

Fer et Titane
Service de l'Environnement
1625, route Marie-Victorin
Sorel-Tracy Québec J3R 1M6
Canada
T +450 780-4214
F +450 746-5661

Projet de rénovation et d'agrandissement
des installations portuaires de Rio Tinto, Fer
et Titan à Havre-Saint-Pierre

6211-04-056

Sorel-Tracy, le 7 mai 2012

PAR PUROLATOR

Monsieur Yves Rochon
Ministère du Développement durable,
de l'Environnement et des Parcs
Édifice Marie-Guyart, 6^e étage
675, boul. René-Lévesque Est
Québec (Québec) G1R 5V7

N/réf. : ENV 06-00-57-01-2012

**Objet : Rénovation et agrandissement des installations portuaires de Rio Tinto, Fer et
Titane à Havre-Saint-Pierre – utilisation possible d'un nouveau type de remblai**

Monsieur,

L'étude d'impact sur l'environnement du projet mentionné en rubrique aborde l'aspect d'utilisation de remblais pour combler les nouvelles structures portuaires. Pour des considérations techniques et financières, Rio Tinto, Fer et Titane (RTFT), envisage sérieusement une nouvelle option qui n'avait pas été décrite jusqu'à présent dans l'étude, soit l'utilisation d'anorthosite en provenance de la mine d'ilménite du lac Tio.

Sur le plan technique, ce matériel est une roche intrusive massive qui présente une plus grande résistance à long terme aux influences de l'eau et des cycles de gel/dégel. Le remblai initialement étudié et disponible situé près de Havre-Saint-Pierre, composé de roches sédimentaires carbonatées, est plus fragile à ces contraintes en raison d'une plus grande porosité. Les avantages logistiques de l'anorthosite reposent sur le fait que le stérile est extrait par les opérations minières de RTFT et que les infrastructures de transport ferroviaire sont déjà en place pour acheminer le matériel directement au chantier de construction.

Cette option a été présentée à votre équipe dans le cadre d'un appel conférence tenue le 30 janvier 2012. Les renseignements échangés durant cette rencontre, ainsi que les informations supplémentaires demandées par la suite, sont repris dans les documents annexés à cette lettre.

.../2

Veillez recevoir, Monsieur, l'expression de nos sentiments les meilleurs.



Anne Laganière, ing.
Chef de service – Environnement

- p.j. Utilisation d'anorthosite de la mine du lac Tio comme remblai – RTFT
Note technique – URSTM
- c.c. Mme Mélanie Talbot (MPO)
M. Jonathan Olson (CJB Environnement)
M. Benoit Plante (URSTM)
M. Roy Gemmell (RTFT)
M. René Béland (RTFT)
M. Denis Moisan (RTFT)
M. Christian Blanchet (RTFT)

Fer et Titane
 Service de l'Environnement
 1625, route Marie-Victorin
 Sorel-Tracy (Québec) J3R 1M6
 Canada

T +450 780-4214
 F +450 746-5661

Note de service

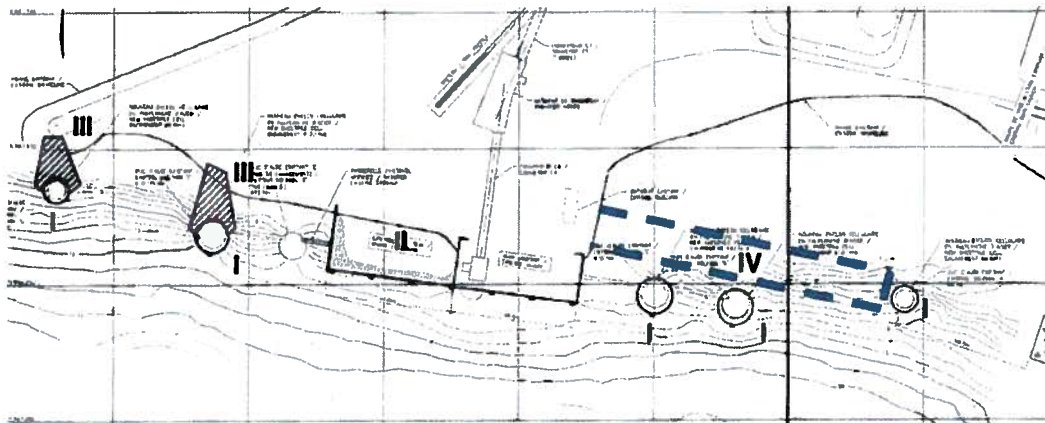
ENV 06-00-57-01-2012

Destinataire	Yves Rochon, MDDEP
Expéditeur	Anne Laganière
Service	Environnement
Objet	Utilisation d'anorthosite de la mine du lac Tio comme remblai
Date	7 mai 2012
Nombre de pages	6

1 – UTILISATION DE REMBLAIS POUR LA RÉNOVATION ET L'AGRANDISSEMENT DU QUAI DE RIO TINTO, FER ET TITANE (RTFT), DE HAVRE-SAINT-PIERRE

Du remblai granulaire sera requis pour les différentes infrastructures portuaires qui seront agrandies ou nouvellement mises en place. La Figure 1 et le Tableau 1 indiquent la localisation et la quantité estimée requise. Le remblai sera placé dans différents environnements (submergé, intertidal et émergé) qui auront une influence sur le comportement chimique des particules exposées.

