitment made for and in the name of and on behalf of the Partnership does not exceed one million Canadian dollars for budgeted items and two hundred and fifty thousand Canadian dollars (CDN\$250,000) for unbudgeted items, authorized, for and in the name of and on behalf of the Corporation, authorized to execute and to deliver all agreements, instruments, amendments, certificates and other documents and to do all such other acts or things as he or she may determine to be necessary or advisable in relation to the business, assets, properties, land, claims or other interests held directly or indirectly by or on behalf of the Partnership, the execution of any such agreement, instrument, amendment, certificate or other document or the doing of any such other act or thing being conclusive evidence of such determination.
4. **THAT** a limited authority is hereby granted to any other manager or superintendent of the Partnership in accordance with the Policy regarding approval of purchase orders and purchases, as amended from time to time.
5. **THAT** any two (2) members of the Management Committee or any two (2) officers of the Partnership, acting jointly and representing Yamana Malartic Canada Inc. and 2421451 Ontario Inc., be, provided that the value of the commitment made on behalf of the Corporation does not exceed two hundred and fifty thousand Canadian dollars (CDN\$250,000), authorized, from time to time, to delegate authority in writing to one or more employees, contractors or other delegates to execute and to deliver such agreements, instruments, amendments, certificates and other documents and to do such other acts or things or to make such filings, applications or other communications with any governmental or regulatory authority, including any or all of the actions described in the foregoing resolutions, as they may determine to be necessary or advisable in relation to the business, assets, properties, land, claims or other interests held directly or indirectly by or on behalf of the Partnership, and such delegation may be for either a limited or unlimited period of time, the execution of any such written grant of authority being conclusive evidence of such delegation of authority.
6. **THAT** any preceding resolution pertaining to the granting of authority is hereby repealed and replaced by the foregoing.
7. **THAT** these resolutions may be signed in one or more counterparts and transmitted by electronic means. Each such counterpart is deemed to be an original and together they constitute one and the same set of resolutions.

Dated September 3rd, 2014.

Yvon Sylvestre
Co-Chair



Darcy Marud
Co-Chair

CANADIAN MALARTIC CORPORATION

DELEGATION OF AUTHORITY

To whom it may concern:

WHEREAS Canadian Malartic Corporation (formerly known as Osisko Mining Corporation) (the “**Corporation**”) carries out exploration and development work in Canada;

WHEREAS it is necessary, from time to time, for the Corporation to seek and obtain licences, permits, authorizations and certificates (collectively the “**Permits**”) from the Government of Canada, the Government of any Province or Territory of Canada, any city, any town or any other governmental agency or body or any other regulatory authority and the representatives thereof (collectively the “**Authorities**” and individually, an “**Authority**”);

WHEREAS it may be more practical, from time to time, that the efforts, moves or requests to obtain any such Permit, be under the responsibility of, or performed by the personnel assigned to the property, project, or, as the case may be, the mine, regional or divisional offices in respect of which said Permit is sought, or to the relevant divisional or regional office;

WHEREAS it is necessary, from time to time, for the Corporation to negotiate and enter into any such deed, agreement or document, contract and any other written instruments in connection with the conduct and administration of its operations (collectively the “**Agreements**”) with any Authority or with any third parties;

WHEREAS it may be more practical that the negotiations, the conclusion and signing of any agreement are carried out by or under the responsibility of staff assigned to the properties, projects, or, where appropriate, to the mine sites, regional offices or divisional, or other facilities for which such agreements are required;

WE, THE UNDERSIGNED, Éric Labbé and Vanessa Laplante, each respectively appointed Secretary and Treasurer of the Corporation, duly authorized to act herein pursuant to a written resolution of the Voting Management Committee members of the Corporation adopted as of September 3rd, 2014, a copy of which is attached hereto, hereby authorize, Mr. Pascal Lavoie, in his capacity as Director, Environment and Sustainable Development, to sign and execute, for and on behalf of Canadian Malartic Corporation:

- any application, form, instrument and document to seek and obtain any Permit, from any Authority, and to take any related measure, necessary or useful in order to obtain said Permit, to keep same Permit in good standing and to ensure the Corporation’s continuous compliance therewith;
- all Agreements requiring the Corporation’s signature, pertaining, among other things, to the purchase and the alienation of movables and immovables, provided that,
- such designation shall not apply to mining properties;

- the individual value of any such movables or immovables shall not exceed Cdn \$150,000 respectively.

This authorization is strictly restricted to the foregoing matters and is valid until December 31st, 2015 inclusively.

Montréal, January 1st, 2015

CANADIAN MALARTIC CORPORATION

Per:



Eric Labbe
Secretary

Per:



Vanessa Laplante
Treasurer

CANADIAN MALARTIC GP

OPÉRATIONS CANADIENNES

À qui de droit.

CONSIDÉRANT que Canadian Malartic GP (le « **Partenariat** »), effectue des travaux d'exploration et de développement au Canada;

CONSIDÉRANT qu'il est nécessaire, de temps à autre, pour le Partenariat d'obtenir des permis, licences, certificats, autorisations, droits miniers et autres titres (collectivement, les « **Permis** ») auprès du gouvernement du Canada, du gouvernement de la province de Québec, de toute ville, municipalité ou de leurs organismes, d'un organisme gouvernemental ou de toute autre autorité, agence ou organisme de réglementation, ainsi que leurs représentants (collectivement, les « **Autorités** ») ou de transférer ou céder tels Permis à des tierces parties;

CONSIDÉRANT qu'il peut s'avérer plus pratique que les requêtes et les démarches visant l'obtention de ces Permis soient effectuées par, ou sous la responsabilité du personnel affecté aux propriétés, projets, ou, le cas échéant, aux sites miniers, bureaux régionaux ou divisionnaires, ou autres installations à l'égard desquels lesdits Permis sont requis;

CONSIDÉRANT qu'il est nécessaire, de temps à autre, pour le Partenariat de négocier et de conclure toute convention relativement à la mise en œuvre et à la gestion de ses opérations (collectivement, les « **Conventions** ») avec les Autorités ou avec toute tierce partie;

CONSIDÉRANT qu'il peut s'avérer plus pratique que les négociations, la conclusion et la signature de toute Convention soient effectuées par, ou sous la responsabilité du personnel affecté aux propriétés, projets, ou, le cas échéant, aux sites miniers, bureaux régionaux ou divisionnaires, ou autres installations à l'égard desquels lesdites Conventions sont requises;

NOUS SOUSSIGNÉS Éric Labbé et Vanessa Laplante, respectivement secrétaire et trésorière du Partenariat, dûment autorisés à agir aux présentes en vertu d'un extrait de résolutions des membres votants du comité exécutif (*Management Committee*) du Partenariat adoptées le 3 septembre 2014, lequel est annexé aux présentes, autorisons et mandons, par les présentes, Pascal Lavoie, Directeur environnement et développement durable, à signer et à exécuter, pour et au nom du Partenariat:

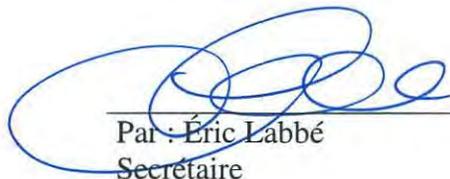
- tout document, demande, instrument ou formulaire aux fins d'obtenir tout Permis auprès des Autorités, nécessaire aux opérations canadiennes du Partenariat, et à prendre toute autre mesure connexe qui peut être nécessaire ou utile, de temps à autre, pour obtenir, transférer ou céder ledit Permis, le maintenir en vigueur et s'assurer que le Partenariat agisse continuellement en conformité avec celui-ci, le tout en conformité avec les différents programmes d'exploration et de développement et / ou avec toute décision ou recommandation dûment adoptés ou arrêtée par le Partenariat; et

- toute Convention requérant la signature du Partenariat, concernant notamment l'acquisition et l'aliénation de biens meubles et immeubles, excluant, dans ce dernier cas, les propriétés minières et ce, seulement si la valeur du bien mobilier ou immobilier concerné n'excède pas la somme de Can 150 000 \$.

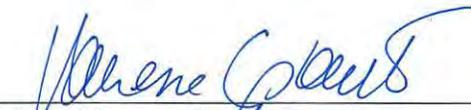
Le présent mandat est strictement restreint aux fins ci-dessus mentionnées et est valide jusqu'au 31 décembre 2015.

Montréal, le 1^{er} janvier 2015

CANADIAN MALARTIC GP



Par : Éric Labbé
Secrétaire

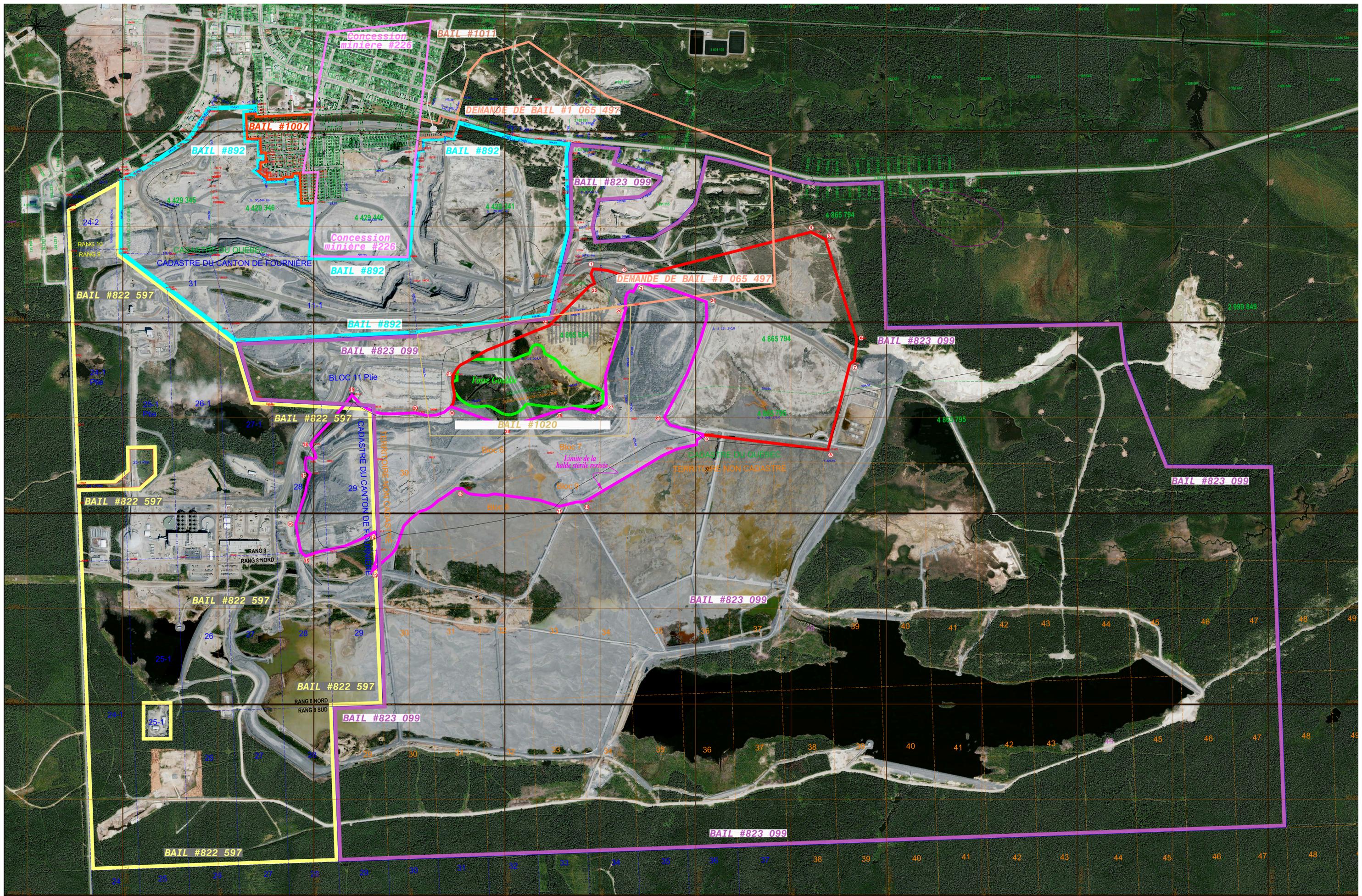


Par : Vanessa Lapante
Trésorière



ANNEXE B

Figure montrant le bail minier, les claims et la concession minière





ANNEXE C

Liste des permis



Mine Canadian Malartic

Principaux permis environnementaux et droits d'exploitation

Ministère Développement durable, Environnement et Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC)*			
DÉCRETS			
	Date	Numéro référence	Objet
Décret 914-2009	19 août 2009	914-2009	Projet minier aurifère Canadian Malartic
Décret 617-2010	7 juillet 2010	617-2010	Contrat de location des terrains et d'octroi des droits du domaine de l'État requis pour la construction et le maintien du barrage situé sur le ruisseau Raymond
Décret 405-2011	13 avril 2011	405-2011 (DEM-1)	Modification du décret 914-2009 (NI 98-01)
Décret 964-2012	18 octobre 2012	964-2012 (DEM-2)	Modification du décret 914-2009 (sautage exceptionnel) ¹
Décret 98-2013	13 février 2013	98-2013 (DEM-3)	Modification du décret 914-2009 (mur nord et conditions sautage)
Décret 171-2014	26 février 2014	171-2014	Modification du décret 914-2009 (Gouldie)
Décret 763-2014	26 août 2014	763-2014	Modification du décret 914-2009 (changement de nom)
1 : Décret 964-2012 (sautage exceptionnel) doit être transféré puisque : modification de la condition 1 et ajout de la condition 9 du Décret 914-2009			
CERTIFICATS D'AUTORISATION			
	Date	Numéro référence	Objet
CA-0	9 mars 2009	7610-08-01-60088-00 200233547	Forage dans un lac, un cours d'eau et en rive – Zone Gouldie – Site East Malartic
CA-1	24 août 2009	3211-16-003	Établissement d'une usine mobile de béton
CA-2	27 août 2009	3211-16-003	Assises et fondations de différents bâtiments
CAM-2	14 septembre 2012	7610-08-01-70167-29 400965410	Assises et fondations de différents bâtiments – Construction d'un nouveau bâtiment annexé au coin nord-ouest de l'usine de traitement
CA-3	28 août 2009	3211-16-003	Préparation des fondations – Digues A et B
CA-4			Aménagement du projet minier (milieux humides)

CA-5	26 janvier 2010	3211-16-003	Construction du bassin sud-est
CA-6	18 décembre 2009	3211-16-003	Établissement d'un dépôt pétrolier
CA-7	17 décembre 2009	3211-16-003	Réseau d'aqueduc et d'égout
CA-8	12 janvier 2010	3211-16-003	Prélèvement de roc dans l'extrémité sud-est de la future fosse
CAM-8	22 juin 2010	3211-16-003	Prélèvement de roc dans l'extrémité sud-est de la future fosse
CA-9	9 février 2010	3211-16-003	Établissement des installations de l'atelier mécanique du bâtiment de services (+ réservoirs et sys. traitement eau)
CA-10	13 avril 2010	3211-16-003	Construction du barrage et mise en eau du bassin Johnson
CA-11	16 avril 2010	3211-16-003	Construction et aménagement d'une butte écran et d'un parc linéaire
CA-12			Exploitation Fosse
CA-13	10 septembre 2010	3211-16-003	Prélèvement de roc dans la zone sud-ouest
CA-14	24 novembre 2010	3211-16-003	Travaux préparatoires à l'exploitation
CAM-14	3 mars 2011	3211-16-003	Travaux préparatoires à l'exploitation (ajout du démarrage des équipements à l'usine)
CA-15	3 novembre 2010	3211-16-003	Construction d'un bassin d'urgence
CA-16	31 mars 2011	3211-16-003	Exploitation
CAM-16A	21 février 2013	3211-16-003	Exploitation (accès au mur nord et conditions sautages)
CAM-16B	27 mars 2013	3211-16-003	Exploitation (Gouldie 30 mois)
CAM-16C	2 juillet 2015	7610-08-01-70167-49 401266128	Exploitation triangle secteur Est de la fosse CM
CAM-16D	21 août 2015	7610-08-01-70167-49 401283745	Rehausser les digues nord et sud du bassin de polissage jusqu'à l'élévation 324.5m pour créer une cellule de déposition
CA-17	13 septembre 2011	7610-08-01-70167-44 400857011	Construction des fondations pour le concassage secondaire
CA-18	23 novembre 2011	7610-08-01-70167-43 400875966	Construction du concasseur secondaire

CA-19	15 novembre 2011	7610-08-01-70167-46 400874962	Opération de deux unités portatives de concassage secondaire
CAM-19A	3 juin 2014	7610.08.01-70167-53 401138132	Opération d'un concasseur mobile temporaire
CAM-19	5 mars 2015	7610-08-01-70167-53 401202522	Opération d'un concasseur temporaire
CA-20	22 février 2012	7610-08-01-70167-48 400898292	Opération d'un concasseur secondaire
CA-22	14 novembre 2012	7610-08-01-70167-50 400979230	Exploitation d'un concasseur (à galets)
CA-23	22 octobre 2013	7610-08-01-70167-58 401078081	Disposition de résidus miniers sur la cellule 1
CA-24	25 février 2014	7610-08-01-70167-60 401110528	Construction d'une digue filtrante dans le bassin sud-est
CA-25			Forage et excavation en milieu humide
CA-26	25 mars 2014	7610-08-01-70167-59 401118008	Entreposage de stériles miniers sur la cellule 2
CA-27	25 mars 2014	7610-08-01-70167-54 401116619	Construction et opération d'une usine de traitement de l'effluent
CA-28			Installation d'un dépoussiéreur à l'usine de traitement de l'effluent
CA-29	24 octobre 2014	7610-08-01-70167-61 401188369	Exploitation d'un procédé de destruction des cyanures avec l'acide de Caro
CA	14 mai 2015	7610-08-01-70167-62 401248604	Aménagement d'un four à induction à la raffinerie
CA	14 février 2013	7610-08-01-70167-52 401007507	Travaux de sécurisation dans le secteur du vieux parc à résidus Barnat-Sladen
CA	21 juin 2013	7610-08-01-70167-53 401041103	Opération d'un concasseur mobile temporaire (pour une durée de 8 mois)
CAM	3 juin 2014	7610-08-01-70167-53 401138132	Opération d'un concasseur mobile temporaire (opération jusqu'au 31 déc. 14)
CAM	5 mars 2015	7610-08-01-70167-53 401202522	Opération d'un concasseur mobile temporaire (opération jusqu'au 31 déc. 15)
CA	20 août 2015	7610-08-01-70167-65 401282307	Construction et opération d'un bassin de polissage
CA	20 août 2015	7610-08-01-70167-66 401282307	Construction d'un déversoir d'urgence au BSE

BANCS D'EMPRUNT			
CA-Zone 4	26 septembre 2008	7610-08-01-70167-22 200214399	Exploitation de la sablière Zone 4
CA-Zone 3	26 septembre 2008	7610-08-01-70167-20 200214399	Exploitation de la sablière Zone 3
CA-Zone 2	26 septembre 2008	7610-08-01-70167-23 200214399	Exploitation de la sablière Zone 2
CA-Zone 1	6 octobre 2008	7610-08-01-70167-21 200214395	Exploitation de la sablière Zone 1
CA-Zone 6	29 octobre 2009	7610-08-01-70167-25 200254208	Exploitation de la sablière Zone 6
CA-Zone 5	3 novembre 2009	7610-08-01-70167-24 200231637	Exploitation de la sablière Zone 5
CA-Zone 7	15 février 2010	7610-08-01-70167-26 200262243	Exploitation d'une sablière (Zone 7)
CA	21 juillet 2015	7610-08-01-80858-00 401273599	Exploitation d'une sablière (valide jusqu'au 31 décembre 2015)
AUTORISATIONS			
A-1	5 novembre 2007	7311-08-01-84210-16 200185182	Demande d'autorisation pour réaliser un projet d'aqueduc et d'égout pour une rue « de démonstration » dans le cadre d'un nouveau développement domiciliaire – Rues A et B et Avenue A – Ville de Malartic
A-2	17 décembre 2009	3211-16-003	Réseau d'aqueduc et d'égout (à raccorder au réseau municipal + station pompage)
A-3	4 juin 2010	X2117777 300577505	Construction du barrage situé sur le ruisseau Raymond (bassin Johnson)
A-4	22 juillet 2011	7311-08-01-89015-09 200300284	Ouvrage de captage d'eau souterraine pour alimenter le réseau d'aqueduc municipal
A-5	20 octobre 2011	7610-08-01-70167-45 400865643	Installation de dépoussiéreurs dans la carothèque du bureau régional d'exploration
A-6	23 novembre 2011	7610-08-01-70167-47 400876922	Installation d'un dépoussiéreur Processair 144-SA-82 (concasseur secondaire)
A-7	14 septembre 2012	7610-08-01-70167-51 400964912	Installation et opération d'un dépoussiéreur (usine)

A-8	25 mars 2014	7610-08-01-70167-56 401116416	Installation d'un dépoussiéreur à l'usine de traitement de l'effluent (réservoir de mélange du sulfate de cuivre)
A-9	25 mars 2014	7610-08-01-70167-57 401116490	Installation d'un dépoussiéreur à l'usine de traitement de l'effluent (réservoir de mélange du sulfate ferreux)
A-10	23 mars 2015	7610-08-01-70167-64 401232981	Installation d'une usine de traitement des eaux temporaire
A-11	14 mai 2015	7610-08-01-70167-63 401239724	Installation d'un dépoussiéreur à cartouches à la raffinerie

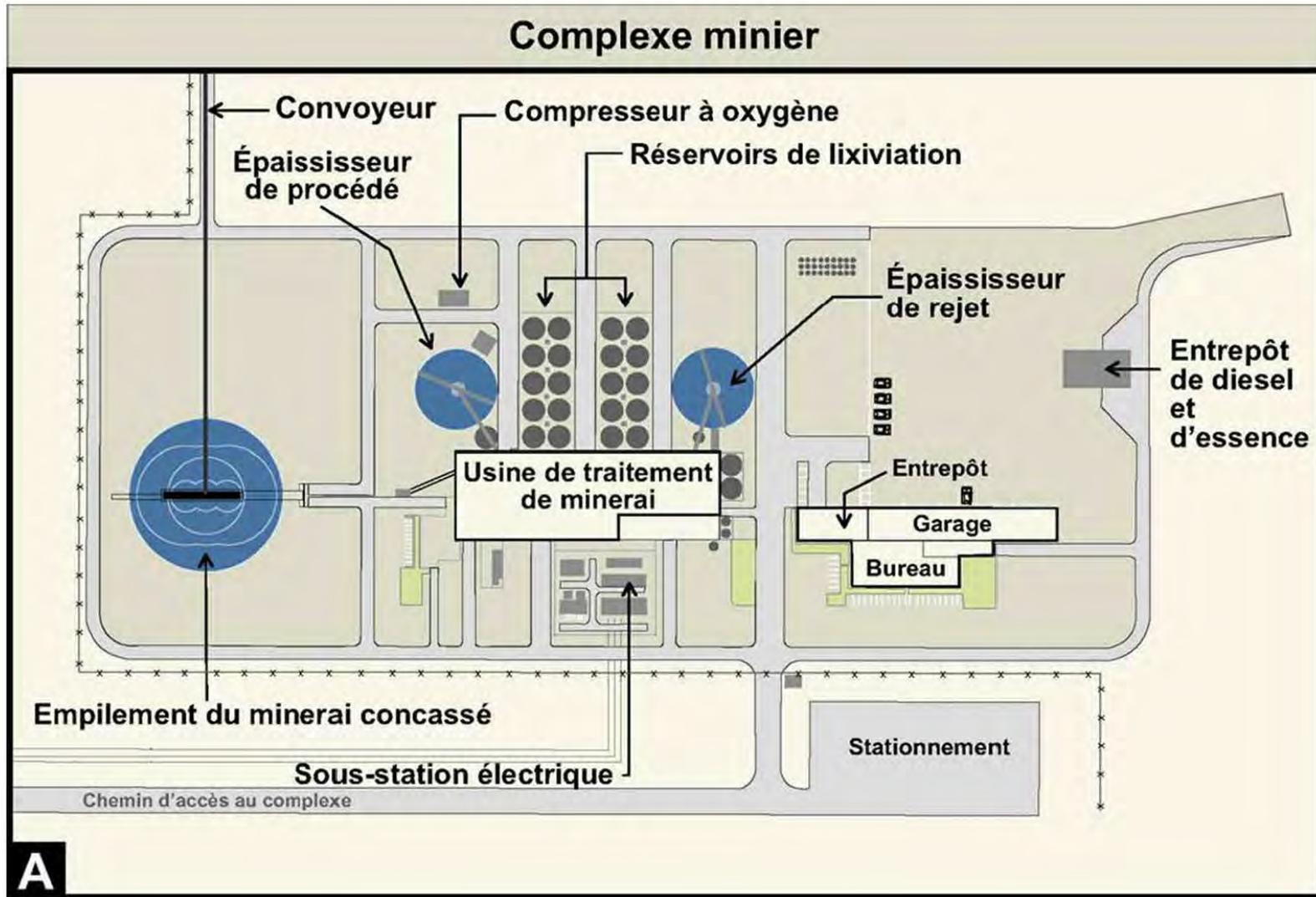
*CA : Certificat d'autorisation ; CAM : Certificat d'autorisation modifié ; A : Autorisation

