

Rapport d'étape

Plantation d'arbustes sur le pourtour de la Fosse 2

Ancienne mine de fer du Lac Jeannine,
près de l'ancienne Ville de Gagnon

Présenté à M. François Lafrenière
Cliffs Natural Resources

par
Normand Cossette, ingénieur & agronome
Irrigation NORCO inc.
211 rue Abraham-Richard
Varennes, Québec
J3X 1X3
Normand.Cossette@IrrigationNORCO.com

Le vendredi 18 octobre 2013



Résumé des activités pour ce projet en 2013

Le 15 mars 2013, la *Société en commandites de la mine de fer du Lac Bloom*, une filiale de *Cliffs Natural Resources*, a émis le bon de commande numéro **C14191** pour qu'*Irrigation NORCO* effectue une plantation d'arbres ou arbustes « pour rencontrer les exigences du volet 3 du programme de compensation à l'ancienne mine du Lac Jeannine ». La portée des travaux était de planter au moins quatre-mille (4000) arbustes ou arbres. En tout, le mardi 20 août 2013, nous avons planté **4185 arbustes**.

Étant à environ 160 km de route au sud de Fermont, sur des chemins plutôt difficiles, il était souhaitable de minimiser les va-et-vient. Donc, presque toute l'équipe 2013 d'Irrigation NORCO était au rendez-vous, un peu comme pour une grande corvée, avec l'idée de compléter les travaux de plantation et de fertilisation le jour même. Il y avait Normand Cossette, Lina Bruneau, Jérôme Dubuc-Boutin, Jimmy Dulude, Laurie Barré, François Turcotte, François Blais, Martin Beaulieu et notre mascotte officielle, le petit chien « Café ».

Cinq (5) espèces différentes d'arbustes ont été plantées, répertoriées dans le tableau figurant à la page suivante : des aulnes rugueux (540), des aulnes crispés (540), des chalefs argentés (540), des saules brillant (2025) et des myriques baumiers (540). Toutes ces espèces sont du type « pionnier », sont très rustiques et profitent de différentes symbioses avec les micro-organismes du sol. Dans ce climat très froid l'hiver, le saule brillant [*Salix lucida*] demeure un arbuste. Plus au sud, il peut devenir un petit arbre, parfois plus imposant comme on peut l'observer ici et là en Gaspésie. Le saule brillant se retrouve à l'état indigène vers le nord jusqu'aux rives du Grand Lac Wabush.

Nous aurions aimé pouvoir propager des dryades de Drummond, une plante abondante à l'ancienne mine du Lac Jeannine mais relativement rare au Québec, toutefois aucun plant n'était disponible en pépinière. En revanche, nous avons cueilli beaucoup de graines, parce que le temps était propice et les infrutescences disponibles en abondance. Les graines ont été confiées à un pépiniériste qualifié et les plants qui en seront issus pourront éventuellement être réintroduits sur place ou ailleurs dans le nord.

Les travaux de plantation se sont très bien déroulés et chaque plant a reçu un peu de fumier déshydraté de poules pondeuses « Acti-Sol », une poignée répartie sur environ 50 cm x 50 cm autour du plant. Par souci de sécurité, les pentes trop escarpées ont été évitées, pour ne pas se faire d'entorse ou tomber dans l'eau ou provoquer d'éboulis.

Vers la fin de l'après-midi, à l'aide de piquets en bois, Jérôme Dubuc-Boutin, Lina Bruneau et Normand Cossette ont identifié vingt-cinq (25) plants témoins, cinq (5) pour chaque espèce plantée. Les latitudes et longitudes de chaque plant témoin ont été relevées et consignées dans le tableau joint à la page 7 de ce document.

À la page 8 du présent document, le lecteur trouvera une carte en format tabloïde 11" x 17" établie la semaine dernière par Jérôme Dubuc-Boutin à partir des imageries satellitaires les plus récentes disponibles dans le domaine public.

Nous ferons un suivi de la croissance des arbustes au mois d'août 2015, au mois d'août 2016 et au mois d'août 2018, complété de quelques analyses de contenus foliaires. Les mesures de croissance se feront sur les vingt-cinq (25) plants témoins.



Photo LB2013_08_20_Lac_Jeannine_002 du mardi 20 août 2013.
Début des travaux de plantation. François Turcotte, Laurie Barré, Jimmy Dulude, Jérôme Dubuc-Boutin et François Blais. Absents sur la photo : Martin Beaulieu, Lina Bruneau et Normand Cossette.

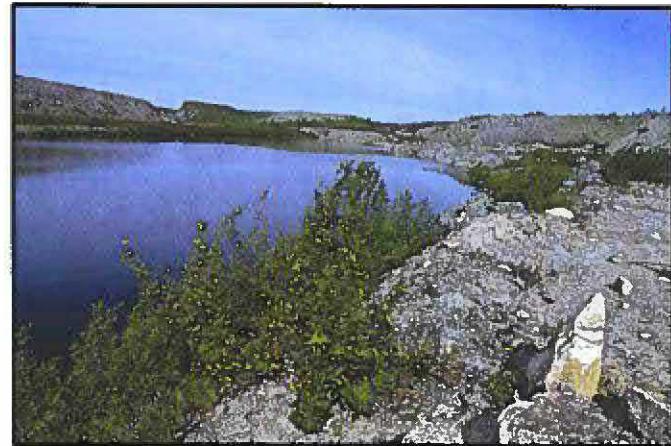


Photo LB2013_08_20_Lac_Jeannine_007 du mardi 20 août 2013.
Une partie de la Fosse 2, ancienne mine de fer du Lac Jeannine.



Photo LB2013_08_20_Lac_Jeannine_025 du mardi 20 août 2013.
Début des travaux de plantation. Terrain plat, nivelé très récemment, au nord du nouvel exutoire de la Fosse 2. Il est maintenant couvert d'une multitude de jeunes plants d'arbustes.

Tableau présentant les différentes espèces plantées le mardi 20 août 2013

Espèce Nom savant	Espèce Nom commun	Indigène au Québec ?	Bénéfice de symbioses avec les micro- organismes du sol ?	Nombre de cavités 110 cm ³ plantés le 20 août 2013 et hauteur approximative [cm]	Fertilisés après plantation avec un peu de fumier de poules pondeuses déshydraté <i>Acti-Sol</i> ?
<i>Alnus crispa</i>	Aulne crispé	Oui, commun	Oui, fixatrice d'azote atmosphérique, avec des actinomycètes du genre <i>Frankia</i>	540 plants 30 cm à 50 cm	oui
<i>Alnus rugosa</i>	Aulne rugueux	Oui, commun	Oui, fixatrice d'azote atmosphérique, avec des actinomycètes du genre <i>Frankia</i>	540 plants 15 cm à 30cm Signe distinctif : feuilles terminales violacées	oui
<i>Myrica gale</i>	Myrique baumier	Oui, commun	Oui, fixatrice d'azote atmosphérique, avec des actinomycètes du genre <i>Frankia</i>	540 plants 20 cm à 35 cm	oui
<i>Elaeagnus commutata</i>	Chalef argenté	Oui, discontinu	Oui, fixatrice d'azote atmosphérique, avec des actinomycètes du genre <i>Frankia</i>	540 plants 10 cm à 30 cm	oui
<i>Salix lucida</i>	Saule brillant	Oui, assez répandu par endroits.	Oui, du type <i>mycorhizes arbusculaire</i> ou peut-être du type <i>ectomycorhize</i> , aidant à absorber le phosphore, le zinc etc. du sol et procurant divers avantages à la plante hôte.	2025 plants 20 cm à 50 cm	oui



Photo LB2013_08_20_Lac_Jeannine_134 du mardi 20 août 2013. Une plante locale très intéressante : la diade de Drummond [*Dryas drummondii*], une Rosaceae capable d'établir une symbiose *facultative*, fixatrice d'azote atmosphérique avec l'aide des actinomycètes *Frankia*.



Photo LB2013_08_20_Lac_Jeannine_130 du mardi 20 août 2013. Tandis que Lina Bruneau reprends des piquets de bois pour identifier les prochains plants témoins, Jérôme Dubuc-Boutin enregistre la position GPS du plant témoin SL3, *Salix lucida*.



Photo LB2013_08_20_Lac_Jeannine_151 du mardi 20 août 2013.
Vue sur une partie de la Fosse 2, ancienne mine de fer du Lac Jeannine.

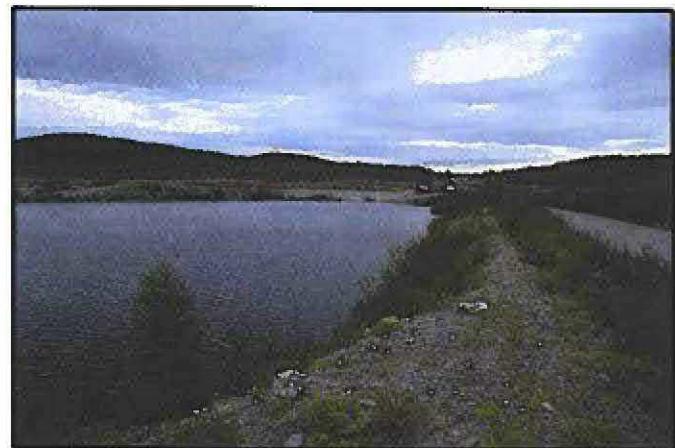


Photo LB2013_08_20_Lac_Jeannine_153 du mardi 20 août 2013.
Vue sur la Fosse 2, ancienne mine de fer du Lac Jeannine.



Photo LB2013_08_20_Lac_Jeannine_161 du mardi 20 août 2013.
Vue sur la Fosse 2, ancienne mine de fer du Lac Jeannine. Lina Bruneau et Jérôme Dubuc-Boutin préparent un autre piquet d'identification pour un plant témoin.



Photo LB2013_08_20_Lac_Jeannine_171 du mardi 20 août 2013.
Vue sur une partie de la Fosse 2, ancienne mine de fer du Lac Jeannine.

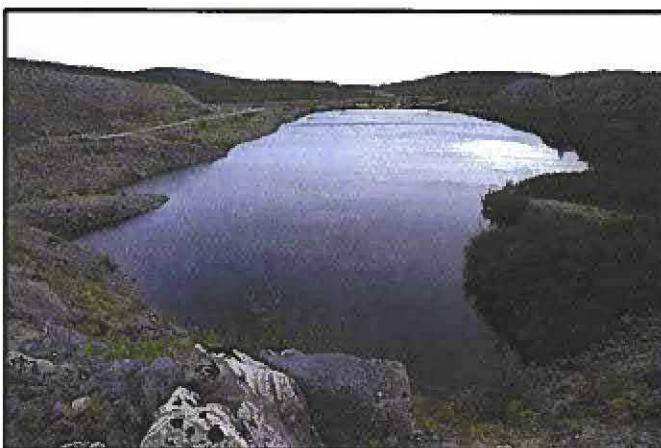


Photo LB2013_08_20_Lac_Jeannine_184 du mardi 20 août 2013.
Vue sur la Fosse 2, ancienne mine de fer du Lac Jeannine.



Photo LB2013_08_20_Lac_Jeannine_228 du mardi 20 août 2013.
Vue sur une partie de la Fosse 2, ancienne mine de fer du Lac Jeannine. Par souci de sécurité, cette pente très escarpée a été évitée.



Photo LB2013_08_20_Lac_Jeannine_213 du mardi 20 août 2013.
Vue sur la Fosse 2, ancienne mine de fer du Lac Jeannine.



Photo LB2013_08_20_Lac_Jeannine_234 du mardi 20 août 2013.
Vue sur une rampe submergée au bord de la Fosse 2, ancienne mine de fer du Lac Jeannine.



Photo LB2013_08_20_Lac_Jeannine_252 du mardi 20 août 2013.
Vue sur la Fosse 2, ancienne mine de fer du Lac Jeannine. En avant plan, le spécimen témoin ECS, un chalef argenté, *Elaeagnus commutata*.



Photo LB2013_08_20_Lac_Jeannine_032 du mardi 20 août 2013.
Spécimen témoin EC1, un chalef argenté, *Elaeagnus commutata*.

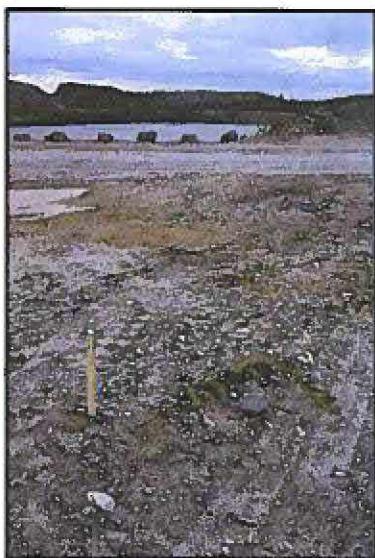


Photo LB2013_08_20_Lac_Jeannine_085 du mardi 20 août 2013.
Spécimen témoin AC2, un aulne crispé, *Alnus crispa*. À l'arrière plan, la Fosse 2.



Photo LB2013_08_20_Lac_Jeannine_196 du mardi 20 août 2013.
Spécimen témoin AC3, un aulne crispé, *Alnus crispa*. Au sol et abondant sur ce site, la dryade de Drummond [*Dryas drummondii*], une rareté ailleurs au Québec et peu fréquent en Amérique du Nord. En Amérique du Nord (Alaska, Yukon), c'est la première plante vasculaire qu'on trouve sur les fronts glaciaires récemment libérés.



Photo LB2013_08_20_Lac_Jeannine_145 du mardi 20 août 2013.
Spécimen témoin SL4, un saule brillant, *Salix lucida*. Vue sur une partie de la Fosse 2, ancienne mine de fer du Lac Jeannine.

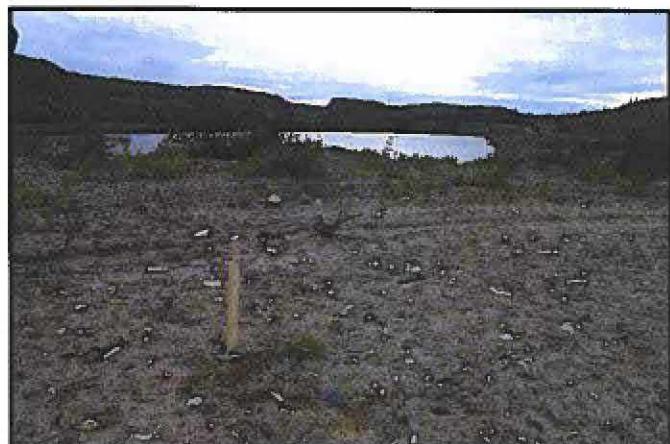


Photo LB2013_08_20_Lac_Jeannine_074 du mardi 20 août 2013.
Vue sur la Fosse 2, ancienne mine de fer du Lac Jeannine. En avant plan, le spécimen témoin AR3, un aulne rugueux, *Alnus rugosa*.



Photo LB2013_08_20_Lac_Jeannine_257 du mardi 20 août 2013.
Spécimen témoin AR4, un aulne rugueux, *Alnus rugosa*. Vue sur une partie de la Fosse 2, ancienne mine de fer du Lac Jeannine.

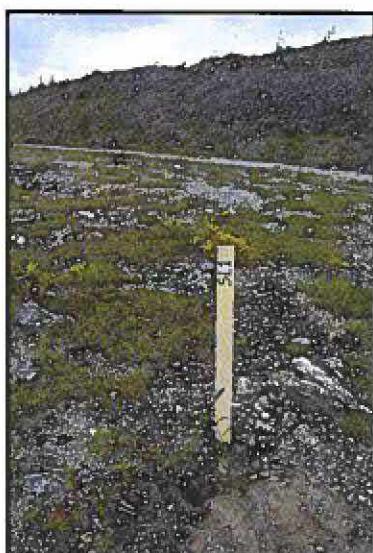


Photo LB2013_08_42_Lac_Jeannine_042 du mardi 20 août 2013.
Spécimen témoin SL1, un saule brillant, *Salix lucida*. Notez encore une fois l'abondance de la dryade de Drummond, un arbuste prostré. Les fleurs de cette dryade sont jaunes et toujours orientées vers le sol, pour attirer les rares insectes pollinisateurs adaptés.



Photo LB2013_08_20_Lac_Jeannine_076 du mardi 20 août 2013.
Spécimen témoin MG1, un myrique baumier, *Myrica gale*. Nous avons concentré cette espèce à proximité de l'exutoire de la Fosse 2, aux abords du nouveau ponceau (tuyau) en acier galvanisé ondulé.



Photo LB2013_08_20_Lac_Jeannine_094 du mardi 20 août 2013.
Spécimen témoin MG2, un myrique baumier, *Myrica gale*. Nous avons concentré cette espèce à proximité de l'exutoire de la Fosse 2, aux abords du nouveau ponceau (tuyau) en acier galvanisé ondulé.

3.0 Les paramètres agronomiques mesurés en 2013

3.1 Pourquoi mesurer des paramètres agronomiques et un bref rappel historique

Pour prendre les bonnes décisions, il faut les bonnes informations. C'est la même chose en agronomie. Pour prendre de bonnes décisions agronomiques, il faut connaître les sols, les plantes et leur contenu, le climat (section 5.0 de ce rapport) et une multitude d'informations qui influenceront les choix agronomiques et la régie culturelle. À plus forte raison lorsqu'un projet est au niveau de fertilité zéro, comme c'est le cas en réhabilitation de sites miniers, toutes ces informations prennent alors une importance déterminante.

Dans la région de Fermont et du Labrador ouest, nous avons commencé à prélever des échantillons de sols à l'automne 1996 dans le parc à résidus de *Mines Wabush*. Dès le départ, nous avons choisi de faire analyser les échantillons de sols selon les méthodes employées couramment en agriculture, par opposition à celles que nous aurions pu utiliser mais qui relevaient beaucoup plus de la minéralogie ou de la géologie. Ensuite, en 1997, nous avons commencé à prélever des échantillons foliaires sur le même projet de *Mines Wabush*, en nous inspirant de la brochure *Secondary and Micronutrients* (réf. # 186 dans la bibliographie jointe à la section 4.0 portant sur l'érosion éolienne). Nous avons poussé cette démarche plus loin en 1998, à la suite de la lecture d'un livre portant exclusivement sur les analyses foliaires *Plant Analysis Handbook II* publié en 1996 (voir réf. # 129 dans la bibliographie jointe à la fin de la section 4.0). En effet, les analyses foliaires sont d'une grande utilité pour les projets de mise en végétation de sites miniers parce qu'en quelques sortes, les végétaux nous disent ce qu'elles ont puisé à même les sols, y compris certains métaux, dont plusieurs sont essentiels aux plantes. À l'automne 2000, nous avons commencé à mesurer le rendement des récoltes, ce que nous avons décidé d'appeler la *biomasse aérienne*. Les rendements en biomasses aériennes nous permettent de porter un jugement sur le succès ou l'insuccès d'un projet, de vérifier l'état de santé et de diversité de la végétation et en plus, de nous dire quelle(s) parcelle(s) auraient besoin d'être refertilisées. La même année, c'est-à-dire en l'an 2000, nous avons commencé à faire analyser le contenu des engrains organiques (fumiers de volailles), minéraux et synthétiques utilisés sur nos projets. Enfin, en 2006, nous avons commencé à évaluer tant bien que mal la quantité de carbone organique séquestrée grâce aux projets de végétalisation de sols miniers.

À l'automne 2013, pour une deuxième année, nous avons prélevé plusieurs échantillons composites de sols, 11 en tout, dans le but de mieux préparer la campagne de végétalisation de l'été 2014. Parmi ces échantillons, il y en avait six (6) qui étaient du type « résidus sablonneux tailings », trois (3) qui provenaient de la bande riveraine du Lac de la Confusion (*sol anthropisé, c.à.d. dans ce cas défriché puis végétalisé*) et deux (2) qui provenaient d'une halde de morts-terrains sur le versant nord de la *Halde Pignac* végétalisée par Irrigation NORCO en 2011. Chaque échantillon peut être localisé à l'aide des coordonnées GPS présentées dans un tableau à la fin de cette section. En plus, une carte en format tabloïde donne visuellement la position de chaque échantillon.

Le lecteur comprendra que nous espérons que le mandat accordé en 2014 inclura un suivi agronomique complet pour que nos méthodes de végétalisation appliquées au site de la mine de fer du Lac Bloom deviennent ainsi meilleures d'année en année.

3.2 Les analyses de sols faites en 2013 à la Mine de fer du Lac Bloom et ce qu'elles nous apprennent

Le 28 septembre 2013, nous avons prélevé en tout onze (11) échantillons composites de sols provenant de trois catégories différentes (résidus sablonneux « tailings », bande riveraine anthropisée, morts-terrains végétalisé). Le tableau détaillé des résultats est présenté à la fin de cette section (*page pliée format tabloïde 11"x17"*).

Les analyses granulométriques sur les onze échantillons ont été faites selon la méthode dite « simplifiée ». Au niveau de la **classe texturale**, après tamisage des particules plus grosses que 2 mm Ø, il s'agit d'un **sable loameux** ayant en moyenne 84,4% (*versus 87,6% en 2012*) de particules de grosseur «sable», 10,0% (*versus 7,5% en 2012*) de particules de grosseur «limon» et 5,6% (*versus 4,9% en 2012*) de particules de grosseur «argile». Donc, en considérant les 15 échantillons de 2012 et les 11 échantillons de 2013, à la Mine de fer du Lac Bloom, pour ce qui est des granulométries inférieures à 2 mm Ø, **les sables dominent**.

Au niveau chimique, la solution du sol entourant les particules de sable en place a un **pH moyen de 7,1** (*versus 7,8 en 2012*), donc un sol **presque neutre** dans l'échelle des pH. Le niveau de potassium [K] disponible **dans la solution du sol** est en moyenne convenable, avec 58 kg [K]/hectare-tranche-de-labour, alors qu'il était seulement de 17 kg [K]/hectare en moyenne en 2012 sur les quinze échantillons de sols « résidus sablonneux tailings » prélevés cette année là. En revanche, pour tous les échantillons de type « tailings », c'est-à-dire SL04, SL07, SL08, SL09, SL10, SL11, en 2013 la teneur en [K] se situe **sous le seuil mesurable** par la méthode de laboratoire. Même commentaire pour le phosphore [P], à moins de 10 kg [P]/ha, tous sous le seuil mesurable par la méthode de laboratoire. Il y a vraiment très peu de K et P libres **dans la solution du sol** des résidus sablonneux « tailings » et on peut alors mieux comprendre pourquoi ils sont si difficiles à végétaliser.

Curieusement, en 2013 le magnésium [Mg] est plus bas qu'en 2012, mais acceptable pour un sol sablonneux pauvre, avec en moyenne 57 kg [Mg]/ha versus 67 kg [Mg]/ha en 2012. On se serait attendu à un peu plus de magnésium disponible compte tenu du pH de ce sol, @ 7,1 en moyenne. Le magnésium est un élément qui, comme le calcium, est utilisé pour le chaulage des terres agricoles afin de les rendre « moins acides ». Par contre, pour la même raison de ce pH à 7,1, c'est sans surprise qu'on constate le haut niveau de calcium [Ca] disponible dans les sols. En effet, avec un pH moyen de 7,1 tel que mesuré en 2013 et un pH moyen de 7,8 mesuré en 2012, on trouve en moyenne une quantité généreuse de calcium, avec 1014 kg [Ca]/hectare en 2013 (*trois types de sols*) et 1314 kg [Ca]/hectare en 2012 (*seulement des résidus sablonneux « tailings » non-végétalisés*). Il est à noter que toutes les valeurs exprimées en kg par hectare sont pour une **profondeur de labour standardisée de 17 cm** et pour un sol standardisé dont la masse volumique apparente sèche, incluant les vides ou la porosité, est de **1320 kg/m³**. Il s'agit de la façon ancienne de présenter les résultats d'analyses de sols dans la pratique agronomique, une vieille habitude un peu alambiquée qui se perpétue partout en Amérique du nord. Aux États-Unis d'Amérique, le terme employé est « *per acre-furrow-slice* ».

En ce qui concerne les micro éléments [Zn ; Cu ; B ; Mn ; Fe] , les contenus sont très variables en fonction des catégories de sols. Par exemple, sur les trois échantillons prélevés sur la bande riveraine du Lac de la Confusion, c'est-à-dire SL01, SL02 et SL03, le zinc [Zn] et le cuivre [Cu] sont mesurables, alors que tous les échantillons de morts-terrains (SL05 et SL06) ou de résidus sablonneux « tailings » tombent sous les seuils mesurables par le laboratoire pour ces deux éléments. On peut dire que pour le fer [Fe] et surtout pour le manganèse [Mn] , les niveaux sont étonnamment bas dans le cas d'une mine dont le minerai principal est le fer (*fer et manganèse sont voisins dans le tableau périodique des éléments, alors souvent on les trouve ensemble dans la nature*). [Fe] et [Mn] sont plus hauts qu'au Parc à résidus du Mont-Wright (AMMC) mais ils sont plus bas que sur les résidus de la Mine de fer IOC à Labrador City ou la Mine Scully - Wabush Mines à Wabush.

En ce qui concerne le contenu des échantillons de sol en matière organique, il est fortement à la hausse, avec une teneur moyenne de 0,5%, alors qu'en 2012 elle était inférieure à 0,14% et se situait sous la marge d'erreur pour la méthode d'analyse en laboratoire. Pour 2013, ce sont encore une fois les trois échantillons de sols provenant de la bande riveraine du Lac de la Confusion qui influencent le plus le résultat moyen.

Donc, en résumé, sur la propriété de la Mine de fer du Lac Bloom, pour les granulométries importantes en agronomie [Ø ≤ 2 mm] on a un sable ou un sable loameux de pH moyen supérieur à 7,0 et qui contient suffisamment de calcium. Les anthrosols présents sont faiblement pourvus en phosphore, potassium, magnésium, soufre et autre éléments mineurs tels que Zn, Cu, Mn, Fe, et B. Les contenus en matière organique sont largement inférieurs à 1% sur une base sèche. Voilà des informations utiles pour améliorer notre programme de mise en végétation au Lac Bloom.

3.3 Les analyses foliaires faites en 2013 à la Mine de fer du Lac Bloom et ce qu'elles nous apprennent

Il n'y a pas eu d'analyses foliaires à la Mine de fer du Lac Bloom en 2013. Hors mandat.

3.4 Les biomasses aériennes mesurées en 2013 à la Mine de fer du Lac Bloom et ce qu'elles nous apprennent

En 2013, nous n'avons prélevé aucun échantillon de biomasses aériennes à la Mine de fer du Lac Bloom. Hors mandat.

3.5 Évaluation du carbone organique séquestré en 2013 à la Mine de fer du Lac Bloom et ce qu'on en apprend

Il n'y a pas eu d'évaluation du carbone organique séquestré à la Mine de fer du Lac Bloom en 2013. Hors mandat.

3.6 Les engrains naturels utilisés en 2013 à la Mine de fer du Lac Bloom

En 2013, pour la préparation de la bouillie d'hydrosemis, nous avons utilisé beaucoup de fumier déshydraté et granulé de poules pondeuses, de la marque **Acti-Sol**. Selon huit (8) échantillons de fumier déshydraté de poules pondeuses **Acti-Sol** prélevés sur plusieurs chargements reçus pendant l'été 2012 et soumis à un laboratoire, le contenu massique moyen en macro-éléments de cet engrain naturel était de: **5,34% d'azote [N] ; 0,66% de phosphore [P] exprimé en masse de P₂O₅ ; 2,40% de potassium [K] exprimé en masse de K₂O ; 4,56% de calcium [Ca] et 0,42 % de magnésium [Mg]** . Environ 2,7% de l'azote de ce fumier, c'est-à-dire environ le quarantième, était sous forme ammoniacale [NH₄⁺ + OH⁻ ↔ NH₃ + H₂O] . L'engrais **Acti-Sol** est une très bonne source de calcium disponible pour les plantes.

Nous n'insisterons jamais assez sur l'importance de continuer à utiliser des engrains naturels sur ce projet. Ils n'emmènent pas seulement des macro-éléments et des oligoéléments mais aussi une myriade de micro-organismes utiles.

3.7 Recommandations concernant la régie culturelle pour la suite des travaux en 2014

- 1^{re} utiliser le mélange de graines **Hydro-NORCO** version 2014 (voir copie d'une étiquette de la version 2013 jointe à la fin de cette section)
- 2^{re} continuer avec la recette améliorée de **Matrice de fibres gommées poly-texturée NORCO** ☺
- 3^{re} faire les principaux travaux sur le terrain durant le mois de juillet et jusqu'à la deuxième semaine du mois d'août.

À la page suivante, un extrait de la page 335 du livre écrit par **Rattan Lal** et **Ronald F. Follett** coéditeurs, ainsi que de nombreux collaborateurs: **Soil Carbon Sequestration and the Greenhouse Effect**, deuxième édition, SSSA Special Publication 57, © 2009, Soil Science Society of America inc. , ISBN 978-0-89118-850-6, 410 pages. Voir le numéro de référence 101 dans la bibliographie jointe à la fin de la section 4.0 portant sur l'érosion éolienne. Ce modèle conceptuel est très parlant et permet d'anticiper un peu ce qui se passera dans le futur.

Même en sachant qu'environ 60% des données utilisées pour tracer les différents scénarios illustrés ci-haut provenaient de mines de charbon à ciel ouvert situées du côté ouest des États-Unis d'Amérique, des résultats provenant d'autres types de gisements, toujours du côté ouest des É.U. d'Amérique., sont pris en considération dans ce **modèle conceptuel** : des résultats provenant de mines d'or, d'argent, de cuivre, d'uranium, de fer, de zinc, de carbonate hydraté de sodium (« trona »), de phosphore, de molybdène et de bentonite sont aussi intégrées aux différents scénarios (page 312 du livre). Il faut garder à l'esprit que le contenu en carbone [C] des résidus et des mort-terrains de mines de charbon, comme on peut l'imaginer facilement, est plus élevé que pour d'autres types de mines. En faisant des bilans de ce type, on doit toujours dresser des limites claires et classer minutieusement les formes organiques, inorganiques (e.g. gaz CO₂) et minérales de carbone.

Selon différents scénarios envisagés (voir la figure 19-4 ci-bas), du point de vue «carbone séquestré», une bonne gestion des parcs à résidus miniers peut aboutir à l'équivalent d'une terre agricole fertile ou d'un bon pâturage en plus ou moins un siècle.

Selon la figure 19-4, des résidus non végétalisés n'y arriveront jamais en y mettant moins de deux siècles, et même encore !!!

Terrestrial Carbon Sequestration Potential in Reclaimed Mine...

335

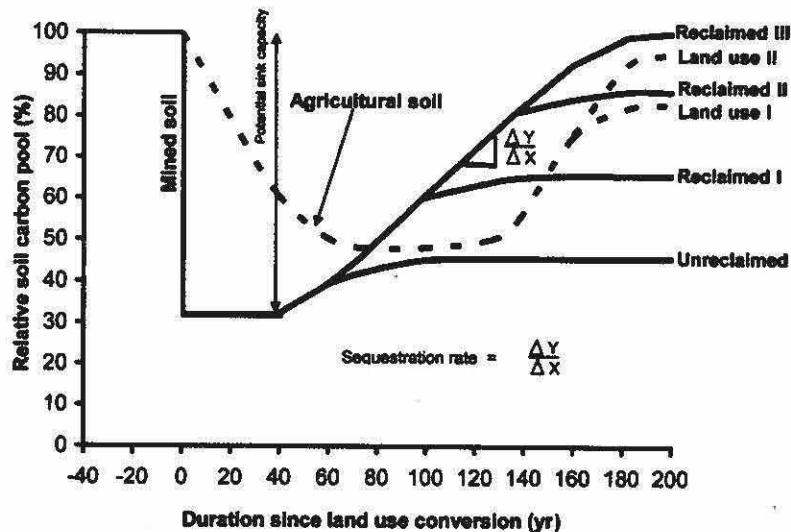


Fig. 19-4. Conceptual model of carbon dynamics in reclaimed mine soil. Reclamation I, II, and III refer to different reclamation and land use scenarios. Similarly, Land use I and II refer to different soil and crop management options.

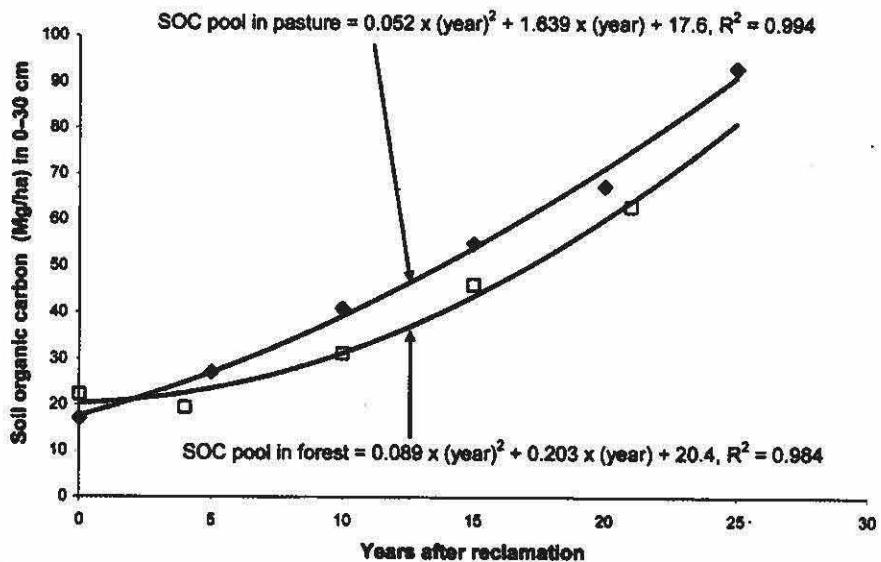
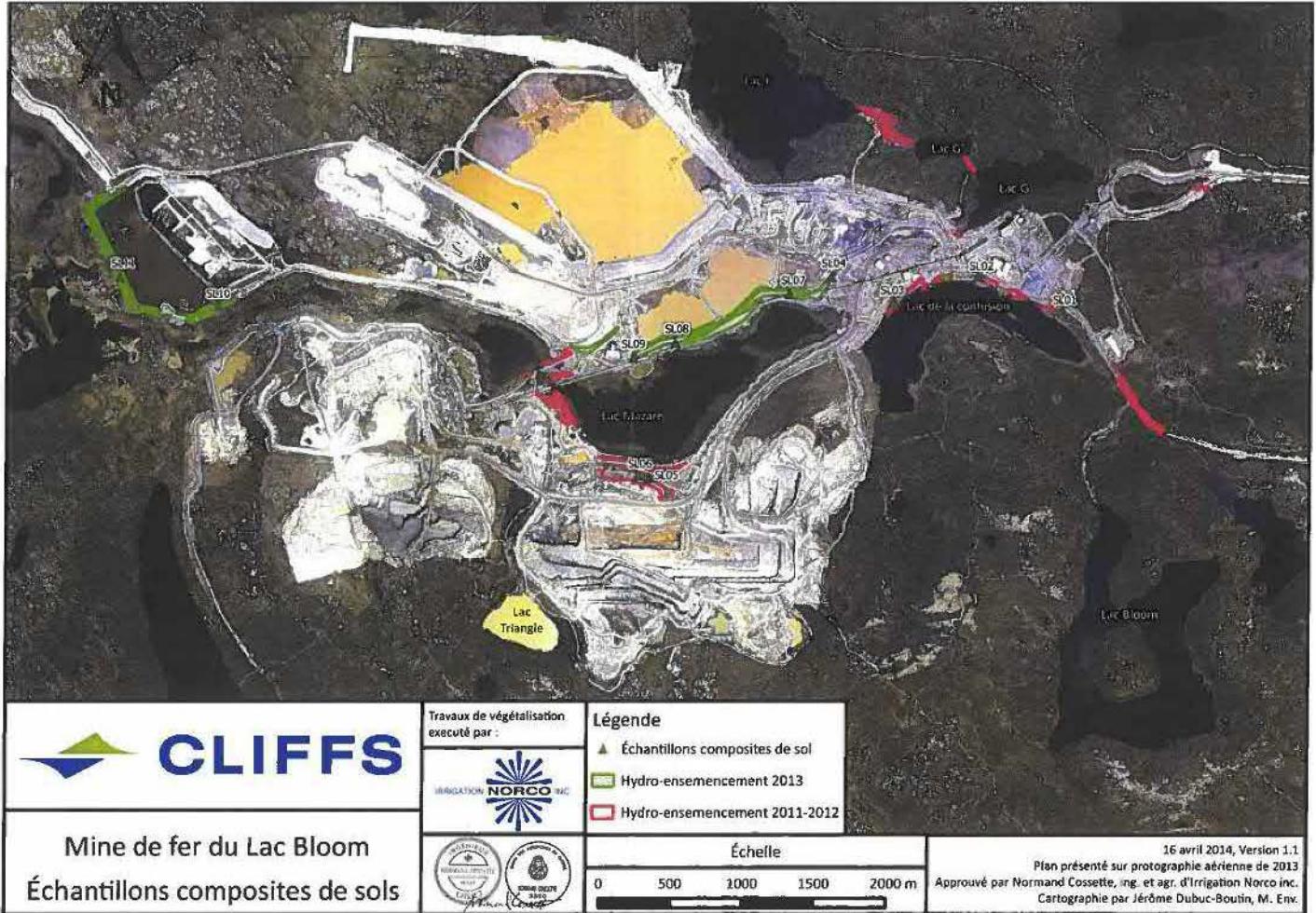


Fig. 19-5. Dynamics of soil organic carbon in reclaimed mine soils under pasture and forest land use in Ohio. (Redrawn using data from Akala and Lal, 2001.)

white oak, yellow poplar, and sycamore, respectively (Graves et al., 2005). This trend indicates that reforestation of the RMSs has relatively large potential for terrestrial C sequestration.



Analyses de sols 2013 [résidus sablonneux] - Mine de fer du Lac Bloom

Note : Tous les résultats pour les éléments P, K, Ca, Mg etc. reflètent ce qui est disponible aux plantes dans la solution du sol, à environ 20°C.

Il ne donnent aucune indication de ce qu'il y a à l'intérieur des particules minérales et qui, de facto, n'est pas accessible aux plantes.

Granulométrie simplifiée

Nom de l'échantillon	Numéro de laboratoire	Solvant du sol [pH] [pH] tampon	Indice de drainat	Phosphore	Potassium	Magnésium	Oxyde	Acidité	Saturation en phosphate		Saturation en potassium		Saturation en magnésium		Saturation en calcium		Saturation en K + Mg + Ca		Capacité d'échange		Zinc	Cobre	Bore	Manganèse	Fer	Sodium	Matière organique	Sable	Limo	Argiles	Caustique	Sols tamisés saisonnier	Système pédologique canadien			
									[P]	[%]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[mg/kg]	[%]	[%]	[%]	[meq/100 g]	[meq/kg]	[meq/kg]	[meq/kg]	[meq/kg]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]						
									Mélich III	Mélich III	Mélich III	Mélich III	Mélich III	Mélich III	Mélich III	Mélich III	Mélich III	Mélich III	Mélich III	Mélich III	Mélich III	Mélich III	Mélich III	Mélich III	Mélich III	Mélich III	Mélich III	Mélich III	Mélich III	Mélich III	Mélich III					
LB20135101	255081	7,1	7,5	75	75	90	37	86	331	10,1	5,8	7,8	61,0	74,7	1,8	1,24	1,08	0,14	39,1	212	N.D.	0,4	93,3	3,1	3,6	Sable										
LB20135102	255082	6,9	7,3	73	168	121	187	3575	652	11,5	1,3	6,4	73,9	81,7	10,8	1,78	1,95	0,1	65,8	420	N.D.	2,0	66,3	28,0	5,7	Loam sabloso										
LB20135103	255083	7,4	6,8	68	89	244	143	840	971	4,1	3,2	6,4	21,7	31,3	6,6	1,52	2,42	0,1	16,5	427	N.D.	1,1	67,7	24,0	8,7	Loam sabloso										
LB20135104	255084	6,1	7,5	75	21	35	49	985	48	42,3	0,5	6,7	92,8	100,0	2,4	0,43	0,25	0,1	22,6	58	N.D.	0,1	88,3	8,3	3,6	Sable										
LB20135105	255085	6,9	7,3	73	13	27	30	100	48	11,6	1,2	4,4	6,1	13,8	2,5	0,4	0,25	0,1	5,3	27	N.D.	0,4	74,3	18,1	7,6	Loam Sabloso										
LB20135106	255086	6,7	7,1	71	11	68	25	235	67	7,5	1,6	2,0	11,0	14,7	4,7	0,4	0,25	0,1	3,4	24	N.D.	0,5	82,3	11,0	6,7	Sable loameux										
LB20135107	255087	7,2	7,5	75	14	15	15	232	40	38,8	1,4	5,7	92,9	100,0	0,6	0,4	0,25	0,1	15,5	34	N.D.	0,7	92,8	4,0	3,7	Sable										
LB20135108	255088	6,9	7,3	73	17	35	15	221	40	46,3	0,4	0,5	23,2	24,1	2,1	0,4	0,25	0,1	10,4	26	N.D.	0,1	94,4	2,0	3,6	Sable										
LB20135109	255089	7,9	7,5	75	26	15	53	1917	40	50,0	0,3	4,4	95,3	100,0	4,5	0,4	0,25	0,1	35,7	53	N.D.	0,1	91,3	3,1	5,6	Sable										
LB20135110	255090	7,4	7,5	75	14	35	16	412	45	13,5	0,9	6,1	93,0	100,0	1,0	0,4	0,25	0,1	12,6	67	N.D.	0,2	88,3	4,0	7,7	Sable										
LB20135111	255091	7,9	7,5	75	14	15	50	2555	40	54,0	0,1	3,7	96,2	100,0	5,9	0,4	0,25	0,1	45,7	52	N.D.	0,1	90,3	5,1	4,6	Sable										
Moyenne des 11 échantillons de sols				prlevés le 10 septembre 2013 sur le site de la mine de fer du Lac Bloom				7,1	7,8	78	42	58	57	1014	210	26,0	1,5	4,9	60,8	67,3	4,1	0,71	0,68	0,10	24,8	127	N.D.	0,5	84,4	10,0	5,6	Sable loameux				
Moyenne des 15 échantillons de sols				prlevés le 10 octobre 2013 sur le site de la mine de fer du Lac Bloom				7,8	7,5	75	10	17	67	1314	40	19,3	1,1	8,1	83,4	92,6	3,3	0,45	0,28	0,10	39,8	62	3,02	0,14	87,6	7,5	4,9	sable				
Comparatif moyenne 2003-2013:				Part à résidus du Mont-Wright				6,9	7,3	72,7	22,6	30,5	24,8	107,7	40,4	36,6	5,0	9,3	15,5	29,8	2,46	0,78	0,53	0,38	7,54	27,57	2,91	0,13	94,67	2,3	3,01	sable				
Comparatif moyenne 1999-2004:				Tolting XOC Carol Project				8,1	7,5	75,2	47,6	519,2	2106,3	86,4	22,6	0,8	28,8	69,0	98,7	6,85	1,28	0,91	0,14	264,77	463,94	0,45										
Comparatif moyenne 1995-2004:				sols de la Mine de fer du Lac Bloom				6,2	7,3	23,7	39,2	23,2	112,0	31,0	34,0	2,9	5,2	13,2	21,3	2,40	0,98	0,78	0,09	341,23	48,06	0,87										

Les valeurs qui sont exprimées en [kg/ha = kg/hectare] reflètent ce qui est disponible sur une profondeur normalisée de labour (17 cm), pour un sol stonisé divisé de densité apparente 1320 kg/m³

N.D. = non demandé

Seules les parties de sol passant dans un tamis à mailles 2 mm ont été soumises pour analyse au laboratoire. Les débris, graviers et cailloux ont été éliminés des échantillons

Valeurs en bleu : La vrole valeur est "inférieure au" chiffre inscrit. Inférieure au seuil mesurable de matière flottante par la méthode utilisée au labo.

Valeurs en rouge : La vrole valeur est "supérieure au" chiffre inscrit. Supérieure au seuil mesurable de matière flottante par la méthode utilisée au labo.

Mine de fer du Lac Bloom – Résultats des analyses de sols – Saison 2013 – page 1 de 1

Points de visée GPS pour les échantillons de biomasses, de sols, foliaires & de séquestration
Mine de fer du Lac Bloom
SAISON VÉGÉTATIVE 2013

Système de coordonnées géographique: WGS 84

Positions données par un GPS Thales ProMark 3, coordonnées en format hddd° mm'ss,sss"

Point de visée GPS	Latitude nord	Longitude ouest	Altitude	Date	Heure locale	Description
LB2013SL01	52°50'57,249"	67°14'50,495"	668 m	2013-09-28	15:19	Échantillon composite de sol
LB2013SL02	52°51'5,399"	67°15'21,155"	667 m	2013-09-28	15:27	Échantillon composite de sol
LB2013SL03	52°50'59,830"	67°15'52,579"	666 m	2013-09-28	15:37	Échantillon composite de sol
LB2013SL04	52°51'5,881"	67°16'15,635"	668 m	2013-09-28	15:53	Échantillon composite de sol
LB2013SL05	52°50'22,003"	67°17'24,658"	669 m	2013-09-28	16:17	Échantillon composite de sol
LB2013SL06	52°50'20,713"	67°17'28,550"	668 m	2013-09-28	16:07	Échantillon composite de sol
LB2013SL07	52°51'2,424"	67°16'31,305"	660 m	2013-09-28	16:29	Échantillon composite de sol
LB2013SL08	52°50'52,051"	67°17'14,102"	659 m	2013-09-28	16:34	Échantillon composite de sol
LB2013SL09	52°50'48,924"	67°17'29,889"	658 m	2013-09-28	16:41	Échantillon composite de sol
LB2013SL10	52°51'2,665"	67°20'3,371"	633 m	2013-09-28	16:51	Échantillon composite de sol
LB2013SL11	52°51'9,713"	67°20'40,191"	644 m	2013-09-28	16:57	Échantillon composite de sol

Irrigation Norco

Mélange Hydro Norco 2013

28,5% Avoine
10% Seigle d'automne
10% Ivraie annuel
10% Moutarde blanche
10% Pétuque rouge traçante type Boreai
6% Trèfle rouge 1 coupe
6% Trèfle Hybride
5% Elyme à grêle
4% Mil
2,5% Pétuque Ovine
2,5% Pétuque élevée type fourrager Riding Brand
2,5% Paturin du Canada
2% Mélilot fleurs jeunes
0,9% Agrostide Highland
0,1% Deschampsie cespitueuse

Mélange de plantes couvre-sol Canada no 1 / Canada No. 1 ground cover mix

Poids / Weight 25 kg (55.11 lb) Lot : 12486

Norco garantit que les semences ou autres produits vendus par nous, en deçà des tolérances normales, conformes à l'application dans laquelle ou le contexte, mais n'accorde aucune autre garantie. Notre responsabilité, découlant de la grêle ou autre, est limitée au prix d'achat desdits produits ou semences.

Subject to the limitation of liability herein set forth, Norco, as seller, warrants that seeds described on the container or label are not higher than the recognized standard. Seller's liability in respect of any and all conditions and warranties expressed or implied is limited to the purchase price of seeds or products sold.

Emballé par Glococ Inc, 10400 René-Lévesque, Montréal, QC, H1J 2V7

Recette d'hydro-semis V5, ingrédients secs, en date du vendredi 19 juillet 2013
Irrigation NORCO, végétalisation 2013 à la mine fer du Lac Bloom

Quantité pour une (1) brassée d'environ 1100 gallons US incluant l'eau	Description (montré dans l'ordre de mélange)	Détail	Quantité requise pour un (1) jour de travail [10 brassées]
9 chaudières de 5 gallons	Acti-Sol 5,34%N ; 0,66% P ₂ O ₅ ; 2,49% K ₂ O 4,5% Ca ; 0,42% Mg	Fumier de poules pondeuses déshydraté et granulé.	Une palette-et-demie, c'est-à-dire ± 1650 kg
2 sacs = 50 kg	Mélange HYDRO-NORCO	Graines.	20 sacs de graines HYDRO-NORCO
1/4 sac ≈ 6 kg	12% N – 61,4% P₂O₅ – 0% K₂O	Engrais soluble [N·H₄·H₂·P·O₄] <i>Phosphate mono-ammonique cristallin</i>	5 sacs de 25 kg
3 x 40 lbs	Granules LG	Granules de bois résineux, surtout du pin gris.	30 sacs de 40 lbs
1/4 sac ≈ 6 kg	0% N – 0% P₂O₅ – 62% K₂O	Engrais soluble [K·Cl] <i>Muriate de potasse cristallin</i>	5 sacs de 25kg
2 x 50 lbs	Second Nature	Fibres de bois longues, avec un colorant vert.	20 ballots de 50 lbs
1/5 sac ≈ 10 livres	Gypse agricole AirTrol GÉOBINDER	Gypse micro-fin de type agricole.	1 sac de 50 lbs
7 x 40 lbs	BÉNOVERT	Papier journal recyclé, avec un colorant vert.	70 ballots de 40 lbs
1½ sacs = 15 kg	BÉNOTACK	Adhésif [<i>amidon de blé</i>].	15 sacs de 10 kg
1/2 bouteille	Plant-Wise Polytac	Agent d'écoulement, adhésif et surfactant biodégradable.	5 bouteilles

4.0 Érosion éolienne : quelques notions.

4.1 Entrée en matière.

Dans les écoles d'ingénierie ou d'agronomie au Québec ou ailleurs dans les régions qui ne sont pas soumises à des conditions climatiques arides, les concepts permettant de comprendre les mécanismes de l'érosion éolienne sont très peu enseignés. En revanche, on enseigne aux ingénieurs du domaine rural ou du domaine civil tout ce qu'il faut savoir sur l'érosion des ouvrages civils, des chemins, des routes, des terres agricoles et des berges des cours d'eau *causée par l'écoulement de l'eau* et les *épisodes de pluies diluviales*. On enseigne ici presque uniquement ce qui a trait à l'érosion hydraulique. C'est compréhensible parce que justement, puisqu'il n'y a pas de grands déserts dans nos régions, l'érosion éolienne est un phénomène qui n'a que très peu d'impact dans notre quotidien et qui n'a pour ainsi dire aucune incidence économique.

Toutefois, sur n'importe quel site minier, peu importe le type de régime climatique, que ce soit aux États-Unis, en Australie, en Ontario, en Afrique du Sud, au Brésil, en Algérie, au Québec, bref n'importe où dans le monde, l'érosion éolienne entraîne un lot de problèmes récurrents : poussières sur les chemins miniers, vents de sable ou panaches de poussières sur les parcs à résidus sablonneux, poussière le long des convoyeurs, poussière autour des tas de concentré, vents de sable au sommet des haldes de morts-terrains, usure prématuée des équipements à cause de la contamination des organes mécaniques par la poussière *et cætera et cætera*. Depuis une vingtaine d'année, d'un point de vue scientifique, notre niveau de compréhension des phénomènes d'érosion éolienne, un des nombreux aspects reliés à la physique des matériaux granulaires et aux sciences du climat, a fait de véritables bonds de géants. Le lecteur intéressé trouvera de nombreuses références, certaines d'entre-elles vraiment récentes, dans la bibliographie jointe à la fin de cette section : voir les numéros de référence avec les cases de couleur jaune.

Tous ces problèmes coûteux sont causés par l'érosion éolienne. Alors, dans cette section 4.0, nous voulons expliquer un peu ce que c'est, quelles sont les variables ou les paramètres qui augmentent le potentiel d'érosion et celles qui diminuent le potentiel d'érosion éolienne, comment on décrit les phénomènes d'érosion éolienne des sols et de quelle manière la végétalisation des résidus miniers apporte une solution à la fois économique et durable à ce phénomène qui, lorsqu'il n'est pas contrôlé, dégrade l'environnement, détériore les équipements et expose les travailleurs et la population à des facteurs de risque pour leur santé qui, avec un peu de bonne volonté, pourraient parfaitement être évités.

4.2 Les variables qui influencent les phénomènes d'érosion éolienne.

Les effets d'un système éolien au niveau du sol varient selon l'érosivité des vents parfois mêlés de pluies et selon l'érodabilité des sols.

Ici, nous empruntons l'exposé présenté à la page 14 dans Combattre l'érosion éolienne : un volet de la lutte contre la désertification [Monique Mainguet et al 2006, référence #116 dans la bibliographie jointe un peu plus loin dans cette section. Une copie PDF de cette excellente publication est jointe au **DVD 1 de 3** fourni avec ce rapport agronomique.]

Parlons d'abord des facteurs qui influencent l'érosivité, qui se définit comme étant une « propriété des précipitations et du vent de générer une érosion ayant pour effet d'enlever la couche superficielle d'un sol. ». Ce sont les variables éoliennes ou paramètres éoliens :

- 1° si la vitesse de vent augmente (\uparrow), l'érosivité augmente (\uparrow).
- 2° si la fréquence des vents augmente (\uparrow), l'érosivité augmente (\uparrow).
- 3° si la durée des épisodes venteux augmente (\uparrow), l'érosivité augmente (\uparrow).
- 4° si la superficie exposée aux vents ou aux systèmes éoliens augmente (\uparrow), l'érosivité augmente (\uparrow).

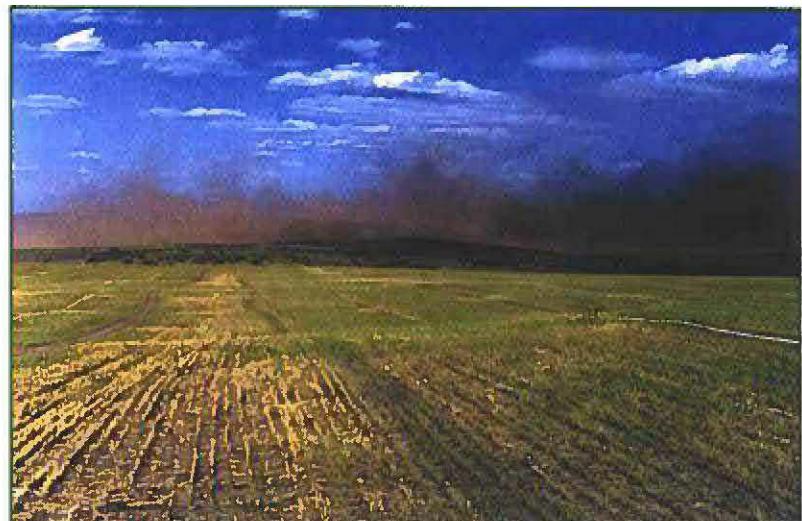


Photo datant du 20 juin 1999. Vent de sable généré à partir d'un vaste (> 500 hectares) secteur dénudé au parc à résidus sablonneux « Flora Basin » de la Mine de fer Wabush au Labrador. Au premier plan, les champs semés au mois de juin 1998 par irrigation NORCO ont parfaitement empêché l'érosion éolienne. Chaque rang de plantes agit comme un micro-brise-vent. Ici, c'est surtout du seigle d'automne qui n'a pas encore commencé à monter en graines, semé en juin 1998 avec un semoir direct de précision de marque Great Plains, sur des rangs espacés de 7½" (19 cm). La grande règle générale quand on étudie les phénomènes d'érosion éolienne est que la végétation augmente toujours la rugosité aérodynamique de la superficie où cette végétation est présente. La conséquence immédiate de cette réalité physique scientifiquement mesurable est que « s'il y a de la végétation, il y a moins, beaucoup moins ou pas du tout d'érosion éolienne ». Tout dépend de la densité de la végétation, de sa hauteur moyenne et bien sûr de la violence des vents.

4.2 (suite) Les variables qui influencent les phénomènes d'érosion éolienne.

Facteurs (suite) qui influencent l'érosivité, les variables éoliennes ou paramètres éoliens :

- 5° si le cisaillement du vent augmente, c'est-à-dire si la composante verticale du « vecteur vitesse vent » augmente (\uparrow), l'érosivité augmente (\uparrow) et cela est observable dans le sens descendant autant que dans le sens ascendant (*suspension des poussières fines*), bien que l'impact de l'érosion soit plus marqué dans le sens descendant (*augmentation de la saltation, de la reptation et du charriage du matériel granulaire*).
- 6° Plus le vent est turbulent et qu'il a une vitesse d'autant plus instable, c'est-à-dire plus il y a de turbulence dans le système éolien (\uparrow), plus l'érosivité augmente (\uparrow).

L'érodabilité se définit comme étant « une mesure de la facilité avec laquelle le sol est érodé, qui est liée à la sensibilité des sols ou des matériaux superficiels, granulaires ou non, à être arrachés et transportés par le vent (érosion éolienne) ou par le ruissellement (érosion hydraulique). Cette sensibilité est liée à l'état physique de la surface. » .

Les facteurs qui influencent l'érodabilité se regroupent en deux (2) catégories distinctes:

a) les paramètres sédimentologiques.

- 1° lorsque la taille des particules ou des sédiments (*granulométrie moyenne*) faisant partie du matériel granulaire exposé aux vents ou au ruissellement augmente (\uparrow), généralement l'érodabilité diminue (\downarrow), mais l'érodabilité peut aussi augmenter (\uparrow), par exemple si la masse volumique du matériel granulaire est très basse ou que, par exemple, les particules sont poreuses ou creuses.
- 2° lorsque la hauteur moyenne des sédiments exposés aux vents ou au ruissellement augmente (\uparrow), l'érodabilité diminue (\downarrow).
- 3° si l'orientation générale des sédiments exposés est bien adaptée aux vents dominants ou aux écoulements d'eau, cela peut faire en sorte que l'érodabilité diminue (\downarrow). À l'inverse, cela peut faire en sorte aussi que l'érodabilité augmente (\uparrow). Dans plusieurs cas, on aborde alors le concept de rides jointives, qui fait partie de la physique des milieux granulaires.
- 4° l'abradibilité (= capacité d'un matériel granulaire d'être érodé et pris en charge par le vent ou par le ruissellement). On comprend intuitivement que si les particules minérales du matériel granulaire ont une forme aplatie ou qu'elles présentent des arêtes vives, elles pourront être entraînées plus facilement par le vent ou par le ruissellement.
- 5° la transportabilité ou la pulvéritude du matériel granulaire. Dans le cas de l'érosion éolienne, on peut parler de « compétence éolienne ». Ici, c'est surtout la surface massique, le nombre de m^2 de surface du matériel granulaire pour chaque kg de matériel granulaire, qui entre en jeu. Plus la surface massique augmente, plus l'érodabilité augmente (\uparrow), par le biais du phénomène érosif qu'on appelle « suspension » (*voir description plus loin*).
- 6° la proportion de matière organique dans le matériel granulaire (*le sol*) présent sur les superficies exposées aux systèmes éoliens. En général, plus le matériel granulaire contient de matière organique, plus il résiste à l'érosion éolienne et donc son érodabilité diminue (\downarrow). La matière organique agit comme un ciment, comme une colle entre les particules minérales et elle favorise la formation d'agrégats dans le sol. Lorsqu'un sol comporte des agrégats, on dit qu'il a une structure et pas seulement une texture (*la granulométrie*). Un sol bien structuré, donc le plus souvent un sol avec de la matière organique, résiste beaucoup mieux à l'érosion éolienne, à cause des agrégats qui sont plus gros et plus lourds que les particules minérales prises une à une. Par contre, cette tendance générale comporte des limites : ainsi, des sols purement [100%] organiques comme les terres noires cultivées pour la production maraîchère ou bien les tourbières asséchées qu'on exploite pour extraire la fameuse « mousse de tourbe » vendue dans les jardineries, deviennent très susceptibles à l'érosion éolienne lorsque la surface est sèche. Le matériel granulaire est alors si poreux et si léger qu'il est très facilement délogé et emporté par le vent. Donc, dans ces cas limites, on observe une augmentation (\uparrow) de l'érodabilité.

b) les paramètres de surface

- 1° la présence de végétation diminue (\downarrow) l'érodabilité parce qu'invariablement, elle augmente la rugosité aérodynamique des superficies couvertes. C'est l'effet brise-vent. Les résidus de récoltes laissés en surface diminuent (\downarrow) l'érodabilité. Plus la végétation est haute, plus cela diminue (\downarrow) l'érodabilité. Plus la végétation est dense, plus cela diminue (\downarrow) l'érodabilité. Plus le degré ou pourcentage de couverture végétale de la superficie exposée aux effets d'un système éolien est élevé, plus cela diminue (\downarrow) l'érodabilité. Plus la végétation est ramifiée, branchue, étalée, plus cela diminue (\downarrow) l'érodabilité. L'orientation générale de la couverture végétale par rapport aux vents dominants peut contribuer à diminuer (\downarrow) l'érodabilité.
- 2° l'humidité à la surface du sol. Si la surface est humide, alors l'érodabilité diminue (\downarrow). Si la surface est sèche, alors l'érodabilité augmente (\uparrow).
- 3° la rugosité du sol. Lorsque la hauteur moyenne du micro-relief (*rugosité aérodynamique*) des superficies exposées aux vents ou au ruissellement augmente (\uparrow), l'érodabilité diminue (\downarrow).
- 4° la pente de surface peut augmenter (\uparrow) l'érodabilité autant qu'elle peut diminuer (\downarrow) l'érodabilité. Tout dépend de l'angle vertical que fait la pente avec la trajectoire des vents dominants et aussi selon le type de masse atmosphérique en déplacement (front chaud, front froid).
- 5° la longueur des surfaces, prise dans la direction du vent, a une influence. Si la longueur augmente, alors l'érodabilité augmente (\uparrow).