FIGURE 1 LOCALISATION DES REMBLAIS. LES CHIFFRES RÉFÈRENT AU TABLEAU 1



Trois (3) types de remblai seront utilisés selon la granulométrie suivante :

- Remblai grossier pour le quai :
 - Fraction > 500 mm : 20 %
 - Fraction 500-100 mm : 60 %
 - Fraction < 50 mm : 20 %
- Remblai grossier pour les cellules :
 - Fraction < 75 mm : 100 %
- Remblai moins grossier pour le quai et les cellules :
 - Classe A (0-20 mm) : 20 %
 - Classe B (0-40 mm) : 80 %

TABLEAU 1 RÉPARTITION DU REMBLAI

	Statuts	Quantités (tm)	Répartitions (tm)		Types de remblai (tm)**	
			Submergée	Émergée et intertidale	Grossier	Moins grossier
I - Agrandissement des cellules	Permanent et confiné par des palplanches	5 500	4 700	800	4 600	900
II - Agrandissement du quai	Permanent et confiné par des palplanches	14 500	7 100	7 400	13 500	1 000
III - Digue d'accès aux cellules F et G*	Permanent et non confiné	7 000		7 000	7 000	
IV - Digue d'accès*	Probable, temporaire et non confiné	13 000		13 000	13 000	
Total :		40 000	11 800	28 200		
			30 %	70 %		

* Mise en place à de plus faibles profondeurs à partir de la berge. Considérant qu'une très faible proportion non définie sera submergée, la totalité du matériel est considérée en section émergée et intertidale.

** La fraction moins grossière est mise en place à une élévation minimale de -1 m. On peut considérer qu'elle est dans la zone intertidale et émergée.

2 – OPTION DE L'ANORTHOSITE DE LA MINE DU LAC TIO COMME REMBLAI

Les scénarios envisagés dans l'étude d'impact (section 3.1.2.2 et figure 13 du rapport principal; CJB Environnement, 2011) impliquent l'utilisation de la dolomie comme remblai. Il s'agit d'une roche sédimentaire pouvant présenter une porosité primaire (c'est-à-dire reliée à la formation de la roche – vides inter-granulaires, fossiles,...) et secondaire (reliée à l'altération physico-chimique – fracturation, dissolution des minéraux de carbonate,...) plus importantes que les roches métamorphiques et intrusives du bouclier canadien. Sur le plan géotechnique, la dolomie peut présenter à long terme un risque d'effritement en raison des infiltrations d'eau en période de gel-dégel dans les zones émergées et intertidales. Pour éviter ce risque, il est préférable d'utiliser par précaution des roches massives, incluant la formation rocheuse encaissant le gisement d'ilménite de la mine du lac Tio.

2 – OPTION DE L'ANORTHOSITE DE LA MINE DU LAC TIO COMME REMBLAI (SUITE)

Cette opportunité découle du fait que RTFT extrait des stériles miniers composés notamment d'anorthosite pour avoir accès au dépôt d'ilménite. Le matériel serait concassé et tamisé sur le site minier et il pourrait être transporté par wagons directement au terminal maritime de Havre-Saint-Pierre. Les scénarios envisagés sont une utilisation conjointe du remblai en provenance de la mine et de carrières de dolomies. À titre d'exemple, le remblai d'anorthosite pourrait être utilisé dans les sections intertidale et émergée alors que la base submergée serait constituée de dolomie. Un autre scénario privilégié par RTFT consisterait en un usage complet d'anorthosite qui permettrait de réduire la mobilisation-démobilisation d'unité de concassage.

D'un point de vue opérationnel, cette option a l'avantage de diminuer la circulation routière sur les routes régionales, municipales et locales, avec une atténuation du niveau de bruit et une amélioration de la sécurité routière. L'impact des poussières serait moindre sur les routes, mais plus important au terminal lors du déchargement des wagons. Afin d'atténuer le risque, l'anorthosite sera humidifiée à la mine, avant le transport vers le chantier.

Le stérile minier riche en ilménite (ou hémo-ilménite dans Plante et Bussièrre, 2012) tend à libérer du nickel en condition de pH neutre. Cette problématique a été l'objet de recherches scientifiques par l'Unité de recherche et de service en technologie minérale (URSTM) de l'Abitibi-Témiscamingue, permettant aux chercheurs de ce centre de développer une expertise unique dans le comportement géochimique de ce matériel. La note technique de l'URSTM (Plante et Bussièrre, 2012) présente un résumé des connaissances acquises avec les résultats des expériences passées et en cours de réalisation, dans une optique des différentes conditions de déposition des remblais dans le quai. Il en résulte qu'un stérile frais constitué d'anorthosite massive et contenant environ 5,7 % d'ilménite et 0,03 % S, a des effets non significatifs sur l'environnement. Comme il existe une relation directe entre le contenu en ilménite et la concentration en sulfures, source des contaminants, le remblai d'anorthosite choisi devra avoir des teneurs égales ou inférieures aux concentrations mentionnées précédemment. Un contrôle de qualité sera mis en place durant la préparation du remblai avec un échantillonnage des bancs dynamités potentiellement favorables et l'analyse des paramètres Ti et S afin de s'assurer que les concentrations soient sous les limites prescrites précédemment. Quarante milles (40 000) tonnes d'anorthosite à une densité de 2,7 t/m³ représentent près de 15 000 m³. Nous proposons un échantillon composé à tous les 500 m³ pour un total de trente (30) échantillons qui seront analysés sur lixiviat (méthode TCLP1311) pour les métaux (As, Ba, Bo, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Pb, Se, U, Zn) et sur solide pour le titane et le soufre.