Ministère Énergie et Ressources naturelles (MERN)			
Baux miniers			
	Date	Numéro référence	Objet
Fosse CM	25 novembre 2009	892	Exploitation du minerai
Fosse CM	27 avril 2011	1007	Exploitation du minerai
Fosse CM	14 mai 2011	1011	Exploitation du minerai
Fosse CM	6 décembre 2012	CM 226	Exploitation du minerai
Fosse Gouldie	3 mars 2014	1020	Exploitation du minerai
Fosse East Amphi	24 mars 1999	848	Exploitation du minerai
Droits de surface			
	Date	Numéro référence	Objet
# 1	26 août 2009	822597 00 000	Fins industrielles
# 2	31 août 2009	823099 00 000	Fins industrielles (parc à résidus)
# 3	3 décembre 2008	820083 00 000	Fins industrielles (parc à résidus) (East Amphi)
# 4	12 octobre 2011	819694 00 000	Fins industrielles (East Amphi)
Divers			
	Date	Numéro référence	Objet
Restauration East-Malartic	16 janvier 2009		Entente-cadre MRNF-Osisko (Projet East-Osisko)
Plan de restauration CM	30 juin 2015		Révision des coûts de restauration
Garanties financières			Plan de restauration et Bancs d'emprunt



ANNEXE D

Arrangement général de l'usine et schémas du procédé



CONFIDENTIEL

CLIENT
 OSISKO
 MINE CANADIAN MALARTIC



PROJET
 PLAN DE RESTAURATION
 TITRE

CONSULTANT



AAAA-MM-JJ	2014-05-16
ÜÜRÖV	C.E. Morissette
ÖÖÜÖ	S. Betnesky
ÜÖXÖ	A. Drolet
ÖÖÜÜVWK	M. Kissiova

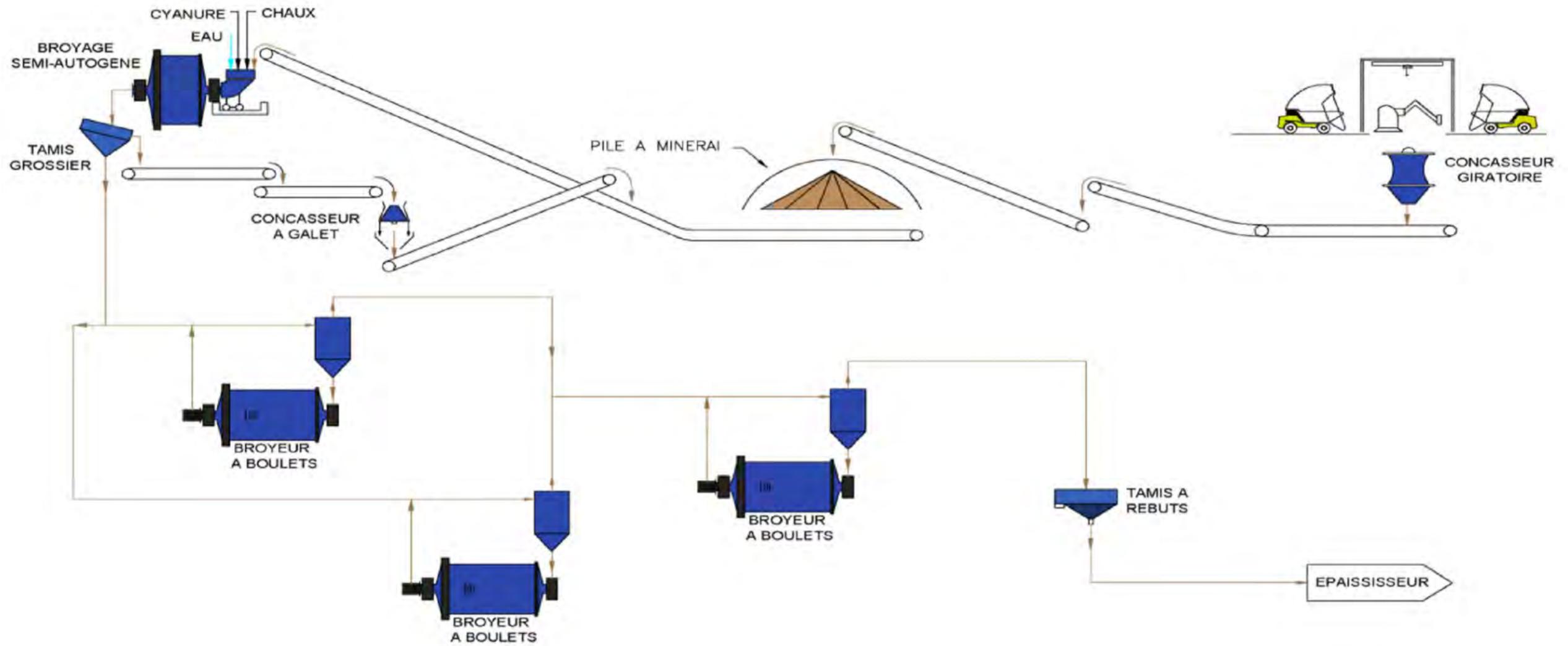
TITRE
ARRANGEMENT GÉNÉRAL DE L'USINE

PROJET
 13-1221-0124 PHASE
 5000

Ü.çÉ
 A

ANNEXE
 D1

25 mm



Source:
 Dessin provenant de la Corporation
 Minière Osisko

CONFIDENTIEL

CLIENT
 ΟΥΟΥΟΥΑΠΑΡΑΘΟΥΟΥ
 MINE CANADIAN MALARTIC



PROJET
 PLAN DE RESTAURATION
 ΤΟΥ ΑΥΛΟΥ

CONSULTANT



AAAA-MM-JJ	2014-05-16
ΟΥΟΥΟΥ	C.E. Morissette
ΟΟΥΟΥ	S. Betnesky
ΟΥΟΥ	A. Drolet
ΑΟΥΟΥ	M. Kissiova

TITRE

SCHÉMA DE PROCÉDÉ - CONCASSEMENT DE BROYAGE

13-1221-0124

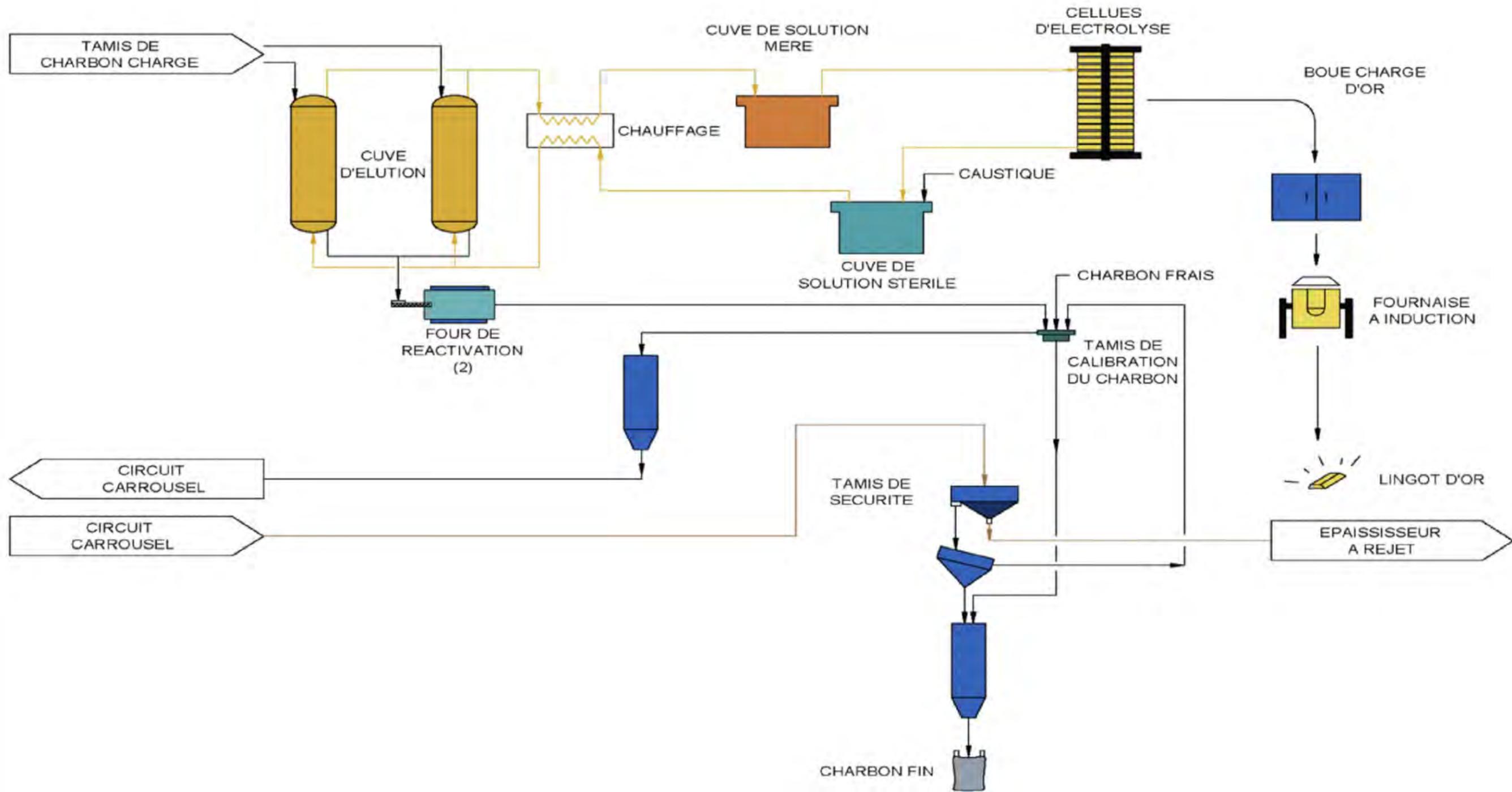
PHASE
 5000

Α

ANNEXE
 D2

Chemical: \golder\gpa\mine\GIS\CAD\PROJETS\OSISKO\PRODUCTION\13-1221-0124\5000.dwg

25 mm USER: C:\GOLDER\GPA\MINE\GIS\CAD\PROJETS\OSISKO\PRODUCTION\13-1221-0124\5000.dwg



Source:

Dessin provenant de la Corporation
 Minière Osisko

CONFIDENTIEL

CLIENT
 ΟΥΨΨΨΨΨΨΨΨ ΨΨ ΨΨΨΨΨΨ
 MINE CANADIAN MALARTIC



CONSULTANT	AAAA-MM-JJ	2014-05-16
ΨΨΨΨΨΨ	ΨΨΨΨΨ	C.E. Morissette
ΨΨΨΨΨ	ΨΨΨΨΨ	S. Betnesky
ΨΨΨΨ	ΨΨΨΨ	A. Drolet
ΨΨΨΨΨΨ	ΨΨΨΨ	M. Kissiova



PROJET
 PLAN DE RESTAURATION
 TΨΨΨΨΨΨΨΨ

TITRE
SCHÉMA DE PROCÉDÉ - ADSORPTION ET RÉCUPÉRATION DE L'OR

ΨΨΨΨΨΨΨΨ	PHASE	5000	Ψ..ϕÉ	A	ANNEXE D4
13-1221-0124					

Chemini: \golder\gdm\Mineries\SIG\CAD\PROJETS\OSISKO\PRODUCTION\13-1221-0124\5000 - I_Nom du fichier_ 1312210124-5000-06.dwg

25 mm USER: C:\UTILISATEUR\GOLDER\GDM\PROJETS\OSISKO\PRODUCTION\13-1221-0124\5000 - I_Nom du fichier_ 1312210124-5000-06.dwg



ANNEXE E

Normes de gestion des matières résiduelles et des matières résiduelles dangereuses



Norme de gestion des Matières dangereuses résiduelles (MDR)

Osisko

Objectif

Assurer une gestion adéquate des Matières Dangereuses Résiduelles (MDR) selon les bonnes pratiques environnementales.

Contenu à respecter

Tableau 1 : Contenant à utiliser selon le type de produit MDR.

Produits	Exemples	Contenant à utiliser
Solides huileux	Absorbants, guenilles contaminées, boyaux hydrauliques, tubes de graisse, etc.	À prioriser: Benne basculante avec couvercle Tôte ouverte Rouli-bac
Solides contaminés au diesel	Absorbants et autres objets contaminés	Tôte ouverte Rouli-bac
Aérosols	Cannettes de solvants, peinture aérosols, etc.	Rouli-bac
Graisse usée		Baril fermé
Huiles usées		Tôte fermée Baril fermé
Antigel usé		Tôte fermée Baril fermé
Diesel usé		Tôte fermée Baril fermé
Filtreurs		Tôte ouverte Rouli-bac
Granules absorbantes pour plancher		Benne basculante
Boues de la baie de lavage		Tôte ouverte
Résidus de colles, de polymères (triés par types)		Tôte ouverte Rouli-bac
Chaudières vides (triées par type de produits, égouttées et empilées)	Chaudières de graisses, d'huiles, etc.	Tôte ouverte
Couvercles de chaudières vides		Rouli-bac
Lampes (triés par types)	Lampes au mercure, au sodium, fluorescents, etc.	Rouli-bac
Autres objets contaminés (consultez l'équipe environnement)		Rouli-bacs Tôte ouverte
Batteries / piles		Conteneur pour batteries



Localisation des sites de disposition

Trois sites de disposition sont disponibles selon le type de MDR, tous localisés près ou à l'intérieur de l'édifice administratif principal.

Nord du garage, conteneur bleu clair	Bennes basculantes, rouli-bacs, tôtes et baril
Nord du garage, conteneur bleu foncé	Batteries de véhicules / piles
Est du garage, porte 14	Huiles et antigels usés

Livraison aux sites de disposition

Notez que vous devez contacter le journalier spécialisé en environnement sur le canal Environnement et ce 7 jours sur 7, entre 6 heures et 18 heures, pour la disposition de vos MDR.

Aucun contenant ne peut être laissé à l'extérieur SAUF les contenants neufs et les bennes basculantes avec un couvercle.

Poids et volume à respecter

Afin de réduire les risques de blessures et les recommandations du fabricant, veuillez respecter les charges maximales suivantes :

Tôtes (ouvertes ou fermées)	Au 2/3 de la capacité
Rouli-bacs	75 kg

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Jessica Morin", is located below the table. The signature is fluid and cursive.

Jessica Morin
Surintendante Environnement – Suivi contrôle

Norme de gestion des Matières résiduelles (MR)

Osisko

Objectif

Assurer une gestion adéquate des Matières Résiduelles (MR) selon les bonnes pratiques environnementales.

Conteneurs disponibles et modes d'utilisation

- Conteneurs à déchets fermés : Déchets domestiques, sac à poubelle de cafétéria, restants de nourriture.
- Conteneurs à déchets ouverts: Déchets non-organiques (Ex : Norback solidifié, tuyau de plastique, filtres à air, uréthane, bâche non-contaminée).
- Conteneurs pour le bois : Bois et palettes sans pièces métalliques.
- Conteneurs pour le métal : Acier, fer, aluminium, pièces d'acier avec très peu de caoutchouc.
- Conteneurs à fils électrique : Fils électriques.
- Conteneurs de carton : Carton et papier non souillé.
- Conteneur pour sacs de réactif : Sacs de réactifs vides.
- Conteneur de caoutchouc : Matériaux fait de caoutchouc.

Figure 1 : Conteneurs de MR et leurs panneaux d'identification.



Volumes à respecter

Aucun objet ne doit dépasser du conteneur.

Figure 2 : Conteneur qui ne respecte pas la quantité prescrite.



Localisation des sites de disposition

Cinq sites de disposition sont disponibles sur le site.

Concasseur	Bois Métal Déchet ouvert
Dôme	Bois (2) Métal Carton Fils électriques Caoutchouc Déchet ouvert Déchet fermé
Garage	Bois Métal Carton Déchet ouvert Déchet fermé
Entrepôt	Carton
Usine porte 7	Sacs de réactifs



Contenu à respecter

Si un conteneur de MR contient des contaminants, une non-conformité sera déposée à la Direction du service concerné et l'expédition du dit conteneur sera suspendue jusqu'à la mise en conformité.

À la réception de la non-conformité, le service concerné aura la responsabilité du tri des matières dans le conteneur afin de respecter le contenu prescrit.

Une confirmation que le tri a été effectué devra être déposée à la Surintendante Environnement Suivi-Contrôle qui procédera à l'expédition.

Si malgré tout la MRC constate une fois le conteneur expédié sur son site la présence de contaminants, la Direction du service concerné devra fournir le personnel nécessaire au tri du conteneur au site de la MRC.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Jessica Morin", is located below the text. The signature is stylized and includes a long horizontal stroke at the end.

Jessica Morin
Surintendante Environnement – Suivi contrôle



ANNEXE F

Articles de M. Larchevêque et al. 2012 et 2013

How to grow trees on the wastes of a boreal gold mine – identification of the main physico-chemical limitations

M. Larchevêque *Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue; and Osisko Mining Corporation, Canada*

A. Desrochers *Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, Canada*

B. Bussière *Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, Canada*

H. Cartier *Osisko Mining Corporation, Canada*

C. Baribeau *Osisko Mining Corporation, Canada*

C. Pednault *Osisko Mining Corporation, Canada*

J-S. David *Ressources d'Arianne, Canada*

Abstract

The Osisko gold mine in Malartic, Quebec (Canada) is an open-pit mine producing low grade ore and is designed to operate at 55,000 metric ton per day. Its non-acid generating wastes will eventually cover large surfaces that will need to be reclaimed. To minimise mine impacts on water consumption, milling wastes will be deposited in the form of thickened tailings (68% DM). To our knowledge, no study of vegetation establishment on this type of mine waste has yet been published.

The Osisko mine is located on the edge of a small town. Consequently, visual aspects of mine waste reclamation are a major concern with respect to social acceptability of the company. Since the surrounding region is covered by boreal forest, tree colonisation appears essential. Tree plantations may accelerate the conversion of degraded lands into forests and also add biodiversity to the area.

Two studies were conducted, one on overburden waste rock and a second on milled tailings. In the first study, plantations were established on compacted waste rock (10:1 slope) covered with overburden topsoil or subsoil at two compaction intensities. The second study was conducted in a glasshouse to evaluate the thickened tailings' capacity to sustain tree growth (tamarack, jack pine, black spruce, basket willow, hybrid poplars, and green alder). Tailings alone or mixed with several amendments were tested (overburden soils, vermicomposts from food wastes, chicken manure, peat). In addition, we compared the use of a thin or a thick layer of overburden topsoil.

We showed that direct planting in the thickened tailings was not suitable for boreal trees under glasshouse conditions. This substrate high water retention capacity and low macroporosity (or air-filled porosity, $\leq 8\%$) may be responsible for tree death by limiting O_2 availability required for root respiration. To overcome this aeration stress, an organic matter-rich amendment should be used to raise macroporosity to levels suitable for tree growth. Peat (8% DM in the mixture) was the most effective amendment for improving macroporosity (27%) compared to other amendments, including two different composts (22 and 35% DM in the mixtures leading to 14 and 17% macroporosity, respectively) and mine soils. The use of composts produced appropriate macroporosity levels but also increased electrical conductivity to levels (3.4 to 4.1 $mS\ cm^{-1}$) limiting broad-leaved species survival and conifer biomass production. No trace metal contamination of the trees occurred in the mixtures, probably due to the near-neutral pH conferred by the tailings. Moreover, the presence of underlying alkaline tailings limited Mn, Zn, and Al phytotoxicity of the acidic overburden topsoil layer from occurring in tree leaves. Consequently, growth of jack pine and all broad-leaved species was improved with a thin layer compared to a thick layer of overburden soil, although these trees also showed Cu accumulation in their fine roots (>100 $mg.kg^{-1}$).

This study demonstrated that the use of thin layers of acidic overburden topsoil above alkaline thickened tailings could improve tree growth and accelerate landscape reclamation.

1 Introduction

Woody vegetation is rarely used to reclaim metalliferous mine wastes in Canada despite the occurring of mines in forested landscapes. Yet trees present clear advantages for mine reclamation by rapidly attaining an aesthetic effect ('greening up'), restoring biodiversity, and increasing CO₂ fixation to compensate for emissions that were generated during the mining and extraction process. Trees accelerate the conversion of degraded lands into forests (Parrotta et al., 1997) because they facilitate native plant species recolonisation at canopy closure (Strong, 2000). In contrast, the highly competitive herbaceous species that are routinely used for reclamation of mined sites may prevent establishment of native tree species (Drake, 1986; Halofsky and McCormick, 2005; Kost and Vimmerstedt, 1994; Skousen et al., 2006; Washburn et al., 1994) and arrest natural succession at an herbaceous stage in these particular ecosystems.

However, trees are especially sensitive to soil porosity, pH, and salt levels (Angel et al., 2006; Emerson et al., 2009) and their use for reclamation of mine wastes raises several challenges. First, metalliferous mine wastes are generally not favourable to vegetation establishment because they lack organic matter, nutrients, and soil organisms (Burger and Zipper, 2002). Second, they lack physical structure and contain potentially phytotoxic levels of salts and heavy metals (Tordoff et al., 2000).

Thickened tailings are a new emerging technology for the surface deposition of milling wastes (e.g. Robinsky et al., 1991). They are characterised by a solid content of 50 to 70% when laid down, which reduces water consumption, especially in open-pit mines that process low grade ores and which extract large rock quantities, or which are located in arid areas. Their basic properties are similar to those of conventionally deposited tailings (slurried), but they routinely have a more homogeneous grain size distribution within tailings impoundments (Bussière, 2007). Their homogeneity induces high water saturation levels in the impoundment, which may cause anoxic conditions for tree roots. In contrast, waste rock piles exhibit very heterogeneous granulometry and retain little water (Anterrieu et al., 2010; Poisson et al., 2009).

Several experiments were conducted to evaluate survival, growth, and nutrient and trace metal concentrations of tree species (tamarack, jack pine, black spruce, basket willow, hybrid poplars, and green alder) planted in mine wastes with enriching agents. Two glasshouse experiments were established on thickened tailings and another on waste rocks in the field. The general objective of these studies was to understand the main physico-chemical limitations for tree development on each substrate and to recommend a strategy for successful reclamation of those wastes with trees.

2 Material and methods

2.1 Plant material and growth conditions

Trees were native species from the surrounding forested region or adapted to boreal conditions and locally produced by the Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune du Québec (MRNF) except for alder stock (serres de Guyenne, QC). Two-year-old seedlings were grown in 110 cm³ containers for jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.), black spruce (*Picea mariana* (Mill.) BSP), tamarack or eastern larch (*Larix laricina* (Du Roi) K. Koch), and green alder (*Alnus crispa* (Aiton) Pursh). Hybrid poplar and willow stock consisted of clonally propagated one-year-old whips from *Populus maximowiczii* Henry × *P. balsamifera* L. (M×B, 915319), *P. ×canadensis* Moench × *P. maximowiczii* (DN×M, 916004), and *Salix viminalis* L. (basket willow).