4.3 Les modes de transport empruntés par l'érosion éolienne: de quelle manière les phénomènes d'érosion éolienne sont décrits.

Nous allons utiliser un schéma conceptuel tiré de la page 332 du livre Les milieux granulaires : entre fluide et solide par Bruno Andreotti et al, 2011 [référence # 7 dans la bibliographie que vous trouverez à la fin de la section 4.0].

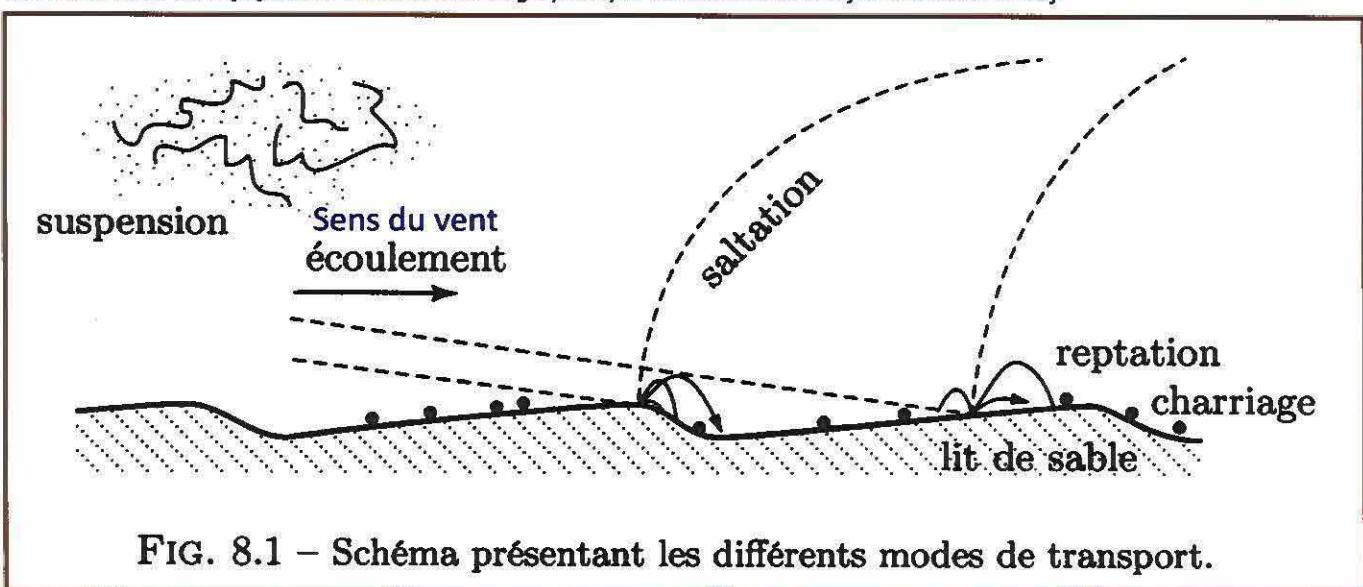


FIG. 8.1 – Schéma présentant les différents modes de transport.

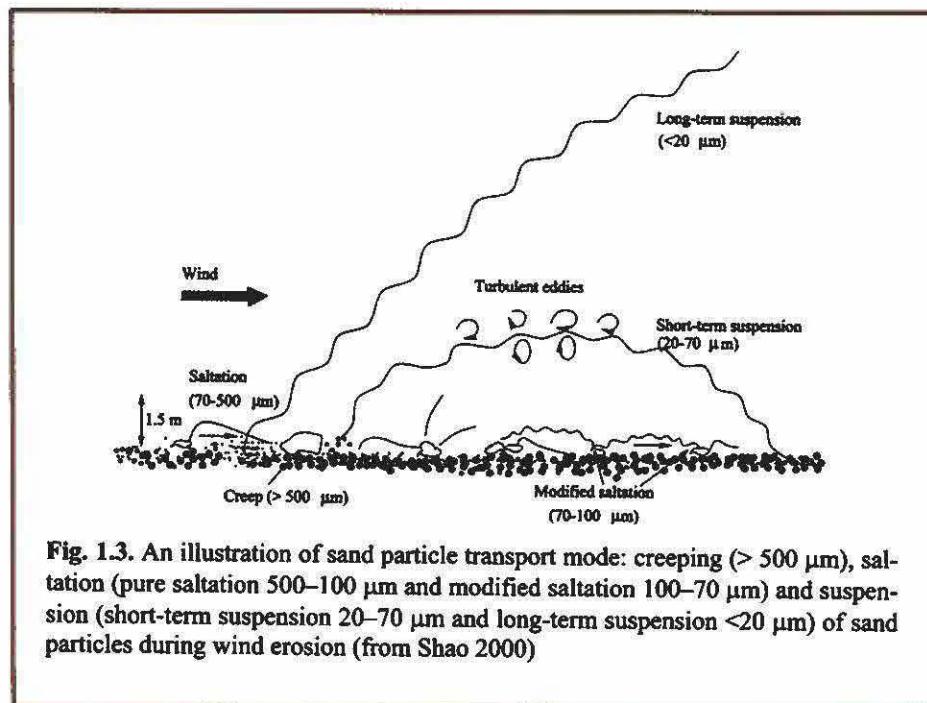
Pour mieux connaître la signification des différents processus de transport éolien, nous allons utiliser principalement les définitions fournies par Clément Mathieu à la page 188 de son magnifique ouvrage Les principaux sols du monde. Voyage à travers l'épiderme vivant de la planète Terre, publié en 2009 chez Lavoisier [référence # 123 dans la bibliographie ci-jointe].

En général, l'érosion éolienne peut se manifester avec des vents au-delà de **15 à 25 km/heure**, selon le niveau de **turbulence**. On dénombre quatre (4) mécanismes principaux de transport éolien des poussières, sédiments, particules faisant partie d'un milieu granulaire. *Il est à noter que cette subdivision en quatre mécanismes principaux date d'aussi loin que l'ouvrage fondateur de Ralph Alger Bagnold « The Physics of Blown Sand and Desert Dunes » publié la première fois en 1941 [référence # 11 dans la bibliographie jointe à la fin de cette section. La version corrigée par l'auteur et publiée en 1954 a été ré-éditée en 2004 par Dover Publication et est encore disponible à un coût très abordable.]. Bagnold est l'inventeur du néologisme « saltation » [réf. # 174, Talck – Robin 2002 page 56].*

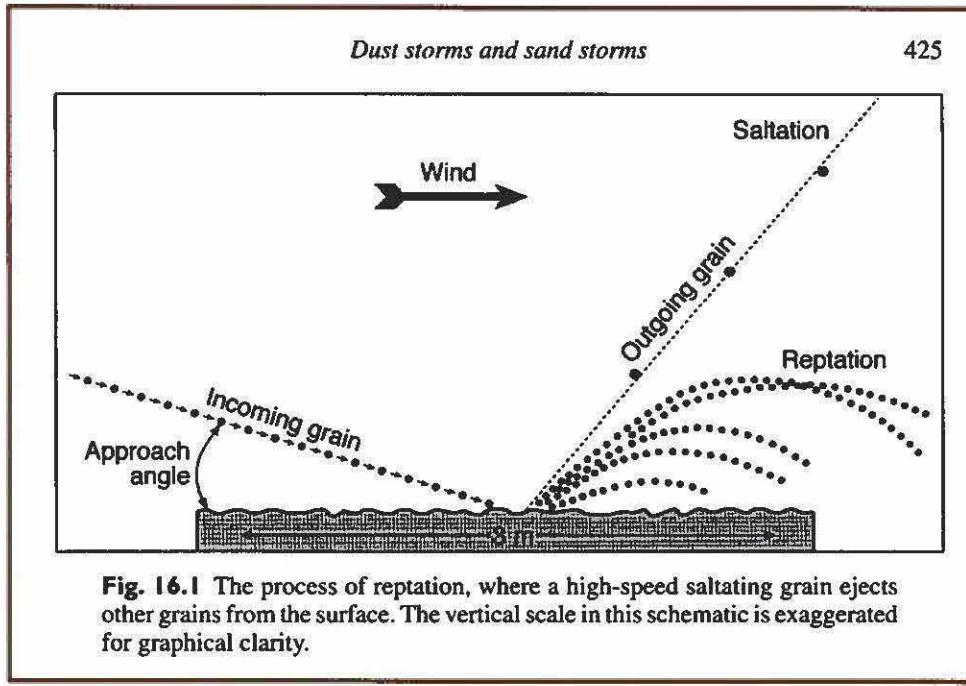
- 1° la **suspension** ou ses synonymes **déflation** ou **flottation** entraîne le départ en suspension des particules très fines et très légères du sol (argiles, limons fins et particules organiques,). Ces poussières aspirées par les tourbillons jusqu'à des altitudes élevées, parfois à 10 000 mètres, vont être souvent exportées très loin du lieu de leur prélèvement : celles du Sahara se retrouvent jusqu'en Europe et parfois même jusqu'aux Caraïbes via les alizés en provenance de l'Afrique de l'ouest.
- 2° la **saltation** où les sables fins (0,1 mm Ø à 0,5 mm Ø) sont soulevés par des vents violents qui circulent sur des surfaces relativement lisses en laissant au sol des rides (*rides jointives*) ou des petites buttes de sable piégées dans des touffes de végétation. *{On pourrait dire que les particules entraînées par le vent sautillent, parfois jusqu'à aussi haut que 3 mètres mais en moyenne de 0,2 m, et retombent pour rebondir souvent aussitôt, en délogéant du même coup d'autres particules}.* C'est l'impact de ces sables projetés qui conduit au polissage et à l'abrasion des roches, appelé corrosion. Ces sables provoquent de gros dégâts sur les végétaux. « *Lorsqu'un grain de sable est arraché du lit {de la surface} par le vent, il commence par accélérer en rebondissant sur le lit et effectue des sauts de plus en plus hauts. (...) À chaque collision avec le lit, le grain éjecte de nouveaux grains, qui à leur tour peuvent être accélérés par le vent.* » [Andreotti 2011, page 363]. Selon Henry D. Foth 1978 page 391 [référence #70] , « en érosion causée par le vent, 50% à 75% du total des déplacements de sol de fait par **saltation**, 3% à 40% par **suspension** et 5% à 25% par **reptation**. ». Selon Warner 2004 à la page 425 [référence # 189 dans la bibliographie], les proportions varient beaucoup selon les études citées. Voici des exemples que Warner cite: 90% du sable est transporté dans les premiers 50 cm au-dessus de la surface du sol, 35% du sable est transporté dans les premiers 2,5 cm au-dessus de la surface du sol ou même que 80% du sable est transporté dans les premiers 2,0 cm au-dessus de la surface du sol! Bref, un mécanisme qui donne des résultats très variable. Après l'impact des grains qui se meuvent en **saltation** et entrant ensuite en collision avec le lit granulaire, certains grains heurtés sont éjectés du lit avec assez de vitesse ascendante pour continuer en **saltation** alors que d'autres ne montent pas assez haut, c'est le phénomène suivant, la **reptation**.
- 3° la **reptation** ou le **roulage** mobilise les grains de sable les plus gros (0,3 mm Ø à 3 mm Ø ou 4 mm Ø) trop lourds pour être soulevés et aspirés en altitude, mais roulés et traînés à la surface de quelques mètres par heure de vent très violent.
- 4° le **charriage** est peu commun en érosion éolienne mais fréquent en écoulements d'eau torrentiels. Dans le **charriage**, à la différence du **roulage**, il y a plus de deux (2) couches de grains qui roulent en même temps [Andreotti 2011 page 360, réf. # 7]. Il faut des vents extrêmement forts, avec un effet tunnel par exemple, pour que cela se produise.

4.3 Les modes de transport empruntés par l'érosion éolienne: de quelle manière les phénomènes d'érosion éolienne sont décrits.
(suite)

Dans cette page et la suivante, nous présentons d'autres schémas conceptuels, avec les références, pour permettre une meilleure compréhension des mécanismes d'érosion éolienne.



Xiaojing Zheng 2009 *Mechanics of Wind-blown Sand Movements*, page 6, ref. # 194. Madame Xiaojing Zheng est la grande spécialiste chinoise dans les recherches sur l'érosion éolienne et sa renommée a maintenant atteint une portée internationale. Avec l'avancée continue du désert de Gobi, la Chine est aux prises avec de graves problèmes causés par l'érosion éolienne.



Thomas T. Warner 2004 *Desert meteorology*, page 425

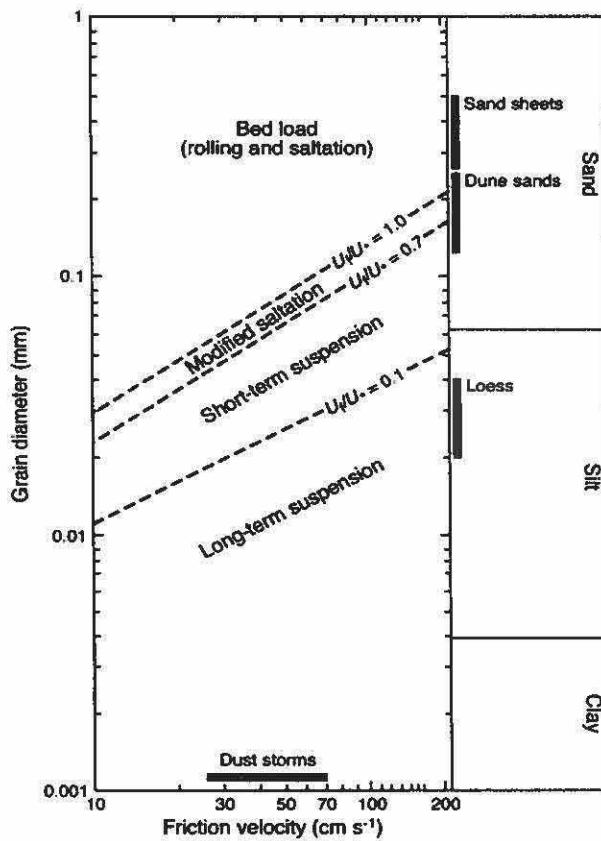


Fig. 16.2 The dependence of the type of sediment transport on the grain diameter and friction velocity. U_f is the settling velocity and U_* is the friction velocity. The modified saltation region represents a boundary zone between suspension and saltation processes. (Adapted from Tsoar and Pye 1987.)

Thomas T. Warner 2004 *Desert meteorology*, page 426

À quelle vitesse de vent commence-t-on à observer l'érosion éolienne au-dessus d'une superficie ensablée, sans végétation (un désert) ? En général, l'érosion éolienne peut se manifester avec des vents au-delà de **15 à 25 km/heure**, selon le niveau de **turbulence**.

Mais voici quelques valeurs plus précises, pour un relief de dunes de sable, mentionnées par Paul Robin dans Francis Tack, Paul Robin, *Dunes*, 2002, page 56 [référence #174 dans la bibliographie ci-jointe].

« Au niveau du sol, le sable commence à se déplacer quand la vitesse du vent dépasse 40 km/heure, tandis que les crêtes de dunes vives commencent à fumer dès qu'il atteint 25 km/heure. Au delà, des avalanches commencent dévaler de la crête. Contrairement à une idée répandue, même au cours des pires tempêtes de sable, les maxima enregistrés dépassent rarement les 70 km/heure. »

Cela correspond à ce nous avons pu observer sur les secteurs de parcs à résidus miniers non végétalisés. Cela est vrai aussi pour les crêtes des haldes de morts-terrains.

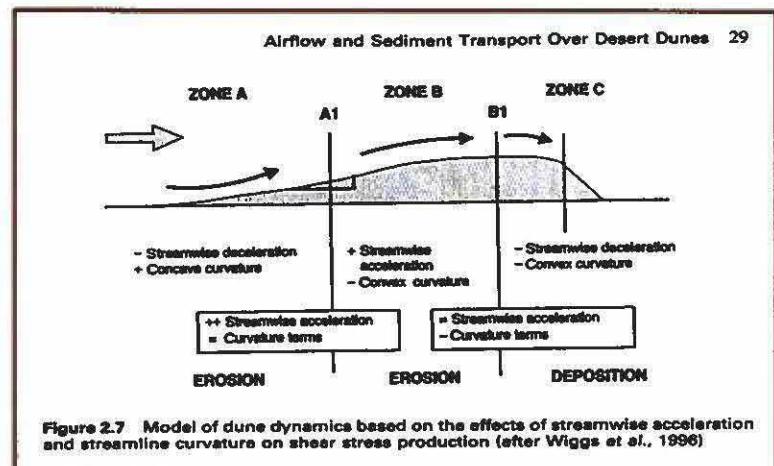


Figure 2.7 Model of dune dynamics based on the effects of streamwise acceleration and streamline curvature on shear stress production (after Wiggs et al., 1996)

Goudie et al 1999, *Aeolian Environments, Sediments and Landforms*, page 29 [ref. # 81]. Sur ce schéma, la dune de sable est divisée en trois zones : une zone d'érosion A avec un courant d'air concave en décélération ; la zone d'érosion B avec un courant d'air convexe en accélération et une zone de déposition C de courant d'air convexe décélérant.

4.4 La végétalisation des résidus miniers, la meilleure solution pour mettre en échec l'érosion éolienne sur une mine.

Le meilleur document de vulgarisation que nous avons trouvé sur le sujet très pointu de savoir dans quelle mesure la présence d'un couvert végétal influence la rugosité aérodynamique d'une superficie qui en est couverte se trouve dans l'ouvrage suivant : *Roy P.C. Morgan, Soil Erosion and Conservation, Third Edition, Blackwell Publishing, 2005, ISBN 978-1-4051-1781-4*, référence # 132 dans la bibliographie jointe à la fin de la section 4.0. Voici une page du livre, la page 39, qui en dit beaucoup à ce sujet.

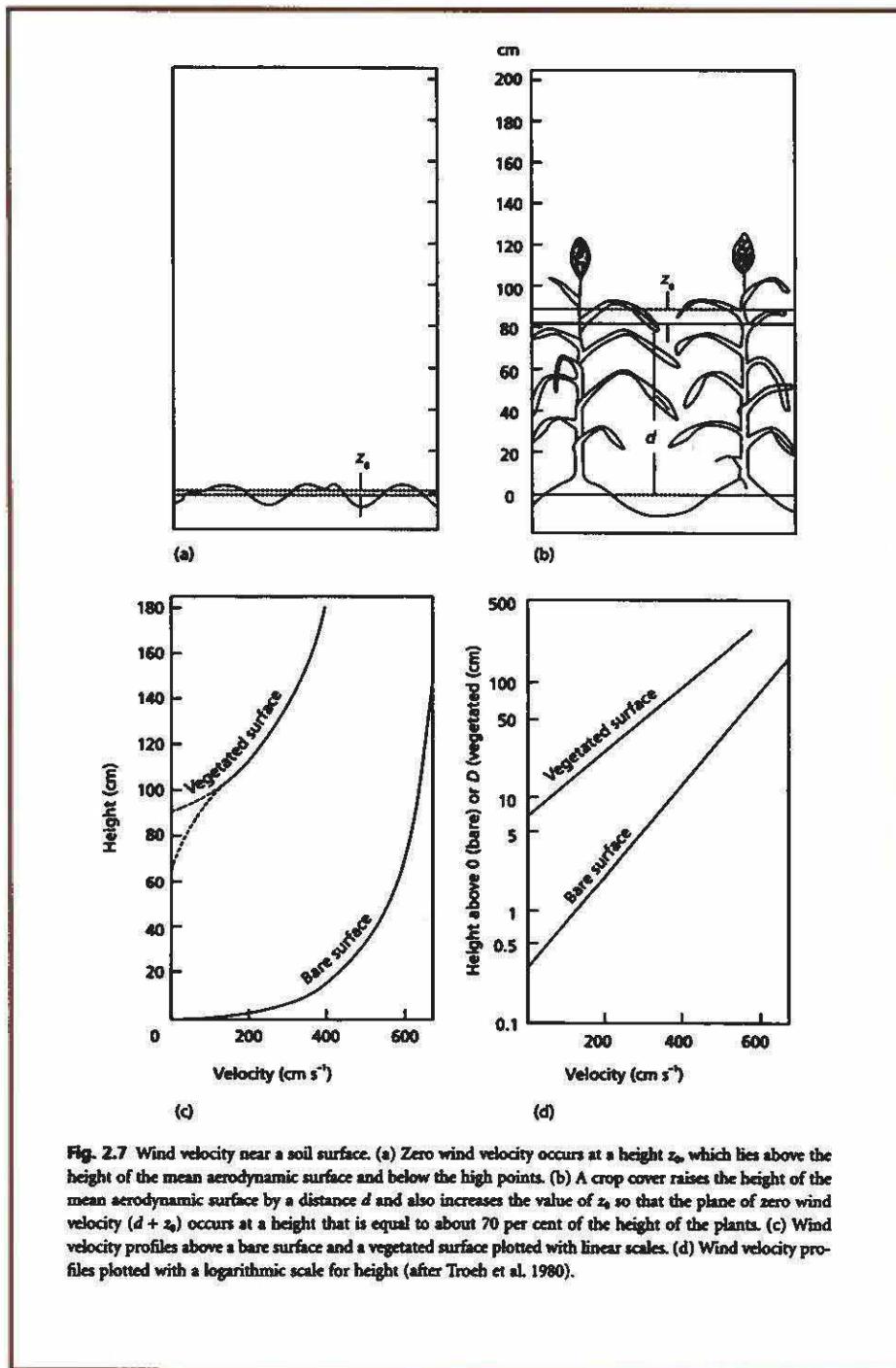


Fig. 2.7 Wind velocity near a soil surface. (a) Zero wind velocity occurs at a height z_0 , which lies above the height of the mean aerodynamic surface and below the high points. (b) A crop cover raises the height of the mean aerodynamic surface by a distance d and also increases the value of z_0 so that the plane of zero wind velocity ($d + z_0$) occurs at a height that is equal to about 70 per cent of the height of the plants. (c) Wind velocity profiles above a bare surface and a vegetated surface plotted with linear scales. (d) Wind velocity profiles plotted with a logarithmic scale for height (after Troeh et al. 1980).

Figure 2.7 à la page 39 du livre. Vitesse du vent près d'une surface de sol. En (a) il n'y a pas de végétation et la vitesse du vent descend à zéro à une hauteur z_0 , une courte distance qui se trouve un peu au-dessus du plan aérodynamique moyen et plus bas que les points hauts de cette même surface. En (b) des plantes augmentent (+) la hauteur du plan aérodynamique moyen par une distance d et, en plus, ce couvert végétal augmente la petite distance z_0 au-dessus de d à laquelle la vitesse du vent est mesurée comme étant zéro (vent nul), de telle sorte que, au bout du compte, la hauteur = $(d + z_0)$ du plan où on mesure un vent nul [V = zéro] se trouve à peu près à une hauteur égale à 70% de la hauteur des plantes. En (c) représentation en coordonnées cartésiennes des profils de vitesse des vents au-dessus d'une surface dénudée et au-dessus d'une surface végétalisée. En (d), les profils de vitesse des vents sur l'axe des « x » et la hauteur de la végétation en échelle logarithmique sur l'axe des « y ».

4.4 La végétalisation des résidus miniers, la meilleure solution pour mettre en échec l'érosion éolienne sur une mine.

Le meilleur document de vulgarisation que nous avons trouvé sur le sujet très pointu de savoir dans quelle mesure la présence d'un couvert végétal influence la rugosité aérodynamique d'une superficie qui en est couverte se trouve dans l'ouvrage suivant :

Roy P.C. Morgan, Soil Erosion and Conservation, Third Edition, Blackwell Publishing, 2005, ISBN 978-1-4051-1781-4, référence # 132 dans la bibliographie jointe à la fin de la section 4.0. [Voici une autre page du livre, la page 63.](#)

Greatest reductions in velocity occur with dense, spatially uniform, vegetation covers. Clumpy, tussocky vegetation is less effective and may even lead to concentrations in flow with localized high velocities between the clumps. When flow separates around a clump of vegetation, the pressure exerted by the flow is higher on the upstream face than it is downstream, and eddying and turbulence occur immediately downstream of the vegetation. Vortex erosion is induced both upstream and downstream (Babaji 1987). Detailed observations during laboratory experiments on overland flow (De Ploey 1981) show that for slopes above about 8°, erosion under grass is higher than that from an identical plot without grass until the percentage grass cover reaches a critical value. Beyond this point, the grass has the expected protective effect.

3.4.3 Effect on air flow

Vegetation reduces the shear velocity of wind by imparting roughness to the air flow. It increases the roughness length, z_0 , and raises the height of the mean aerodynamic surface by a distance, d , known as the zero plane displacement (Fig. 2.7). Estimates of d and z_0 can be obtained from the relationships:

$$D = HF \quad (3.13)$$

$$z_0 = 0.13(H - d) \quad (3.14)$$

where H is the average height of the roughness elements and F is the fraction of the total surface area covered by those elements (Abtew et al. 1989). From this, it follows that the key plant parameter is the lateral cover (L_c), defined as:

$$L_c = \frac{NS}{A} \quad (3.15)$$

where N is the number of roughness elements per unit area (A), and S is the mean frontal silhouette area of the plants, i.e. the cross-sectional area of the plant facing the wind (Musick & Gillette 1990). An increase in the value of L_c results in an exponential decrease in the proportion of the shear velocity of the wind exerted on the soil surface (Wolfe & Nickling 1996). This, in turn, causes an exponential decrease in sediment transport. Al-Awadhi and Willetts (1999) showed from wind tunnel experiments with cylinders that sediment transport levels off to very low levels when L_c exceeds 0.18 in value. When L_c reaches 0.5, sediment transport ceases (Gillette & Stockton 1989; Nickling & McKenna Neuman 1995). However, low densities of vegetation can sometimes increase the rate of erosion over bare ground through the development of turbulent eddies in the flow between individual plants (Logie 1982).

The effect of the vegetation can be described by a frictional drag coefficient (C_d) exerted by the plant layer in bulk and computed from:

$$C_d = \frac{2u_*^2}{u^2} \quad (3.16)$$

where u is the mean velocity measured at a height z , which equals 1.6 times the average height of the roughness elements. The coefficient generally decreases in value from about 0.1 in light winds to 0.01 in strong winds for a wide range of crops (Ripley & Redman 1976; Uchijima 1976; Morgan & Finney 1987) but both Randall (1969) in apple orchards and Bache (1986) with cotton canopies

Factors influencing erosion

4.4 La végétalisation des résidus miniers, la meilleure solution pour mettre en échec l'érosion éolienne sur une mine.

Le meilleur document de vulgarisation que nous avons trouvé sur le sujet très pointu de savoir dans quelle mesure la présence d'un couvert végétal influence la rugosité aérodynamique d'une superficie qui en est couverte se trouve dans l'ouvrage suivant : *Roy P.C. Morgan, Soil Erosion and Conservation, Third Edition, Blackwell Publishing, 2005, ISBN 978-1-4051-1781-4*, référence # 132 dans la bibliographie jointe à la fin de la section 4.0. [Voici une autre page du livre, la page 64.](#)

found that C_d could also increase with windspeed. When C_d exceeds 0.0104 in value, no regional scale wind erosion occurs (Lyles et al. 1974b).

Instead of considering these bulk drag coefficients, more insight can be gained by examining conditions close to the ground surface. Drag coefficients within the plant layer (C_d') can be calculated from:

$$C_d' = \frac{2u_*^2}{\int_0^h u^2 A(z) dz} \quad (3.17)$$

where h is the height of the vegetation, $A(z)$ is the leaf area per unit volume for the vegetation at height z and dz is the difference in height between z and the ground surface. For a wide range of crops, values of C_d' within the lowest 0.5 m of the plant layer decrease from about 0.1 in low windspeeds to about 0.001 in high windspeeds. However, when the wind is moderate to strong, consistent over time, and the crops are at an early stage of growth, the drag coefficient is found to increase with windspeed (Morgan & Finney 1987). This is probably due to the waving of the leaves in the wind, which disturbs the surrounding air, creating a wall effect that acts as a barrier to the air flow. The result is that the windspeed is reduced close to the ground surface but remains the same or even increases at the canopy level, thereby increasing the drag or shear velocity and enhancing the risk of erosion. The effect is particularly marked in crops of young sugar beet and onions. Similar increases in the drag coefficient with windspeed within a crop have been reported for maize (Wright & Brown 1967).

3.4.4 Effect on slope stability

It was shown in Chapter 2 that forest covers generally help to protect the land against mass movements partly through the cohesive effect of the tree roots. The fine roots, 1–20 mm in diameter, interact with the soil to form a composite material in which root fibres of relatively high tensile strength reinforce a soil matrix of lower tensile strength. In addition, soil strength is increased by the adhesion of soil particles to the roots. Roots can make significant contributions to the cohesion of a soil, even at low root densities and in materials of low shear strength. Increases in cohesion in forest soils due to roots can range from 1.0 to 17.5 kPa (Greenway 1987), although local variability in this may be as high as 30 per cent (Wu 1995). Grasses, legumes and small shrubs can reinforce a soil down to depths of 0.75–1.0 m and trees can enhance soil strength to depths of 3 m or more. The magnitude of the effect depends upon the angle at which tree roots cross the potential slip plane, being greatest for those at right angles, and whether the strain exerted on the slope is sufficient to mobilize fully the tensile strength of the roots. The effect is limited where roots fail by pull-out because of insufficient bonding with the soil, as can occur in stony materials, or where the soil is forced into compression instead of tension, as can occur at the bottom of a hillslope, and the roots fail by buckling.

Following observations on the forested slopes of the Serra do Mar, east of Santos, Brazil, De Ploey (1981) proposed that trees could sometimes induce landslides through an increase in loading (surcharge) brought about by their weight and an increase in infiltration which allows more water to penetrate the soil, lowering its shear strength. Bishop and Stevens (1964) showed that large trees can increase the normal stress on a slope by up to 5 kPa but that less than half of this contributes to an increase in shear stress and the remainder has the beneficial effect of increasing the frictional resistance of the soil. While, generally, surcharge enhances slope stability, under certain circumstances it can be detrimental. Trees planted only at the top of a slope can reduce

4.4 la végétalisation des résidus miniers, la meilleure solution pour mettre en échec l'érosion éolienne sur une mine.

Nous terminons cette section par des commentaires de Roy P. C. Morgan 2005 [réf. #132] à propos de la végétalisation et particulièrement de la végétalisation de sites miniers.

Encadré au bas de la page 197 : « **Une couverture de végétation dense et uniforme est la meilleure façon de contrôler l'érosion. La mise en végétation en employant des plantes herbacées, des arbuste et des arbres choisis parmi des espèces indigènes est donc largement recommandée comme étant à long terme la méthode la plus adéquate et la mieux adaptée pour restaurer des terres ravinées, les bords de routes, les éboulis et glissements de terrain, les corridors à tuyaux (oléoducs etc.), les déchets miniers et les terrains érodés dans les aires récréatives.**

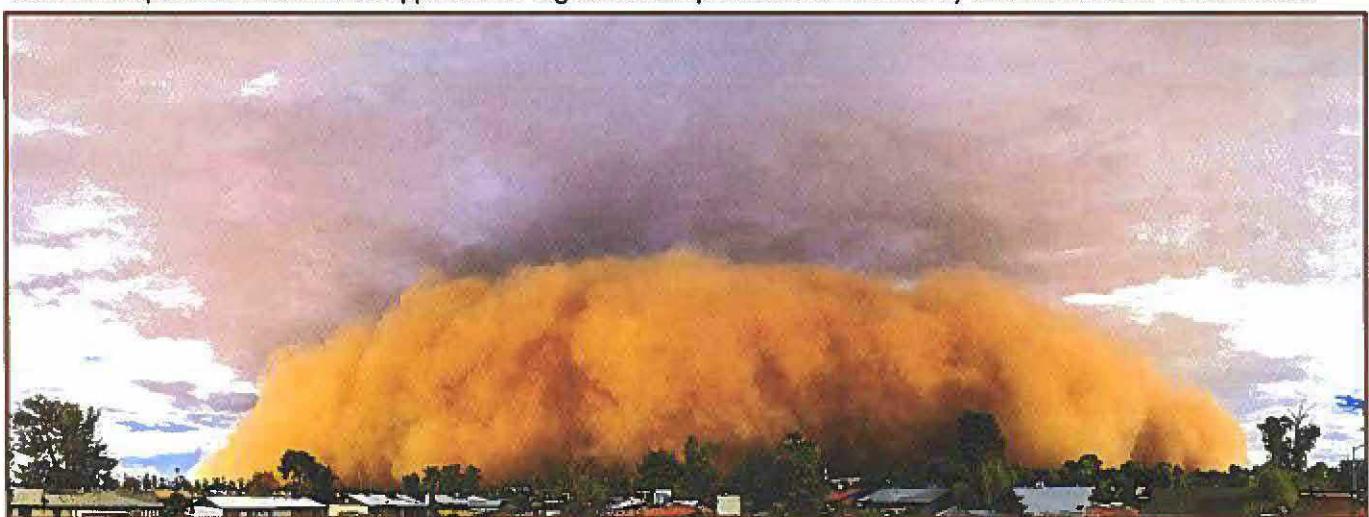
En faisant la conception d'un plan de mise en végétation, il est important d'établir un devis détaillé expliquant clairement à l'entrepreneur ce qu'il devra faire.

En choisissant les espèces végétales, une attention particulière devrait être accordée aux aspects suivants :

- *Donner la préférence aux espèces indigènes, adaptées au climat régional et aux conditions de sol, de façon à perturber le moins possible l'intégrité des biocénoses locales.*
- *S'assurer que les espèces choisies sont disponibles dans le commerce, chez les semenciers et pépiniéristes.*
- *Particulièrement dans les régions arides, choisir des espèces qui présentent moins de risques de propagation des feux de brousse ou des feux de forêt.*
- *Choisir des espèces dont les qualités « mécaniques » favorisent un meilleur contrôle de l'érosion (voir tableau B8.2).*
- *Utiliser plusieurs espèces, pas juste une, afin d'introduire une certaine biodiversité et un couvert végétal en santé.*
- *Choisir des espèces ayant des périodes d'établissement variées, c'est-à-dire en avoir qui sont d'établissement rapide, les indispensables plantes abri, et en avoir d'autres qui ont une période d'établissement plus longue qui formeront une végétation mature. (N. d. T. : on évoque ici le concept des successions végétales, jusqu'à former éventuellement une « forêt climax »).*
- *S'assurer qu'il n'y aura pas de trou dans les successions végétales, pour que des espèces prennent le relais alors que d'autres arrivent en fin de vie. »*

D'après Roy P. C. Morgan, page 169 de son livre [réf. #134], « *Ce qu'on attend surtout avec le contrôle de l'érosion sur d'anciens sites miniers, c'est d'obtenir des conditions stables, propices à la mise en végétation, à l'établissement et à la croissance des plantes. On le fait souvent pour rendre les surfaces cultivables (ré-introduire l'agriculture) ou pour les transformer en aires récréatives, on le fait aussi pour éviter les impacts environnementaux locaux ou régionaux. L'érosion, qu'elle soit de nature éolienne ou hydraulique, peut débuter très rapidement sur les talus, digues et halles de résidus miniers non consolidés et si en plus des chenaux ou des ravins se creusent, la perte annuelle de sol peut atteindre 100 à 500 tonnes par hectare. (...) La mise en végétation doit prévoir une succession d'espèces, offrir une couverture suffisante et assurer l'évolution du sol vers une plus grande fertilité. La succession d'espèce devrait comporter : des graminées et herbes à croissance rapide pour couvrir et stabiliser la surface du sol rapidement, des plantes de la famille des Fabacées ou Légumineuses, comme par exemple des trèfles et des vesces, pour fixer l'azote atmosphérique, d'autres herbes et arbustes pour assurer une couverture végétale à long terme. (..)*

Avant le mois de janvier 2014, nous n'avions jamais eu connaissance de ce livre mais **Irrigation NORCO inc**, est très fière de déclarer ici que c'est exactement l'approche de végétalisation que nous avons choisi il y a maintenant dix-huit années!!!



L'ÉROSION ÉOLIENNE EN PLEINE ACTION! Un « habou », une sorte de vent de sable. Ici, ce phénomène photographié quelque part en Australie.

1	Adriano, Domènec C. ; Bollag, J.-M. ; Frankenberger, William T. Jr. ; Sims, Ron C. , Coeditors, with numerous contributors ; 1999 ; Bioremediation of Contaminated Soils , AGRONOMY Monograph Number 37 ; The American Society of Agronomy, The Crop Science Society of America, The Soil Science Society of America , Madison, Wisconsin, U.S.A. ; http://www.asa-csa-ssa.org/ ; 820 p. ; Library of Congress Card Number 98-068524 ; ISBN 0-89118-137-7
2	Aeschimann, David ; Lauber, Konrad ; Moser, Daniel Martin ; Theurillat, Jean-Paul ; 2004 ; Flora Alpina : Volume 1, Volume 2, Volume 3/Index ; Paul Haupt Verlag, Berne, Suisse et Éditions Belin, Paris, France ; Vol. 1—>1159 pages, Vol. 2—>1188 pages, Vol. 3/Index—>323 pages ; ISBN 2-7011-3899-X (3) . Note: la Flore nord-américaine comporte plusieurs espèces indigènes circumboréales et circumpolaires, mais aussi des plantes adventives et/ou exotiques, qui sont décrites et illustrées par d'excellentes photos dans cette <i>Flora Alpina</i> . Une œuvre monumentale, multilingue et contenant de nombreuses informations écologiques sur chacune des espèces.
3	Agence Méditerranéenne de l'Environnement ; décembre 2001 ; Cahier d'école , Numéro 4 ; AME, Montpellier, France ; 24 pages
4	Alex, J.F and the OMAFRA staff ; 2001 ; Ontario Weeds : Descriptions, Illustrations and Keys to their Identification , Publication 505 - Agdex 640 ; Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Guelph, Ontario , www.omafra.gov.on.ca/ ; 304 p. ; ISBN 0-7729-9691-1 . This publications contains several colour pictures of weeds and good b&w line drawings.
5	Allen, Richard G. ; Pereira, Luis S. ; Raes, Dirk ; Smith, Martin ; 2004; Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements , 1998, tel que réimprimé en 2004, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, FAO (www.fao.org), Rome, Italie, ISBN 92-5-104219-5, 301 pages.
6	André, Pierre ; Delisle, Claude E. ; Revéret, Jean-Pierre ; 2003 ; L'évaluation des impacts sur l'environnement. Processus, acteurs et pratique pour un développement durable , 2 ^{ème} édition ; Presses internationales Polytechnique, Montréal, Québec, Canada ; 519 p. ; ISBN 2-553-01132-6
7	Andreotti, Bruno ; Forterre, Yoël ; Pouliquen, Olivier ; 2011 ; Les milieux granulaires : entre fluide et solide ; CNRS Éditions, Paris, France ; 495 pages ; ISBN 978-2-271-07089-0
8	Arkin, Gerald F. & Taylor, Howard M. , Editors ; 1981 ; Modifying the Root Environment to Reduce Crop Stress ; ASAE Monograph Number 4 ; American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, U.S.A. ; 407 p. ; ISBN 0-916150-40-2
9	Australian Mining Industry Council (new name = «Minerals Council of Australia» , www.minerals.org.au) ; 1998 ; Mine Rehabilitation Handbook ; Minerals Council of Australia, Kingston, ACT, Australia ; 113 p. ; ISBN 909276 39 0 ; out of print, photocopy.
10	Bagatto, Giuseppe ; Shorthouse, Joseph D. ; March 1999 ; Biotic and abiotic characteristics of ecosystems on acid metalliferous mine tailings near Sudbury, Ontario ; Canadian Journal of Botany / Revue canadienne de botanique , Volume 77, Number 3 , National Research Council of Canada [NRC-CNRC], Ottawa, Ontario, Canada ; pages 410-425.
11	Bagnold, R.A. ; 1941 ; The Physics of Blown Sand and Desert Dunes ; Dover Publication, Mineola, New York, United States of America ; 265 pages ; ISBN 978-0-486-43931-0
12	Bailey, Liberty Hyde and the staff of the Bailey Hortorium at Cornell University ; 1949 ; Manual of Cultivated Plants , Revised Edition Completely Restudied , 25 th printing ; Macmillan Publishing Co., Inc. , New York , N.Y. , U.S.A. ; 1016 p. ; ISBN 0-02-505520-8
13	Barkworth, Mary E. ; Anderton, Laurel K. ; Capels, Kathleen M. ; Long, Sandy ; Piep, Micheal B. et al ; <i>illustrated by Cindy Talbot Roché, Linda Ann Vorobik, Sandy Long, Annaliese Miller, Bee F. Gunn, Christine Roberts and Mary S. Blankenship</i> ; 2007 ; Manual of Grasses for North America , 1 st Edition ; The Intermountain Herbarium and the Utah State University Press, www.usu.edu/usupress/ , Logan, Utah, U.S.A. ; 638 p. ; ISBN 978-0-87421-686-8 ; a major review of the Poaceæ or Graminæ family in North America, after the classic work of A.S. Hitchcock .
14	Barnhisel, Richard I. with Darmody, Robert G. and Lee Daniels, W. , Editors ; 2000 ; Reclamation of Drastically Disturbed Lands , AGRONOMY Monograph Number 41 ; The American Society of Agronomy, The Crop Science Society of America, The Soil Science Society of America , Madison, Wisconsin, U.S.A. ; 1082 p. ; Library of Congress Card Number 00 134469 ; ISBN 0-89118-146-6
15	Bennis, Saad ; 2007 ; Hydraulique et hydrologie ; 2 ^{ème} édition revue et augmentée ; Presses de l'Université du Québec (www.puq.ca), Québec, Québec, publié en collaboration avec l'École de technologie supérieure (ETS), ISBN (pour les P.U.Q.) 978-2-7605-1521-5 , ISB (pour l'ETS) 978-2-9211-4563-3, 451 pages
16	Bentz, André ; 1983 ; Améliorations foncières – Hydrodynamique des sols agricoles – Physique des sols , 3 ^{ème} éditions revue et augmentée; notes de référence à l'usage des étudiants, Université Laval, FSAA, Département des sols, 383 pages.
17	Bergman, B., Johansson, C., Soderback, E. "The Nostoc-Gunnera symbiosis". New Phytologist # 122 (3), 1992. p. 339.
18	Bernier B. & Winget C.H. , Editors; 1975 ; Forest Soils and Forest Land Management , Proceedings of the Fourth North American Forest Soils Conference held at the Université Laval in August 1973 ; Les Presses de l'Université Laval, Sainte-Foy, Québec, Canada ; 675 p. ; ISBN 0-7746-6716-8
19	Bigham, J.M. ; Ciolkosz, E.J. , Editors, with numerous contributors ; 1993, reprinted in 1997 ; Soil Color proceedings of a symposium , SSSA Special Publication Number 31 ; The Soil Science Society of America , Madison, Wisconsin, U.S.A. ; http://www.asa-csa-ssa.org/ ; 159 p. ; ISBN 0-89118-802-9
20	Blay, Michel ; 2007 ; La science du mouvement des eaux, de Torricelli à Lagrange ; Éditions Belinwww.editions-belin.com, Paris, France ; 288 pages ; ISBN 978-2-7011-3870-1

21	Blondeau, Marcel ; 2004 ; Atlas des plantes des villages du Nunavik = Atlas of plants of the Nunavik villages ; Texte en 3 langues / Text in 3 languages : Français, English, Inuktitut ; Éditions MultiMondes, Sainte-Foy, Québec, Canada ; 610 p. ; ISBN 2-89544-051-4
22	Blondeau, Marcel ; Dignard, Norman ; 2001 ; Rapport d'herborisation à Fermont, Québec: liste des espèces vasculaires et analyse sommaire de la flore , Notices Floristiques numéro 4 ; Ministère des Ressources naturelles du Québec, Gouvernement du Québec, Ville de Québec, Québec, Canada ; 29 p. ; ISBN 2-550-37309-X
23	Blondeau, Marcel ; Dignard, Norman ; 2003 ; Flore vasculaire des marbres dolomitiques des environs du lac Gull, région de Fermont, Québec , Notices Floristiques numéro 5 ; Ministère des Ressources naturelles du Québec, Gouvernement du Québec, Ville de Québec, Québec, Canada ; 36 p. ; ISBN 2-550-40311-8
24	Blondeau, Marcel; Roy, Claude; Cuerrier, Alain; 2010; Plantes des villages et des parcs du Nunavik ; 2 ^{ème} édition revue et augmentée; Texte en 3 langues / Text in 3 languages : Français, English, Inuktitut; Éditions MultiMondes, Sainte-Foy, Québec, Canada, www.multim.com ; 737 pages; ISBN 978-2-89544-167-0
25	Böcher, Tyge W. ; Fredskild, Bent ; Böcher, Jens J. ; Philipp, Marianne ; 2000 ; Det Grønne Grønland ; RHODOS International Forlag for Videnskab og Kunst, Humlebæk ,Danmark ; www.rhodos.dk ; 432 p. ISBN 87 7245 845 3 . A book about the Flora & landscapes of Greenland, with Latin nomenclature.
26	Bonelli, Stéphane ; 2012 ; Érosion des géomatériaux : érosion interne et de surface ; Lavoisier, Cahan, France ; 403 pages ; ISBN 978-2-7462-2570-1
27	Bouchard, André ; Hay, Stuart ; Brouillet, Luc ; Jean, Martin ; Saucier, Isabelle ; 1991 ; The Rare Vascular Plants of the Island of Newfoundland / Les plantes vasculaires rares de l'Île de Terre-Neuve , Syllogeus No. 65 , bilingual publication / publication bilingue ; Canadian Museum of Nature / Musée canadien de la nature , Ottawa, Ontario, Canada ; 165 p. ; ISBN 0-660-50311-5
28	Bouchard, Claude J. ; Néron, Romain ; Guay, Louise ; 1998 ; Guide d'identification des mauvaises herbes du Québec ; Conseil des productions végétales du Québec , Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec; 253 p. ; ISBN 2-89457-162-3
29	Boulet, Bruno ; 2003 ; Les champignons des arbres de l'est de l'Amérique du Nord ; Les publications du Québec, Sainte-Foy, Québec, Canada ; 727 p. ; ISBN 2-551-19612-4
30	Bouna-Aly, Mohamed O. ; 2000 ; Dictionnaire du génie et des sciences de la terre ; Presses Internationales Polytechniques / Groupe Beauchemin, éditeur , Montréal, Québec, Canada ; 973 p. ; ISBN 2-553-00779-5
31	Briandet, Romain ; Fechner, Lise ; Naitali, Murielle ; Dreanno, Catherine ; 2012 ; Biofilms, quand les microbes s'organisent , 1 ^{re} édition , Collection «Carnets de sciences» ; Éditions Quæ , www.quae.com , c/o INRA , Versailles , France ; 175 p. ; ISBN 978-2-7592-1764-9
32	Brodo, Irwin M. ; Sharnoff, Sylvia Duran ; Sharnoff, Stephen ; with selected drawings by Susan Laurie-Bourque ; 2001 ; Lichens of North America ; Yale University Press, New Haven and London , England, UK , published in collaboration with the Canadian Museum of Nature ; 795 p. ; ISBN 0-300-08249-5
33	Bubar, Carol J. ; McColl, Susan J. ; Hall, Linda M. ; 2000 ; Weeds of the Prairies ; Alberta Agriculture, Food and Rural Development, Edmonton, Alberta, Canada ; 266 p. ; ISBN 0-7732-6147-8
34	Calvet, Raoul ; Chenu, Claire Chenu ; Houot, Sabine Houot ; 2011; Les matières organiques des sols – Rôles agronomiques et environnementaux ; Éditions France Agricole – GFA Éditions, Paris, France; 347 pages; ISBN 978-2-85557-182-9
35	Campy, Michel ; Macaire, Jean-Jacques ; Grosbois, Cécile ; 2013 ; Géologie de la surface : Érosion, transfert et stockage dans les environnements continentaux , 3 ^e édition ; Dunod, Paris , France ; 442 pages ; ISBN 978-2-10-057649-4
36	Champion , Rémi ; 1997 ; Identifier les champignons transmis par les semences , Collection «Techniques et Pratiques» ; INRA Institut National de la Recherche Agronomique, Paris , France , avec l'appui du GEVES (Groupe d'Étude et de Contrôle des Variétés et de Semences) ; 399 p. ; ISBN 2-7380-0702-3
37	Chartrand, Jean-Philippe ; 1999 ; Le Mont-Albert : La randonnée floristique ; Les Éditions Carpe-Diem, Cap-Chat, Québec, Canada ; 95 p. ; ISBN 2-9806305-0-0
38	Cholette, Albert ; 2000 ; Le fer du Nouveau-Québec et la saga de la sidérurgie , la faillite d'un rêve ; Les Presses de l'Université Laval, Sainte-Foy, Québec, Canada ; 434 p. ; ISBN 2-7637-7714-7
39	Christiansen, Paul ; Müller, Mark ; 1999 ; An Illustrated Guide to Iowa Prairie Plants ; University of Iowa Press, Iowa City, Iowa, U.S.A. ; 237 p. ; ISBN 0-87745-660-7
40	Claudi, Renata ; Nantel, Patrick ; Muckle-Jeffs, Elizabeth ; 2002 ; Envahisseurs exotiques des eaux, milieux humides et forêts du Canada ; Ressources naturelles Canada, Ottawa, Ontario, Canada ; 320 p. ; ISBN 0-660-96686-7 ; also available in English under the title <i>Alien Invaders in Canada's Waters, Wetlands and Forests</i> .
41	Clément, Jean-Michel et de nombreux (160) collaborateurs ; 1981 ; Larousse Agricole , 3 ^{ème} édition ; Librairie Larousse, Paris, France ; 1208 p. ; ISBN 2-03-514301-2
42	Cody, William James ; 1979 ; Vascular Plants of Restricted Range in the Continental Northwest Territories, Canada , Syllogeus No. 23 ; National Museum of Natural Sciences, National Museums of Canada ; 57 p. ; ISSN 0704-576X
43	Cody, William James ; 1996 ; Flora of the Yukon Territory ; National Research Council of Canada, NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canada ; 643 p. ; ISBN 0-660-16406-X
44	Cody, William James ; 2000 ; Addendum - Flora of the Yukon Territory ; National Research Council of Canada, NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canada ; 24 p. ; ISBN 0-660-18116-9

45	Collectif ; 2001 ; De la graine à la plante, dans la série «Bibliothèque scientifique» ; Éditions BELIN - Pour la Science , Paris, France ; 158 p. ; ISBN 2-84245-042-6
46	Collectif ; ouvrage réalisé par la compagnie Degrémont (www.degremont.com) Mémento technique de l'eau , 10 ^{ème} édition, Tome 1 et Tome 2 , 2005, Éditions Lavoisier Tec & Doc (www.tec-et-doc.com), Paris, France, ISBN 2-7430-0717-6, 1928 pages. <i>Aussi disponible en langues russe et anglaise.</i>
47	Collectif : par les membres de la Section «Chimie et Fertilité» du Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec [CRAAQ] et de nombreux collaborateurs ; 2003 ; Guide de référence en fertilisation , 1 ^{re} édition (refonte majeure des anciennes éditions du <i>Guide de fertilisation</i> de l'AFEQ et des <i>Grilles de référence en fertilisation</i> du CPVQ) ; publié par le CRAAQ, Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec , Sainte-Foy, Québec, Canada ; 297 p. ; ISBN 2-7649-0034-1
48	Collectif, Association Irrigation Québec ; 2010; Normes pour la conception et l'installation des systèmes d'irrigation horticole ; 5 ^{ème} édition ; L'Association Irrigation Québec www.irrigationquebec.org Saint-Hyacinthe, Québec.
49	Cormack, R.G.H ; 1977 ; WildFlowers of Alberta ; Hurtig Publishers, Edmonton, Alberta, Canada ; 415 p. ; ISBN 0-88830-283-5
50	Côté, Marc; Doucet, René; ainsi que de nombreux collaborateurs ; 2009 ; Manuel de FORESTERIE – Nouvelle édition entièrement revue et augmentée ; publié en collaboration avec l' <i>Ordre des ingénieurs forestiers du Québec</i> ; Éditions MultiMondes, Ville de Québec, Québec, www.multim.com ; 1510 pages; ISBN 978-2-89544-138-0
51	Darveau, Paul ; 1977 ; Sur la piste des fleurs sauvages du Québec ; Educom, Ottawa, Ontario, Canada ; 253 p. ; ISBN 0-88589-7
52	de Parcevaux, Sané ; Huber, Laurent ; 2007 ; Bioclimatologie - Concepts et applications , 1 ^{re} édition , Collection «Synthèses» ; Éditions Quæ, www.quae.com , c/o INRA , Versailles , France ; 330 p. ; ISBN 978-2-7592-0047-4
53	Deneux-Mustin, Sylvie ; Roussel-Debet, Sylvie ; Mustin, Christian ; Henner, Pascale ; Munier-Lamy, Colette ; Colle, Claude ; Berthelin, Jacques ; Garnier-Laplace, Jacqueline ; Leyval, Corrine ; 2003 ; Mobilité et transfert racinaire des éléments en traces : influence des micro-organismes du sol ; Éditions TEC & DOC / Lavoisier , Paris, France ; 282 p. ; ISBN 2-7430-0593-9
54	Derruau, Max ; 2010 ; Les formes du relief terrestre , 8 ^e édition ; Armand Colin, Paris, France ; 238 pages ; ISBN 978-2-200-24428-6
55	Desroches, Jean-François ; Rodrigue, David ; 2004 ; Amphibiens et reptiles du Québec et des Maritimes , collection <i>Guides nature Quintin</i> ; Éditions Michel Quintin, www.editionsmichelquintin.ca , Waterloo, Québec, Canada ; 288 p. ; ISBN 2-89435-244-1
56	Dickinson, Timothy; Metsger, Deborah; Bull, Jenny; Dickinson, Richard; 2004; The ROM field guide to Wildflowers of ONTARIO ; The Royal Ontario Museum, Toronto, Ontario, Canada, www.rom.on.ca ; McClelland & Stewart Ltd., www.mcclelland.com ; 416 page; ISBN 0-77-10-7652-5
57	Dinger, Françoise ; 1997 ; Végétalisation des espaces dégradés en altitude , 1 ^{re} édition; Éditions du CEMAGREF, France ; 144 pages ; ISBN 2-85362-484-6
58	Dixon, Joe B. ; Schulze, Darrell G. and several contributors ; 2002 ; Soil Mineralogy with Environmental Applications , Number 7 in the <i>Soil Science Society of America Book Series</i> ; Soil Science Society of America inc. , Madison, Wisconsin, U.S.A ; 866 p. ; ISBN 0-89118-839-8 ; SSSA web site is http://www.asa-cssa-sssa.org/
59	Duchaufour, Philippe ; 2001 ; Introduction à la science du sol , 6 ^{ème} édition de l'Abégé de pédologie ; Dunod, Paris, France ; 331 p. ; ISBN 2-10-005440-6
60	Dunnet, Nigel ; Clayden, Andy ; 2007 ; RAIN GARDENS – Managing water sustainability in the garden and designed landscape ; Timber Press (www.timberpress.com), Portland, Oregon, United States of America; 188 pages; ISBN 978-0-88192-826-6
61	Duran, Jacques , préface de Pierre-Gilles de Gennes ; 2003 ; Sables émouvants : la physique du sable au quotidien , Bibliothèque scientifique, Éditions Belin, Paris, France ; www.editions-belin.com ; 192 p. ; ISBN 2-7011-3526-5
62	Eash, Neal S. ; Green, Cary J. ; Razvi, Aga ; Bennett, William F. ; 2008 ; Soil Science Simplified , Fifth Edition ; Blackwell Publishing, Ames, U.S.A. ; 246 pages ; ISBN 978-0-8138-1823-8
63	Eckenwalder, James E.; 2009; CONIFERS OF THE WORLD – The Complete Reference ; Timber Press, Portland, Oregon, United States of America, www.timberpress.com ; 720 pages; ISBN-13 : 978-0-88192-974-4
64	Edeline, F ; 2001 ; Le pouvoir autoépurateur des rivières : une introduction critique ; Éditions CEBEDOC , Liège, Belgique et Éditions TEC & DOC , Paris, France ; 240 p. ; ISBN 2-87080-041-X
65	Escarré, Josep ; Houssard, Claudie ; 1990 ; Régulations hydrauliques comparées de populations de Rumex acetosella le long d'un gradient successional postcultural ; Canadian Journal of Botany = Revue canadienne de botanique , Volume 68 , pages 428-434 ; Conseil national de recherches du Canada (CNRC-NRC), Ottawa, Ontario, Canada
66	Euzéby, J.P. ; 2004 ; List of Bacterial Names with Standing in Nomenclature - Genus Azospirillum ; public domain, CICT , www.bacterio.cict.fr/a/azospirillum.html
67	Farrar, John Laird ; 1999 ; Les arbres du Canada , troisième tirage1999 ; Les Éditions Fides, Saint-Laurent, Québec, Canada , conjointement avec le Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada ; 502 p. ; ISBN 2-7621-1824-7 ; This book is published in English under the name <i>Trees in Canada</i> by Fitzhenry and Whiteside Ltd., Markham, Ontario.
68	Fernald, Merritt Lyndon et al ; 1950 ; Gray's Manual of Botany , Eighth (Centennial) Edition - Illustrated ; The American Book Company , New York NY U.S.A. ; Copyright by the President and Fellows of Harvard College ; 1632 p. + a 154 pages synopsis

