

VOLUME 3c : ANNEXES



ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT – MISE À JOUR

MINE DE FER DU LAC BLOOM

AUGMENTATION DE LA CAPACITÉ D'ENTREPOSAGE DES RÉSIDUS ET
STÉRILES MINIERES

Fermont, Québec, Canada



MINERAI DE FER QUÉBEC
QUEBEC IRON ORE

DATE : AOÛT 2019



RÉF. WSP : 181-03709-01



LISTE DES ANNEXES – VOLUME 3c

- 7 **MODÉLISATION DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE**
- 8 **ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE**
- 9 **SIMULATION DE L'IMPACT SONORE**
- 10 **MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE**
- 11 **MÉTHODOLOGIE POUR DÉTERMINER LA VALEUR ÉCOLOGIQUE DES MILIEUX HUMIDES**
- 12 **PROGRAMME DE COMPENSATION POUR L'HABITAT DU POISSON**
- 13 **ÉTUDE DE POTENTIEL ARCHÉOLOGIQUE**
- 14 **ÉVALUATION DE LA RÉSILIENCE CLIMATIQUE DU PROJET**

ANNEXE

7

MODÉLISATION DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE

MINÉRAI DE FER QUÉBEC

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

MODÉLISATION DE LA DISPERSION ATMOSPHÉRIQUE

AOÛT 2019





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

MODÉLISATION DE LA DISPERSION ATMOSPHÉRIQUE

MINÉRAI DE FER QUÉBEC

PROJET N° : 181-03709-01

DATE : AOÛT 2019

BUREAU 300
3450, BOULEVARD GENE-H.-KRUGER
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 4M3
CANADA

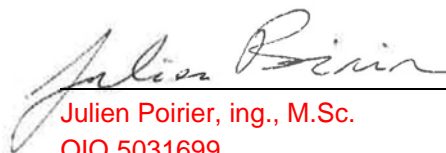
T : +1 819 375-1292

F : +1 819 375-1217

WSP.COM

SIGNATURES

PRÉPARÉ PAR



Julien Poirier, ing., M.Sc.

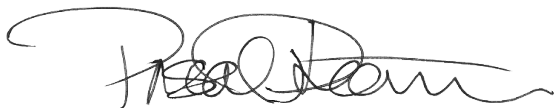
OIQ 5031699

Chargé de projet – Modélisation

6 août 2019

Date

RÉVISÉ PAR



Pascal Rhéaume, ing., M.Sc.A.

OIQ 138370

Chef d'équipe – Qualité de l'air

6 août 2019

Date

Le présent rapport a été préparé par WSP CANADA INC. pour le destinataire, MINERAI DE FER QUÉBEC, conformément à l'entente de services professionnels. La divulgation de tout renseignement faisant partie du présent rapport relève uniquement de la responsabilité du destinataire visé. Le contenu et les opinions se trouvant dans le présent rapport sont basés sur les observations et informations disponibles pour WSP au moment de sa préparation. Si un tiers utilise, se fie, ou prend des décisions ou des mesures basées sur ce rapport, ledit tiers en est le seul responsable. WSP n'accepte aucune responsabilité quant aux dommages que pourrait subir un tiers en conséquence de l'utilisation de ce rapport ou à la suite d'une décision ou mesure prise basée sur le présent rapport. Ces limitations sont considérées comme faisant partie intégrante du présent rapport.

L'original du fichier technologique que nous vous transmettons sera conservé par WSP pour une période minimale de dix ans. Étant donné que le fichier transmis au destinataire n'est plus sous le contrôle de WSP, son intégrité n'est pas garantie. Ainsi, aucune garantie n'est donnée sur les modifications qui peuvent y être apportées ultérieurement à sa transmission au destinataire visé.

ÉQUIPE DE RÉALISATION

MINÉRAI DE FER QUÉBEC

François Lafrenière

Vice-président Production Durable

WSP CANADA INC. (WSP)

Directeur de projet

Jean-François Poulin, biologiste, M.Sc.

Chargé de projet

Luc Bouchard, biologiste, M.Sc.

Chef d'équipe – Qualité de l'air

Pascal Rhéaume, ing., M.Sc.A.

Chargé de projet de la modélisation

Julien Poirier, ing., M.Sc.