In the first glasshouse study on tailings, all species were planted on 15 June 2010 in 3.6 L (container stock) or 7 L (whips) pots. They were grown over two growing seasons of three months each (separated by four months dormancy, with a natural winter photoperiod and 5°C temperature). Substrate moisture was checked daily and trees were regularly watered to field capacity.

In the second glasshouse study on tailings, 10 cm cuttings were obtained from DN×M poplar whips and planted in February 2012 for five weeks in 110 cm³ containers. The cuttings were watered to field capacity three times a week. For both experiments, glasshouse conditions were set to an 18 h photoperiod and a temperature of about 25°C.

The field experiment was set up on compacted waste rock, in which jack pine, tamarack, M×B poplar, and basket willow were planted in mid-July 2011 (Osisko Malartic mine, 48°13'N, 78°12'W). Unrooted whips were planted to a depth of 30 cm in the substrate. In this boreal region, the growing season typically begins in mid-May and ends in early October. Average annual temperature is 1°C, and the average number of frost-free days is 80. Mean annual precipitation is around 900 mm (Environment Canada, 2004).

2.2 Substrates

In the first glasshouse study, six substrates were tested (Table 1):

- Thickened tailings alone (T), fertilised bi-weekly with liquid fertiliser (20-20-20 NPK, 4 mL.L⁻¹ for broad-leaved species and 30-10-10 NPK, 2.2 mL.L⁻¹ for conifers, Botanix, Boucherville, QC, Canada).
- Thickened tailings with chicken manure (MT) inserted in slits made with a blade. Chicken manure was locally produced, dried and granulated (Richard farm, Rivière-Héva, QC). Each pot received 184 g dry weight (DW).
- Thickened tailings mixed with compost (CT) made from vermicomposted food wastes provided by the Eugenia farm (Bic, QC). Two-thirds compost and one-third thickened tailings by volume (23% of compost, DW).
- Topsoil alone, non-stockpiled (thick layer) (S).
- Topsoil above thickened tailings (thin layer) (ST1). The topsoil layer had a thickness of 12 to 14 cm with a 6 to 7 cm layer of thickened tailings at the bottom of the pot.
- Thickened tailings mixed with topsoil (ST2). Two-thirds topsoil and one third thickened tailings by volume (39% of topsoil, DW).

Thickened tailings came from the Canadian Malartic mine (property of Osisko Mining Corporation) and consisted of finely milled wastes (D_{10} : 0.004 mm, D_{60} : 0.031 mm, C_U : 7.3, 86% particles < 80 µm) from the gold extraction process (cyanide leaching). They were freshly made when used and had not been exposed to outdoor conditions. The tailings had undergone a cyanide destruction process (SO_2/O_2 technology) that left free CN^- concentrations lower than 8 mg.kg⁻¹. Osisko Malartic tailings are low-sulphur (around 1% S) and contain around 4.3% calcite, which can neutralise acidity. The topsoil also came from the Canadian Malartic mine site. It consisted of the uppermost 15 cm (H, Ah and/or Bh horizons) of a dystric brunisol (Agriculture and Agri-Food Canada, 2010) scraped from a previously forested site that had contained coniferous and broad-leaved species. The topsoil was sieved to pass a 0.67 cm mesh screen and used a few days after being collected. The topsoil alone treatment represented the use of a thick topsoil layer that would prevent the contact between tailings and tree roots, at least during the two growing seasons tested. The use of a thin or thick layer of mine topsoil above the thickened tailings was tested to investigate if root contact with tailings influenced tree growth. The manure (MT), compost (CT) and topsoil (ST2) application rates were calculated to provide at least 4% of organic matter and improve the thickened tailings' air-filled porosity.

Table 1 Physio-chemical properties and trace metal concentrations of thickened tailings and amendments. Mean (SE), N = 3. All units refer to dry matter mass

		Mine Top-soil, Non Stockpiled (S)	Overburden Topsoil, Stockpiled (OT)	Overburden Sub-soil, Stock-piled (OS)	Freshly Deposited Thickened Tailings (T)	Compost Bic (C)	Compost CSH (C2)	Peat (P)	Chicken Manure (M)
pH		4.6 (0.0)	5.1 (0.1)	7.2 (0.1)	8.0 (0.1)	6.8 (0.1)	6.4 (0.1)	4.2 (0.0)	7.3 (0.0)
Clay*	%	6 (0.7)	42 (5)	33 (5)	12 (1)				
Silt*	%	22 (1)	27 (1)	15 (1)	50 (1)				
OM*	%	14 (1)	17 (3)	1.1 (3)	0.5 (0.1)	54 (3)	54 (5)	94 (1)	50 (1)
C/N		27 (2)	22 (7)	17 (5)	15 (6)	21 (1)	28 (1)	41 (1)	6 (0.1)
EC*	cS.m ⁻¹	3 (0.2)			10 (1)	47 (1)	18 (5)	0.4 (0.3)	54 (5)
Total N	g.kg ⁻¹	3.1 (0.1)	4.3 (0.3)	0.4 (0.3)	0.3 (0.1)	15 (0.4)			47 (1)
Total P	g.kg ⁻¹	0.3 (0.01)	0.6 (0.04)	0.6 (0.04)	0.6 (0.01)	4.5 (0.2)	1.7 (0.1)	0.5 (0.02)	16 (0.4)
P Olsen	mg.kg ⁻¹	11 (1)			6 (2)	429 (48)	289 (9)	18 (1)	959 (12)
Total K	g.kg ⁻¹	0.6 (0.02)	3.6 (0.05)	2.7 (0.05)	7.2 (0.1)	6.7 (0.1)	6.6 (0.3)	0.3 (0.02)	18 (0.1)
Total Ca	g.kg ⁻¹	2 (0.1)	11 (1)	9 (1)	18 (0.4)	78 (0.4)	13 (0.6)	4 (0.1)	100 (4)
Total Mg	g.kg ⁻¹	3 (0.1)	11 (0.1)	11 (0.1)	12 (0.1)	5 (0.1)	3 (0.2)	1 (0.03)	5 (0.1)
Total Na	g.kg ⁻¹	0.1 (0.01)			0.4 (0.02)	1.5 (0.02)	0.6 (0.04)	0.1 (0.01)	2.9 (0.1)
Total Al	g.kg ⁻¹	10 (0.2)	17 (1)	13 (1)	10 (0.2)	3 (0.1)	2 (0.01)	1 (0.01)	0.2 (0.01)
Total Fe	g.kg ⁻¹	15 (1)	27 (2)	24 (2)	29 (2)	3 (0.3)	6 (0.2)	2 (0.1)	0.5 (0.02)
Total B	mg.kg ⁻¹	4 (0.1)	6.3 (0.3)	3.9 (0.3)	6 (0.3)	17 (0.9)	8 (0.4)	1 (0.02)	18 (0.5)
Total Cd	mg.kg ⁻¹	BDL*	0.6 (0.15)	0.4 (0.15)	BDL*	BDL*	0.9 (0.01)	8.7 (0.4)	BDL
Total Cr	mg.kg ⁻¹	43 (1)	120 (14)	116 (14)	101 (2)	8 (1)	7 (0.2)	4 (0.1)	1 (0.1)
Total Cu	mg.kg ⁻¹	24 (1)	58 (12)	31 (12)	87 (5)	50 (1)	8 (0.5)	215 (6)	53 (3)
Total Mn	mg.kg ⁻¹	178 (6)	344 (26)	367 (26)	360 (5)	360 (5)	149 (18)	55 (4)	355 (6)
Total Ni	mg.kg ⁻¹	18 (1)	64 (7)	51 (7)	47 (1)	4 (0.4)	18 (1)	7 (0.6)	2 (0.9)
Total Pb	mg.kg ⁻¹	14 (0.01)	22 (4)	13 (4)	14 (0.01)	5 (0.1)	3 (0.4)	192 (10)	0.3 (0.04)
Total Zn	mg.kg ⁻¹	20 (1)	83 (5)	62 (5)	60 (2)	160 (5)	22 (1)	104 (5)	338 (10)

* Clay: particles < 2 µm, silt: particles < 50 µm, OM: organic matter, EC: electrical conductivity, BDL: below detection limit.

In the second glasshouse study, additional amendments were tested in mixtures with the tailings (2/3 vs 1/3 by volume) and compared with tailings alone (T) (Table 1). The tailings were sampled from the tailings impoundment where they had been deposited two months previously:

- Peat (PT) (8% DW in the mixture).
- A second vermicompost was produced from food wastes (C2T) provided by the Commission scolaire Harricana (CSH, Amos, QC) (35% DW).
- Overburden topsoil (OTT) and subsoil (OST) scraped from above the pit and stockpiled (54% and 67% DW, respectively).

The overburden soil was a luvisol (Agriculture and Agri-Food Canada, 2010) coming from a swamp area above the pit that had been previously colonised by conifers. The soils were stockpiled for 12 to 18 months before use in 7 m high piles with a 2.5:1 slope. The overburden topsoil consisted of the uppermost 30 cm of dark (organic-rich) soil layers (O and A horizons) that had been set aside prior to the excavation of the open-pit. The overburden subsoil consisted of the remaining mineral clay soil (several meters thick) that was excavated down to bedrock after the overburden topsoil had been removed. We evaluated whether the use of organic topsoil was necessary to sustain tree growth compared to mineral subsoil in the case of local clay soils, which may have good CEC and water retention properties.

The same overburden topsoil and subsoil materials were used in the field experiment over compacted waste rock. The plots had a 10:1 slope depicting the truck roads covering waste rock piles. A 50 cm layer was applied in July 2011, a few days before planting. Two compaction intensities were applied to the surface layer materials to determine the consequences of repeated machinery passage on tree growth: one pass vs three passes of a crawler-dozer (John Deere 850K, 0.6 kg.cm⁻²). After the three passes, the thickness of the overburden layer was decreased from 50 to 30 cm. All trees were fertilised (15 g ammonium nitrate (34.5-0-0) and 15 g triple superphosphate (0-45-0)) by placed fertilisation (Van den Driessche, 1999), which involved fertiliser insertion into a slit made with a spade near the base of each tree (20 cm from the tree and 15 cm deep).

2.3 Experimental designs

Both glasshouse studies were set up as randomised block designs. In the first experiment, there were five replicates (blocks) of 42 trees, i.e. seven tree species (spruce, pine, tamarack, alder, hybrid poplars M×B and DN×M, basket willow) on six substrates (T, MT, CT, ST1, ST2, S). In the second experiment, there were three replicates (blocks) of 15 trees: five substrate (T, PT, C2T, OTT, OST) x three trees (pseudo-replicates).

For the waste rock experiment, a split-plot design was used: 3 blocks (replicates) x 4 treatments (whole plot factor: overburden topsoil compacted or not, overburden subsoil compacted or not) x 4 tree species (sub-plot factor: jack pine, tamarack, M×B poplar, basket willow) x 16 trees per factor combination (pseudo-replicates). The three replicate blocks consisted of 82 m x 20 m x 2 m (10:1 slope) compacted waste rock. Each treatment covered a 13 x 13 m area and was separated from the others by a 6 m-wide zone without soil layer. The trees were planted at 1 x 1 m spacing and a 3 m-buffer zone was kept free of trees at the edge of the soil layers.

2.4 Measurements, sampling and analysis

2.4.1 Chemical analyses and texture

Three random samples were taken at the beginning of the glasshouse experiments for tailings and amendment characterisation (Table 1). In the first glasshouse experiment, the substrates were also re-sampled after two growing seasons for each live tree (for ST1 treatment, only the covering topsoil was sampled). In the waste rock experiment, each analysed sample was a composite of two samples (one on top of the slope, one on the bottom of the slope) randomly collected one week after planting (3 blocks x 4 treatments) for each 13 m x 13 m plot (N = 12).

Nutrient analyses were conducted on sieved (2 mm mesh), finely ground, oven-dried samples (50°C) (Lakehead University Centre for Analytical Services, Thunderbay, ON, Canada). Total N and organic C were analysed by the Dumas combustion method (LECO CNS 2000, Mississauga, ON). Organic matter concentrations were calculated as $1.72 \times$ organic carbon (C). Following HNO_3 -HCl digestion, sample concentrations of total P, K, Ca, Mg, Na, Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, S, Se, Sr, and Tl were determined by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry (ICP-AES, Vista PRO, Varian Canada, Mississauga, ON). Available-P was determined in a sodium bicarbonate solution using spectrophotometry (Olsen et al., 1954). Exchangeable Fe, Mn, Cu, Al and Zn were extracted in DPTA and also determined by ICP-AES. Finally, pH was determined in a saturated paste extract and electrical conductivity in 1:2 water solution. After drying (50°C), plant leaves and fine roots from the first glasshouse experiment were analysed for total N, P, Ca, Mg and K, together with the same total metals as were determined for the rooting substrates, using the previously detailed analytical methods. Soil texture was determined using the Bouyoucos hydrometer method (Bouyoucos, 1962).

2.4.2 Substrate structure

In the glasshouse experiments, undisturbed 100 cm^3 soil samples were taken with a double cylinder soil sampler in three pots for each substrate. These pots were prepared without plants and watered for two weeks before sampling. In the waste rock experiment, four samples by treatment (one per species) were collected with the same technique (48 samples). Bulk density and macroporosity (air-filled porosity, % of pores $< 50 \mu\text{m}$) were determined following procedures outlined by Cassel and Nielsen (1986). Soil mechanical resistance was measured with an Effegi hand-held penetrometer pressed against the soil (Facchini, Alfonsine, Italy; accuracy $\pm 1\%$; 7.9 mm probe).

2.4.3 Growth and biomass assessments

In the first glasshouse experiment, survival, stem height, and basal diameter were measured at planting and at the end of each growing season. In the second glasshouse experiment, survival was measured prior to plant harvest. The trees were separated into foliage, stems, and fine (diameter $< 1 \text{ mm}$) and coarse roots. The different plant parts were oven-dried at 50°C to constant mass and weighed.

2.4.4 Statistical analyses

Survival data were compared using the χ^2 test (PROC FREQ, SAS V.9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC). For substrate characteristics, height and diameter increments, biomass, and plant element concentrations, the data were submitted to two-way analyses of variance (treatment, species) (PROC GLM or MIXED). Height and basal diameter were subjected to three-way analyses of variance (date, substrate, and species) (PROC MIXED, with repeated measures) in experiment 1. All tested factors were fixed effects and the block factor was considered a random effect. When effects were significant for a given variable, least-square means were estimated (LS MEANS statement) and Tukey tests were conducted to separate the means. Pearson product-moment correlations (r) were calculated between substrate characteristics and tree growth parameters (PROC CORR). Overall significance for analyses was set to $\alpha = 0.05$.

3 Results

3.1 Trees in tailings

In the first glasshouse study, all trees that had been planted in tailings (fertilised with NPK or manure) died by the end of the first growing season (Table 2.1). However in the second glasshouse experiment, the DN×M poplar survived in tailings alone (Table 2.2). In both experiments, tailings appeared to have bulk density higher than 1.24 and air-filled porosity lower than 8 % (Table 3.1 and 3.2), which may impede tree root growth. Indeed, tree roots never developed in the tailings below the thin topsoil layer in the first glasshouse study.

Table 2 Percentages of tree survival among treatments at the end of the experiments for each species

Name	1st Experiment (N = 5)						2nd Experiment (N = 9)				
	T	S	ST1	ST2	MT	CT	T	C2T	PT	OTT	OST
DN×M Poplar	0	100	100	100	0	20	89	89	56	44	22
M×B Poplar	0	60	100	20	0	0					
Willow	0	100	100	100	0	20					
Alder	0	80	100	40	0	0					
Spruce	0	100	100	100	0	40					
Pine	0	100	100	100	0	60					
Tamarack	0	80	100	100	0	100					

Table 3 Bulk density, air-filled porosity, pH, electrical conductivity, and mechanical resistance among treatments at the beginning of the experiments. 1) first glasshouse experiment; 2) second glasshouse experiment, and 3) waste rock experiment – Mean (SE). N = 3 to 5. Treatments with the same letter do not differ at the 0.05 level (a < b)

		Bulk Density (g.cm ⁻³)	Air-filled Porosity (%)	pH	EC (cS.m ⁻¹)	Mechanical Resistance (kg.cm ⁻²)
1)	T: Tailings	1.24 (0.04)b	8 (0.1)a	8.0 (0.1)c	10 (1)b	
	S: Topsoil	0.63 (0.01)a	28 (1.1)b	4.6 (0.02)a	3 (0.2)a	
	ST1: Thin topsoil layer above tailings	0.61 (0.02)a	26 (0.5)b	4.6 (0.02)a	3 (0.2)a	
	ST2: Topsoil mixed with tailings	0.98 (0.04)b	10 (1.1)a	7.2 (0.01)b	9 (1)b	
	MT: Tailings and manure	1.26 (0.1)b	6 (0.2)a	8.2 (0.1)c	15 (1)c	
	CT: Bic Compost mixed with tailings	0.69 (0.03)a	20 (1.1)b	7.0 (0.01)b	34 (1)d	
2)	T: Tailings	1.42 (0.04)d	7.1 (1.5)a	7.7 (0.2)ab	14 (2)b	
	PT: Peat mixed with tailings	0.58 (0.05)a	27 (1.5)d	7.7 (0.2)ab	9 (1.5)a	
	C2T: Amos Compost mixed with tailings	0.69 (0.05)ab	17 (1.5)c	7.2 (0.2)a	4 (1.5)c	
	OTT: Overburden topsoil mixed with tailings	0.99 (0.05)c	12 (1.5)b	7.9 (0.2)b	8 (1.5)a	
	OST: Overburden subsoil mixed with tailings	1.31 (0.05)d	11 (1.5)ab	8.1 (0.2)b	5 (1.5)a	
3)	Overburden topsoil, not-compacted	0.78 (0.01)a	12 (2.5)a	5.1 (0.08)a		14 (1.2)a
	Overburden topsoil, compacted	0.73 (0.01)a	12 (2.7)a	5.1 (0.08)a		19 (1.2)b
	Overburden subsoil, not-compacted	1.39 (0.01)b	8 (2.5)a	7.2 (0.08)b		31 (1.2)c
	Overburden subsoil, compacted	1.36 (0.01)b	10 (2.5)a	7.2 (0.08)b		41 (1.2)d

3.2 Tree growth in tailings mixed with amendments

Mixing mine soils with tailings resulted in air-filled porosity values between 10 and 12% (Table 3.1 and 3.2), even if the two topsoils that were used had organic matter concentrations higher than 14% (Table 1). Consequently, DN×M poplar survival was lower than 44% in overburden topsoil or subsoil mixed with tailings (exp. 2, Table 2.2). In topsoil mixed with tailings (exp. 1), conifer total and leaf biomass, together with broad-leaved tree height growth during the first growing season, decreased on this treatment compared to topsoil alone (Figure 1.1 and 1.3).

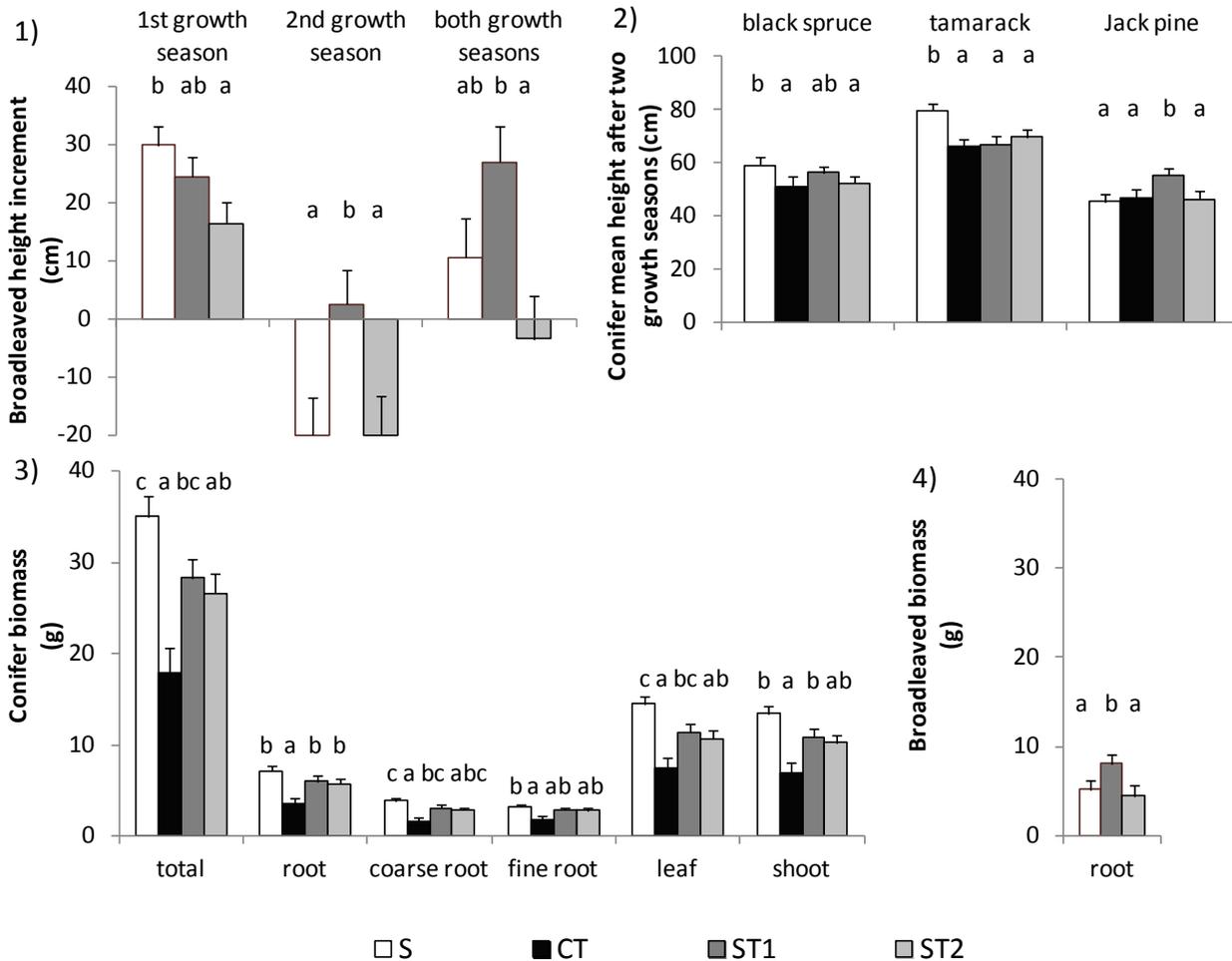


Figure 1 Tree height growth and biomass among treatments (S: topsoil; CT: compost Bic mixed with thickened tailings; ST1: thin topsoil layer above thickened tailings; ST2: topsoil mixed with thickened tailings) in the first glasshouse experiment. 1) Broad-leaved height increments along the experiment; 2) Conifer mean height at the end of the experiment; 3) Conifer and 4) Broad-leaved biomasses at the end of the experiment. Mean±SE, N = 3 to 5. Treatment means that do not differ at the 0.05 level share the same letter (a < b < c)

In contrast, the mixing of tailings with compost or peat increased air-filled porosity above 17%, with the most efficient amendment being peat, which conferred the greatest air-filled porosity to the mixtures (27%) while having the lowest organic matter concentration (8%). Compost mixtures also exhibited electrical conductivities higher than 34 cS.m⁻¹ (Table 3.1 and 3.2). Consequently, in the CT treatment (exp. 1), almost all broad-leaved trees died and survival rates were decreased for spruce and pine (Table 2.1), as well as were conifer biomasses (Figure 1.3).

Trace metal absorption by the trees was limited in the mixtures, probably due to the near-neutral pH conferred by the tailings (Tables 3.1 and 3.2). Only black spruce and basket willow accumulated Mn (slightly above 300 mg.kg⁻¹) in the leaves and roots, respectively.

3.3 Tree growth in mine soil layers

3.3.1 Overburden soil layers above waste rock (exp.3)

Tree survival in all treatments was greater than 96%, except in one plot with uncompacted subsoil layer, where it decreased to 70%. At the conclusion of the first growing season, trees in overburden topsoil covering waste rock were bigger (broad-leaved tree height and diameters of all species) than those grown in overburden subsoil (Figure 2). As both treatments received N and P mineral fertilisation, this result may be due to structural differences between the two top layers. Indeed, the subsoil had greater bulk density and mechanical resistance than the topsoil (Table 3.3), which could have hindered root development.