69	Fortin, J. André ; Chapleau, Marie ; Couture, Michel ; Guay, Edgar ; janvier 1982 ; Décomposition de la matière organique et compostage de surface : une revue de littérature ; Département d'écologie et pédologie, Faculté de foresterie et géodésie, Université Laval ; publié par le Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec en collaboration avec le Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec et la Faculté de foresterie de l'Université Laval ; 89 pages ; aucun numéro ISBN disponible.
70	Foth, Henry D. ; 1978 ; Fundamentals of Soil Science , 6 th edition; John Wiley & Sons, New-York, NY , U.S.A. ; 436 p. ; ISBN 0-471-26792-9
71	Gagnon, Jean Yvon ; 1987 ; Natural Revegetation at the Beattie Tailings, Duparquet, Québec , [about abandoned copper tailings and gold mine tailings & wastes] ; M. Sc.Thesis submitted to the Department of Biology , Queen's University, Kingston, Ontario, Canada ; 161 p.
72	Gauthier, Robert ; 1980 ; La végétation des tourbières et les sphagnes du parc des Laurentides, Québec , numéro 3 de la collection Études écologiques, sous la direction de Miroslav M. Grandtner ; Laboratoire d'écologie forestière, Université Laval , Sainte-Foy, Québec, Canada ; 634 p. ; ISBN 2-920104-02-0
73	Geo ; Janvier 2013 ; Geo Voyage , numéro 11 ; numéro spécial sur les déserts ; Groupe Prisma Média, Gennevilliers, France ; 138 pages ; ISSN 2112-2342
74	Geren, Richard; McCullough, Blake; traduit de l'anglais par Mario Pelletier; 1990; L'Héritage de Cain – Histoire de la Compagnie minière IOC ; La Compagnie minière IOC, Sept-Îles, Québec; 351 pages; publié aussi en anglais sous le titre Cain's Legacy ; ISBN 0-9694838-1-3
75	Gerling, Heather Sinton ; Willoughby, Michael G. ; Schoepf, Andrew ; Tannas, Clare A. ; Tannas, Kathy E. ; 1996 ; A Guide to Using Native Plants on Disturbed Lands ; Alberta Agriculture, Food and Rural Development , Alberta Environmental Protection , Edmonton, Alberta, Canada ; 247 p. ; ISBN 0-7732-6125-7
76	Girard, Michel-Claude ; Walter, Christian ; Rémy, Jean-Claude ; Berthelin, Jacques ; Morel, Jean-Louis ; Sols et environnement , 2 ^{ème} édition actualisée, 2011, Éditions Dunod (www.dunod.com), Paris, France, en collaboration avec l'Association Française pour l'Etude des Sols; 896 pages; ISBN 978-2-1005-54900-9
77	Gleason, Henry A. ; 1952 ; The New Britton and Brown Illustrated Flora of the Northeastern United States and Adjacent Canada , Volume 1, Volume 2 & Volume 3 , Fifth printing 1974 ; published for the New York Botanical Garden by Hafner Press, a division of MacMillan Publishing Company Inc., New York, NY, U.S.A. ; Volume 1 has 482 pages, Volume 2 has 655 pages and Volume 3 has 596 pages; Library of Congress Catalog Card Number 63-16478
78	Gleason, Henry A. ; Cronquist, Arthur ; 1963 ; Manual of Vascular Plants of Northeastern United States and Adjacent Canada ; The New York Botanical Garden , published by D. Van Nostrand Company Inc., Princeton, New Jersey, U.S.A. ; 810 p. + a 51 pages glossary and general key ;
79	Gobat, Jean-Michel ; Aragno, Michel ; Matthey, Willy ;1998 ; Le Sol Vivant , Bases de pédologie , Biologie des sols ; 1 ^{ère} édition ; Collection «Gérer l'environnement» No. 14 ; Presses polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, Suisse ; 519 p. ; ISBN 2-88074-367-2
80	Gobat, Jean-Michel ; Argano, Michel ; Matthey, Willy ; 2010 ; Le sol vivant - Bases de pédologie, Biologie des sols , 3 ^{ème} édition revue et augmentée ; Presses polytechniques et universitaires romandes (www.ppur.org) , Lausanne, Suisse ; 819 pages; ISBN 978-2-88074-718-3
81	Goudie, Andrew S. ; Livingston, Ian ; Stokes, Stephen ; 1999 ; Aeolian Environments, Sediments and Landforms ; John Wiley and Sons, New York, U.S.A. ; 325 pages ; ISBN 0-471-98573-2
82	Grabherr, Georg ; 1999 ; Guide des écosystèmes de la terre ; Éditions Eugen Ulmer, Paris, France ; 364 pages ; ISBN 2-84138-092-0
83	Gras , Raymond ; 1994 ; Sols caillouteux et production végétale , Collection «Mieux comprendre» ; INRA Institut National de la Recherche Agronomique, Paris , France ; 175 p. ; ISBN 2-7380-0521-7
84	Greenberg, Gary ; 2008 ; A Grain of Sand : Nature's Secret Wonder ; Voyageur Press , Minneapolis, United States of America; 112 pages, ISBN 978-0-7603-3198-9
85	Hatfield, J.L. ; Baker, J.M. , co-editors, with numerous contributors; 2005; Micrometeorology in Agricultural Systems, Agronomy Monograph № 47 ; The American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, www.agronomy.org , Madison, Wisconsin, United States of America; 584 pages; ISBN 0-89118-158-X
86	Hayes, P.A. ; Steeves, T.A. ; Neal, B.R. ; 1989 ; An architectural analysis of Shepherdia canadensis and Shepherdia argentea : patterns of shoot development ; Canadian Journal of Botany = Revue canadienne de botanique , Volume 67 , pages 1870-1877 ; National Research Council of Canada [NRC-CNRC], Ottawa, Ontario, Canada
87	Hinds, Harold R. ; 2000 ; Flora of New Brunswick , 2 nd Edition ; Department of Biology, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canada ; 695 p. ; ISBN 1-55131-015-5
88	Hitchcock, A.S. ; Chase, Agnes ; 1950 ; Manual of the Grasses of the United States , 2 nd Edition revised by Agnes Chase, Volume 1 and Volume 2 ; Dover Publications inc. , New-York NY , U.S.A. ; 1051 p. ; ISBN 0-486-22717-0 [Vol. 1] & ISBN 0-486-22718-9 [Vol. 2] .
89	Holdren, Chris ; Jones, William W. ; Taggart, Judy ; editors ; 2001 ; Managing Lakes and Reservoirs ; published by the North American Lake Management Society and the Terrene Institute, in cooperation with the Assessment and Watershed Protection Division of the Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency [EPA] , Madison, Wisconsin, U.S.A ; 382 p.; EPA number 841-B-01-006 ; ISBN 1-880686-15-5

90	Hurd, Emerenciana G. ; Shaw, Nancy L. ; Mastrogiovanni, Joy ; Smithman, Lynda C. ; Goodrich, Sherel ; 1998 ; Field guide to Intermountain Sedges , General Technical Report RMRS-GTR 10 ; U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden, Utah, U.S.A. ; 282 p. ; numerous colour photos ; out of print ; available on Internet as an Acrobat PDF file at http://www.fs.fed.us/rm/main/pubs/electronic/rmrs_gtr.html , file size approx. 12 MB. NOTE : very good field guide to identify sedges, several species described are native to Northeastern North America as well.
91	Ildefonse, Benoît ; Allain, Catherine ; Coussot, Philippe ; 4 ^{ème} trimestre 1997 ; Des grands écoulements naturels à la dynamique du tas de sable , <i>Introductions aux suspensions en géologie et en physique</i> , 1 ^{re} édition ; Les Éditions du CEMAGREF ; diffusion par TEC et DOC, France ; 254 p. ; ISBN 2-85362-485-4
92	Ireland, Robert R. ; Bellolio-Trucco, Gilda ; 1987 ; Illustrated Guide to Some Hornworts, Liverworts and Mosses of Eastern Canada , Syllogeus No. 62 ; National Museums of Canada, National Museum of Natural Sciences, Ottawa, Ontario, Canada ; 205 p. ; ISSN 0704-576X
93	Jacques Bonnin ; 1984 ; L'eau dans l'antiquité - L'hydraulique avant notre ère ; Éditions Eyrolles, www.editions-eyrolles.com ; Paris, France; 450 pages; ISSN 0399-4198
94	Jauzein, Philippe ; 1995 ; Flore des champs cultivés , collection Techniques et Pratiques ; INRA Institut national de recherche agronomique, Paris, France ; 898 p. ; ISBN 2-7380-0594-2
95	Jensen, Marvin Eli (M.E.) ; 1981; Design and Operation of Farm Irrigation Systems , ASAE Monograph N° 3 ; American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, États-Unis d'Amérique, ISBN 0-916150-28-3, 829 pages.
96	Johnson, Derek ; Kershaw, Linda ; MacKinnon, Andy ; Pojar, Jim et al ; 1995 ; Plants of the Western Boreal Forest & Aspen Parkland ; Canadian Forest Service & Lone Pine Publishing, Edmonton, Alberta, Canada ; 392 p. ; ISBN 1-55105-058-7
97	Kershaw, Linda ; MacKinnon, Andy ; Pojar, Jim ; 1998 ; Plants of the Rocky Mountains ; Lone Pine Publishing, Edmonton, Alberta, Canada ; 384 p. ; ISBN 1-55105-088-9
98	Kozloff, Eugene N. ; 2005 ; PLANTS of Western Oregon, Washington & British Columbia ; Timber Press, www.timberpress.com , Portland, Oregon, U.S.A. ; 512 p. ; ISBN 0-88192-522-5 .
99	Laan, P. ; Blom, C.W.P.M. ; July 1990 ; Growth and Survival Responses of Rumex Species to Flooded and Submerged Conditions : The Importance of Shoot Elongation, Underwater Photosynthesis and Reserve Carbohydrates ; Journal of Experimental Botany ; Volume 41, Number 228, pages 775-783
100	Lal, Rattan ; McSweeney, Kevin ; Dick, Warren A. et al ; 2001 ; Soil Carbon Sequestration and the Greenhouse Effect , SSSA Special Publication Number 57, The Soil Science Society of America , Madison, Wisconsin, U.S.A. ; http://www.asa-cssa-sssa.org/ ; 236 p. ; Library of Congress Card Number 00 136275 ; ISBN 0-89118-836-3
101	Lal, Rattan ; Follett, Ronald F. ; co-editors ; with many contributors ; 2009 ; Soil Carbon Sequestration and the Greenhouse Effect ; 2 nd Edition; SSSA Special Publication number 57; Soil Science Society of America, www.soils.org ; Madison, Wisconsin, United States of America; ISBN 978-0-89118-850-6
102	Lamoureux, Gisèle ; Allard, Claude ; Durand, Lucette ; Houle, Gilles et al ; 1978 ; Plantes sauvages des villes et des champs , collection <i>Connaissance du Québec</i> , série <i>Sciences naturelles</i> ; co-édition Le groupe Fleurbec et l'Éditeur officiel du Québec, Ville de Québec, Québec, Canada ; 273 p. ; ISBN 2-401-00079-8 et ISBN 2-920174-00-2
103	Lamoureux, Gisèle ; Boudreau, Francis ; Charbonneau, Marie-Ève ; Durand, Lucette et al ; 1985 ; Plantes sauvages du bord de la mer , guide d'identification Fleurbec ; Le groupe Fleurbec, auteur et éditeur, Saint-Augustin, Québec, Canada ; 286 p. ; ISBN 2-920174-08-8
104	Lamoureux, Gisèle ; collaboration à la photographie Roger Larose ; 2002 ; Flore printanière , Guide d'identification Fleurbec ; FLEURBEC Éditeur , Saint-Henri-de-Lévis, Québec, Canada ; 575 p. ; ISBN 2-920174-15-0
105	Lamoureux, Gisèle ; Durand, Lucette ; Morissette, France et al ; 1981 ; Plantes sauvages comestibles , guide d'identification Fleurbec ; Le groupe Fleurbec, auteur et éditeur, Saint-Cuthbert, Québec, Canada ; 167 p. ; ISBN 2-920174-03-7
106	Lamoureux, Gisèle ; Durand, Lucette ; Morissette, France et al ; 1983 ; Plantes sauvages des villes, des champs et en bordure des chemins , guide d'identification Fleurbec ; Le groupe Fleurbec, auteur et éditeur, Saint-Augustin, Québec, Canada ; 208 p. ; ISBN 2-920174-07-X
107	Lamoureux, Gisèle ; Lamoureux, Sylvain ; Gauthier, Robert Firmin et al ; 1993 ; Fougères, prêles et lycopodes , Guide d'identification Fleurbec ; Groupe Fleurbec, auteur et éditeur, Saint-Henri-de-Lévis, Québec, Canada ; 511 p. ; ISBN 2-920174-13-4
108	Lamoureux, Gisèle ; Robege, Benoît ; Charbonneau, Marie-Ève ; Picard, Jacques et al ; 1987 ; Plantes sauvages des lacs, rivières et tourbières , guide d'identification Fleurbec ; Le groupe Fleurbec, auteur et éditeur, Saint-Augustin, Québec, Canada ; 399 p. ; ISBN 2-920174-10-X
109	Lamoureux, Gisèle et collaborateurs ; 1975 ; Plantes sauvages printanières , collection <i>Connaissance du Québec</i> , série <i>Sciences naturelles</i> ; 6 ^{ème} tirage de la 1 ^{re} édition, mars 1982 ; Éditeur officiel du Québec, Gouvernement du Québec, Ville de Québec, Québec, Canada ; 247 p. ; ISBN 2-89001-039-2
110	Laroche, Olivier ; juillet 2011 ; Revégétalisation de sites miniers et valorisation de boues de stations d'épuration : cas de la Nouvelle-Calédonie ; Essai pour l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.), sous la direction de Pascal Pagand, Centre universitaire de formation en environnement, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec; 117 pages

111	Lauber, Konrad ; Wagner, Gerhart ; 2001 ; Flora Helvetica. Flore illustrée de Suisse , 2 ^{ème} édition ; Éditions Paul Haupt, Berne, Suisse ; 1615 p. + une Clef de détermination comportant 275 pages ; ISBN 3-258-06321-4 . Note: la Flore nord-américaine comporte plusieurs espèces indigènes circumboréales qui sont décrites et illustrées par d'excellentes photos dans cette <i>Flora Helvetica</i> .
112	Legasy, Karen L. ; 1995 ; Forest plants of northeastern Ontario ; Lone Pine Publishing Edmonton, Alberta, Canada ; 352 p. ; ISBN 1-55105-064-1
113	Legros, Jean-Paul ; 2007 ; Les grands sols du monde ; 1 ^{re} édition ; Collection «Science et technologie de l'environnement» ; Presses polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, Suisse , édité avec le concours de l'Association Française pour l'étude du Sol ; 574 p. ; ISBN 978-2-88074-723-7
114	Looman, J. ; 1983 ; 111 range and forage plants of the Canadian prairies , Agriculture Canada Publication number 1751 ; Agriculture Canada, Ottawa, Ontario, Canada ; 255 p. ; ISBN 0-660-11387-2
115	MacKinnon, Andy ; Pojar, Jim ; Coupé , Ray et al ; 1999 ; Plants of Northern British Columbia , expanded 2 nd Edition ; Lone Pine Publishing, www.lonepinepublishing.com , Edmonton, Alberta, Canada, jointly with the British Columbia Ministry of Forests ; 352 p. ; ISBN 1-55105-108-7
116	Mainguet, Monique ; Dumay, Frédéric ; 2006 ; Combattre l'érosion éoliennes : un volet de la lutte contre la désertification ; Les dossiers thématiques du CSFD, Numéro 3, CSFD/Agropolis, Montpellier, France, 44 pages ; ISSN 1772-6964
117	Majdoub, Rajouene ; Côté, Caroline ; Labidi, Mohamed ; Guay, Katline ; Généreux, Mylène ; 2005 ; Impact de l'utilisation des engrains de ferme sur la qualité microbiologique de l'eau souterraine (revue de littérature) ; Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA, www.irda.qc.ca) avec la participation du Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec ; 128 pages ; ISBN 2-922851-35-4 .
118	Mäkinen Yrjö ; Kallio, Paavo ; January 1980 ; Preliminary checklist of the vascular plants in the Shefferville Area of the Québec-Labrador Peninsula , McGill Subarctic Research Paper No. 30 , Environmental Studies in the Central Québec-Labrador Peninsula: Finnish Contributions [Kewo Subarctic Research Institute, University of Turku, Finland] ; Published by the Centre for Northern Studies and Research, McGill University , Montréal, Québec, Canada ; 36 p.
119	Mallory, Carolyn; Aiken, Susan; 2004; Common Plants of NUNAVUT ; text in English and Inuktitut; Nunavut Department of Education, Nunavut Wildlife Management Board, Canadian Museum of Nature; 200 pages; ISBN 1-55015-150-9
120	Marie-Victorin, Frère [Kirouac, Conrad] ; Frère Alexandre ; Rouleau, Ernest ; Brouillet, Luc ; Goulet, Isabelle et al; 1995 ; Flore Laurentienne , 3 ^{ème} édition ; Les Presses de l'Université de Montréal , Montréal, Québec, Canada ; 1083 p. ; ISBN 2-7606-1650-9
121	Marie-Victorin, Frère [Kirouac, Conrad] ; Frère Rolland-Germain; 1969 ; Flore de l'Anticosti-Minganie ; Les Presses de l'Université de Montréal , Montréal, Québec, Canada ; 528 p.
122	Mathieu, Clément ; Audoye, Paul ; Chossat, Jean-Claude ; Bases techniques de l'irrigation par aspersion , 2007, Éditions Lavoisier Tec & Doc (www.tec-et-doc.com), Paris, France, 470 pages; ISBN 2-7430-0946-2
123	Mathieu, Clément; 2009; Les principaux sols du monde – Voyage à travers l'épiderme vivant de la planète Terre ; Éditions Lavoisier Tec & Doc, Paris, France, www.tec-et-doc.com ; 233 pages; ISBN 978-2-7430-1196-3
124	Mazoyer, Marcel et de nombreux collaborateurs ; 2002 ; Larousse Agricole , 4 ^{ème} édition ; Librairie Larousse/VUEF, Paris, France ; 768 p. ; ISBN 2-03-591022-6
125	McGregor, Malcolm; 2008; Saxifrages – A definitive Guide to the 2000 Species, Hybrids & Cultivars ; Timber Press, Portland, Oregon, United States of America, www.timberpress.com ; 384 pages; ISBN-13 : 978-0-88192-8808
126	McGregor, Ronald L. ; Barkley, T.M. ; Brooks Ralph E. ; Schofield Eileen K. ; the Great Plains Flora Association ; 1986 ; Flora of the Great Plains ; the University Press of Kansas, Lawrence, Kansas, U.S.A. ; 1402 p. ; ISBN 0-7006-0295-X
127	Meunier, Alain ; 2003 ; Argiles , Laboratoire «HYDR'ASA» , Université de Poitiers, Éditions scientifiques GB, Paris, France ; 433 p. ; ISBN 284703014X
128	Meyer, Sylvie ; Reeb, Catherine ; Bosdeveix, Robin ; 2004 ; Botanique : Biologie et Physiologie Végétales , Collection «Sciences fondamentales» , Éditions Maloine, Paris , France ; 461 p. ; ISBN 2-224 02767 2
129	Mills, Harry A. ; J. Benton Jones, Jr. ; 1996 ; Plant Analysis Handbook II , a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide, revised edition ; Micro Macro Publishing, Jefferson City , Missouri, U.S.A. ; 422 p. ; ISBN 1-878148-052
130	Mitchell, Richard S. ; Dean, J. Kenneth ; Polygonaceae (Buckwheat Family) of New York State , Bulletin Number 431 ; New York State Museum, The University of the State of New York, The State Education Department, Albany, New York, U.S.A.
131	Morère, Jean-Louis ; Pujol, Raymond et de nombreux collaborateurs ; 2003 ; Dictionnaire raisonné de BIOLOGIE ; Éditions Frison-Roche, Paris, France ; 1222 p. ; ISBN 2-87671-300-4
132	Morgan, Roy P.C. ; 2005 ; Soil Erosion and Conservation , Third Edition ; Blackwell Publishing, Oxford, United Kingdom ; 304 pages ; ISBN 978-1-4051-1781-4
133	Morisset, Pierre ; Payette, Serge ; Lavoie, Gildo ; 1987 ; Flore du Québec nordique et des territoires adjacents , Volume 1 , Volume 2 et Volume 3 , 1 ^{re} version préliminaire ; Centre des études nordiques et Herbier Louis-Marie, Université Laval, Sainte-Foy, Québec, Canada ; 785 p. ; non publié officiellement, exemplaires photocopiés obtenus de l'Herbier Louis-Marie.

134	Moser, Lowell E. ; Buxton, Dwayne R. ; Casler, M.D. <i>et al</i> ; 1996 ; Cool-Season Forage Grasses , AGRONOMY Monograph Number 34 ; The American Society of Agronomy, The Crop Science Society of America, The Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, U.S.A. ; 841 p. ; Item number 40310 ; unfortunately, ISBN number is not available
135	Moss, Ezra Henry ; Packer, John G. ; 1994 ; Flora of Alberta , A Manual of Flowering Plants, Conifers, Ferns and Fern Allies found growing without Cultivation in the Province of Alberta, Canada , 2 nd Edition, revised ; University of Toronto Press, Toronto, Ontario, Canada ; 687 p. ; ISBN 0-8020-2508-0
136	Newsholme, Christopher ; 1992 ; Willows : the genus Salix , 1 st paperback edition 2002 ; Timber Press Inc., Portland, Oregon, U.S.A. ; 224 p. ; ISBN 0-88192-565-9
137	Oil Sands Vegetation Reclamation Committee ; October 1998 ; Guidelines For Reclamation To Forest Vegetation In the Athabasca Oil Sands Region, Report # ESD/LM/99-1 ; Alberta Environmental Protection, Environmental Service , Fort McMurray, Alberta ; 212 p. ; ISBN 0-7785-0411-5.
138	Op den Camp, Rik, et al.. "LysM-Type Mycorrhizal receptor Recruited for Rhizobium Symbiosis in Nonlegume <i>Paraspis</i> ." Science #331 (6019): pages 909-912.
139	Pahl, M.D. ; Smreciu, Ann ; 1999 ; Growing Native Plants of Western Canada , Common Grasses & Wildflowers ; Alberta Agriculture, Food and Rural Development, Alberta Research Council, Edmonton, Alberta, Canada ; 118 p. ; ISBN 0-7732-6138-9
140	Pansu, Marc ; Gautheyron, Jacques ; 2003 ; L'analyse du sol : minéralogique, organique et minérale ; 1 ^{re} édition ; Springer-Verlag France et Institut de recherche pour le développement (IRD) www.ird.fr/editions/ , Montpellier, France ; 1012 p. ; ISBN 2-287-59774-3
141	Parent, Léon-Étienne; Gagné, Gilles; avec de nombreux collaborateurs; 2010; Guide de référence en fertilisation ; 2 ^{ème} édition; C.R.A.A.Q. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, Commission chimie et fertilité des sols, Québec, Québec, www.craaq.qc.ca ; 473 pages; ISBN 978-2-7649-0231-8
142	Parker, Sybil P., Editor in Chief ; 1984 ; McGraw-Hill dictionary of scientific and technical terms , 3 rd Edition ; the McGraw-Hill Book Company, New-York, NY, U.S.A. ; 1861 p. ; ISBN 0-07-045269-5
143	Parriaux, Aurèle ; 2006 ; GÉOLOGIE : bases pour l'ingénieur ; 1 ^{re} édition ; Presses polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, Suisse ; 516 p. ; ISBN 2-88074-555-7
144	Ponce-Hernandez, Raul, with contributions from Parviz Koohafkan and Jacques Antoine ; 2004 ; Assessing carbon stocks and modelling win-win scenarios of carbon sequestration through land-use changes ; Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO] , Roma, Italia ; this book can be downloaded from ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/008/y5490e/y5490e00.pdf but the CD-ROM software must be purchased ; 168 p. ; ISBN 92-5-105158-5
145	Porsild, Alf Erling ; 1951 ; Plant Life in the Arctic , reprinted from the Canadian Geographical Journal , March 1951 ; published by the National Museum of Canada , Ottawa, Ontario, Canada ; 28 pages , with 22 b. & w. photographs and 7 couleur photographs.
146	Porsild, Alf Erling ; Cody, William James ; 1980 ; Vascular Plants of Continental Northwest Territories, Canada ; Natural Museum of Natural Sciences, National Museums of Canada, Ottawa, Ontario, Canada ; 667 p. ; ISBN 0-660-00119-5
147	Porsild, Alf Erling ; illustrated by Mrs. Dagny Tande Lid ; 1979 ; Rocky Mountain Wild Flowers ; new edition of the 1974 publication, second printing 1986 ; National Museum of Natural Sciences, National Museums of Canada, Ottawa, Ontario, Canada ; 454 p. ISBN 0-660-00073-3
148	Porsild, Alf Erling ; illustré par Mme. Dagny Tande Lid ; 1974 ; Plantes sauvages des montagnes Rocheuses , Collection d'Histoire naturelle no. 2 ; Musée national des Sciences naturelles, Musées nationaux du Canada, Ottawa, Ontario, Canada ; 450 p. ISBN 0-660-00069-5
149	Prescott, Jacques ; Richard, Pierre ; 1996 ; Mammifères du Québec et de l'Est du Canada , collection Guides nature Quintin ; Éditions Michel Quintin, www.editionsmichelquintin.ca , Waterloo, Québec, Canada ; 399 p. ; ISBN 2-89435-081-3
150	Publication no. 1646 ; Commission canadienne de pédologie , Comité de classification des sols ; 1978 ; Le système canadien de classification des sols , 1 ^{re} édition , réimpression de 1981 ; Direction générale de la recherche, Ministère de l'Agriculture du Canada, Ottawa, Ontario, Canada ; 171p. , ISBN 0-660-01809-8
151	Publication no. 1646 ; Groupe de travail sur la classification des sols ; 2002 ; Le système canadien de classification des sols , 3 ^{ème} édition ; Direction générale de la recherche, Ministère de l'Agriculture et de l'Agro-Alimentaire du Canada, publié par le Conseil national de recherches du Canada (CNRC-NRC), Ottawa, Ontario, Canada ; 196 p. ; ISBN 0-660-96059-1
152	Purvis, William ; 2000 ; Lichens , Natural World Series ; Smithsonian Institution Press, Washington, D.C., U.S.A. <i>in association with</i> The Natural History Museum, London, England, UK ; 112 p. ; ISBN 1-56098-879-7
153	Racette, Suzanne ; Torrey, John G. ; Berg, R. Howard ; July 1991 ; Sporulation in root nodules of actinorhizal plants inoculated with pure cultured strains of Frankia ; Canadian Journal of Botany = Revue canadienne de botanique , Volume 69 , Number 7 , pages 1471-1476 ; National Research Council of Canada [NRC-CNRC], Ottawa, Ontario, Canada

154	Racette, Suzanne ; Torrey, John G. ; October 1989 ; Root nodule initiation in <i>Gymnostoma</i> (Casuarinaceae) and <i>Shepherdia</i> (Elaeagnaceae) induced by <i>Frankia</i> strain HFPGp1 ; Canadian Journal of Botany = Revue canadienne de botanique , Volume 67 , Number 10 , pages 2873-2879 ; National Research Council of Canada [NRC-CNRC], Ottawa, Ontario, Canada
155	Raes, Dirk ; 2009 ; The ETo calculator – Evapotranspiration from a reference surface (Land and water digital media series Nº 36) , version 3.1 ; Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, FAO (www.fao.org), Rome, Italie, ISBN 92-5-106266-8. CD-ROM et manuel d'utilisation de 36 pages.
156	Riley, John L. ; 2003 ; Flora of the Hudson Bay Lowland and its Postglacial Origins ; <i>The Nature Conservancy of Canada</i> , published by the National Research Council of Canada , NRC Press, Ottawa, Ontario, Canada ; 236 p. ; ISBN 0-660-18941-0
157	Ringius, Gordon S. ; Sims, Richard A. ; illustrations par Susan J. Meades ; 1998 ; Plantes indicatrices des forêts canadiennes ; Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada, Ottawa, Ontario, Canada ; 217 p. ; ISBN 0-660-95958-5
158	Robert, Michel [rapport basé sur le travail de _ ; INRA, Paris, France] ; 2002 ; La séquestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion des terres : Rapport sur les ressources en sols du monde Nº 96 ; Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture [FAO] , Roma, Italia ; livre téléchargeable à partir de http://www.fao.org/publishing/index_fr.htm en utilisant le mot clé «séquestration» ; 70 p. ; aucun numéro ISBN disponible.
159	Roland, Albert E. ; Zinck, Marian ; 1998 ; Roland's Flora of Nova Scotia , 3 rd Edition , Volume 1 and Volume 2 ; the Nova Scotia Museum & Nimbus Publishing , Halifax, Nova Scotia, Canada ; 1297 p. ; ISBN 1-55109-230-1
160	Rouleau, Raymond ; Masson, Pierre ; Kedl, Eugen et al ; 1974 ; Petite flore forestière du Québec , collection <i>Connaissance du Québec</i> , série <i>Sciences naturelles</i> ; Ministère des Terres et Forêts , Éditeur officiel du Québec, Ville de Québec, Québec, Canada ; 216 p.
161	Rousseau, Camille ; 1974 ; Géographie floristique du Québec-Labrador , Travaux et documents du Centre d'études nordiques Numéro 7 ; Les Presses de l'Université Laval , Sainte-Foy, Québec, Canada ; 799 p. ; ISBN 0-7746-6659-5
162	Sarmiento, Jorge L. ; Gruber, Nicolas ; August 2002 ; Sinks for Anthropogenic Carbon ; Physics Today, Volume 55, Issue 8 , available on Internet at www.aip.org/pt/vol-55/iss-8/p30.html ; 12 p. and six (6) figures/graphics. Published by the <i>The American Institute of Physics</i> .
163	Scott, Peter J. ; paintings by Mrs Dorothy Black ; 2006 ; Wildflowers of Newfoundland and Labrador ; Boulder Publications, www.boulderpublications.ca , Portugal Cove-St. Philip's, Newfoundland & Labrador ; 289 p. ISBN 0-9738501-4-0
164	Shaw, A. Jonathan ; Goffinet, Bernard ; 2000 ; Bryophyte Biology ; Cambridge University Press, Cambridge, England, UK ; 476 p. ; ISBN 0-521-667941 (paperback)
165	Skaggs, R. Wayne ; van Schilfgaarde, Jan , Editors, with numerous contributors ; 1999 ; Agricultural Drainage , AGRONOMY Monograph Number 38 ; The American Society of Agronomy, The Crop Science Society of America, The Soil Science Society of America , Madison, Wisconsin, U.S.A. ; http://www.asa-cssa-sssa.org/ ; 1328 p. ; Library of Congress Card Number 99-073092 ; ISBN 0-89118-141-5
166	Smith, Jean ; Parrot, Louis ; 1984 ; Arbres, arbustes, arbisseaux du Québec : comment les identifier en toutes saisons , 8 ^{ème} édition ; Ministère de l'Énergie et des Ressources, Gouvernement du Québec, Ville de Québec, Québec ; 158 p. ; ISBN 2-551-06009-5
167	Smith, Martin ; Allen, Richard ; Pereira, Luis ; 1996 ; Revised FAO methodology for Crop Water Requirements in Evapotranspiration and Irrigation Scheduling published jointly by <i>The American Society of Agricultural Engineers, The Irrigation Association, The International Commission on Irrigation and Drainage</i> , ISBN0-929355-82-2, pp.116 to 123, 1166 pages
168	Smreciu, E. Ann ; Sinton, Heather M. ; Walker, David G. ; Bietz, Jeanie K. ; 2003 ; Establishing Native Plant Communities ; Alberta Agriculture, Food and Rural Development, Alberta Environment and Alberta Sustainable Resource Development, Edmonton, Alberta, Canada ; 93 p. ; ISBN 0-7732-6146-X
169	Soil Science Society of America ; 2008 ; Glossary of Soil Science Terms ; Soil Science Society of America, Madison, U.S.A. ; 87 pages ; ISBN 978-0-89118-851-3
170	Soper, James H. ; Heimburger, Margaret L. ; 1982 ; Shrubs of Ontario , a Life Sciences Miscellaneous Publication , Fourth printing 1994 ; The Royal Ontario Museum , Toronto, Ontario, Canada ; 495 p. ; ISBN 0-88854-283-6
171	Soper, James H. ; Szczawinski, Adam F. ; 1976 ; Mount Revelstoke National Park Wild Flowers , Natural History Series, No. 3 ; National Museum of Natural Sciences, National Museums of Canada, Ottawa, Ontario, Canada, jointly with Parks Canada, Department of Indian and Northern Affairs and the British Columbia Provincial Museum ; 96 p. ; ISBN 0-660-00003-2
172	Spichiger, Rodolphe-Édouard ; Savolainen, Vincent V. ; Figeat, Murielle ; 2000 ; Botanique systématique des plantes à fleurs , Une approche phylogénétique nouvelle des Angiospermes des régions tempérées et tropicales, 1 ^{re} Édition , Collection «Biologie» ; Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, Suisse ; 372 p. ; ISBN 2-88074-417-2
173	Tabatabai, Ali M. ; Beaton J. D. ; Fox, Robert L. and several contributors ; 1986 ; Sulfur in Agriculture ; AGRONOMY Monograph Number 27 ; The American Society of Agronomy, The Crop Science Society of America, The Soil Science Society of America , Madison, Wisconsin, U.S.A. ; http://www.asa-cssa-sssa.org/ ; 668 p. ; ISBN 0-89118-089-3
174	Tack, Francis ; Robin, Paul ; 2002 ; Dunes ; Vilo, Paris, France ; 283 pages ; ISBN 2-719-105-783

175	Tannas, Kathy ; 2003 ; Common Plants of the Western Rangelands, Volume 1 : Grasses and Grass-like Species , 3 rd Edition ; Olds College and Alberta Agriculture, Food and Rural Development, Edmonton, Alberta, Canada ; 356 p. ; ISBN 0-7732-6154-0
176	Tannas, Kathy ; 2003 ; Common Plants of the Western Rangelands, Volume 2 : Trees and Shrubs , 2 nd Edition ; Olds College and Alberta Agriculture, Food and Rural Development, Edmonton, Alberta, Canada ; 192 p. ; ISBN 0-7732-6160-5
177	Tannas, Kathy ; 2004 ; Common Plants of the Western Rangelands, Volume 3 : Forbs , 2 nd Edition ; Olds College and Alberta Agriculture, Food & Rural Development, Edmonton, Alberta, Canada ; 505 p. ; ISBN 0-7732-6162-1
178	Tiercelin, Jean-Robert ; 2008 ; L'eau et les espaces verts ; Éditions Lavoisier Tec & Doc (www.tec-et-doc.com), Paris, France, ISBN 2-7430-1070-3, 172 pages.
179	Tiercelin, Jean-Robert ; Vidal, Alain ; 2006 ; Traité d'irrigation ; 2 ^{ème} édition mise à jour et enrichie ; Éditions Lavoisier Tec & Doc (www.tec-et-doc.com), Paris, France, ISBN 2-7430-0910-1, 1262 pages.
180	Tiévant, Pascale ; 2001 ; Guide des lichens , collection <i>Les guides du naturaliste</i> ; Delachaux et Niestlé, Lausanne, Suisse ; 304 p. ; ISBN 2-603-01211-8
181	Travaux de l'institut de géographie de Reims ; Érosion, aléas naturels et cartographie ; UER Lettres et Sciences Humaines, Reims, France ; 162 pages ; ISSN 0048-7163
182	Travaux de l'institut de géographie de Reims ; Géomorphologie et risques naturels ; UER Lettres et Sciences Humaines, Reims, France ; 162 pages ; ISSN 0048-7163
183	Travaux de l'institut de géographie de Reims ; Le vent mécanisme d'érosion, de dégradation, de désertification, notion d'échelle, de budget sédimentaire, de vulnérabilité des paysages ; UER Lettres et Sciences Humaines, Reims, France ; 142 pages ; ISSN 0048-7163
184	United Nations Environment Programme ; 2007 ; Global Environment Outlook GEO, : environment for development ; Progress Press Ltd , Valletta , Malta ; www.unep.org ; 540 p. ; ISBN 978-92-807-2836-1 . This publication is the continuation, enrichment and update of the Brundtland Report Our Common Future first published twenty years ago, in 1987. Is it a worldwide assessment of the present status of the biosphere.
185	Visser, S. ; Danielson, R.M. ; Parkinson, D. ; June 1991 ; Field performance of <i>Elaeagnus commutata</i> and <i>Shepherdia canadensis</i> (Elaeagnaceae) inoculated with soil containing <i>Frankia</i> and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi ; Canadian Journal of Botany = Revue canadienne de botanique , Volume 69 , Number 6 , pages 1321-1328 ; National Research Council of Canada [NRC-CNRC], Ottawa, Ontario, Canada
186	Vitosh, M.L. ; Warncke, D.D. ; Lucas, R.E. ; August 1994 ; Secondary and Micronutrients for Vegetables and Field Crops , Publication E-486, Michigan State University Extension, Department of Crop and Soil Sciences, East Lansing, Michigan, U.S.A. ; 18 p.
187	Voesenek, L.A. ; Blom, C.W.P.M. ; Pouwels, R.H.W. ; 1989 ; Root and shoot development of <i>Rumex</i> species under waterlogged conditions ; Canadian Journal of Botany = Revue canadienne de botanique , Volume 67 , pages 1865-1869 ; National Research Council of Canada [NRC-CNRC], Ottawa, Ontario, Canada.
188	Von Loh, Jim ; Seiple, Rex A. ; Clark, Dina and several contributors ; October 1998 ; Native Plant Revegetation Guide for Colorado, Caring for the Land Series Volume III ; Colorado Natural Areas Program, Colorado State Parks, Colorado Department of Natural Resources, Colorado, U.S.A ; 258 p.
189	Warner, Thomas T. ; 2004 ; Desert Meteorology , 1 st Edition ; Cambridge University Press , www.cambridge.org , Cambridge , United Kingdom ; 611p. ; ISBN 0 521 81798 6
190	Weier, T. Elliot ; Stocking, C. Ralph ; Barbour, Michael G. ; Rost, Thomas L. ; 1982 ; Botany, An Introduction to Plant Biology , 6 th Edition ; John Wiley & Sons , New York , NY, U.S.A. ; 720 p. ; ISBN 0-471-01561-X
191	Weill, Anne, Ph.D., agronome ; 2009 ; L'évaluation visuelle de l'état du sol – La méthode du profil de sol agronomique ; Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec C.R.A.A.Q. www.craaq.qc.ca , Québec, Québec ; 47 pages, en couleurs ; ISBN 978-2-7649-0218-9
192	Whitelock, Loran M. ; 2002 ; The Cycads ; Timber Press, www.timberpress.com , Portland, Oregon, U.S.A. ; 374 p. ; ISBN 0-88192-522-5 ; a monograph about the order of <i>Cycadales</i> , very ancient vascular plants originating 200 million years ago and still well alive today.
193	Wooosaree, Jay ; Byron, James ; Pewarchuk, Denise ; Checkel, Laurie ; June 2001 ; Native Plant Development for Reclamation and Habitat Restoration, PROGRESS REPORT ; Alberta Research Council, Vegreville, Alberta ; 41 p.
194	Zheng, Xiaojing ; 2009 ; Mechanics of Wind-blown Sand Movements ; Springer, Berlin, Deutschland ; 309 pages ; ISBN 978-3-540-88254-1
195	Zobel, Richard W. ; Wright, Sara F. , co-editors with numerous contributors, Roots and Soil Management : Interactions between Roots and the Soil, Agronomy Monograph N° 48 , 2005, The American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America (www.agronomy.org), Madison, Wisconsin, United States of America; 272 pages; ISBN 0-89118-159-8

5.0 Lac Bloom - Climat régional durant la saison de croissance 2013 .

Les mêmes équipements de mesure ont été installés pour la saison 2013 avec des stations météo autonomes de marque **Davis Vantage Pro** (rayonnement, pluie, vent, température, humidité, pression) et des capteurs spécialisés dans la mesure des températures de l'air et du sol.

Les mesures utiles sont prises en saison toutes les 30 minutes depuis l'an 2000 sur nos 2 sites de chantiers les plus anciens (*Wabush Mines et Compagnie minière IOC*) et depuis 2012 sur nos 2 sites les plus récents (*ArcelorMittal Mont-Wright et Mine de fer du Lac Bloom*).

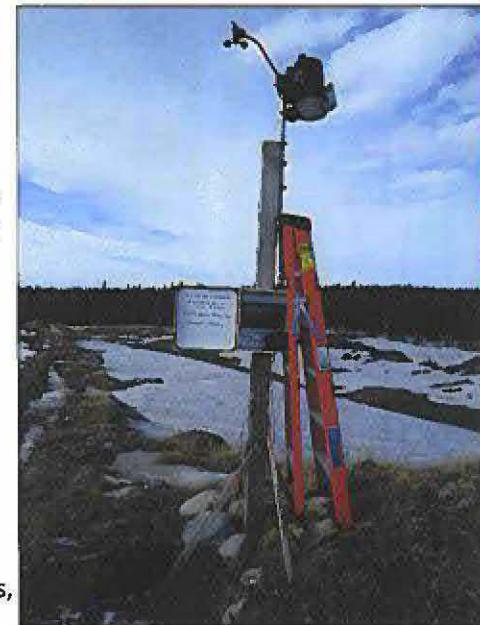
La base de donnée d'**Irrigation NORCO** permet aussi de suivre l'évolution météo depuis 1960 en utilisant les données anciennes de l'aéroport régional de Wabush Lake.

Ces données historiques sur cinq sites permettent donc des comparaisons avec des moyennes régionales sur plus de 50 années.

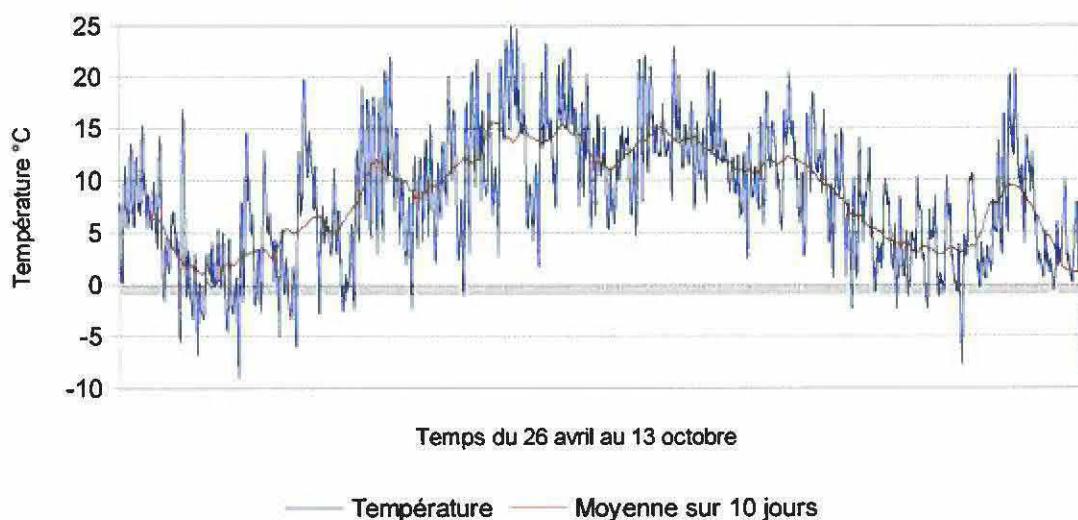
Les deux aspects les plus particuliers de la saison 2013 sont : 1° une **sécheresse record** en mai et en juin, 2° des températures en juillet qui ont atteint 25°C comme l'indique le graphique ci-bas.

Pour améliorer la lecture des données, une innovation importante est amenée dans ce rapport agronomique 2013-2014 : la température moyenne sur 10 jours, c'est-à-dire une décennie, est maintenant calculée continuellement plutôt que seulement 3 fois par mois. Donc, les données numériques sont lissées sur 10 jours, affichant dans le chiffrier électronique une valeur centrée incluant 5 jours avant et 5 jours après.

Cette courbe moyenne en rouge permet de mieux visualiser les épisodes météorologiques.



Température 2013 au lac Bloom



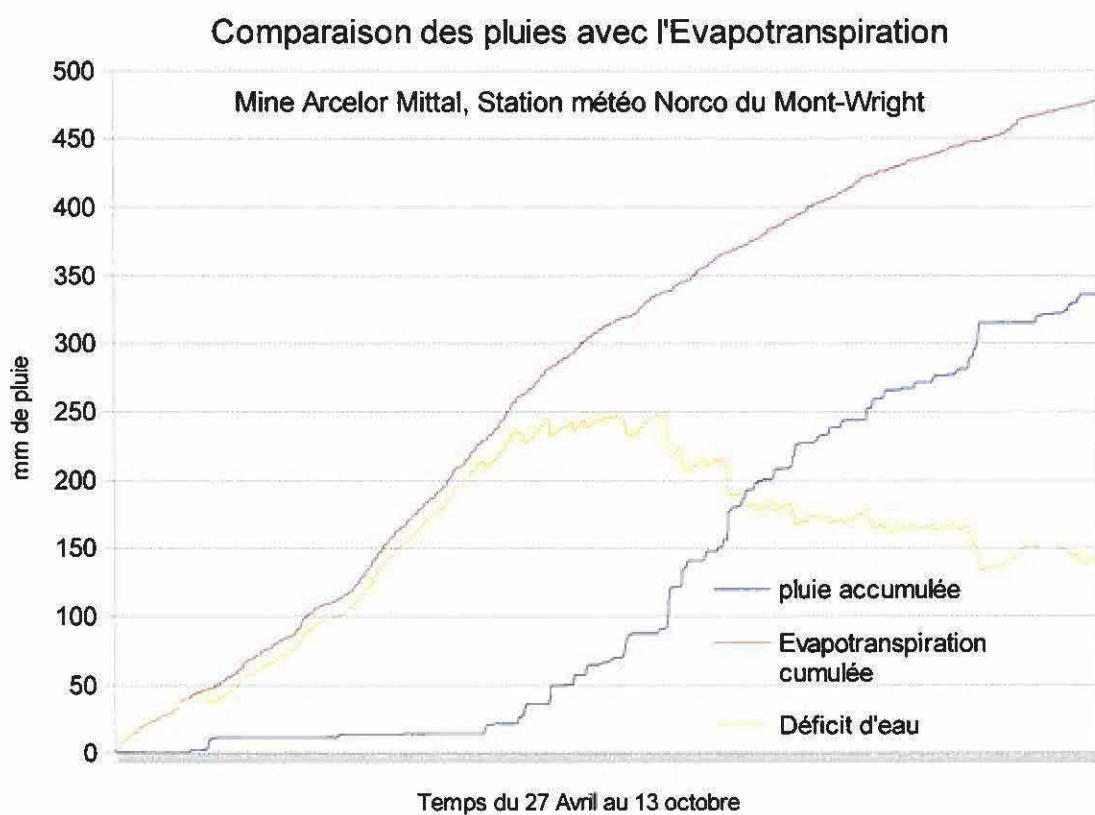
Un événement régional important s'est produit avec plusieurs feux de forêts qui ont dévasté de grandes surfaces et demandé l'évacuation de la population de la Ville de Wabush le 28 juin.

La mesure des pluies associée à une mesure de l'évapotranspiration cumulée fait ressortir un déficit d'eau exceptionnel durant les mois de mai et juin 2013.

En 2013 le capteur de pluie installé sur le site du lac Bloom a été bloqué par des déjections d'oiseaux. Nous utilisons donc les données de pluie relevées du site du Mont-Wright en remplacement des données pour la pluie.

Les deux sites ont une évapotranspiration cumulée presque identique soit 453 mm pour le lac Bloom et 478 mm pour le Mont-Wright (+5%). Cette valeur calculée par la station DAVIS ne dépend pas des mesures de précipitations atmosphériques. Les calcul de l'évapotranspiration de référence utilise plusieurs mesures, dont le rayonnement solaire incident, la température de l'air, l'humidité relative de l'air, la vitesse des vents, la pression atmosphérique et tous ces paramètres étaient fiables durant l'été 2013 sur la station DAVIS Vantage Pro Plus du Lac Bloom.

Le graphique suivant illustre le déficit d'eau en soustrayant les pluies reçues au cumul d'évapotranspiration.



Ce graphique fait ressortir un **cumul de pluie** (ligne bleue) de 336 mm sur la saison, un **cumul d'évapotranspiration de 477 mm** (ligne rouge) ce qui a créé un **déficit d'eau** qui a atteint **244 mm de pluie vers le 10 juillet** (ligne jaune).

Sur le graphique en ligne bleue (pluie) on remarque une première section horizontale de 10 jours entre le 28 avril et le 10 mai.

Le 10 mai il est tombé 1,6 mm de pluie pour mouiller le sol avec ensuite une pluie utile de 9 mm le 13 mai.

La deuxième période de carence de pluie s'est prolongée entre le 14 mai et le 29 juin.

Durant cette sécheresse de 46 jours, le capteur n'a détecté que 3,6 mm de pluie par petits épisodes qui ne permettent pas de recharger le sol en eau. La pluie la plus importante durant cette période de 46 jours n'a été que de 1,5 mm le 4 juin.

A titre de comparaison, un mois de juin apporte 82 mm de pluie en moyenne.

Cette sécheresse exceptionnelle des mois de mai et juin 2013 a été détectée sur les 4 stations météo de NORCO et constitue un événement record, du jamais vu depuis plus de 50 ans en incluant les données de l'aéroport régional de Wabush Lake.

Tableau des pluies mesurées en 2013 (Station DAVIS du Mont-Wright) avec comparaison avec 2012 et avec la moyenne de l'aéroport de Wabush.

Pluie mesurées	Mesures 2013 Mont-Wright	Mesures 2012 Mont-Wright	Moyenne Wabush sur plus de 50 ans
Mai première décade	1,6 mm		18,6 mm
Mai deuxième décade	9,4 mm		15,8 mm
Mai troisième décade	0,2 mm	0,4 mm	22,4 mm
Mai entier	11,4 mm		56,8 mm
Juin première décade	1,8 mm	0,2 mm	21,6 mm
Juin deuxième décade	1 mm	0,4 mm	26,5 mm
Juin troisième décade	6,4 mm	23,8 mm	33,7 mm
Juin entier	9,2 mm	24,4 mm	81,8 mm
Juillet première décade	16 mm	22,8 mm	35,1 mm
Juillet deuxième décade	33 mm	27,0 mm	34,8
Juillet troisième décade	51,2	49 mm	41,1
Juillet entier	100,2 mm	98,8 mm	111 mm
Août première décade	56 mm	38,8 mm	26,5 mm
Août deuxième décade	40,8 mm	28,4 mm	32,1 mm
Août troisième décade	26,2 mm	5,2 mm	36,7 mm
Août entier	123 mm	72,4 mm	95,4 mm
Septembre première décade	23,2 mm	24,6 mm	32,7 mm
Septembre deuxième décade	28 mm		30,1 mm
Septembre troisième décade	25,6 mm		31,5 mm
Septembre entier	71,4 mm		94,3 mm

Les vents sur le site de la Mine de fer du Lac Bloom

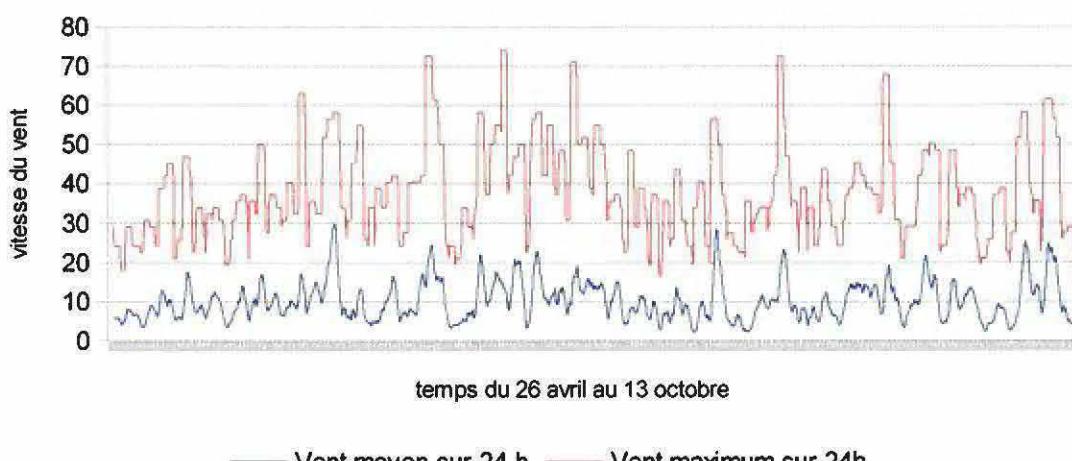
Les vents en 2013 ont atteint 74 km/h le 5 juillet. La moyenne de la saison a été de 10 km/h.

Durant la sécheresse de juin, des vents ont soulevé beaucoup de poussière et de sable abrasif. On a eu connaissance de plusieurs épisodes de vents de sable. Les mécanismes d'érosion éolienne (reptation, saltation, suspension et parfois charriage) peuvent altérer la croissance des plantes et même scier certaines pousses. Les poussières nuisent à tous les animaux vivants et à la population humaine exposée et voilà une autre bonne raison de végétaliser.

Lorsque la végétation est bien établie, l'érosion éolienne est généralement parfaitement contrôlée, parce que la végétation augmente la rugosité aérodynamique des surfaces. Chaque brin d'herbe devient à sa manière une sorte de micro-brise-vent. Quand il y en a des millions côte-à-côte, même si ces brins d'herbe ont seulement 2 ou 3 cm de hauteur, ça fait toute la différence entre un désert et une prairie, entre un milieu de vie hostile et un milieu de vie accueillant.

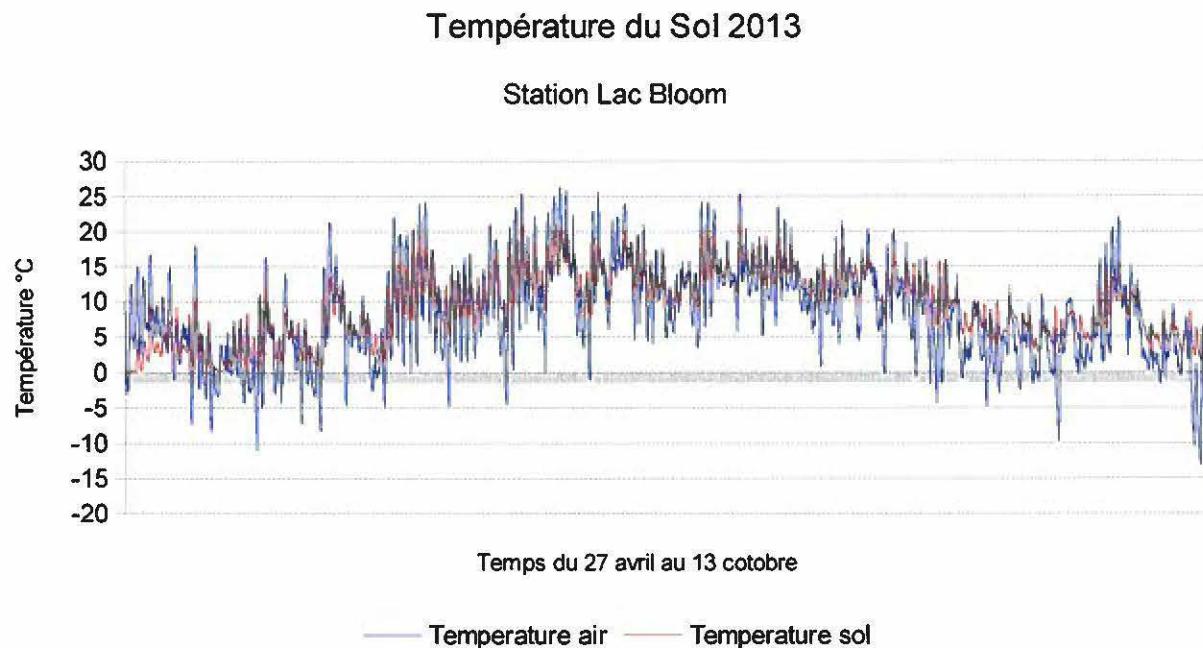
Vent moyen et maximum sur 24 heures

Site du Lac Bloom 2013



Le capteur de température du sol :

Le capteur de température dans le sol, placé à une profondeur de 2½ cm, indique un dégel vers le 29 avril 2013.



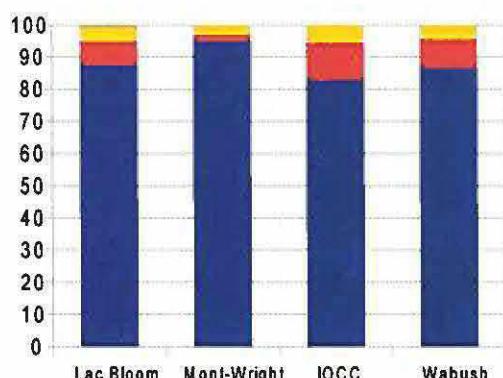
Annexe 1 températures 2013 relevées sur le site du lac Bloom comparées aux moyennes et à 2012

Température mesurées	Mesures 2013 Lac Bloom	Mesures 2012 Lac Bloom	Moyenne Wabush sur plus de 50 ans
Mai première décade	4,3 °C		0,5 °C
Mai deuxième décade	1,3 °C		3,6 °C
Mai troisième décade	4,8°C		4,7 °C
Mai entier	3,8°C		3,0 °C
Juin première décade	6,4 °C		7,5 °C
Juin deuxième décade	9,7°C		10,3 °C
Juin troisième décade	10,7 °C		12,0 °C
Juin entier	9,3 °C		10,0 °C
Juillet première décade	14,1 °C		12,8 °C
Juillet deuxième décade	13,5 °C		13,9 °C
Juillet troisième décade	12,7 °C		13,7 °C
Juillet entier	13,6 °C		13,5 °C
Août première décade	13,7°C	14,1 °C	13,7 °C
Août deuxième décade	11,2 °C	14,3 °C	12,3 °C
Août troisième décade	10,0 °C	10,9 °C	10,4 °C
Août entier	11,4 °C	13,0 °C	12,1 °C
Septembre première décade	4,9 °C	11,2 °C	9,0 °C
Septembre deuxième décade	3,3 °C	8,8 °C	6,4 °C
Septembre troisième décade	7,8 °C	5,3 °C	4,6 °C
Septembre entier	5,2 °C	8,4 °C	6,7 °C

Section 6. Analyses comparatives des sols en processus de végétalisation par Irrigation NORCO inc. sur les résidus miniers des mines de fer Wabush (1996-2013), IOCC (1999-2013), du Lac Bloom (2012-2013) et du Mont-Wright (2010-2013), région du Labrador ouest à Terre-Neuve & Labrador et région de Fermont au Québec.