Cartographie et géomatique

Alain Lemay, cartographe

Édition

Nancy Laurent, DEC

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION	1
1.1	Mise en contexte.....	1
1.2	Objectifs de l'étude	1
2	CADRE RÉGLEMENTAIRE	3
2.1	Normes et critères de qualité de l'atmosphère	3
2.2	Substances modélisées.....	3
2.3	Limite et domaine d'application.....	4
2.4	Niveaux ambiants	5
3	CONTEXTE DE MODÉLISATION.....	9
3.1	Description sommaire des phases de projet.....	9
3.2	Identification des sources et des substances émises	9
3.3	Scénarios	10
3.3.1	Variation des opérations.....	10
3.3.2	Scénarios d'opérations sélectionnés.....	13
3.3.3	Configuration des scénarios en fonction des périodes	15
4	CARACTÉRISATION DES SOURCES D'ÉMISSIONS	17
4.1	Scénario de référence.....	17
4.1.1	Usine de traitement du minerai	17
4.1.2	Routage	19
4.1.3	Chargements et déchargements	20
4.1.4	Boutage	20
4.1.5	Sautage	23
4.1.6	Forage	24
4.1.7	Gaz d'échappement	24
4.1.8	Érosion éolienne.....	28
4.2	Scénario d'exploitation	29
4.2.1	Usine de traitement du minerai	29
4.2.2	Routage	29

4.2.3	Chargements et déchargements.....	30
4.2.4	Boutage	33
4.2.5	Concasseur mobile.....	34
4.2.6	Sautage	34
4.2.7	Forage	36
4.2.8	Gaz d'échappement	36
4.2.9	Érosion éolienne.....	44
4.3	Autres sources	45
5	MÉTHODOLOGIE	47
5.1	Choix du modèle de dispersion	47
5.2	Description du modèle de dispersion AERMOD	47
5.3	Domaine de modélisation	47
5.4	Topographie.....	48
5.5	Préparation des données météorologiques	48
5.5.1	Stations météorologiques.....	48
5.5.2	Classification du territoire et utilisation du sol.....	50
5.5.3	Configuration d'AERMET	50
5.5.4	Échantillon météorologique.....	51
5.5.5	Justification de l'utilisation des données wrf	51
5.6	Récepteurs	55
5.6.1	Grille de récepteurs	55
5.6.2	Récepteurs à la limite d'application.....	55
5.6.3	Récepteurs sensibles	55
5.6.4	Récepteurs du domaine d'application	55
5.7	Effet des bâtiments	56
5.8	Configuration d'AERMOD.....	57
5.9	Méthodes spécifiques.....	57
5.9.1	Estimation de la déposition des matières particulaires.....	57
5.9.2	Estimation des concentrations en NO ₂	58
5.9.3	Estimations des concentrations pour les périodes inférieures à 1 heure.....	58
5.9.4	Évaluation des émissions de métaux et de métalloïdes	59

6	RÉSULTATS ET DISCUSSION	63
6.1	Scénario de référence	63
6.1.1	Particules totales	63
6.1.2	Particules fines	63
6.1.3	Monoxyde de carbone	64
6.1.4	Dioxyde d'azote	64
6.1.5	Dioxyde de soufre	64
6.1.6	Métaux et métalloïdes	64
6.2	Scénario d'exploitation	65
6.2.1	Particules totales	65
6.2.2	Particules fines	66
6.2.3	Monoxyde de carbone	66
6.2.4	Dioxyde d'azote	66
6.2.5	Dioxyde de soufre	68
6.2.6	Métaux et métalloïdes	68
6.3	Mesures d'atténuation pour le Quartz	69
6.3.1	Variantes d'opération pour le quartz ET Restrictions d'angle de vent pour les sautages	70
6.3.2	Mesures d'atténuation spécifiques pour le contrôle des émissions de silice cristalline	70
7	CONSERVATISME ET LIMITATIONS	81
7.1	Conservatisme de l'approche	81
7.2	Incertitudes et limitations du modèle	81
7.2.1	Hypothèses de modélisation	81
7.2.2	Facteurs d'émissions	81
7.2.3	Dispersion des matières particulaires	82
7.2.4	Variation spatiale et temporelle du scénario	82
7.2.5	Modèle météorologique et modèle de dispersion	82
7.3	Discussion et réserves	83

8	CONCLUSION	85
9	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	87

TABLEAUX

Tableau 1 :	Valeurs de référence – Cadre de détermination et d'application des normes et critères	3
Tableau 2 :	Normes et critères associés aux composés modélisés.....	6
Tableau 3 :	Période d'opération de chacune des infrastructures minières (haldes à stériles et parcs à résidus) pour la durée de vie du projet, de 2021 à 2040.....	12
Tableau 4 :	Sommaire de la caractérisation des sources ponctuelles de combustion de l'usine de traitement.....	18
Tableau 5 :	Description de la flotte de camions de transport considérée – Scénario de référence.....	19
Tableau 6 :	Description du scénario de routage modélisé – Scénario de référence.....	21
Tableau 7 :	Paramètres utilisés pour la modélisation des sautages et du forage – Scénario de référence.....	23
Tableau 8 :	Description et taux d'émissions calculés pour les véhicules hors route utilisés sur le site – Scénario de référence.....	25
Tableau 9 :	Description du scénario modélisé pour les gaz d'échappement – Scénario de référence.....	26
Tableau 10 :	Répartition des taux d'émission des gaz d'échappement – Scénario de référence.....	27
Tableau 11 :	Description de la flotte de camions de transport prévue – Scénario d'exploitation	29
Tableau 12 :	Description du scénario de routage modélisé – Scénario d'exploitation – Activités de production.....	31
Tableau 13 :	Description du scénario de routage modélisé – Scénario d'exploitation – Activités de production – Variante d'opération pour le quartz	31
Tableau 14 :	Description du scénario de routage modélisé – Scénario d'exploitation – Opération des parcs à résidus.....	31