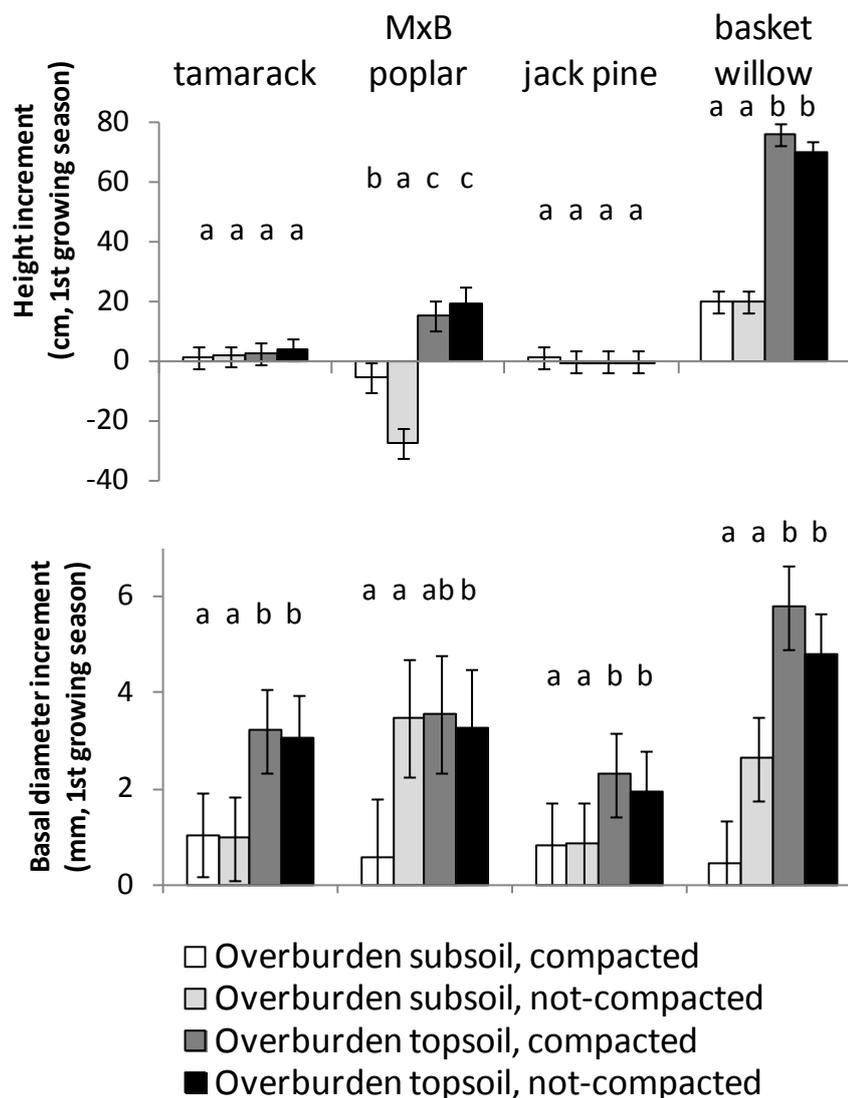


Figure 2 Height and basal diameter increments after the first growing season for each planted species among the four layers applied on waste rock: overburden subsoil, compacted vs uncompacted; and overburden topsoil, compacted vs uncompacted. Mean \pm SE, N = 48. Treatments that do not differ at the 0.05 level share the same letter (a < b < c)

The compaction treatment had no measurable effect on soil layer macroporosity or bulk density (Table 3.3) over the short-term, nor did it affect tree survival and growth. Its only effect was to increase mechanical resistance of the substrate under dry conditions (Table 3.3). Increased resistance in the topsoil was half that of the subsoil.

3.3.2 Metal absorption in topsoil layers above thickened tailings

The low pH (4.6) of the topsoil used in the first glasshouse experiment (Table 3.1) enhanced metal bioavailability, but tree survival was not affected (Table 2.1). In both S and ST1 treatments, topsoil concentrations of extractable Al (in DTPA) were negatively correlated with root biomass ($p < 0.05$; $r = -0.46$ for total root biomass, $r = -0.57$ for coarse root biomass) for all tree species. Further, several tree species grown in the S treatment accumulated Mn or Zn in their leaves at concentrations above reported phytotoxic levels (Table 4). Interestingly, after two growing seasons, the pH of the topsoil covering thickened tailings (ST1, 5.8) had significantly increased ($p < 0.001$) compared to the topsoil alone (S, 5.5), probably due to the alkaline influence of the tailings. Consequently, Zn and Mn accumulation decreased in the leaves of several species in the ST1 treatment, as did DTPA-Al concentrations (Table 4). In ST1 treatment, where Al, Zn, and Mn phytotoxicity had decreased, both tree height growth (broad-leaved species and jack pine) and root biomass (broad-leaved trees) improved when compared to the S treatment (Figure 1.1, 1.2 and 1.4). However, trees also accumulated Cu ($> 100 \text{ mg.kg}^{-1}$) beyond reported phytotoxic levels in their fine roots in the ST1 treatment relative to other treatments (Table 4).

Table 4 Metal concentrations in tree leaves and fine roots among treatments. Mean (SE), N = 3 to 5. Treatments that do not differ at the 0.05 level share the same letter in each row (a < b < c)

		Topsoil (S)	Topsoil Above Thickened Tailings (ST1)	Topsoil Mixed with Thickened Tailings (ST2)	Compost Mixed with Thickened Tailings (CT)	Phytotoxicity Thresholds in Plants (Kabata-Pendias and Pendias, 2001)
DTPA-Al		87 (3)c	67 (3)b	5 (3)a	1 (0.2)a	
Mn (leaves)	Black spruce	703 (58)b	492 (58)ab	323 (58)a	197 (95)a	300-500mg.kg ⁻¹
	Tamarack	385 (66)b	443 (58)b	95 (58)a	24 (58)a	
	Jack pine	330 (77)b	284 (77)b	91 (58)a	37 (77)a	
	Green alder	410 (41)c	214 (36)b	55 (59)a		
	Basket willow	502 (36)a	459 (36)a	332 (41)a		
Zn (leaves)	MxB hybrid poplar	462 (37)c	230 (32)b	87 (32)a		100-400mg.kg ⁻¹
	DNxM hybrid poplar	368 (28)b	291 (28)b	33 (28)a		
	Basket willow	298 (28)c	207 (28)b	85 (32)a		
Cu (fine roots)	Broad-leaved trees	22 (7)a	106 (7)c	53 (8)b		15-100mg.kg ⁻¹
	Tamarack	36 (11)a	127 (10)b	47 (10)a	46 (10)a	
	Jack pine	11 (10)a	114 (10)b	29 (10)a	38 (13)a	

4 Discussion

Interestingly, the presence of alkaline thickened tailings below a thin topsoil layer improved tree height growth and root biomass compared to topsoil alone. Tailings increased the pH of the topsoil layer, which decreased Zn and Mn accumulation that had been observed in the leaves of several broad-leaved trees as well as Al impeding root growth. The growth increase occurred despite a 1/3-reduced soil volume for root exploration because roots did not penetrate the thickened tailings layer. As topsoils of surface mines are frequently acidic (Hutnik and McKee, 1990) and may be contaminated by metals (in the case of metalliferous mines), this result demonstrates that the use of a thin topsoil layer above alkaline thickened tailings could provide a better plantation yield than the use of a thicker and more expensive layer.

The low pH of the topsoil that was used induced Al toxicity effects in tree roots, as shown by a negative correlation between root growth and DTPA-Al concentrations for broad-leaved species. These results are in accordance with Al toxicity effects reported for plants, especially plant roots, when soil pH is lower than 4.5-5 (Andersson, 1988; Delhaize and Ryan, 1995), and even 5.5 in minespoils (Rout et al., 2001). The use of a thin topsoil layer had opposite effects for Cu concentrations compared to those of Al, Zn, and Mn. Indeed, Cu accumulated (Table 4) in the roots of all tree species, except for spruce grown in ST1. However, tree growth and survival were maximal on this treatment and Cu levels were normally low in leaves, due to the restricted transport of this element from roots to leaves (Wisniewski and Dickinson, 2003). The Cu may originate from CuSO_4 that had been added to the tailings to accelerate the cyanide destruction reaction.

Despite elevated concentrations in trees grown in the topsoil, metal toxicity was likely limited because the boreal species that were used may be well-adapted to acidic soils (Timoney et al., 1993) and to associated Al (Hutchinson et al., 1986) and other metal toxicity. Indeed, trees grown on the topsoil (S and ST1 treatments) had very good survival. Moreover, although Al toxicity generally induces P and Ca deficiencies in tree leaves (Andersson, 1988; Delhaize and Ryan, 1995; Rout et al., 2001), black spruce and tamarack had needle P and Ca concentrations above the requirements reported in literature (Martin-Prével et al., 1978).

However the relevance of using thin topsoil layers to maximise the beneficial effect of underlying alkaline tailings on metal phytotoxicity may be lessened by impeded development of tree roots in the tailings. Indeed, appropriate anchorage of tree roots appears essential for the long-term sustainability of plantations. The low air-filled porosity of thickened tailings (6% in T and 8% in MT) likely resulted in oxygen shortages for root respiration and subsequent tree death in the first glasshouse experiment. Archer and Smith (1972) reported a threshold below which plant growth decreased when soil air capacity is less than 10% by volume. Similar anaerobiosis problems can occur in fine-textured soils of natural environments (Tisdall and Hodgson, 1990). In the second glasshouse experiment however, the tailings were allowed to drain and form cracks between two watering events, providing additional aeration for root growth. Also, the small volume of the cells (110 cm^3) may have enhanced O_2 turnover. Consequently, the test poplars survived over the short-term (5 weeks) and developed some roots in the tailings. It is thus possible that natural drainage under field conditions would improve thickened tailing aeration and root penetration under the soil layers, especially in the elevated portions of the tailing impoundments. Yet thickened tailings may lose a great proportion of their water through evaporation rather than gravity, and the former may be limited by the use of soil layers. These questions will be answered by a third experiment established in spring 2012 on in situ tailings deposited six months before planting.

In the case of the overburden soils that were used to cover waste rock, the compaction treatment imposed by the crawler-dozer had no effect on soil macroporosity and density, contrary to our expectations. The soils were very likely already highly compacted by the transport and stockpiling conditions (Ramsay, 1986). The stockpiled subsoil reached density and mechanical resistance thresholds (1.4 kg.cm^{-2} for density, according to Schuurman (1965); and 30 kg.cm^{-2} for mechanical resistance, according to Hakansson and Lipiec (2000), Table 3.3) that very likely decreased tree root growth. In large open-pit mines, digging the pit implies the removing of great soil quantities which must be stockpiled in limited space until the tailings impoundments and waste rock piles are ready for revegetation. To alleviate the negative effects of

stockpiling on the overburden subsoil structure, mixing it with an organic matter-rich amendment should be tested to ascertain whether its structural quality can be improved.

Yet the OM-rich overburden topsoil (17%) was more resistant than the mineral subsoil to compaction effects on mechanical resistance, the increase of which was reduced by half compared to the increase in the mineral subsoil. Soane (1990) noted that the presence of organic matter increases soil elasticity and resistance to deformation and, thus, decreases compactibility. Consequently, tree growth was improved on this substrate compared to the subsoil (Figure 2).

Compared to soil layers, the interest of using mixtures of thickened tailings with amendments lies in reducing metal absorption by trees from the substrates due to the neutral pH of the mixtures (De Nicola et al., 2003). No metal accumulation in the leaves of trees that had been grown in mixtures was encountered in the first glasshouse experiment. However, tree survival and growth may be limited by inadequate air-filled porosity or salinity of the mixtures.

Mixing tailings with mine topsoil (ST2) or overburden soils (OTT and OST) kept air-filled porosity (Table 3) close to the 10% threshold necessary to allow root growth (Archer and Smith, 1972). When the soils were stockpiled (exp. 2), DN×M hybrid poplar survival was low (Table 2.2). Conversely, in experiment 1, the sandy texture of the topsoil and the soil organisms kept alive without stockpiling (Abdul-Kareem and McRae, 1984) probably played an active role in improving drainage and restoring soil air-filled porosity, respectively. Consequently, trees had high survival, but their growth and biomass were decreased (Figure 1).

On one hand, the use of vermicompost (CT and C2T) successfully increased air-filled porosity to levels suitable for root growth (Table 3). Earthworm compost is known to provide humic acid substances (Canellas et al., 2002), which form stable aggregates by adhesion with substrate particles that increase porosity (Ibrahim and Goh, 2004). However, peat and its fibrous texture appeared to be the most efficient amendment for alleviating the low air-filled porosity of the tailings.

On the other hand, composts from food wastes appeared to be inadequate for establishing tree plantations on tailings. Their use greatly increased electrical conductivity of the mixtures to values near or above the 40 cS.m^{-1} threshold that allows root survival (Epstein et al., 1976; Jordan et al., 2008). High salt concentrations lead to high osmotic potentials in the substrate, limiting the availability of water for tree roots and possibly increasing drought stress (Jordan et al., 2008). In the short-term, elevated salinity had no deleterious effects on the growth and survival of poplar trees in experiment 2. Over the longer term, however, all broad-leaved trees died in the first glasshouse experiment, while conifer trees, which transpire less (Bugmann, 1996) and are generally more drought tolerant than broad-leaved species (Gao et al., 2002), survived but showed decreases in all studied biomass parameters. These results differ from the compost-enhancing effects reported in the literature when these materials are added to tailings (Mendez and Maier, 2008).

5 Conclusion

The main factor that limited tree plantation success in this study was the limited air-filled porosity of the fine-textured tailings on one hand and of the stockpiled mineral clay soil on the other hand. The lack of structure and drainage resistance of thickened tailings limit O_2 diffusion, which may impede root growth, especially in the lower parts of tailings impoundments. The presence of organic matter in the clay soil increased its resistance to stockpiling deleterious effects on mechanical resistance and density.

Alkaline thickened tailings that are mixed with organic amendments such as peat should provide sufficient air-filled porosity and support satisfactory tree growth while limiting metal contamination. High salinity composts could be used with drought resistant conifers but at the cost of reduced growth and associated delayed improvement of the landscape.

Finally, this study demonstrated that the presence of alkaline thickened tailings under a thin acidic topsoil layer can improve tree growth compared to the use of a thick layer. This technique may accelerate

landscape reclamation while decreasing the costs. However, as tree roots may not penetrate the thickened tailings, tree anchorage may be limited over the longer term.

Acknowledgements

This research was financed by the Osisko Mining Corporation and the Industrial R&D Fellowship (IRDF) program of the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC). The authors thank the Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue for providing laboratory and technical equipment, as well as the Ferme Richard in Rivière-Héva, QC, and the Commission Scolaire Harricana, Amos, QC. We also thank William F.J. Parsons from the Center for Forest Research for English improvement.

References

- Abdul-Kareem, A.W. and McRae, S.G. (1984) The effects on topsoil of long-term storage in stockpiles, *Plant and Soil Journal*, Vol. 76, pp. 357–363.
- Agriculture and Agri-Food Canada (11/06/2010) The Canadian system of soil classification, 3rd edition, viewed 5 July 2012, <http://sis.agr.gc.ca/cansis/taxa/cssc3/intro.html>.
- Andersson, M. (1988) Toxicity and tolerance of aluminium in vascular plants, *Water, Air, and Soil Pollution*, Vol. 39, pp. 439–462.
- Angel, P.N., Graves, D.H., Barton, C., Warner, R.C., Conrad, P.W., Sweigard, R.G. and Agouridis, C. (2006) Surface mine reforestation research: evaluation of tree response to low compaction reclamation techniques, in *Proceedings of the 7th International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD)*, R.I. Barnhisel (ed), March 26–30, St. Louis, MO, Published by the American Society of Mining and Reclamation (ASMR), Lexington, KY, pp. 45–58.
- Anterrieu, O., Chouteau, M. and Aubertin, M. (2010) Geophysical characterization of the large-scale internal structure of a waste rock pile from a hard rock mine, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol. 69(4), pp. 533–548.
- Archer, J.R. and Smith, P.D. (1972) The relation between bulk density, available water capacity, and air capacity of soils, *Journal of Soil Science*, Vol. 23(4), pp. 475–480.
- Bouyoucos, G.J. (1962) Hydrometer method improved for making particle-size analysis of soils, *Agronomy Journal*, Vol. 54, pp. 464–465.
- Bugmann, H. (1996) Functional types of trees in temperate and boreal forests: classification and testing, *Journal of Vegetation Science*, Vol. 7(3), pp. 359–370.
- Burger, J.A. and Zipper, C.E. (2002) How to restore forests on surface-mined land, *Reclamation guidelines for surface mined land in Southwest Virginia*, Virginia Cooperative Extension, Powell River Series, Publication 460–123, 18pp.
- Bussière, B. (2007) Colloquium 2004: Hydrogeotechnical properties of hard rock tailings from metal mines and emerging geoenvironmental disposal approaches, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 44, pp. 1019–1052.
- Canellas, L.P., Olivares, F.L., Okorokova-Façanha, A.L. and Façanha, A.R. (2002) Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H⁺-ATPase activity in maize roots, *Plant Physiology*, Vol. 130, pp. 1951–1957.
- Cassel, D.K. and Nielsen, D.R. (1986) Field capacity and available water capacity, *Methods of soil analysis, Part 1 – Physical and mineralogical methods*, A. Klute (ed), Agronomy Series No. 9, ASA and SSSA, Madison, WI, USA, pp. 901–926.
- Delhaize, E. and Ryan, P.R. (1995) Aluminium toxicity and tolerance in plants, *Plant Physiology* 107, pp. 315–321.
- De Nicola, F., Maisto, G. and Alfani, A. (2003) Assessment of nutritional status and trace element contamination of holm oak woodlands through analyses of leaves and surrounding soils, *Science of the Total Environment*, Vol. 311, pp. 191–203.
- Drake, L. (1986) Survival and growth of conservation shrubs and trees with thin-cover reclamation on acid substrate, Iowa, USA, *Environmental Geochemistry and Health*, Vol. 8(3), pp. 62–67.
- Emerson, P., Skousen, J. and Ziemkiewicz, P. (2009) Survival and growth of hardwoods in brown versus gray sandstone on a surface mine in West Virginia, *Journal of Environmental Quality*, Vol. 38, pp. 1821–1829.
- Environment Canada (2004) National climate archives, viewed 26 April 2012, <http://climate.weatheroffice.ec.gc.ca/index.html>.
- Epstein, E., Taylor, J.M. and Chaney, R.L. (1976) Effects of sewage sludge and sludge compost applied to soil on some soil physical and chemical properties, *Journal of Environmental Quality*, Vol. 5, pp. 422–426.
- Gao, Q., Zhao, P., Zheng, X., Cai, X. and Shen, W. (2002) A model of stomatal conductance to quantify the relationship between leaf transpiration, microclimate and soil water stress, *Plant, Cell and Environment*, Vol. 25(1), pp. 1373–1381.
- Hakansson, I. and Lipiec, J. (2000) A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction, *Soil and Tillage Research*, Vol. 53, pp. 71–85.
- Halofsky, J.E. and McCormick, L.H. (2005) Effects of unseeded areas on species richness of coal mines reclaimed with municipal biosolids, *Restoration Ecology*, Vol. 13(4), pp. 630–638.
- Hutchinson, T.C., Bozic, L. and Munoz-Vega, G. (1986) Response of five species of conifer seedlings to aluminium stress, *Water, Air, and Soil Pollution*, Vol. 31, pp. 283–294.
- Hutnik, R.J. and McKee, G.W. (1990) *Revegetation, Surface mining* (2nd edition), B.A. Kennedy (Ed.), Colorado Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Denver, pp. 811–817.
- Ibrahim, S.M. and Goh, T.B. (2004) Changes in macroaggregation and associated characteristics in mine tailings amended with humic substances, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Vol. 35(13&14), pp. 1905–1922.

- Jordan, S.N., Mullen, G.J. and Courtney, R.G. (2008) Utilization of spent mushroom compost for the revegetation of lead–zinc tailings: Effects on physico-chemical properties of tailings and growth of *Lolium perenne*, *Bioresource Technology*, Vol. 99, pp. 8125–8129.
- Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. (2001) Trace elements in soil and plants, 3rd edition, CRC Press, Boca Raton, Florida, 331 pp.
- Kost, D.A. and Vimmerstedt, J.P. (1994) Ground cover and tree growth on calcareous mine soils: greater influence of soil surface than nitrogen rate or seed mix, in Proceedings of the International Land Reclamation and Mine Drainage Conference and the 3rd International Conference on the Abatement of Acidic Drainage, Pittsburgh, PA, April 24–29, pp. 295–304.
- Martin-Prével, P. (1978) Rôle des éléments minéraux chez les végétaux, *Fruits*, Vol. 33(7–8), pp. 521–529.
- Mendez, M.O. and Maier, R.M. (2008) Phytostabilization of mine tailings in arid and semiarid environments – an emerging remediation technology. *Environmental Health Perspectives*, Vol. 116(3), pp. 278–283.
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanave, F.S. and Dean, L.A. (1954) Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate, *Circ. USDA*. 939, pp. 1–19.
- Parrotta, J.A., Turnbull, J.W. and Jones, N. (1997) Catalyzing native forest regeneration on degraded tropical lands, *Forest Ecology and Management*, Vol. 99, pp. 1–7.
- Poisson, J., Chouteau, M., Aubertin, M. and Campos, D. (2009) Geophysical experiments to image the shallow internal structure and the moisture distribution of a mine waste rock pile, *Journal of Applied Geophysics*, Vol. 67(2), pp. 179–192.
- Ramsay, W.J.H. (1986) Bulk soil handling for quarry restoration, *Soil Use and Management*, Vol. 2, pp. 30–39.
- Robinsky, E., Barbour, S.L., Wilson, G.W., Bordin, D. and Fredlund, D.G. (1991) Thickened sloped tailings disposal – an evaluation of seepage and abatement of acid drainage, in Proceedings of the 2nd International Conference on the Abatement of Acidic Drainage, September 16–18, Montréal, QC, pp. 529–549.
- Rout, G.R., Samantaray, S. and Das, P. (2001) Aluminium toxicity in plants: a review, *Agronomie*, Vol. 21, pp. 3–21.
- Schuurman, J.J. (1965) Influence of soil density on root development and growth of oats, *Plant and Soil*, Vol. 22(3), pp. 352–374.
- Skousen, J., Ziemkiewicz, P. and Venable, C. (2006) Tree recruitment and growth on 20-year-old, unreclaimed surface mined lands in West Virginia, *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, Vol. 20(2), pp. 142–154.
- Soane, B.D. (1990) The role of organic matter in soil compactibility: A review of some practical aspects, *Soil and Tillage Research*, Vol. 16(1–2), pp. 179–201.
- Strong, W.L. (2000) Vegetation development on reclaimed lands in the Coal Valley Mine of western Alberta, Canada, *Canadian Journal of Botany*, Vol. 78, pp. 110–118.
- Timoney, K.P., La Roi, G.H., Zoltai, S.C. and Robinson, A.L. (1993) Vegetation communities and plant distributions and their relationships with parent materials in the forest-tundra of Northwestern Canada, *Ecogeography*, Vol. 16(2), pp. 174–188.
- Tisdall, J.M. and Hodgson, A.S. (1990) Ridge tillage in Australia: a review. *Soil and Tillage Research*, Vol. 18(2-3), pp. 127-144.
- Tordoff, G.M., Baker, A.J.M. and Willis, A.J. (2000) Current approaches to the revegetation and reclamation of metalliferous mine wastes, *Chemosphere*, Vol. 41, pp. 219–228.
- Van den Driessche, R. (1999) First-year growth response of four *Populus trichocarpa* x *Populus deltoïdes* clones to fertilizer placement and level, *Canadian Journal of Forest Research*, Vol. 29, pp. 554–562.
- Washburn, B.E., Hughes, H.G. and Storm, G.L. (1994) Influence of seeding level upon plant community dynamics on reclaimed mined lands in Pennsylvania, in Proceedings of the International Land Reclamation and Mine Drainage Conference and the 3rd International Conference on the Abatement of Acidic Drainage, Pittsburgh, PA, April 24–29, pp. 285–294.
- Wisniewski, L. and Dickinson, N.M. (2003) Toxicity of copper to *Quercus robur* (English Oak) seedlings from a copper-rich soil, *Environmental and Experimental Botany*, Vol. 50, pp. 99–107.