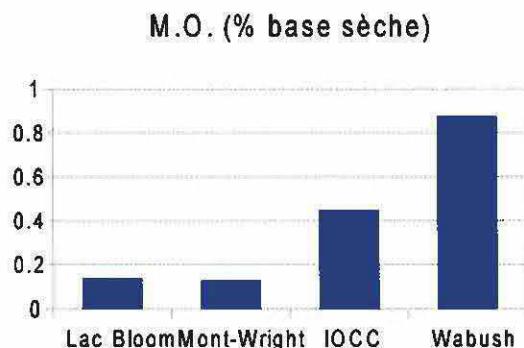
6.1. Moyennes générales par site

6.1.1. Texture des sols des résidus miniers



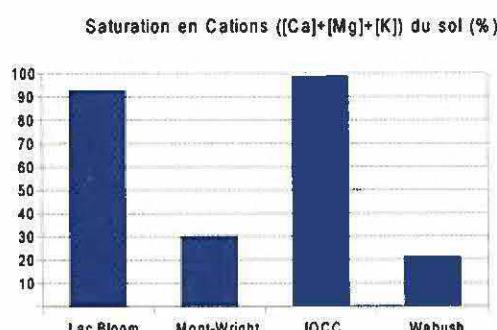
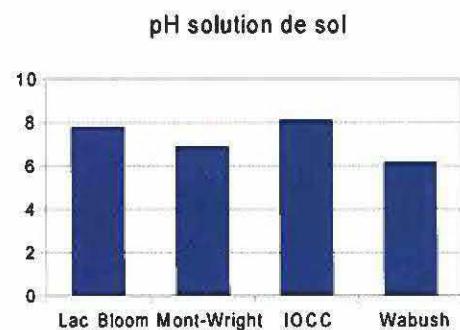
La grande majorité du résidu minier des 4 sites est constitué de sable (IOCC: 82%, Wabush: 86%, Lac Bloom: 87% et Mont-Wright: 94%) et de moins de 5% d'argile, nonobstant le procédé industriel de broyage du minéral, qui varie d'un site à l'autre, en fonction aussi de la formation minérale. Sur les sites anciens, on observe une légère augmentation de la proportion de limon (Wabush: 9%; IOCC: 11%) comparativement aux plus jeunes (Lac Bloom: 7%; Mont-Wright: 2%), ce qui atteste du début de structuration des sols, due à l'implantation de la végétation.

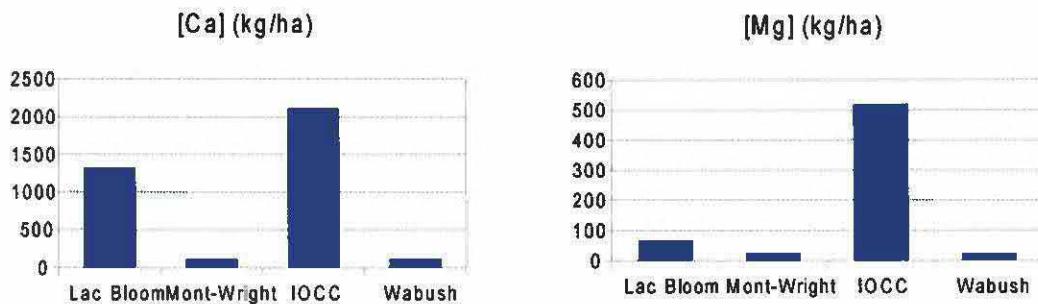
6.1.2. Proportions de Matière Organique (M.O.)



Le pourcentage de matière organique reflète fidèlement les années de travail réalisé sur les sites de Wabush et d' IOCC, où les proportions, bien que restant très faibles, sont plus élevées qu'aux sites du Lac Bloom et du Mont-Wright, nouvellement végétalisés.

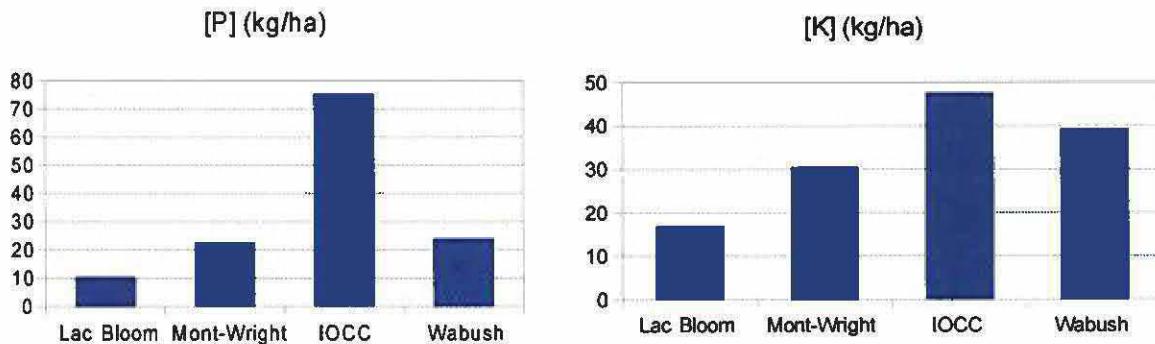
6.1.3. pH des solutions de sol, quantités de Calcium [Ca] et de Magnésium [Mg]





Le pH des sols varie d'un site à l'autre en fonction du taux de calcium, en raison de ses propriétés chaulantes. Sur le résidu minier d'IOCC et du Lac Bloom, la présence élevée de calcium (IOCC: > 2000 kg/ha; Lac Bloom: 1300 kg/ha) contribue à éléver le pH aux environs de 8. Dans le cas d'IOCC, le magnésium, présent en grosses quantités (>500 kg/ha) accentue encore la basicité, les deux minéraux s'immobilisant dans le sol en s'agglomérant sous forme de dolomie, un carbonate de magnésium insoluble, comme en témoigne la saturation en cations très élevée du sol du résidu d'IOCC (98%). Sur le résidu de Wabush et du Mont-Wright, en revanche, les quantités de calcium (100 kg/ha) et de magnésium (23-25 kg/ha) sont faibles, et faiblement immobilisées dans le sol (saturations en cations: 20-30%). Il s'en suit que le pH est voisin de la neutralité au Mont-Wright (6,8), et plus acide à Wabush (6,2), probablement dû au fait que la végétation est présente depuis plus longtemps (formation d'acides humiques).

6.1.4. Quantités de Phosphore et de Potassium

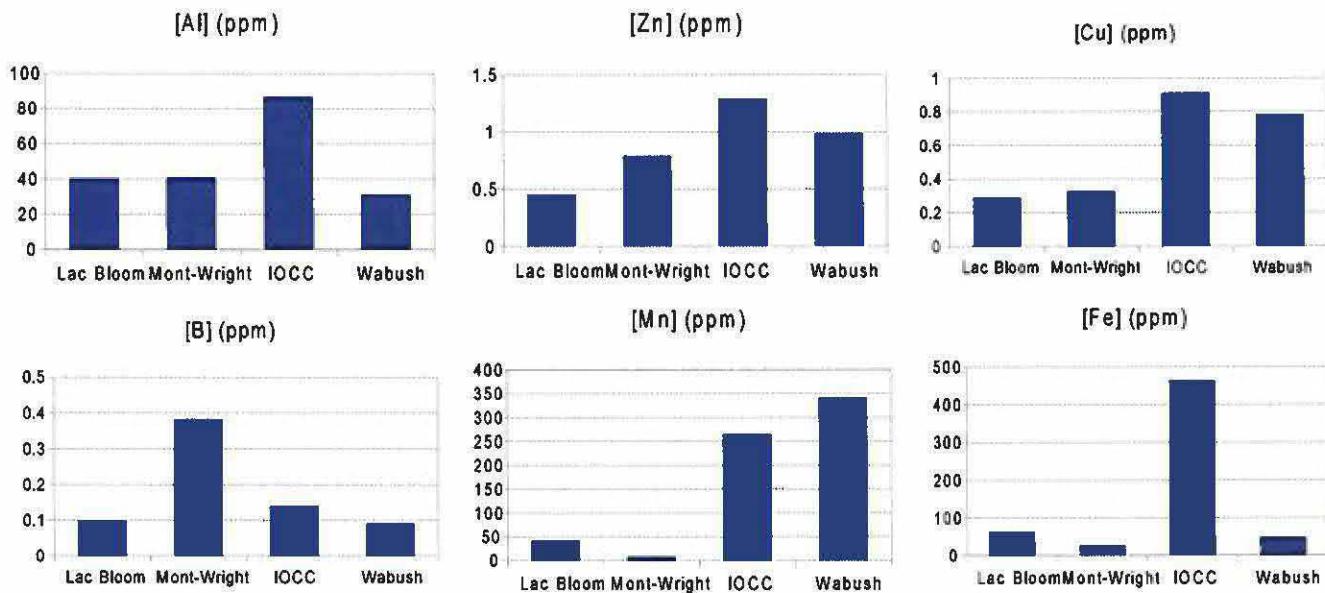


Les niveaux généraux de Phosphore (10-23 kg/ha) disponibles pour les plantes dans la solution de sol sont faibles sur le résidu du Lac Bloom, du Mont-Wright, et de la mine Wabush.

Il en est de même pour le Potassium (18-30 kg/ha) au Lac Bloom et au Mont-Wright.

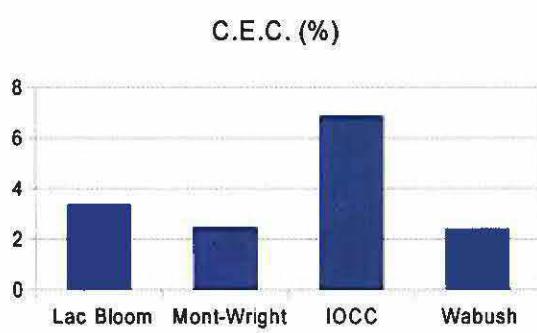
À Wabush, après 17 ans d'intervention, la proportion de Potassium disponible pour les plantes est meilleure (presque 40 kg/ha), mais c'est à la mine IOCC que les niveaux de Phosphore (75 kg/ha) et de Potassium (48 kg/ha) sont les plus élevés dans la solution de sol. Le pH alcalin et la présence élevée du Calcium contribuent à la solubilisation et à la mobilité de ces deux éléments, sous forme de complexes ioniques ($\text{Ca}^{2+}\text{PO}_4$, $\text{Ca}^{2+}\text{K}^+\text{CO}_3$, etc.) échangés par les colloïdes du sol. Il faut cependant rester attentif au fait que cet effet se transformerait en rétrogradation si le pH augmentait trop, car il se formerait ensuite du phosphate tricalcique $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]$, puis de l'hydroxyapatite $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\cdot\text{Ca}(\text{OH})_2]$, et enfin du carbonate d'apatite $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\cdot\text{CaCO}_3]$, qui deviennent de moins en moins solubles.

6.1.5. Quantités de microéléments



Les quantités de microéléments disponibles dans la solution de sol des 4 sites miniers sont faibles, à l'exception du Manganèse aux mines Wabush et IOCC et du Fer sur le site d'IOCC, ce qui est logique pour un résidu de mines de fer. Le Manganèse, très proche du fer dans le tableau périodique des éléments, fluctue souvent de la même façon, et il est donc normal de le retrouver en quantités élevées aussi. Sa toxicité n'est cependant pas à craindre, tant que le pH reste basique ou proche de la neutralité, qui réduit sa solubilité et donc sa disponibilité pour les plantes. Le Cuivre et le Zinc sont un peu moins rares dans la solution de sol des anciens sites, de même que l'Aluminium à la mine IOCC, tandis que le résidu du Mont-Wright est le plus riche en Bore.

6.1.6. Capacités d'échange cationique



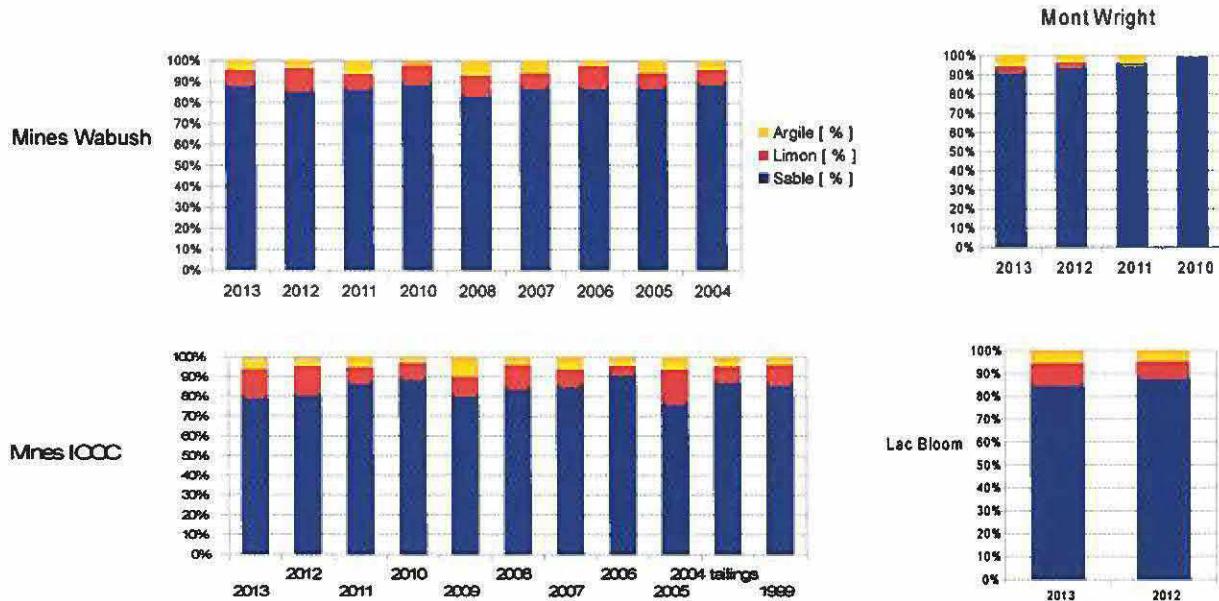
La capacité d'échange cationique d'un sol traduit le degré d'échange des différents éléments chimiques du sol avec le complexe colloïdal du sol, qui se produit par échange d'ions à la surface de ce complexe, siège de l'absorption physique (ou adsorption) et chimique des particules. Seules les particules colloïdales d'argile, de sesquioxides, de minéraux argileux et d'humus accomplissent ce phénomène. Étant donné que les sols des 4 sites miniers sont en grande majorité constitués de sable, qui ne joue à peu près aucun rôle dans l'absorption, la capacité d'échange cationique reste très faible (2 à 3,5%) sur ces sites, même après des années de végétalisation. On observe cependant une légère hausse (7%) sur le site d'IOCC, en lien avec la basicité qui favorise les échanges, et la forte proportion des cations Ca^{2+} et Mg^{2+} présents sur ce site.

6.1.7. Conclusions générales sur les 4 sites végétalisés

Selon les moyennes générales des paramètres d'analyses de sol présentés ci-dessus, tout indique que le lent processus de végétalisation mis en place par **Irrigation NORCO inc.** dès la première année d'intervention sur chacun des 4 sites permet d'accélérer la structuration du sol et l'apparition des différentes successions végétales. Le pH et la teneur en calcium et en magnésium, variables suivant les sites, jouent un rôle primordial dans ce processus.

6.2. Évolution comparative au cours du temps

6.2.1. Texture des sols des résidus miniers



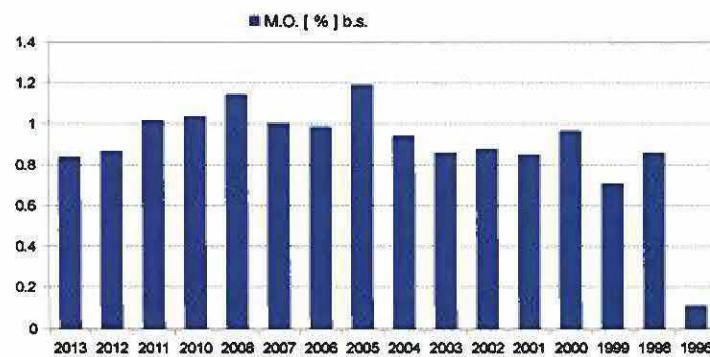
Tel que décrit précédemment, les sols des sites végétalisés les plus récents (Lac Bloom et Mont-Wright) sont les plus riches en sable (87 à 94%), tandis que les sites les plus anciens, après plusieurs années de couverture végétale, ont acquis une proportion de limon plus élevée, qui atteste du début de structuration des sols.

Ceci semble particulièrement visible au Mont-Wright, où le sol était constitué de 98% de sable au début des travaux en 2010, mais de seulement 94% en 2011, après seulement une année d'intervention, et de 90% après 3 ans. La présence de 98% de sable au début de l'intervention, plus élevée que sur les autres sites, semble être attribuable à la technique de broyage mécanique utilisée.

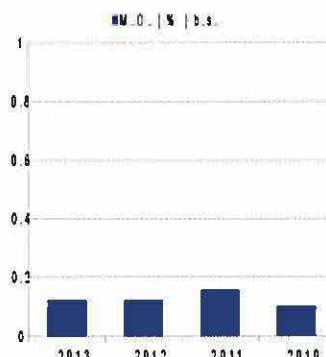
Sur les sites les plus anciens (Wabush et IOCC), on constate cependant que les proportions sable-limon-argile ont varié sensiblement d'une année à l'autre, ce qui est à mettre en relation avec les données climatiques, les amendements organiques, et la biomasse des végétaux (voir § 6.3). Sur le site d'IOCC, néanmoins, l'augmentation régulière de la phase « limoneuse » dans le sol à partir de 2010 semble marquer un début de stabilisation du processus de pédogenèse, qui sera à confirmer dans les prochaines années.

6.2.2. Proportions de Matière Organique [M.O.]

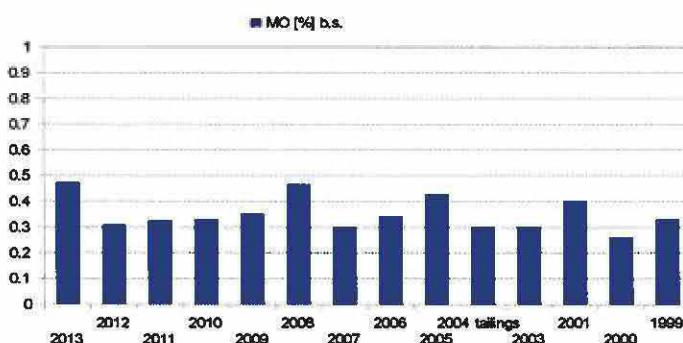
Mine Wabush (Scully):



Mont-Wright:



Mines IOCC:



Lac Bloom:



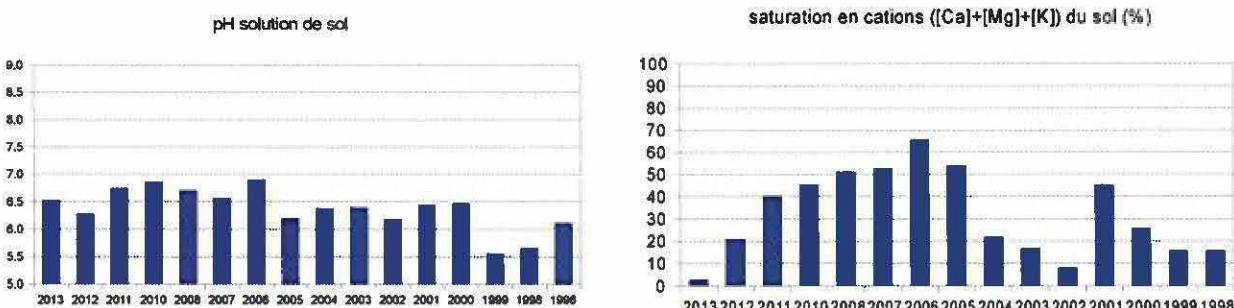
Les proportions de Matière Organique (M.O.) sont très faibles (0,1 à 0,2 %) sur les sites nouvellement végétalisés (Mont-Wright et Lac Bloom) ainsi qu'au tout début des travaux de végétalisation à Wabush (1996).

L'apport des fertilisants organiques a permis d'augmenter les taux de M.O. à partir de 1998 à Wabush, qui varient de 0,7 à 1,2 % suivant les années. Ces taux restent cependant faibles et témoignent seulement du début du processus de création de sol.

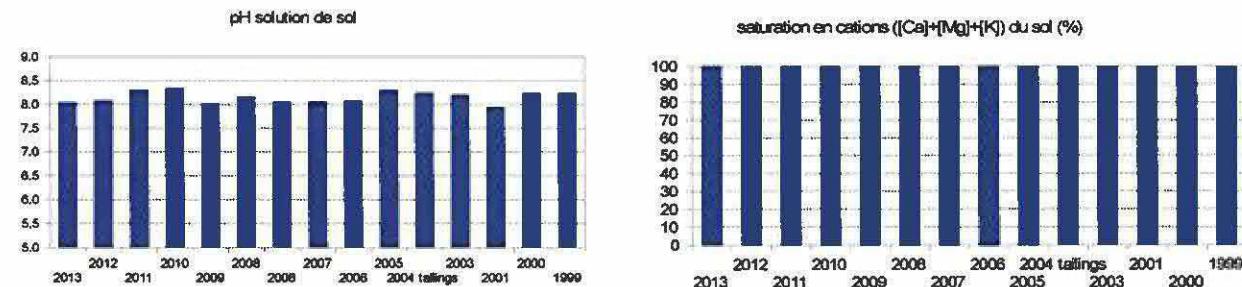
Sur le site des mines d'IOCC, bien que les taux varient également légèrement suivant les années, la moyenne reste extrêmement faible (0,4 %) et a peu augmenté depuis le début des travaux de végétalisation. La présence élevée de Calcium sur le site et le pH basique favorisent l'immobilisation du carbone organique en carbone minéral, sous forme de carbonate de calcium $[CaCO_3]$, ce qui accélère probablement le turn-over de la fraction organique plutôt que son maintien dans l'humus et la fraction arable du sol. Au fil du temps et de l'augmentation des fractions limoneuse et argileuse, la proportion de M.O. devrait progressivement augmenter, comme semble l'indiquer la tendance de 2013 (0,47% de M.O. contre 0,31% en 2012).

6.2.3. pH des solutions de sol, saturation en cations ($[Ca]+[Mg]+[K]$)

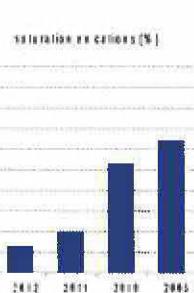
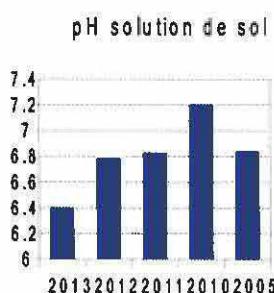
Mines Wabush:



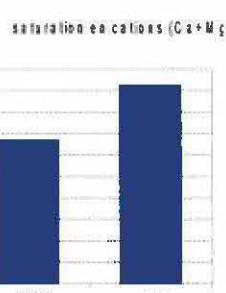
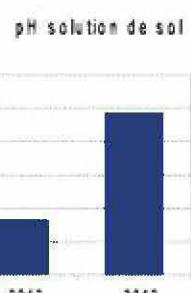
Mines IOCC:



Mont-Wright:



Lac Bloom:



Le pH des solutions de sol, bien que variant d'une année à l'autre, reste homogène suivant les sites et directement relié à la saturation des sols en ions positifs $[Ca^{2+}]$, $[Mg^{2+}]$ et $[K^+]$.

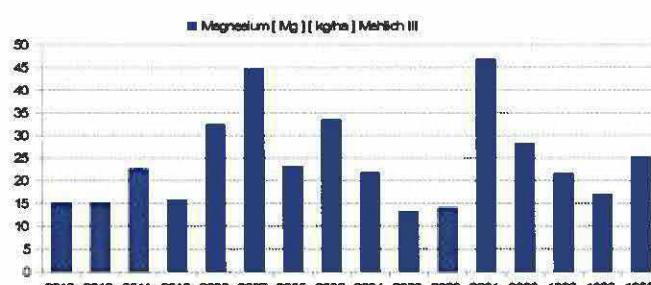
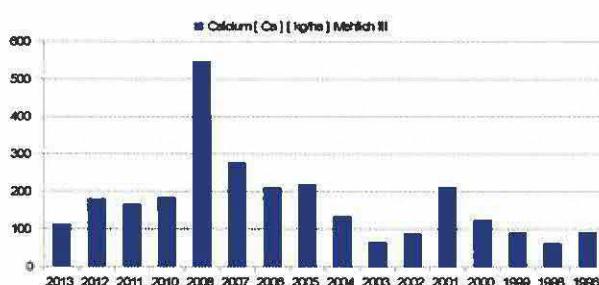
Ainsi, sur les sites de Wabush et du Mont-Wright, les pH acides correspondent à des saturations en cations généralement faibles (moyennes de 20 à 30%), donc faiblement immobilisés. Le pH de la solution de sol varie substantiellement d'une année à l'autre sur ces deux sites (5.6 à 6.8 à Wabush; 6.8 à 7.2 au Mont-Wright), ainsi que la saturation en cations (15 à 65% pour les deux sites), qui augmente généralement lorsque le pH se rapproche de la neutralité.

Sur le site d' IOCC, en revanche, la saturation en cations est toujours maximale (100%) et le pH ≥ 8 , subissant peu de variations d'une année à l'autre, donc doté d'un certain pouvoir tampon.

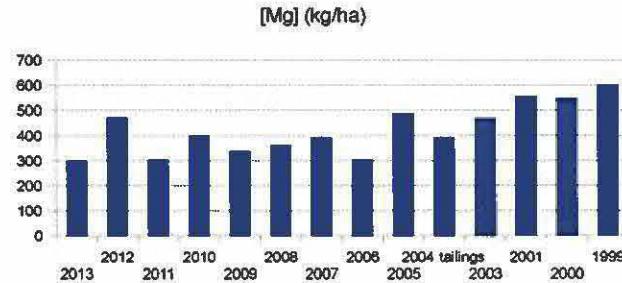
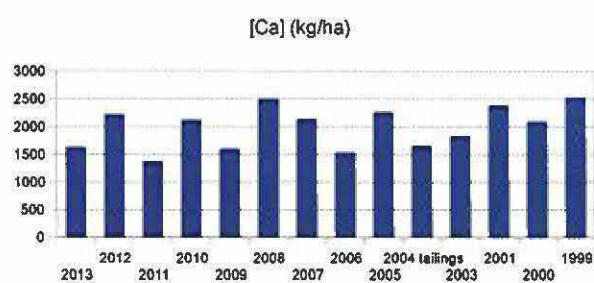
En revanche, les 3 autres sites semblent évoluer plus rapidement vers une acidification du sol et une diminution de la saturation en cations. Ceci est particulièrement visible au Lac Bloom, où le pH a baissé de 7.8 à 7.1 de 2012 à 2013 et la saturation en cations de 93 à 67%. À Wabush, les fluctuations du pH ces dernières années ne suivent pas aussi nettement la saturation en cations, qui a diminué tous les ans depuis 2006.

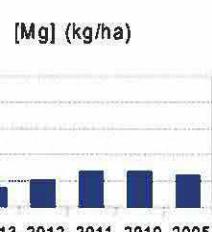
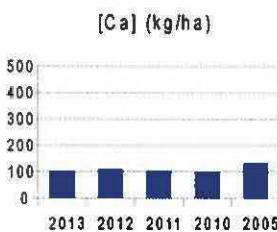
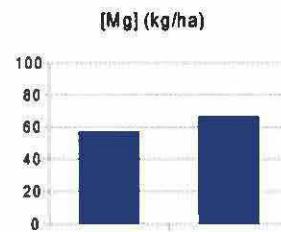
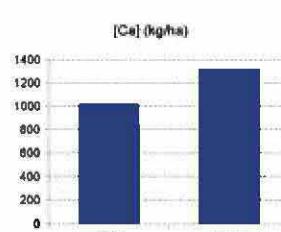
6.2.4. Quantités de Calcium et de Magnésium (graphiques à échelles variables)

Mines Wabush:



Mines IOCC:



Mont-Wright:**Lac Bloom:**

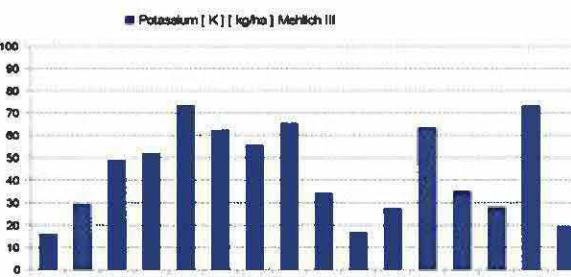
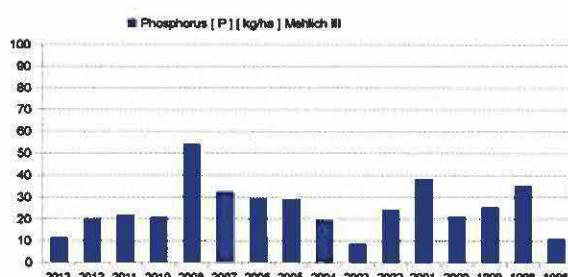
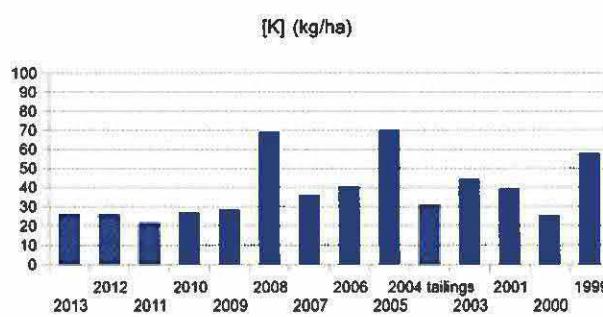
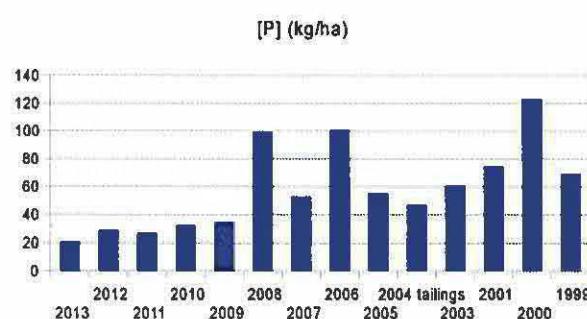
Directement reliés aux pH et à la saturation en cations, les niveaux de Calcium et de Magnésium dans la solution de sol varient énormément d'un site à l'autre, sans doute à cause des types de minéraux de fer traités.

Sur le site de Wabush et du Mont-Wright, où le pH est acide et la saturation en cations faible, les cations sont immobilisés et les taux de Calcium (100kg/ha en moyenne) et de Magnésium (30 et 60 kg/ha en moyenne) dans la solution de sol sont relativement faibles.

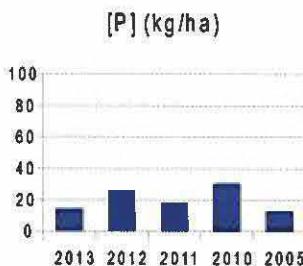
Sur le site de la mine IOCC, en revanche, où l'on trouve une forte proportion de dolomie, carbonate de Calcium et de Magnésium $[CaMg(CO_3)_2]$, le pH basique et la saturation en cations très élevée rend ces deux éléments solubles dans la solution de sol, où les niveaux de Calcium surtout (1300 à 2500 kg/ha), mais aussi de Magnésium sur le site d'IOCC (300 à 600 kg/ha), sont extrêmement élevés.

Au Lac Bloom, la situation est intermédiaire et semble évoluer plus rapidement vers une acidification du sol et une immobilisation des cations, dont les niveaux dans la solution de sol ont baissé de 2012 à 2013.

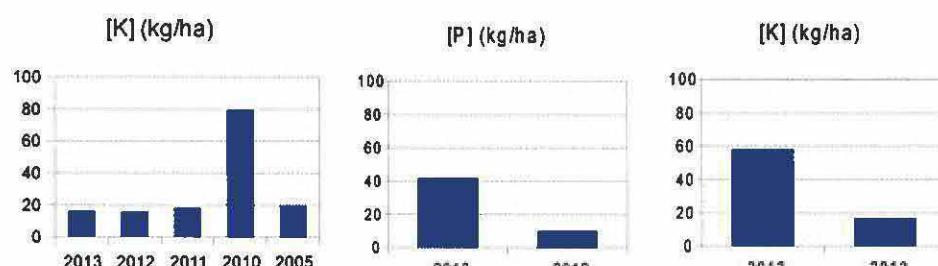
Au fil des années, en fonction des différents apports organiques et autres paramètres agro-climatiques, les niveaux ont fluctué mais la tendance générale reste la même sur chaque site.

6.2.5. Quantités de Phosphore et de Potassium**Mines Wabush:****Mines IOCC:**

Mont-Wright:



Lac Bloom:



Le Phosphore et le Potassium sont, avec l'Azote, les macro-éléments nourriciers majeurs des plantes. Les quantités disponibles dans la solution de sol sont très variables d'une année à l'autre et sont à mettre en relation avec les quantités d'amendements vs biomasse produite en fonction des années.

Sur la plupart des résidus miniers nouvellement végétalisés (soit en 1996 à Wabush, en 2005 au Mont-Wright, et en 2012 au Lac Bloom), ces niveaux sont très faibles ($[P] \approx 10 \text{ kg/ha}$; $[K] \leq 20 \text{ kg/ha}$), sauf sur le résidu de la mine IOCC, où les niveaux disponibles sont meilleurs dès les premiers amendements en 1999 ($[P]=70 \text{ kg/ha}$; $[K] \approx 60 \text{ kg/ha}$).

Suivant les travaux réalisés, les niveaux ont augmenté, parfois même considérablement, certaines années.

Sur le site de Wabush, c'est le cas en 1998 ($[P]=35 \text{ kg/ha}$; $[K] > 70 \text{ kg/ha}$), en 2001 ($[P]= 38 \text{ kg/ha}$; $[K]=63 \text{ kg/ha}$), de 2005 à 2007 pour le Potassium ($[K]>57 \text{ kg/ha}$), et en 2008 ($[P]=54 \text{ Kg/ha}$; $[K]=73 \text{ kg/ha}$).

Pour la mine d'IOCC, le pH basique et la présence élevée du calcium contribuent à la solubilisation du phosphore et du potassium, qui se maintiennent à des taux généralement supérieurs par rapport aux autres résidus ($\geq 40 \text{ kg/ha}$). Ils ne varient pas cependant pas de la même façon d'une année à l'autre. Les taux de phosphore sont élevés jusqu'en 2003 ($[P] > 60 \text{ kg/ha}$) puis fluctuent beaucoup d'une année à l'autre avec des pics en 2000 ($[P] > 120 \text{ kg/ha}$), en 2006 et en 2008 ($[P] \geq 100 \text{ kg/ha}$). Le taux de Potassium, bien qu'élévé dès la première année ($[K] \approx 60 \text{ kg/ha}$), se maintient ensuite à un taux bas jusqu'en 2004 ($[K] \leq 40 \text{ kg/ha}$), ré-augmente en 2004 et 2005 ($[K] > 60 \text{ kg/ha}$) puis rebaisse à nouveau en 2006 et 2007 avant de ré-augmenter en 2008 ($[K]=65 \text{ kg/ha}$).

Au Mont-Wright, les taux de Phosphore restent faibles ($[P] \leq 30 \text{ kg/ha}$) ainsi que les taux de Potassium, sauf en 2010, où l'on observe un pic à 80 kg/ha.

Ces dernières années, finalement, sur les plus anciens résidus végétalisés, les taux de Phosphore et de Potassium disponibles sont redevenus faibles et voisins de ceux des jeunes sites miniers végétalisés (20-30 kg/ha), victime sans doute de l'appétit croissant de la végétation grandissante.

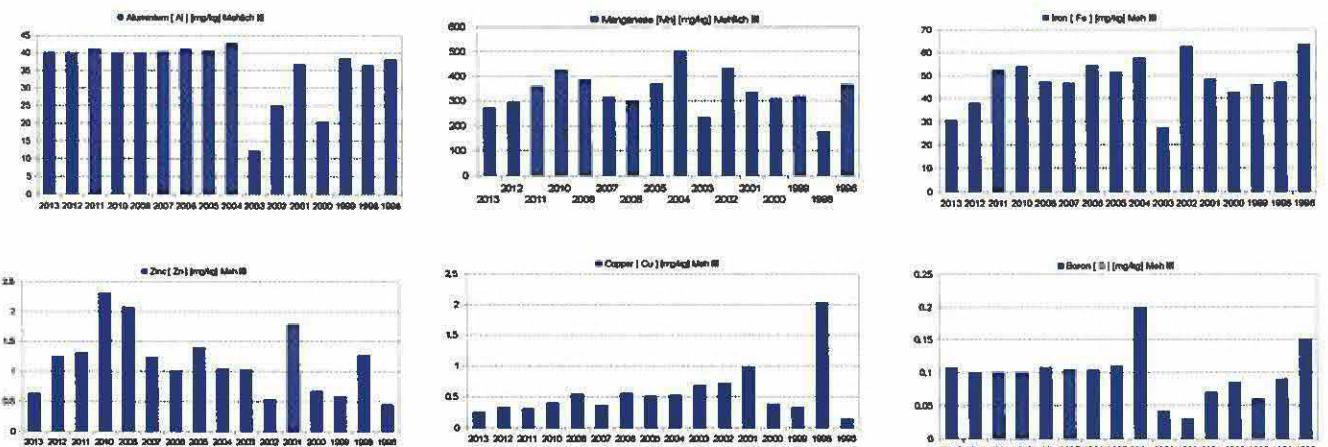
Conclusions Phosphore et Potassium:

Les fluctuations importantes du Phosphore et du Potassium, de même que les faibles niveaux de ces deux macro-éléments dans les sols miniers après 15 ans de travaux de végétalisation, bien que meilleurs que sur le résidu vierge, témoignent du fragile équilibre du sol créé, qui reste encore à construire en profondeur.

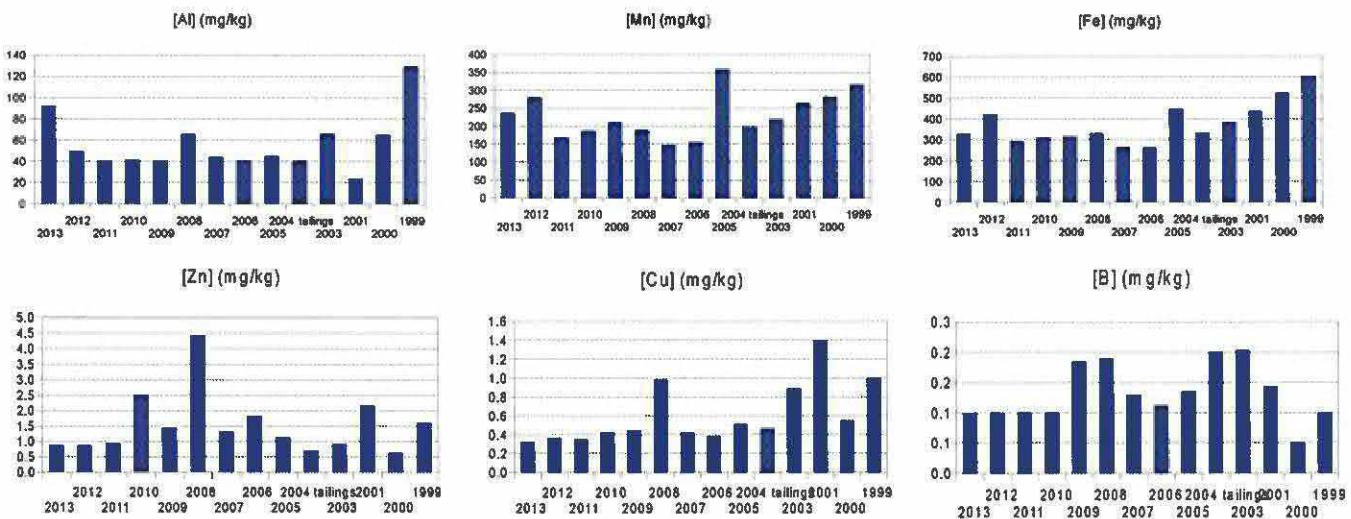
À ce stade de la végétalisation, et notamment au vu de l'appauprissement en phosphore constaté sur les anciens sites, la présence et l'efficacité de la symbiose mycorhizienne est capitale pour le maintien et l'évolution des différentes populations végétales, et il sera intéressant d'analyser le niveau de colonisation racinaire au cours des prochaines saisons de végétalisation et de suivi.

6.2.6. Quantités de microéléments

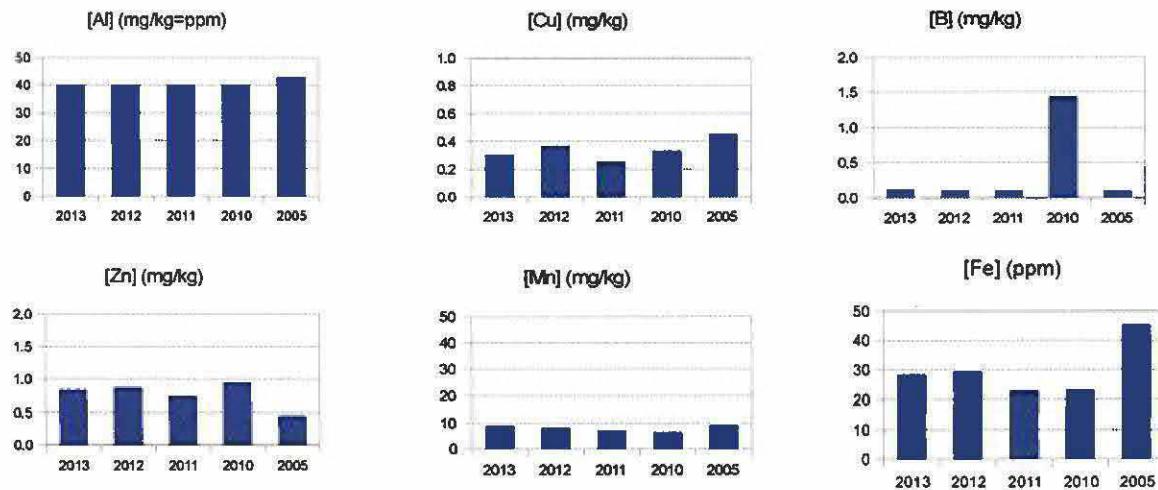
Mines Wabush:

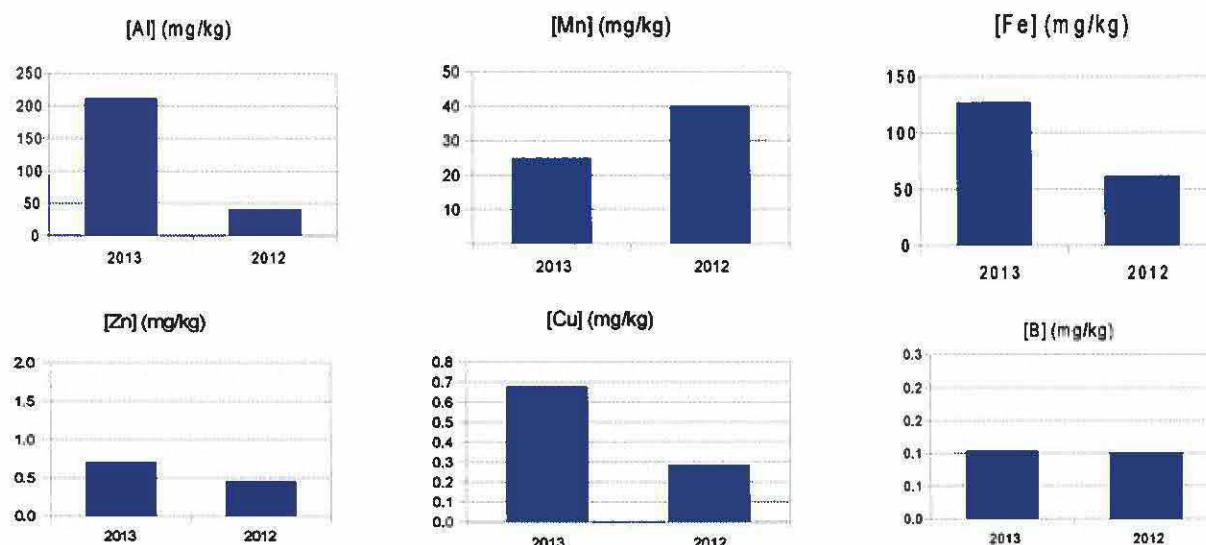


Mines IOCC:



Mont-Wright :



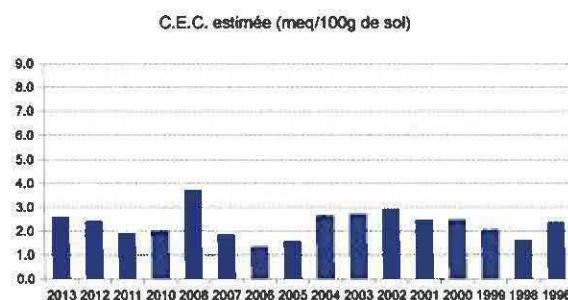
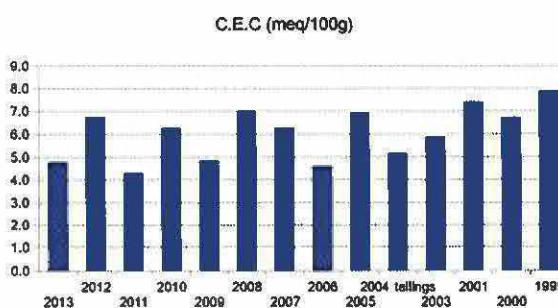
Lac Bloom:

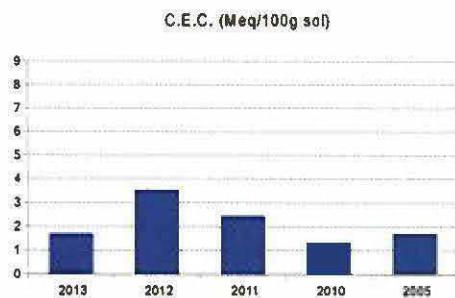
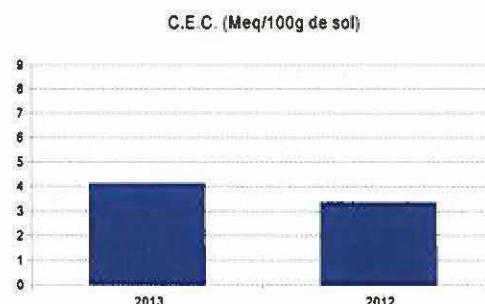
Les quantités de microéléments disponibles dans la solution de sol des 4 sites miniers sont très faibles, à l'exception du Manganèse sur les sites des mines Wabush (200 à 400 ppm) et d'IOCC (150 à 350 ppm) et du Fer sur le site d'IOCC (250 à 600 ppm), ce qui était prévisible sur des résidus de mines de Fer.

Le Manganèse (masse atomique : 54,938u), élément chimique voisin du Fer (masse atomique : 55,847u), fluctue souvent de la même façon, d'où sa présence en quantités élevées également dans les résidus de Wabush et d'IOCC; sa toxicité n'est cependant pas à craindre tant que le pH reste basique ou proche de la neutralité, qui réduit sa solubilité dans la solution de sol et donc son prélèvement par les plantes.

En règle générale, sur les anciens sites, on observe une tendance générale à la baisse de ces deux microéléments au fil du temps et de la construction progressive du sol avec l'implantation des végétaux, qui correspond à leur transformation chimique et biochimique par les micro-organismes introduits dans les amendements organiques. Cependant, certaines années échappent à cette règle générale: les taux de Manganèse et de Fer ont ré-augmenté en 2002, 2004, et 2010, sur le site de Wabush et en 2005 et 2012 sur celui de la mine d'IOCC.

Le Cuivre et le Zinc, bien que très faibles (0,3 à 5,5 ppm), sont aussi généralement moins rares dans la solution de sol des anciens sites, de même que l'Aluminium à la mine IOCC (40 ppm en moyenne; 92 ppm en 2013); on observe néanmoins une bonne variabilité, différente selon les sites et les éléments. Le Bore, mis à part un pic à 1,4 ppm en 2010 sur le site du Mont-Wright, reste partout à l'état de traces (0,01-0,2 ppm), avec plusieurs fluctuations également selon les sites et les années.

6.2.7. Capacités d'échange cationique**Mines Wabush:****Mines IOCC:**

Mont-Wright:**Lac Bloom:**

La capacité d'échange cationique des sols traduit le degré d'échange des différents éléments chimiques du sol avec le complexe colloïdal, qui se produit par échange d'ions à la surface de ce complexe, au cours du processus d'absorption physique et chimique des particules du sol. Seules les particules colloïdales d'argile, de sesquioxides, de minéraux argileux et d'humus accomplissent ce phénomène.

Les sols des 4 sites miniers étant constitué en grande majorité de sable, qui ne joue à peu près aucun rôle dans l'absorption, il s'en suit que la capacité d'échange cationique reste en moyenne très faible sur ces sites (2 à 3,5%), même après des années de végétalisation, bien qu'avec quelques fluctuations selon les années.

Cette valeur atteint des niveaux légèrement plus élevés sur le site d'IOCC, en lien avec la basicité, qui favorise les échanges, et la forte proportion des cations Ca^{2+} et Mg^{2+} présents sur le site.

Sur le parc à résidus du Mont-Wright, il est à noter que la capacité d'échange cationique a augmenté régulièrement de 2010 à 2012, parallèlement à l'augmentation de la fraction argileuse où se tiennent les échanges colloïdaux du sol. Comme à Wabush et IOCC cependant, des fluctuations sont à prévoir d'année en année avant une lente stabilisation du processus de pédogenèse, comme c'est déjà le cas en 2013, où la C.E.C. a diminué par rapport à l'année 2012.

6.2.8. Conclusions: évolutions comparatives des paramètres de sol au cours du temps

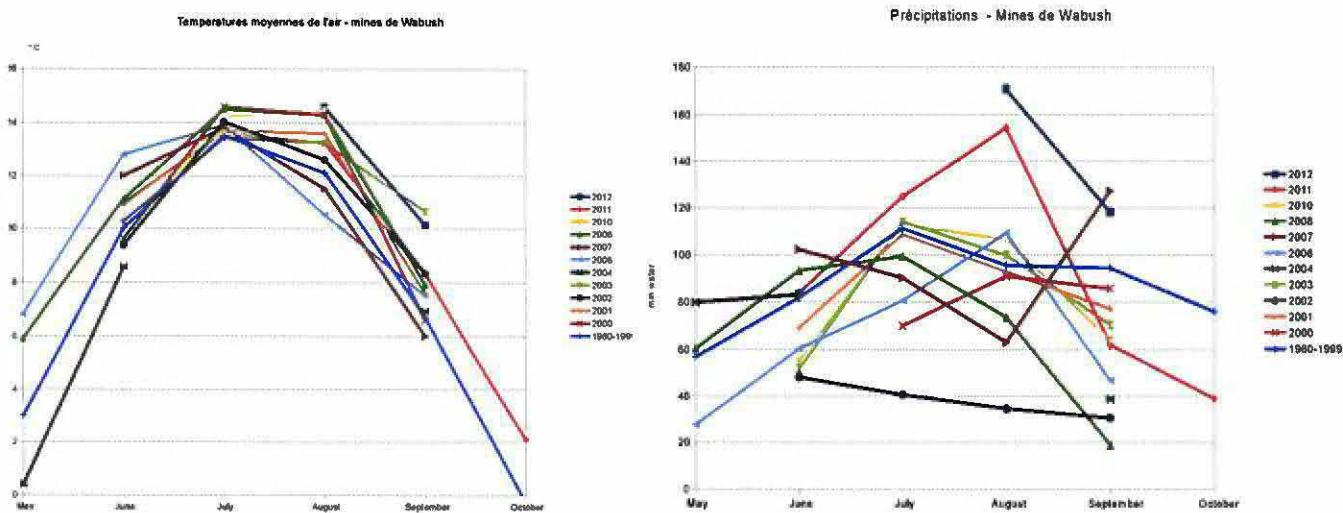
L'analyse, année après année, des différents paramètres de sol sur chacun des quatre sites de résidus miniers végétalisés par **Irrigation NORCO Inc.**, permet de renforcer les grandes différences déjà observées entre les sites selon les moyennes générales (§ 6.1), en fonction surtout du pH et des concentrations en calcium et en magnésium. Ainsi, le site basique et fortement tamponné d'IOCC, très riche en calcium et en magnésium, favorise aussi la solubilité et le turn-over des autres nutriments ainsi que leur disponibilité pour les végétaux implantés, tandis que dans les sites modérément acides de Wabush et du Mont-Wright, les éléments nutritifs sont généralement moins solubles et l'acidification progressive du sol, au fur et à mesure de sa construction, plus rapide; Au Lac Bloom, le pH faiblement basique entraîne une situation intermédiaire.

La réintroduction de végétaux soigneusement sélectionnés sur ces résidus stériles est le point de départ de la reconstruction des sols, comme en atteste l'augmentation progressive des phases argileuse et limoneuse dans le résidu presque exclusivement sableux au départ, et leur implantation durable garantit aussi le turn-over des différents éléments du sol ainsi que la détoxicification du manganèse, présent en quantités élevées sur les sites de Wabush et d'IOCC.

Cependant, les analyses indiquent aussi clairement que tout ce processus de pédogenèse n'en est qu'à son début et que les nutriments sont encore présents en faibles quantités; il reste donc primordial de poursuivre le travail de suivi méticuleux et d'intervention, lorsque requis, afin d'assurer le maintien et le développement naturel des végétaux sur ces sites miniers.

6.3. Relations entre paramètres de sol et paramètres agroclimatologiques

6.3.1. Données climatiques enregistrées sur le site de Wabush



Printemps précoces mai-juin > T° moyenne	Étés longs juillet +août > 13°C	Étés longs et chauds juillet +août > 14°C	Étés courts août < 11°C	Températures normales	Données incomplètes
2001, 2003, 2006, 2007, 2008	2001, 2003, 2011	2000, 2008, 2010, 2012	2006	2002	2004, 2005, 2009

Tableau 1: classification des saisons agronomiques 2000 à 2012 selon les températures de l'air (T)

Printemps secs P< 60mm mai±juin	Étés secs P< 80mm juillet ou août	Saison très sèche P: 30-50mm juin-sept.	Automnes secs P< 60mm en sept.	Étés pluvieux P>120mm juillet-août	Données absentes
2002, 2003, 2006, 2010	2000, 2002, 2006, 2007, 2008	2002	2002, 2004, 2006, 2008, 2010, 2011	2011, 2012	2005, 2009

Tableau 2: classification des saisons agronomiques 2000 à 2012 selon les données de précipitations (P)

6.3.2. Relations entre biomasse produite et données climatiques

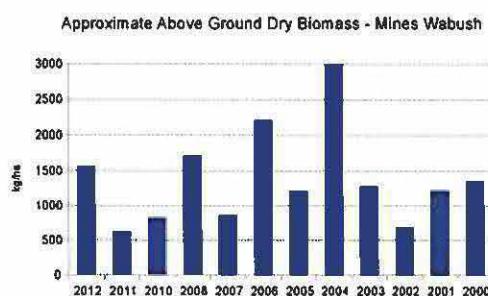


Figure 1. Biomasse produite sur le résidu des mines Wabush

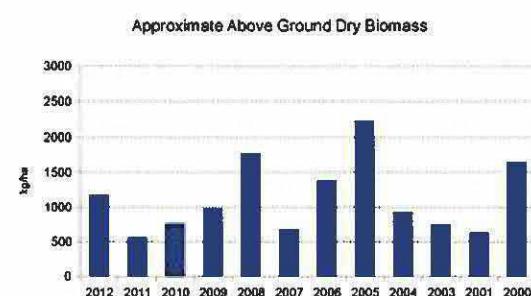


Figure 2. Biomasse produite sur le résidu des mines IOCC

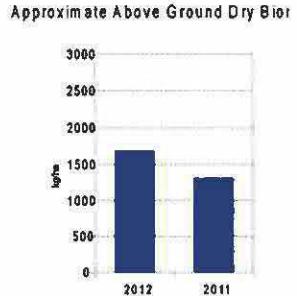


Figure 3. Biomasse produite sur le résidu des mines AMCC

On observe généralement une bonne relation entre le climat et la quantité de biomasse produite sur les trois sites miniers, où les données climatiques sont voisines.

L'année 2002, particulièrement sèche durant toute la saison agronomique (Tableau 2), a produit la quantité de biomasse aérienne pratiquement la plus faible à Wabush (683 kg/ha) (Fig. 1). Ce taux se compare en médiocrité à celui de 2011, à Wabush (624 kg/ha) (Fig. 1) comme à IOCC (555 kg/ha) (Fig. 2), où le mois d'août avait été au contraire particulièrement pluvieux, suivi d'un mois de septembre sec (Tableau 2), malgré des températures normales, voire au-dessus de la moyenne durant les deux mois estivaux (Tableau 1). Sur le site d'AMCC néanmoins, encore nouvellement végétalisé en 2011, la biomasse aérienne produite a atteint une bonne moyenne de 1317 kg/ha (Fig. 3); les facteurs climatiques semblent avoir moins d'influence les premières années d'intervention, au cours desquelles les moyens déployés sont à leur maximum pour favoriser l'implantation des premiers végétaux.

Les printemps précoces de 2001, 2003, 2006, 2007 et 2008 (Tableau 1) sont généralement annonciateurs d'une bonne production de biomasse sur le site de Wabush (1216 à 2208 kg/ha), exception faite de l'année 2007 (Fig. 1). C'est le cas aussi pour le site d'IOCC en 2006 (1387 kg/ha) et 2008 (1764 kg/ha), mais pas en 2001 et 2003 (625 et 746 kg/ha), où la végétation encore très jeune sur ce site ne semble pas avoir pu bénéficier du climat printanier favorable (Fig. 2).

Les années 2004 à Wabush (3004 kg/ha) et 2005 à IOCC (2231 kg/ha) sont exceptionnelles d'un point de vue production de biomasse aérienne, mais, faute de données, nous n'avons pas pu établir un lien avec les paramètres climatiques.

6.3.4. Relations entre textures des sols et biomasse produite

En règle générale, les années particulièrement productives de biomasse à Wabush comme à IOCC semblent avoir permis d'enrichir le sol en limon (cf. § 6.2.1).

C'est le cas en 2006, en 2008 et en 2012 à Wabush, 3 années où la biomasse produite dépasse les 1500kg/ha (Fig. 1), et où les proportions de limon du sol ont dépassé les 10%.

Sur le résidu de la mine IOCC, les années 2005 et 2008, les plus productives en matière de biomasse végétale (Fig. 2), correspondent aussi à des années record pour l'enrichissement du sol en limon (18,1% en 2005 et 12,7% en 2008).

6.3.4. Relations entre paramètres de sol et fertilisation

La fertilisation a changé au fil des années et les variations dans sa composition, notamment en calcium (Fig. 3) se répercutent sur certains paramètres de sol.

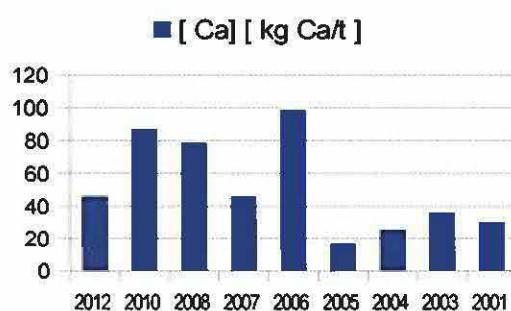


Figure 3. Composition en Calcium des différents fertilisants utilisés à Wabush.
2001-2004: Vipro; 2005: fumier de volailles brut; 2006-2012: Acti-Sol.

Sur le site de la mine Wabush, l'utilisation du fertilisant Acti-sol à partir de 2006, contenant des proportions élevées de Calcium (4,5 à 10%; Fig. 3) a eu un effet chaulant, ce qui explique, jusqu'en 2011, l'augmentation du pH (moyenne de 6,74 de 2006 à 2011 contre 6,14 de 1996 à 2005; Fig. 4) et de la saturation en cations (40 à 67% de 2006 à 2011 contre 7 à 52% de 1996 à 2005; Fig. 5) dans les analyses de sol.