Les besoins requis en remblai, de l'ordre de 40 000 tm, sont disponibles à la mine. La Figure 2 illustre la répartition de l'anorthosite contenant moins de 5 % d'ilménite dans l'extension est de la fosse principale. À titre d'échelle, un bloc d'environ 80 000 tm est représenté dans les Figures 2 et 3, de sorte que la zone d'intérêt contient amplement la quantité nécessaire.

FIGURE 2 VUE EN COUPE (REGARD VERS LE NORD) DE LA PARTIE EST DE LA FOSSE PRINCIPALE DE LA MINE DU LAC TIO (EN ROUGE : GISEMENT D'ILMÉNITE MASSIVE CONTENANT > 76 % D'ILMÉNITE, EN JAUNE : ILMÉNITE DISSÉMINÉE À SEMI-MASSIVE (STÉRILE MINIER) CONTENANT ENTRE 5 ET 76 % D'ILMÉNITE ; EN BLANC : ANORTHOISITE CONTENANT 5 % ET MOINS D'ILMÉNITE)

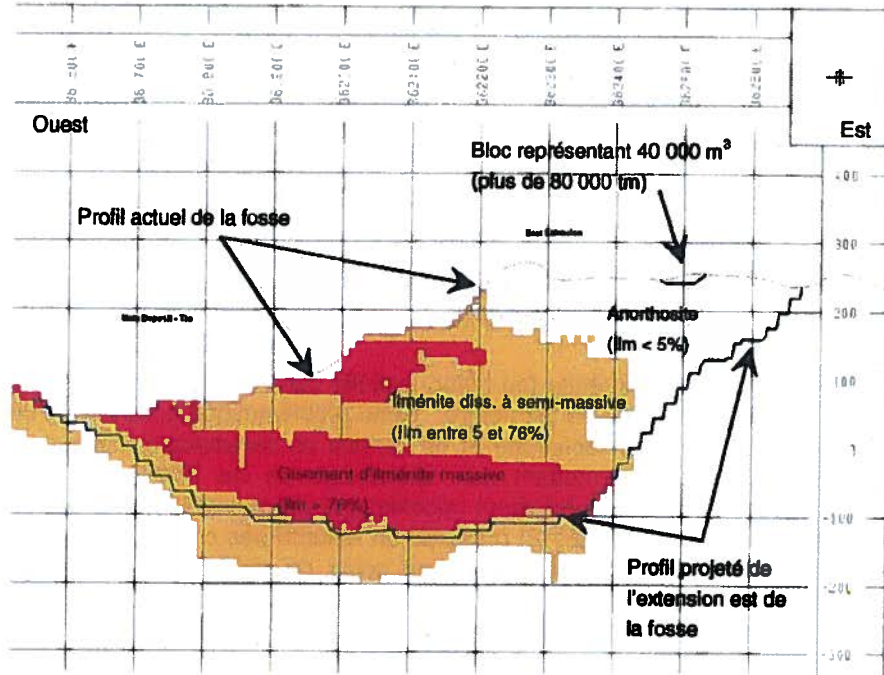
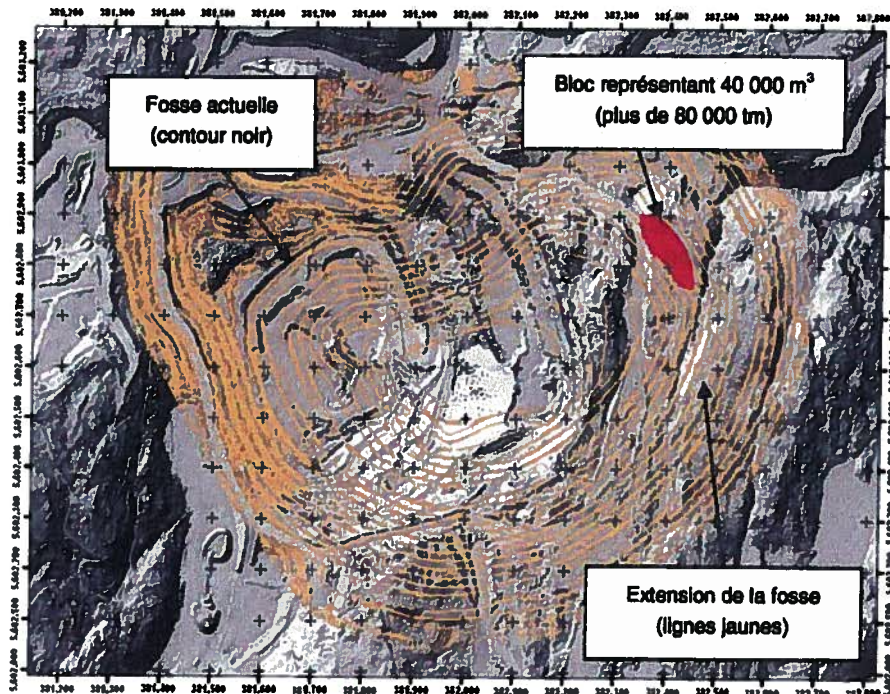