Revegetation of Non-Acid-Generating, Thickened Tailings with Boreal Trees: A Greenhouse Study

Marie Larchevêque,* Annie Desrochers, Bruno Bussière, Hélène Cartier, and Jean-Sébastien David

Tree planting presents clear advantages for mine reclamation that is aimed at achieving rapid reclamation of forested landscapes. A greenhouse study was conducted to evaluate the capacity of non-acid-generating, thickened tailings to support six boreal tree species during two growing seasons. One treatment was thickened tailings alone fertilized with inorganic N, P, and K fertilizer or chicken (*Gallus gallus domesticus*) manure. A thin layer of overburden topsoil was used to cover the tailings and was compared with topsoil alone, where normal tree growth was expected. Two amendments were also tested: overburden topsoil and vermicompost from food wastes. The presence of alkaline thickened tailings under the thin layer of acidic topsoil had a positive effect on tree height and root biomass (broadleaved and jack pine [*Pinus banksiana* Lamb.]) by increasing topsoil pH and available Ca concentrations, which decreased Al, Zn, and Mn phytoavailability to trees; however, root contact with the tailings also increased their Cu concentrations. In thickened tailings that were mixed with topsoil, C/N ratios increased along the experiment from 21 to 40, a value where N immobilization by microorganisms occurred, as suggested by low N concentrations in tree tissues. In consequence, tree height growth (broadleaved) and biomass (conifers) were reduced. Amendment with compost raised the electrical conductivity (3.4 dS cm^{-1}) to thresholds limiting broadleaved survival, while conifers showed a generalized decrease in biomass production. No trace metal contamination of the trees occurred in the mixtures, probably due to the near-neutral pH conferred by the tailings.

TREES HAVE BEEN used extensively to revegetate surface mines, especially coal mines in the United States (Drake, 1986; Kost and Vimmerstedt, 1994; Angel et al., 2006; Emerson et al., 2009), Europe (Katzur and Haubold-Rosar, 1996; Bending and Moffat, 1999; Pietrzykowski, 2010), and India (Singh and Singh, 2006; Maiti, 2007). Coal mines generally produce acidic, coarse-fragment spoils. Metalliferous mines, in contrast, generate fine tailings that remain after valuable metals have been removed from the ore. Few studies are available regarding the use of trees in their reclamation (Bjugstad, 1986; Boyter et al., 2009; Asensio et al., 2011).

Vegetation establishment on mine wastes is difficult because these mineral materials lack physical structure, organic matter, nutrients, and soil organisms (Burger and Zipper, 2002); they can also contain potentially phytotoxic salt levels, along with heavy metals (Tordoff et al., 2000). Among milling wastes, thickened tailings represent an emerging technology for surface deposition (Robinsky et al., 1991). They have a solid content of 50 to 70% (on a mass basis) when placed. Their basic properties are similar to those of conventional deposited tailings (slurried) (Bussière, 2007), but the uniform grain-size distribution in the impoundment (Al and Blowes, 1999) confers more homogeneous hydraulic conductivities (average saturated hydraulic conductivity $K_{\text{sat}} = 5 \times 10^{-8} \text{ m s}^{-1}$, Woysner and St-Arnaud, 1994) in tailings storage areas. Therefore, drainage may be limited and water loss occurs mainly through surface evaporation (Woysner and St-Arnaud, 1994), especially when impervious soil underlies the impoundment.

Because trees are particularly sensitive to the aeration status of the rooting medium (Angel et al., 2006; Emerson et al., 2009), their establishment on thickened-tailings-based substrates may prove difficult compared with that of more tolerant herbaceous

M. Larchevêque and A. Desrochers, Chaire Industrielle CRSNG-UQAT-UQAM en Aménagement forestier durable, Univ. du Québec en Abitibi-Témiscamingue, 341 Principale Nord, Amos, QC J9T 2L8, Canada; B. Bussière, Chaire de recherche du Canada sur la Restauration des sites miniers abandonnés, Univ. du Québec en Abitibi-Témiscamingue, 445 boulevard de l'Université, Rouyn-Noranda, QC J9X 5E4, Canada; H. Cartier, Corporation minière Osisko, Gare Windsor, Bureau 300, 1100 avenue des Canadiens-de-Montréal, CP 211, Montréal, QC H3B 2S2, Canada; J.-S. David, Ressources d'Arianne, 30 rue Racine Est, Bureau 160, Chicoutimi, QC G7H 1P5, Canada. Assigned to Associate Editor Richard Stehouwer.

Abbreviations: CT, thickened tailings mixed with compost treatment; DN×M poplar, *Populus deltoides nigra* × *Populus maximowiczii*; DTPA, diethylenetriaminepentaacetic acid; M×B poplar, *Populus maximowiczii* × *Populus balsamifera*; MT, thickened tailings with chicken manure treatment; OM, organic matter; S, organic overburden topsoil treatment; ST1, thin layer of organic overburden topsoil above thickened tailings treatment; ST2, thickened tailings mixed with organic overburden topsoil treatment; T, thickened tailings with mineral fertilization treatment.

Copyright © American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America. 5585 Guilford Rd., Madison, WI 53711 USA. All rights reserved. No part of this periodical may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or any information storage and retrieval system, without permission in writing from the publisher.

J. Environ. Qual. 42:351–360 (2013)

doi:10.2134/jeq2012.0111

Received 14 Mar. 2012.

*Corresponding author (marie.larcheveque@uqat.ca).

species, which are usually used for fine-tailings reclamation (Burger and Zipper, 2002). Yet trees present clear advantages for mine reclamation that is aimed at rapidly attaining a positive visual effect (greening up). In forested landscapes, reclamation with trees may result in greater biodiversity at the ecosystem level compared with revegetation with herbaceous species because canopy closure facilitates native plant species recolonization (Strong, 2000). Conversely, herbaceous species that are used for reclamation of mining sites are generally very competitive for water, nutrients, and light, thereby preventing the establishment of native tree species (Drake, 1986; Kost and Vimmerstedt, 1994; Washburn et al., 1994; Halofsky and McCormick, 2005; Skousen et al., 2006).

A greenhouse study was conducted to evaluate the survival, growth, and nutrient and trace metal concentrations of several species of trees that are adapted to boreal conditions (jack pine, black spruce [*Picea mariana* (Mill.) Britton et al.], tamarack or eastern larch [*Larix laricina* (Du Roi) K. Koch], green alder [*Alnus crispa* (Chaix) DC, ssp. *crispa* (Aiton) Turill], hybrid poplars *Populus maximowiczii* A. Henry \times *P. balsamifera* L. and *P. \times canadensis* Moench (pro sp.) [*deltoides* \times *nigra*] \times *P. maximowiczii*, and common osier or basket willow [*Salix viminalis* L.]) on non-sulfidic thickened tailings from a gold mine. We aimed to understand the main physicochemical limitations of thickened tailings for mine reclamation with planted boreal trees and to identify which local materials were the most suitable for improving their chemical and structural qualities. Because the thickened tailings that were used were not acid generating, their toxicity toward tree roots may be limited (Bagatto and Shorthouse, 1999; Trüby, 2003). Therefore, we mixed them with amendments (organic overburden topsoil or compost) or added fertilizers (N, P, and K in water or chicken manure) and compared the performance of the mixtures with that of natural soil layers. The use of mixtures could reduce the quantities of materials that must be transported to reclaim the mine site. A thin layer of organic overburden topsoil was used to cover the thickened tailings; we compared this reconstituted soil profile with the same topsoil alone to investigate if tree root contact with the tailings influenced tree growth and whether it was necessary to isolate the tree roots from the tailings by using an expensive thick layer. Our working hypotheses were that: (i) when nutrients are provided, the low degree of aeration or the high density of thickened tailings will impede tree root growth; (ii) the use of amendments that are rich in organic matter will improve tree root development by increasing aeration of the mixtures; (iii) the use of a thin layer of overburden topsoil above thickened tailings will limit the space available for root colonization and tree growth compared with topsoil alone; (iv) elevated concentrations of salts in the tailings will expose trees to drought stress; and (v) trace metal accumulation by trees will be low due to the near-neutral pH of the tailings.

Materials and Methods

Plant Material and Growth Conditions

All trees were locally produced and recommended for planting in the boreal region by the Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune du Québec. We used 2-yr-old seedlings grown in 45–110 containers (45 cells per container, 110 cm³ per cell) for jack pine, black spruce, tamarack, and green alder. Hybrid poplar and willow stock consisted of clonally propagated, 1-yr-old whips

from *P. maximowiczii* \times *P. balsamifera* (M \times B, Quebec clone code 915319), *P. \times canadensis* \times *P. maximowiczii* (DN \times M, Quebec clone code 916004), and basket willow. Whips were chosen because of their rapid initial growth. Plant material was planted on 15 June 2010 in 3.6-L (container trees) and 7-L (whips) pots and placed in a greenhouse with an 18-h photoperiod and temperature of about 25°C. Soil moisture levels in the pots were checked daily, and when soils were dry, the pots were watered to field capacity. Two growing seasons of 3 mo each were simulated in the greenhouse, separated by 4 mo of dormancy (natural winter photoperiod, 5°C temperature).

Substrates

Six substrates were tested in this experiment: thickened tailings with mineral fertilization (T); thickened tailings with chicken manure (MT, 184 g dry matter [DM] pot⁻¹); thickened tailings mixed with compost (CT, 740 g DM pot⁻¹ corresponding to 23% DM of compost); organic overburden topsoil alone (S); a thin layer of organic overburden topsoil (12–14 cm) above thickened tailings (6–7 cm) (ST1); and thickened tailings mixed with organic overburden topsoil (ST2, 1500 g DM pot⁻¹ corresponding to 38% DM of topsoil). The thickened tailings came from the Canadian Malartic mine (property of Osisko Mining Corporation, 48.1° N, 78.1° W) and consisted of finely milled rock wastes from the gold extraction process (cyanide leaching) (Table 1). Osisko Malartic tailings were low in sulfur (around 1%) and contained around 4.3% calcite, which can neutralize acidity. At the beginning of the experiment, the tailings had not undergone oxidation, as they were provided in a water-saturated state. They were deposited in the pots as a slurry and air dried before being used (4% bulk moisture remaining). Trees in the T treatment were fertilized biweekly with liquid fertilizer (20–20–20 N–P–K, 4 mL L⁻¹ for broadleaved species and 30–10–10 N–P–K, 2.2 mL L⁻¹ for conifers; Botanix). Locally produced chicken manure was dried and granulated (Ferme Richard; Table 1). It was inserted into slits made with a shovel blade. The compost that was used was made from vermicomposted food wastes (Eugenia farm; Table 1) and was mixed by hand with the tailings. The organic overburden topsoil came from the Canadian Malartic mine site. It consisted in the first 10 to 15 cm of soil from a previously mixed-forest site and was collected after removing tree harvesting debris with a mechanical digger. The topsoil was sieved to pass a 0.67-cm mesh and used a few days after being collected. The manure, compost, and topsoil application rates were calculated to provide at least 4% organic matter and improve the thickened tailings structure (enhance aeration). The application rates of major nutrients and organic matter (for each amendment) are provided in Table 2.

Experimental Design

The experimental design was a randomized block design with five replications (blocks) of 42 trees and two factorial fixed treatment factors: (i) six substrates (T, MT, CT, ST1, ST2, and S), and (ii) seven tree types (spruce, pine, tamarack, alder, M \times B and DN \times M hybrid poplars, and basket willow).

Measurements, Sampling, and Analysis

Chemical Analyses

Three random samples were taken at the beginning of the experiment from the thickened tailings, topsoil, compost, and

manure, together with the different mixtures, for chemical and physical characterization. The substrates were resampled at the end of the experiment for each live tree. For the ST1 treatment, only the topsoil layer was sampled. Nutrient analyses were conducted

on sieved (2-mm mesh), finely ground, and dried samples (50°C) except for mineral N, which was analyzed on fresh frozen subsamples (Lakehead University Centre for Analytical Services). Total N and organic C were analyzed by the Dumas combustion

Table 1. Agronomic properties and trace metal concentrations of thickened tailings and amendments before any mixing.

Parameter†	Topsoil overburden	Thickened tailings	Compost	Chicken manure
Bulk density, g cm ⁻³	0.63 (0.01)‡	1.24 (0.04)		
Air-filled porosity, % v/v	28 (1.1)	8 (0.1)		
pH	4.6 (0.02)	8.0 (0.1)	6.8 (0.1)	7.3 (0.03)
Electrical conductivity, dS m ⁻¹	0.3 (0.02)	1.0 (0.1)	4.7 (0.1)	5.4 (0.5)
Clay (<2 µm), %	6 (0.7)	12 (0.7)		
Silt (2–50 µm), %	22 (1.3)	50 (1.3)		
Sand (>50 µm), %	72 (0.7)	38 (1.2)		
Organic matter, %	14 (0.6)	0.5 (0.1)	54 (0.6)	50 (0.3)
C/N ratio	27 (1.6)	15 (5.9)	21 (0.3)	6 (0.1)
Total N, g kg ⁻¹	3.1 (0.1)	0.3 (0.1)	15 (0.4)	47 (1)
NH ₄ ⁺ , mg kg ⁻¹	70 (3)	7 (0.35)	11 (5.9)	1399 (157)
NO ₃ ⁻ , mg kg ⁻¹	92 (2.8)	3 (0.33)	902 (6.5)	2 (0.03)
Total P, g kg ⁻¹	0.3 (0.01)	0.6 (0.01)	4.5 (0.2)	16 (0.4)
Olsen P, mg kg ⁻¹	11 (0.7)	6 (1.6)	429 (48)	959 (12)
Total K, g kg ⁻¹	0.6 (0.02)	7.2 (0.1)	6.7 (0.1)	17.9 (0.1)
eK, g kg ⁻¹	0.2 (0.01)	0.2 (0.01)	14.6 (0.1)	16 (0.08)
Total Ca, g kg ⁻¹	0.2 (0.05)	18 (0.4)	7.8 (0.4)	100 (4)
eCa, g kg ⁻¹	0.6 (0.01)	3.3 (0.02)	6.4 (0.2)	7.4 (0.02)
Total Mg, g kg ⁻¹	2.5 (0.1)	11.9 (0.1)	5.4 (0.1)	4.6 (0.03)
eMg, mg kg ⁻¹	129 (3)	52 (3)	1904 (22)	1807 (23)
Total Na, g kg ⁻¹	0.1 (0.002)	0.4 (0.02)	1.5 (0.02)	2.9 (0.1)
eNa, mg kg ⁻¹	13 (0.6)	165 (25)	1236 (31)	2374 (7)
DTPA Cu, mg kg ⁻¹	2 (0.03)	9 (1.3)	6 (1.6)	24 (0.3)
DTPA Fe, mg kg ⁻¹	250 (8.6)	13 (0.3)	36 (9.4)	84 (0.6)
DTPA Mn, mg kg ⁻¹	34 (0.2)	4 (0.04)	16 (0.4)	95 (1.7)
DTPA Zn, mg kg ⁻¹	9 (0.04)	6 (4.4)	44 (0.4)	114 (2)
Total Al, g kg ⁻¹	9.7 (0.15)	10.3 (0.2)	3.3 (0.06)	0.17 (0.005)
Total Fe, g kg ⁻¹	15 (0.5)	29 (2.4)	3.3 (0.28)	0.5 (0.02)
Total B, mg kg ⁻¹	4 (0.03)	6 (0.28)	17 (0.9)	18 (0.45)
Total Cd, mg kg ⁻¹	NDS	ND	ND	ND
Total Cr, mg kg ⁻¹	43 (1.1)	101 (2.2)	8 (1.3)	1 (0.12)
Total Cu, mg kg ⁻¹	24 (1.1)	87 (5.2)	50 (1.3)	53 (3.2)
Total Mn, mg kg ⁻¹	178 (6)	360 (5)	360 (5)	355 (6)
Total Ni, mg kg ⁻¹	18 (1)	47 (1)	4 (0.4)	2 (0.9)
Total Pb, mg kg ⁻¹	14 (0.001)	14 (0.001)	5 (0.02)	0.33 (0.04)
Total Zn, mg kg ⁻¹	20 (1)	60 (2)	160 (5)	338 (10)

† eK, eMg, eCa, and eNa, exchangeable cations extracted with NH₄OAc. Concentrations are expressed on a dry mass basis, except for air-filled porosity.

‡ Means with SE in parentheses; *n* = 3.

§ ND, not detectable.

Table 2. Amendment application rates on a dry-mass basis for major nutrients and organic matter and equivalent field application rates (with a depth of 21 cm equivalent to the depth of the 7-L pots).

Parameter	Topsoil		Compost		Manure	
	g pot ⁻¹	Mg ha ⁻¹	g pot ⁻¹	Mg ha ⁻¹	g pot ⁻¹	Mg ha ⁻¹
Total application	1500	395	740	195	184	48
Organic matter	210	55	400	105	92	24
Total N	4.7	1.2	11	2.9	8.7	2.3
Total P	0.5	0.1	3.3	0.9	2.9	0.8
Total K	0.9	0.2	5.0	1.3	3.3	0.9
Total Mg	3.0	0.8	58	15	18	4.7
Total Ca	3.8	1.0	4.0	1.1	0.9	0.2
Total Na	0.2	0.05	1.1	0.3	0.5	0.1

method (Leco CNS 2000, Leco Instruments). Samples were digested by a HNO_3 -HCl mixture (75 and 25% v/v, respectively) for the determination of total elemental concentrations (P, K, Ca, Mg, Na, Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, S, Se, Sr, and Ti). Element concentrations were measured by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry (ICP-AES; Varian Vista-Pro, Varian Canada), according to methods detailed in Kalra and Maynard (1991). Available P was determined colorimetrically from a $0.5 \text{ mol L}^{-1} \text{ NaHCO}_3$ extract (Olsen method; Kalra and Maynard, 1991). Exchangeable K, Ca, Mg, and Na were extracted in $1 \text{ mol L}^{-1} \text{ NH}_4\text{OAc}$ (Simard, 1993), while exchangeable Fe, Mn, Cu, Al, and Zn were extracted in diethylenetriaminepentaacetic acid (DTPA). Exchangeable element concentrations were also determined by ICP-AES. Available NH_4^+ and NO_3^- were extracted in $2 \text{ mol L}^{-1} \text{ KCl}$ and determined colorimetrically by continuous-flow analysis (Technicon Autoanalyzer II). Finally, pH was determined in a saturated paste extract, while electrical conductivity was measured in 1:2 substrate/water solutions. After drying, plant leaves and fine roots were analyzed for total N, P, Ca, Mg, and K, together with the same total metals measured in the substrates, using the same analytical methods.

Substrate Structure

Soil texture was determined, using the hydrometer method (Bouyoucos, 1962), on samples taken at the beginning of the experiment. For soil structure, undisturbed 100-cm^3 soil samples were taken with a double-cylinder soil sampler in three pots for each substrate (18 pots). These pots were prepared without any trees and were watered each day for 2 wk before sampling. Bulk density and macroporosity (air-filled porosity) were determined following the procedures of Cassel and Nielsen (1986). Volumetric water content of the substrates was measured once in each growing season (20 Sept. 2010 and 18 Apr. 2011) using time-domain reflectometry (Field Scout TDR 100 with a 12-cm-long probe, Spectrum Technologies; $\pm 3.0\%$ accuracy).

Growth and Biomass Assessments

Stem maximum height and basal diameter were measured at planting and at the end of the two growing seasons (10 Jan. and 19 Apr. 2011) for all live trees. At the end of the experiment, the number of leaves and total leaf area (LI-3100C leaf area meter, LiCor) were measured for broadleaved species. The trees were then harvested and separated into fine (diameter $< 1 \text{ mm}$) and coarse roots, stems, and leaves or needles. The various plant components were oven dried at 50°C to constant mass and weighed.

Stable Carbon Isotope Analysis

Carbon isotope ratios ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) were determined on a subsample of leaves and needles that had been ground for nutrient analysis, using a Costech ECS 4010 elemental combustion system (Costech Analytical Technologies) coupled to a continuous-flow IRMS (Finnigan Delta Plus Advantage, ThermoFinnigan). The relative abundance of ^{13}C in leaves (‰) was expressed in terms of C isotope composition ($\delta^{13}\text{C}$), according to the following relationship: $\delta^{13}\text{C} = [(R_1 - R_s)/R_s]1000$, where R_1 and R_s are the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios of the leaf sample and the Pee Dee belemnite standard, respectively.

Statistical Analysis

Survival data were compared using the χ^2 test for each growing season (PROC FREQ; SAS Institute, 2008). Substrate

characteristics (at the beginning of the experiment and after the second growing season), together with height and diameter increments (after the first and second growing seasons), biomass traits, plant elemental concentrations, and $\delta^{13}\text{C}$ values (at the end of the second growing season), were subjected to two-way ANOVAs (substrate and species as main effects; PROC GLM, SAS Institute, 2008). Height and basal diameter were subjected to three-way ANOVAs (date, substrate, and species; PROC MIXED with repeated measures, SAS Institute, 2008). All factors were fixed effects, while the block factor was considered random. When effects were significant for a given trait, least-squares means were estimated (LS MEANS; SAS Institute, 2008) followed by means separation tests (Tukey tests). Pearson correlations (r) were calculated between substrate characteristics and tree growth parameters (PROC CORR; SAS Institute, 2008). In all analyses, tests were declared significant at the $\alpha = 0.05$ level.

Results

Tree Survival

By the end of the experiment, all trees that had been planted on tailings with N-P-K fertilizer (T) or on tailings with manure (MT) were dead. These treatments were consequently excluded from further statistical analyses. All broadleaved species died on compost that had been mixed with tailings (CT), whereas conifer species survival was little affected by this treatment. Thus, we separated conifer and broadleaved species for further statistical analyses. Survival was 100% in the topsoil layer treatments (S and ST1) for all species except the M×B hybrid poplar (80% survival in S). Survival was lower than in S in the topsoil-tailings mixture for alder (60%) and the M×B hybrid poplar (40%).

Growth and Biomass

Conifers

The mean height of trees after the second growing season (T2) was greatest in the organic topsoil alone (S) for larch and spruce, while it was greatest in the thin organic layer above thickened tailings (ST1) for pine (Fig. 1a). No interaction occurred between treatment and species for biomass variables, thus the conifer species data were pooled. The CT treatment decreased total, root, coarse root, fine root, leaf, and shoot biomass compared with S (Fig. 1b). The ST2 treatment reduced total and leaf biomass compared with the S treatment.

Broadleaved Species

No interaction occurred between treatment and species for height and diameter increments, total and coarse root biomass, and total leaf area, thus the broadleaved species data were pooled. After the first growing season, height and diameter increments were lower in the ST2 treatment than in the control S, with ST1 being intermediate between the two (Fig. 2a). During the second growing season, the height increment was positive and greatest in ST1 compared with both the S and ST2 treatments, for which it was negative due to stem dieback (Fig. 2a). Total and coarse root biomass also increased in ST1 compared with S (Fig. 2b). In contrast, total leaf area was greater in S than in the ST2 treatment (Fig. 2c).

Substrate Characteristics

At the beginning of the experiment, the mixing of thickened tailings with amendments significantly increased ($P < 0.001$) the

organic matter (OM) and total N concentrations of all substrates, from very low levels in T to as high as 14% OM and 3.3 g N kg⁻¹ in CT, which were levels similar to those found in the organic topsoil (S and ST1) (Fig. 3a and 3b). The OM and N were significantly higher in S, ST1, and CT than in the ST2 treatment (Fig. 3a and 3b). At the end of the second growing season, comparisons were made only among the S, ST1, ST2, and CT treatments (conifers) because all trees had died in the TM and T treatments. In the second growing season, OM and total N, together with the C/N ratio, had decreased in the S, ST1, and CT treatments, while it increased in the ST2 treatment (Fig. 3a, 3b, and 3c). The S, ST1, and CT substrates had the greatest air-filled porosity and the lowest bulk density among the treatments, while T, MT, and ST2 had the lowest air-filled porosity and the greatest density (Table 3).