Tableau 15 :	Description du scénario de routage modélisé – Scénario d'exploitation – Activité de construction – Quart de jour	32
Tableau 16 :	Description du scénario de routage modélisé – Scénario d'exploitation – Activité de construction – Quart de nuit.....	32
Tableau 17 :	Paramètres utilisés pour la modélisation des sautages et du forage – Scénario d'exploitation	35
Tableau 18 :	Description et taux d'émissions calculés pour les véhicules hors route utilisés sur le site – Scénario d'exploitation – Activité de production	37
Tableau 19 :	Description et taux d'émissions calculés pour les véhicules hors route utilisés sur le site – Scénario d'exploitation – Opération des parcs à résidus.....	38
Tableau 20 :	Description et taux d'émissions calculés pour les véhicules hors route utilisés sur le site – Scénario d'exploitation – Activités de construction.....	38
Tableau 21 :	Description du scénario modélisé pour les gaz d'échappement – Scénario d'exploitation – Activité de production	39
Tableau 22 :	Description du scénario modélisé pour les gaz d'échappement – Scénario d'exploitation – Opérations des parcs à résidus	40
Tableau 23 :	Description du scénario modélisé pour les gaz d'échappement – Scénario d'exploitation – Activité de construction.....	40
Tableau 24 :	Répartition des taux d'émission des gaz d'échappement – Scénario d'exploitation – Activité de production	41
Tableau 25 :	Répartition des taux d'émission des gaz d'échappement – Scénario d'exploitation – Opération des parcs à résidus.....	42
Tableau 26 :	Répartition des taux d'émission des gaz d'échappement – Scénario d'exploitation – Activité de construction – Quart de jour.....	42
Tableau 27 :	Répartition des taux d'émission des gaz d'échappement – Scénario d'exploitation – Activité de construction – Quart de nuit.....	43
Tableau 28 :	Caractéristiques des données météorologiques considérées.....	50
Tableau 29 :	Paramètres d'utilisation du sol autour du point de grille des données de surface.....	50
Tableau 30 :	Coordonnées des récepteurs sensibles	56

Tableau 31 :	Description des regroupements de sources utilisés pour l'estimation des concentrations de métaux	59
Tableau 32 :	Distribution des lithologies associées à chacun des groupes	60
Tableau 33 :	Teneur en métaux par lithologie	61
Tableau 34 :	Concentrations maximales de NO ₂ modélisées aux récepteurs sensibles pour le scénario d'exploitation	67
Tableau 35 :	Sommaire des mesures d'atténuation pour réduire les concentrations modélisées de SiO ₂	69
Tableau 36 :	Résultats de la modélisation dans le domaine d'application pour le scénario de référence.....	71
Tableau 37 :	Résultats de la modélisation aux récepteurs sensibles pour le scénario de référence.....	72
Tableau 38 :	Résultats de la modélisation de SiO ₂ dans le domaine d'application pour le scénario de référence – Sans sautage.....	73
Tableau 39 :	Résultats de la modélisation de SiO ₂ aux récepteurs sensibles pour le scénario de référence – Sans sautage.....	73
Tableau 40 :	Résultats de la modélisation dans le domaine d'application pour le scénario d'exploitation.....	75
Tableau 41 :	Résultats de la modélisation aux récepteurs sensibles pour le scénario d'exploitation	76
Tableau 42 :	Résultats de la modélisation de SiO ₂ dans le domaine d'application pour le scénario d'exploitation – Sans sautage.....	77
Tableau 43 :	Résultats de la modélisation de SiO ₂ aux récepteurs sensibles pour le scénario d'exploitation – Sans sautage.....	77
Tableau 44 :	Résultats de la modélisation dans le domaine d'application pour le scénario d'exploitation – Avec restrictions d'angle sur les sautages.....	78
Tableau 45 :	Résultats de la modélisation aux récepteurs sensibles pour le scénario d'exploitation – Avec restrictions d'angle sur les sautages	78
Tableau 46 :	Résultats de la modélisation dans le domaine d'application pour le scénario d'exploitation – Avec restrictions d'angle sur les sautages et mesures d'atténuation spécifiques pour la silice cristalline.....	79
Tableau 47 :	Résultats de la modélisation aux récepteurs sensibles pour le scénario d'exploitation –	

	Avec restrictions d'angle sur les sautages et mesures d'atténuation spécifiques pour la silice cristalline	79
Tableau 48 :	Synthèse des résultats de modélisation aux récepteurs sensibles	86