FIGURE 3 VUE EN PLAN DE LA FOSSE PRINCIPALE DE LA MINE DU LAC TIO ILLUSTRANT LA PROJECTION VERS L'EST DE L'EXTENSION DES OPÉRATIONS



3 – ÉVALUER L'EFFET DE L'ANORTHOSITE SUR L'EAU DE MER

Bien que les résultats préliminaires d'un essai avec l'eau douce sont positifs, aucun des tests scientifiques menés jusqu'à maintenant par l'URSTM n'a utilisé une solution saline. Pour les fins de ce projet, RTFT a mandaté l'URSTM afin qu'il applique un essai en colonne, dans ses laboratoires, d'un échantillon d'anorthosite sous l'influence de l'eau salée. Pour ce test, la proposition consiste en une recirculation de la même eau de mer dans des cycles simulant un battement de nappe pour faire un parallèle avec les variations intertidales. Le niveau de la nappe d'eau variera deux (2) fois par semaine entre le premier et le second tiers de la hauteur du matériel dans la colonne. Le niveau sera maintenu élevé pendant trois (3) jours, puis rabattu pendant les quatre (4) jours suivants. Au prochain relèvement de la nappe, l'eau retirée sera réintroduite. La solution sera échantillonnée à toutes les deux (2) semaines, juste avant le rabattement de la nappe. Le prélèvement d'échantillon sera compensé par l'ajout d'un volume équivalent d'eau de mer non utilisée et conservée en réserve.

L'essai se déroulera sur une durée de douze (12) mois. Un échantillon frais et représentatif d'anorthosite pauvre en ilménite (voir le point 2) récolté à la mine et d'eau de mer pompée à Havre-Saint-Pierre ont été envoyés à l'URSTM. L'expérience pourra débuter lorsque ce protocole sera accepté par votre équipe. Par la suite, les résultats vous seront communiqués sur une base mensuelle. Les paramètres analytiques de suivi sont indiqués dans le Tableau 2. Ils ont été déterminés sur la base des recherches scientifiques menées par l'URSTM jusqu'à maintenant sur le gisement du Lac Tio. Ce suivi permettra de connaître l'effet de l'anorthosite sur la qualité de l'eau de mer. En particulier, il sera possible de déterminer l'augmentation de la dureté de l'eau de mer et de son contenu en métaux dissouts causée par l'anorthosite soumise aux battements de nappe. Ainsi, l'interprétation sera basée sur l'évolution des profils physico-chimiques de l'eau de mer (pH, conductivité électrique, acidité et alcalinité), en relation avec les éléments neutralisants (Ca, Mg, Mn et Si) et les métaux en solution.

TABLEAU 2 PROTOCOLE ANALYTIQUE DE L'ESSAI EN COLONNE

PARAMÈTRES	MÉTHODES	QUANTITÉS/FRÉQUENCES
A) Eau de mer (en réserve)		
pH, conductivité, alcalinité		5/initiale et trimestrielle
Métaux (Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb S, Sb, Se, Si, Ti, Zn)	ICP-AES	5/initiale et trimestrielle
B) Anorthosite		
Granulométrie	Tamis et laser	1/initiale
Si et K		3/initiale
Métaux (Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb S, Sb, Se, Si, Te, Ti, Zn)	ICP-AES	3/initiale
Essais statiques (S_{total} , $S_{sulphates}$, $S_{sulfures}$, C_{total} , potentiel de génération acide (PA), potentiel de neutralisation (PN), potentiel net de neutralisation (PNN), PN/PA)		3/initiale
Minéralogie semi-quantitative	DRX	3/initiale
C) Eau de mer (solution dans l'essai en colonne)		
pH, conductivité, alcalinité		24/bimensuelle
Métaux (Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb S, Sb, Se, Si, Ti, Zn)	ICP-AES	24/bimensuelle
K+		24/bimensuelle

Par ailleurs, lorsque les travaux au quai seront complétés, RTFT installera un puits d'observation à l'emplacement de la nouvelle extension, à travers le remblai d'anorthosite. Cet équipement fera l'objet d'un suivi de la qualité des eaux souterraines, à une fréquence mensuelle, du printemps à l'automne, durant les deux (2) premières années et sur une base trimestrielle pour les années suivantes. Les échantillons seront analysés pour les métaux.