The thickened tailings had a pH of 8 (Table 1) and it remained near or above 7 when tailings were mixed with manure (MT) or compost (CT) and even with the acidic topsoil (ST2) (Fig. 3d). By the second growing season, the presence of underlying tailings had increased the pH (by 0.3 units) and available Ca concentrations (by 417 mg kg⁻¹) in the thin topsoil layer of the ST1 treatment compared with topsoil alone (S) (Fig. 3d and 3e).

The S and ST1 treatments exhibited the lowest electrical conductivity, available Na, and total Na concentrations at the beginning of the experiment and in the second growing season (Fig. 3f, 3g, and 3h), as well as the lowest concentrations of total P, K, Mg, and Ca ($P < 0.05$; results not shown). In contrast, the CT treatment had the highest electrical conductivity (3.4 dS m⁻¹; Fig. 3f) and the highest exchangeable Ca and Na concentrations (nearly 10- and 50-fold greater than the topsoil) at the beginning of the experiment (Fig. 3e and 3g). Electrical conductivity, available Na, and total Na decreased sharply, however, in the CT treatment (Fig. 3f, 3g, and 3h).

Compost initially enriched the mixtures significantly with NO₃⁻ (416 mg N kg⁻¹ in CT), while chicken manure enriched them with NH₄⁺ (256 mg N kg⁻¹ in MT) ($P < 0.001$). Both amendments greatly increased initial total (>1.5 g kg⁻¹) and available (>154 mg kg⁻¹) P concentrations ($P < 0.001$) in the mixtures. At the end of the second growing season, the CT treatment had the highest concentrations of total and available P (Table 4), as well as K, Mg, Ca, and available K ($P < 0.05$; data not shown). For the broadleaved species, ST2 maintained volumetric water content at field capacity longer after watering in both growing seasons (17 and 25%, respectively, $P < 0.001$) compared with both S and ST1.

Total concentrations of metals in the substrates did not decrease from the start of the experiment to its conclusion 2 yr later (results not shown). Substrate concentrations of DTPA-extracted metals were poorly correlated with those of

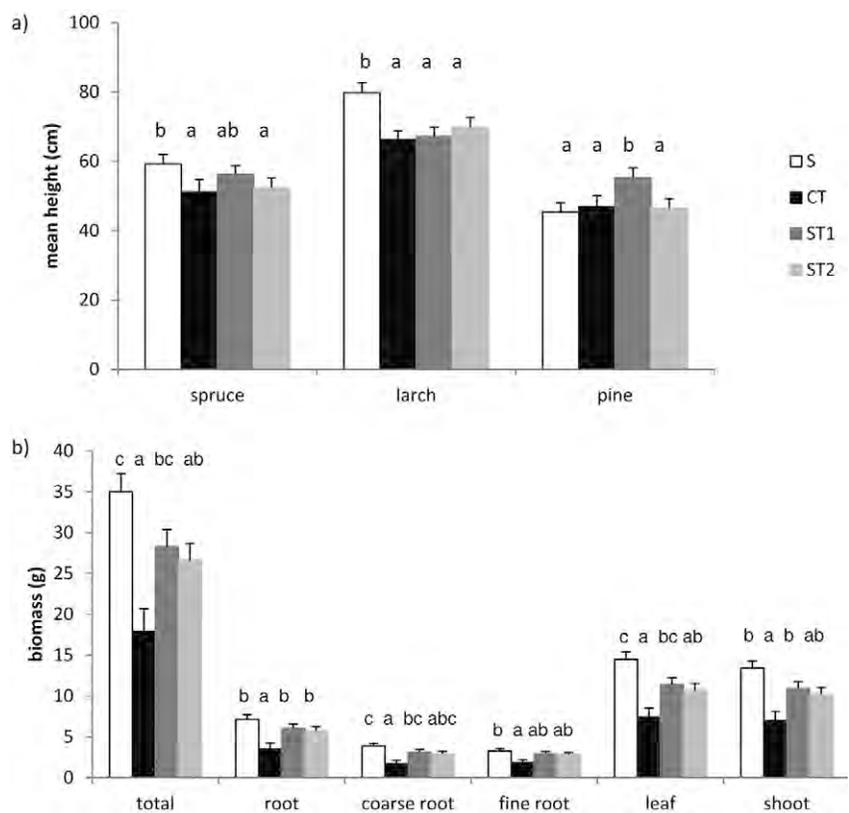


Fig. 1. (a) Conifer species mean heights attained among treatments (S, topsoil; CT, thickened tailings mixed with compost; ST1, topsoil above thickened tailings; ST2, topsoil mixed with thickened tailings) for each tree species; (b) conifer total, root, coarse root, fine root, leaf, and shoot biomass among treatments (data for the three species are pooled). Mean ($n = 3-15$). Bars denote SE. Treatments denoted by the same letter do not significantly differ at $P = 0.05$.

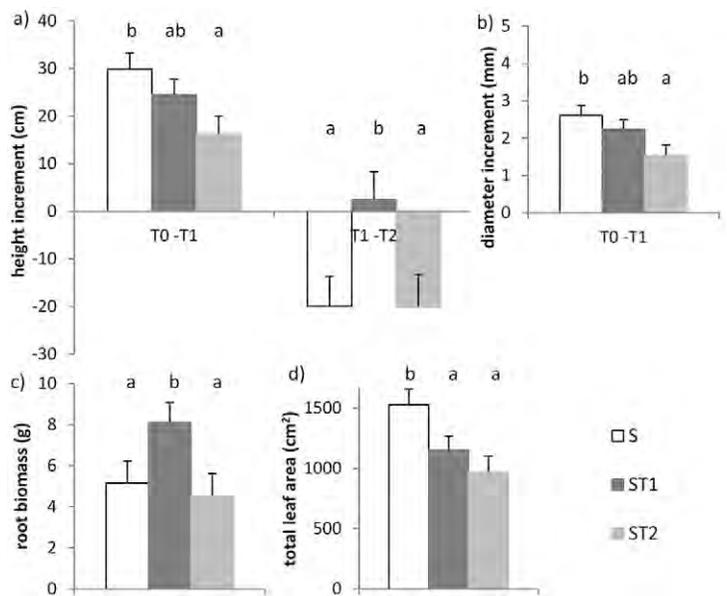


Fig. 2. (a) Broadleaved species height and (b) diameter increments among treatments (S, topsoil; CT, thickened tailings mixed with compost; ST1, topsoil above thickened tailings; ST2, topsoil mixed with thickened tailings) during each growing season (T0-T1: first growing season; T1-T2: second growing season); (c) broadleaved species total root biomass and (d) total leaf area among treatments at the end of the second growing season. Means of hybrid poplars and basket willow are pooled together, $n = 9$ to 15. Bars denote SE. Treatments denoted by the same letter do not significantly differ at $P = 0.05$.

the trees, the highest value being obtained for Al in fine roots ($r = 0.45$, $P < 0.001$) and Mn in leaves ($r = 0.43$, $P < 0.0001$).

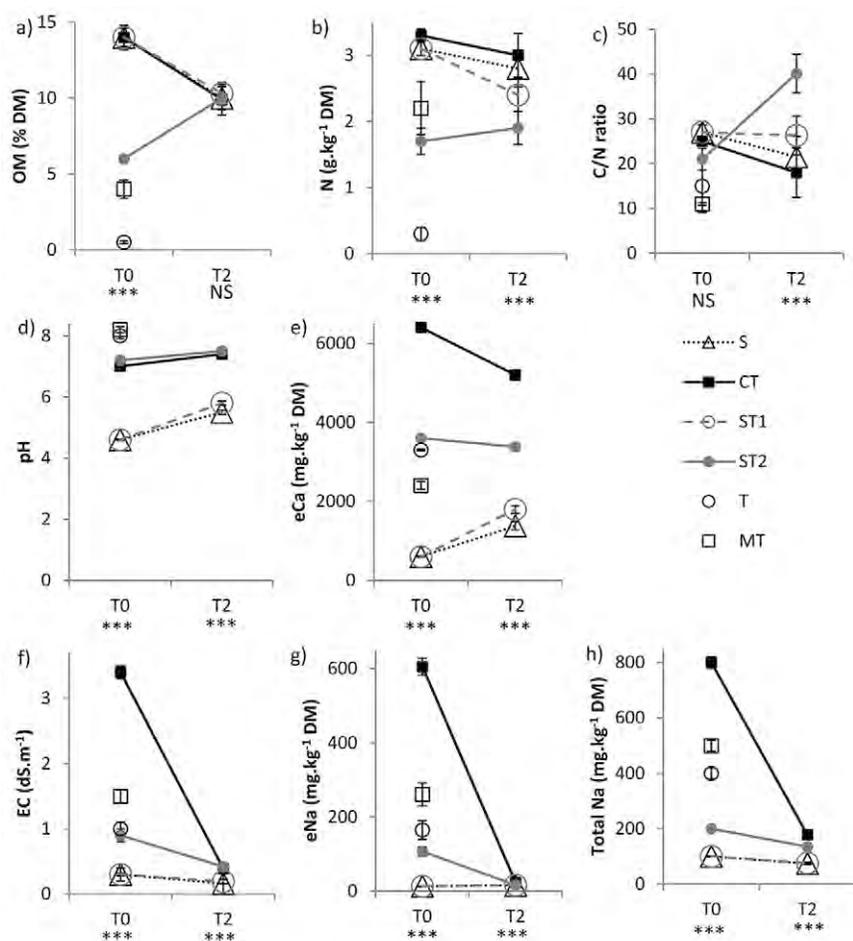


Fig. 3. Development of the conifer substrates among treatments (S, topsoil; CT, thickened tailings mixed with compost; ST1, topsoil above thickened tailings; ST2, topsoil mixed with thickened tailings; T, thickened tailings mixed with mineral fertilizer; MT, thickened tailings mixed with chicken manure) from the beginning of the experiment (T0) to the end of the second growing season (T2): (a) organic matter (OM, % of dry matter [DM]), (b) C/N ratio, (c) total N, (d) pH, (e) exchangeable Ca (eCa), (f) electrical conductivity (EC), (g) exchangeable Na (eNa), (h) total Na; $n = 12$ to 20 . Bars denote SE. NS: $P > 0.05$; *** $P < 0.001$.

The significance and strength of these correlations varied greatly with the tree species considered. Variation in pH among the substrates may have also constituted a problem in accurately predicting metal bioavailability using the DTPA extraction method (O'Connor, 1988). Thus, we interpreted the metal concentrations found in the trees rather than in terms of their

Table 3. Bulk density and air-filled porosity among treatments at the beginning of the experiment.

Treatment†	Bulk density g cm ⁻³	Air-filled porosity % (v/v)
T	1.24 (0.04) b‡	8 (0.1) a
S	0.63 (0.01) a	28 (1.1) b
ST1	0.61 (0.02) a	26 (0.5) b
ST2	0.98 (0.04) b	10 (1.1) a
MT	1.26 (0.1) b	6 (0.2) a
CT	0.69 (0.03) a	20 (1.1) b

† T, thickened tailings with NPK fertilization; S, topsoil; ST1, thin topsoil layer above thickened tailings; ST2, topsoil mixed with thickened tailings; MT, thickened tailings fertilized with chicken manure; CT, thickened tailings mixed with compost.

‡ Means with SE in parentheses; $n = 3$. Treatments within a column followed by the same letter do not differ significantly at $P = 0.05$.

DTPA-extractable values. Total Al and Fe concentrations were high in the T (Table 1) and S (Tables 1 and 4) treatments. The topsoil had the highest DTPA-extractable Al concentrations among the treatments (Table 4). At the second growing season, the presence of underlying tailings in ST1 decreased DTPA-extractable Al concentrations in the topsoil layer compared with the topsoil alone (Table 4). Total root biomass was negatively correlated ($r = -0.57$, $P < 0.001$) with the DTPA-extractable Al concentration in the S and ST1 substrates taken altogether.

Tree Nutrition

At the end of the second growing season, N concentrations in conifer needles and fine roots were lowest in the ST2 treatment for all species (Table 5). Spruce and larch grown in CT had the highest P concentrations in leaves and fine roots, and all CT-grown conifers had high K, Ca, and Na concentrations in needles (Table 5).

Trace Metal Concentrations in Trees

Because the interaction between treatment and species was not significant most of the time, trace metal concentrations are presented by treatment in Table 5, with species pooled. When the interaction was significant (< 0.05), the relevant differences among treatments are discussed below for each species.

In fine roots, Zn concentrations were the lowest in trees grown in ST2 for broadleaved species and in both ST2 and CT treatments for conifers (Table 5), while the highest concentrations were observed in S. Zinc concentrations in broadleaved fine roots decreased in ST1 compared with S. Similarly, mean Zn concentrations in the M×B hybrid poplar and basket willow leaves decreased in the ST1 treatment (230 and 207 mg kg⁻¹, respectively) compared with S (462 and 298 mg kg⁻¹, respectively). For the DN×M hybrid poplar, mean Zn concentrations in leaves were high in both the S (368 mg kg⁻¹) and ST1 (291 mg kg⁻¹) treatments. Available Ca was negatively correlated ($P < 0.0001$) with Zn concentrations in tree leaves ($r = -0.63$ to -0.87 , except spruce).

Manganese (needles) and Al (fine roots of both broadleaved species and conifers) were higher in both S and ST1 treatments (Table 5) compared with the mixtures (CT and ST2). Jack pine leaf Al concentrations reached 322 and 379 mg kg⁻¹ in ST1 and S, respectively. Leaves of S-grown conifers reached high Mn concentrations (473 mg kg⁻¹). Mean Mn concentrations in alder leaves decreased in the ST1 treatment (214 mg kg⁻¹) compared with S (410 mg kg⁻¹). For basket willow, Mn concentrations in leaves were the highest among all the species ($P < 0.05$, from 332 to 502 mg kg⁻¹ in ST2 and S, respectively). Available Ca was negatively correlated ($P < 0.0001$) with Mn concentrations in tree leaves ($r = -0.62$ to -0.89 , all conifers and DN×M poplar only).

Copper concentrations were high in the fine roots of the broadleaved species (Table 5), jack pine (114 mg kg⁻¹), and larch (127 mg kg⁻¹) grown in the ST1 substrate ($P < 0.05$). For all other elements that were studied (Mg, Fe, B, As, Co, Cd, Cr, Pb, Mo, Ni, S, Se, Sr, and Ti), no treatment effect could be identified.

Tree Drought Stress

The DN×M poplars grown in the ST2 treatment experienced greater water stress (higher $\delta^{13}\text{C}$ values, $P = 0.019$) than those grown in S and ST1 substrates. Similarly, jack pine had higher $\delta^{13}\text{C}$ values ($P = 0.016$) in the CT substrate than in S, ST1, and ST2 substrates. In contrast, alders and tamaracks had higher $\delta^{13}\text{C}$ values when grown in the S treatment ($P = 0.019$ and 0.016 , respectively; results not shown) compared with the same trees grown in the other treatments.

Discussion

Tree Growth in a Thin Acidic Topsoil Layer above Alkaline Thickened Tailings

Interestingly, the presence of alkaline thickened tailings below a thin topsoil layer improved tree height growth compared with topsoil alone, probably due to an increase in the topsoil layer pH and available Ca (Fig. 3d and 3e), which decreased the phytotoxicity of some metals. This result may allow consideration of decreasing the thickness of topsoil layers above alkaline tailings because surface mine soils are frequently acidic (Hutnik and McKee, 1990) and may be contaminated by metals (in the case of metalliferous mines).

The topsoil that we used had a low pH, which probably induced Al toxicity effects on tree roots because broadleaved root biomass and DTPA-extractable Al concentrations were

Table 4. Element concentrations (oven-dry mass) of the conifer substrates (all species combined) among treatments (S, topsoil; CT, thickened tailings mixed with compost; ST1, thin topsoil layer above thickened tailings; ST2, topsoil mixed with thickened tailings) at the end of the second growing season.

Element	Test	S	CT	ST1	ST2
P	total, g kg ⁻¹	0.4 (0.04) a†	1.5 (0.05) c	0.4 (0.04) a	0.6 (0.04) b
	Olsen, mg kg ⁻¹	11 (3) a	152 (3) b	8 (3) a	10 (3) a
K	total, g kg ⁻¹	0.6(0.08) a	6.0 (0.1) c	0.8 (0.08) a	3.5 (0.08) b
	NH ₄ OAc, mg kg ⁻¹	99 (6) a	210 (8) b	96 (6) a	86 (6) a
Mg	total, g kg ⁻¹	2.5 (0.1) a	9.3 (0.2) c	2.9 (131) a	7.3 (0.1) b
	NH ₄ OAc, mg kg ⁻¹	157 (9) b	325 (11) c	155 (8) b	91 (8) a
Cu	total, mg kg ⁻¹	16 (5) a	74 (7) b	31 (5) a	56 (5) b
	DTPA, mg kg ⁻¹	2 (0.4) a	10 (0.5) b	2 (0.4) a	6 (0.4) ab
Zn	total, mg kg ⁻¹	22 (2) a	92 (2) c	24 (2) a	41 (2) b
	DTPA, mg kg ⁻¹	6 (0.4) b	13 (0.5) c	5 (0.4) b	2 (0.4) a
Mn	total, mg kg ⁻¹	215 (9) a	419 (12) c	216 (9) a	332 (9) b
	DTPA, mg kg ⁻¹	30 (2) b	8 (2) a	29 (2) b	10 (2) a
Fe	total, g kg ⁻¹	14 (0.7) a	25 (0.9) b	16 (0.7) a	24 (0.7) b
	DTPA, mg kg ⁻¹	287 (9) b	32 (12) a	265 (9) b	69 (9) a
Al	total, g kg ⁻¹	9.6 (0.3) a	9.4 (0.3) a	9.3 (0.2) a	10.6 (0.2) b
	DTPA, mg kg ⁻¹	87 (3) c	1 (0.2) a	67 (3) b	5 (3) a

† Means with SE in parentheses; $n = 12-20$. Within a row, treatment means with the same letter do not differ significantly at $P = 0.05$ level.

Table 5. Elemental concentrations in dry matter (DM) of tree leaves and fine roots (<1-mm diameter) among treatments at the end of the second growing season. Tree species are combined as conifers or broadleaved species.

Plant part	Treatment†	g kg ⁻¹ DM				mg kg ⁻¹ DM				Al g kg ⁻¹ DM	
		N	P	K	Mg	Ca	Na	Cu	Mn		Zn
Conifer needles	S	15 (0.6) b‡		7 (0.5) a		3 (0.4) a	30 (136) a	6.4 (1.2) a	473 (35) b	32 (4) b	
	CT	15 (0.8) ab		11 (0.7) b		6 (0.5) c	624 (174) b	5.4 (1.5) a	86 (45) a	16 (5) a	
	ST1	15 (0.6) b		7 (0.5) a		4 (0.3) ab	59 (130) ab	7.6 (1.2) a	407 (34) b	41 (4) b	
	ST2	13 (0.6) a		7 (0.5) a		5 (0.3) b	447 (130) ab	5.0 (1.2) a	170 (34) a	12 (4) a	
Conifer fine roots	S	10 (0.4) b	1.2 (0.09) a	8 (0.5) a	1.8 (0.2) a	6 (0.7) a				77 (7) c	2.0 (0.1) b
	CT	10 (0.6) b	1.9 (0.10) b	9(0.7) a	2.3 (0.2) a	12 (0.9) c				39 (9) ab	1.1 (0.2) a
	ST1	10 (0.4) b	1.0 (0.09) a	7 (0.5) a	1.7 (0.2) a	9 (0.7) b				59 (7) bc	2.0 (0.1) b
	ST2	9 (0.4) a	1.0 (0.09) a	7 (0.5) a	1.5 (0.2) a	12 (0.7) c				19 (7) a	1.4 (0.1) a
Broadleaved leaves	S		1.7 (164) a			10 (0.6) a	70 (12) a	10 (1) a			0.05 (0.006) ab
	ST1		1.8 (151) a			12 (0.6) ab	91 (11) a	11 (1) a			0.04 (0.005) a
	ST2		1.6 (183) a			14 (0.7) b	108 (14) a	12 (1) a			0.06 (0.006) b
Broadleaved fine roots	S		1.1 (0.04) b	3 (0.3) a	1.3 (0.1) a	7 (0.6) a		22 (7) a		82 (5) c	2.9 (0.3) b
	ST1		0.8 (0.04) a	4 (0.3) b	1.5 (0.1) a	11 (0.6) b		106 (7) c		63 (5) b	2.5 (0.3) ab
	ST2		0.9 (0.04) ab	5 (0.3) b	1.4 (0.1) a	14 (0.8) c		53 (8) b		25 (6) a	1.7 (0.3) a

† S, topsoil; CT, thickened tailings mixed with compost; ST1, thin topsoil layer above thickened tailings; ST2, topsoil mixed with thickened tailings

‡ Means with SE in parentheses; $n = 9-20$. Within columns, treatments having the same letter do not differ significantly at $P = 0.05$.

negatively correlated. These results are consistent with Al toxicity effects reported for other plants, especially roots, when the soil pH is lower than 4.5 to 5 (Andersson, 1988; Delhaize and Ryan, 1995) and even 5.5 in mine spoil (Rout et al., 2001). Thus, despite limited space for root growth, root biomass and height growth were improved in the topsoil-over-tailings treatment, contrary to our third hypothesis. Because Al reduces Ca uptake and translocation in plants (Andersson, 1988; Foy, 1988; Delhaize and Ryan, 1995), the increase in available Ca due to the presence of thickened tailings under the soil layer may have contributed to the growth increases observed in the pine and broadleaved species. Jack pine needles exhibited high Al concentrations compared with the other species, which maintained low leaf Al concentrations. Its needles, however, showed none of the visual Al toxicity effects that have been described by Andersson (1988). In fact, jack pine acted similarly to Al-tolerant pine species that have been described by Rout et al. (2001), which accumulate Al in their needles and have a high internal tolerance to Al.

Leaf concentrations of Mn and Zn decreased to nontoxic levels when the tailings were under a thin topsoil layer (ST1), which probably improved tree growth. The positive effect of increasing the pH by the use of the thin topsoil layer was probably magnified because S and ST1 treatments were in the pH 5 to 6 range; several researchers have reported a steep decline in Al, but also Mn and Zn availability, when the pH rose above 5 (Markert et al., 2000; De Nicola et al., 2003). Each unit increase in pH decreases Mn and Zn bioavailability 100-fold (Kabata-Pendias and Pendias, 2001). Moreover, the increase in the available Ca concentrations of the topsoil layer also probably helped to decrease Mn and Zn concentrations in tree leaves, given the negative correlation linking these variables. This result agrees with the frequently reported toxicity-decreasing properties of Ca (Martin-Prével, 1978). Several broadleaf species showed leaf concentrations of Mn (alder) and Zn (both hybrid poplars and basket willow) that were above the thresholds generally reported as phytotoxic by Kabata-Pendias and Pendias (2001) (Zn, 100–400 mg kg⁻¹; Mn, 300–500 mg kg⁻¹) when grown in the acidic topsoil alone (Table 5). Broadleaved species reached Zn concentrations (461 mg kg⁻¹) that were 20 times those found in the topsoil and could be a source of Zn exportation to browsing fauna if planted on the mine overburden topsoil. Poplars are well-known species for Zn accumulation in their leaves (Hassinen et al., 2009). In contrast, Mn concentrations in alder and conifer leaves only doubled the concentrations found in the topsoil. The Mn and Zn concentrations found in the basket willow leaves in this study were far lower than the toxic concentrations of two willow species found in the Rocky Mountain region of the western United States, e.g., Geyer willow (*Salix geyeriana* Andersson) and mountain willow (*S. monticola* Bebb) (Shanahan et al., 2007). Basket willow, however, has been reported as being among the willows most sensitive to Cu, Ni, Cd, and Zn toxicity (Punshon and Dickinson, 1999).