Figure 4. Variations du pH à Wabush montrant l'augmentation à partir de 2006 due à l'usage du fertilisant Acti-Sol riche en Calcium

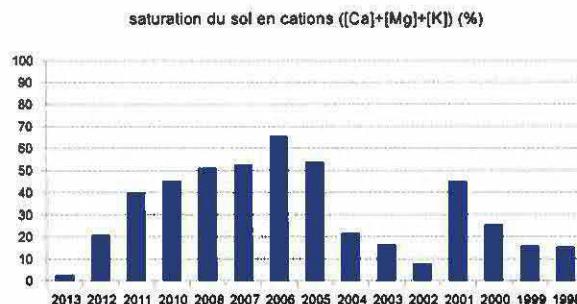


Figure 5. Variation de la saturation en cations à Wabush montrant l'augmentation à partir de 2006 due à l'usage du fertilisant Acti-Sol riche en Calcium

En 2012, pour la première fois depuis 2005 et malgré l'amendement d'Acti-Sol durant la campagne de fertilisation estivale, le pH a baissé à 6,28 unités à Wabush et la saturation en cations à 20% (Fig. 4 et 5). Ceci semble être le signe d'une augmentation de l'activité biochimique du sol avec un début de podzolisation, signe de sa structuration, comme en témoigne l'augmentation de la fraction limoneuse (11,5% contre 8% en 2011 cf. § 6.2.1). Cette tendance, si elle se confirme ces prochaines années, est un très bon signe pour l'établissement d'une végétation permanente sur le site de la mine Wabush.

En 2013, néanmoins, du fumier de volailles brut a été utilisé à Wabush comme en 2005, moins riche en calcium (Fig. 3) et la saturation en cations a chuté à 2,6% (Fig. 5), parallèlement à une diminution à 7,7% de la phase limoneuse du sol (cf. § 6.2.1). Il sera intéressant également de relier ces paramètres aux données de biomasse; l'été 2013 a été une bien mauvaise année en termes climatiques dans toute la région, en raison d'une sécheresse sévère et de nombreux feux de forêts, associés à une pollution atmosphérique importante et durable (2 évacuations à Labrador City); sur le site de Wabush, plusieurs signes de flétrissement des végétaux ont été observés, ce qui pourrait expliquer le recul des paramètres de sol.

Sur le site de la mine IOCC, l'utilisation de fumiers de volailles à partir de 2005 n'a pas eu de répercussion sur le pH, déjà alcalin, et la saturation en cations, qui atteignait déjà 100% sur ce site hautement calcique et dolomitique (cf. § 6.2.3).

L'apport des fumiers organiques (fumier de volailles brut ou Acti-Sol, contenant en plus la litière ligneuse des élevages), riches en microorganismes, en remplacement des fertilisants chimiques utilisés jusqu'en 2004, se traduit néanmoins généralement par une hausse du taux de matière organique du sol, aussi bien à Wabush (Fig. 6) que sur le site d'IOCC (Fig. 7).

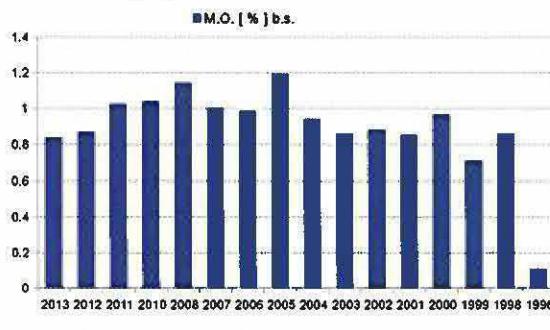


Figure 6: Pourcentage de matière organique (M.O.) dans la solution de sol à Wabush, montrant l'augmentation à partir de 2005 due à l'usage des fumiers de volaille.

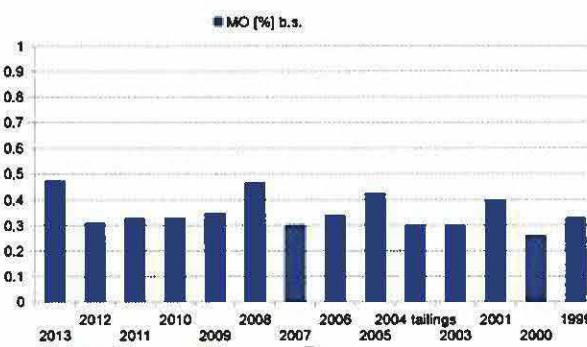


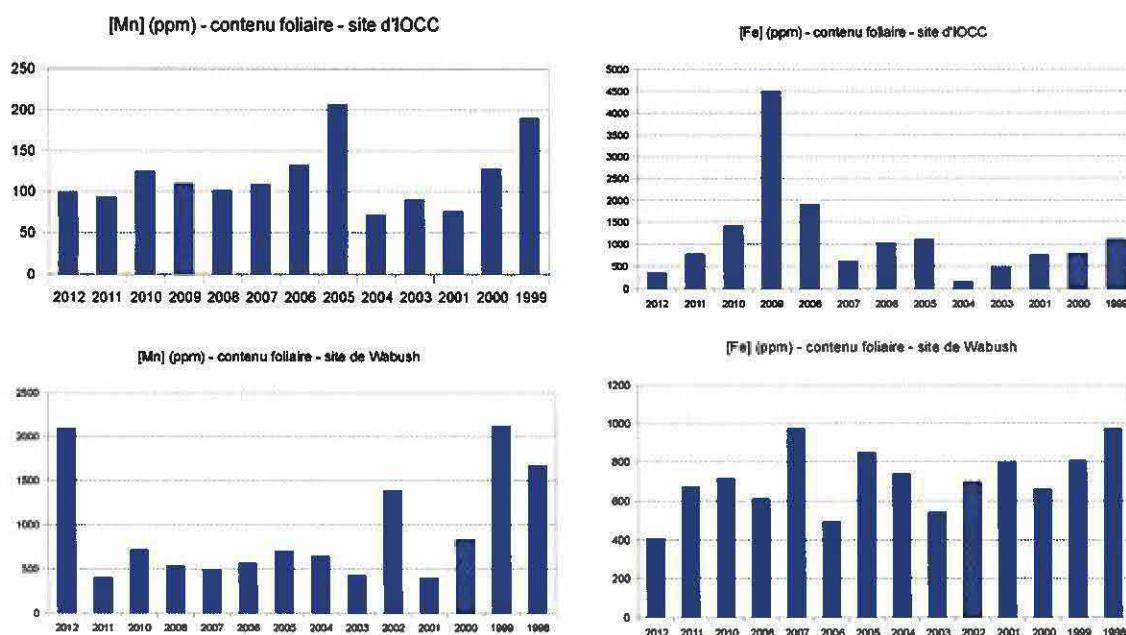
Figure 7: Pourcentage de matière organique (M.O.) dans la solution de sol à IOCC, montrant l'augmentation à partir de 2005 due à l'usage des fumiers de volaille.

6.3.5. Relations entre paramètres de sol, fertilisation et analyses foliaires

Les contenus foliaires en macro-éléments essentiels des plantes [N], [P], [K], [Ca] et [Mg], bien que plus élevés lors des premières années de végétalisation, où la fertilisation est optimale, se sont maintenus à des taux minimaux suffisants pour assurer le maintien des plantes au fil des années sur les résidus d'IOCC et de Wabush, grâce aux campagnes de fertilisation régulières : de 1 à 3,4 % d'azote (recommandation 1-6 %), de 0,15 à 0,44 % de phosphore (recommandation 0,2-0,5 %), de 0,88 à 1,9 % de potassium (recommandation 1,5-4%), de 0,14 à 1,19 % de calcium (recommandation 0,5-1,5%), et de 0,09 à 0,29 % de Magnésium (recommandation 0,15-0,4%).

Il est à noter en particulier que malgré la présence importante de Calcium et de Magnésium sur le site d'IOCC (cf § 6.2.4), les concentrations foliaires de ces deux éléments n'ont jamais excédé la limite recommandée, en raison notamment du choix de végétaux adaptés.

Le manganèse et le fer, deux oligoéléments présents en quantités très élevées sur ces résidus miniers (cf. § 6.2.6), en revanche, se retrouvent également en quantités importantes dans les contenus foliaires, avec une grande variabilité selon les sites et les années, tel qu'indiqué sur les graphiques suivants :



Malgré des contenus foliaires en Fer et en Manganèse extrêmement élevés certaines années, il est intéressant de constater qu'aucun symptôme visuel de toxicité n'a jamais été observé sur les végétaux eux-mêmes, qui semblent très bien résister à ces hautes teneurs. L'usage de fertilisants organiques à partir de l'an 2000, en remplacement des fertilisants chimiques utilisés exclusivement lors des premières années de végétalisation, semble avoir permis de diminuer le contenu foliaire de ces deux éléments.

Cependant, étant donné la grande variabilité observée, une analyse botanique fine, tenant compte des familles, genres et espèces végétales de chaque échantillonnage, est à recommander afin de déterminer quelles sont les plantes qui accumulent et tolèrent le mieux les résidus métalliques, en tenant compte de leurs associations symbiotiques racinaires. Le saule, représentant 13 des 15 échantillons récoltés en 2012 à Wabush, grâce à son réseau d'hyphes fongiques ectomycorhiziens racinaire, est connu notamment pour être un accumulateur de manganèse et de zinc, ce qui explique le pic de manganèse mesuré en 2012 à Wabush; pour cette raison, ce genre botanique est très souvent utilisé en phytoremédiation et détoxicification de sites contaminés.

6.3.5. Conclusions : relations paramètres de sol -- paramètres agro-climatiques

Dans cette région nordique du Québec (52-53° parallèle), où les étés sont courts et les températures estivales dépassent rarement les 20°C, les printemps précoces, automnes tardifs, températures supérieures à la moyennes, et précipitations ont des conséquences importantes sur la quantité de biomasse aérienne produite, ce qui se répercute sur la texture des sols; une augmentation substantielle des fractions argileuse et limoneuse, riches en matière organique, est en effet observée lorsque les plantes, et en particulier leurs racines, ont davantage poussé.

Le choix des fertilisants a aussi une grande influence sur tout le processus; sur les sites de Wabush et de IOCC, le passage des fertilisants chimiques, utilisés les premières années, aux fertilisants organiques constitués de fumiers de volailles, tout d'abord, a permis d'augmenter de manière substantielle les taux de matière organique du sol; puis l'usage du fertilisant Acti-Sol, en remplacement du fumier de volailles brut, plus riche en calcium, a eu pour effet d'augmenter le pH et la saturation en cations à Wabush.

Les analyses foliaires, enfin, démontrent que le choix minutieux des espèces végétales réimplantées et les opérations de re-fertilisation sont pertinentes sur ces sites miniers, puisque les végétaux, malgré les quantités de nutriments encore faibles dans les sols en formation, ne présentent pas de carence en éléments nutritifs et tolèrent très bien les hautes teneurs en manganèse des sites d'IOCC et de Wabush.

6.4. Conclusions générales et perspectives: sols végétalisés par Irrigation NORCO Inc.

Au terme de cette étude des sols sur les 4 résidus miniers végétalisés, nous pouvons constater que les opérations réalisées sur chacun de ces sites sont adéquates et contribuent à accélérer le processus naturel de structuration de ces sols où la végétation ne parvient pas à se réinstaller facilement seule, du fait de l'omniprésence du sable, très pauvre en nutriments et en microflore et ne retenant pas l'eau, et du climat venteux; ce dernier provoque en effet des épisodes réguliers d'érosion éolienne, et les vents de sables, sur les surfaces dénudées et sur leurs pourtours, menacent en permanence le pourtour des surfaces déjà végétalisées. À cela s'ajoute la teneur particulièrement élevée en manganèse sur les sites de Wabush et d'IOCC.

L'implantation des végétaux et la réintroduction d'une microflore fertile constituent donc le point de départ du long processus de pédogenèse mis en branle à Wabush, IOCC, au Mont-Wright et au Lac Bloom. Néanmoins, même sur les sites les plus anciennement végétalisés, l'équilibre recréé est encore fragile et les sols, encore pauvres en nutriments, en argiles et en limons, nécessiteront encore plusieurs années un suivi annuel ainsi qu'épisodiquement des travaux de re-fertilisation, là où cela s'avérerait nécessaire.

Cependant, en favorisant de plus en plus l'implantation de végétaux permanents, capables de s'auto-fertiliser grâce à la présence de microorganismes racinaires symbiotiques, les besoins en intervention humaine et en fertilisants organiques devraient diminuer progressivement, au fur et à mesure que le sol se structure en profondeur, et que la nature reprend définitivement ses droits, sur ces terrains redevenus vivants et fertiles. L'apparition des premiers ligneux, au bout d'une dizaine d'années en moyenne, constitue le signe d'une pédogenèse bien engagée et de l'installation d'une végétation durable.

Dans chacune des trois sections de cette analyse comparative des sols, nous avons mis en évidence les relations étroites qui existent entre la végétalisation et la structuration de ces sols miniers, et en particulier le lien direct entre accroissement de matière organique (biomasse, biofertilisants, influencés par tous les paramètres physico-chimiques et climatiques) et accroissement des fractions limoneuse et argileuse du sol. La structure du sol, au départ créée par la phase active du parc à résidus et par l'action mécanique de la ségrégation éolienne, très majoritairement sableuse (particules grossières, comparativement aux particules plus fines des limons et des argiles), subit en effet des transformations biochimiques dès lors que la vie est réapparue dans ces sols (racines végétales, animaux fouisseurs, insectes et microorganismes - microflore et microfaune), et ces transformations prennent alors le pas sur les paramètres physiques ayant présidé à leur création. Dans les conditions quasi désertiques de ces sites hostiles, sableux et venteux, il est certain que la transformation biochimique microscopique d'un grain de sable stérile en fine particule d'argile colloïdale fertile ne va certainement pas de soi, mais les analyses de sol sont formelles : grâce au travail de végétalisation réalisé, un sol vivant se structure progressivement en lieu et place du résidu minier stérile.

7.0 Recommandations pour les travaux de végétalisation de l'été 2014

7.1 Hydro-ensemencement pendant l'été 2014

Pour l'été 2014, nous suggérons de continuer les travaux de semis hydraulique en intensifiant le rythme adopté en 2011, 2012 et 2013, c'est-à-dire en faisant de l'hydro-semis sur une surface de 20 hectares, en utilisant la même méthodologie et les mêmes ingrédients qui ont fait leur preuve en 2011, 2012 et en 2013, c'est-à-dire la recette de matrice de fibres gommées(MFG) poly-texturée NORCO et le mélange de graines HYDRO-NORCO. Avec deux nouveaux hydrosemoirs *Epic Manufacturing* d'une capacité de 1200 gallons US chacun et munis de canon d'arrosage à longue portée, **Irrigation NORCO** est en mesure de faire les travaux dans les délais. Une équipe de 7 ouvriers peut couvrir 1.25 hectares de terrain par jour avec 3 couches de BFM. Irrigation NORCO possède maintenant cinq (5) hydrosemoirs dans la gamme 1050-1200 gallons US et un (1) hydrosemoir de 3300 gallons US.

La zone de travail proposée pour l'été 2014 est illustrée sur la carte ci-jointe en format légal 8½" x 14" intitulée « Recommandations pour l'été 2014 ». La Digue « Est » est un secteur très exposé à l'érosion éolienne et est à l'origine d'une part importante des poussières fugitives émises par la Mine de fer du Lac Bloom pendant les épisodes de vents forts. C'est aussi un secteur qui prendra beaucoup d'importance dans les prochaines années et donc, nous pensons que les travaux de mise en végétation effectués à cet endroit en 2014 ne seront pas perdus ou défaits ultérieurement à cause de nouveaux aménagements du parc à résidus miniers fins. Il s'agit enfin d'un secteur où il y a toujours des travailleurs qui peuvent être exposés à des poussières fugitives. Tout cela nous mène à la conclusion qu'il s'agit d'un endroit prioritaire à hydro-ensemencement en 2014. La suite de la Digue « Est » pourrait être hydrosemée à l'été 2015 et à l'été 2016.

Pour la zone proposée en 2014, les vingt (20) hectares seraient semés sur un substrat (sol) totalement minéral, surtout des résidus métallifères sablonneux de moulin (« tailings ») et avec une pente généralement prononcée ou un fort niveau d'exposition à l'abrasion éolienne, donc un projet qui nécessite trois couches de MFG poly-texturée NORCO ©. Notre tarif 2014 pour un système à 3 couches de MFG est inchangé et sera de \$27 660.00 par hectare, + taxes. Il s'en suit qu'en 2014, le budget de végétalisation devrait être d'environ \$553 200.00 + taxes. Pour ce budget, un rapport agronomique complet est inclus (voir section 7.3).

En fonction du nombre de couches (1, 2 ou 3) de bouillie nécessaire, le tarif 2014 sera de \$14 000.00 + taxes pour une (1) couche de MFG, \$ 20 400.00 + taxes pour deux (2) couches de MFG et de \$27 660.00 + taxes pour trois (3) couches de MFG. Voir la recette complète de bouillie, version 2014, à la fin de cette section.

Lorsqu'il y a de la matière organique dans le sol (exemple : humus forestier récupéré) et que le terrain est plat, une (1) couche de MFG est suffisante. Lorsqu'il y a de la matière organique dans le sol (exemple : un bon sol forestier récupéré) et que la pente est forte, deux (2) couches de MFG sont nécessaires. Dans les autres cas, pour les sols stériles, très pauvres ou totalement minéraux, deux (2) ou (3) couches sont nécessaires, en fonction de la pente mais aussi de la granulométrie.

Pour bien arriver dans nos échéanciers, ces travaux devraient être commencés le plus tôt possible et terminés avant le mercredi 20 août 2014 inclusivement. Nous souhaitons également relocaliser notre conteneur maritime et utiliser un nouveau point de ravitaillement en eau à partir du « Lac F ». Voir sur le plan en format 8½" x 14" ci-joint.

7.2 Plan quinquennal : planification des travaux de mise en végétation des résidus sablonneux (« tailings ») au Parc à résidus de la Mine de fer du Lac Bloom.

Nous proposons de préparer un Plan quinquennal 2015-2019 pour la mise en végétation du parc à résidus sablonneux de la mine de fer du Lac Bloom, parc situé sur la rive nord du Lac Mazaré.

Pour ce faire, une mosaïque géo-référencée d'images satellites couleurs et infrarouge, avec une résolution d'environ 50 cm, sera fournie par Irrigation NORCO, à partir de clichés pris durant l'été 2014 sur toute la propriété Lac Bloom.

Une fois la mosaïque de photos reçue du fournisseur, disons au mois de décembre 2014, **Irrigation NORCO** montera un plan quinquennal de végétalisation, avec un budget, et qui sera présenté en même temps que le **Rapport agronomique annuel 2014-2015**.

Coût de cette proposition : \$28 500.00 + taxes.

7.3 Documentation des projets et services agronomiques pour l'année 2014

En 2014, si notre proposition de 20 hectares est acceptée, nous allons recueillir de nombreux échantillons ainsi que des données météo pour être en mesure de produire un premier rapport agronomique vraiment complet, incluant entre-autres des échantillons foliaires et l'évaluation de la séquestration de carbone organique.

D'abord, en avril ou en mai 2014, nous installerons une station météo de type agricole qui enregistrera à chaque demi-heure plusieurs paramètres : T° air ; T° sol@ 2,5 cm ; humidité relative ; pression barométrique ; vitesse et direction des vents ; évapotranspiration de référence ETR en mm H₂O ; pluie reçue en mm H₂O ; indice d'ultraviolets UV ; rayonnement solaire incident W/m² ; indice de refroidissement éolien etc. En date du vendredi 30 mai 2014, cette partie du mandat agronomique a été mise en application depuis le mardi 29 avril 2014 dans l'après-midi.

Pendant la saison de croissance 2014, nous allons prélever plusieurs échantillons : au moins 36 foliaires [N, P, K, Ca, Mg, S, Na, Fe, Mn, Cu, Zn, Al] parmi au moins sept espèces différentes de plantes vasculaires, feuillage cueilli sur ou à proximité des résidus ; au moins 36 sols [pH, capacité d'échange cationique, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, matière organique par voie humide (*Walkley-Black*) et aussi par spectromètre à absorption (four *LECO*) ; classe texturale via méthode officielle]; sept (7) échantillons pour évaluer la séquestration de carbone dans le sol et la litière (épisolum humifère), procurant du même coup une estimation de la masse volumique apparente du sol ; au moins dix-huit (18) échantillons de biomasse aérienne pour avoir une idée du rendement en kg de matière sèche par hectare et donner une indication du taux de succès. Les échantillons sont tous géo-référencés à l'aide d'un GPS.

Nous prendrons aussi plusieurs nouveaux échantillons (au moins un quinzaine) de résidus miniers sablonneux (« tailings ») pour les faire analyser, afin de préparer les travaux de végétalisation à venir dans le secteur du parc à résidus.

Tout comme en 2011, 2012 et 2013, de nombreuses photographies numériques en couleurs seront prises avant, pendant et après les travaux, pour documenter l'historique des projets. Nous ferons aussi un suivi des parcelles végétalisées en 2011, 2012 et en 2013.

En plus, si la mine de fer du Lac Bloom nous donne la permission, nous aimerions herboriser certaines régions de la mine, pour voir si des espèces végétales indigènes se démarquent du lot. Nous en profiterons pour commencer un inventaire floristique et préparer des spécimens d'herbier.

Le rapport agronomique couvrant la saison végétative 2014 sera complet et remis durant le mois d'avril 2015, en cinq (5) copies. Il comportera huit (8) sections : une introduction, l'historique des projets réalisés en 2014, les paramètres agronomiques, un inventaire floristique des plantes vasculaires trouvées sur la propriété Lac Bloom, la météo 2014, un thème spécial sur un sujet touchant le domaine de la restauration des sites miniers et finalement les recommandations pour la saison 2015 et les conclusions.

Prix forfaitaire pour ces services professionnels : \$ 80 000.00 + taxes. Si la **Mine de fer du Lac Bloom** décide d'aller de l'avant avec le projet de **20 hectares @ 3 couches de BFM**, le montant forfaitaire de **\$553 200.00 + les taxes** inclus ce qui est décrit dans le paragraphe 7.3, donc dans ce scénario de 20 hectares, il n'y a pas de \$ 80 000.00 supplémentaire + les taxes à défrayer.

Sur la page suivante, nous présentons des photos datant du mois d'octobre 2012 et qui montrent de quoi a l'air une partie des secteurs que nous proposons d'ensemencer en 2014 le long de la Digue « Est ». Avec l'hydro-ensemencement, en traitant simultanément les deux versants de la digue, les rebords supérieurs, les ballast de « pipeline » et les bords de chemin de la Digue « Est », l'érosion éolienne sera maîtrisée (**voir l'Historique du projet 2013, section 2.0, pour une explication détaillée de ce qui va arriver si seulement un versant de la digue est traité**) et il y aura une réduction considérable des problèmes de poussières et de vents de sable originant de ce secteur.

Avec deux nouveaux hydrosemoirs **Epic Manufacturing** modèle **C120LF** d'une capacité de 1200 gallons US chacun et munis de canon d'arrosage à longue portée, **Irrigation NORCO** est en mesure de livrer la marchandise dans les délais ! ! !

- *Fin des recommandations* -



Photo LB2012_1010_002



Photo LB2012_1010_010



Photo LB2012_1010_023



Photo LB2012_1010_027

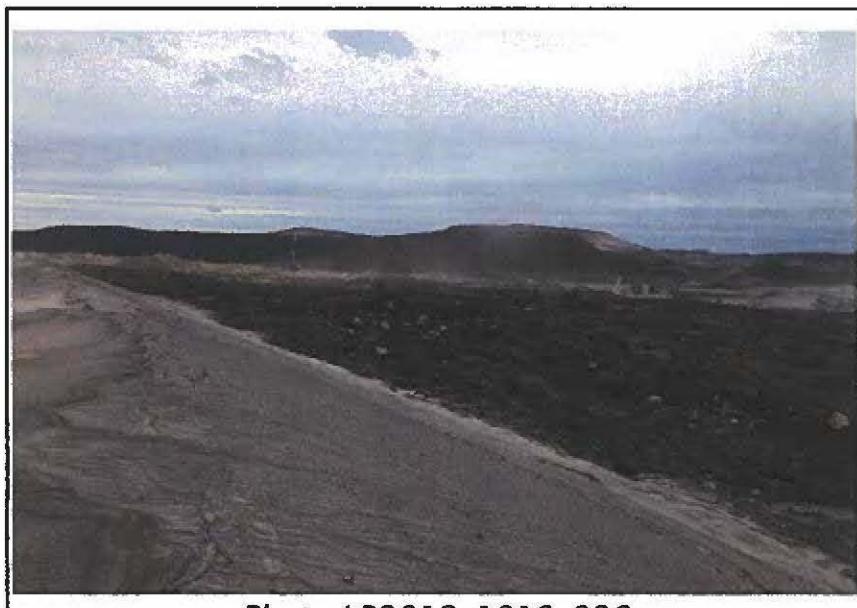


Photo LB2012_1010_028

[**requisé pour**
sur de travail
s sur 2 machines]

palettes,
lire ± 3300 kg

s de graines
NORCO

cs de 25 kg

cs de 40 lbs

cs de 25kg

ots de 50 lbs

s de 50 lbs

lots de 40 lbs

cs de 10 kg

roulettes

surfactant biodégradable.

surfactant biodégradable.

surfactant biodégradable.

Matrice de fibres gommées poly-texturée NORCO®

8.0 Conclusions

En parcourant ce rapport, on a pu vérifier que non seulement ce qui avait été semé en 2011 (8 hectares) a bien poussé en 2013, que presque toutes les surfaces hydrosemées en 2012 (5 hectares) ont quand même bien passé au travers de la sécheresse extrême du début de l'été 2013, et que ce qui a été hydrosemé en 2013 semble très prometteur pour l'été 2014. Souhaitons seulement qu'il n'y aura pas d'autre sécheresse prolongée comme celle qui a frappé la région en 2013, avec tous ces feux de forêts.

C'est encore une fois avec beaucoup de plaisir que nous avons pu travailler pendant l'été 2013 avec les gens du département d'environnement et les ingénieurs responsables de la gestion du parc à résidus miniers. On se sentait acceptés et l'atmosphère de travail était positive. La mine de fer du Lac Bloom est le premier client minier qui nous fait intervenir au tout début de sa mise en production. Chez nos différents clients de la région, nous étions toujours entrés en scène pour corriger des problèmes environnementaux qui s'étaient amplifiés au fil des ans, au point de requérir presque une intervention d'urgence ou à tout le moins un rattrapage intensif. Pour la première fois, avec un client comme la Mine de fer du Lac Bloom, on faisait partie du « Plan A » et les activités de végétalisation avaient été prévues dès le début, dans une approche proactive. Voilà ce qu'on aimerait voir sur toutes les mines qu'on retrouve sur le territoire Québécois. En ce sens, la mine de fer du Lac Bloom constitue à plus d'un titre l'exemple à suivre dans le secteur minier.

Remerciements

Merci et félicitations à toute l'équipe NORCO du Lac Bloom durant l'été 2013: Lina Bruneau, Jérôme Dubuc-Boutin, François Turcotte, François Blais, Hugo Lagacé-Laliberté, David Grimard, Yannick Lamontagne, Alexandre Baril, Martin Beaulieu, Jimmy Dulude, Myriam Bruneau-Cossette, Louis Tousignant et Mathieu Papineau. Grâce aux efforts de toute l'équipe durant l'été 2013, plus de seize (16) hectares ou 160 000 m² de terrains dénudés ont été traités, avec des résultats prometteurs. Voilà une grande surface végétalisée qui prendra son essor pendant l'été 2014 et dans les années suivantes.

Nous tenons à remercier tous les gens qui travaillent pour la Mine de fer du Lac Bloom, en particulier ceux du département environnement et aux ingénieurs du secteur « parc à résidus ». À François Lafrenière, à Thomas McNeil, à Maxime Baillargeon, à Danny Tremblay, à Stéphane Bisson, à Perry M. Fiorini et aux autres que j'oublie, un gros merci pour votre confiance et votre appui pendant l'été 2013.

En espérant que la lecture de ce rapport agronomique n'aie pas été trop ennuyante, et peut-être même un certain intérêt, je souhaite à tout le monde un très bel été 2014 à Fermont, un été toujours plus vert, avec plus de soleil et avec un peu plus de pluie qu'en 2013. Et j'oubliais: sans épisode pluies diluviales SVP ! Il me semble qu'on mérite ça non ?

Le vendredi 30 mai 2014,



Normand Cossette
ingénieur et agronome



Rapport d'analyse

604, rue Jean-Neveu, Longueuil (Québec) J4G 1P1 450 674-5271

Entrepreneur	295a96	Client	1000000
Migration Network Inc.		Home Information	
231, rue Abraham-Richter			
Vaudreuil	(Outbox)		(Outbox)
7814 1K3			
Report Final		Fax:	

paramètre (méthode)	Résultat sur sol secifié	Unité	Test
CEC estimée	4.5 meq/100g		
pH eau (1:1)*	7,9		
pH tampon*	>= 7,5		
Indice en cheval	>= 75		
Ca (Méthod III)*	1917 Kg/ha		
Saturation Ca	93,3 %		
[P (Méthod III)*	26 Kg/ha		
ESP (P/I)	>= 30 %		
Al (Méthod III)*	<= 40 ppm		
K (Méthod III)*	<= 13 Kg/ha		
Saturation K	0,3 %		
Mg (Méthod III)*	53 Kg/ha		
Saturation Mg	<= 4 %		
Zn (Méthod III)*	<= 0,4 ppm		
Co (Méthod III)*	<= 0,25 ppm		
Mo (Méthod III)*	35,7 ppm		
B (Méthod III)*	<= 0,1 ppm		
Fe (Méthod III)	53 ppm		
Matière organique (zébri)* <= 0,1 %			
Saturation +K/Mg/ Ca	100,0 %		
Conductivité	0,0 mhos/cm		

No Rapport	COA-71567
Emission originaire	18-10-2013
Emis. fin	18-10-2013

époque	époque	date de commande
10-10-2013		
Résultats sur séché		
mg/100g		
7.5		
75		
Kg/Ha		
0 %		
Kg/Ha		
5 %		
peine		
15 Kg/Ha		
%		
Kg/Ha		
%		
0.4 ppm		
0.25 ppm		
0.6 ppm		
0.3 ppm		
peine		
1.0 %		
mm/mes/cm		



Rapport d'analyse

504, rue Jean-Neveu, Longueuil (Québec) J4G 1P1 450 674-5271

Entreprise	295196	Client	100660
Identification Novex		Identité Juridique	
211, rue Abraham-Richard			
Variétés	(Québec)		(Québec)
321-323			
Rapport Final		Fax	
		Conseiller	mcneal@videotron.ca

Re	Échantillon	Échantillon	Reçu le	Statut
255590			10-10-2013	
Description	Catégorie sol	L82013 SLL A		
Paramètre (méthode)	Résultats sur:	sol séché		
CRC estimée	5.5 meq/100g			
pH eau 1:1:1*	7.9			
pH tampon*	>= 7.5			
Indice en eau*	>= 75			
Ca (Heilich III)*	2555 g/Kg			
Saturation Ca	96.2 %			
P (Heilich II)*	14 kg/ha			
TFI (PAU)	<= 50 %			
Al (Heilich III)*	<= 40 g/m			
Si (Heilich III)*	<= 15 kg/ha			
Saturation K	0.1 %			
Hg (Heilich III)*	59 kg/ha			
Saturation Hg	3.7 %			
In (Heilich III)*	<= 0.4 ppm			
Cu (Heilich III)*	<= 0.25 ppm			
Mo (Heilich III)*	<= 45.7 ppm			
B (Heilich III)*	<= 0.1 ppm			
Fe (Heilich III)	52 ppm			
Matière organique (comb. II)	0.1 %			
Saturation X-Hg/Ca	100.0 %			
Conductivité	0.0 mhos/cm			

Commentaires	
Demandeur	Copies conformes
Gabuc Raphaël Jérôme	

**posta su www.trebbiaweb.it - SERVIZIO / CHIUSURA 150 57028 : 3007

« Effectué par Président » **CERTIFIÉ / CERTIFIED AND / DATED : 20/02/2011**
Le présent document est émis à l'attention de l'ensemble des membres du personnel (01-01-2011) disponible sur demande. Ce rapport sera rendu, dans un délai, dans l'ensemble des établissements de l'Institution. Ce rapport, confirmé par l'ensemble des administrateurs, a été rédigé dans l'intérêt de l'Institution, sans lien avec la présidence actuelle, et il n'est pas destiné à être divulgué à l'ensemble des administrateurs chargés de la gestion quotidienne.

LABORATOIRES D'ANALYSES S.M. INC.
2350, Chemin du Lac

Longueuil (Qc)
514 332-6001

©1994 514 332-0001

Commentaires	
Demandeur	Copie conforme
Dubuc Bertrand Hervé	

R. H. Lippincott

RAFAK 25.0010446. 20190616 00:0 2021

Commentaires	
Demandeur	Copie conforme
Dusuc, Béatrice	

**Effectué en sous-traitance. *CERTIFIÉ / CERTIFIED ISO 17025 : 2005

de la nature, de la chasse ou de prendre quelques renseignements sur l'hydrographie.
 **LABORATOIRES D'ANALYSES S.4.1.**
2350, Chemin du Lac

SM[®] Longueuil (Québec) M
514 332-6001

• 100 •



Rapport d'analyse

604, rue Jean-Navau, Longueuil (Québec) J4G 1P1 450 674-5273

Entreprise	185196	Client	109000	No Rapport	COA-7167	
Émission Nrcs (km)		Nom Irrigation		Émission originale	16-10-2013	
211, rue Abraham-Richard				Emis le	16-10-2013	
Ville	(Québec)					
Code (K3)						
Rapport Final						
Echantilloné le	Reçu le	Bon de commande		Echantilloné le	Reçu le	Bon de commande
25/09/95	(10-10-2013)	25 et 28-09-20		25/09/00	(10-10-2013)	25 et 28-09-20
Description	Catégorie sol	Catégorie sol		Description	Catégorie sol	Catégorie sol
(10/2013 SL04)				(10/2013 SL04)		
Paramètres(méthode)	Résultat sur sol séché			Paramètres(méthode)	Résultat sur sol séché	
Matière organique (totale)*	0,1 %			Matière organique (combi.)*	0,4 %	
Gravimétrie	simples			Gravimétrie	simples	
Angle	3,5 %			Angle	7,6 %	
Limons	8,1 %			Limons	18,1 %	
Sable	80,3 %			Sable	74,2 %	
Classe texturelle	Sable			Classe texturelle	Loam sablon	



Rapport d'analyse

604, rue Jean-Neveu, Longueuil (Québec) J4G 1P1 450 674-5271

Entreprise	295196	Client	106609	Ref Rapport	CDA-71167		
Entreprise Nom/loc.		Nom/Institution		Emission originale	16-10-2013		
231, rue abraham-richard				Envie le	16-10-2013		
Université	(Québec)						
3321 IX3							
Report Final		Fax					
		Courriel	ncor@videotron.ca				
Ref	Échantillon/lot	Reçu le	Box de commandes	Ref	Échantillon/lot	Reçu le	Box de commandes
254997		10-10-2013	25 et 26-09-20	254998		10-10-2013	25 et 26-09-20
>Description	Carotte sol (LB2013 SL046)			Description	Carotte sol (LB2013 SL078)		
Paramètres (méthode)		Résultat sur sol séché	W1	W2	W3	W4	W5
Matière organique (comb.) ^a		0.6 %					
Gravimétrie		simplicité					
Argile		6.7 %					
Limon		11.0 %					
Sable		93.3 %					
Classe texturelle		Sable loamy					

Commentaires	
Demandeur	Copie conforme
Douc South Jérôme	Dubuc Bévin Méline (Jean)
*Effectué en sous-traitance. -CERTIFIÉ/ CERTIFIED ISO 17025 : 2005	
Vé��ification effectuée sur les documents suivants : Extrait Supplément des normes de référence (06-06-2015) et les documents de procédure de certification.	
Ce rapport est émis pour la certification de la conformité des documents de procédure de certification des demandeurs qui ne sont pas émis par les autorités, mais dans la mesure où la procédure en cours est en conformité avec les normes de référence.	
LABORATOIRE D'ANALYSES S.M. INC.	
2375, boulevard Lirette	
Longueuil (Québec) J4H 1G8	
514-322-6001	

Commentaires	
Demandeur Dabuc South Jérôme	Copie conforme Dabuc South Jérôme [jerome.dabuc@orange.fr]
<p>Appelé pour déposer. Ce dossier n'a pas été traité, il reste à faire pour la suite de la procédure d'envoyer à l'adjudication.</p> <p><i>E. L. Jérôme</i></p> <p>Établissement d'analyses variétés et solubilités AATV. ZI IDDAK-Allouane (20150) 3031</p>	

Commentaires	
Demandeur	Copie conforme
Dubuc, Béatrice	Dubuc, Béatrice
<p>** Effectué en sous-traitance. * CERTIFIÉ * CERTIFIED ISO 17025 : 2005</p> <p>Le laboratoire a effectué une analyse de la matière première dans le cadre d'un contrat de sous-traitance. Les résultats sont basés sur les échantillons analysés et sont destinés à être communiqués au client. Les résultats sont basés sur les échantillons analysés et sont destinés à être communiqués au client. Les résultats sont basés sur les échantillons analysés et sont destinés à être communiqués au client.</p> <p>LABORATOIRE D'ANALYSES S.M. INC.</p> <p>1500, Chemin du lac Longueuil (QC) J4N 1G8 514 332-6001</p>	

Irrigation Norco

Mélange Hydro Norco 2013

28,5% Avoine
10% Seigle d'automne
10% Ivraie annuel
10% Moutarde blanche
10% Fétuque rouge traçante type Boreal
6% Trèfle rouge 1 coupe
6% Trèfle Hybride
5% Elyme a grêle
4% Mili
2,5% Fétuque Ovine
2,5% Fétuque élevée type fourrager Riding Brand
2,5% Paturin du Canada
2% Mélilot fleurs jaunes
0,9% Agrostide Highland
0,1% Deschampsie cespitosa

Mélange de plantes couvre-sol Canada no 1 / Canada No. 1 ground cover n° 1

Poids / Weight 25 kg (55.11 lb)

Lot : 12468

Gloco inc. garantit que les semences ou autres produits vendus par nous, en deçà des tolérances reconnues, conformes à la description donnée sur l'étiquette ou le contenant, mais n'accorde aucune autre garantie. Notre responsabilité, découlant de la garantie ou autre, est strictement limitée au prix d'achat desdits produits ou semences.

Subject to the limitation of liability herein set forth, Gloco inc. as seller warrants are as described on the container or label and are higher than the recognize tolerance. Seller's liability in respect of any and all conditions and warranties expressed or implied is limited to the purchase price of seeds or products sold.

Emballé par Gloco inc, 10400 Renaude-Lapointe, Montréal, QC, H1J 2V7



Bloom Lake Mine

2015 Vegetation Program Report

Revision 0

2015-11-09

H&H Enterprises Limited
P.O. Box 1240
Wabush, NL, A0R 1B0



REVISION HISTORY

Document Title	Bloom Lake Mine Vegetation Program 2015
----------------	---

Revision History				
Revision	No.	Date (yyyymm/dd)	Details of Revision	Prepared By
Reviewed By				Approved By
0	2015/XX/XX			

TABLE OF CONTENTS

1	Background	1
1.1	Introduction.....	1
1.2	Existing Conditions at Bloom Lake Mine	1
2	Methods and Implementation	2
2.1	Seed and Fertilizer.....	2
2.1.1	Main Seed Mix.....	2
2.1.2	Fertilizer.....	2
2.2	Hydroseeding/mulching	2
3	Observations.....	3
4	Recommendations	8

Appendices

Appendix A: 2015 Site Maps

1 BACKGROUND

1.1 Introduction

Bloom Lake Mine is a relatively new mine with a small volume of tailings when compared to other mature/older mines. Most of the existing tailings have been utilized for dyke containment structures along with waste rock and covers a small portion of the overall mine property. The mine is currently inactive and no new tailings are being deposited at this time. The majority of these tailings and dyke areas remains un-vegetated and is subject to wind erosion and mobilization of blowing of fine tailing particulate.

In the summer of 2015, Cliffs Resources Inc., the mine owner, retained H&H Enterprises to implement works to establish vegetation on approximately 22 hectares of un-vegetated tailings dykes and selected/more problematic areas at the Bloom Lake Mine site. A map of most of the selected vegetation areas for 2015 is provided in Appendix A. A total of 22.8 hectares was completed.

1.2 Existing Conditions at Bloom Lake Mine

Given the fact that the mine is relatively new (less than 4 year of mine operations activity), there is not a substantial amount of area that requires vegetation when compared to the Wabush Mines Tailings, but these inactive tailings present a fugitive dust concern and may increase the total suspended solids level in the basin. Some smaller scale vegetation had be completed in previous years at selected locations. These vegetative cover varies spatially ranging from simple fescue-type grass to a mix of fescue grass, mosses and lichens.



Photo 1 & 2. Typical earth built dykes and slopes around Digue D1. Growth taking place after 1 week of Hydroseed application.

2 METHODS AND IMPLEMENTATION

2.1 Seed and Fertilizer

2.1.1 Main Seed Mix

The seed mix used in 2015 for seeding the tailings and other selected areas was (% by weight) 28% Oats, 28% Fall Rye, 22% Red Clover, 22% Creeping Red Fescue and 20% Bird's Foot Trefoil, and applied at an average rate of 200 kg per hectare. Areas that had signs of higher salts and rough gravelly surfaces received an additional 20% of seed.

2.1.2 Fertilizer

Nitrogen and phosphorus were applied as Monoammonium Phosphate (MAP) (12% N; 61% P as P_2O_5) at an average rate of 113 kg per hectare.

Potassium sulfate (Potash) (supplied as KALISOP[®] granular max. 1.0 % Cl; 0% N, 0% P_2O_5 , 51% K_2O , 18% S) was applied at an average rate of 113 kg per hectare.

Sustane concentrated compost (an organic compost-based slow release fertilizer blend; 2-6-3) was also applied with the hydromulch mix at an average rate of 227 kg per hectare.

2.2 Hydroseeding/mulching

Mulch, fertilizer, including composted manure and seed were applied using a Finn T90 Hydroseeder. Synermulch MulchMax 200 was applied at an average rate of 680 kg per hectare. The average load was 900 gallons, and it took approximately 11-12 loads per hectare. Rates were increased for steep slopes.



Photos 3&4. Hydroseeding/mulching application.

3 OBSERVATIONS

3.1 Overview

The site was treated with a combination seed mix that had previously demonstrated success on-site, fertilizer (including organic stimuli), and MulchMax 200, which is a bast fiber/paper/ tackifier mulch designed to provide both effective erosion control and revegetation support. Approximately 23 Ha of area in the Bloom Lake, Quebec tailings region was treated for stabilization in various areas.

3.2 Site Observations

The areas identified by Bloom Lake Mines as outlined in Appendix A, of exposed un-vegetated tailings and selected earth areas (Waste, tailings and earth structures) for the 2015 season was seeded with the main seed mix between July 20th and August 7th, 2015. The optional time for seed germination success is between mid-June to mid-August. The project started half way into the short growth season for this region. H&H used a T90 Finn hydroseeder for the application.



Photos 5, 6, 7, 8 & 9. Various Hydroseeded Areas



Photos 10 & 11 Close up of Hydroseed/Mulch Mix

Overall vegetation establishment and site stabilization was not as effective as intended, which resulted in an in-depth assessment of the site and the factors affecting vegetation establishment and erosion control. It was not until after the vegetation program was completed that we were able to identify some of the site conditions that affected the program, such as dominant winds. The following is a photographic record of what we observed on-site.



Photo 13: Plant burying

The picture above is from a typical slope treated with mulch in July 2015. Very little vegetation was visually observed, but on closer inspection, the mulch and seeded layer was found below 2-3 inches of blown sand as indicated above. Soil was stabilized below the mulch layer and germination of the annual cover crop as well as the perennial grass mix was achieved. The root crown indicated by the arrow above illustrates where the seed originally was placed and germinated. The amount of sand over the seedlings is significant and will result in high levels of plant mortality. Visually it was difficult to differentiate between some areas that were hydroseeded and areas that were not as a result of the aforementioned.



Photo 14: Plant shearing due to wind

Site observations also indicated significant onsite issues from soil erosion around the crown of the establishing seedlings. This is a major cause of mortality and common where long periods of sand abrasion occurs eroding the mulch. The seedlings above, while still alive, are unlikely to survive the winter as a result the shearing.



Photo 15: High plant mortality

The above image illustrated the mulch remaining in place despite the high winds and blowing sand. In this image, mulch and dead seedlings are clearly visible. Seedling mortality in this case is not due to burying, or root exposure and is most likely due to sand abrasion destroying the plant tissue and killing the growing point at the base of the plant.



Photo 16. Showing mulch coverage and early seed germination and growth within a week of hydroseed application in late July 2015.

The above image is from hydroseeded areas adjacent to the forested areas that were not directly affected by the blowing wind. Broadleaf clover species were in the cotyledon to four leaf stage and grasses in the two –four leaf stage. Normally plants would be more established given the length of growing season indicating that cool temperatures are a significant factor in plant growth.



Image 17: Typical blowing sand witnessed on-site

The above image illustrates the blowing tailings sand witnessed on most of the Bloom Lake site, and was the main factor in reducing plant establishment.



Photo 18: After effect of sand covering mulched area

The above image illustrates one of the mulch treated slopes and the extent to which the site has been affected by blowing sand from non-mulch treated areas. Extremely high plant mortality is expected in these circumstances. You can also see the rippling effect of the wind on these tailings. The back of the

F07 area has a portion of tailings that is not vegetated and a large plateau that allows winds to build up high velocities. These high velocities pick up tailings and carry them over the F07 south slope. Once on the sloped slide, the wind loses some of its velocity and drops the majority of the air born tailings, as seen in the previous images.

Most of the areas to be vegetated/hydroseeded had a high degree of slope. A number of the slopes had washouts from concentrated water flow resulting from these high slopes, which increased velocity of the concentrate water flow.

4 RECOMMENDATIONS

The Cliff's Bloom Lake mine site is suitable for revegetation and can be stabilized successfully. Several factors experienced/identified in 2015 can be addressed to maximize the chances for success on the site moving forward. The following are general recommendations that should be considered before site stabilization of any type is deployed in the future.

1. **Treat tailings areas most prone to erosion first, starting from areas closest to the prevailing wind direction.** This will allow tailings to be stabilized progressively, preventing seedlings from being buried as they establish.
2. **Deploy wind fences in areas demonstrating higher degrees of wind exposure and erosion.** To prevent these areas from becoming sources of airborne particulates, these areas should be treated as early as possible in the growing season to maximize plant establishment and utilize spring moisture. This will provide the seedlings with a better root structure to withstand wind erosion and provide more erosion protection themselves.
3. **Treat as much of the site area as possible.** Given the extreme erosivity of the Bloom Lake site, a threat exists for non-treated areas to overwhelm mulch treated areas with blowing sand, eliminating the benefits of good plant establishment and soil stabilization. **Drill seeding, followed by mulch treatment where possible will significantly enhance vegetation establishment.** Unfortunately, a drill program could not be implemented for the 2015 vegetation program due to the high slope terrain conditions that was identified to be seeded.
4. **Erosion Control through high volume/concentrated surface water runoff.** There are sections of the site that have relatively steep slope embankments. Upon the upper limits of these embankments surface water from rainfall tend to concentrate together and discharge down over these slopes with high volume and high velocities, resulting in rutting and washouts and burying plant life near and at the bottom of these slopes. To mitigate these flows to minimize or eliminate the washouts and rutting, we are suggesting channeling these flows through a non-permeable geo-membrane or a ditch liner system such as the Smart Ditch (See photo below).



Overall the Bloom Lake site can be stabilized successfully, but needs to be treated as aggressively as possible to do so given the soil type, limited growing season and soil exposure. We look forward to continued discussion on options to stabilize the site.

The upper surface of the tailings is characterized by relatively loose mix of coarse sands and finer particulates. Lack of organic matter and limited cohesiveness of the substrate combine to make the tailings media highly erosive and subject to surface desiccation. However, even when the top two to five centimeters of tailings sands tend to dry out quickly, below this sand tended to remain reasonably moist and cool.

Seeding earlier in the spring will improve establishment success in these areas. Thus, it is highly recommended to begin the vegetation/hydroseeding process as soon as growth season starts, to optimize germination period, and to have mature plants at the end of the season.



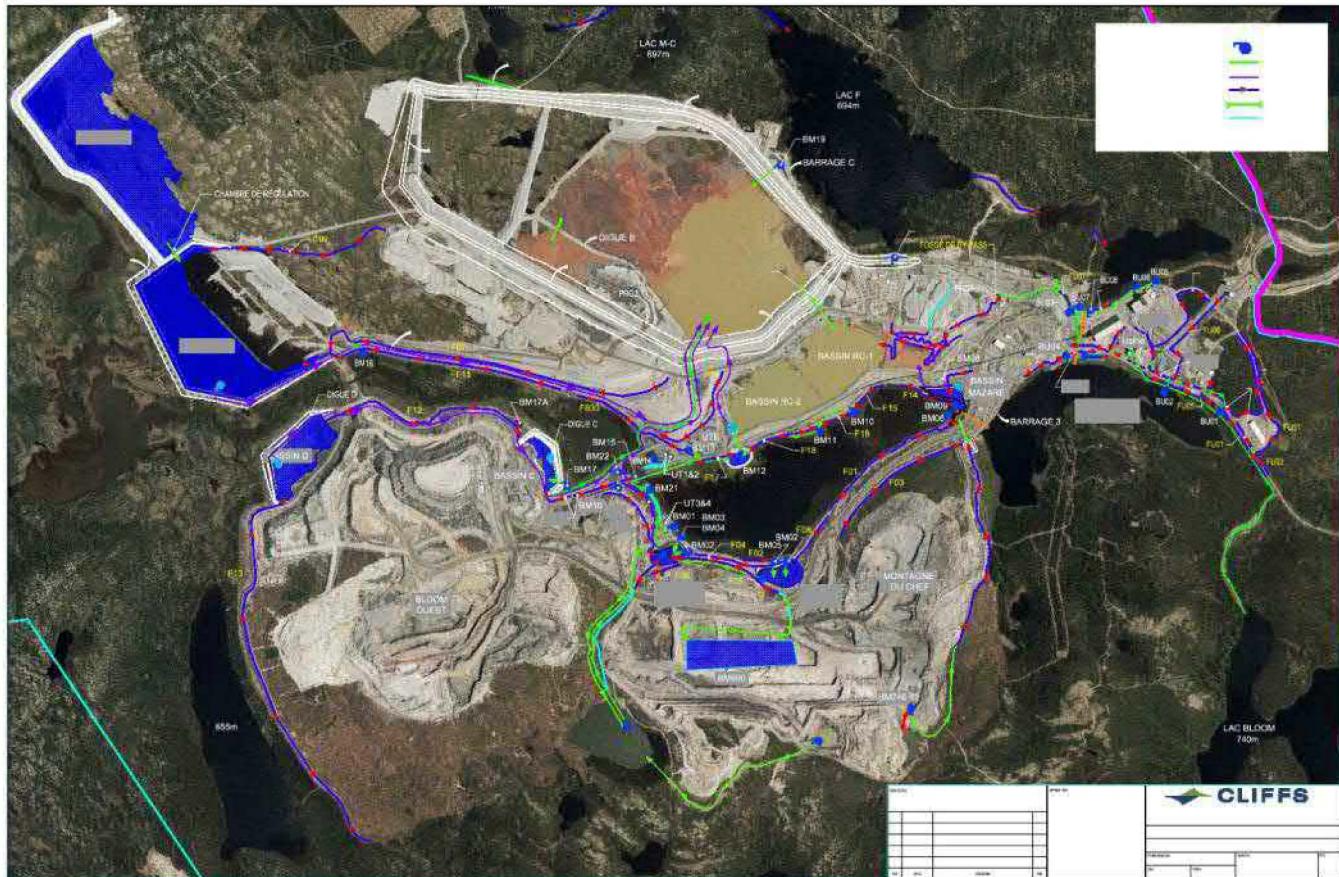
The vegetation program that was conducted during the 2015 season will be reviewed again in the early stages of the 2016 season, to confirm vegetation success, and to address any possible area that need adding, this is within our control.



Appendix A

2015 Site Maps

General Site Map



PRG1, RC1, RC2



Secteur UTE : RC2 - Déversoir



Digue D1



Bassin C

Barrage C :



HPA-SUD



ANNEXE

CHANGEMENTS CLIMATIQUES

MINERAI DE FER QUÉBEC

**MINE DE FER DU LAC BLOOM – AUGMENTATION DE
LA CAPACITÉ D'ENTREPOSAGE DES RÉSIDUS ET
STÉRILES MINIERS**

ÉVALUATION DE LA RÉSILIENCE CLIMATIQUE DU PROJET

RÉF. WSP : 181-03709-01

DATE : JUILLET 2019





MINERAU DE FER QUÉBEC
**MINE DE FER DU LAC BLOOM –
AUGMENTATION DE LA CAPACITÉ
D'ENTREPOSAGE DES RÉSIDUS ET
STÉRILES MINIERS
ÉVALUATION DE LA RÉSILIENCE
CLIMATIQUE DU PROJET**

RÉF. WSP : 181-03709-01
DATE : JUILLET 2019

VERSION FINALE

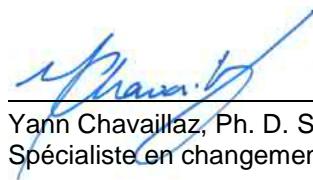
WSP CANADA INC.
1890, AVENUE CHARLES-NORMAND
BAIE-COMEAU (QUÉBEC) G4Z 0A8

TÉLÉPHONE : +1 418-589-8911
TÉLÉCOPIEUR : +1 418-589-2339

WSP.COM

SIGNATURES

PRÉPARÉ PAR



Yann Chavallaz, Ph. D. Sciences du climat
Spécialiste en changements climatiques

RÉVISÉ PAR



Jean-Philippe Martin, Ph. D. Géographie
Spécialiste en changements climatiques

Le présent rapport a été préparé par WSP pour le compte de Minerai de fer Québec conformément à l'entente de services professionnels. La divulgation de tout renseignement faisant partie du présent rapport incombe uniquement au destinataire prévu. Son contenu reflète le meilleur jugement de WSP à la lumière des informations disponibles au moment de la préparation du rapport. Toute utilisation que pourrait en faire une tierce partie ou toute référence ou toutes décisions en découlant sont l'entièvre responsabilité de ladite tierce partie. WSP n'accepte aucune responsabilité quant aux dommages, s'il en était, que pourrait subir une tierce partie à la suite d'une décision ou d'un geste basé sur le présent rapport. Cet énoncé de limitation fait partie du présent rapport.

L'original du document technologique que nous vous transmettons a été authentifié et sera conservé par WSP pour une période minimale de 10 ans. Étant donné que le fichier transmis n'est plus sous le contrôle de WSP et que son intégrité n'est pas assurée, aucune garantie n'est donnée sur les modifications ultérieures qui peuvent y être apportées.

ÉQUIPE DE RÉALISATION

MINERAIS DE FER QUÉBEC

Vice-président Production durable François Lafrenière

WSP CANADA INC.

Directeur de projet	Jean-François Poulin, biologiste M. Sc.
Chargé de projet	Luc Bouchard, biologiste M. Sc.
Spécialistes en changements climatiques	Yann Chavaillaz, Ph. D. Jean-Philippe Martin, Ph. D.
Cartographie	Martine Leclair
Édition et mise en page	Nancy Imbeault

Référence à citer :

WSP. 2019. *Mine de fer du lac Bloom – Augmentation de la capacité d’entreposage des résidus et stériles miniers – Évaluation de la résilience climatique du projet*. Rapport produit pour Minerai de fer Québec. 29 p. + 1 annexe.

TABLE DES MATIÈRES

1	CONTEXTE.....	1
2	MÉTHODE D'ANALYSE.....	3
2.1	Contexte et établissement des risques.....	4
2.2	Analyse des tendances climatiques.....	4
2.3	Analyse des aléas climatiques.....	6
2.4	Évaluation des conséquences et des mesures mises en place	6
2.5	Traitement du risque résiduel	6
3	RÉSULTATS.....	9
3.1	Le contexte du projet	9
3.2	Les tendances climatiques.....	13
3.3	Les aléas climatiques	17
3.4	Les conséquences des aléas climatiques	19
3.5	Mesures d'atténuation et d'adaptation mises en place	20
3.6	Les risques climatiques résiduels.....	24
4	CONCLUSION	27
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	29

TABLEAUX

TABLEAU 1.	TERMINOLOGIE COMPLÈTE DE L'ANALYSE DE RISQUE.....	7
TABLEAU 2.	COMPOSANTES DU PROJET MFQ / MINE DE FER DU LAC BLOOM : AUGMENTATION DE LA CAPACITÉ D'ENTREPOSAGE DES RÉSIDUS ET STÉRILES MINIERS	9
TABLEAU 3.	COMPOSANTES VULNÉRABLES AU CLIMAT, POUR LE PROJET MINIER DE MFQ AU LAC BLOOM	10
TABLEAU 4.	ALÉAS CLIMATIQUES RETENUS ET REJETÉS.....	10
TABLEAU 5.	TENDANCES CLIMATIQUES À MOYEN TERME POUR LA CELLULE CORRESPONDANT AU SITE MINIER ET CONSÉQUENCES SUR LE PROJET ET SON ENVIRONNEMENT	14
TABLEAU 6.	LIENS ENTRE LES ALÉAS CLIMATIQUES, LES TENDANCES DES INDICATEURS CLIMATIQUES ET LES POINTAGES DE PROBABILITÉ À MOYEN ET LONG TERME, CLASSÉS SELON LE POINTAGE DE PROBABILITÉ À LONG TERME	17
TABLEAU 7.	CONSÉQUENCES DES ALÉAS CLIMATIQUES LIÉS À LA HAUSSE DES TEMPÉRATURES	19
TABLEAU 8.	CONSÉQUENCES DES ALÉAS CLIMATIQUES LIÉS À LA MODIFICATION DES RÉGIMES DE PRÉCIPITATIONS.....	20
TABLEAU 9.	ÉVALUATION DE LA PROBABILITÉ D'OCCURRENCE DES CONSÉQUENCES EN FONCTION DE LEUR SÉVÉRITÉ ET DES MESURES DÉJÀ MISES EN PLACE	22
TABLEAU 10.	MATRICE MULTIRISQUE RÉSIDUELLE PRENANT EN COMPTE LA PROBABILITÉ D'OCCURRENCE DES ALÉAS CLIMATIQUES ET DE LEURS CONSÉQUENCES	25

FIGURES

FIGURE 1.	GESTION DES RISQUES SELON LA NORME ISO 31000	3
FIGURE 2.	ÉVOLUTION DES ÉMISSIONS ANTHROPIQUES GLOBALES DE CO ₂ SELON DIFFÉRENTS SCÉNARIOS RCP	5
FIGURE 3.	LIENS ENTRE LES ALÉAS ET LES TENDANCES DES INDICATEURS CLIMATIQUES.....	18

CARTES

CARTE 1.	INFRASTRUCTURES PROJETÉES ET EXISTANTES.....	11
----------	--	----

ANNEXES

A	DONNÉES CLIMATIQUES DÉTAILLÉES À PROXIMITÉ DU SITE
---	--

1 CONTEXTE

Depuis 2018, la prise en compte des changements climatiques dans le régime d'autorisation environnementale du Québec est requise par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). Cette nouvelle exigence se décline en deux volets. D'une part, l'étude d'impact doit évaluer la contribution du projet aux émissions de gaz à effet de serre et identifier des possibilités de réduction de ces émissions. D'autre part, l'étude d'impact doit également évaluer les impacts des changements climatiques anticipés sur les différentes phases du projet, soit la conception, les opérations et le démantèlement.