4 – RISQUE D'ENSABLEMENT ET DE CONTAMINATION PRÈS DES FUTURES DIGUES D'ACCÈS AUX CELLULES F ET G

La mise en place de digues d'accès aux cellules à l'ouest du quai créera deux (2) petits bassins ouverts vers le sud et susceptibles d'enclencher la déposition des sédiments. Ce point a été discuté dans les sections 4.3.1.2, 4.3.1.4 et 4.3.1.5 du rapport principal de l'étude d'impact (CJB Environnement 2011). Comme information supplémentaire, les digues seront construites surtout sur la pente de l'enrochement existant et non pas dans un secteur sableux et dynamique comme le serait le cas d'une plage. De ce fait, aucune accumulation importante de matériel n'est appréhendée à ces endroits. Le comportement du Ni dépend de deux (2) facteurs soulevés dans la note technique de l'URSTM. D'une part, le Ni présent dans la roche est associé à la fois aux plagioclases et aux sulfures et c'est à partir de cette dernière phase que le Ni se libère dans l'environnement par oxydation. D'autre part, cette réaction d'oxydation est tamponnée en réagissant avec les principales phases minérales de l'anorthosite par des phénomènes de sorption dont le potentiel de rétention tend à diminuer à mesure que le Ni est libéré des sulfures. Le choix d'anorthosite pauvre en ilménite et en sulfures évitera ou limitera de façon significative le largage de Ni au-delà de la capacité de sorption de la roche encaissante. Tel que mentionné précédemment au point 2, la combinaison de ces deux (2) facteurs résultera en des pertes négligeables de Ni dans le milieu, minimisant ainsi les impacts sur la qualité des sédiments. En combinant les effets de la sédimentation à la contamination possible du milieu, les risques de générer un déblai de dragage contaminé sont faibles, autant en matière d'occurrence que de quantité.

5 – RISQUE DE CONTAMINATION DU REMBLAI DE LA DIGUE D'ACCÈS TEMPORAIRE

La possibilité de contamination du remblai par les sédiments du fond marin a été soulevée dans les discussions avec votre groupe. Durant les travaux de terrain de juillet 2010 et dont les résultats sont présentés dans l'annexe A du rapport principal (CJB Environnement, 2011), le secteur au nord des cellules d'amarrage situés à l'est du quai a été le site d'échantillonnage physico-chimique et de faune benthique (Station HSP-10) et de deux (2) «traverses» vidéo (trajets V3-ZF et V3-YZ). Les résultats et les observations ne relèvent aucune contamination, ni la présence de minerai dans cette section. Ainsi, lors du retrait du remblai, les sédiments qui seront mélangés avec le matériel ne contribueront pas à une possible contamination de l'ensemble.

6 – GESTION DES DÉBLAIS SALÉS APRÈS LE DÉMANTÈLEMENT DE LA DIGUE D'ACCÈS TEMPORAIRE

Cette question a été abordée dans la question 5 de l'Addenda à l'étude d'impact sur l'environnement en relation avec l'utilisation de remblai provenant de carrières de dolomie. En ce qui concerne l'anorthosite, il sera entreposé sur le site de la carrière Becca après le retrait de la digue temporaire. Le site de la carrière Becca est décapé jusqu'au socle rocheux. Il est situé près de la rive et le bassin versant communique avec les eaux du golfe, de sorte que les eaux pluviales qui essoreront le matériel des sels et solutions salines n'entreront pas en contact avec la nappe phréatique, ni avec des cours d'eau. Après essorage passif, ce matériel pourra éventuellement être disponible comme remblai pour d'autres ouvrages ou infrastructures.



Unité de recherche et de service
en technologie minérale
de l'Abitibi-Témiscamingue

*Potentiel de génération de contaminants par des stériles de la mine Tio
utilisés comme remblai au quai de chargement en eau de mer
PU-2011-12-685*

NOTE TECHNIQUE

Par : Benoît Plante et Bruno Bussière, professeurs-chercheurs

Soumise à : Christian Blanchet et Donald Laflamme, Rio Tinto Fer et Titane

Date : Le 27 janvier 2012

La présente note technique discute du potentiel de génération de contaminants de stériles de la mine Tio utilisés comme remblais dans l'agrandissement du quai en mer de la compagnie Rio Tinto, Fer et Titane, à Havre-Saint-Pierre. Pour identifier les conditions les moins risquées pour l'utilisation des stériles comme remblais, on divisera le présent memorandum en 5 sections :

1. Généralités sur les stériles de la mine Tio
2. Travaux antérieurs sur le comportement géochimique des stériles Tio
3. Caractéristiques des stériles à privilégier pour l'utilisation comme remblai
4. Impact de l'eau de mer sur la génération de contaminants
5. Suivis de la qualité de l'eau de l'ouvrage

1. Généralités sur les stériles de la mine Tio

La mine Tio est en opération depuis 1950 et exploite, à ciel ouvert, un gisement d'hémo-ilménite (mélange d'hématite et d'ilménite en exsolution) massive. Les stériles sont entreposés en périphérie de la fosse principale, en plusieurs haldes à stériles. Comme le gisement d'hémo-ilménite massive est riche, le procédé métallurgique de Sorel-Tracy a été conçu pour traiter du minerai à très haute teneur en hémo-ilménite, à savoir entre environ 70 à 80 %. Par conséquent, certains secteurs des stériles de la mine Tio peuvent être riches en hémo-ilménite, avec des teneurs allant jusqu'à 60-70 %.