The use of a thin topsoil layer incurred effects of Cu concentrations that were opposite to those of Al, Zn, and Mn. Indeed, root contact with the tailings in the ST1 treatment increased Cu concentrations to high levels (beyond the general 15–100 mg kg⁻¹ that were reported as phytotoxic by Kabata-Pendias and Pendias, 2001; Table 5) in the roots of all tree species grown in ST1 except for spruce. No decrease in tree growth was

observed, however, and Cu levels were normally low in leaves due to its restricted transport from the roots to the leaves (Wisniewski and Dickinson, 2003). We hypothesize that, in the ST1 treatment, trees occasionally depleted the limited water resources of the thin topsoil layer and happened to take water from the tailings. The tailings water might be rich in Cu due to the CuSO₄ that is added to catalyze the process of CN⁻ destruction. The δ¹³C results for tamarack and alder support this hypothesis. Both species were drought stressed when grown in the topsoil alone (S treatment), probably due to a pot size (3.6 L) that was too small by the end of the second growing season compared with the size of the trees. No increase in δ¹³C occurred in the ST1 treatment, however, despite a soil volume reduced by a third for root exploration. Thus, the trees may have absorbed water from the tailings.

Tree Growth in Thickened Tailings

Despite their non-acid-generating properties, thickened tailings to which liquid fertilizer or chicken manure had been applied were not a suitable substrate for tree growth because all the trees from the seven tested species died during the first growing season. Tree roots did not colonize the thickened tailings under the thin topsoil layer in the ST1 treatment. Because milling wastes generally lack cation exchange sites, they do not hold inorganic fertilizers (Tordoff et al., 2000) and the trees may have suffered from a lack of essential nutrients in the T treatment. Conversely, OM, NH₄⁺, and Olsen P concentrations increased satisfactorily in the MT treatment, but the trees still did not survive. Consequently, the trees probably died on these substrates because of the low air-filled porosity of these two treatments (6 and 8%), which resulted in O₂ shortages for root respiration, leading to tree death and confirming our first hypothesis. Archer and Smith (1972) reported a soil air capacity threshold for diminished plant growth of <10% (v/v). The relatively high water retention capacity of the thickened tailings (Woysner and St-Arnaud, 1994) may have limited their loss of water, which could have provided additional aeration for root growth. Because pine and willow roots have been found to penetrate sealing layers of various materials (Stoltz and Greger, 2006), it is possible that drought events in the field can improve substrate aeration and root penetration.

Tree Growth in Mixtures with Thickened Tailings

According to our second hypothesis, compost mixed with thickened tailings (CT) successfully increased air-filled porosity to levels suitable for root growth (20%), but no enhancing effect of root growth was observed. Earthworm compost is known to provide humic acid substances (Canellas et al., 2002), which form stable aggregates by adhesion with substrate particles that increase porosity (Pagliai and Antisari, 1993; Ibrahim and Goh, 2004; Mendez et al., 2007). Conversely, mixing tailings with topsoil (ST2) provided limited air-filled porosity (10%), which decreased tree growth (all broadleaved trees) and biomass production (all conifers and the M×B hybrid poplar). The ST2 treatment also had greater electrical conductivity (Fig. 3f) and a higher volumetric water content than the topsoil, which probably increased root anoxia. Because high salt concentrations lead to high osmotic pressure and can limit the availability of water for tree roots, the observed decrease in the total leaf area of broadleaved trees in ST2 may have been a response to drought stress (Pallardy, 2008).

In this treatment, the DN×M poplars showed the characteristic higher ¹³C concentrations in leaves of drought-stressed trees (Farquhar et al., 1989), probably because they had the greatest transpirational surface (greatest total leaf area/leaf mass ratio) among the broadleaved species. The low air-filled porosity in ST2 may also have negatively affected the activity of soil organisms, which resulted in a decrease in OM decomposition (Drew and Lynch, 1980). This would explain why the OM content increased in this treatment at the end of the experiment, despite its initial C/N ratio, which was lower than those of the other treatments, where OM rates normally decreased. After two growing seasons, C/N ratios in the ST2 treatment had reached values >40, at which N immobilization by microorganisms occurs and OM decomposition rates are reduced (Gosz, 1984). Because N mineralization was probably very low, trees had lower available N for their nutrition in this treatment, which was reflected in lower N concentrations in fine roots and leaves. Because trees grew little in this treatment, however, N concentrations remained high compared with reference concentrations that have been reported in the literature (spruce and pine: Martin-Prével, 1978). Finally, according to our fifth hypothesis, the mixture of acidic topsoil and alkaline thickened tailings resulted in a neutral pH that decreased Mn, Fe, and Al availability to trees (De Nicola et al., 2003). The lack of O₂ due to low air-filled porosity and associated reducing conditions may have accentuated Zn immobilization (Markert et al., 2000), explaining the very low Zn concentrations found in the leaves of all trees in the ST2 treatment.

We could not check any effect of tailing salinity on tree drought stress (the fourth hypothesis) because the trees died in the tailing treatment. A proper screening of available salt concentrations should be done, however, with composts that might be used to improve thickened tailings. The compost that we used greatly increased salt concentrations in the CT treatment, especially NO₃⁻ (see Bardhan et al., 2008), available Na and Ca, and associated electrical conductivity near the 4 dS m⁻¹ threshold, allowing root survival (Epstein et al., 1976; Jordan et al., 2008). Drought stress probably contributed to the death of broadleaved trees on this substrate, while conifer trees, which transpire less (Bugmann, 1996) and are generally more drought tolerant than broadleaved species (Gao et al., 2002), survived but showed decreases in all biomass parameters. These results differ from the compost-enhancing effects that have been reported in the literature when these materials are added to tailings (Mendez and Maier, 2008). The species selected for tailings vegetation covers are usually herbaceous, however, and are more tolerant to high salinity than trees (Angel et al., 2006; Emerson et al., 2009). After two growing seasons, electrical conductivity and total Na concentration in CT had decreased to levels similar to those of the other treatments. Because δ¹³C was measured at the end of the second growth season, it may explain why only jack pine needles had a higher δ¹³C in CT. This species may have shown a higher sensitivity to drought due to its highest leaf biomass among the conifers. Finally, the CT treatment had positive effects on tree nutrition because P, Ca, and K concentrations increased in the leaves concomitant to increases in the same nutrients in the substrate, especially for available P, which was in very high concentrations (>20 mg kg⁻¹; Epstein et al., 1976).

Conclusions

The topsoil used in our experiments was of good agronomic quality, with high OM (14%) and total N (3.1 g kg⁻¹) and low salt concentrations, which allowed high tree survival, despite its low pH typical of mine soils (Hutnik and McKee, 1990) and associated high metal concentrations in trees. In this short-time-scale experiment, the presence of alkaline thickened tailings under a thin topsoil layer improved tree growth and alleviated possible metal exportation from trees to browsers. The physical proximity of tailings to the topsoil increased the pH and available Ca concentration of the uppermost layer, which in turn decreased the Zn and Mn accumulation that we observed in the leaves of several broadleaved trees as well as Al that would impede root growth. Contact of tree roots with the tailings, however, resulted in high Cu concentrations in the tree roots, even if they did not penetrate the thickened tailings layer after two growing seasons. The cumulative effect of Cu accumulation and limited anchorage over the years means that there is a need for longer time-scale surveys to confirm the benefits of using thin topsoil layers over the tailings.

Tree roots did not survive in thickened tailings (under the tested laboratory conditions) because of their low air-filled porosity, which probably caused anoxic conditions. In contrast, thickened tailings mixed with organic amendments could support tree establishment if sufficient air-filled porosity and low salinity were provided. High-salinity composts induced broadleaved tree death but could be used with drought-resistant conifers at the cost of reduced growth and associated delayed improvement of the landscape. This work contributed toward identifying and alleviating the physicochemical characteristics of thickened-tailings-based substrates that limit the establishment of boreal tree plantations.

Acknowledgments

This research was financed by the Osisko Mining Corporation and the Industrial R&D Fellowship (IRDF) program of the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC). We would like to thank the University of Québec in Abitibi-Témiscamingue for providing laboratory space and technical support, as well as Ferme Richard in Rivière-Héva, QC, for providing the dried chicken manure. We acknowledge William F.J. Parsons from the Center for Forest Research for the English improvement of the paper, as well as the anonymous reviewers.

References

- Al, T.A., and D.W. Blowes. 1999. The hydrogeology of a tailings impoundment formed by central discharge of thickened tailings: Implications for tailings management. *J. Contam. Hydrol.* 38:489–505. doi:10.1016/S0169-7722(99)00007-8
- Andersson, M. 1988. Toxicity and tolerance of aluminium in vascular plants. *Water Air Soil Pollut.* 39:439–462. doi:10.1007/BF00279487
- Angel, P.N., D.H. Graves, C. Barton, R.C. Warner, P.W. Conrad, R.G. Sweigard, and C. Agouridis. 2006. Surface mine reforestation research: Evaluation of tree response to low compaction reclamation techniques. In: R.I. Barnhisel, editor, *Proceedings of the 7th International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD)*, St. Louis, MO. 26–30 Mar. 2006. *Am. Soc. Min. Reclam., Lexington, KY.* p. 45–58.
- Archer, J.R., and P.D. Smith. 1972. The relation between bulk density, available water capacity, and air capacity of soils. *J. Soil Sci.* 23:475–480. doi:10.1111/j.1365-2389.1972.tb01678.x
- Asensio, V., F.A. Vega, L. Andrade, and E.F. Covelo. 2011. Tree vegetation to improve physico-chemical properties in bare mine soils. *Fresenius Environ. Bull.* 20(12).
- Bagatto, G., and J.D. Shorthouse. 1999. Biotic and abiotic characteristics of ecosystems on acid metalliferous mine tailings near Sudbury, Ontario. *Can. J. Bot.* 77:410–425.
- Bardhan, S., M. Watson, and W.A. Dick. 2008. Plant growth response in experimental soilless mixes prepared from coal combustion products and organic waste materials. *Soil Sci.* 173:489–500. doi:10.1097/SS.0b013e318178e6fe

- Bending, N.A.D., and A.J. Moffat. 1999. Tree performance on minespoils in the South Wales coalfield. *J. Appl. Ecol.* 36:784–797. doi:10.1046/j.1365-2664.1999.00444.x
- Bjgstad, A.J. 1986. Hybrid poplar cultivars for maximizing phytomass production on gold mine tailings in the Black Hills. In: D.H. Graves et al., editors, *Proceedings National Symposium on Mining, Hydrology, Sedimentology, and Reclamation*, Lexington, KY, 8–11 Dec. 1986. Univ. of Kentucky, Lexington, p. 263–265.
- Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle-size analysis of soils. *Agron. J.* 54:464–465. doi:10.2134/agronj1962.00021962005400050028x
- Boyer, M.J., J.E. Brummer, and W.C. Leininger. 2009. Growth and metal accumulation of Geyer and mountain willow grown in topsoil versus amended mine tailings. *Water Air Soil Pollut.* 198:17–29. doi:10.1007/s11270-008-9822-9
- Bugmann, H. 1996. Functional types of trees in temperate and boreal forests: Classification and testing. *J. Veg. Sci.* 7:359–370. doi:10.2307/3236279
- Burger, J.A., and C.E. Zipper. 2002. How to restore forests on surface-mined land: Reclamation guidelines for surface mined land in Southwest Virginia. Publ. 460-123. Virginia Coop. Ext., Arlington.
- Bussière, B. 2007. Colloquium 2004: Hydrogeotechnical properties of hard rock tailings from metal mines and emerging geoenvironmental disposal approaches. *Can. Geotech. J.* 44:1019–1052. doi:10.1139/T07-040
- Canellas, L.P., F.L. Olivares, A.L. Okorokova-Façanha, and A.R. Façanha. 2002. Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H⁺-ATPase activity in maize roots. *Plant Physiol.* 130:1951–1957. doi:10.1104/pp.007088
- Cassel, D.K., and D.R. Nielsen. 1986. Field capacity and available water capacity. In: *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods.* Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, p. 901–926.
- Delhaize, E., and P.R. Ryan. 1995. Aluminum toxicity and tolerance in plants. *Plant Physiol.* 107:315–321.
- De Nicola, E., G. Maisto, and A. Alfani. 2003. Assessment of nutritional status and trace element contamination of holm oak woodlands through analyses of leaves and surrounding soils. *Sci. Total Environ.* 311:191–203. doi:10.1016/S0048-9697(03)00132-3
- Drake, L. 1986. Survival and growth of conservation shrubs and trees, with thin-cover reclamation on acid substrate, Iowa, USA. *Environ. Geochem. Health* 8(3):62–67. doi:10.1007/BF02311023
- Drew, M.C., and J.M. Lynch. 1980. Soil anaerobiosis, microorganisms, and root function. *Annu. Rev. Phytopathol.* 18:37–66. doi:10.1146/annurev.py.18.090180.000345
- Emerson, P., J. Skousen, and P. Ziemkiewicz. 2009. Survival and growth of hardwoods in brown versus gray sandstone on a surface mine in West Virginia. *J. Environ. Qual.* 38:1821–1829. doi:10.2134/jeq2008.0479
- Epstein, E., J.M. Taylor, and R.L. Chaney. 1976. Effects of sewage sludge and sludge compost applied to soil on some soil physical and chemical properties. *J. Environ. Qual.* 5:422–426. doi:10.2134/jeq1976.00472425000500040021x
- Farquhar, G.D., J.R. Ehleringer, and K.T. Hubick. 1989. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 40:503–537. doi:10.1146/annurev.py.40.060189.002443
- Foy, C.D. 1988. Plant adaptation to acid, aluminum-toxic soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 19:959–987.
- Gao, Q., P. Zhao, X. Zheng, X. Cai, and W. Shen. 2002. A model of stomatal conductance to quantify the relationship between leaf transpiration, microclimate and soil water stress. *Plant Cell Environ.* 25:1373–1381. doi:10.1046/j.1365-3040.2002.00926.x
- Gosz, J.R. 1984. Biological factors influencing nutrient supply in forest soils. In: G.D. Bowen and E.K.S. Nambiar, editors, *Nutrition of plantation forests.* Academic Press, London, p. 119–146.
- Halofsky, J.E., and L.H. McCormick. 2005. Effects of unseeded areas on species richness of coal mines reclaimed with municipal biosolids. *Restor. Ecol.* 13:630–638. doi:10.1111/j.1526-100X.2005.00081.x
- Hassinen, V., V.-M. Vallinkoski, S. Issakainen, A. Tervahauta, S. K renlampi, and K. Servomaa. 2009. Correlation of foliar MT2b expression with Cd and Zn concentrations in hybrid aspen (*Populus tremula* × *tremuloides*) grown in contaminated soil. *Environ. Pollut.* 157:922–930. doi:10.1016/j.envpol.2008.10.023
- Hutnik, R.J., and G.W. McKee. 1990. Revegetation. In: B.A. Kennedy, editor, *Surface mining.* Colorado Soc. Min., Metall. Explor., Denver, p. 811–817.
- Ibrahim, S.M., and T.B. Goh. 2004. Changes in macroaggregation and associated characteristics in mine tailings amended with humic substances. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 35:1905–1922. doi:10.1081/CSS-200026813
- Jordan, S.N., G.J. Mullen, and R.G. Courtney. 2008. Utilization of spent mushroom compost for the revegetation of lead–zinc tailings: Effects on physico-chemical properties of tailings and growth of *Lolium perenne*. *Bioresour. Technol.* 99:8125–8129. doi:10.1016/j.biortech.2008.03.054
- Kabata-Pendias, A., and H. Pendias. 2001. *Trace elements in soil and plants.* 3rd ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Kalra, Y.P., and D.G. Maynard. 1991. *Methods manual for forest soils and plant analysis.* Inf. Rep. NOR-X. Forestry Canada, Northwest Region, Northern Forestry Ctr., Edmonton, AB, Canada.
- Katzur, J., and M. Haubold-Rosar. 1996. Amelioration and reforestation of sulphurous mine soils in Lusatia (eastern Germany). *Water Air Soil Pollut.* 91:17–32. doi:10.1007/BF00280920
- Kost, D.A., and J.P. Vimmerstedt. 1994. Ground cover and tree growth on calcareous minesoils: Greater influence of soil surface than nitrogen rate or seed mix. In: *Proceedings, International Land Reclamation and Mine Drainage Conference and 3rd International Conference on the Abatement of Acidic Drainage,* Pittsburgh, PA, 24–29 Apr. 1994. Spec. Publ. SP06A-94. U.S. Bur. of Mines, Washington, DC, p. 295–304.
- Maiti, S.K. 2007. Bioreclamation of coalmine overburden dumps—with special emphasis on micronutrients and heavy metals accumulation in tree species. *Environ. Monit. Assess.* 125:111–122. doi:10.1007/s10661-006-9244-3
- Markert, B., G. Kayser, S. Korhammer, and J. Oehlmann. 2000. Distribution and effects of trace substances in soils, plants and animals. In: J.P. Vernet, editor, *Trace elements: Their distribution and effects in the environment.* 4th ed. Elsevier, Amsterdam, p. 3–32.
- Martin-Prével, P. 1978. Rôle des éléments minéraux chez les végétaux. *Fruits* 33:521–529.
- Mendez, M.O., E.P. Glenn, and R.M. Maier. 2007. Phytostabilization potential of quailbush for mine tailings: Growth, metal accumulation, and microbial community changes. *J. Environ. Qual.* 36:245–253. doi:10.2134/jeq2006.0197
- Mendez, M.O., and R.M. Maier. 2008. Phytostabilization of mine tailings in arid and semiarid environments: An emerging remediation technology. *Environ. Health Perspect.* 116:278–283. doi:10.1289/ehp.10608
- O’Connor, G.A. 1988. Use and misuse of the DTPA soil test. *J. Environ. Qual.* 17:715–718. doi:10.2134/jeq1988.00472425001700040033x
- Pagliai, M., and L.V. Antisari. 1993. Influence of waste organic matter on soil micro- and macrostructure. *Bioresour. Technol.* 43:205–213. doi:10.1016/0960-8524(93)90032-7
- Pallardy, S.G. 2008. *Physiology of woody plants.* 3rd ed. Academic Press, Burlington, MA.
- Pietrzykowski, M. 2010. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) ecosystem macronutrients budget on reclaimed mine sites—Stand trees supply and stability. *Nat. Sci.* 2:590–599.
- Punshon, T., and N. Dickinson. 1999. Heavy metal resistance and accumulation characteristics in willows. *Int. J. Phytorem.* 1:361–385. doi:10.1080/15226519908500025
- Robinsky, E., S.L. Barbour, G.W. Wilson, D. Bordin, and D.G. Fredlund. 1991. Thickened sloped tailings disposal: An evaluation of seepage and abatement of acid drainage. In: *Proceedings of the 2nd International Conference on the Abatement of Acidic Drainage,* Montréal, QC, Canada, 16–18 Sept. 1991. Mine Environ. Neutral Drain. Progr., Ottawa, ON, Canada, p. 529–549.
- Rout, G.R., S. Samantary, and P. Das. 2001. Aluminium toxicity in plants: A review. *Agronomie* 21:3–21. doi:10.1051/agro:2001105
- SAS Institute. 2008. *SAS/STAT 9.2.* SAS Inst., Cary, NC.
- Shanahan, J.O., J.E. Brummer, W.C. Leininger, and M.W. Paschke. 2007. Manganese and zinc toxicity thresholds for mountain and Geyer willow. *Int. J. Phytorem.* 9:437–452. doi:10.1080/15226510701606323
- Simard, R.R. 1993. Ammonium acetate-extractable elements. In: M.R. Carter, editor, *Soil sampling and methods of analysis.* CRC Press, Boca Raton, FL, p. 39–42.
- Singh, A.N., and J.S. Singh. 2006. Experiments on ecological restoration of coal mine spoil using native trees in a dry tropical environment, India: A synthesis. *New For.* 31:25–39. doi:10.1007/s11056-004-6795-4
- Skousen, J., P. Ziemkiewicz, and C. Venable. 2006. Tree recruitment and growth on 20-year-old, unreclaimed surface mined lands in West Virginia. *Int. J. Min. Reclam. Environ.* 20:142–154. doi:10.1080/17480930600589833
- Stoltz, E., and M. Greger. 2006. Root penetration through sealing layers at mine deposit sites. *Waste Manage. Res.* 24:552–559. doi:10.1177/0734242X06069027
- Strong, W.L. 2000. Vegetation development on reclaimed lands in the Coal Valley Mine of western Alberta, Canada. *Can. J. Bot.* 78:110–118.
- Tordoff, G.M., A.J.M. Baker, and A.J. Willis. 2000. Current approaches to the revegetation and reclamation of metalliferous mine wastes. *Chemosphere* 41:219–228. doi:10.1016/S0045-6535(99)00414-2
- Tr by, P. 2003. Impact of heavy metals on forest trees from mining areas. In: *Mining and the Environment III: Proceedings of the International Conference,* Sudbury, ON, Canada, 25–28 May 2003. [CD.] Miner. Eng. Int., Falmouth, UK.
- Washburn, B.E., H.G. Hughes, and G.L. Storm. 1994. Influence of seeding level upon plant community dynamics on reclaimed mined lands in Pennsylvania. In: *Proceedings, International Land Reclamation and Mine Drainage Conference and 3rd International Conference on the Abatement of Acidic Drainage,* Pittsburgh, PA, 24–29 Apr. 1994. Spec. Publ. SP06A-94. U.S. Bur. of Mines, Washington, DC, p. 285–294.
- Wisniewski, L., and N.M. Dickinson. 2003. Toxicity of copper to *Quercus robur* (English oak) seedlings from a copper-rich soil. *Environ. Exp. Bot.* 50:99–107. doi:10.1016/S0098-8472(03)00005-4
- Woysner, M.W., and L.C. St.-Arnaud. 1994. Hydrological evaluation and water balance of a thickened-tailings deposit near Timmins, ON. In: *Proceedings, International Land Reclamation and Mine Drainage Conference and 3rd International Conference on the Abatement of Acidic Drainage,* Pittsburgh, PA, 24–29 Apr. 1994. Spec. Publ. SP06A-94. U.S. Bur. of Mines, Washington, DC, p. 198–207.



ANNEXE G

Détail des coûts de démantèlement

Sommaire des prix de vente

No. Client : 13 1221-0124 R2

Nom :

Date de début :

No. Interne :

Description :

OSISKO Mine Canadian Malartic
Démantèlement des infrastructures
minières

Date de fin :

Notes :

Les taxes sont incluses dans le sommaire.