FIGURES

Figure 1 :	Tonnage extrait des fosses, selon la planification minière phase 2 de Cliffs mise à jour en septembre 2014, situation avant-projet	11
Figure 2 :	Tonnage extrait des fosses, selon la planification minière du projet	12
Figure 3 :	Distance parcourue par année, selon la planification minière du projet	13
Figure 4 :	Roses des vents de l'échantillon météorologique	52
Figure 5 :	Comparaison des roses des vents issues des données WRF (station PW)	53
Figure 6 :	Comparaison des roses des vents issues des données WRF (station Wabush)	54

ANNEXES

A CARACTÉRISTIQUES DES SOURCES D'ÉMISSIONS

A1 Scénario de référence

A1-1	Caractéristiques physiques des sources ponctuelles de combustion à l'usine de traitement – Par source
A1-2	Taux d'émission des sources ponctuelles de combustion à l'usine de traitement – Par source
A1-3	Caractéristiques physiques des sources ponctuelles de combustion à l'usine de traitement – Par point de sortie
A1-4	Taux d'émission des sources ponctuelles de combustion à l'usine de traitement – Par point de sortie
A1-5	Caractéristiques physiques des dépoussiéreurs de l'usine de traitement
A1-6	Taux d'émission des dépoussiéreurs de l'usine de traitement
A1-7	Taux d'émission en métaux des dépoussiéreurs de l'usine de traitement
A1-8	Coordonnées et élévations des volumes sources de routage

- A1-9 Description des segments de routage modélisés
- A1-10 Paramètres physiques et taux d'émissions utilisés pour la modélisation des opérations de chargement et déchargement
- A1-11 Paramètres physiques et taux d'émissions utilisés pour la modélisation des opérations de boutage
- A1-12 Paramètres physiques et taux d'émissions utilisés pour la modélisation des opérations de sautage
- A1-13 Paramètres physiques et taux d'émissions utilisés pour la modélisation des opérations de forage
- A1-14 Paramètres physiques et taux d'émission utilisés pour la modélisation des gaz d'échappement des équipements localisés
- A1-15 Paramètres physiques et taux d'émission des sources surfaciques associées aux haldes, aires de construction et parcs à résidus

A2 Scénario d'exploitation

- A2-1 Coordonnées et élévations des volumes sources de routage – Activité de production
- A2-2 Coordonnées et élévations des volumes sources de routage – Opération et construction
- A2-3 Description des segments de routage modélisés – Activité de production
- A2-4 Description des segments de routage modélisés – Activité de production – Variante d'opération pour le quartz
- A2-5 Description des segments de routage modélisés – Opération des parcs à résidus
- A2-6 Description des segments de routage modélisés – Activité de construction – Quart de jour
- A2-7 Description des segments de routage modélisés – Activité de construction – Quart de nuit
- A2-8 Paramètres physiques et taux d'émissions utilisés pour la modélisation des opérations de chargement et déchargement – Activité de production
- A2-9 Paramètres physiques et taux d'émissions utilisés pour la modélisation des opérations de chargement et déchargement – Activité de production – Variante d'opération pour le quartz
- A2-10 Paramètres physiques et taux d'émissions utilisés pour la modélisation des opérations de chargement et déchargement – Opération des parcs à résidus
- A2-11 Paramètres physiques et taux d'émissions utilisés pour la modélisation des opérations de chargement et déchargement – Activité de construction – Quart de jour

- A2-12 Paramètres physiques et taux d'émissions utilisés pour la modélisation des opérations de chargement et déchargement – Activité de construction – Quart de nuit
- A2-13 Paramètres physiques et taux d'émissions utilisés pour la modélisation des opérations de boutage – Activité de production
- A2-14 Paramètres physiques et taux d'émissions utilisés pour la modélisation des opérations de boutage – Activité de production – Variante d'opération pour le quartz
- A2-15 Paramètres physiques et taux d'émissions utilisés pour la modélisation des opérations de boutage – Opération des parcs à résidus
- A2-16 Paramètres physiques et taux d'émissions utilisés pour la modélisation des opérations de boutage – Activité de construction
- A2-17 Paramètres physiques et taux d'émissions utilisés pour la modélisation des opérations de concassage – Activité de construction
- A2-18 Paramètres physiques et taux d'émissions utilisés pour la modélisation des opérations de déchargement de l'unité de concassage mobile – Activité de construction
- A2-19 Paramètres physiques et taux d'émissions utilisés pour la modélisation des opérations de sautage – Activité de production
- A2-20 Paramètres physiques et taux d'émissions utilisés pour la modélisation des opérations de sautage – Activité de production – Mesures d'atténuation pour le quartz
- A2-21 Paramètres physiques et taux d'émissions utilisés pour la modélisation des opérations de forage – Activité de production
- A2-22 Paramètres physiques et taux d'émission utilisés pour la modélisation des gaz d'échappement des équipements localisés – Activité de production
- A2-23 Paramètres physiques et taux d'émission utilisés pour la modélisation des gaz d'échappement des équipements localisés – Opération des parcs à résidus
- A2-24 Paramètres physiques et taux d'émission utilisés pour la modélisation des gaz d'échappement des équipements localisés – Activité de construction
- A2-25 Paramètres physiques et taux d'émission des sources surfaciques associées aux haldes et aires de construction
- A2-26 Paramètres physiques et taux d'émission des sources surfaciques associées aux parcs à résidus