... 2

Les eaux de drainage des stériles se maintiennent à un pH près de la neutralité. Cependant, certaines des haldes génèrent des eaux de drainage contenant des concentrations de Ni parfois supérieures aux limites permises par la Directive 019 et le REMM. Par conséquent, les résurgences sont collectées et traitées avant leur rejet dans l'environnement.

2. Travaux antérieurs sur le comportement géochimique des stériles Tio

Plusieurs travaux ont été entamés depuis 2005, afin de caractériser les stériles de la mine Tio et d'en comprendre le comportement géochimique. Ces travaux, dont certains sont toujours en cours, sont les suivants :

- Caractériser les stériles d'anorthosite;
- Identifier la provenance du Ni dans les eaux de drainage;
- Expliquer le délai de plusieurs décennies avant l'apparition de la contamination en Ni dans les eaux de drainage des stériles.

Afin d'atteindre ces objectifs, différents types d'essais ont été réalisés :

- Essais en cellules humides et mini-cellules d'altération en laboratoire contenant de quelques grammes à 1 kg de stériles;
- Essais en colonne contenant quelques dizaines de kg de stériles;
- Essais en parcelles expérimentales (cellules de terrain) contenant entre 25 et 30 m³ de stériles (jusqu'à 100 tonnes);
- Essais de rétention du Ni par les stériles au laboratoire et sur les cellules de terrain;

Ces essais ont été réalisés sur différents types de stériles, variant de par leur contenu en hémio-ilménite et de par leur âge, c'est-à-dire le temps depuis leur production et, donc, la durée d'exposition aux conditions environnementales.

Les travaux effectués depuis 2005 ont permis de comprendre le comportement géochimique des stériles de la mine Tio (Bussière *et al.*, 2008, 2011; Demers *et al.*, 2011; Pepin, 2009; Pepin *et al.*, 2008; Plante, 2010, Plante *et al.*, 2008; 2010, 2011a, 2011b). Voici quelques faits saillants issus de ces travaux, et qui ont une implication pour le présent projet :

- Les stériles de la mine Tio sont composés de gangue et de minerai résiduel;

- La gangue est principalement composée de plagioclase calcique, avec des traces de micas, de chlorite, de spinelle et de sulfures, notamment la pyrite (FeS_2) pouvant contenir des traces de Ni, ainsi que la millérite (NiS);
- Le Ni est associé principalement aux sulfures, mais une partie de celui-ci est incluse dans les plagioclases;
- Les sulfures sont principalement associés à l'ilménite, de sorte que les stériles contenant plus d'hémo-ilménite contiennent généralement plus de sulfures;
- Le Ni libéré dans les eaux de drainage provient principalement de l'oxydation des sulfures contenant du Ni, et non des plagioclases;
- L'oxydation des sulfures génère de l'acidité, qui est neutralisée par les minéraux de gangue, principalement les plagioclases. De plus, la capacité de neutralisation dépasse largement le potentiel de génération d'acide, de sorte que les eaux de drainage devraient à long terme demeurer près de la neutralité;
- Les stériles possèdent un potentiel limité de rétention du Ni (probablement par sorption), et ce potentiel est graduellement saturé à mesure que du Ni est généré par l'oxydation des sulfures. Cette capacité limitée de rétention explique le délai avant l'apparition graduelle de conditions de drainage neutre contaminé en Ni;
- Les stériles submergés ne génèrent que très peu de Ni, de par la disponibilité réduite en oxygène nécessaire à l'oxydation des sulfures;
- Une partie du Ni retenu par les stériles à la suite de l'oxydation des sulfures est instable en conditions submergées, de sorte que les stériles ayant déjà été exposés aux conditions environnementales peuvent libérer, à court terme, le Ni retenu, s'ils sont submergés. Cependant, les travaux réalisés montrent que les concentrations en Ni chutent par la suite (après une période de deux ans en conditions des cellules expérimentales) à des valeurs nettement sous la Directive 019;
- Les stériles faibles en ilménite et en sulfures génèrent peu de Ni (voir les essais en colonne, section 3).