L'objectif du présent rapport est de répondre à cette deuxième exigence en faisant une analyse préliminaire des risques climatiques associés au projet d'augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers à la mine de fer du lac Bloom. Pour ce faire, nous avons choisi une approche qui répond aux lignes directrices de l'Optique des changements climatiques d'Infrastructure Canada. Le rapport présentera les différentes étapes de cette méthode conforme au standard ISO 31000 en gestion des risques, soit :

- 1** Présentation du contexte
- 2** Analyse des tendances climatiques régionales
- 3** Évaluation de la probabilité d'occurrence des aléas climatiques
- 4** Identification des conséquences des aléas climatiques
- 5** Description des mesures d'atténuation et d'adaptation mises en place
- 6** Évaluation des risques climatiques résiduels

2 MÉTHODE D'ANALYSE

Les nouvelles lignes directrices générales d'Infrastructures Canada concernant l'évaluation de la résilience climatique des projets sont inspirées de la norme ISO 31000 - Gestion des risques (figure 1). Elles font partie intégrante de l'Optique des changements climatiques (Infrastructure Canada 2018). En se basant sur ces lignes directrices, une analyse de résilience multirisque simplifiée a été réalisée. La présente analyse se veut un complément de l'étude d'impact sur l'environnement.

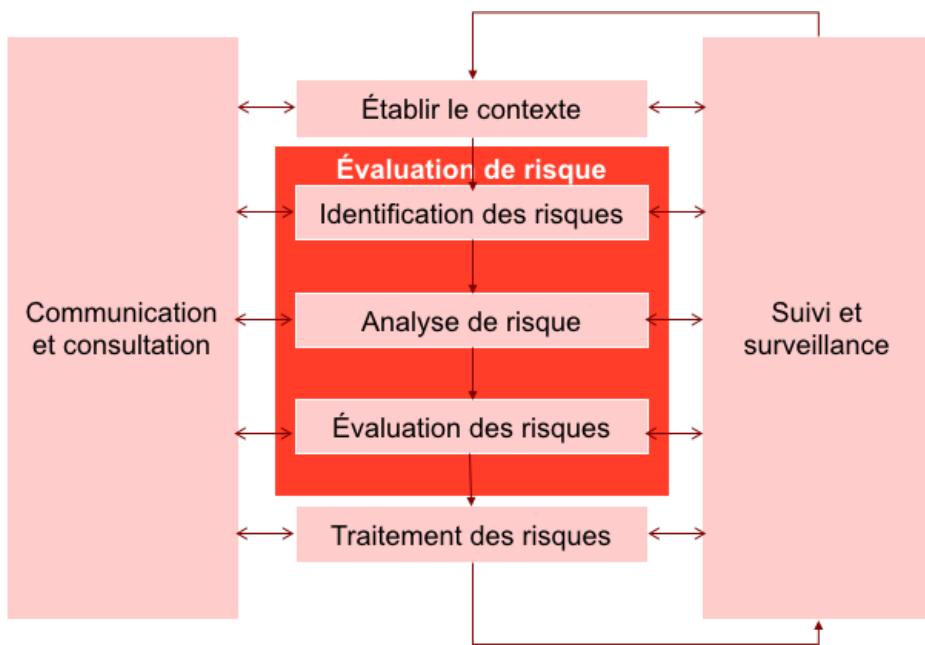


Figure 1. Gestion des risques selon la norme ISO 31000

Parmi tous les risques potentiels qui ont été identifiés, une sélection de risques liés aux aléas météorologiques et de risques pouvant évoluer dans le contexte actuel des changements climatiques a été faite. Le travail a été fait selon plusieurs étapes listées ici et décrites plus bas :

- Analyse des tendances climatiques pour la région dans laquelle s'insère le projet.
- Association des tendances climatiques à des aléas météorologiques et climatiques pertinents pour le projet.
- Identification des conséquences des tendances climatiques sur les personnes, les infrastructures et l'environnement liés au projet.
- Spécification de la sévérité des conséquences en fonction de la situation particulière du projet.
- Liste des mesures d'atténuation/adaptation mises en place ou en projet dans le but de diminuer la sévérité des conséquences.
- Croisement de la sévérité mise à jour des conséquences identifiées avec le degré de probabilité des aléas météorologiques et climatiques correspondants pour obtenir les différents niveaux de risques résiduels liés aux changements climatiques auxquels le projet devra faire face.

2.1 CONTEXTE ET ÉTABLISSEMENT DES RISQUES

L'analyse a été réalisée en se basant sur la connaissance du projet, de ses composantes, de ses phases, ainsi que des caractéristiques du milieu naturel et humain qui accueillera le projet, afin d'identifier les composantes vulnérables aux risques climatiques du projet et sélectionner certains aléas selon leur pertinence.

2.2 ANALYSE DES TENDANCES CLIMATIQUES

Les tendances climatiques pour le point de grille du site du projet proviennent de quatre sources distinctes :

- Le nouvel Atlas climatique du Canada (Prairie Climate Center 2018).
- Les portraits climatiques d'Ouranos (Ouranos 2018).
- L'outil de courbes intensité-durée-fréquence (IDF) sous l'influence des changements climatiques IDF-CC Tool3.5 (Simonovic *et al.* 2016).
- L'Atlas nord-américain des sécheresses (Cook *et al.* 2010).

Le nouvel Atlas climatique du Canada est mis à disposition par le *Prairie Climate Center* (PCC), en collaboration avec l'université du Manitoba. Le PCC est un consortium travaillant sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques et a réalisé des scénarios climatiques d'ensemble pour le Canada au complet en se basant sur 12 modèles globaux de climat issus du cinquième plus récent exercice du CMIP5 (Taylor 2012) (*Climate Model Intercomparison Project* [CMIP]). Le CMIP est une collaboration de chercheurs internationaux afin de mieux comprendre les variations climatiques passées et futures. Ces simulations ont subi une mise à l'échelle statistique (*downscaling*), puis ont été aggrégées sur une grille de 130 km environ. Ces données provenant de Ressources naturelles Canada et du *Pacific Climate Impacts Consortium* sont fiables et reconnues dans la littérature. L'usager de cette plateforme peut s'informer sur l'évolution d'une trentaine d'indicateurs climatiques, avoir accès à des données graphiques et agrégées et consulter des histogrammes de fréquence anticipée.

Les portraits climatiques d'Ouranos contiennent les résultats de scénarios climatiques d'ensemble pour le Québec, en se basant sur 11 modèles de CMIP5. Ces simulations ont également subi une mise à l'échelle statistique et ont été aggrégées sur une grille d'environ 10 km. Cet atlas est fiable et reconnu dans divers projets d'évaluation d'impacts et de plan d'adaptation au Québec. L'usager de l'atlas a accès à l'évolution d'une quinzaine d'indicateurs à l'échelle locale et régionale. Les projections sont présentées à l'aide de trois centiles de la distribution produite par l'éventail de réponses données par les différents modèles : 10^e centile, médiane et 90^e centile. Cela permet d'avoir une estimation du niveau d'incertitude des projections.

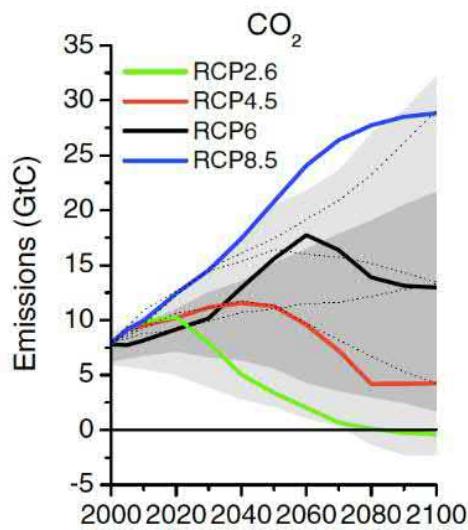
Ces deux premiers atlas présentent les projections climatiques en se basant sur une référence passée récente, un horizon à moyen terme et un horizon à long terme. Le nouvel Atlas du Canada définit ces périodes comme 1976-2005, 2021-2050 et 2051-2080. L'Atlas climatique d'Ouranos utilise 1981-2010, 2041-2070 et 2071-2100. L'horizon à moyen terme a été sélectionné en tenant compte de la durée du projet (exploitation jusqu'en 2040), mais les projections à long terme sont aussi considérées dans l'analyse de probabilités en prévision de la restauration du site ou d'une prolongation d'exploitation du site. Les résultats étant très similaires pour ces deux atlas, les données du nouvel Atlas climatique du Canada sont utilisées ici puisque les variables climatiques disponibles correspondent davantage aux aléas

anticipés. De plus, les fenêtres temporelles d'étude (à moyen et long terme) correspondent davantage à la période d'exploitation du projet.

L'outil IDF-CC est le résultat d'une utilisation de données de précipitations des stations d'Environnement et Changement climatique Canada, d'interpolations spatiales et de statistiques futures se basant sur 24 modèles globaux de climat et neuf modèles régionaux. En fonction des statistiques historiques et des différents scénarios d'émissions de gaz à effet de serre, des courbes IDF et leurs incertitudes sont générées pour différents futurs envisagés. Cet outil fournit entre autres l'évolution du cumul journalier maximum de précipitations avec différentes périodes de retour allant de 2 à 100 ans. L'évolution est montrée ici pour l'horizon 2021-2070, car une période minimale de 50 ans est requise pour obtenir des statistiques robustes.

Pour finir, l'Atlas nord-américain des sécheresses reconstruit l'historique de l'indice de sécheresse de Palmer. Cet indice rend compte de l'état de la couche supérieure du sol et est construit en se basant sur des indices de température et de précipitations. Les projections futures de cet indice sont données par Cook *et al.* (2015) par le biais de 17 modèles globaux de climat. Le 0 est considéré comme la moyenne et l'état de sécheresse est représenté par des valeurs négatives (ex. -2 signifie sécheresse modérée, -3 signifie sécheresse sévère et -4 signifie sécheresse extrême).

Pour tous les indicateurs climatiques à l'étude, les projections sont présentées selon deux scénarios d'émissions de gaz à effet de serre RCP4.5 et RCP8.5 (Van Vuuren 2011). Les RCP (*Representative Concentration Pathways*) sont les scénarios d'émission de gaz à effet de serre futurs émis par le Groupe International d'Experts sur le Climat. Le RCP8.5 correspond à un scénario de statu quo (*business-as-usual*) ne comprenant aucune mesure d'atténuation de nos émissions. Le RCP4.5 est un scénario d'atténuation modérée visant à minimiser les coûts pour atteindre une réduction significative des émissions (figure 2). Les mesures prises consistent principalement à appliquer de nouvelles technologies de production d'énergie et à développer la capture et le stockage géologique du carbone.



(Tirée de Van Vuuren *et al.* 2011)

Figure 2. Évolution des émissions anthropiques globales de CO₂ selon différents scénarios RCP

En se basant sur la classification des probabilités d'occurrence de l'Optique des changements climatiques pour notre analyse de risque, un niveau de confiance envers ces probabilités a été ajouté, afin de qualifier l'homogénéité des modèles climatiques en relation avec la distribution passée récente. Ce niveau de confiance permet d'évaluer l'incertitude reliée à la variabilité des modèles climatiques. La légende générale des niveaux de probabilité, confiance, conséquence et risque est présentée dans le tableau 1.

2.3 ANALYSE DES ALÉAS CLIMATIQUES

Les tendances représentent des indicateurs de certains aléas climatiques retenus comme pertinents pour le projet. La relation entre les tendances et les principaux aléas est illustrée sur la figure 3. Le pointage moyen des catégories de probabilité a été retenu comme indicateur de probabilité. Ce pointage est pondéré par la confiance, dont l'origine est expliquée plus haut :

- Bonne confiance (probabilité inchangée).
- Confiance moyenne (probabilité -1).
- Confiance faible (probabilité -2).

Cette pondération permet de prendre en compte les faux « positifs » et les faux « négatifs » des tendances climatiques futures reconnues.

2.4 ÉVALUATION DES CONSÉQUENCES ET DES MESURES MISES EN PLACE

Les catégories et niveaux de conséquences et de risques proviennent également des lignes directrices de l'Optique des changements climatiques (4^e colonne du tableau 1). Une notion d'opportunité a également été incluse, ce qui permet de considérer toute conséquence positive causée par les changements climatiques; cette notion est complétée par la notion de « risque positif » qu'elle entraîne. L'identification des conséquences s'inspire de l'*Analyse de risques et de vulnérabilités aux changements climatiques pour le secteur minier québécois* (Bussière *et al.* 2017). Pour chaque conséquence, des mesures d'atténuation et d'adaptation existantes sont listées en vue de réduire sa sévérité. Selon le pointage de probabilité et de conséquence mise à jour, chaque risque résiduel a été rangé dans une matrice d'évaluation permettant d'évaluer son niveau général (5^e colonne du tableau 1).

2.5 TRAITEMENT DU RISQUE RÉSIDUEL

Les risques ont été priorisés par un code de couleur :

- Vert : risque négligeable.
- Jaune : risque faible.
- Orange clair : risque modéré. Cela ne remet pas la faisabilité ou la vitalité d'un projet minier en question, mais des coûts supplémentaires et des actions pourraient devoir être nécessaires pour remédier à la situation.
- Orange foncé : risque élevé. Des actions de plus grande ampleur pourraient devoir être entreprises pour remédier à la situation. Cela pourrait, dans certains cas, affecter la rentabilité ou encore la faisabilité d'un projet minier; des impacts significatifs sur le milieu naturel et humain sont à prévoir.

- Rouge : extrême. La faisabilité ou la vitalité d'un projet minier peut être remise en question. Cela s'applique également aux événements où le risque pour la protection de l'environnement est grand (contamination, déversements, pollution des cours d'eau, etc.) et pourrait avoir des impacts à long terme sur le milieu naturel et humain.
- Bleu : « positif ». Les changements climatiques peuvent également avoir un effet bénéfique. Une saison estivale plus longue pourrait par exemple avoir des avantages pour le site minier, comme une durée d'exploitation saisonnière plus longue.

Tableau 1. Terminologie complète de l'analyse de risque

Niveau	Probabilité ⁺	Confiance	Conséquence ⁺	Risque ⁺
1 Très bas	1- Très basse * Ne se produira pas durant la période * Ne deviendra pas critique/bénéfique durant la période	Faible L'intervalle des modèles d'ensemble présente une variabilité contraire à la tendance par rapport à la moyenne actuelle	1- Très faible * Pourrait légèrement affecter ou non la qualité de vie des personnes * Pourrait mener ou non des impacts limités en intensité et spatialement ou n'a pas d'impact	1- Négligeable Événement ne requérant pas de considération supplémentaire
2 Bas	2- Basse * Surviendra probablement une fois entre 30-50 ans * Deviendra probablement critique d'ici 30-50 ans		2- Faible * Pourrait affecter la qualité de vie des personnes de manière temporaire * Pourrait mener à des impacts économiques ou environnementaux localisés et réversibles	2- Faible Mesures de contrôle probablement non requises
3 Modéré	3- Modérée * Surviendra probablement entre 10-30 ans * Deviendra probablement critique d'ici 10-30 ans	Moyenne L'intervalle des modèles d'ensemble présente une borne seulement qui est contraire à la tendance par rapport à la moyenne actuelle	3- Moyenne * Pourrait affecter la qualité de vie des personnes de manière prolongée * Pourrait mener à des impacts économiques ou environnementaux importants, mais réversibles	3- Modéré Certaines mesures de contrôle sont requises pour réduire le niveau de risque
4 Haut	4- Haute * Surviendra probablement une fois d'ici 10 ans * Deviendra probablement critique d'ici 10 ans	Bonne L'intervalle des modèles d'ensemble présente une bonne cohérence avec la tendance, par rapport à la moyenne actuelle	4- Élevé * Pourrait affecter significativement et irrémédiablement la qualité de vie des personnes * Pourrait mener à des impacts économiques ou environnementaux majeurs ou irréversibles sur la durée de vie du projet	4- Élevé Mesures de contrôle requises en priorité
5 Très haut	5- Très haute * Surviendra probablement une fois annuellement ou plus * Deviendra un facteur critique/bénéfique d'ici moins de 10 ans		5- Très élevée * Pourrait mener à des décès (directs ou non) * Pourrait mener à des impacts économiques ou environnementaux majeurs et irréversibles pour la société	5- Extrême Mesures de contrôle immédiates requises
Opportunité	Selon les catégories ci-dessus	Selon les catégories ci-dessus	5- Positive * Gain en qualité de vie * Occasion économique ou environnementale	5- Positif Mesures pour saisir l'occasion recommandée

⁺Source : Infrastructure Canada (2018) : *Optique des changements climatiques*.

3 RÉSULTATS

3.1 LE CONTEXTE DU PROJET

La mine de fer du lac Bloom est située dans la région administrative de la Côte-Nord à environ 13 km à l'ouest de la ville de Fermont et près de la frontière avec Terre-Neuve-et-Labrador. Les coordonnées géographiques du site sont (52,854° N ; -67,292° E). Ce projet vise notamment à augmenter la capacité d'entreposage des résidus et des stériles miniers. L'extraction de minerai de ce site minier se fait à partir d'une fosse à ciel ouvert selon les méthodes conventionnelles de prélèvement de surface. Les nouveaux sites d'entreposage de résidus et stériles miniers et autres infrastructures associées seront construits et utilisés entre 2020 à 2040. Le début du démantèlement du site est planifié pour 2040. À la fin de l'exploitation de la mine, des mesures de restauration sont prévues pour remettre le milieu dans un état compatible avec le milieu environnant et son état d'origine. Ces mesures auront une influence sur la gestion du secteur d'exploitation, des stériles, des résidus de traitement et des eaux des bassins de traitement, ainsi que le démantèlement des infrastructures et des installations administratives et de transformation du minerai. Une approche de restauration progressive sera déployée entre 2020 et 2040, lorsque possible et la compléction de la restauration sera réalisée suivant la fin de l'exploitation de la mine. La restauration complète du site pourrait prendre plusieurs années. La carte 1 donne une bonne représentation de l'étendue des différentes composantes du site minier, avec les infrastructures actuelles et projetées, et le tableau 2 décrit les composantes à agrandir ou à construire lors du projet.

Tableau 2. Composantes du projet MFQ / Mine de fer du lac Bloom : Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Aire d'entreposage	Bâtiment et infrastructure	Route	Gestion de l'eau	Alimentation électrique
Extension de la fosse	Usine de traitement de l'eau	Chemin d'accès	Bassins de collecte et digues	Branchements électriques
Nouveau parc à résidus (HPA-Nord) et bassins G et H		Chemin de halage	Déversoirs d'urgence	
Digue de fermeture (Nord) et bassin (HPA-Ouest)		Traverses de cours d'eau	Fossés de collecte des eaux d'exfiltration et de surface	
Nouvelle halde à stériles (Sud) et bassin Sud			Stations de pompage	
Extension de la halde à stériles Triangle			Conduite d'eau depuis le bassin Sud	
Construction de la halde à stériles Sud-Ouest			.	

Le tableau 3 liste les composantes du projet jugées vulnérables aux risques climatiques. Les aléas climatiques identifiés sont dans le tableau 4; certains sont retenus et d'autres rejetés en fonction de leur pertinence en regard du projet.

Tableau 3. Composantes vulnérables au climat, pour le projet minier de MFQ au lac Bloom

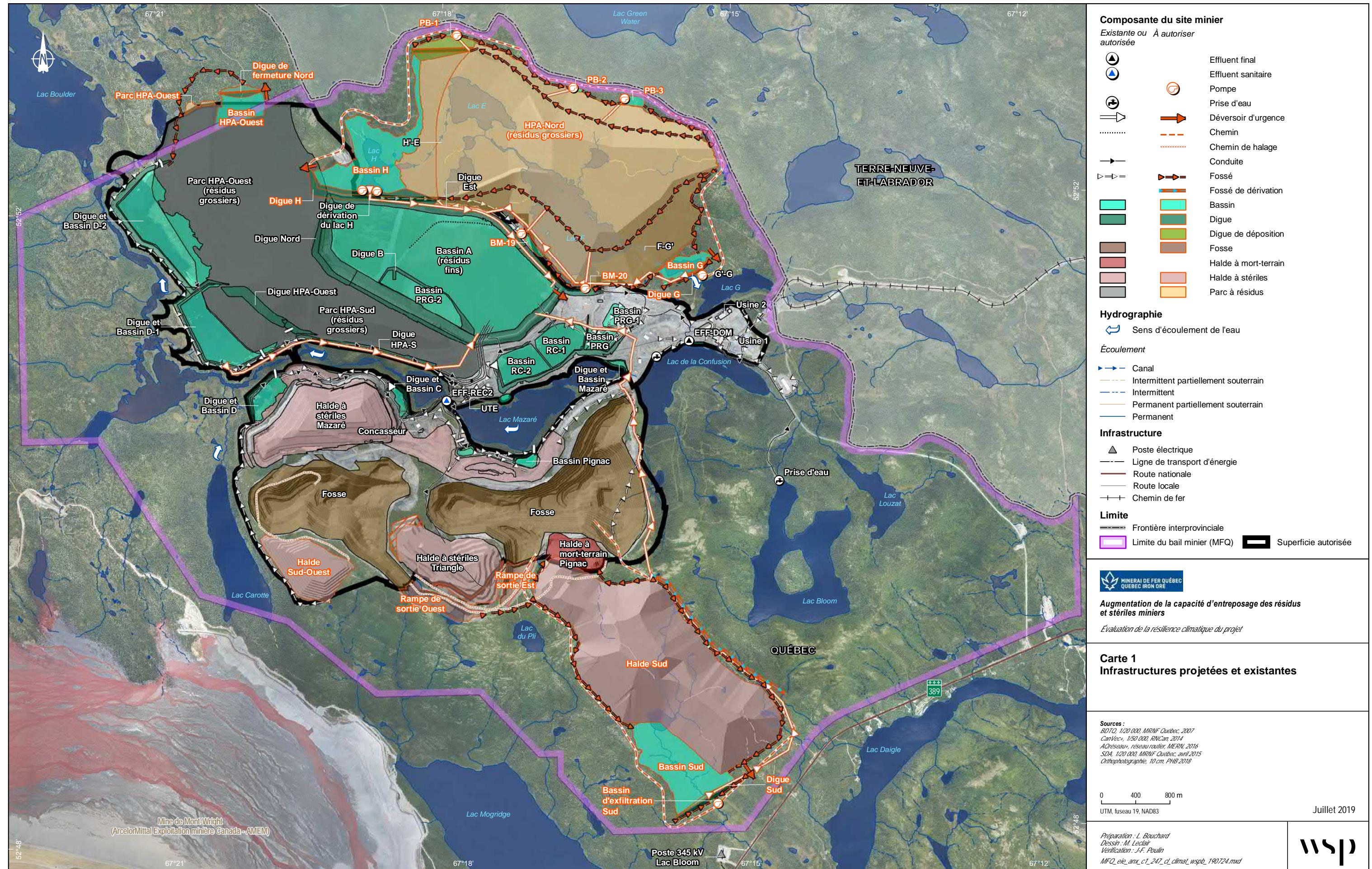
Composante	Éléments potentiellement vulnérables aux changements climatiques		
	Phase de construction	Phase d'exploitation	Phase de fermeture
Sociale	- Travailleurs	- Travailleurs et résidents	- Travailleurs
Économique	<ul style="list-style-type: none"> - Bâtiments et leur emprise - Bassins et structures de confinement et leurs digues - Fossés - Dimension des évacuateurs de crue 	<ul style="list-style-type: none"> - Continuité de l'approvisionnement - Arrêt des opérations - Intégrité de la machinerie, des bâtiments, des chemins d'accès et des fossés, des zones d'entreposage (parc à résidus et haldes) et des bassins - Gestion de l'eau - Gestion des poussières 	<ul style="list-style-type: none"> - Intégrité des ouvrages de retenue des sites restaurés - Intégrité du milieu après le démantèlement - Performance des barrières à l'infiltration à l'eau ou à l'oxygène
Technique	<ul style="list-style-type: none"> - Usine de traitement de l'eau - Chemin d'accès, fossés et ponceaux - Bassins et structures de confinement et leurs digues - Parc à résidus - Haldes à stériles - Dimension des évacuateurs de crue 	<ul style="list-style-type: none"> - Continuité de l'approvisionnement - Arrêt des opérations et isolation du site - Intégrité de la machinerie, des bâtiments, des chemins d'accès et des fossés, du réseau électrique, de l'usine de traitement de l'eau, des zones d'entreposage (parc à résidus et haldes) et des bassins - Gestion de l'eau - Gestion des poussières 	<ul style="list-style-type: none"> - Capacité des fossés ou des évacuateurs de crue - Intégrité des ouvrages de retenue des sites restaurés - Performance des barrières à l'infiltration à l'eau ou à l'oxygène
Environnementale	<ul style="list-style-type: none"> - Nature environnante - Milieu utilisé pour la construction 	<ul style="list-style-type: none"> - Nature environnante - Milieu utilisé pour l'exploitation 	<ul style="list-style-type: none"> - Nature environnante - Milieu occupé par le site - Milieu utilisé pour la restauration

Note : Les opérations concernent toutes les infrastructures du site minier, également celles qui sont déjà existantes.

Tableau 4. Aléas climatiques retenus et rejetés

Retenus		
Inondations	Allongement de la saison estivale	Sécheresse des sols et ravinement
Feux de forêt	Réchauffement hivernal	Augmentation de la variabilité des précipitations liquides et solides
Canicules	Fréquence et intensité des étiages	Tempêtes de vent
Rejetés	Justification	
Variabilité des glaces de rives	Pas de composante directe affectée, site pas à proximité de rives	
Dégel du pergélisol ¹	Zone de pergélisol sporadique uniquement ¹	

¹ <https://www.thecanadianencyclopedia.ca/fr/article/pergelisol>. Pourcentage de pergélisol estimé à 2 % environ, quelques signes possibles observés dans les 10 dernières années sur des sommets, mais en quantité négligeable.



3.2 LES TENDANCES CLIMATIQUES

Le tableau 5 présente les tendances climatiques selon les deux scénarios RCP4.5 et 8.5 pour un horizon à moyen terme (2021-2050 ou 2021-2070 selon l'outil utilisé, cohérent avec le temps de construction des composantes supplémentaires et de l'exploitation de la mine), ainsi que la classe de probabilité, la confiance envers les tendances, les aléas reliés et le pointage de probabilité de chacune des variables. Une colonne informe également sur l'évolution des probabilités et des niveaux de confiance en passant du moyen terme au long terme (2051-2080), puisque le suivi des effluents se poursuit jusqu'à la rétrocession du site à une date indéterminée. Généralement, plus l'horizon est lointain, plus la probabilité est haute et plus la confiance est bonne, puisque les changements sont plus marqués.

La majorité des indicateurs présentent une évolution donnant des probabilités de changement élevées (hautes à très hautes). En ce qui concerne les indicateurs de température, **un réchauffement annuel moyen est projeté entre +1,7 et +2 °C sur le moyen terme**, tous scénarios confondus. Les températures estivales maximales et les températures hivernales minimales suivent la même tendance, avec une augmentation nettement plus marquée pour les dernières : il est prévu qu'elles augmentent déjà de 4 °C à moyen terme. S'en suit **une diminution des jours très froids et une probabilité d'apparition de jours très chauds**. Au vu de la localisation du site, les nuits tropicales (nuits où la température minimale reste au-dessus de 20 °C) ne sont et ne seront pas assez nombreuses pour prévoir une tendance significative à moyen terme. L'augmentation générale des températures entraînera également **un allongement de la saison estivale d'environ 14 à 18 jours en moyenne**.

À moyen terme encore, **les précipitations annuelles augmenteront de 70 à 80 mm (environ 8 à 10 %)**. La confiance dans les tendances liées aux précipitations est plus ou moins similaire à celle des tendances de température. Mais à long terme, la confiance augmente pour la température, contrairement à celle des précipitations qui reste moyenne. Ce phénomène est dû à la plus grande variabilité dans les résultats des modèles climatiques pour les précipitations. Par contre, **la variabilité des régimes de précipitations semble augmenter**, puisque les moyennes annuelles augmentent de concert avec les indicateurs de précipitations extrêmes et l'indice de sécheresse utilisé diminue, signifiant une augmentation de la sécheresse estivale. Autrement dit, comme observé lors des printemps 2017 et 2019 dans le sud du Québec, il est probable qu'il y ait de plus gros systèmes météorologiques qui amènent énormément de précipitations, alterné avec des périodes sèches plus longues, pouvant mener à des sécheresses saisonnières, comme on a pu l'observer durant l'été 2018. Par exemple, **le cumul journalier de précipitations arrivant une seule fois pendant la durée de vie du projet (i.e. 20 ans) sera 35 % plus intense** à moyen terme que dans le passé récent. Il en va de même pour le plus gros cumul journalier de précipitations arrivant une fois au cours d'un siècle.

La baisse du nombre de cycles de gel-dégel est très légère et fait partie des tendances les moins prononcées dans les projections climatiques faites pour le site à l'étude. **Aucune information reliée aux instabilités atmosphériques (pointes de vents, éclairs, etc.) n'est mise à disposition** par l'Atlas climatique ni les profils climatiques d'Ouranos. Certaines études faites pour le Québec montrent une réduction des vents en été pour la fin du 21^e siècle par rapport au 20^e siècle et une faible augmentation des vents en hiver. Des analyses plus poussées sont tout de même nécessaires pour confirmer ces tendances. Ainsi, il existe une très grande incertitude sur les tendances et leur probabilité reliées à ces aléas.

Tableau 5. Tendances climatiques à moyen terme pour la cellule correspondant au site minier et conséquences sur le projet et son environnement

Indicateur climatique	Historique (passé récent)	Scénario faible (RCP4.5) 2021-2050	Scénario fort (RCP8.5) 2021-2050	Probabilité et confiance	Modification des évaluations à long terme (2051-2080)	Aléas et pointage à court/(long) terme
Température annuelle moyenne (°C)	-2,8 [-4,1 – -1,5]	-1,1 [-3,0 – 0,7]	-0,8 [-2,6 – 1,4]	Haute : Dans les deux scénarios, la tendance moyenne et les intervalles sont à la hausse, pour toutes les saisons. Ces changements seront évidents d'ici 10 ans.	Augmentation : Très haute	Allongement de la saison estivale Canicule Feux de forêt Réchauffement hivernal
				Bonne confiance	Pas de changement : Bonne	4 (5)
Température annuelle maximale en été (°C)	17,3 [15,7 – 18,8]	18,8 [16,5 – 21,0]	19,1 [17,0 – 21,4]	Haute : Dans les deux scénarios, la tendance moyenne et les intervalles sont à la hausse. Ces changements seront évidents d'ici 10 ans.	Augmentation : Très haute	Canicule Feux de forêt Sécheresse des sols
				Moyenne confiance	Augmentation : Bonne	3 (5)
Température annuelle minimale en hiver (°C)	-41,5 [-47,3 – -37,6]	-37,8 [-43,9 – -33,5]	-37,3 [-44,2 – -32,7]	Très haute : Dans les deux scénarios, la tendance moyenne et les intervalles sont à la hausse. Ces changements seront déjà critiques avant les 10 prochaines années.	Pas de changement : Très haute	Réchauffement hivernal
				Moyenne confiance	Pas de changement : Moyenne	4 (4)
Nuits tropicales (nombre annuel)	0,0 [0,0 – 0,1]	0,0 [0,0 – 0,2]	0,1 [0,0 – 0,3]	Basse : Dans les deux scénarios, la tendance moyenne et les limites supérieures sont presque identiques. Une nuit tropicale est possible environ tous les 5 ans d'ici 2050.	Augmentation : Modérée (RCP8.5)	Canicule Feux de forêt
				Moyenne confiance	Pas de changement : Moyenne	1 (2)
Jours très chauds (nombre annuel, >30 °C)	0,1 [0,0 – 0,6]	0,3 [0,1 – 2,8]	0,3 [0,1 – 3,1]	Modérée : Dans les deux scénarios, la tendance moyenne et les intervalles sont légèrement à la hausse. Ces changements pourraient impacter les travailleurs d'ici 10 à 30 ans.	Augmentation : Très haute (RCP8.5)	Canicule Feux de forêt
				Moyenne confiance	Augmentation : Bonne (RCP8.5)	2 (5)
Jours très froids (nombre annuel, -30 °C ou moins)	28,4 [14,1 – 45,8]	16,0 [5,8 – 34,2]	14,2 [4,1 – 34,7]	Très haute : Dans les deux scénarios, la tendance moyenne et les intervalles sont à la baisse. Ces changements deviendront un facteur bénéfique d'ici 10 ans.	Pas de changement : Très haute	Réchauffement hivernal
				Moyenne confiance	Augmentation : Bonne	4 (5)

Indicateur climatique	Historique (passé récent)	Scénario faible (RCP4.5) 2021-2050	Scénario fort (RCP8.5) 2021-2050	Probabilité et confiance	Modification des évaluations à long terme (2051-2080)	Aléas et pointage à court/(long) terme
Cycles gel-dégel (nombre jours)	65,1 [51,2 – 79,0]	63,4 [49,5 – 77,1]	61,3 [48,1 – 74,7]	Basse : Dans les deux scénarios, la tendance moyenne est à la baisse, mais les intervalles sont légèrement à la baisse et il y a une probabilité qu'aucun changement ne soit observé. Ces changements pourraient devenir un facteur bénéfique d'ici 30 à 50 ans.	Augmentation : Modérée (RCP8.5)	Réchauffement hivernal
				<i>Faible confiance</i>	Augmentation : Moyenne (RCP8.5)	0 (2)
Date du dernier gel printanier	10 juin [1 ^{er} juin – 19 juin]	5 juin [24 mai – 19 juin]	4 juin [19 mai – 20 juin]	Modérée : Dans les deux scénarios, la tendance moyenne et l'intervalle inférieur sont à un printemps légèrement hâtif. Pas de changement pour la limite supérieure. Ces changements débuteront entre 10-30 ans.	Augmentation : Très haute	Allongement de la saison estivale
				<i>Moyenne confiance</i>	Augmentation : Bonne (RCP8.5)	2 (5)
Date du premier gel automnal	10 sept. [29 août – 4 sept.]	18 sept. [4 sept. – 1 ^{er} oct.]	21 sept. [8 sept. – 4 oct.]	Haute : Dans les deux scénarios, la tendance moyenne et les intervalles sont à un automne plus tardif. Ces changements seront critiques d'ici 10 ans.	Augmentation : Très haute	Allongement de la saison estivale
				<i>Moyenne confiance</i>	Augmentation : Bonne	3 (5)
Durée de la saison sans gel (nombre jours)	91,3 [73,9 – 111,0]	105,4 [79,0 – 125,5]	109,1 [83,1 – 133,8]	Haute : Dans les deux scénarios, la tendance moyenne et les intervalles sont à la hausse. Ces changements seront déjà critiques d'ici 10 ans.	Augmentation : Très haute	Allongement de la saison estivale
				<i>Moyenne confiance</i>	Augmentation : Bonne	3 (5)
Précipitations annuelles moyennes (mm)	884 [748 – 1016]	956 [804 – 1113]	968 [808 – 1151]	Haute : Dans les deux scénarios, la tendance moyenne et les intervalles sont à la hausse pour toutes les saisons, de quelques dizaines de mm, sauf l'été où la variation est presque nulle (env. 2 %). Il reste toutefois une incertitude, car les modèles les plus conservateurs indiquent des valeurs inférieures à la moyenne actuelle. Ces changements seront déjà critiques d'ici 10 ans.	Augmentation : Très haute	Inondations Augmentation de la variabilité des précipitations Étiage Sécheresse des sols
				<i>Moyenne confiance</i>	<i>Pas de changement : Moyenne</i>	3 (4)

Indicateur climatique	Historique (passé récent)	Scénario faible (RCP4.5) 2021-2050	Scénario fort (RCP8.5) 2021-2050	Probabilité et confiance	Modification des évaluations à long terme (2051-2080)	Aléas et pointage à court/(long) terme
Précipitations printanières (mm)	162 [107 – 230]	183 [121 – 273]	191 [124 – 281]	<p>Très haute : Dans les deux scénarios, la tendance moyenne est à la hausse, mais les intervalles se chevauchent suffisamment pour douter de la tendance nette : les modèles les plus conservateurs indiquent des valeurs inférieures à la moyenne actuelle. L'augmentation est de +13-18 %. Ces changements seront significatifs avant 10 ans.</p> <p><i>Moyenne confiance</i></p>	Pas de changement : Très haute	Inondations Augmentation de la variabilité des précipitations
					<i>Pas de changement : Moyenne</i>	4 (4)
Nombre de jours annuels avec 20 mm de précipitations minimum	3,2 [1,0 – 5,8]	4,2 [1,4 – 7,5]	4,2 [1,6 – 7,9]	<p>Modérée : Dans les deux scénarios, la tendance moyenne et les intervalles sont légèrement à la hausse. Les deux intervalles conservateurs sont inférieurs au nombre actuel. Ces changements pourraient devenir significatifs d'ici 10-30 ans.</p> <p><i>Moyenne confiance</i></p>	Augmentation : Haute (RCP8.5)	Inondations Augmentation de la variabilité des précipitations
					<i>Pas de changement : Moyenne</i>	2 (3)
Maximum du cumul journalier de précipitations, temps de retour de 2 ans (mm)	34 [29 – 38]	40 [36 – 46]	43 [36 – 50]	<p>Très haute : Dans les deux scénarios, la tendance moyenne et les intervalles sont à la hausse. Ces changements seront déjà critiques avant les 10 prochaines années.</p> <p><i>Bonne confiance</i></p>	Mêmes statistiques qu'à moyen terme	Inondations Augmentation de la variabilité des précipitations
					<i>Mêmes statistiques qu'à moyen terme</i>	5 (5)
Maximum du cumul journalier de précipitations, temps de retour de 25 ans (mm)	57 [49 – 69]	70 [63 – 91]	77 [62 – 91]	<p>Très haute : Dans les deux scénarios, la tendance moyenne et les intervalles sont à la hausse. Ces changements seront déjà critiques avant les 10 prochaines années.</p> <p><i>Bonne confiance</i></p>	Mêmes statistiques qu'à moyen terme	Inondations Augmentation de la variabilité des précipitations
					<i>Mêmes statistiques qu'à moyen terme</i>	5 (5)
Indice de sécheresse de Palmer en été (sans unité)	-0,5 [-0,7 – -0,3]	n/a	-1,0 [-1,1 – -0,8]	<p>Haute : Selon le scénario RCP8.5, la tendance moyenne et les intervalles sont à la baisse. Ces changements seront significatifs d'ici 10 ans.</p> <p><i>Bonne confiance</i></p>	Augmentation : Très haute	Augmentation de la variabilité des précipitations Sécheresse des sols
					<i>Pas de changement : Bonne</i>	4 (5)
Régime des vents et orageux (éclairs)	Non applicable	Non applicable	Non applicable	Aucune information de probabilité disponible à ce jour		Tempêtes

3.3 LES ALÉAS CLIMATIQUES

Il s'agit ici de relier les aléas climatiques retenus comme étant pertinents pour le projet de la mine de fer du lac Bloom (tableau 3) avec les tendances des indicateurs climatiques présentées dans la section précédente (tableau 4). La figure 3 présente ces différents liens en regroupant les aléas par variable climatique. Le tableau 6 présente le pointage de probabilité pour chacun de ces aléas climatiques dans l'ordre de leur importance pour un moyen et un long terme en se basant sur une moyenne des pointages des aléas concernés. Plus le pointage est élevé, plus l'augmentation de l'intensité ou de la fréquence des aléas en question augmenteront sous l'influence des changements climatiques.

Tableau 6. Liens entre les aléas climatiques, les tendances des indicateurs climatiques et les pointages de probabilité à moyen et long terme, classés selon le pointage de probabilité à long terme

Aléa et symbole	Variable climatique ⁺	Pointage de probabilité moyen (sur 5)	
		Moyen terme	Long terme
SE - Allongement de la saison estivale	<ul style="list-style-type: none"> - Hausse de la température moyenne - Date du dernier dégel - Date du premier gel - Durée de la saison sans gel 	3,0	5,0
SD - Sécheresse des sols	<ul style="list-style-type: none"> - Températures maximales en été - Précipitations annuelles moyennes - Indice de sécheresse de Palmer en été 	3,67	4,67
FF - Feux de forêt	<ul style="list-style-type: none"> - Hausse de la température moyenne - Jours très chauds - Nuits tropicales - Températures maximales en été - Indice de sécheresse de Palmer en été 	2,8	4,4
I - Inondations	<ul style="list-style-type: none"> - Précipitations annuelles moyennes - Jours de précipitations extrêmes - Précipitations printanières - Maximum du cumul journalier à 2 ans - Maximum du cumul journalier à 25 ans 	3,8	4,2
VP - Augmentation de la variabilité des précipitations liquides et solides	<ul style="list-style-type: none"> - Précipitations annuelles moyennes - Jours de précipitations extrêmes - Précipitations printanières - Maximum du cumul journalier à 2 ans - Maximum du cumul journalier à 25 ans 	3,8	4,2
RH - Réchauffement hivernal	<ul style="list-style-type: none"> - Hausse de la température moyenne - Jours très froids - Cycles gel-dégel - Températures minimales en hiver 	3,0	4,0
E - Fréquence et intensité des étiage	<ul style="list-style-type: none"> - Précipitations annuelles moyennes 	3,0	4,0
C - Canicules	<ul style="list-style-type: none"> - Hausse de la température moyenne - Jours très chauds - Nuits tropicales - Températures maximales en été 	2,5	4,0

⁺ Se référer à la figure 3 pour identifier les variables climatiques associées à chaque aléa.

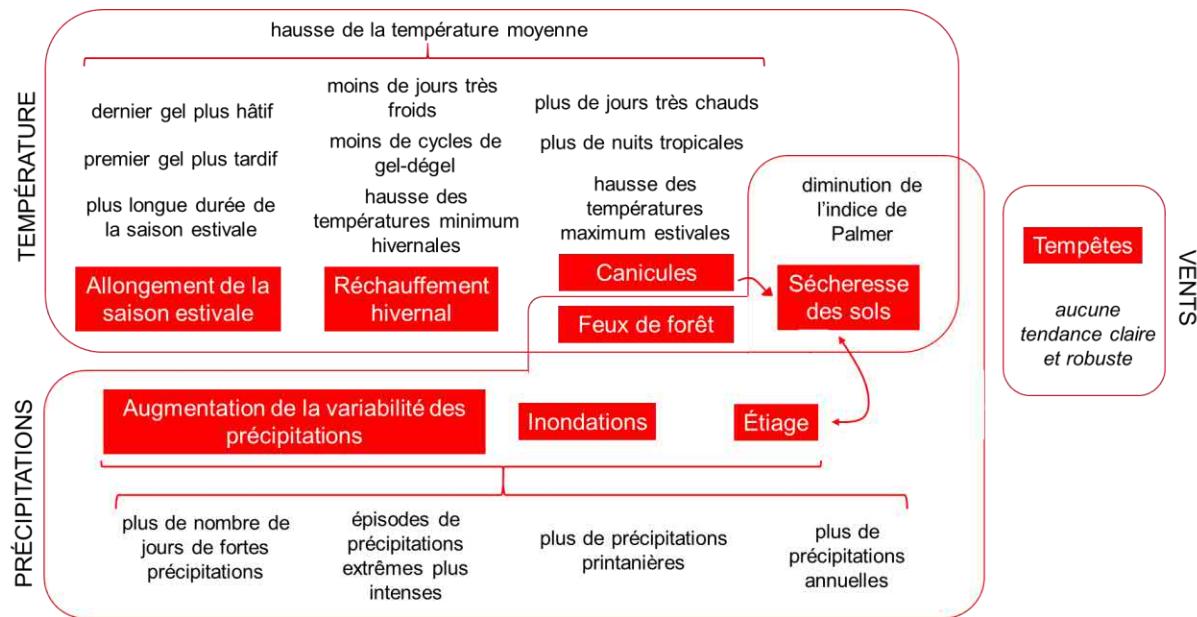


Figure 3. Liens entre les aléas et les tendances des indicateurs climatiques

3.4 LES CONSÉQUENCES DES ALÉAS CLIMATIQUES

Les tableaux 7 et 8 présentent les conséquences des aléas selon leur sévérité sur les différents aspects du projet (les personnes, l'économie, y compris les infrastructures, et l'environnement), respectivement pour les aléas reliés à la température et ceux reliés aux précipitations. Dans un premier temps, la sévérité des conséquences est présentée de façon générale pour un site minier en milieu nordique, **sans égard aux particularités géochimiques du minerai ou à la conception intégrant des mesures d'atténuation**. Au niveau des vents, si les tendances s'avèrent, la légère diminution projetée des vents estivaux aura un impact positif sur la diffusion des poussières, puisque l'érosion éolienne sera moindre. Cependant, le niveau de confiance par rapport à ces tendances est faible.

Tableau 7. Conséquences des aléas climatiques liés à la hausse des températures

Degré de sévérité	Personne			Économie			Environnement			
	Santé et sécurité	Déplacement	Perte de qualité de vie	Impacts sur les infrastructures, opérations et démantèlement	Impact financier pour le promoteur	Impact financier pour les parties prenantes	Air	Eau	Terre	Écosystèmes
Très faible									<ul style="list-style-type: none"> - Migration nordique des écorégions, des espèces perturbatrices et des espèces menacées (SE) - Hausse de la végétation à contrôler sur les chemins d'accès (SE) 	
Faible	<ul style="list-style-type: none"> - Vulnérabilité des travailleurs face aux extrêmes de température (C, FF) - Mauvaise acceptabilité des risques par les groupes socioéconomiques vulnérables moins bien informés sur les changements climatiques (tous) - Augmentation des maladies vectorielles (ex. Lyme) par insectes piqueurs (SE) 				<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation hivernale de la quantité d'eaux d'exhaure (RH) - Dilatation thermique des matériaux (C) 					
Moyen					<ul style="list-style-type: none"> - Bris de la machinerie en condition de verglas (RH) - Dégâts sur les équipements électriques liés au verglas (RH) 					
Élevé	Augmentation des feux de forêt occasionnant potentiellement plus d'évacuations du site minier (FF)				Évapotranspiration accélérée augmentant la probabilité d'érosion des résidus miniers (SD, C)					
Très élevé	Santé et isolement des travailleurs durant les canicules et feux de forêt (C, FF)		Dommages aux infrastructures occasionnés par les feux de forêt (FF)							
Opportunité					<ul style="list-style-type: none"> - Saison d'opérations estivale plus longue (SE) - Économie d'énergie liée au réchauffement hivernal (RH) 				Accélération de la végétalisation naturelle lors de la réhabilitation (SE)	

Légende : SE : allongement de la saison estivale; SD : sécheresse des sols; FF : feux de forêt; I : inondations; VP : augmentation de la variabilité des précipitations; RH : réchauffement hivernal; E : fréquence et intensité des étages; C : canicules

Tableau 8. Conséquences des aléas climatiques liés à la modification des régimes de précipitations

Degré de sévérité	Personne			Économie			Environnement			
	Santé et sécurité	Déplacement	Perte de qualité de vie	Impacts sur les infrastructures, opérations et démantèlement	Impact financier pour le promoteur	Impact financier pour les parties prenantes	Air	Eau	Terre	Écosystèmes
Très faible										
Faible					<ul style="list-style-type: none"> Plus grande variabilité des émissions de poussière (VP) 				Changement possible du bilan sédimentaire des processus fluviaux à l'échelle du bassin versant (SD, VP)	
Moyen					<ul style="list-style-type: none"> Besoin d'entretien supplémentaire des voies d'accès en raison d'inondations pluviales (VP, I) Dégénération accélérée des équipements et entretiens plus fréquents (I) Augmentation de la fréquence des sécheresses (É) 				Hausse de la variabilité de la ressource en eau (VP)	
Élevé					<ul style="list-style-type: none"> Dommages aux bâtiments et structures liés aux inondations pluviales ou dues à une rupture de digue/barrage (I) Insuffisance des ponceaux (colmatage, érosion) (I) Insuffisance des volumes des bassins de décantation (VP) Instabilité des pentes de la fosse, des talus, des bassins (VP) 				<ul style="list-style-type: none"> Concentration accrue des contaminants dans les cours d'eau en raison de leur moindre dilution en cas de déversement (E) Contamination liée aux inondations (I) 	
Très élevé	Santé des travailleurs/résidents durant des inondations pluviales (I)	Rupture des digues en cas de précipitations extrêmes (I, VP)				Dégagement de résidus miniers acides dans l'environnement lors de la restauration (SD)				
Opportunité										
Incertitude					Fréquence des coupures d'électricité en cas d'augmentation du temps instable ou de bris d'équipement aérien, ou de jours de travail extérieur réduits					

Légende : SE : allongement de la saison estivale; SD : sécheresse des sols; FF : feux de forêt; I : inondations; VP : augmentation de la variabilité des précipitations; RH : réchauffement hivernal; E : fréquence et intensité des sécheresses; C : canicules

3.5 MESURES D'ATTÉNUATION ET D'ADAPTATION MISES EN PLACE

La sévérité des conséquences identifiées dans la section précédente ne tient pas compte des mesures d'adaptation et d'atténuation mises en place lors de la conception et de l'exploitation du site minier. Ces mesures permettant de diminuer la sévérité des conséquences sont présentées au tableau 9. Une sévérité mise à jour est alors proposée pour l'évaluation des risques climatiques résiduels auxquels le projet devra faire face. Conformément à la Loi sur la qualité de l'environnement du Québec, toutes ces mesures sont basées sur le scénario d'émissions RCP8.5 (i.e. aucune mesure d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre n'est prise à l'échelle globale).

Il est intéressant de noter que grâce aux mesures déjà mises en place et aux critères de sécurité considérés, toutes les conséquences des changements climatiques jugées très élevées ou élevées ont pu être réévaluées à des niveaux inférieurs.

Parmi tous les éléments déjà pris en compte dans le projet, deux ont permis de réduire significativement la sévérité de certaines conséquences :

- Pendant le temps d'exploitation du projet, le cumul journalier maximum de précipitations ayant un temps de retour de 100 ans augmentera d'environ 35 % par rapport aux valeurs actuelles. Selon la Directive 019 sur l'industrie minière de la Loi sur la qualité de l'environnement, toute digue doit être construite sur la base d'une durée de vie de 100 ans. Les digues existantes ou prévues pour le projet ont été conçues pour supporter des précipitations extrêmes 35 % plus intenses qu'actuellement. Comme des lieux de villégiature et des habitats fauniques se trouvent en aval des digues, la revanche minimale de chacune d'entre elles est d'au moins 1,5 m. Les critères de construction des digues, des bassins, des déversoirs et des évacuateurs ont été faits conformément à cette tendance en majorant minimalement les courbes IDF de 18 % (Mailhot *et al.* 2014), les précipitations annuelles de 8 %¹ et la fonte des neiges de 8,7 %² tout en s'assurant du respect de la revanche minimale. En effet, les paramètres de conception des digues se basent sur la crue maximale probable (CMP) qui équivaut à la précipitation maximale probable (PMP) à laquelle on ajoute la fonte nivale 30 jours de récurrence 100 ans. Il est à noter que la PMP correspond à une précipitation journalière de période de retour 60 000 ans ou encore à un volume de précipitations cinq fois plus élevé que la pluie maximale quotidienne de récurrence 100 ans (Aubertin *et al.* 2011). **Ainsi, bien que la probabilité d'observer une augmentation de l'intensité des précipitations extrêmes de courte durée soit élevée, la probabilité d'enregistrer une précipitation au-delà des critères de conception énumérés ci-dessous est très faible. Par ailleurs, l'augmentation des précipitations a été considérée dans l'ingénierie du projet.**
- Une des conséquences potentiellement catastrophiques liées aux changements climatiques est la mauvaise restauration du site après exploitation en raison de la mauvaise efficacité des barrières causée par la sécheresse des sols. Dans le cas de la mine de fer du lac Bloom, les résidus de concentration sont classifiés à faible risque en vertu de la Directive 019 en raison de leur faible contenu en soufre. Aucune barrière à l'infiltration à l'eau ou à l'oxygène n'est alors nécessaire et la sévérité de la conséquence en question devient mineure.

¹ Conformément aux tendances climatiques présentées dans ce rapport.

² Conformément aux données de l'Atlas hydro-climatique du Québec méridional (CEHQ) (<https://www.cehq.gouv.qc.ca/atlas-hydroclimatique/definitions-indicateurs.htm>).

Tableau 9. Évaluation de la probabilité d'occurrence des conséquences en fonction de leur sévérité et des mesures déjà mises en place

Conséquence identifiée	Sévérité	Mesure d'adaptation et d'atténuation mise en place	Probabilité d'occurrence des conséquences (ajustement grâce aux mesures mises en place)
Santé et isolement des travailleurs durant les canicules et feux de forêt (C, FF)	Très élevée	- Procédure d'intervention au plan d'urgence - Système d'alerte - Sensibilisation du personnel	Moyenne (-2)
Santé des travailleurs/résidents durant les inondations et lors du rétablissement des opérations (I)	Très élevée	- Procédure d'intervention au plan d'urgence - Système d'alerte - Digues, bassins, déversoirs et évacuateurs conçus en tenant compte des projections climatiques	Faible (-3)
Dommages aux infrastructures durant les feux de forêt (FF)	Très élevée	- Débroussaillage du site - Inspection des équipements et des infrastructures à la suite de feux de forêt - Collaboration avec la SOPFEU - Présence d'une brigade d'intervention	Moyenne (-2)
Rupture des digues en cas de précipitations extrêmes (I, VP)	Très élevée	- Digues, bassins, déversoirs et évacuateurs conçus en tenant compte des projections climatiques - Déversoir d'urgence inclus dans la conception - Plan de surveillance et d'entretien	Très faible (-4)
Dégagement de résidus miniers acides dans l'environnement lors de la restauration (SD)	Très élevé	- Résidus de concentration classifiés à faible risque, non lixiviables et non générateurs de drainage minier acide en vertu de la Directive 019 sur l'industrie minière en raison du faible contenu en soufre - Système d'inspection régulière de l'efficacité des infrastructures	Très faible (-4)
Augmentation des évacuations pendant les feux de forêt (FF)	Élevée	- Procédure d'intervention au plan d'urgence - Système d'alerte - Sensibilisation du personnel	Moyenne (-1)
Évapotranspiration accélérée augmentant la probabilité d'érosion des résidus miniers (SD, C)	Élevée	- Résidus de concentration classifiés à faible risque, non lixiviables et non générateurs de drainage minier acide en vertu de la Directive 019 sur l'industrie minière en raison du faible contenu en soufre - La légère diminution des vents en été devrait avoir un impact positif sur l'érosion éolienne - Revégétalisation progressive des surfaces de déposition finale	Très faible (-3)
Dommages aux bâtiments et structures liés aux inondations pluviales ou dues à une rupture de digue/barrage (I)	Élevée	- Localisation des infrastructures hors des zones inondables basée sur une crue centennale - Procédure d'intervention au plan d'urgence - Digues, bassins, déversoirs et évacuateurs conçus en tenant compte des projections climatiques	Faible (-2)
Insuffisance des ponceaux (colmatage, érosion) (I)	Élevée	- Conception des ponceaux avec une cote de crue centennale	Faible (-2)

Conséquence identifiée	Sévérité	Mesure d'adaptation et d'atténuation mise en place	Probabilité d'occurrence des conséquences (ajustement grâce aux mesures mises en place)
Insuffisance des volumes des bassins de décantation (VP)	Élevée	- Conception des bassins avec une cote de crue centennale - Digues, bassins, déversoirs et évacuateurs conçus en tenant compte des projections climatiques	Faible (-2)
Instabilité des pentes de la fosse, des haldes, des bassins (VP)	Élevée	- Conception basée sur des pentes sécuritaires, selon les normes en vigueur en tenant compte des changements climatiques	Faible (-2)
Concentration accrue des contaminants dans les cours d'eau en raison de leur moindre dilution en cas de déversement (E)	Élevée	- Résidus de concentration classifiés à faible risque, non lixiviables et non générateurs de drainage minier acide en vertu de la Directive 019 sur l'industrie minière en raison du faible contenu en soufre	Faible (-2)
Contamination liée aux inondations dues à une rupture (I)	Élevée	- Résidus de concentration classifiés à faible risque en vertu de la Directive 019 sur l'industrie minière en raison du faible contenu en soufre - Digues, bassins, déversoirs et évacuateurs conçus en tenant compte des projections climatiques	Très faible (-3)
Bris de la machinerie en condition de verglas (RH)	Moyenne	Non applicable	Moyenne
Dégâts sur les équipements électriques liés au verglas (RH)	Moyenne	Non applicable	Moyenne
Dilatation thermique des matériaux (C)	Moyenne	- Conception réalisée en sélectionnant des matériaux/procédés adéquats aux conditions climatiques futures	Très faible (-2)
Besoin d'entretien supplémentaire des voies d'accès en raison d'inondations (I)	Moyenne	- Digues, bassins, déversoirs et évacuateurs conçus en tenant compte des projections climatiques	Faible (-1)
Besoin de rénovations plus fréquentes (I)	Moyenne	- Système d'inspection régulière de l'efficacité des infrastructures	Faible (-1)
Augmentation de la fréquence des étiages (E)	Moyenne	- Pompe dans les lacs et conduites temporaires	Faible (-1)
Hausse de la variabilité de la ressource en eau (VP)	Moyenne	- Pompe dans les lacs et conduites temporaires	Faible (-1)
Vulnérabilité des travailleurs face aux extrêmes de température (C, FF)	Faible	Non applicable	Faible
Mauvaise acceptabilité des risques par les groupes socioéconomiques vulnérables moins bien informés sur les changements climatiques (tous)	Faible	Non applicable	Faible
Augmentation des maladies vectorielles (ex. Lyme) par insectes piqueurs (SE)	Faible	Non applicable	Faible

Conséquence identifiée	Sévérité	Mesure d'adaptation et d'atténuation mise en place	Probabilité d'occurrence des conséquences (ajustement grâce aux mesures mises en place)
Augmentation hivernale des eaux d'exhaure (RH)	Faible	Non applicable	Faible
Plus grande variabilité des émissions de poussière (VP)	Faible	- Plan de gestion des poussières appliqué	Faible
Changement possible du bilan sédimentaire des processus fluviaux à l'échelle du bassin versant (SD, VP)	Faible	Non applicable	Faible
Migration nordique des écorégions, des espèces perturbatrices et des espèces menacées (SE)	Très faible	Non applicable	Très faible
Hausse de la végétation à contrôler sur les chemins d'accès (SE)	Très faible	Non applicable	Très faible
Fréquence des coupures d'électricité en cas d'augmentation du temps instable ou de bris d'équipement aérien, ou de jours de travail extérieur réduits	Incertaine	Non applicable	Incertaine

3.6 LES RISQUES CLIMATIQUES RÉSIDUELS

Le tableau 10 présente le croisement entre les probabilités d'occurrence des aléas climatiques (hausse des températures, modification du régime des précipitations) et les probabilités d'occurrence des conséquences après avoir pris en compte les mesures d'atténuation déjà en place, afin de déterminer le niveau des risques climatiques résiduels. En prenant en compte la durée d'exploitation du site minier, la probabilité de l'augmentation des aléas correspond à l'horizon à moyen terme, à l'exception de ceux qui ont un impact direct sur le démantèlement, la restauration du site et le suivi des effluents à la suite de la restauration. Les risques concernant les travailleurs sont également évalués à moyen terme, en faisant l'hypothèse que les processus de démantèlement/restauration ne nécessitent pas la présence permanente de nombreux travailleurs.