B CARTES

B1 Cartes générales

- B1-1 Localisation du projet
- B1-2 Domaine de modélisation et limite d'application
- B1-3 Catégories d'utilisation du sol dans un rayon d'un kilomètre autour du point de grille WRF
- B1-4 Grille de récepteurs
- B1-5 Récepteurs sensibles
- B1-6 Vues en 3D des bâtiments (Usine de traitement)
- B1-7 Vues en 3D des bâtiments (Concasseur 2)

B2 Scénario de référence

- B2-1 Sources d'émissions utilisées pour la modélisation de la dispersion atmosphérique – Scénario de référence
- B2-2 Trajets de transport des différentes matières sur le site – Scénario de référence
- B2-3 Concentrations maximales modélisées – Particules totales (PMT) – 24 heures – Scénario de référence
- B2-4 Concentrations maximales modélisées – Particules fines (PM_{2,5}) – 24 heures – Scénario de référence
- B2-5 Concentrations maximales modélisées – Dioxyde d'azote (avec OLM) (NO₂) – 1 heure – Scénario de référence
- B2-6 Concentrations maximales modélisées – Dioxyde d'azote (avec OLM) (NO₂) – 24 heures – Scénario de référence
- B2-7 Concentrations maximales modélisées – Silice cristalline (SiO₂) – 1 heure – Scénario de référence
- B2-8 Concentrations maximales modélisées – Silice cristalline (SiO₂) – 1 heure – Scénario de référence – Sans sautage
- B2-9 Concentrations maximales modélisées – Silice cristalline (SiO₂) – 1 an – Scénario de référence

B3 Scénario d'exploitation

- B3-1 Sources d'émissions utilisées pour la modélisation de la dispersion atmosphérique – Scénario d'exploitation
- B3-2 Trajets de transport des différentes matières sur le site – Scénario d'exploitation
- B3-3 Concentrations maximales modélisées – Particules totales (PMT) – 24 heures – Scénario d'exploitation
- B3-4 Concentrations maximales modélisées – Particules fines (PM_{2,5}) – 24 heures – Scénario d'exploitation
- B3-5 Concentrations maximales modélisées – Monoxyde de carbone (CO) – 1 heure – Scénario d'exploitation

- B3-6 Concentrations maximales modélisées – Dioxyde d'azote (avec OLM) (NO₂) – 1 heure – Scénario d'exploitation
- B3-7 Concentrations maximales modélisées – Dioxyde d'azote (avec OLM) (NO₂) – 24 heures – Scénario d'exploitation
- B3-8 Concentrations maximales modélisées – Silice cristalline (SiO₂) – 1 heure – Scénario d'exploitation
- B3-9 Concentrations maximales modélisées – Silice cristalline (SiO₂) – 1 heure – Scénario d'exploitation – sans sautage
- B3-10 Concentrations maximales modélisées – Silice cristalline (SiO₂) – 1 an – Scénario d'exploitation
- B3-11 Concentrations maximales modélisées – Silice cristalline (SiO₂) – 1 heure – Scénario d'exploitation – Restrictions d'angle sur les sautages
- B3-12 Concentrations maximales modélisées – Silice cristalline (SiO₂) – 1 an – Scénario d'exploitation – Restrictions d'angle sur les sautages
- B3-13 Concentrations maximales modélisées – Silice cristalline (SiO₂) – 1 heure – Scénario d'exploitation – Restrictions d'angle sur les sautages – Mesures d'atténuation spécifiques pour le SiO₂
- B3-14 Concentrations maximales modélisées – Silice cristalline (SiO₂) – 1 an – Scénario d'exploitation – Restrictions d'angle sur les sautages – Mesures d'atténuation spécifiques pour le SiO₂

1 INTRODUCTION

1.1 MISE EN CONTEXTE

Depuis février 2018, Minerai de fer Québec (MFQ) est propriétaire et exploite la mine du lac Bloom, située à environ 13 km au nord-nord-ouest de Fermont. La production annuelle est actuellement de l'ordre de 7,5 millions de tonnes (Mt) de concentré de fer. MFQ détient déjà les autorisations pour augmenter la production à 16 Mt et opérer un nouveau concentrateur; ces activités sont prévues pour 2021. La fin de vie de la mine du lac Bloom a été estimée vers 2040, soit dans environ 20 ans.

MFQ a récemment effectué une révision de son plan minier à long terme en prenant en considération les réserves disponibles et les conditions du marché. Les superficies actuellement autorisées pour l'entreposage des résidus et des stériles miniers ne sont pas en mesure de recevoir la totalité des quantités prévues. Par conséquent, l'augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et des stériles miniers est nécessaire, ce qui constitue le présent projet.