3. Caractéristiques des stériles à privilégier pour l'utilisation comme remblai

Les études antérieures permettent de guider le choix des caractéristiques des stériles à privilégier, afin de minimiser le risque de contamination, lorsque les stériles sont utilisés comme remblais dans la mer. Il est donc suggéré de :

1. *Sélectionner des stériles contenant le moins d'ilménite possible;*
2. *Sélectionner des stériles ayant été exposés aux conditions environnementales le moins longtemps possible.*

En effet, les stériles dépourvus d'ilménite ont moins de chance de contenir des sulfures et, donc, de générer du Ni. De plus, les stériles n'ayant pas été exposés aux conditions environnementales n'auront pas eu suffisamment de temps pour que les sulfures s'oxydent et génèrent du Ni. Bien que le Ni généré par les sulfures soit retenu par les stériles, il peut être relargué, une fois sous l'eau. Parmi les résultats obtenus à ce jour, permettant d'orienter le choix des stériles, mentionnons :

Cellules de terrain :

- Stériles frais, faibles en ilménite (environ 6-10 % Ti, donc 19-30 % ilménite, et 0,4-0,5 % S_{total}) : les eaux de drainage de ces stériles contiennent des concentrations en Ni <0,02 mg/L après 6 ans;
- Stériles altérés, faibles en ilménite (environ 7,7-10,4 % Ti, donc environ 24-33 % d'ilménite, et 0,14-0,22 % S_{total}) : les eaux de drainage de ces stériles contiennent des concentrations en Ni jusqu'à 0,68 mg/L après 6 ans.
- Stériles frais, élevés en ilménite, submergés un mois après leur production (environ 15-17 % Ti, donc environ 48-54 % ilménite, et 0,5 % S_{total}) : ces stériles sont maintenus sous eau, dans une enceinte étanche, sans apport d'eau autre que les précipitations. La concentration en Ni de l'eau en surface a augmenté, jusqu'à atteindre 0,4 mg/L après 4 ans, mais est inférieure à 0,01 mg/L après 6 ans. Quant à l'eau interstitielle, sa concentration en Ni a atteint 5 mg/L après quelques mois, pour redescendre graduellement durant les 4 années suivantes, pour atteindre des valeurs oscillant entre 0,01 et 0,2 mg/L. Ce résultat suggère que du Ni ait été généré par l'oxydation des sulfures durant le mois où les stériles ont été exposés avant leur immersion. Ce Ni a probablement été retenu par les stériles et relargué pendant l'immersion. La dilution par les eaux des précipitations et l'inhibition de l'oxydation expliquent les faibles concentrations de Ni obtenues depuis;

Essais en colonnes au laboratoire :

- Stériles frais, faibles en ilménite (environ 1,8 % Ti, donc environ 5,7 % ilménite et 0,03 % S_{total}) : les eaux de drainage contiennent des concentrations en Ni <0,004 mg/L (sous la limite de détection des analyses ICP-AES réalisées) après 7 mois de lixiviations;

- Stériles altérés, faibles en ilménite (environ 4 % Ti, donc environ 12,7 % ilménite, et 0,17 % S_{total}) : les eaux de drainage contiennent des concentrations en Ni entre 0,02 et 0,04 mg/L après 7 mois de lixiviations;
- Stériles frais, pauvres en ilménite, submergés (environ 7,6 % Ti, donc environ 24 % ilménite, et 0,55 % S_{total}) : la concentration de Ni dans l'eau d'immersion passe de 0,2 mg/L à 0,1 mg/L durant les 7 premiers mois d'essai. Ce Ni provient vraisemblablement de la libération du Ni généré et retenu avant l'immersion;
- Stériles altérés, riches en ilménite, submergés (environ 14 % Ti, donc environ 44 % ilménite, et 0,1 % S_{total}) : l'eau d'immersion est passée de 12,6 à 2,5 mg/L durant les 7 premiers mois d'essais. Ce Ni provient vraisemblablement de la libération du Ni généré et retenu avant l'immersion.
- Stériles frais, riches en ilménite, submergés (environ 19 % Ti, donc environ 60 % ilménite, et 0,4 % S_{total}) : la concentration de Ni dans l'eau d'immersion passe de 0,2 mg/L à 0,1 mg/L durant les 7 premiers mois d'essai. Ce Ni provient vraisemblablement de la libération du Ni généré et retenu avant l'immersion;

4. Impact de l'eau de mer sur la génération de contaminants

Les essais antérieurs ont utilisé soit de l'eau de pluie (essais en cellules de terrain) ou de l'eau déionisée (au laboratoire). L'effet de l'eau de mer sur le comportement géochimique des stériles de la mine Tio n'a donc jamais été vérifié. En se basant sur la littérature, on pense que l'oxydation des sulfures en immersion sous l'eau de mer sera comparable à l'immersion dans tout autre type d'eau (NEDEM, 1998). Le Ni généré par les sulfures et retenu par les stériles (le cas échéant), préalablement à l'immersion, sera libéré après immersion (NEDEM, 1998).

L'eau de mer contient naturellement du Ni à une concentration moyenne de 0,00056 à 0,0066 mg/L (selon Lide, 1999 et Turekian, 1968 respectivement). La limite de détection de l'ICP-AES, utilisé dans le cadre des travaux à l'UQAT, se trouve à cheval entre ses concentrations (0,004 mg/L). La concentration en nickel peut être localement différente de la moyenne, et ce, de plusieurs ordres de grandeur en concentration (Lide, 1999). Par contre, la concentration en Ni dans l'eau de mer, à proximité de Havre-Saint-Pierre, est inconnue.