En moyenne, le niveau de risque est de 2,58/5 à moyen terme et de 2,50/5 à long terme. Des risques positifs sont tout de même à noter comme une saison d'opérations estivale plus longue, une économie d'énergie liée au réchauffement hivernal et l'accélération de la végétalisation naturelle lors de la restauration du site.

Tableau 10. Matrice multirisque résiduelle prenant en compte la probabilité d'occurrence des aléas climatiques et de leurs conséquences

		Probabilité d'occurrence des aléas climatiques (précipitation/température)					
		Très faible	Faible	Moyenne	Forte	Très forte	
Probabilité d'occurrence des conséquences	Très élevée	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	Élevée	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	Moyenne	N/A	N/A	<ul style="list-style-type: none"> - Santé et isolement des travailleurs durant les canicules et feux de forêt - Dommages aux infrastructures durant les feux de forêt - Augmentation des évacuations pendant les feux de forêt - Bris de la machinerie en condition de verglas - Dégâts sur les équipements électriques lié au verglas - Augmentation de la fréquence des étages 	N/A	N/A	
	Faible	N/A	N/A	<ul style="list-style-type: none"> - Vulnérabilité des travailleurs face aux extrêmes de température - Mauvaise acceptabilité des risques par les groupes socioéconomiques vulnérables moins bien informés sur les changements climatiques 	<ul style="list-style-type: none"> - Insuffisance des ponceaux (colmatage, érosion) - Haute variabilité de la ressource en eau - Instabilité des pentes de la fosse, des haldes, des bassins - Santé des travailleurs/ résidents durant les inondations et lors du rétablissement des opérations - Dommages aux bâtiments et structures liés aux inondations pluviales ou dues à une rupture de digue/barrage - Insuffisance des volumes des bassins de décantation - Besoin d'entretien supplémentaire des voies d'accès en raison d'inondations - Besoin d'entretiens plus fréquents - Plus grande variabilité des émissions de poussière - Changement possible du bilan sédimentaire des processus fluviaux à l'échelle du bassin versant - Rupture des digues en cas de précipitations extrêmes 	N/A	
	Très faible	N/A	N/A	<ul style="list-style-type: none"> - Concentration accrue des contaminants dans les cours d'eau en raison de leur moindre dilution en cas de déversement - Dilatation thermique des matériaux - Augmentation des maladies vectorielles (ex. Lyme) par insectes piqueurs - Augmentation hivernale des eaux d'exhaure - Migration nordique des écorégions, des espèces perturbatrices et des espèces menacées - Hausse de la végétation à contrôler sur les chemins d'accès 	<ul style="list-style-type: none"> - Évapotranspiration accélérée augmentant la probabilité d'érosion des résidus miniers - Contamination liée aux inondations dues à une rupture - Dégagement de résidus miniers acides dans l'environnement lors de la restauration 	N/A	

	Probabilité d'occurrence des aléas climatiques (précipitation/température)				
	Très faible	Faible	Moyenne	Forte	Très forte
Opportunité	N/A	N/A	- Saison d'opérations estivales plus longue - Économie d'énergie liée au réchauffement hivernal	N/A	Accélération de la végétalisation naturelle lors du démantèlement
Manque connaissance	Fréquence des coupures d'électricité en cas d'augmentation du temps instable ou de bris d'équipement aérien, ou de jours de travail extérieur réduits				

Risque positif

Risque négligeable

Risque faible

Risque modéré

Risque élevé

Risque extrême

N/A : non applicable

4 CONCLUSION

L'objectif central de ce projet a été d'analyser de manière préliminaire les impacts des changements climatiques sur le projet d'augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers à la mine de fer du lac Bloom à Fermont. Les résultats sont présentés selon deux horizons : à moyen terme (2021-2050) et à long terme (2051-2080). Le premier horizon correspond aux échéances de l'exploitation du site. Le deuxième horizon permet de prendre en compte l'éventuel temps supplémentaire que le démantèlement et la restauration du site nécessiteront. Les risques résiduels sur les personnes, l'économie et l'environnement sont évalués à moyen terme, à l'exception des risques résiduels environnementaux liés à la restauration du site qui sont évalués à long terme.

Les résultats suggèrent que les risques sont déjà significativement réduits par les mesures intégrées dans la conception et l'exploitation du projet. Les risques les plus importants nécessitant des contrôles et mesures d'atténuation et d'adaptation sont les feux de forêt (infrastructure et risques pour la santé et la sécurité), les canicules (risques pour la santé et la sécurité) et les précipitations extrêmes (santé et sécurité). À long terme, les risques causés par la sécheresse des sols et les canicules sont réduits par un design optimal des digues, des bassins, des déversoirs et des évacuateurs, ainsi que par une faible toxicité des rejets résidus et stériles miniers. Des réflexions sont tout de même souhaitables pour préparer la phase post-exploitation qui se fera dans des conditions climatiques significativement différentes de celles que le site a actuellement.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AUBERTIN, M., B. Bussière, M. James, E.M. Jaouhar, V. Martin, N. Pépin, M. Mbonimpa et R.P. Chapuis. 2011. *Vers une mise à jour des critères de stabilité géotechnique pour la conception des ouvrages de retenue de résidus miniers*. Symposium 2011 sur l'environnement et les mines, Rouyn-Noranda, Québec, Canada.
- BUSSIÈRE, B., I. Demers, P. Charron et B. Bossé. 2017. *Analyse de risques et de vulnérabilités aux changements climatiques pour le secteur minier québécois*. URSTM – Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue. Site Internet : <https://mern.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/analyse-changements-climatiques-secteur-minier.pdf>
- COOK B.I., T.R. Ault et J.E. Smerdon. 2015. *Unprecedented 21st century drought risk in the American Southwest and Central Plains*. Science Advances, 1(1): e1400082.
- COOK, E.R., R. Seager, R.R. Heim jr, R.S. Vose, C. Herweijer et C. Woodhouse. 2010. *Megadroughts in North America: placing IPCC projections of hydroclimatic change in a long-term palaeoclimate context*. Journal of Quaternary Science, 25: 48-61.
- INFRASTRUCTURES CANADA. 2018. *Optique des changements climatiques – Lignes directrices générales*. Site Internet : <https://www.infrastructure.gc.ca/pub/other-autre/cl-occ-fra.html>
- MAILHOT, A., G. Panthou et G. Talbot. 2014. *Recommandations sur les majorations à considérer pour les courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF) aux horizons 2040-2070 et 2070-2100 pour l'ensemble du Québec PHASE II*. Rapport de recherche (R1515). INRS, Centre Eau Terre Environnement, Québec.
- OURANOS. 2018. *Portraits climatiques*. Site Internet : <https://www.ouranos.ca/portraitsclimatiques>
- PRAIRIE CLIMATE CENTER. 2018. *Atlas climatique du Canada*. Site Internet : <https://atlasclimatique.ca>
- SIMONOVIC S.P., A. Schardong, D. Sandink et R. Srivastav. 2016. *A web-based tool for the development of Intensity Duration Frequency curves under changing climate*. Environmental Modelling and Software 81: 136-153.
- TAYLOR, K.E. 2012. *An overview of CMIP5 and the Experiment Design*. BAMS, 4: 485-498.
- VAN VUUREN, D.P., J. Edmonds, M. Kainuma, K. Riahi, A. Thomson, K. Hibbard et T. Masui. 2011. *The representative concentration pathways: an overview*. Climatic change, 109(1-2): 5-31.

ANNEXE

A DONNÉES CLIMATIQUES DÉTAILLÉES À PROXIMITÉ DU SITE

Rapport de l'atlas climatique

Région : LAC OPOCOPA



RCP8,5 : scénario de statu quo

Les émissions continuent d'augmenter au rythme actuel

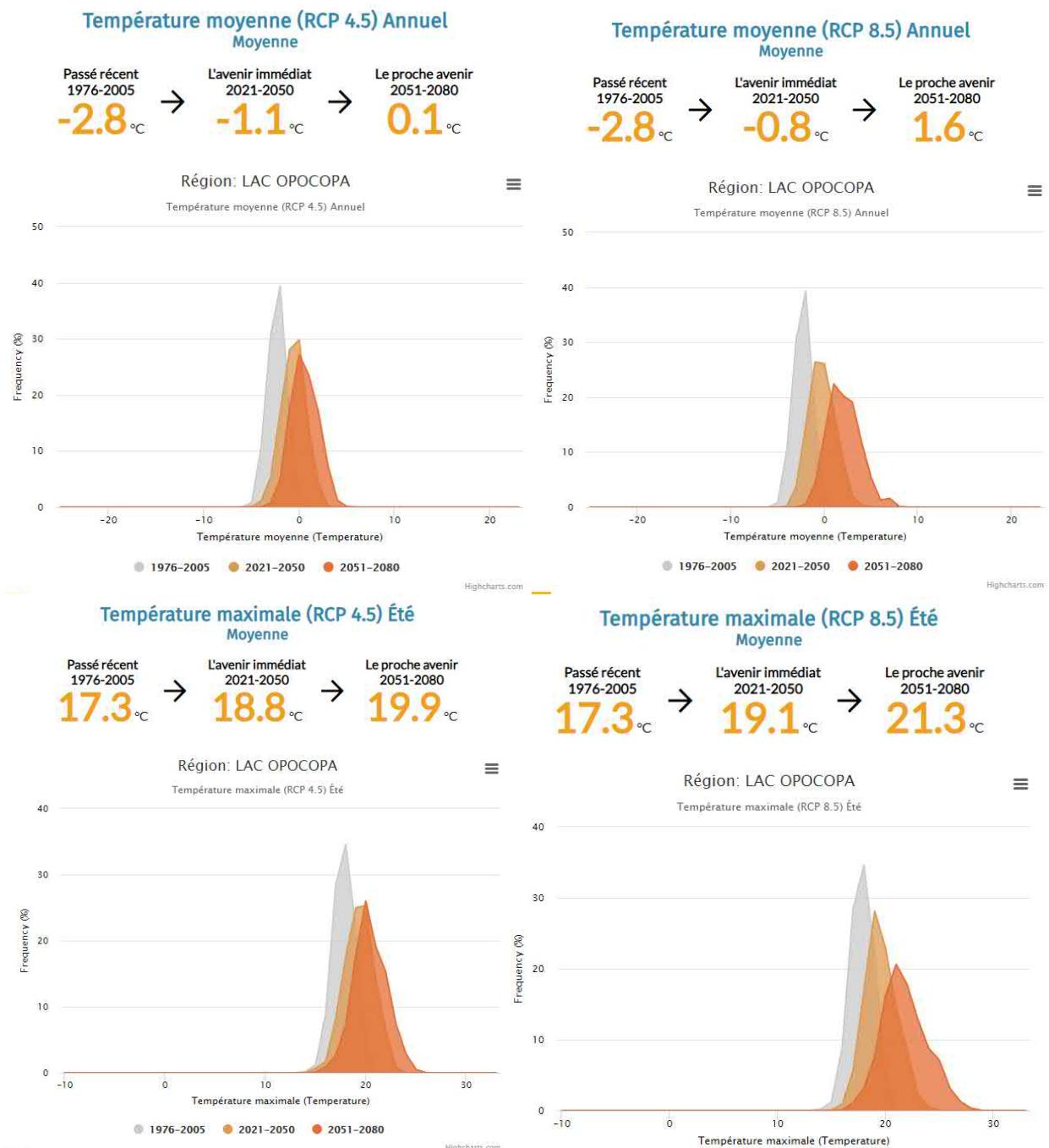
Variable	Période	Moyenne	1976-2005			2021-2050			2051-2080		
			faible	moyenne	haute	faible	moyenne	haute	faible	moyenne	haute
Précipitations	Annuel	884	808	968	1151	861	1032	1223	803	974	1153
Précipitations	Printemps	162	124	191	281	137	203	293	121	187	277
Précipitations	Été	295	219	301	400	222	311	416	206	298	394
Précipitations	L'automne	253	200	280	370	210	298	394	191	279	380
Précipitations	Hiver	171	125	196	275	147	220	306	166	244	343
Température moyenne (°C)	Annuel	-2.8	-2.6	-0.8	1.4	-0.6	1.6	4.3	-2.8	-2.6	-0.8
Température moyenne (°C)	Printemps	-4.2	-5.6	-2.5	0.6	-4	-0.4	3.5	-4.2	-5.6	-2.5
Température moyenne (°C)	Été	12.1	12.1	13.8	15.8	13.5	16	18.8	12.1	12.1	13.8
Température moyenne (°C)	L'automne	-0.2	-0.3	1.8	3.8	1.4	3.7	5.9	-0.2	-0.3	1.8
Température moyenne (°C)	Hiver	-19.3	-20.2	-16.4	-12	-17.4	-13.1	-8.5	-19.3	-20.2	-16.4
Nuits tropicales	Annuel	0	0	0	0	0	0	3	0	2	13
Les jours très chauds (+30°C)	Annuel	0	0	0	3	0	2	13	0	1	13
Jours très froids (-30°C)	Annuel	28	4	14	35	1	6	23	28	4	14
Date du dernier gel printanier	Annuel	juin 10	mai 19	juin 4	juin 20	mai 10	mai 23	juin 8	juin 10	mai 19	juin 4
Date du premier gel automnal	Annuel	sept. 9	sept. 8	sept. 21	oct. 4	sept. 16	sept. 29	oct. 14	sept. 9	sept. 21	oct. 14
Saison sans gel (days)	Annuel	91	83	109	134	106	130	153	91	83	109

RCP4,5 : une faible teneur en carbone

Les émissions diminuent significativement

Variable	Période	Moyenne	1976-2005			2021-2050			2051-2080		
			faible	moyenne	haute	faible	moyenne	haute	faible	moyenne	haute
Précipitations	Annuel	884	804	956	1113	803	974	1153	803	974	1153
Précipitations	Printemps	162	121	183	274	121	187	277	121	187	277
Précipitations	Été	295	228	306	402	221	306	397	221	306	397
Précipitations	L'automne	253	197	273	367	196	279	380	196	279	380
Précipitations	Hiver	171	130	194	266	134	202	277	134	202	277
Température moyenne (°C)	Annuel	-2.8	-3	-1.1	0.7	-2	0.1	2.3	-2.8	-3	-1.1
Température moyenne (°C)	Printemps	-4.2	-6	-2.7	0.7	-5.2	-1.8	1.3	-4.2	-6	-2.7
Température moyenne (°C)	Été	12.1	11.7	13.6	15.4	12.3	14.6	16.9	12.1	11.7	13.6
Température moyenne (°C)	L'automne	-0.2	-0.7	1.3	3.2	0.4	2.3	4.3	-0.2	-0.7	1.3
Température moyenne (°C)	Hiver	-19.3	-20.8	-16.8	-12.6	-19.4	-15.1	-10.8	-19.3	-20.8	-16.8
Nuits tropicales	Annuel	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Les jours très chauds (+30°C)	Annuel	0	0	0	3	0	1	6	0	1	6
Jours très froids (-30°C)	Annuel	28	6	16	34	3	11	30	28	6	16
Date du dernier gel printanier	Annuel	juin 10	mai 23	juin 4	juin 19	mai 13	mai 30	juin 12	juin 10	mai 23	juin 4
Date du premier gel automnal	Annuel	sept. 9	sept. 4	sept. 18	sept. 30	sept. 9	sept. 23	oct. 4	sept. 9	sept. 23	oct. 4
Saison sans gel (days)	Annuel	91	79	105	126	92	116	140	91	79	105

Moyennes et fréquences actuelles et anticipées selon le scénario climatique par variable climatique dans la cellule du lac Opopoca (source : <https://atlasclimatique.ca>)

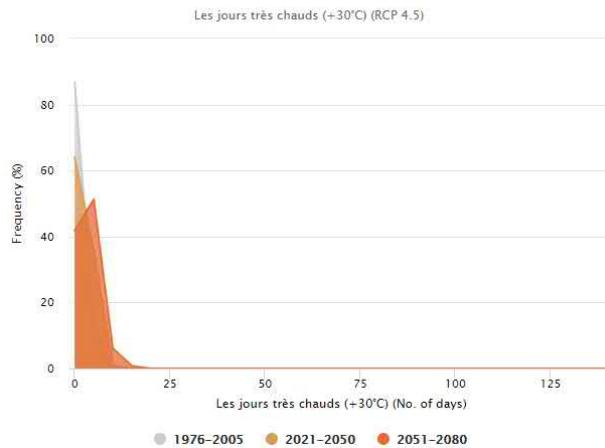




Les jours très chauds (+30°C) (RCP 4.5)
Moyenne

Passé récent
1976-2005 → L'avenir immédiat
2021-2050 → Le proche avenir
2051-2080

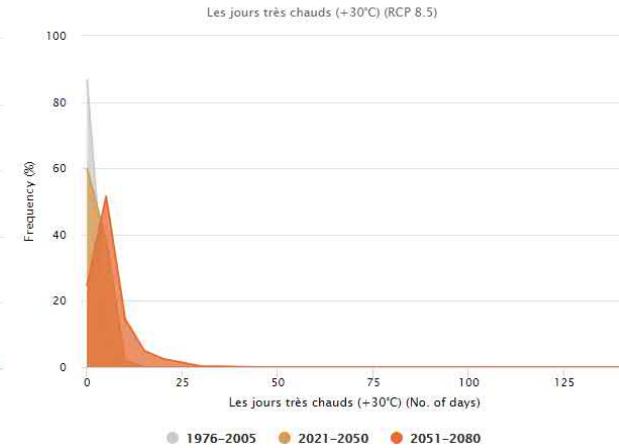
Région: LAC OPOCOPA



Les jours très chauds (+30°C) (RCP 8.5)
Moyenne

Passé récent
1976-2005 → L'avenir immédiat
2021-2050 → Le proche avenir
2051-2080

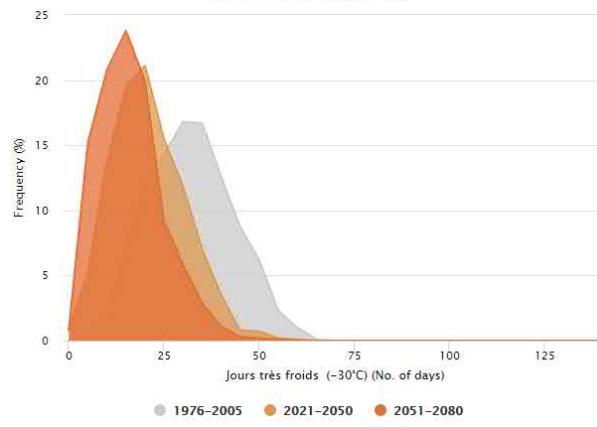
Région: LAC OPOCOPA



Jours très froids (-30°C) (RCP 4.5)
Moyenne

Passé récent
1976-2005 → L'avenir immédiat
2021-2050 → Le proche avenir
2051-2080

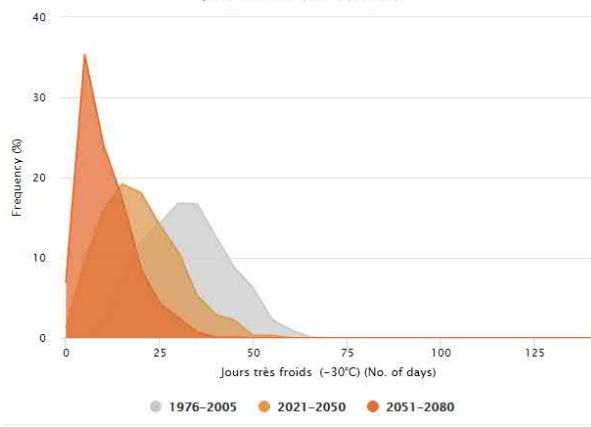
Région: LAC OPOCOPA

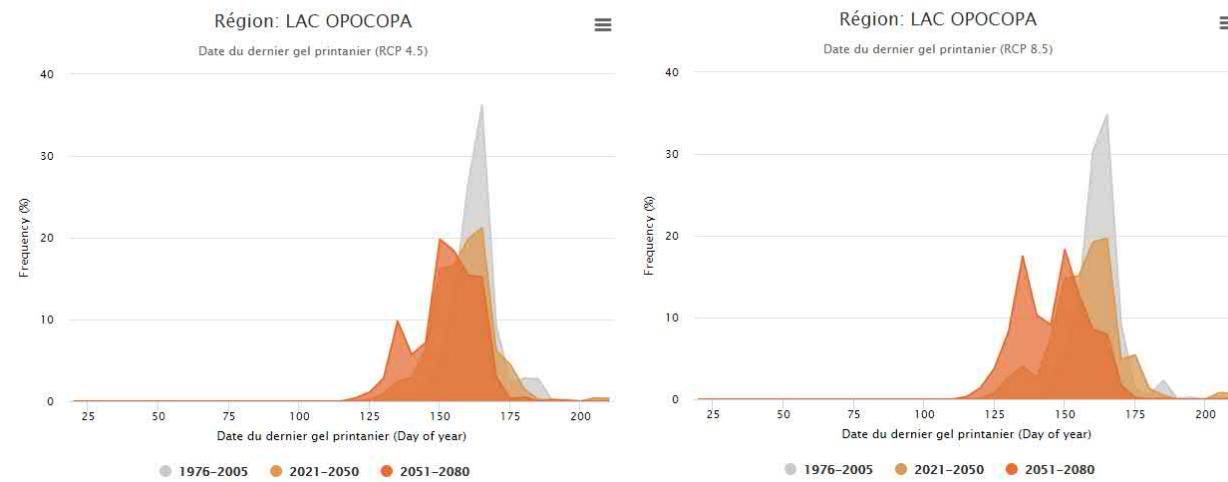
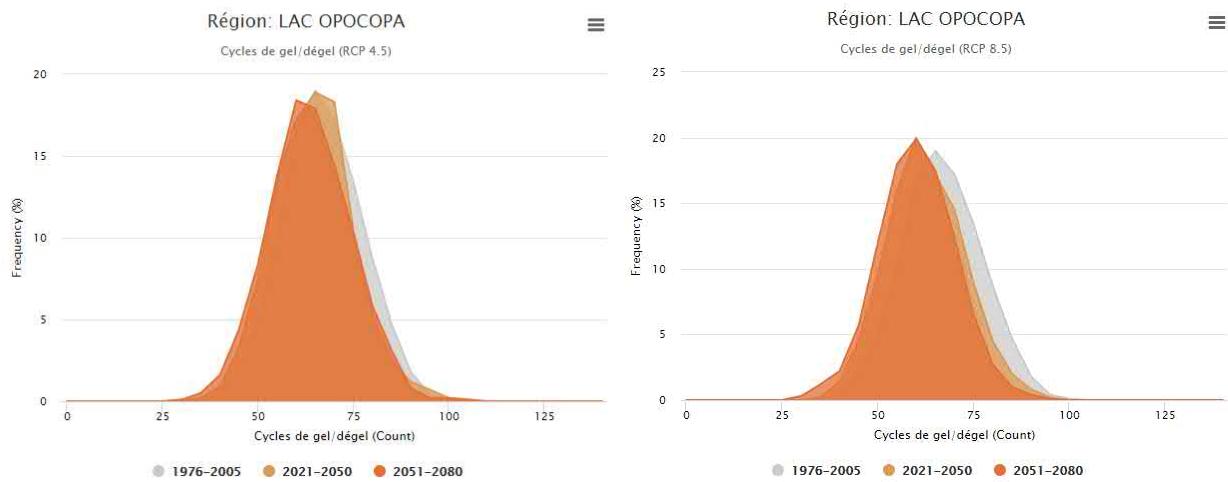


Jours très froids (-30°C) (RCP 8.5)
Moyenne

Passé récent
1976-2005 → L'avenir immédiat
2021-2050 → Le proche avenir
2051-2080

Région: LAC OPOCOPA





Date du premier gel automnal (RCP 4.5)
Moyenne

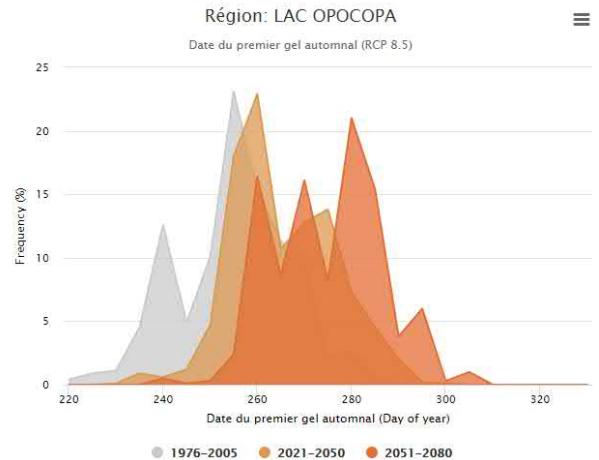
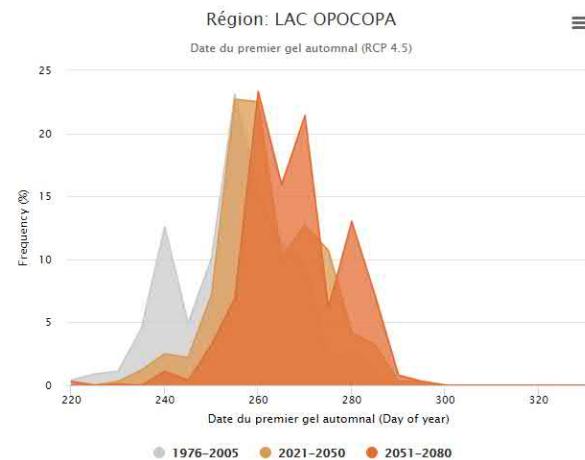
Passé récent 1976-2005 → L'avenir immédiat 2021-2050 → Le proche avenir 2051-2080

Sep. 10 → Sep. 18 → Sep. 23

Date du premier gel automnal (RCP 8.5)
Moyenne

Passé récent 1976-2005 → L'avenir immédiat 2021-2050 → Le proche avenir 2051-2080

Sep. 10 → Sep. 21 → Sep. 30



Saison sans gel (RCP 4.5)
Moyenne

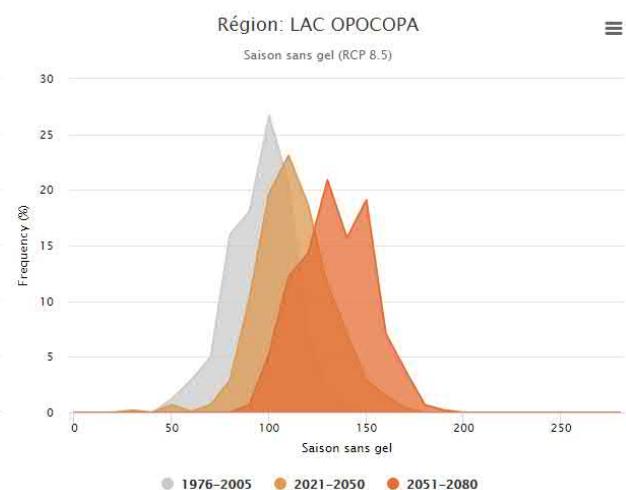
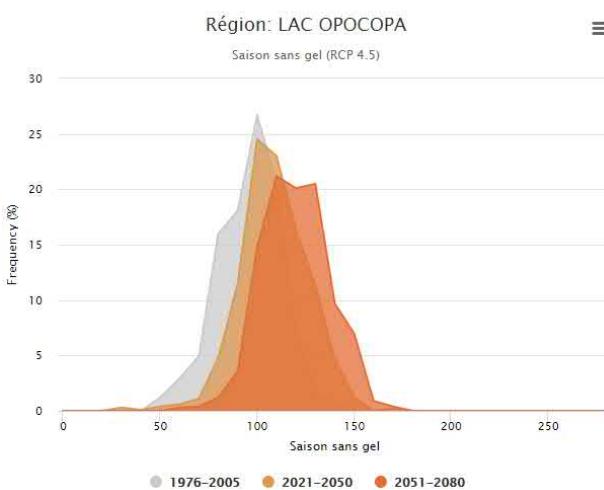
Passé récent 1976-2005 → L'avenir immédiat 2021-2050 → Le proche avenir 2051-2080

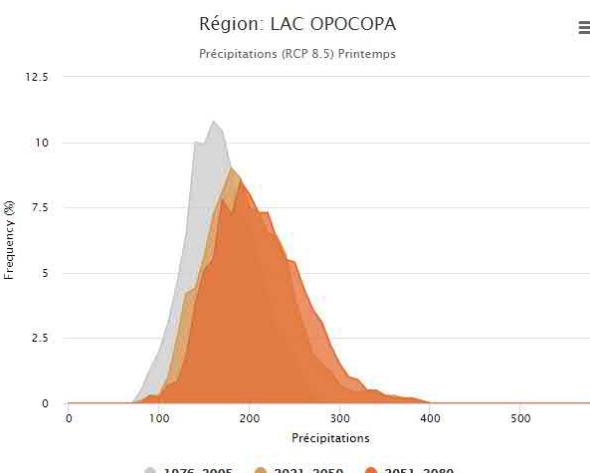
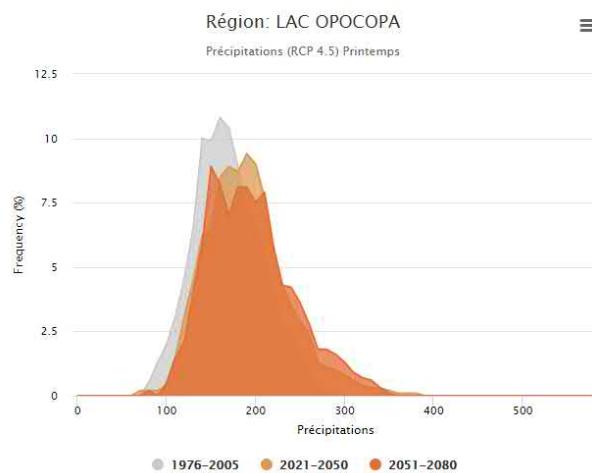
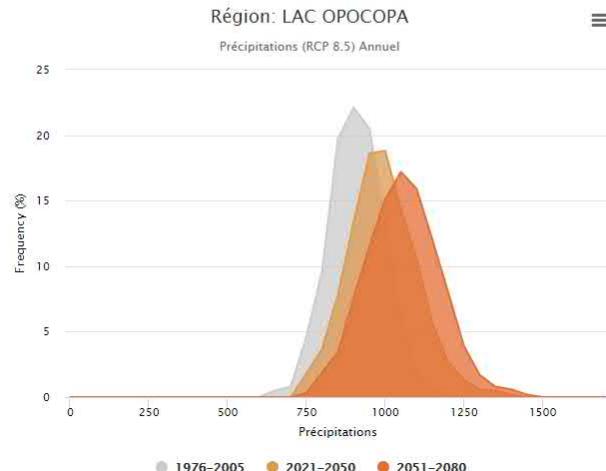
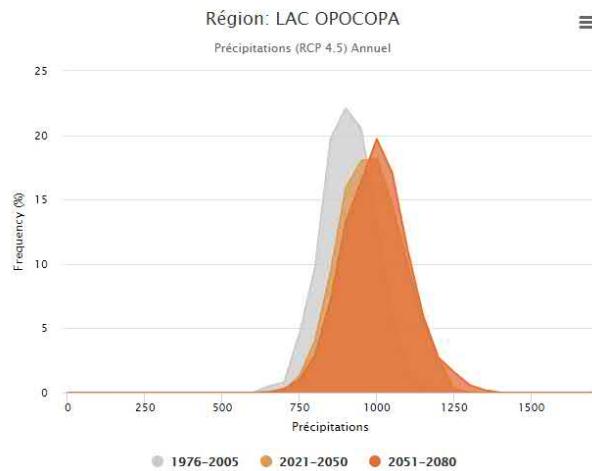
91.3 → 105.4 → 116.1

Saison sans gel (RCP 8.5)
Moyenne

Passé récent 1976-2005 → L'avenir immédiat 2021-2050 → Le proche avenir 2051-2080

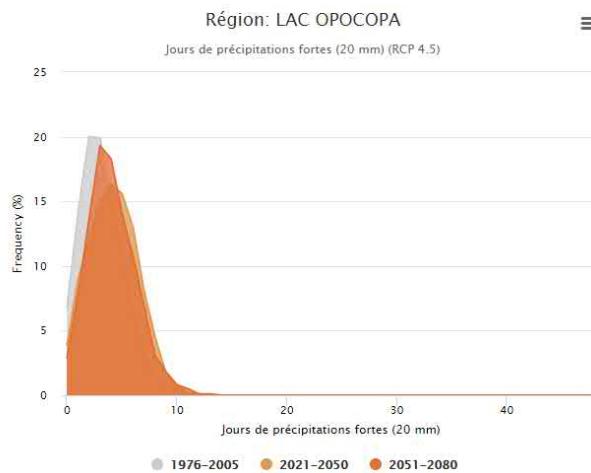
91.3 → 109.1 → 129.5





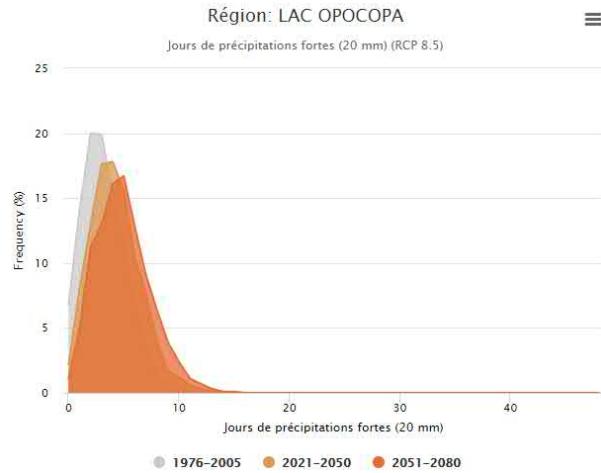
Jours de précipitations fortes (20 mm) (RCP 4.5)
Moyenne

Passé récent
1976-2005 → L'avenir immédiat
2021-2050 → Le proche avenir
2051-2080

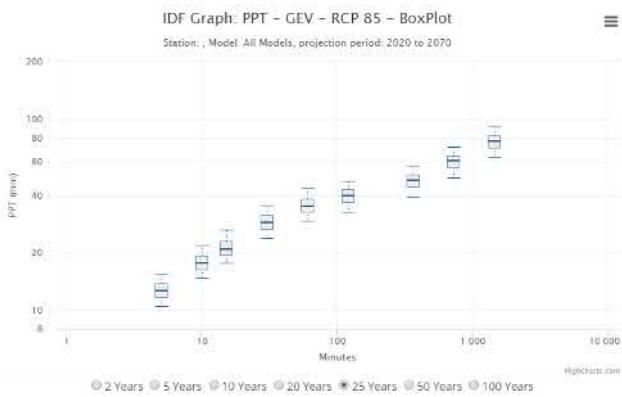
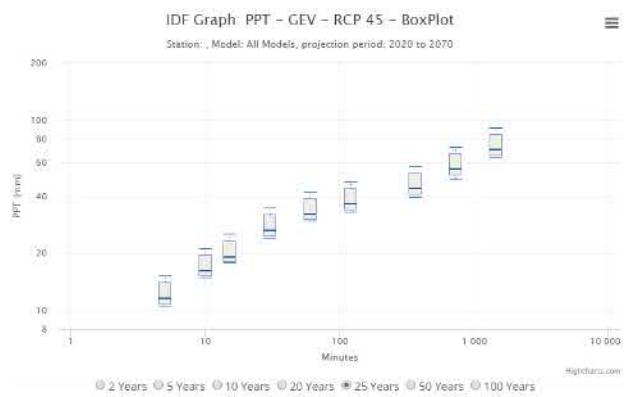
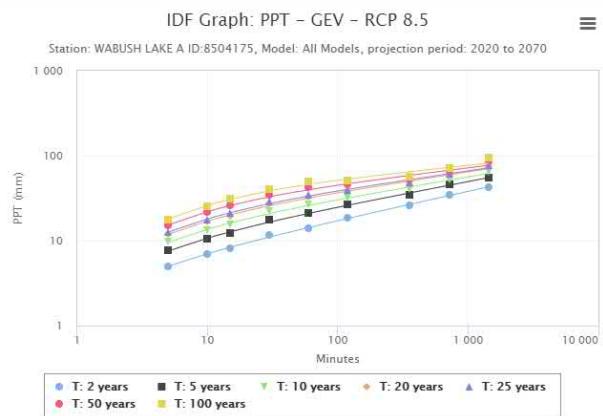
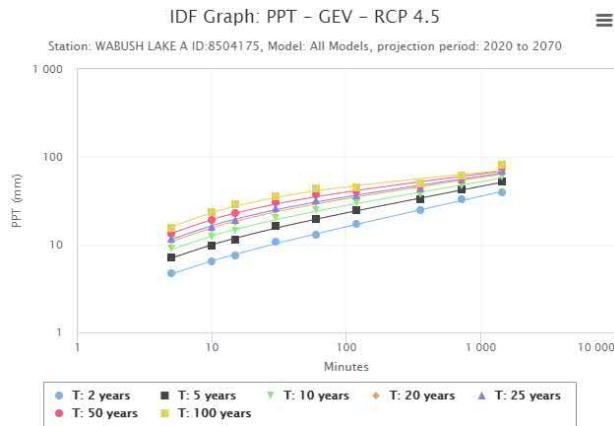
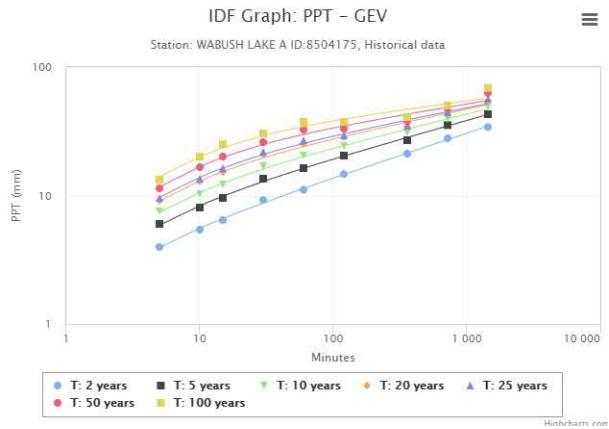


Jours de précipitations fortes (20 mm) (RCP 8.5)
Moyenne

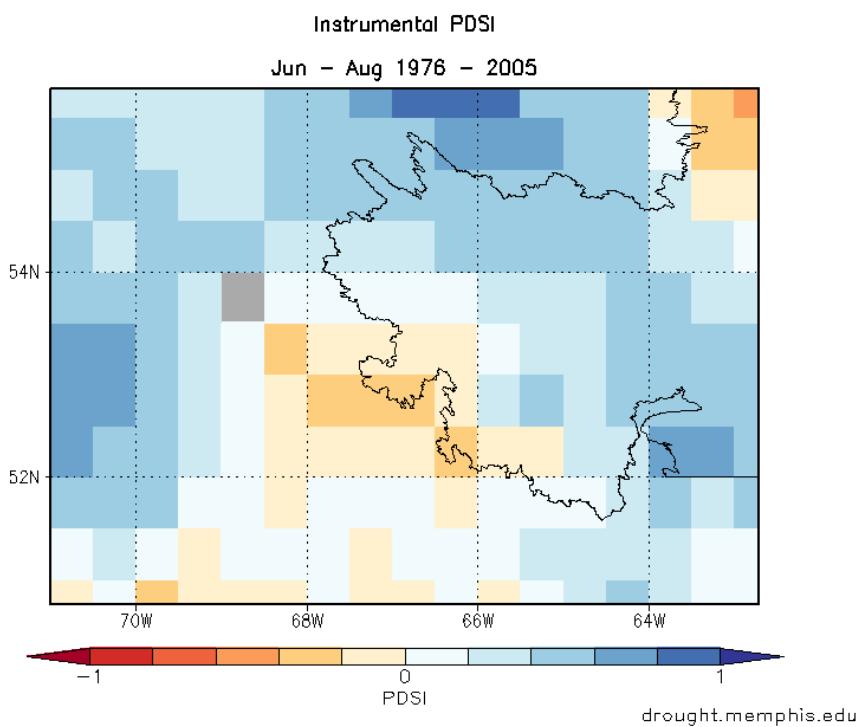
Passé récent
1976-2005 → L'avenir immédiat
2021-2050 → Le proche avenir
2051-2080



Courbes intensité-durée-fréquence et box-plots d'incertitudes pour les précipitations extrêmes pour le lac Wabush (source : <https://www.idf-cc-uwo.ca/>)



Carte de l'historique de l'indice de sécheresse de Palmer durant les mois d'été (1976-2005)
(source : <http://drought.memphis.edu>)



ANNEXE

J

INVENTAIRE DES PRODUITS CHIMIQUES ET DANGEREUX

INVENTAIRE DES SUBSTANCES DANGEREUSES ET CHIMIQUES



#réf. Plan	Lieu d'entreposage	Produit	# CAS	Contenant	Capacité d'un contenant	Quantité maximale du produit entreposé
1	Pad Explosifs (parc à résidus)	Émulsion	8002-05-09	Silos	60 000 kg (60 tm)	60 000 kg (60 tm)
2		Nitrate d'ammonium	6484-52-2	Silos	60 000 kg (60 tm)	60 000 kg (60 tm)
3	Halde Dyno Scotia Blast	Méthanol	67-56-1	Citerne mobile	31 797 litres (8 400 G.US)	31 797 litres (8 400 G.US)
4	Ouest Concasseur 2 FDRS	Méthanol	67-56-1	Citerne mobile	n/d	n/d
5	UTE	Chaux calcique éteinte	1305-62-0	Réservoir	70 000 kg	70 000 kg
		Polymère Flomin 905	---	Sac	750 kg	n/d
		Sulfate ferrique	10028-22-5 (70%) 7664-93-9 (5%)	Réservoir	75 000 L	75 000 L
		Hypochlorite de sodium	7681-52-9	Chaudières	20 L	n/d
		Klaraid (back-up bionest)	16828-12-9	Tôle	1 000 L	1 000 L
6	Bionest	Klaraid	16828-12-9	Tôle	1 000 L	1 000 L
		Bicarbonate de sodium	144-55-8	Chaudières	25 kg	1 450 kg
7	Usine	Flomin AN 905 SH (floculant)	---	Sac	750 kg	750 kg
		Flomin 45 VHM (coagulant)	---	Sac	750 kg	750 kg
8	Load-out	Chlorure de calcium	10043-52-4	Réservoir	150 000 L	600 000 L
9	Entrepôt	Flomin AN 905 SH (floculant)	---	Sac	750 kg	7 500 kg
		Flomin 45 VHM (coagulant)	---	Sac	750 kg	7 500 kg
		Dégraissant Citrikleen	Composite	Tôle	1 000 L	1 000 L
		Antigel	107-21-1	Baril	205 L	1 640 L
		Hydrocarbures	---	Baril	205 L	21 730 L

INVENTAIRE DES RÉSERVOIRS D'HYDROCARBURES



#réf. Plan	Secteur	Emplacement	Coord. GPS (UTM 19)	Identification MFQ	Identification RBQ	No. de séries	Type	Capacité (litres)	Paroi	Utilisation	Année du réservoir	Alimenté par
Réservoirs fixes												
1	Usine PH1	Est de l'usine (parc pétrolier)	617 656 ; 5 857 160	G	604422-R13	D-516103	Essence	22 700	Double	Distribution	2012	Fournisseur externe
				1	604422-R06	C-533095	Diesel clair	49 699	Simple (avec bassin de rétention)	Chaufrage, distribution et génératrice d'urgence	2008	Fournisseur externe
				2	604422-R08	C-533092		49 699	Simple (avec bassin de rétention)	Inutilisé	2008	
				3	604422-R09	C-533096		49 699	Simple (avec bassin de rétention)	Inutilisé	2008	
				4	604422-R10	C-533097	Diesel coloré	49 699	Simple (avec bassin de rétention)	Chaufrage	2008	Fournisseur externe
				5	604422-R07	C-533094	Diesel coloré	49 699	Simple (avec bassin de rétention)	Chaufrage	2008	Fournisseur externe
				15 (7)	604422-R26	8629.8	Diesel coloré	49 699	Simple (avec bassin de rétention)	Chaufrage	2012	Fournisseur externe
				16 (6)	604422-R27	8629.9	Diesel coloré	49 699	Simple (avec bassin de rétention)	Chaufrage	2012	Fournisseur externe
				G54	604422-R25	C-783030	Diesel coloré	2 272	?	Génétratrice (utilisé seulement en cas de panne électrique)	2007	Fournisseur externe
				2	Intérieur Ouest		617 531 ; 5 857 242	---	7202.28	Huile usée	2 381	Entreposage d'huile usée
3		Loadout (silos)	618 192 ; 5 857 604	G50	604422-R52	JD-393.212	Diesel clair	1 115	Simple (avec bassin de rétention)	Génétratrice (utilisé seulement en cas de panne électrique)	2012	GDE, Réservoir C-533088
				20	604422-R33	8629.6	Diesel coloré	49 699	Double	Chaufrage	2012	Fournisseur externe
4	Usine PH2	Sud-Est	617 727 ; 5 857 512	21	604422-R34	8629.7	Diesel coloré	49 699	Double	Chaufrage	2012	Fournisseur externe
				2	604422-R32	D-516001		30 000	Double	Chaufrage	2010	Fournisseur externe
				4	604422-R31	D-389055		30 000	Double	Inutilisé	2010	
5	Lac de la Confusion	Station pompage	617 104 ; 5 857 105	604422-R35	D-141071	Diesel clair	2 317	Simple (avec bassin de rétention)	Incendie	2009	GDE, Réservoir C-533088	
				G51	604422-R36	D-393.213	Diesel clair	1 115	Simple (avec bassin de rétention)	Génétratrice	2012	GDE, Réservoir C-533088
6	Nord	Garage	616 933 ; 5 857 210	H	604422-R14	D-389066	Diesel coloré	30 000	Double	Chaufrage	2010	Fournisseur externe
				G37	604422-R48	J584-3-4	Diesel clair	1 600	Double	Génétratrice (utilisé seulement en cas de panne électrique)	2014	GDE, Réservoir C-533088
7	Sud	Station pompage	616 976 ; 5 857 153	---	C-460098	Huile usée	22 730	Double	Entreposage d'huile usée	2006	MFQ	
				9	604422-R16	D-389067	Diesel coloré	30 000	Double	Chaufrage	2010	Fournisseur externe
10	Sud-Ouest	Station pompage	616 746 ; 5 857 284	D	604422-R28	D-389068	Diesel coloré	30 000	Double	Chaufrage	2010	Fournisseur externe
				E	604422-R28	D-389058	Diesel clair	50 000	Double	Distribution	2010	Fournisseur externe
11	Baie de lavage	Parc pétrolier	616 729 ; 5 857 243	A	604422-R17	D-389057	Diesel clair	50 000	Double	Distribution	2010	Fournisseur externe
				B	604422-R18	D-389057	Diesel clair	50 000	Double	Distribution	2011	Fournisseur externe
12	GDE	Ouest bureaux	615 948 ; 5 857 672	10000L	604422-R41	C-533088	Diesel clair	10 027	Simple (avec bassin de rétention)	Distribution	2008	Camion-citerne GDE
				19	604422-R55	8629.5	Diesel clair	49 699	Simple (avec bassin de rétention)	Distribution	2012	
13		Bassin Mazaré	616 512 ; 5 856 985	G38	604422-R49	J584-3-3	Diesel clair	1 600	Double	Génétratrice (utilisé seulement en cas de panne électrique)	2014	GDE, Réservoir C-533088
				G31	604422-R42	02080	Diesel clair	996	Double	Génétratrice (utilisé seulement en cas de panne électrique)	2013	GDE, Réservoir C-533088
14		Bassin BM10	615 703 ; 5 856 788	G31	604422-R42	02080	Diesel clair	996	Double	Génétratrice (utilisé seulement en cas de panne électrique)	2014	GDE, Réservoir C-533088
				G32	604422-R43	J584-4-2	Diesel clair	1 000	Double	Génétratrice (utilisé seulement en cas de panne électrique)	2014	GDE, Réservoir C-533088
15		Bassin BM12	615 133 ; 5 856 585	G33	604422-R44	J584-4-3	Diesel clair	1 000	Double	Génétratrice (utilisé seulement en cas de panne électrique)	2014	GDE, Réservoir C-533088
				G33	604422-R44	J584-4-3	Diesel clair	1 000	Double	Génétratrice (utilisé seulement en cas de panne électrique)	2014	GDE, Réservoir C-533088
16		Bassin BM13	614 711 ; 5 856 613	G34	604422-R45	J584-4-1	Diesel clair	1 000	Double	Génétratrice (utilisé seulement en cas de panne électrique)	2014	GDE, Réservoir C-533088
				G34	604422-R45	J584-4-1	Diesel clair	1 000	Double	Génétratrice (utilisé seulement en cas de panne électrique)	2014	GDE, Réservoir C-533088
17		Bassin C	613 910 ; 5 856 543	G35	604422-R50	J584-3-2	Diesel clair	1 600	Double	Génétratrice (utilisé seulement en cas de panne électrique)	2014	GDE, Réservoir C-533088
				G39	604422-R50	J584-3-2	Diesel clair	1 600	Double	Génétratrice (utilisé seulement en cas de panne électrique)	2014	GDE, Réservoir C-533088
18		Bassin D	612 151 ; 5 856 534	G40	604422-R51	J584-3-1	Diesel clair	1 600	Double	Génétratrice (utilisé seulement en cas de panne électrique)	2014	GDE, Réservoir C-533088
				G40	604422-R51	J584-3-1	Diesel clair	1 600	Double	Génétratrice (utilisé seulement en cas de panne électrique)	2014	GDE, Réservoir C-533088
19		Bassin Triangle	614 652 ; 5 856 027	G40	604422-R51	J584-3-1	Diesel clair	1 600	Double	Génétratrice (utilisé seulement en cas de panne électrique)	2014	GDE, Réservoir C-533088
				G40	604422-R47	J584-4-4	Diesel clair	1 000	Double	Génétratrice (utilisé seulement en cas de panne électrique)	2014	GDE, Réservoir C-533088
20		Bassin Pignac	615 209 ; 5 855 806	G46	604422-R47	J584-4-4	Diesel clair	1 000	Double	Génétratrice (utilisé seulement en cas de panne électrique)	2014	GDE, Réservoir C-533088
				G46	604422-R47	J584-4-4	Diesel clair	1 000	Double	Génétratrice (utilisé seulement en cas de panne électrique)	2014	GDE, Réservoir C-533088
21		UTE Est	614 963 ; 5 856 666	50000L	604422-R23	8952.1	Diesel clair	49 699	Simple (avec bassin de rétention)	Génétratrice (utilisé seulement en cas de panne électrique)	2012	Camion-citerne GDE
				G55	604422-R24	D-394.174	Diesel clair	2 267	Simple (avec bassin de rétention)	Génétratrice	2012	GDE, Réservoir C-533088
				614 946 ; 5 856 660	604422-R54	D56726604	Diesel clair	1 139	Intégral	Chaufrage	2020	Camion-citerne GDE
22		UTE Ouest	614 858 ; 5 856 669	Arrière	604422-R54	A321520	Diesel clair	2 272	Double	Chaufrage	2010	Camion-citerne GDE
				Avant	604422-R37	AA321520	Diesel clair	2 272	Double	Génétratrice	2006	Camion-citerne GDE
23	Brigade incendie	Pad Nord	616 829 ; 5 857 647	604422-R53	653-000180		Diesel clair	2 359	Simple (avec bassin de rétention)	Chaufrage	2011	Camion-citerne GDE
				604422-R53	653-000180		Diesel clair	2 359	Simple (avec bassin de rétention)	Chaufrage	2010	Fournisseur externe
24	Entreptôt	Nord	618 366 ; 5 856 772	16	604422-R11	D-389069	Diesel coloré	30 000	Double	Chaufrage	2010	Fournisseur externe
				17	604422-R12	D-389069	Diesel coloré	30 000	Double	Inutilisé	2010	
25	Pad Explosifs	Digue Est	614 756 ; 5 858 750	604422-R39	876028	Diesel clair	2 272	Double	Chaufrage	2007		
				604422-R40	663001	Diesel clair	2 272	Double	Génétratrice	2006	Camion-citerne mine	
26		Guérite, nord-est du chemin	618 054 ; 5 856 979	G35	604422-R46	J584-4-5	Diesel clair	1 000	Double	Génétratrice (utilisé seulement en cas de panne électrique)	2014	GDE, Réservoir C-533088
				1	604422-R30	D-389064		30 000	Double	Inutilisé	2010	
27		Guérite, sud-ouest du chemin	617 947 ; 5 856 959	5	604422-R29	D-516003		30 000	Double	Inutilisé	2010	
				13		8629.1		49 699	Simple (avec bassin de rétention)	Inutilisé	2012	
28		Guérite		14		8629.2		49 699	Simple (avec bassin de rétention)	Inutilisé	2012	
				18		8629.4		49 699	Simple (avec bassin de rétention)	Inutilisé	2012	
Camion-citernes et légers												
Secteur	Identification	Numéro d'équipement	Identification MFQ	No. de séries	Type	Capacité (litres)	Paroi	Utilisation	Année du réservoir	Alimenté par		
Mine	Carburant Mack GU713	n/d	BLT-CS11	1M2AX04C7EM020486	Diesel clair	18 000	n/d	Ravitaillement des équipements miniers	n/d	Parc pétrolier Baie de lavage		
GDE	Carburant Kenworth C500	n/d	BLT-CS17	1NKCL4EX1LR960833	Diesel clair	19 200	n/d	Ravitaillement des équipements miniers	n/d	Parc pétrolier Baie de lavage		
	Chevrolet 3500HD	n/d	BLT-550	n/d	Diesel clair	400	n/d	Ravitaillement des équipements miniers	n/d	GDE, Réservoir C-533088		
	Chevrolet 3500HD	n/d	BLT-551	n/d	Diesel clair	400	n/d	Ravitaillement des équipements miniers	n/d	GDE, Réservoir C-533088		
	International RCI #1012	n/d	705	n/d	Diesel clair	19 000	n/d	Ravitaillement des équipements miniers	n/d	GDE, Réservoir C-533089	</td	

INVENTAIRE DES GAZ SOUS PRESSION



#réf. Plan	Lieu d'entreposage	Produit	# CAS	Capacité du contenant
1	Usine 1 - Cour Est	Propane	74-98-6	20 lbs 86 lbs
		Hélium	7440-59-7	± 50 lbs
		Dioxyde de carbone	124-38-9	± 35 lbs
		Azote	7727-37-9	± 50 lbs
		Argon	7440-37-1	± 50 lbs
		C25 (Argon)	7440-37-1 (argon) 124-38-9 (CO2)	± 50 lbs
		Oxygène	17778-80-2	± 50 lbs
		Acétylène	'74-86-2	± 35 lbs
2	Usine 1 - Stationnement 800	Propane	74-98-6	± 400 lbs
3	Usine 1 - Entrepôt	Propane	74-98-6	20 lbs
4	Usine 2	Oxygène	17778-80-2	± 50 lbs
		Acétylène	74-86-2	± 35 lbs
		Azote	7727-37-9	± 50 lbs
5	AFrame	Propane	74-98-6	2 000 gal US (±6 000 L ou ±3 tm)
6	Garage	Oxygène	17778-80-2	± 50 lbs
		Acétylène	74-86-2	± 50 lbs
		Azote	7727-37-9	± 50 lbs
		Propane	74-98-6	20 lbs
		C25 (Argon)	7440-37-1 (argon) 124-38-9 (CO ₂)	± 50 lbs
7	UTE	Propane	74-98-6	20 lbs
8	Concasseur 1	Azote	7727-37-9	± 50 lbs
9	Concasseur 2	Azote	7727-37-9	± 50 lbs

ANNEXE

K

**ÉVALUATION DES RISQUES LIÉ
AU REMBLAYAGE DE FOSSE**

Mémorandum Technique

À: **Vincent Blanchet**

CC: **Olivier Hamel, Alexandre Belleau**

De: **Christian Beaulieu, Antoine Champagne, James Purchase, Louis Gignac**

Date: **30 juin 2021**

Objet: **ÉVALUATION DES RISQUES LIÉ AU REMBLAYAGE DE FOSSE**

M. Blanchet,

G Services Miniers Inc. (GMS) a été mandaté par Minerai de Fer Québec (MFQ) pour évaluer les risques en lien avec le remblayage de fosse et la condamnation potentielle de ressources minérales de la mine de Bloom Lake. Pour ce faire, GMS a entrepris les tâches suivantes :

- une révision du modèle de blocs de ressources, avec une emphase sur la classification ;
- une production d'optimisations de fosses Whittle à partir des paramètres fournis par MFQ, et validé par GMS ;
- une révision des fosses en fonction des catégories de ressources minérales.

Toutes les optimisations de fosse, auxquelles le présent mémorandum fait référence, incluant les ressources Mesurées, Indiquées et Présumées (MIP).

À titre d'information, un rappel sur les normes de définition concernant les catégories de ressources minérales est fourni en annexe.

1. RÉVISION DU MODÈLE DE BLOCS

Une première passe de révision du modèle de blocs a été effectuée pour assurer sa validité et qu'il n'y ait pas d'erreurs majeures pouvant compromettre les optimisations de fosses. GMS est d'avis que le modèle géologique est une bonne interprétation des couches minéralisées. Les teneurs en fer apparaissent également de bonnes représentations des teneurs d'analyses issues du forage. Ces deux derniers points sont bien démontrés dans l'exemple de section verticale présentée à la Figure 2.1. Cette figure fait également état d'une lacune présente à plusieurs endroits dans le gisement, soit un manque de forage à des endroits de complexités géologiques, ainsi qu'une maille de forage insuffisante pour les catégories de ressources minérales rapportées. La Figure 2.2 illustre trois exemples de catégorisation de ressources qui devraient être ajustées en fonction de la confiance dans le modèle géologique et la maille de forage. Les encadrés A et B de la Figure 2.2 montrent deux exemples où la maille de forage devrait être réduite pour catégoriser la ressource en Indiqué. Bien qu'il apparaisse évident qu'un pli existe (A), l'emplacement et l'amplitude de celui-ci reste à être démontré. À quelques endroits (voir encadré C, Figure 2.2), la catégorisation en Présumé semble être un artefact lors de l'interpolation de la zone plissée. Contrairement à l'encadré A, ce secteur pourrait être reclassé en Indiqué.

Les blocs interpolés mais non-classifiés (généralement appelés « Inventaire Minéral » ; en orange à la Figure 2.2) ont également été vérifiés pour évaluer les opportunités d'ajouter de la ressource minérale à des endroits stratégiques. Les blocs non-classifiés sont très majoritairement issus de l'extrapolation ou de l'interpolation à de longues distances de trous de forage. GMS est d'avis qu'il n'y a pas d'opportunités à cet égard sans forage additionnel.

Dans le cadre de cet exercice, GMS n'a pas porté d'attention particulière aux ressources Mesurées, mais plutôt au regroupement « Mesuré + Indiqué ». Il apparait toutefois que les ressources Mesurées ont une distribution souvent inégale et localement surclassée.

De façon générale, la catégorisation des ressources minérales bénéficierait d'une homogénéisation. Par exemple, à plusieurs endroits on retrouve des amas de blocs Mesurés collés sur des amas de blocs Présumés ou non-classifiés, qui, selon GMS, seraient des artefacts d'une classification semi-automatisée. Cependant, GMS est d'avis que les catégories combinées (Mesuré + Indiqué + Présumé) sont une bonne représentation des ressources minérales du gisement de Bloom Lake. Pour l'étude en cours, il n'y aurait donc pas d'impact important sur les résultats puisque toutes les catégories de ressources sont prises en compte lors des optimisations de fosses (voir section suivante).

GMS remarque également que peu de forages se rendent au-dessous du plissement de l'unité présenté aux encadrés A et C (Figure 2.2). Il y a une opportunité, avec du forage plus profond, de prolonger les unités géologiques du nord (encadré B, Figure 2.2) en profondeur vers le sud, vraisemblablement plissées au même titre que les couches supérieures.