Compte tenu des nombreuses contraintes limitant les variantes envisageables pour les installations de gestion requises, il est prévu que la déposition de ces rejets empiète de façon directe sur différentes composantes du milieu naturel et entraîne des impacts indirects sur le milieu localisé en périphérie des nouvelles infrastructures prévues pour supporter l'augmentation de production.

Au niveau provincial, le processus réglementaire avait déjà été amorcé dans le cadre du projet d'augmentation des aires d'entreposage des stériles et résidus miniers envisagé par l'ancien propriétaire du site minier du lac Bloom dont l'étude d'impact associée avait été déposée en 2014 et dont le processus est toujours en cours. La présente étude sectorielle s'inscrit dans la poursuite de ce processus d'évaluation environnementale provinciale du même projet, lequel a toutefois été ajusté en fonction du nouveau plan minier élaboré par MFQ.

Le présent document constitue donc la mise à jour de l'étude sectorielle évaluant l'impact sur la qualité de l'air des émissions provenant des opérations associées au projet d'augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et des stériles à la mine de fer du lac Bloom.

1.2 OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

La démarche de modélisation préconisée dans la présente étude s'appuie sur la méthodologie proposée par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC)¹ dans le *Guide de modélisation de la dispersion atmosphérique* (MDDEP, 2005) et dans le *Guide d'instruction – Préparation et réalisation d'une modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques – Projets miniers* (MDDELCC, 2017). L'étude prend en compte les données fournies et les informations obtenues auprès des responsables de la planification des opérations et de la conception des installations.

L'étude propose la caractérisation des situations maximisant l'impact sur la qualité de l'air. Pour se faire, deux scénarios ont été retenus, soit un scénario de référence avant-projet et un scénario du projet en exploitation. Ces scénarios sont ensuite modélisés sur un ensemble de données météorologiques de cinq années afin d'estimer l'impact du projet sur la qualité de l'air lors des conditions de dispersion les plus défavorables. Les résultats du présent rapport correspondent donc à des situations modélisées sur des années météorologiques passées, à partir de taux d'émission estimés selon les opérations prévues et informations techniques actuellement disponibles.

¹ Les dénominations *ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs* (MDDEFP), *ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs* (MDDEP) et *ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques* (MDDELCC) sont également utilisées dans le présent rapport bien que ce ministère ait été renommé *ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques* (MELCC) depuis octobre 2018, et ce, afin d'éviter la confusion dans les références.

La modélisation est effectuée dans la projection Transverse Universelle de Mercator (UTM), avec le datum de référence NAD83. Dans cette projection, le site à l'étude se situe dans la zone 19N et a pour coordonnées $X = 614\,200$ m et $Y = 5\,856\,000$ m. À moins d'avis contraire, **toutes les coordonnées fournies dans le présent rapport sont données dans le système de projection UTM, zone 19N.**

Les sections suivantes décrivent la procédure suivie pour modéliser les concentrations des composés particuliers et gazeux dans l'air ambiant. Les niveaux ambiants retenus ainsi que les normes et critères de qualité de l'atmosphère considérés pour évaluer la conformité des concentrations modélisées à la réglementation québécoise sont aussi exposés. Enfin, les résultats détaillés sont présentés et interprétés en fonction des hypothèses retenues pour la modélisation. Il convient finalement de spécifier que les caractéristiques des sources d'émissions et les cartes techniques de la modélisation mentionnées dans ce rapport sont regroupées aux annexes A à C.

2 CADRE RÉGLEMENTAIRE

2.1 NORMES ET CRITÈRES DE QUALITÉ DE L'ATMOSPHÈRE

Des normes et critères québécois de qualité de l'atmosphère ont été établis par le MELCC dans le but d'évaluer l'impact d'un projet qui est soumis à une autorisation provinciale. Ceux-ci sont définis dans le document *Normes et critères québécois de qualité de l'atmosphère* (MELCC, 2018, version 6).

Les critères sont des valeurs limites (seuils) définies par une évaluation scientifique des risques, suivant la LQE. Il y a deux types de critères. Le critère de qualité de l'atmosphère qui représente la valeur la plus contraignante n'ayant aucun effet négatif et le critère provisoire de gestion qui prend en compte certaines variantes scientifiques, techniques et socioéconomiques. Les risques associés au critère provisoire sont qualifiés d'acceptables plutôt que de négligeables. Ces deux types de critères servent à établir les normes. Une norme est donc définie comme étant un critère ou critère provisoire ayant été adopté par le RAA (voir tableau 1). Cette concentration est en effet la concentration la plus élevée d'un contaminant dans l'air représentant des risques négligeables ou acceptables pour la santé humaine, le bien-être ou l'écosystème. Quatre grands types d'effets sont évalués : les effets obtenus par exposition directe (inhalation), les effets obtenus par exposition indirecte, les nuisances et les effets sur les écosystèmes.