Le battement de la nappe au gré des marées à l'intérieur de l'ouvrage risque de permettre l'oxydation des sulfures et la génération de Ni à des concentrations supérieures à 0,008 mg/L (critère de qualité de l'eau de surface pour la protection de

la vie aquatique - effet chronique). Afin de minimiser les effets de cette oxydation, il faudrait utiliser les stériles extraits récemment du socle rocheux (stériles frais). De plus, le contenu en Ti et S doit être le plus bas possible, afin de limiter la libération de Ni au-delà du critère d'effet chronique. Selon les essais réalisés jusqu'à maintenant, des teneurs en S de 0,17 % dans l'anorthosite altérée faible en ilménite (4 % Ti) mèneraient à des concentrations en Ni entre 0,02 et 0,04 mg/L dans les eaux de rinçage. Il appert donc que la quantité de soufre dans l'anorthosite devrait être inférieure à cette valeur, afin de demeurer sous le critère d'effet chronique. Cependant, la teneur en S exacte, où la concentration de Ni générée est acceptable, n'est pas connue, suite aux essais réalisés jusqu'à maintenant.

5. Dernières remarques

En résumé, les points suivants sont à retenir de la présente note technique :

- Le comportement géochimique des stériles de la mine Tio est bien expliqué par plusieurs années de suivi en cellules de terrain, sur plusieurs types de stériles et sur plusieurs études de laboratoire;
- Afin d'éviter la libération du Ni par le remblai en milieu marin, il est souhaitable que les stériles choisis comme remblais contiennent le moins possible d'ilménite et de sulfures;
- Il est également souhaitable que les stériles utilisés comme remblais en milieu marin aient été exposés aux conditions environnementales le moins longtemps possible avant leur immersion;
- L'hypothèse que le comportement géochimique des stériles immergés en milieu marin soit probablement similaire à celui de toute autre eau d'immersion est basé uniquement sur la littérature et n'a pas été validé par des essais de terrain ou de laboratoire;
- Les stériles sélectionnés pour être utilisés comme remblai devraient être échantillonnés et analysés pour le Ti et le S afin d'en connaître la composition.

Références

Turekian, Karl K. 1968. Oceans. Prentice-Hall, New Jersey.

Bussière, B., Benzaazouam, M., Plante, B., Pepin, G., Aubertin, M., Laflamme, D. 2008. Évaluation du comportement géochimique des stériles de la mine Tio, Havre-Saint-Pierre, Québec. Compte-rendu du Symposium sur l'Environnement et les Mines 2008, Rouyn-Noranda, Québec, CD-ROM.

- Bussière, B., Demers, I., Dawood, I., Plante, B., Aubertin, M., Peregoedova, A., Pepin, G., Lessard, G., Intissar, R., Benzaazoua, M., Molson, J.W., Chouteau, M., Zagury, G.J., Monzon, M., Laflamme, D. 2011. Comportement géochimique et hydrogéologique des stériles de la mine Tio. Compte-rendu du Symposium sur l'Environnement et les Mines 2011, Rouyn-Noranda, Québec, CD-ROM.
- Lide, D.R. 1999. Handbook of chemistry and physics, 79th edition, CRC Press.
- NEDEM, 1998. Design guide for the subaqueous disposal of reactive tailings in constructed impoundments. Projet NEDEM 2.11.9.
- Pepin, G. 2009. Évaluation du comportement géochimique de stériles potentiellement générateurs de drainage neutre contaminé à l'aide de cellules expérimentales in situ. Mémoire de Maîtrise en Génie Minéral, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (UQAT), offert en extension de l'École Polytechnique de Montréal.
- Pepin, G., Bussière, B., Aubertin, M., Benzaazoua, M., Plante, B., Laflamme, D., Zagury, G.J., 2008. Field experimental cells to evaluate the generation of contaminated neutral drainage by waste rock at the Tio mine, Quebec, Canada, 10th International Mine Water Association (IMWA), Karlovy Vary, Czech Republic.
- Plante, B., 2010. Évaluation des principaux facteurs d'influence sur la prédiction du drainage neutre contaminé. Thèse de doctorat, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (UQAT).
- Plante, B., Benzaazoua, M., Bussière, B., Pepin, G., Laflamme, D., 2008. Geochemical behaviour of nickel contained in Tio mine waste rocks, in: Rapantova, N., Hrkal, Z. (Eds.), 10th IMWA Congress: Mine Water and the Environment. VSB - Technical University of Ostrava, Karlovy Vary, Czech Republic, pp. 317-320.
- Plante, B., Benzaazoua, M., Bussière, B., Biesinger, M.C., Pratt, A.R., 2010. Study of Ni sorption onto Tio mine waste rock surfaces. Applied Geochemistry 25, 1830-1844.
- Plante, B., Benzaazoua, M., Bussière, B., 2011. Kinetic Testing and Sorption Studies by Modified Weathering Cells to Characterize the Potential to Generate Contaminated Neutral Drainage. Mine Water and the Environment 30, 22-37.
- Plante, B., Benzaazoua, M., Bussière, B., 2011. Predicting Geochemical Behaviour of Waste Rock with Low Acid Generating Potential Using Laboratory Kinetic Tests. Mine Water and the Environment 30, 2-21.