Figure 2.1 : Teneur en fer (%) du modèle de blocs et des trous de forage. Section verticale 613 500mE, regard vers l'ouest

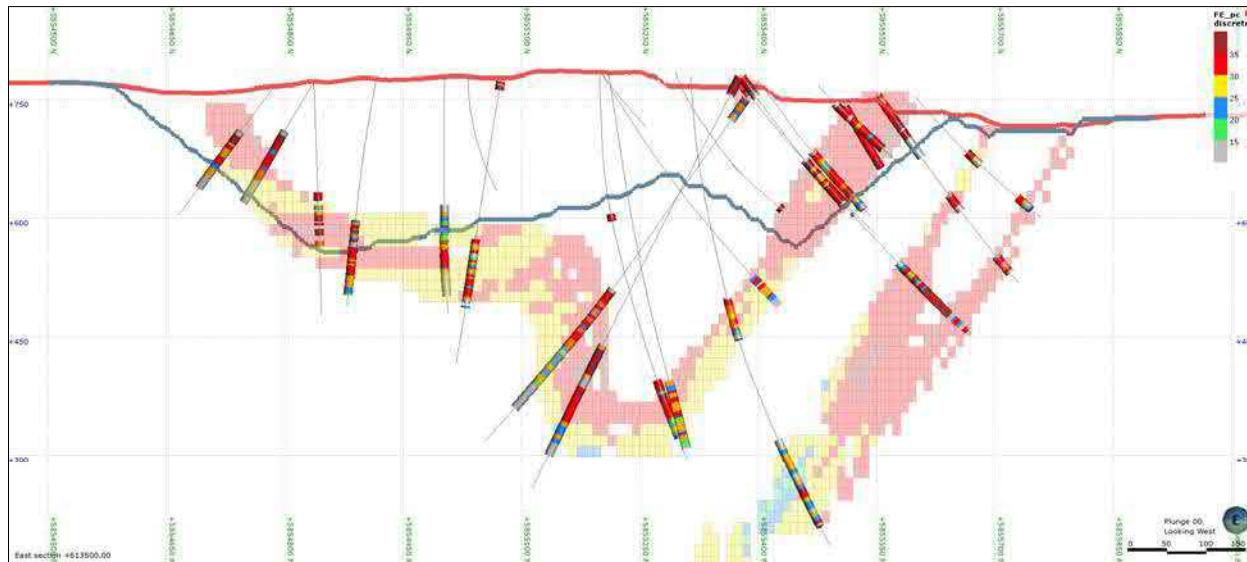
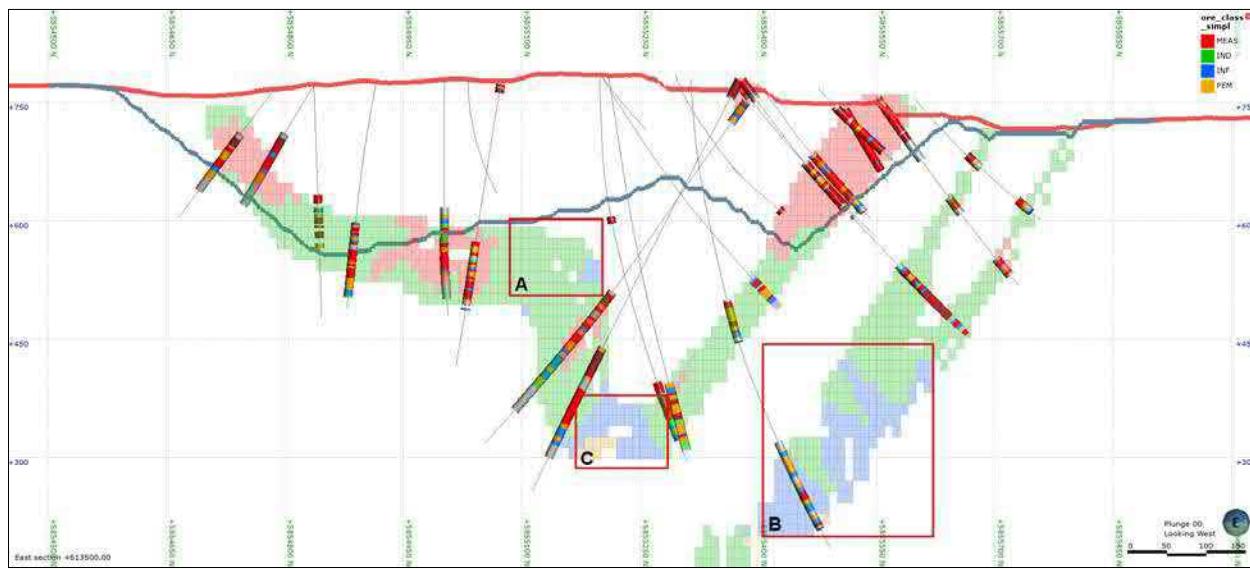


Figure 2.2 : Catégorie de ressource minérale. Section verticale 613 500mE, regard vers l'ouest.

En résumé, la révision du modèle de blocs a soulevé les points suivants :

- les teneurs en fer semblent de bonnes représentations des teneurs issus des analyses de forage ;
- les catégories de ressources minérales bénéficieraient d'une révision pour homogénéiser les catégories, avec une emphase sur la maille de forage et les complexités géologiques (p. ex. plissements) ;
- les blocs non classifiés sont majoritairement issus de l'extrapolation ou de l'interpolation entre sondages à très grandes distances ;
- les ressources Mesurées, Indiquées et Présumées combinées sont une bonne représentation des ressources minérales de la mine du Lac Bloom ;
- il y a une opportunité, avec du forage profond, d'augmenter la continuité des couches minéralisées.

2. PARAMÈTRES D'OPTIMISATION DES FOSSES

Les paramètres d'optimisation des fosses ont été fournis par MFQ et sont présentés au Tableau 2.1. Ces derniers sont basés sur les paramètres présentés dans l'étude de faisabilité phase 2 d'août 2019 de BBA.

L'optimisation de la mine à ciel ouvert a été réalisée à l'aide du progiciel Whittle mettant en œuvre l'algorithme de Lerch-Grossman. Les optimisations de Whittle ont été effectuées en utilisant le modèle de blocs révisé par l'équipe de géologues de GMS. Les optimisations ont utilisé les ressources Mesurées, Indiquées et Présumées. Les résultats sont présentés au Tableau 2.2 et à la Figure 2.1.

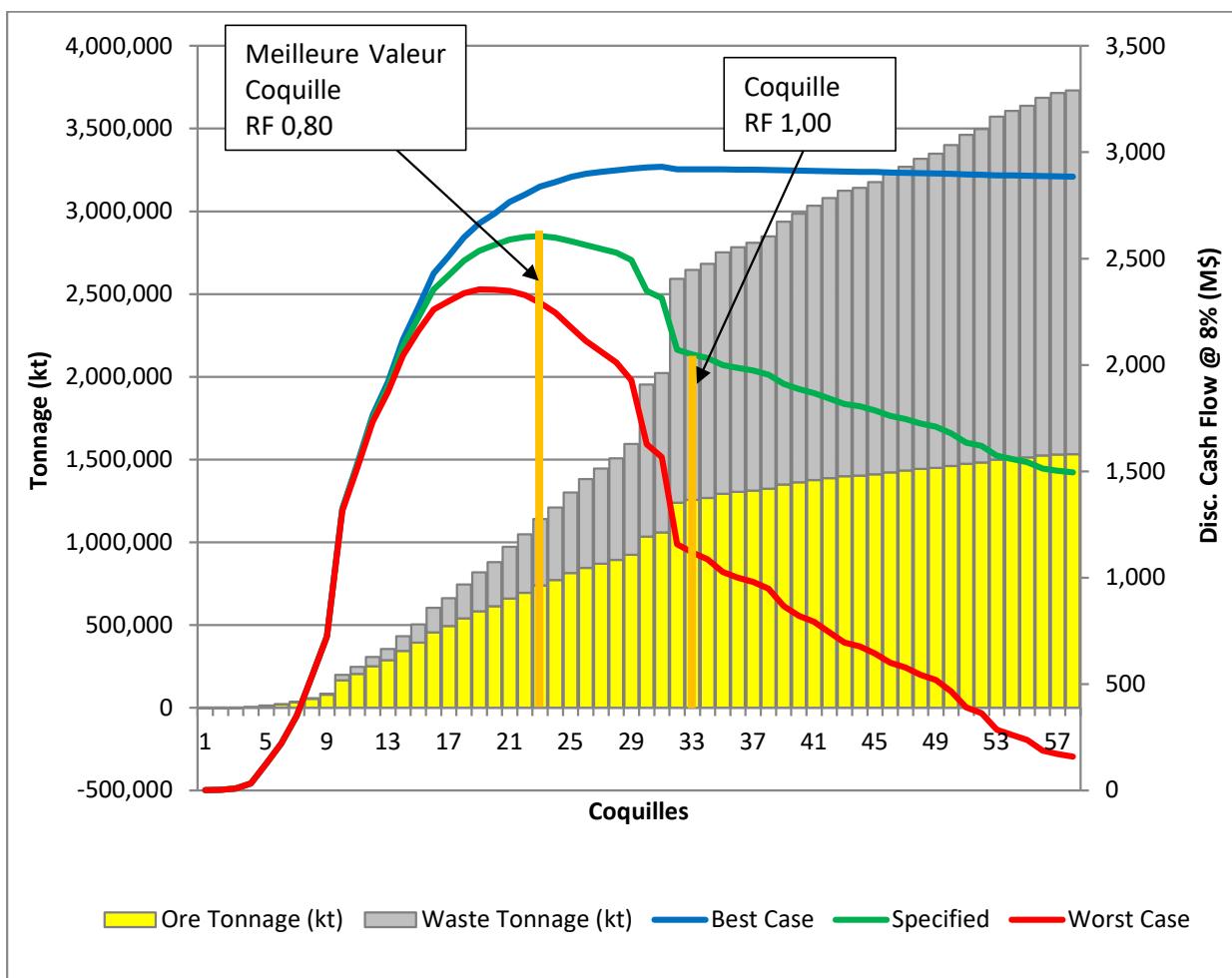
Tableau 2.1 : Paramètres d'optimisation de la fosse

Paramètre d'optimisation de la fosse		
Minerai	Mt/an	41,96
Dilution minière	%	1,2 %
Récupération minière	%	100 %
Teneur de fer	% Fe	29,00 %
Récupération poids finale	%	36,04 %
Récupération du fer	%	83,26 %
Revenues		
Production de concentré	Mt con.	15,122
Teneur du fer dans le concentré	% Fe	66,20 %
Taux de change	\$ CA/\$ US	1,24
Prix de référence (IODEX 62 % FE CFR Chine)	\$ US/tonne de concentré	61,50
66,2 % Fe Premium	\$ US/tonne de concentré	12,70
Coûts de vente	\$ US/tonne de concentré	-21,00
Revenue (CFR Client)	\$ US/tonne de concentré	53,20
Revenue (CFR Client)	\$ CA/tonne de concentré	65,97
Transport et logistique	\$ CA/tonne de concentré	-18,88
Revenue net (FOB Bloom Lake)	\$ CA/tonne de concentré	47,09
Valeur du minerai	\$ CA/tonne de minerai	16,97
Coût de base du minerai		
Coût du concentrateur	\$ CA/tonne de minerai	3,70
Coût général et administratif	\$ CA/tonne de minerai	2,76
Total du coût de base du minerai	\$ CA/tonne de minerai	6,46
Marge d'exploitation	\$ CA/tonne de minerai	10,51
Taux de la marge d'exploitation (avant les coûts d'extraction)	%	62 %
Coût de l'extraction minière et paramètres		
Coût incrémental par banc	\$ CA/t/14m	0,040
Élévation de référence	RL	704
Coût de référence de l'extraction minière	\$ CA/tonne minée	2,70

Tableau 2.2 : Résultats d'optimisation

Coquilles	Facteur de revenu	Meilleur cas Actualisé à 8 % (M\$ US)	Spécifié Actualisé à 8 % (M\$ US)	Cas défavorable Actualisé à 8 % (M\$ US)	Tonnage total (kt)	Tonnage du minerai (kt)	Ratio Décapage (W:O)	Tonnage déchets (kt)	Teneur de Fe %	Poids Récup. %	Conc. (kt)
10	0,54	1 324	1 321	1 314	199 232	164 931	0,21	34 300	31,82	41,31	68 135
11	0,56	1 539	1 532	1 520	246 835	203 415	0,21	43 420	31,52	40,78	82 944
12	0,58	1 764	1 751	1 732	305 655	250 259	0,22	55 395	31,18	40,17	100 536
13	0,60	1 920	1 899	1 874	355 581	286 676	0,24	68 905	30,99	39,83	114 185
14	0,62	2 120	2 087	2 044	432 117	343 264	0,26	88 853	30,62	39,19	134 516
15	0,64	2 270	2 222	2 159	503 839	393 013	0,28	110 826	30,36	38,73	152 222
16	0,66	2 430	2 356	2 260	603 817	455 120	0,33	148 698	30,15	38,35	174 543
17	0,68	2 511	2 422	2 300	661 636	493 624	0,34	168 012	29,97	38,02	187 695
18	0,70	2 600	2 490	2 337	743 910	540 924	0,38	202 986	29,84	37,80	204 444
19	0,72	2 667	2 537	2 355	818 844	582 070	0,41	236 774	29,73	37,61	218 937
20	0,74	2 712	2 563	2 354	879 419	613 745	0,43	265 674	29,65	37,48	230 015
21	0,76	2 766	2 590	2 348	972 932	659 877	0,47	313 055	29,56	37,32	246 254
22	0,78	2 802	2 601	2 328	1 047 759	694 592	0,51	353 166	29,51	37,22	258 538
23	0,80	2 839	2 606	2 292	1 140 941	739 814	0,54	401 127	29,39	37,02	273 844
24	0,82	2 860	2 598	2 246	1 209 485	770 937	0,57	438 548	29,32	36,88	284 335
25	0,84	2 883	2 582	2 178	1 301 166	813 383	0,60	487 784	29,19	36,66	298 172
26	0,86	2 898	2 563	2 114	1 380 838	844 978	0,63	535 860	29,14	36,58	309 116
27	0,88	2 908	2 546	2 062	1 445 273	870 798	0,66	574 475	29,09	36,50	317 809
28	0,90	2 916	2 528	2 011	1 507 670	894 245	0,69	613 425	29,05	36,43	325 817
29	0,92	2 923	2 493	1 927	1 594 194	924 441	0,72	669 753	29,02	36,38	336 289
30	0,94	2 929	2 347	1 628	1 952 440	1 033 792	0,89	918 648	29,06	36,46	376 935
31	0,96	2 931	2 314	1 567	2 022 461	1 059 968	0,91	962 493	29,01	36,36	385 431
32	0,98	2 920	2 071	1 158	2 592 334	1 238 899	1,09	1 353 435	28,94	36,27	449 405
33	1,00	2 920	2 048	1 118	2 646 636	1 256 282	1,11	1 390 355	28,92	36,25	455 381
34	1,02	2 920	2 032	1 086	2 682 717	1 268 272	1,12	1 414 445	28,91	36,22	459 324
35	1,04	2 919	2 000	1 027	2 751 153	1 293 023	1,13	1 458 130	28,84	36,11	466 864
36	1,06	2 918	1 985	1 000	2 781 994	1 303 647	1,13	1 478 348	28,82	36,06	470 139
37	1,08	2 918	1 973	980	2 810 384	1 312 456	1,14	1 497 928	28,81	36,04	473 016
38	1,10	2 917	1 955	949	2 847 578	1 323 443	1,15	1 524 136	28,79	36,01	476 627
39	1,12	2 915	1 910	866	2 936 896	1 348 495	1,18	1 588 401	28,76	35,96	484 926
40	1,14	2 913	1 886	822	2 984 659	1 361 695	1,19	1 622 964	28,74	35,93	489 249
41	1,16	2 912	1 868	792	3 034 483	1 374 902	1,21	1 659 581	28,73	35,91	493 762
42	1,18	2 910	1 842	742	3 080 705	1 387 121	1,22	1 693 584	28,71	35,88	497 682
43	1,20	2 909	1 816	695	3 123 959	1 398 048	1,23	1 725 910	28,69	35,85	501 228
44	1,22	2 908	1 806	677	3 140 999	1 402 798	1,24	1 738 202	28,68	35,83	502 655
45	1,24	2 907	1 787	643	3 176 321	1 410 980	1,25	1 765 341	28,68	35,82	505 416

Figure 2.1 : Graphique fosse par fosse des résultats d'optimisation



- La coquille 23 avec un facteur de revenu de 0.80 présente la meilleure valeur économique. Elle offre une durée de vie de la mine de 18 ans. Afin d'avoir 20 ans de vie de mine, il serait possible de choisir une plus grosse coquille comme la 28 avec un facteur de revenu de 0.90.
- Les coquilles 30 à 32 offrent un potentiel d'expansion de la fosse très intéressant mais demandent toutefois un gros volume de décapage.
- Le prix de vente de concentré de fer utilisé pour les optimisations est bien en deçà du consensus actuel long terme de 70 USD/dtm con. et en dessous également d'un prix moyen pour un cycle économique complet.

3. RÉVISION DES OPTIMISATIONS DE FOSSE

À la suite de la production d'optimisations de fosse Whittle par GMS, celles-ci ont été révisées et comparées à l'optimisation générée lors de l'étude de faisabilité Phase 2 produite par BBA Inc. (BBA). Toutes les fosses, soient celles produites par GMS et par BBA, ont utilisé les ressources Mesurées, Indiquées et Présumées. Les fosses révisées sont présentées à la Figure 4.1. Dans son ensemble, les observations suivantes sont tirées :

- la fosse GMS, qui a un facteur de revenu 0.9 (RF 0.9), est visuellement très similaire à l'optimisation générée par BBA ;
- la majorité des écarts majeurs entre les différentes fosses GMS sont pour des facteurs de revenu inférieurs à 0.9 (prix de Fer de 55,35 \$) ;
- les fosses GMS à facteur de revenu supérieur à 1.0 (RF 1.0) ne présentent pas d'incréments avec augmentation de tonnes significative ;
- un changement majeur de profondeur de fosse est observé entre les RF 0.9 et RF 1.0 ;
- l'approfondissement des fosses entre les RF 0.9 et RF 1.0 connecte les deux fosses ouest et est, jusqu'ici isolées.

Étant donnée l'approfondissement marqué à partir d'un RF 1.0 (prix référence de 61,5 USD/dmt con.), une attention particulière a été portée à la classification des ressources entre les deux fosses (Figure 4.2). GMS est d'avis que la maille de forage ne supporte pas la couverture actuelle de ressources Indiquées. Cependant, plusieurs facteurs portent à favoriser une classification en Présumé là où la maille de forage est moins dense. Les arguments suivants sont pris en compte pour supporter une classification des blocs en ressource minérale dans le secteur concerné :

- la nature de la minéralisation, réputée continue et supportée par du forage ;
- l'épaisseur des zones minéralisées de part et d'autre est importante et bien démontrée ;
- le modèle géologique apparaît robuste et bien validé par le forage.

GMS a effectué un calcul du tonnage de minerai supérieur à une teneur de coupure de 15 % Fe entre le design de fosse du LOM Phase 2 (Reserve Minérale) et l'optimisation de fosse à un facteur de revenu de 1.0 (optimisation GMS; ressources MIP). Les résultats démontrent qu'il existe un potentiel de l'ordre de 337 Mt de minerai à une teneur de 29.5 % Fe, en considérant la classification des ressources actuelle (Tableau 2.3).

Tableau 2.3 : Calcul des ressources minérales situées entre le design de fosse LOM et l'optimisation de fosse effectuée par GMS à un facteur de revenu de 1.0.

Catégorie de Ressource	Tonnage kt	Fe %
Mesuré	117 007	29,4
Indiqué	220 043	29,6
M+I	337 050	29,5
Présumé	75 123	28,5

4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

L'évaluation des optimisations des fosses de la mine du Lac Bloom démontrent qu'il existe un risque important à remblayer une des fosses avec du matériel stérile. GMS ne recommande pas cette pratique et s'appuie sur les conclusions suivantes :

- Il existe un potentiel minéral qui n'a pas encore été testé en profondeur, sous les couches minéralisées existantes. Le remblayage d'une des fosses condamnerait ce potentiel minéral futur.
- D'après les optimisations MIP effectuées par GMS, le remblayage de fosse aurait un impact négatif important sur les ressources minérales et donc de la valeur du projet (337 Mt de ressources Mesurées et Indiquées, selon la classification actuelle).
- Le remblayage de fosse condamnerait la ressource potentielle identifiée par GMS entre les fosses proposées lors de l'étude de Phase 2 et impacterait significativement la vie de la mine.
- Le prix de fer de base utilisé pour cet étude (RF 1.0) est en-dessous du consensus actuel et du prix moyen pour un cycle économique complet. GMS considère que les optimisations de fosses générées sont conservatrices à cet égard puisque le changement majeur s'opère entre un facteur de revenu inférieur au prix de base (entre RF 0.9 et RF 1.0).
- Les ressources minérales sont un bien public; remblayer une des fosses priverait la population d'une richesse.

Cordialement,

Compilé par :

(Signature)



geo.
#1072

Christian Beaulieu, géo., M.Sc.

Géologue Séniior, Géologie et Ressources

G Services Miniers inc.

Revu par :

(Signature)



James Purchase, géo., M.Sc.

Directeur, Géologie et Ressources

G Services Miniers inc.

(Signature)



Louis Gignac, ing., M.Sc., D.Eng., ICD.D.

Président du Conseil

G Services Miniers inc.

Figure 4.1 : Section longitudinale (regard vers le nord) montrant les différents scénarios d'optimisations de fosse. L'encadré rouge montre le secteur où la fosse s'approfondie de façon significative.

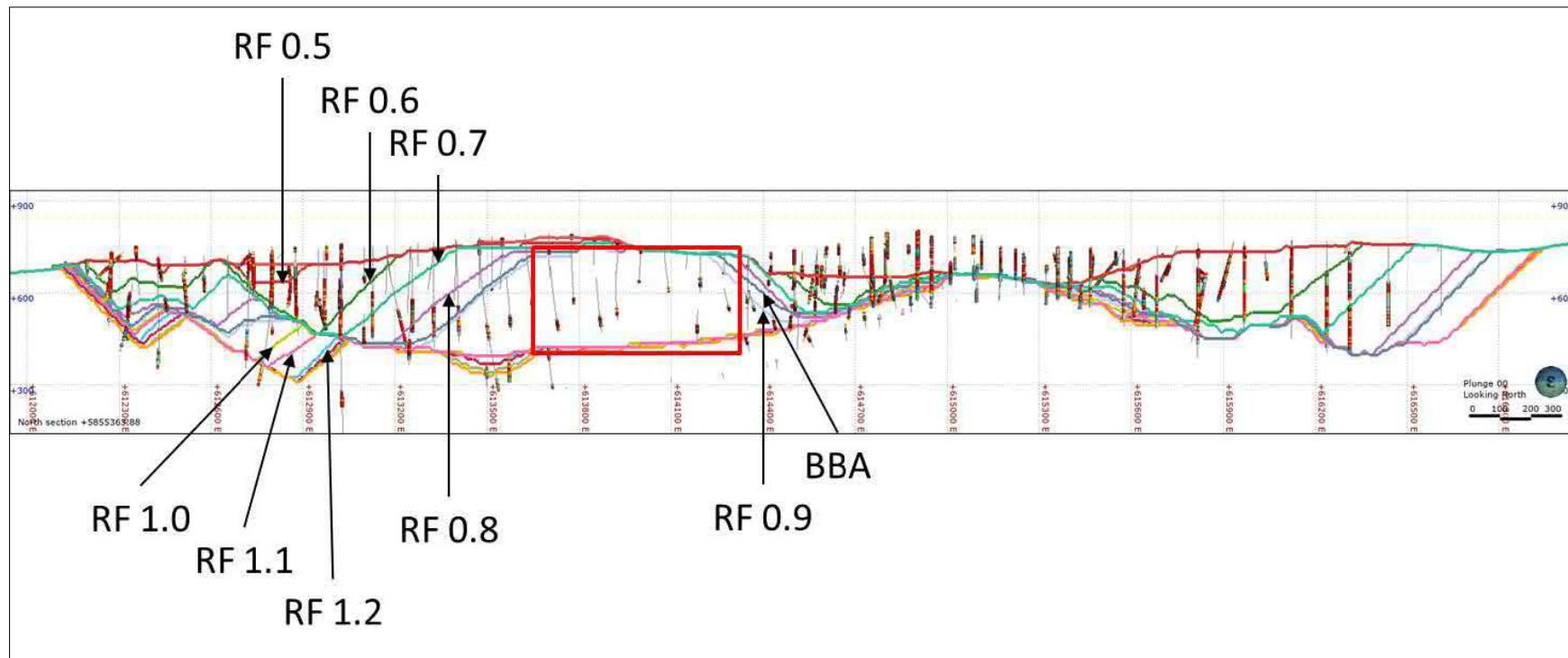
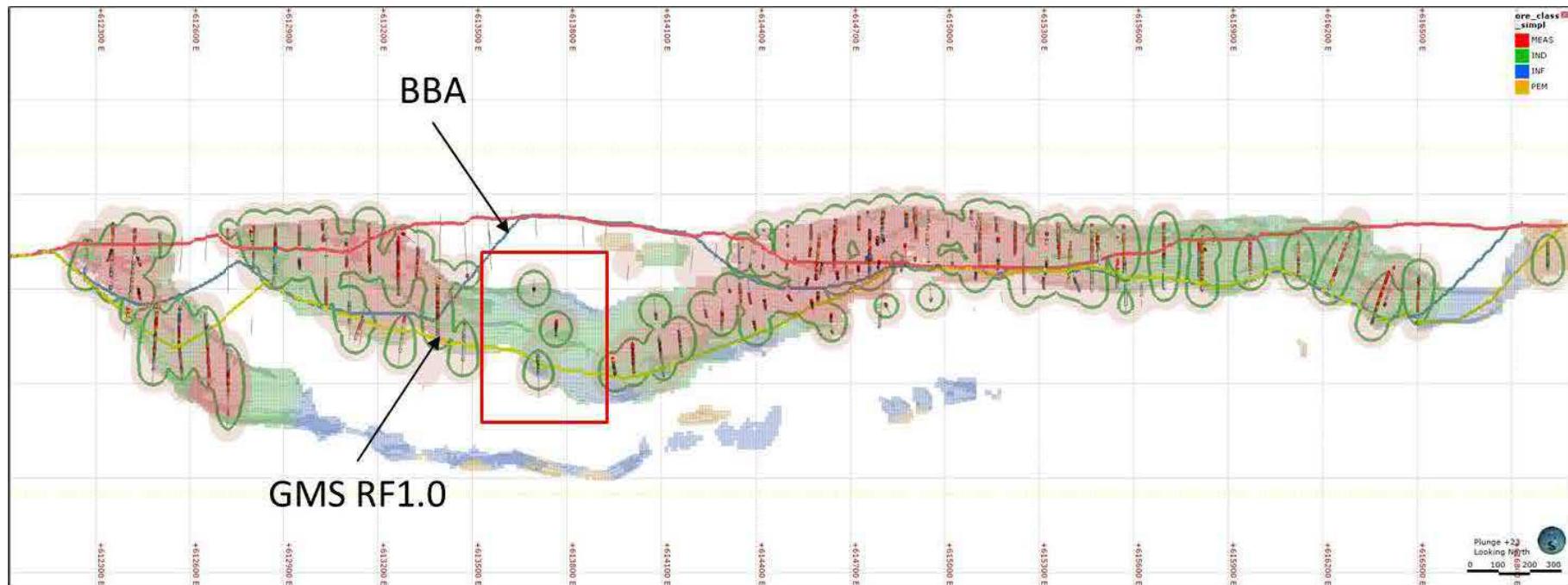


Figure 4.2 : Section longitudinale (regard vers le nord) montrant les catégories de ressources et les blocs non classifiés (orange).



Normes de définitions de l'ICM – 10 mai 2014

Ressources minérales présumées

Une ressource minérale présumée constitue la partie de la ressource minérale dont on peut estimer la quantité et la teneur (ou qualité) sur la base de preuves géologiques et d'un échantillonnage restreint. Les preuves géologiques suffisent à supposer, mais pas à vérifier, la continuité géologique et celle de la teneur (ou qualité).

Le degré de confiance accordé à une ressource minérale présumée est inférieur à celui accordé à une ressource minérale indiquée ; elle ne doit en aucun cas être convertie en réserve minérale. On peut raisonnablement s'attendre à ce que la majorité des ressources minérales présumées atteignent le rang de ressources minérales indiquées à la suite d'une exploration continue.

Une ressource minérale présumée repose sur des renseignements et des échantillonnages limités obtenus à l'aide de techniques appropriées d'échantillonnage dans des emplacements tels que des affleurements, des tranchées, des fosses, des galeries de mines et des trous de forage. Il ne faut pas intégrer les ressources minérales présumées dans l'analyse économique, les calendriers de production ou la durée de vie estimée de la mine dans des études de préfaisabilité ou de faisabilité rendues publiques, ni dans les plans de durée de vie de la mine et les modèles de flux de trésorerie de mines développées. On ne peut inclure les ressources minérales présumées que dans des études économiques comme le prévoit le Règlement 43-101.

Dans certains cas, l'échantillonnage, les essais et autres mesures appropriés suffisent à démontrer l'intégrité des données, la continuité géologique et celle de la teneur (ou qualité) des ressources minérales mesurées ou indiquées. Cependant, l'assurance et le contrôle de la qualité ou tout autre renseignement pourraient ne pas satisfaire toutes les normes de l'industrie quant à la présentation d'une ressource minérale indiquée ou mesurée. Dans ces circonstances, il peut être raisonnable que la personne qualifiée déclare une ressource minérale présumée si elle a pris les mesures nécessaires pour vérifier que ces renseignements satisfont aux exigences relatives aux ressources minérales présumées.

Ressources minérales indiquées

Une ressource minérale indiquée constitue la partie de la ressource minérale dont on peut estimer la quantité, la teneur (ou qualité) la densité, la forme et les caractéristiques physiques avec un niveau de confiance suffisant pour permettre l'application de facteurs modificateurs en vue de justifier la planification minière et l'évaluation de la viabilité économique du gîte.

Les preuves géologiques sont tirées d'explorations, d'échantillonnages et d'essais adéquatement détaillés et fiables, et suffisent à supposer la continuité géologique ainsi que celle de la teneur (ou qualité) entre les points d'observation.

Le degré de confiance accordé à une ressource minérale indiquée est inférieur à celui qui s'applique à une ressource minérale mesurée ; elle ne pourra être convertie qu'en réserve minérale probable.

Une minéralisation peut être classée dans la catégorie des ressources minérales indiquées par la personne qualifiée lorsque la nature, la qualité, la quantité et la distribution des données sont telles qu'elles

permettent d'interpréter en toute confiance le contexte géologique et d'émettre une hypothèse raisonnable quant à la continuité de la minéralisation. La personne qualifiée doit reconnaître l'importance de la catégorie dans laquelle se trouvent les ressources minérales indiquées pour la progression de la faisabilité du projet. La qualité d'une estimation des ressources minérales indiquées suffit à justifier une étude de préfaisabilité pouvant servir de base à la prise de décisions majeures concernant le développement.

Ressources minérales mesurées

Une ressource minérale mesurée constitue la partie de la ressource minérale dont on peut estimer la quantité, la teneur (ou qualité) la densité, la forme et les caractéristiques physiques avec un niveau de confiance suffisant pour permettre l'application de facteurs modificateurs en vue de justifier une planification minière détaillée et l'évaluation finale de la viabilité économique du gîte.

Les preuves géologiques sont tirées d'explorations, d'échantillonnages et d'essais détaillés et fiables, et suffisent à confirmer la continuité géologique ainsi que celle de la teneur (ou qualité) entre les points d'observation.

Le degré de confiance accordé à une ressource minérale mesurée est supérieur à celui qui s'applique à une ressource minérale indiquée ou une ressource minérale présumée. Cette catégorie de ressources peut être convertie en une réserve minérale prouvée ou probable.

Une minéralisation ou une autre substance naturelle présentant un intérêt économique peut être classée dans la catégorie des ressources minérales mesurées par la personne qualifiée lorsque la nature, la qualité, la quantité et la distribution des données sont telles que l'on peut estimer le tonnage et la teneur (ou qualité) de la minéralisation au sein de limites concises, et lorsqu'une variation de l'estimation n'aura pas d'incidence notable sur la viabilité économique potentielle du gîte. Cette catégorie nécessite un degré élevé de compréhension de la géologie et des contrôles s'appliquant au gîte minéral, et de confiance dans ceux-ci.

Mémorandum Technique

À: Olivier Hamel, Vincent Blanchet
CC: Carl Michaud, James Purchase
De: Alexandre Dorval, Christian Beaulieu
Date: 26 août 2021
Objet: ÉVALUATION DES RISQUES LIÉS AU REMBLAYAGE DE FOSSE

Messieurs Hamel et Blanchet,

G Services Miniers Inc. (GMS) a été mandaté par Minerai de Fer Québec (MFQ) pour évaluer les risques financiers et techniques en lien avec le remblayage de fosse et la condamnation potentielle de gîtes minéraux potentiels de la mine de Bloom Lake.

Dans un premier temps, GMS a évalué les risques associés à la condamnation de gîtes minéraux potentiels. Pour ce faire, GMS a révisé le modèle de blocs de MFQ et produit de nouvelles optimisations de fosses Whittle pour différents prix de fer. Il faut noter que ces gîtes minéraux potentiels ne sont pas suffisamment définis par le forage d'exploration afin de les classifier comme ressources minérales et qu'il n'est pas certain qu'une exploration plus importante permettrait d'en établir la présence.

Dans une deuxième partie du mandat, GMS a comme mandat de venir appuyer les conclusions mentionnées ci-dessus par une étude d'optimisation et de séquence d'extraction de mineraux. Divers scénarios d'extraction proposés par MFQ et GMS serviront de base pour démontrer les impacts potentiels de limiter les fronts de taille. La gestion des contaminants, afin de produire un concentré de fer de qualité qui respecte les spécifications des contrats de vente, la vie de mine et la valeur actuelle nette (VAN) seront les principaux facteurs influençant les scénarios envisagés et les conclusions qui en découlent.

Pour mener cette étude, GMS a entrepris les tâches suivantes :

- Une révision des attributs de contaminants du modèle de blocs de ressources ;
- La production de séquence de minage optimisées à l'aide d'études du logiciel Minemax ;
- Une évaluation des risques en lien avec la condamnation de gîtes minéraux potentiels, tant au niveau technique que financier.

1. Révision des attributs de contaminants

Lors de la première partie du mandat, GMS a révisé le modèle de blocs en mettant l'accent sur la classification des ressources, le modèle géologique et l'interpolation de l'attribut de fer. Les contaminants

ont également été révisés pour s'assurer qu'il n'y ait pas d'erreur majeure pouvant nuire aux optimisations de fosse. Pour donner suite à la validation du modèle de blocs, les points suivants ont été soulevés :

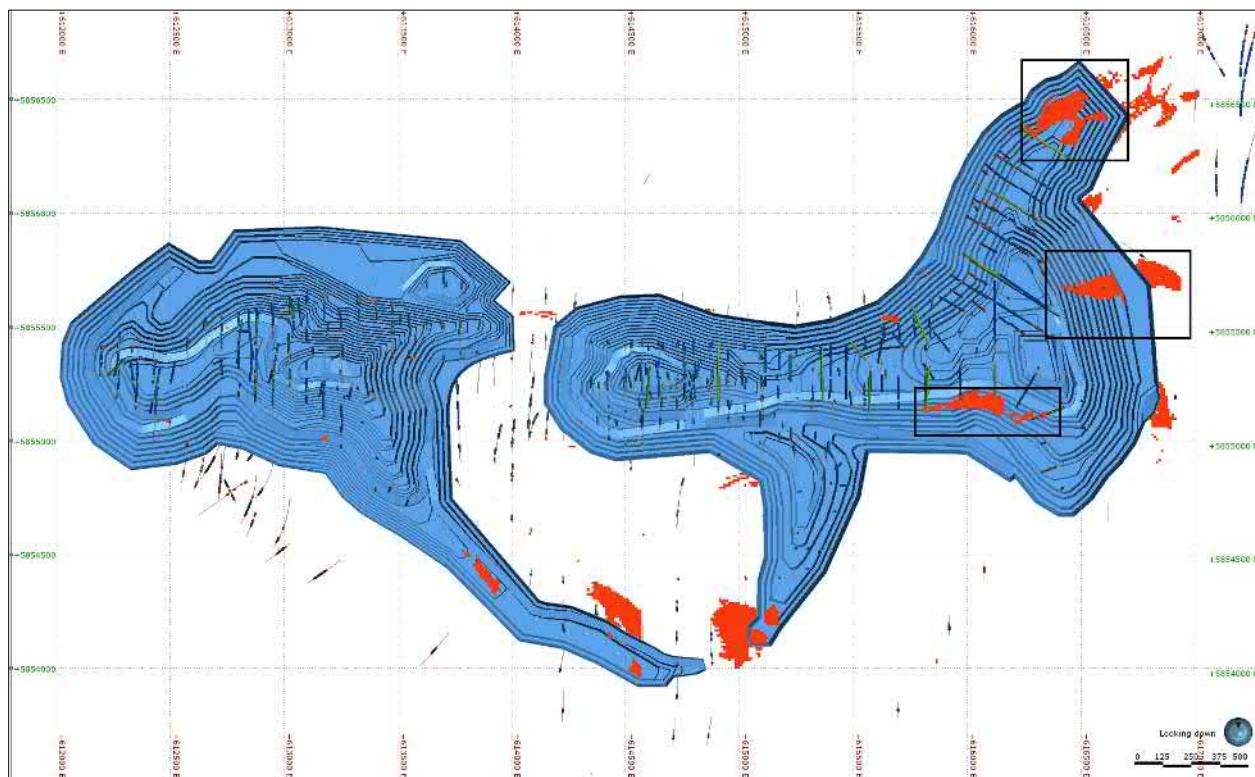
- Les teneurs en fer semblent être de bonnes représentations des teneurs issus des analyses de forage ;
- Les catégories de ressources minérales bénéficieraient d'une révision pour homogénéiser les catégories, avec un accent sur la maille de forage et les complexités géologiques (p. ex., plissements) ;
- Les ressources Mesurées, Indiquées et Présumées combinées sont une bonne représentation des ressources minérales de la mine du Lac Bloom ;
- Aucune erreur majeure d'interpolation n'a été identifiée, ni pour le fer ni pour les contaminants.

Malgré l'absence d'erreurs majeures dans le modèle de blocs, la présence de valeurs de contaminants anormales avait été identifiée comme étant susceptible, bien que faible, d'influencer l'optimisation du séquençage de l'extraction de minéral. Ceux-ci se situent essentiellement à des localisations où le modèle de blocs contient suffisamment d'information pour le fer, mais avec une couverture insuffisante pour certains contaminants. Ceux-ci ont été corrigés localement avec une valeur « No Data » fixée à -99. Un aperçu de la localisation des blocs corrigés est illustré à la Figure 1.

MFQ a également fourni à GMS deux attributs modifiés qui ont été remplacés dans le modèle de blocs. Les blocs sans valeurs ont été remplacés par « -99 » à l'image des autres attributs. Une revue de ces deux attributs n'a pas révélé d'erreur majeure. Toutefois, il appert que ces deux attributs soient issus d'un modèle géologique différent. GMS a soulevé ce point, mais MFQ considère que les différences du modèle géologique sont mineures et que les attributs modifiés ont une meilleure réconciliation.

À la suite de la mise à jour de tous les éléments du modèle de blocs, GMS recommande d'effectuer une revue complète des valeurs aberrantes ou anormales et d'appliquer les corrections, si nécessaire. Par exemple, il a été observé que certains blocs ont une somme d'éléments supérieure à 100 %. Tous les attributs du modèle de blocs devraient également provenir du même modèle géologique pour éviter le mélange d'unités dans les rapports de tonnage / teneurs.



Figure 1 : Secteurs avec valeurs de contaminant anormales

2. Séquence de minage

2.1 Optimisation des fosses

Les paramètres d'optimisation des fosses ont été fournis par MFQ et sont présentés au Tableau 1. Ces derniers sont basés sur les paramètres présentés dans l'étude de faisabilité phase 2 d'août 2019 de BBA.

L'optimisation de la mine à ciel ouvert a été réalisée à l'aide du progiciel Whittle mettant en œuvre l'algorithme de Lerch-Grossman. Les optimisations de Whittle ont été effectuées en utilisant le modèle de blocs révisé par l'équipe de géologues de GMS. Les optimisations ont utilisé les gîtes minéraux potentiels.

2.2 Révision des optimisations de fosses

À la suite de la production d'optimisations de fosse Whittle par GMS, celles-ci ont été révisées et comparées à l'optimisation générée lors de l'étude de faisabilité Phase 2 produite par BBA Inc. (BBA).

Dans son ensemble, les observations suivantes sont tirées :

- La fosse GMS, qui a un facteur de revenu 0.9 (prix de Fer de 55,35 \$), est visuellement très similaire à l'optimisation générée par BBA ;
- La majorité des écarts majeurs entre les différentes fosses GMS sont pour des facteurs de revenu inférieurs à 0.9 (prix de Fer de 55,35 \$) ;



- Les fosses GMS à facteur de revenu supérieur à 1.0 (prix de Fer de 61.5 \$) ne présentent pas d'incréments avec augmentation de tonnes significative ;
- Un changement majeur de profondeur de fosse est observé entre les RF 0.9 et RF 1.0 ;
- L'approfondissement des fosses entre les RF 0.9 et RF 1.0 connecte les deux fosses ouest et est, jusqu'ici isolées.

3. Séquence de minage

3.1 Méthodologie

L'utilisation du logiciel Minemax permet d'optimiser la séquence de minage des phases afin de respecter des contraintes de production, tant au niveau des contaminants que des volumes minés ou traités au moulin. L'analyse présente une évaluation économique préliminaire à partir des ressources minérales.

Les contraintes suivantes ont été fournies par MFQ afin de réaliser divers scénarios :

- Production de concentré de fer maximale de 15 800 000 tonnes annuelles.
- Quantité de minerai traité à l'usine maximale de 41 900 000 tonnes annuelles.
- Teneur en minerai de 15 % Fe minimum et un maximum de CaO + MgO de 16 % combiné afin de séparer le minerai et le stérile.
- Production minière de stérile et minerai minimale de 70 000 000 tonnes et maximale de 95 000 000 tonnes.
- Un maximum de 6 bancs, par phase, peuvent être minés dans une même année.
- MFQ a fourni les données nécessaires pour l'analyse financière (Tableau 1).

Tableau 1 : Données financières utilisées pour l'analyse

Revenues		
Taux de change	\$ CA/\$ US	1,24
Prix de référence (IODEX 62 % FE CFR Chine)	\$ US/tonne de concentré	61,50
66.2 % Fe premium	\$ US/tonne de concentré	12,70
Coûts de vente	\$ US/tonne de concentré	-21,00
Revenue (CFR Client)	\$ US/tonne de concentré	53,20
Revenue (CFR Client)	\$ CA/tonne de concentré	65,97
Transport et logistique	\$ CA/tonne de concentré	-18,88
Revenue net (FOB Bloom Lake)	\$ CA/tonne de concentré	47,09



Taux d'actualisation	%	8
Coût de base du minerai		
Coût du concentrateur	\$ CA/tonne de minerai	3,70
Coût général et administratif	\$ CA/tonne de minerai	2,76
Total du coût de base du minerai	\$ CA/tonne de minerai	6,46
Coût de l'extraction minière et paramètres		
Coût incrémental par banc	\$ CA/t/14m	0,039
Élévation de référence	RL	704
Coût de référence de l'extraction minière	\$ CA/tonne minée	2,70

MFQ a fourni la topographie prévue pour le début de l'optimisation en plus de fournir les surfaces des fosses une fois exploitées. Le modèle de bloc et les modifications apportées à certains éléments chimiques du modèle ont été fournis par MFQ. Le modèle a été révisé et validé par le département de géologie de GMS tel qu'il est présenté dans cette étude (Section 1).

À partir du modèle géologique et des contraintes fournies pour le minerai, le modèle de bloc est importé dans le logiciel Deswik, où les solides de minage sont découpés entre la topographie prévue au début de l'exploitation et la surface de chacune des phases finales. Les solides sont ensuite nommés par phases, puis découpés par bancs. L'interrogation du modèle est effectuée en fonction de ces nouveaux solides, formés par le banc et la phase prévue de minage. Les résultats de cette interrogation sont importés dans Minemax et servent à l'analyse et à l'optimisation de la séquence de minage et des scénarios de possible remblai des fosses.

3.2 Analyse et résultats

Une multitude de scénarios ont été analysés afin d'obtenir une modélisation réaliste de la production de MFQ. Parmi les scénarios, celui avec les restrictions additionnelles suivantes a été retenu comme cas de base présentant la meilleure rentabilité :

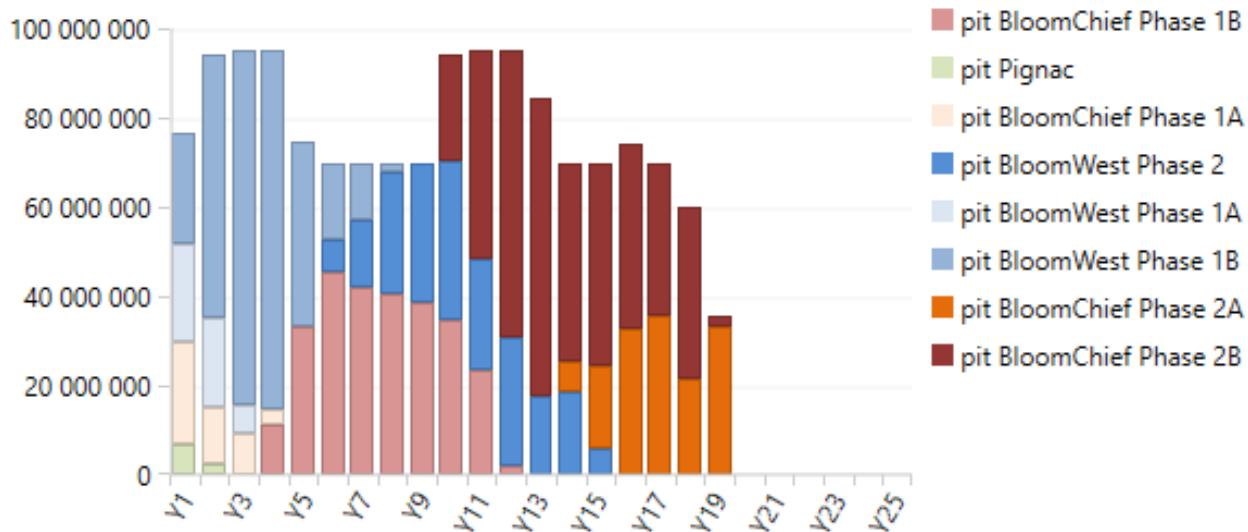
- La phase Pignac est exploitée dans les deux (2) premières années.
- La capacité totale de halde de minerai est de 600 000T pour la halde 1 et 6 000 000T pour la halde 2.
- Sur une moyenne annuelle, les contaminants suivants sont considérés : Mg + CaO (maximum 5,6 %), SATMAGAN (8,7 %).
- Aucun minerai ne peut être stérilisé.

Pour ce scénario, la valeur actuelle nette (VAN) est considérée 100 %. Dans ce cas, le modèle termine l'exploitation de la fosse BloomWest en premier lieu. Il permet donc d'utiliser cette fosse pour le remblai



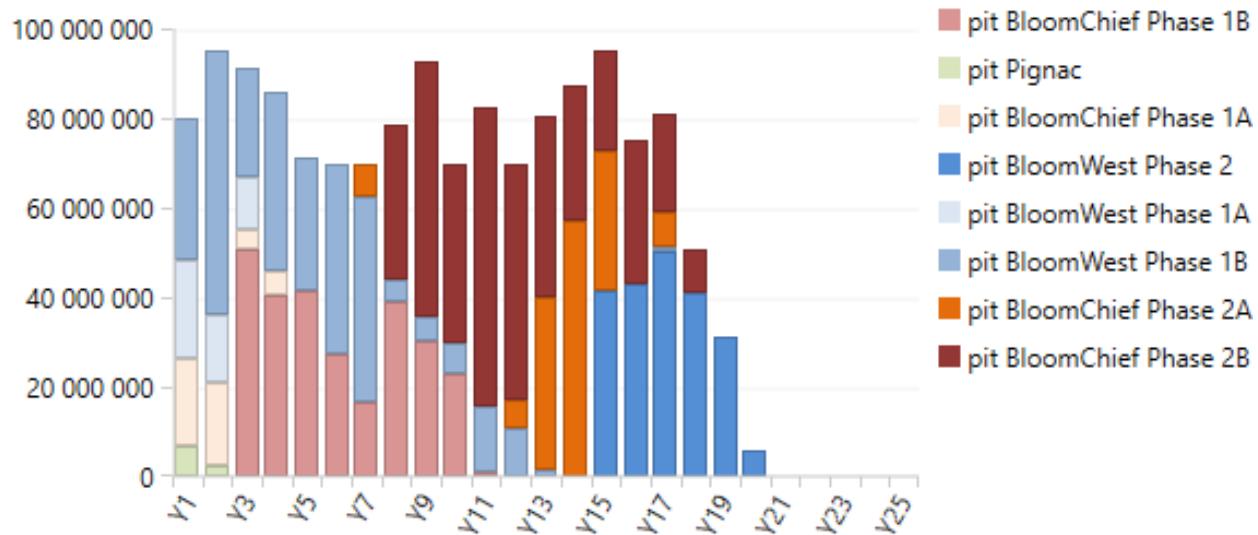
rocheux au cours des quatre dernières années de l'exploitation de la phase 2 de BloomChef (voir Figure 2). Cependant, le potentiel minéral sous BloomWest est présent et serait condamné par le remblayage de la fosse. Il n'est donc pas recommandé de remblayer la fosse.

Figure 2 : Séquence de minage optimisé selon Minemax



D'autres scénarios, axés sur la possibilité de remblai des fosses dans les phases BloomChef 2A et BloomChef 2B, ont été analysés. Les résultats montrent que le potentiel de remblai dans BloomChef 2B n'est pas attrayant, car le tonnage de remblai possible est très faible (12,3 millions de tonnes), la VAN diminue (99,1%) et doit être exploitée pendant une année supplémentaire (Figure 3). Dans le cas de BloomChef 2A, selon les teneurs de contaminants, l'optimisation n'est pas possible pendant la durée de la vie de la mine, ce qui démontre qu'une grande quantité de matériel devrait être stérilisée. La deuxième option évaluée est de stériliser la phase 2A afin de faire le remblayage de la phase Pignac. Selon ces hypothèses, la VAN diminue (82,2%), la durée de vie de la mine est réduite à 13 ans et des réserves sont stérilisées aux phases BloomWest 2, BloomChef 2A et 2B (Tableau 2), car les contraintes ne sont plus respectées à l'usine.



Figure 3 : Séquence de minage où BloomChef 2B est planifiée plus tôt**Tableau 2 : Tonnes de minerai stérilisées par le Remblai Pignac et la stérilisation de Bloomchef 2A**

	Minerai Stérilisé (Millions de Tonnes)
Total	188,26
BloomChef Phase 1B	0,00
Pignac	0,00
BloomChef Phase 1A	0,00
BloomWest Phase 2	4,50
BloomWest Phase 1A	0,00
BloomWest Phase 1B	0,00
BloomChef Phase 2A	42,92
BloomChef Phase 2B	140,83

4. Recommandations

L'évaluation des optimisations des séquences de minage des fosses de la mine du Lac Bloom démontre qu'il existe un risque important à remblayer l'une des fosses avec du stérile et / ou des résidus miniers. GMS ne recommande pas cette pratique et s'appuie sur les conclusions additionnelles suivantes :

- Il existe un potentiel minéral qui n'a pas encore été testé en profondeur, sous les couches minéralisées existantes. Le remblayage d'une des fosses condamnerait ce potentiel minéral futur.



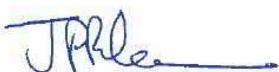
- D'après les optimisations effectuées par GMS sur les ressources actuelles et les gîtes minéraux potentiels, le remblayage de fosse aurait un impact négatif important sur les ressources minérales.
- Le remblayage de fosse condamnerait le gîte minéral potentiel identifié par GMS entre les fosses proposées lors de l'étude de Phase 2 et impacterait significativement la vie de la mine.
- Le prix de fer de référence utilisé pour cette étude (61,5\$) est en-dessous du consensus actuel et du prix moyen pour un cycle économique complet. GMS considère que les optimisations de fosses générées sont conservatrices à cet égard puisque le changement majeur s'opère entre un facteur de revenu inférieur au prix de référence (entre 55,35\$ et 61,5\$).
- L'utilisation des fosses BloomChef 2B ou BloomWest pour faire du remblai condamnerait des gîtes minéraux potentiels qui n'ont pas été testés en profondeur.
- L'utilisation de Pignac comme site de remblayage et la condamnation de la phase BloomChef 2A entraînent une diminution importante de la VAN et de la durée de vie de la mine.
- Les ressources minérales sont un bien public; remblayer une des fosses priverait la population d'une richesse, comme le décrit la Loi sur les mines (Chapitre M-13.1).

Cordialement,



Alexandre Dorval, ing., P. Eng.
Ingénieur Séniior, Mine à ciel ouvert
G Services Miniers inc.

Revu par :



James Purchase, géo., M.Sc.
Directeur, Géologie et Ressources
G Services Miniers inc.



Carl Michaud, ing., M.B.A.
Directeur, Ingénierie souterraine
G Services Miniers inc.



ANNEXE

L

**GRILLE DE VALIDATION
DU CONTENU**

B – Projet d'exploitation minière

Projet d'exploitation minière	✓*	S.O.**	Renseignements disponibles (référence)***
Renseignements généraux			
Résumé du plan de restauration	✓		Section 2.1
Identification du requérant	✓		Section 2.2
Résolution du conseil d'administration	✓		Annexe A
Emplacement du terrain avec plans annexés	✓		Section 2.3, Annexe B
Géologie et minéralogie, <u>notamment</u> :			Section 2.4, 2.4.3
➤ Tests pour la teneur en métaux, le DMA et le DNC, tableaux des résultats annexés et interprétation des résultats	✓		Annexe F
Historique du site visé par le plan de restauration	✓		Section 2.6
Autorisations diverses			Section 2.8, Annexe C
Description des activités minières			
Description et nature des activités d'exploitation actuelles et à venir, <u>notamment</u> :			Section 3.
➤ Taux moyens d'extraction et de traitement de minerai	✓		Section 3.1
➤ Durée de vie estimée			Section 3.1
➤ Taux de production des résidus			Section 3.3.1
➤ Superficie des aires d'accumulation			Section 4.3.2 et 4.3.3
Description des bâtiments et des infrastructures de surface et plans annexés, <u>notamment</u> :			Section 3.2
➤ Bâtiments et infrastructures d'extraction	✓		Section 3.2.1
➤ Description de l'usine de traitement de minerai			Section 3.2.1
Description des infrastructures électriques, de transport et de soutien	✓		Section 3.2.3
Description des autres bâtiments (bâtiments administratifs et d'hébergement, cafétéria, etc.)	✓		Section 3.2.2
Aires d'accumulation	✓		Section 3.3
➤ Description des haldes de stériles et des haldes de minerais et de mort-terrain	✓		Sections 3.3.2, 3.3.4, 3.3.3
➤ Description du parc à résidus miniers	✓		Section 3.3.1
Description de la gestion de l'eau sur le site, <u>notamment</u> :			Section 3.4
➤ Système hydrologique et bassin versant			Plan 3-8, Section 3.4.1
➤ Bilan hydrique des aires d'accumulation et de l'usine			Section 3.2.4
➤ Schéma de gestion des eaux et emplacement de l'effluent final			Plan 3-5 à 3-7
➤ Qualité des eaux souterraines			Section 3.4.7, Plan 3-9
Description du site de traitement des eaux usées, <u>notamment</u> :			Section 3.4.3
➤ Procédés de traitement des eaux usées	✓		Section 3.4.3
➤ Description des bassins de sédimentation			Section 3.4.1, Plan 2-3, 2-3
➤ Station d'échantillonnage à l'effluent			Plan 3-5

Projet d'exploitation minière	✓*	S.O.**	Renseignements disponibles (référence)***
Lieux d'entreposage et d'élimination	✓		Section 3.5
➤ Produits chimiques, pétroliers et explosifs	✓		Section 3.5.1
➤ Matières résiduelles non dangereuses	✓		Section 3.5.2
➤ Matières résiduelles dangereuses	✓		Section 3.5.2
Mesures de protection, de réaménagement et de restauration	✓		Section 4.0
Sécurité des aires de travail, des ouvertures au jour et des piliers de surface	✓		Section 4.1
Démantèlement des bâtiments et des infrastructures de surface, notamment :			
➤ Bâtiments et infrastructures d'extraction	✓		Section 4.2.1
➤ Description de l'usine de traitement de minerai			
Démantèlement des infrastructures électriques, de transport et de soutien	✓		Section 4.2.1
Démantèlement des autres bâtiments (bâtiments administratifs et d'hébergement, cafétéria, etc.)	✓		Section 4.2.1
Disposition des équipements et de la machinerie lourde	✓		Section 4.2.2
Restauration des aires d'accumulation, notamment :			
➤ Analyse comparative des scénarios de restauration	✓		Section 4.3
➤ Scénario de restauration choisi			
Infrastructures de gestion des eaux	✓		Section 4.4
Réhabilitation du terrain (terrains contaminés)	✓		Section 4.5
Gestion et élimination des produits pétroliers, des produits chimiques et des matières résiduelles dangereuses et non dangereuses	✓		Section 4.2.4, 4.2.5
Changements climatiques	✓		Section 4.6
Programme de suivi et d'entretien postrestauration, le cas échéant			
Suivi et entretien de l'intégrité des ouvrages	✓		Section 6.1.1
Suivi environnemental	✓		Section 6.1.2
Suivi et entretien agronomique	✓		Section 6.2
Considérations économiques et temporelles			
Évaluation détaillée des coûts des travaux de restauration	✓		Section 7, Annexe E
Calendrier de réalisation des travaux de restauration	✓		Section 7.4
Plan d'urgence			
Mesures applicables en cas de cessation temporaire des activités d'exploitation	✓		Section 5

* Élément inclus

** Sans objet

*** Si les renseignements ne sont pas inclus dans la révision du plan de restauration soumis, indiquer l'endroit où ils peuvent être trouvés (référence et page).

C – Exigences normatives du document

Formats et échelles	✓
Quatre copies papier et une copie numérique du document	✓
Présentation du document sur un support papier de dimensions standard de 216 mm sur 279 mm (8,5 po sur 11 po)	✓
Présentation des plans sur un support papier de 216 mm sur 356 mm (8,5 po sur 14 po) ou de 279 mm sur 432 mm (11 po sur 17 po), ou sur un support papier plus grand, si annexé	✓
Unités de mesure des plans exprimées selon le Système international d'unités (SI)	✓
Présentations graphiques qui respectent les critères d'échelle assurant leur clarté	✓
Contenu du plan	✓
Plans certifiés, datés et signés par un ingénieur	
Nom et coordonnées de l'entreprise, et noms, professions et fonctions des personnes ayant réalisé le document	✓
Signatures des rédacteurs et des réviseurs	✓