Dans ce contexte, le respect de ces normes et critères permet d'assurer un environnement sécuritaire pour la santé humaine et pour l'environnement. Par conséquent, les effets appréhendés des composés particuliers et gazeux sur la santé humaine et sur l'environnement peuvent être considérés comme négligeables ou acceptables lorsque les normes et critères sont respectés.

Tableau 1 : Valeurs de référence – Cadre de détermination et d'application des normes et critères

Critère de qualité de l'atmosphère	Critère provisoire de gestion	Norme de qualité de l'atmosphère
Seuil de référence correspondant à la valeur la plus contraignante parmi les quatre concentrations sans effet.	Seuil de référence déterminé à partir de la concentration sans effet la plus contraignante et de considérations scientifiques, techniques ou socioéconomiques.	Critère de qualité de l'atmosphère ou critère provisoire de gestion ayant été intégré au Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère.
Niveau de risque : risque négligeable	Niveau de risque : risque acceptable	Niveau de risque : risque négligeable ou acceptable

2.2 SUBSTANCES MODÉLISÉES

Les substances considérées dans cette étude sont les substances émises identifiées à la section 3.2 et pour lesquelles une norme ou un critère est défini dans le document *Normes et critères québécois de qualité de l'atmosphère* du MELCC.

La présente étude concerne donc les **matières particulaires (PMT et PM_{2,5})**, le **monoxyde de carbone (CO)**, le **dioxyde d'azote (NO₂)**, le **dioxyde de soufre (SO₂)**, ainsi que 19 **métaux et métalloïdes**. Parmi ces métaux, 14 possèdent une norme de qualité de l'atmosphère définie dans le RAA. Il s'agit de l'antimoine (Sb), l'argent (Ag), l'arsenic (As), le baryum (Ba), le béryllium (Be), le cadmium (Cd), le chrome (Cr(III) et Cr(VI)), le cuivre (Cu), le mercure (Hg), le nickel (Ni), le plomb (Pb), le thallium (Tl), le vanadium (V) et le zinc (Z).

Enfin, des critères ont été établis par le MELCC pour le cobalt (Co), le manganèse (Mn), le sélénium (Se), la silice cristalline² (SiO₂) et le titane (Ti). Les normes et critères des métaux sont définis sur les PMT, à l'exception du manganèse, du nickel, de la silice cristalline 1 heure et du titane qui sont définis sur les PM₁₀ et de la silice cristalline annuelle qui est définie sur les PM₄.

L'ensemble des normes et critères considérés est présenté au tableau 2.

2.3 LIMITE ET DOMAINE D'APPLICATION

Afin de vérifier la conformité des opérations vis-à-vis des normes et critères de qualité de l'atmosphère, une limite géographique à partir de laquelle ces valeurs limites s'appliquent doit être définie. Cette limite est appelée « **limite d'application des normes et critères** » (limite d'application) et est définie par la limite de propriété ou de la zone industrielle projetée lorsqu'une telle limite existe.

Dans le cas où le projet se trouve en totalité ou en partie sur des terres publiques, le MELCC définit les exigences d'évaluation dans le guide d'instruction pour une modélisation d'un projet minier (MDDELCC, 2017). La section 4.3 stipule que les normes et critères soient évalués à partir d'une distance de 300 m des différentes installations. Le promoteur est ensuite tenu de respecter par modélisation les normes et critères aux récepteurs sensibles tandis que la limite d'application à 300 m est plutôt utilisée comme guide afin de s'assurer que les mesures d'atténuation courantes soient appliquées.

Dans le cas présent, les installations du projet sont situées en territoire public. Cependant, puisque les installations de la mine de fer du lac Bloom et du Complexe minier de Mont-Wright sont adjacentes, le MELCC a approuvé³ de considérer une limite d'application qui englobe les infrastructures des deux minières. La limite d'application a donc été tracée à 300 m autour des infrastructures des complexes miniers.

La vérification du respect des valeurs limites se fait à cette limite d'application et au-delà. Les concentrations des contaminants modélisées dans l'air ambiant à l'intérieur de cette limite ne sont donc pas prises en compte lors de la vérification du respect des normes et critères de la qualité de l'air. En résumé, seuls les résultats de modélisations dans le « **domaine d'application des normes et critères** » (domaine d'application), constitué de la limite d'application et de la zone au-delà de celle-ci, seront comparés aux normes et critères de qualité de l'atmosphère en vigueur.

De plus, il est important de souligner que les installations de MFQ sont bordées au nord par la limite provinciale avec Terre-Neuve et Labrador. Par conséquent, les récepteurs s'y retrouvant ne sont pas pris en compte pour évaluer la conformité des concentrations modélisées aux normes et critères de qualité de l'air québécois.

² Dans la présente étude, la silice cristalline est regroupée dans les métaux. Or, même si le silicium est souvent mentionné comme un métal, il possède autant les caractéristiques d'un métal que d'un non-métal.