Numéro	Description	Quantité bordereau	Unité bordereau	Prix Final	Montant Final
1	Bureau régional d'exploration et garage 2 040m2	1,00	unit	410 000,00 \$	410 000,00 \$
2	Carothèque (roulotte préfabriqué) 170m2	1,00	unit	30 000,00 \$	30 000,00 \$
3	Petit garage 105m2 x 4m de haut	1,00	unit	20 000,00 \$	20 000,00 \$
4	MégaDome 320m2	1,00	unit	20 000,00 \$	20 000,00 \$
5	MégaDome 930m2	1,00	unit	50 000,00 \$	50 000,00 \$
6	Entrepôts de carottes d'exploration (extérieur) 4 335m2 aire de terrain occupé	1,00	unit	330 000,00 \$	330 000,00 \$
7	Concasseur primaire 669m2 67.4 m dont 28.6m souterrain	1,00	unit	280 000,00 \$	280 000,00 \$
8	Concasseur secondaire 1 340m2	1,00	unit	310 000,00 \$	310 000,00 \$
9	MégaDome 334m2 x 8m de haut	1,00	unit	20 000,00 \$	20 000,00 \$
10	Convoyeur 1 222m de long	1,00	unit	370 000,00 \$	370 000,00 \$
11	Dôme manutention du minerais, Dôme 6 230m2 convoyeur 150m de long	1,00	unit	910 000,00 \$	910 000,00 \$
12	MégaDome 705m2 x 8m de haut	1,00	unit	40 000,00 \$	40 000,00 \$
13	Garage multiservices 530m2 x 7m de haut	1,00	unit	90 000,00 \$	90 000,00 \$
14	Usine de broyage, Laboratoire et bureaux 15 100m2	1,00	unit	2 960 000,00 \$	2 960 000,00 \$
15	Épaisseur(silo) 3 320m2	1,00	unit	100 000,00 \$	100 000,00 \$
16	Cuve de lixiviation 11 360 m2 aire total de l'emplacement des 20 cuves, 19.2 m de haut	1,00	unit	760 000,00 \$	760 000,00 \$
17	Unité de détoxification 730m2 aire ou se trouvent les 2 silos	1,00	unit	60 000,00 \$	60 000,00 \$
18	Réservoir de réactifs(4)	1,00	unit	50 000,00 \$	50 000,00 \$
19	Circuit de résidus épaisseur (cuves) 3 320m2	1,00	unit	110 000,00 \$	110 000,00 \$
20	Roulotte de chantier 160m2	1,00	unit	20 000,00 \$	20 000,00 \$
21	Roulotte de chantier 790m2	1,00	unit	120 000,00 \$	120 000,00 \$
22	Poste de garde 120m2	1,00	unit	20 000,00 \$	20 000,00 \$
23	Bâtiment administratif, service mine 8 620m2	1,00	unit	1 890 000,00 \$	1 890 000,00 \$
24	MégaDome 815 m2 x 8m de haut	1,00	unit	50 000,00 \$	50 000,00 \$
25	MégaDome 750m2 x 8m de haut	1,00	unit	40 000,00 \$	40 000,00 \$
26	MégaDome 340m2 x 6m de haut	1,00	unit	20 000,00 \$	20 000,00 \$
27	Roulotte de chantier 105m2	1,00	unit	20 000,00 \$	20 000,00 \$
28	Dépot pétrolier (5 réservoirs) et poste de distribution 4 rés; 250m2, distribution 160m2	1,00	unit	70 000,00 \$	70 000,00 \$
29	Garage CJFS 205m2 x 5m de haut	1,00	unit	40 000,00 \$	40 000,00 \$

Sommaire des prix de vente

No. Client : 13 1221-0124 R2

Nom :

Date de début :

No. Interne :

Description :

OSISKO Mine Canadian Malartic
Démantèlement des infrastructures
minières

Date de fin :

Notes :

Numéro	Description	Quantité bordereau	Unité bordereau	Prix Final	Montant Final
30	Garage Norascon 500m2 x 6m de haut	1,00	unit	90 000,00 \$	90 000,00 \$
31	Ballance pour camion 340m2	1,00	unit	10 000,00 \$	10 000,00 \$
32	Station de pompage du bassin Johnson 140m2 x 5m	1,00	unit	40 000,00 \$	40 000,00 \$
33	Usine de traitement de l'effluent 1105m2	1,00	unit	200 000,00 \$	200 000,00 \$
34	Station de pompage du bassin Sud-est 220m2	1,00	unit	60 000,00 \$	60 000,00 \$
35	Garage a l'est de la fosse (sera démantelé avant la fermeture) 475m2 x 7m de haut	1,00	unit	80 000,00 \$	80 000,00 \$
36	Salle a manger (fosse) 160m2 roulotte préfabriqué	1,00	unit	20 000,00 \$	20 000,00 \$
37	Roulotte pour changement de quart 160m2	1,00	unit	20 000,00 \$	20 000,00 \$
38	Usine Caro 730m2	1,00	unit	20 000,00 \$	20 000,00 \$

Sous total :	9 750 000,00 \$
Taxe 1 :	0,00 \$
Sous total avec taxe 1	9 750 000,00 \$
Taxe 2 :	0,00 \$
Grand total :	9 750 000,00 \$

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

Pour en savoir plus, visitez golder.com

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

solutions@golder.com
www.golder.com

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



ANNEXE QC-84

EcoMetrix - Waste Rock Classification for Mine Canadian Malartic

MEMO

To: Sandra Pouliot, Canadian Malartic

From: Sarah Barabash
Ron Nicholson

Ref: **Waste Rock Classification for
Mine Canadian Malartic**

Date: 29 July 2015

The objective of this memo is to provide a summary of the waste rock sampling and characterization program that was developed for the Mine Canadian Malartic operation. This program was proposed as part of the strategies developed for mine waste management and mitigation planning.

The purpose of the sampling program was to develop a database containing the acid base accounting (ABA) characteristics of the waste rock, using carbon and sulphur analyses. This information will then allow for rock characterization during regular mine operations.

Waste Rock Classification Criteria

Waste rock is classified according to the ABA characteristics. The Dir.019 criteria indicate that a neutralization potential (NP) to acid potential (AP) ratio of 3 or greater represents a non-potentially acid generating (non-PAG) material. In this assessment, the NP was calculated from the carbonate content, referred to as carbonate NP (Carb-NP) that is a more conservative estimate than the Sobek NP that is considered in Dir. 019. And consistent with MEND (2009), the Carb-NP is considered to be "effective". When the NP is known to be effective, an NP/AP ratio of 2 or greater represents non-PAG material.

The rock can be therefore classified according to the ratio of carbonate neutralization potential (Carb-NP) to acid generation potential (AP) or Carb-NP/AP, referred to as the carbonate neutralization potential ratio (Carb-NPR). Rock with a Carb-NPR value greater than 2 is classified as non-potentially acid generating (non-PAG). Rock with a Carb-NPR value less than 1 is considered to be potentially acid generating (PAG). Material with Carb-NPR values between 1 and 2 can be considered as uncertain but should conservatively be treated as PAG.

There is a relationship between Carb-NPR and C/S ratios in the rock at Malartic that can be used to determine the C/S values that corresponds to the Carb-NPR values for

Mississauga Office

6800 Campobello Road,
Mississauga, ON, Canada
L5N 2L8
Tel: (905) 794-2325
Fax: (905) 794-2338
Toll-Free: 1-800-361-2325

Mississauga Laboratory

6800 Kitimat Road, Unit 34
Mississauga, ON, Canada
L5N 5M1
Tel/Fax: (905) 363-0116

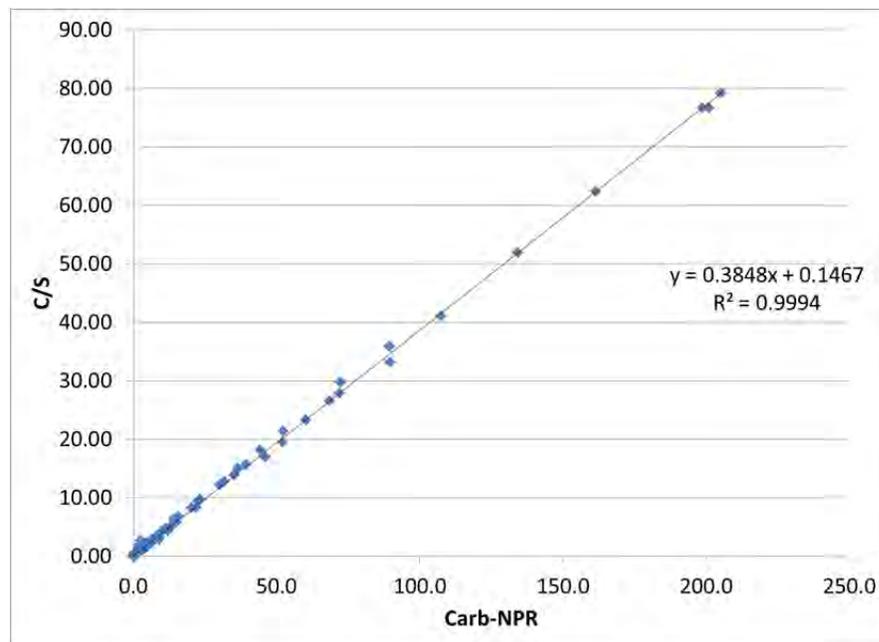
Saskatoon Office

Innovation Place
111 Research Drive, Suite 303
Saskatoon, SK, Canada
S7N 3R2
Tel: (306) 933-3939
Fax: (306) 933-3943

Reference: Waste Rock Sampling Program for Mine Canadian Malartic

material classification (**Figure 1**). The strong correlation shows that the Carb-NPR can be calculated from the C/S ratios alone. The C/S ratios for classification are provided in **Table 1**. This shows that C and S are excellent surrogates for the carbonate and sulphide contents, respectively.

Figure 1: The relationship between C/S ratios and Carb-NPR Values in Malartic rock.



The Carb-NPR and C and S values are now included in the block model for the mine. This provides estimates for the ABA characteristics of mined rocks. Based on the ABA statistics, the inventories of different classes of rock can be estimated as shown in **Table 1**. Also shown in **Table 1** is one additional class of rock (A) that will be suitable for construction on site. Although all rock with Carb-NPR values greater than 2 are classified as non-PAG, a safety factor of 1.5 was applied and material suitable for constructions should have Carb-NPR values greater than 3.

Reference: Waste Rock Sampling Program for Mine Canadian Malartic

Table 1: Waste rock classification criteria.

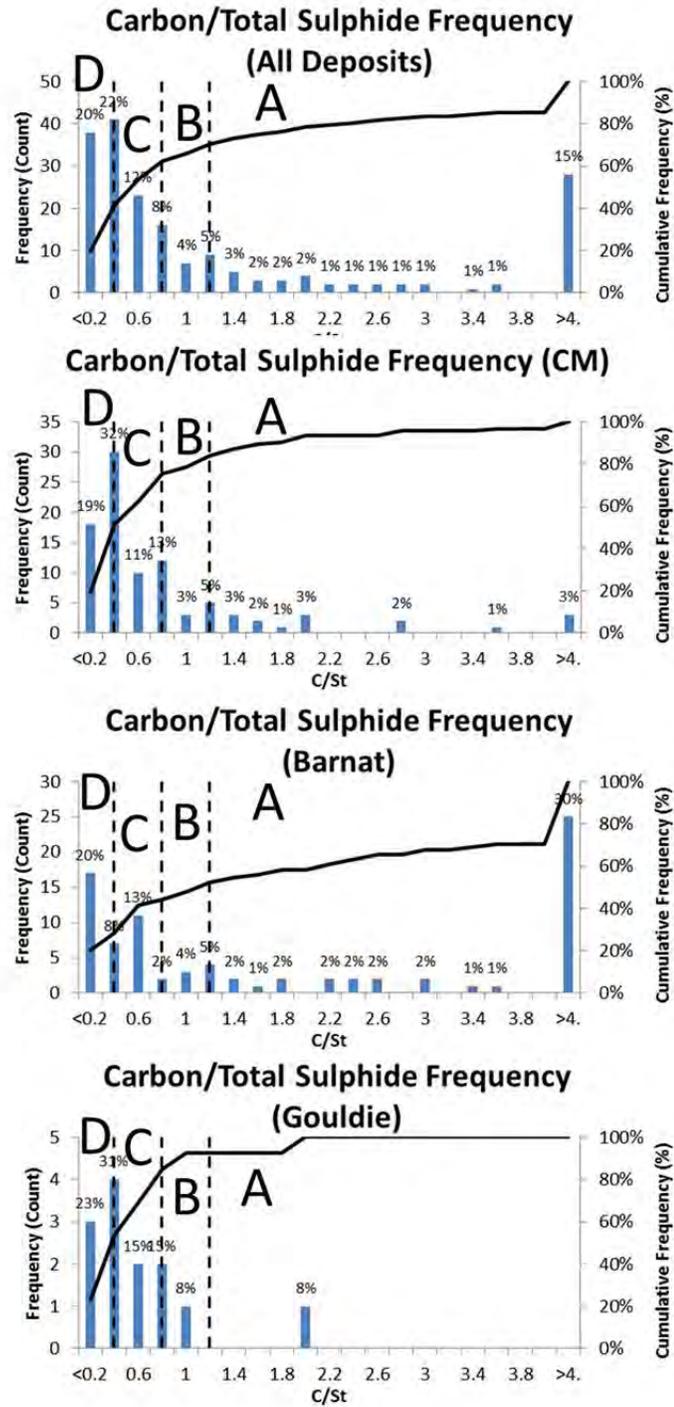
Class	Description	Carb-NPR	C/S Criteria (%C/%S)	All	CM	Ba	Go
A	Construction	≥ 3	≥ 1.3	34%	22%	52%	8%
B	Low Risk	≥ 2 and < 3	≥ 0.9 and < 1.3	17%	23%	10%	23%
C	Standard	≥ 1 and < 2	≥ 0.5 and < 0.9	7%	4%	10%	15%
D	Higher Risk	< 1	< 0.5	42%	52%	29%	54%

Notes: All= all deposits, CM=Canadian Malartic, Ba=Barnat, Go=Gouldie

The estimated percentages of each rock class from each of the pits, also shown in **Table 1**, are based on the frequency distributions for samples from the 2013 waste rock sampling campaign (Golder, 2014), as illustrated in **Figure 2**. The letter classification zones shown on **Figure 2** represent those listed in **Table 1**, while the vertical dashed lines represent the C/S criteria values listed in **Table 1**.

Reference: Waste Rock Sampling Program for Mine Canadian Malartic

Figure 2: Frequency Distributions of Waste Rock Classes



Reference: Waste Rock Sampling Program for Mine Canadian Malartic

Waste Rock Sampling Program

Blast holes can be regularly sampled, as collected from the production drilling and submitted for the analysis for total carbon (C) and total sulphur by the induction (Leco) furnace method. It is understood that the geology department at Canadian Malartic has integrated the C/S ratios and associated classification criteria within the block model.

The development and application of this sampling program for waste rock at Canadian Malartic will allow for the identification and segregation of low risk rock that will be suitable for on-site construction, and will provide appropriate management to prevent water quality risks in the long term after closure.

MÉMO

À: Sandra Pouliot, Canadian Malartic

De: Sarah Barabash
Ron Nicholson

**Réf: Classification des stériles pour la
Mine Canadian Malartic**

Date: 29 Juillet 2015

L'objectif de ce mémo est de présenter un sommaire du programme d'échantillonnage et de caractérisation des stériles qui fut développé pour l'opération de la Mine Canadian Malartic. Ce programme fut proposé comme partie intégrante des stratégies développées pour la gestion des rejets miniers et la planification de la mitigation du potentiel de drainage minier acide (DMA) et de lixiviation des métaux.

La raison première de ce programme d'échantillonnage est de développer une base de données contenant les caractéristiques du titrage acide base (ABA) des stériles en utilisant les analyses du carbone et du soufre. Cette information permettra de caractériser les roches durant les opérations régulières de la mine.

Critères de Classification des Stériles

Les stériles sont classifiés selon les résultats des essais statiques (titrage acide base, ABA). Les critères présentés dans la Directive 019 indiquent qu'un ratio entre le potentiel de neutralisation (PN) et le potentiel d'acidité plus grand ou égal à 3 ($PA \geq 3$), caractérise un matériau qui ne sera pas potentiellement générateur d'acidité (non-PGA). Lors de nos travaux, le PN a été calculé à partir de la teneur en carbonates, ci-après référé comme le PN des carbonates (PN-carb), lequel est un estimé plus conservateur que le PN Sobek considéré dans la Directive 019. De plus, ceci est conforme avec le NEDEM (2009), qui considère que le PN-Carb est effectif, donc entièrement disponible. Lorsque le PN est reconnu comme effectif, un ratio PN/PA plus grand ou égal à 2 (≥ 2) est représentatif d'un matériau non potentiellement générateur d'acidité (non-PGA).

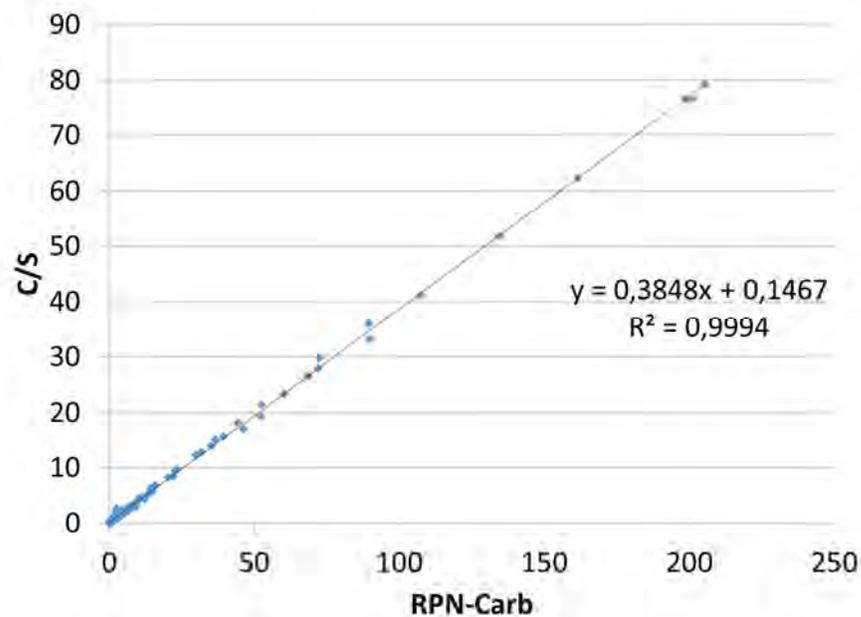
La roche peut alors être classifiée selon la valeur du ratio entre le potentiel de neutralisation des carbonates (PN-Carb) et le potentiel d'acidité (PA), soit PN-Carb/PA, auquel nous référons comme étant le ratio du potentiel de neutralisation des carbonates (RPN-Carb). Les roches qui ont une valeur de RPN-Carb plus grande que 2 sont classifiées comme non potentiellement génératrices d'acidité (non-PGA). Les roches qui ont une valeur de RPN-Carb inférieure à 1 sont considérées potentiellement génératrices d'acidité (PGA). Les matériaux ayant un RPN-Carb entre 1 et 2 sont

Référence: Programme d'échantillonnage des stériles pour Mine Canadian Malartic

considérés incertains, mais devraient de façon conservatrice, être considérés comme PGA

Il y a une relation entre RPN-Carb et les ratios C/S pour les roches de Malartic, ce qui permet de déterminer les valeurs C/S correspondantes aux valeurs RPN-Carb à des fins de classification des matériaux (Figure 1). La très bonne corrélation linéaire indique que le RPN-Carb peut être calculé à partir du ratio C/S seul. Les classes des ratios C/S utilisées pour des fins de classification sont présentées au Tableau 1. De plus, ceci suggère que les concentrations en C et S sont représentatives des teneurs en carbonates et en sulfures respectivement.

Figure 1: Relation entre les rapports C/S et les valeurs RPN-Carb dans les roches de Malartic.



Les valeurs de RPN-Carb et les concentrations en C et S sont maintenant intégrées au modèle de blocs de la mine. Ceci permet d'estimer les caractéristiques ABA des roches qui seront minées. Sur la base des statistiques ABA, un inventaire des diverses classes de roche a pu être estimé tel que montré au Tableau 1. Une classe additionnelle (A) de roche est également présentée dans le Tableau 1, laquelle est jugée appropriée comme matériau de construction sur le site. Même si toutes les roches ayant un RPN-Carb supérieur à 2 sont classifiées comme non-PGA, un facteur de sécurité de 1.5 est appliqué et les matériaux pouvant être utilisés en construction devront avoir un RPN-Carb supérieur ou égal à 3.

Référence: Programme d'échantillonnage des stériles pour Mine Canadian Malartic

Tableau 1: Critères de Classification des Stériles.

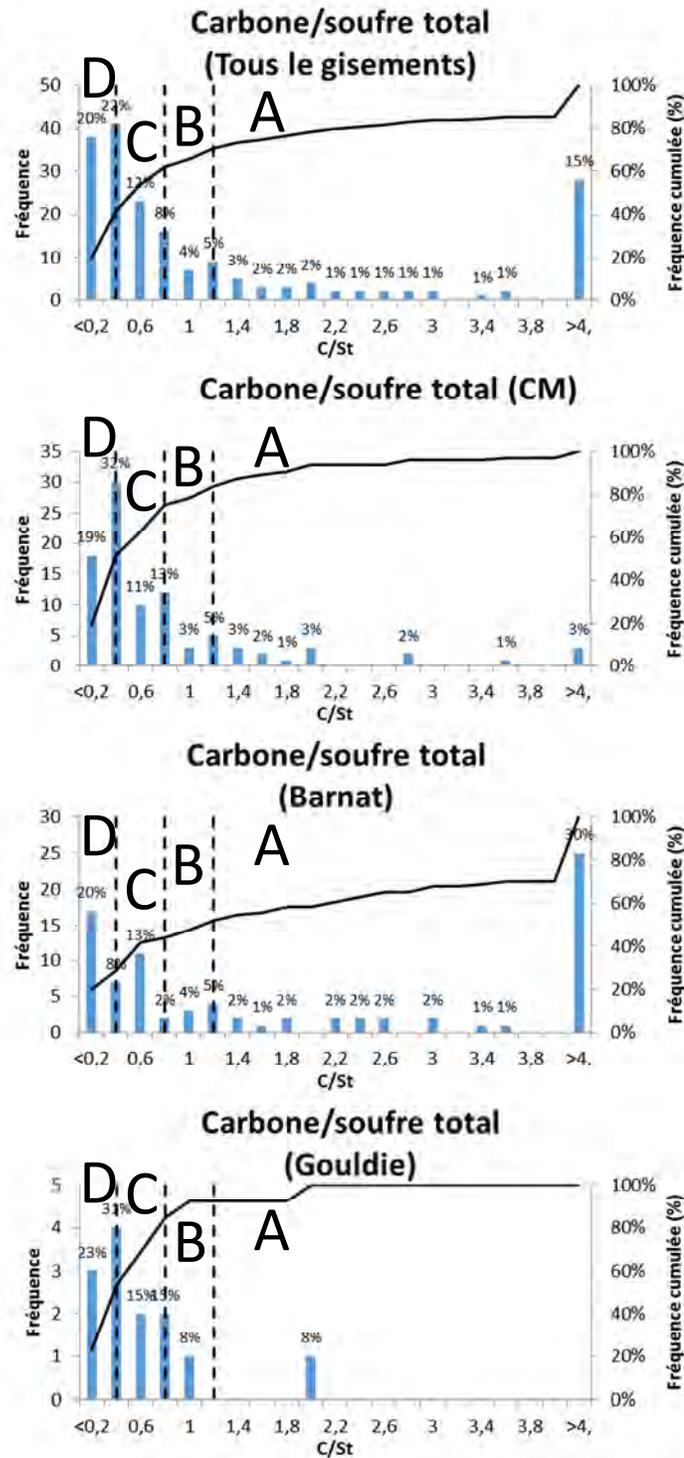
Classe	Description	RPN-Carb	Critère C/S (%C/%S)	Tous	CM	Ba	Go
A	Construction	≥3	≥1.3	34%	22%	52%	8%
B	Risque Faible	≥2 et <3	≥0.9 and <1.3	17%	23%	10%	23%
C	Risque Moyen	≥1 et <2	≥0.5 and <0.9	7%	4%	10%	15%
D	Risque Élevé	<1	<0.5	42%	52%	29%	54%

Notes: Tous= tous les gisements, CM=Canadian Malartic, Ba=Barnat, Go=Gouldie

Les pourcentages estimés pour chacune des classes de roches dans la fosse à ciel ouvert sont également présentés au Tableau 1, et sont basés sur la distribution de fréquences des échantillons de la campagne d'échantillonnage des stériles de 2013 (Golder, 2014), tel qu'illustré à la **Figure 2**. Les lettres des classes présentées à la Figure 2 correspondent à celles listées dans le Tableau 1, alors que les lignes verticales en tirets représentent les valeurs du critère C/S qui sont listées au Tableau 1.

Référence: Programme d'échantillonnage des stériles pour Mine Canadian Malartic

Figure 2: Distribution de fréquences des Classes de Stériles.



Référence: Programme d'échantillonnage des stériles pour Mine Canadian Malartic

Programme d'Échantillonnage des Stériles

Les trous de dynamitage peuvent être échantillonnés sur une base régulière durant le forage de production et soumis pour des analyses du carbone total (C) et du soufre total (S) par la méthode de la fournaise à Induction (Leco). Nous comprenons que le département de géologie chez Canadian Malartic a intégré au modèle de bloc des ressources, les ratios C/S et les critères de classification associés.

Le développement et la mise en application de ce programme d'échantillonnage des stériles chez Canadian Malartic va permettre l'identification et la séparation des roches à faibles risques qui seront utilisables comme matériaux de construction sur le site (Classe A, Tableau 1), tout en procurant une méthode appropriée de gestion des stériles qui permettra de minimiser les risques liés à la qualité de l'eau à long terme après la fermeture du site.