³ MELCC, Communication par courriel @ MFQ, 1^{er} avril 2019.

2.4 NIVEAUX AMBIANTS

Le niveau ambiant (ou concentration initiale) représente la concentration préexistante d'un contaminant dans l'air ambiant. Or, conformément au guide de modélisation du MELCC (MDDEP, 2005), les concentrations obtenues par modélisation doivent être additionnées à des niveaux ambiants représentatifs de la région étudiée. Afin de vérifier le respect des normes et critères, la somme de la concentration initiale et des concentrations modélisées doit ainsi être inférieure à la norme ou au critère pour chacune des substances.

Pour déterminer les niveaux ambiants des contaminants, différentes approches peuvent être envisagées. Les concentrations initiales peuvent être déterminées à partir :

- de mesures effectuées sur le site dans le but d'obtenir des valeurs réelles;
- de mesures effectuées par les stations du Réseau de surveillance de la qualité de l'air du MELCC. Ce bruit de fond, représentatif de la région, est fourni par le MELCC;
- de concentrations initiales génériques définies par le MELCC.

Actuellement, il n'existe aucune station du Réseau national de surveillance de la pollution de l'air (RNSPA) à proximité de la zone d'étude. Par conséquent, dans le cadre du présent projet, les concentrations initiales utilisées proviennent principalement du document *Normes et critères québécois de la qualité de l'atmosphère* (MELCC, v6 – 2018). En effet, puisque le projet est situé près de sources importantes dues à l'activité humaine, notamment le complexe minier Mont-Wright, les concentrations initiales prescrites pour les projets nordiques (PN) dans le document *Guide d'instructions – Préparation et réalisation d'une modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques – Projets miniers* (MDDELCC, 2017) n'ont pas été considérées; à l'exception de celles pour les particules fines (PM_{2,5}).

En effet, le MELCC confirme⁴ que les concentrations initiales PM_{2,5} provenant du document *Normes et critères québécois de la qualité de l'atmosphère* surestiment les concentrations réelles susceptibles d'être rencontrées dans le secteur du lac Bloom.

En ce qui concerne les matières particulaires totales, l'analyse des mesures issues du programme de suivi de la qualité de l'air ambiant de MFQ a également montré que les concentrations initiales génériques du MELCC surestiment les concentrations de PMT susceptibles d'être rencontrées dans le secteur du lac Bloom.

Le MELCC a effectivement approuvé⁴ que les données provenant des équipements d'échantillonnage de particules installés par MFQ en octobre 2017 puissent être utilisées. Par conséquent, une concentration initiale pour le PMT a pu être déterminée à partir des données de la station PW; la station jugée la plus représentative pour établir le niveau ambiant pour ce secteur (voir la carte B1-5 pour la localisation de cette station).

Les concentrations initiales ainsi déterminées sont présentées au tableau 2.

⁴ MELCC, Communication par courriel @ MFQ, 30 avril 2019.

Tableau 2 : Normes et critères associés aux composés modélisés

Substance	Acronyme /Formule	Période	Statistique	Seuil (µg/m³)	Type de seuil	Autorité/ Organisation	Concentration initiale (µg/m³)	Référence concentration initiale
Particules totales	PMT	24 heures	1 ^{er} maximum	120	Norme	MELCC	54	Station PW (MFQ) ^[1]
Particules fines	PM _{2,5}	24 heures	1 ^{er} maximum	30	Norme	MELCC	15	Projets nordiques ^[2]
Carbone, monoxyde de	CO	1 heure	1 ^{er} maximum	34 000	Norme	MELCC	2 650	NCQQA v6 ^[3]
		8 heures	1 ^{er} maximum	12 700	Norme	MELCC	1 750	NCQQA v6
Azote, dioxyde d »	NO ₂	1 heure	1 ^{er} maximum	414	Norme	MELCC	150	NCQQA v6
		24 heures	1 ^{er} maximum	207	Norme	MELCC	100	NCQQA v6
		1 an	1 ^{er} maximum	103	Norme	MELCC	30	NCQQA v6
Soufre, dioxyde de	SO ₂	4 minutes	1 ^{er} maximum	1 310	Norme	MELCC	150	NCQQA v6
		4 minutes	99.5 ^e percentile	1 050	Norme	MELCC	150	NCQQA v6
		24 heures	1 ^{er} maximum	288	Norme	MELCC	50	NCQQA v6
		1 an	1 ^{er} maximum	52	Norme	MELCC	20	NCQQA v6
Antimoine	Sb	1 an	1 ^{er} maximum	0,17	Norme	MELCC	0,007	NCQQA v6
Argent	Ag	1 an	1 ^{er} maximum	0,23	Norme	MELCC	0,005	NCQQA v6
Arsenic	As	1 an	1 ^{er} maximum	0,003	Norme	MELCC	0,002	NCQQA v6
Baryum	Ba	1 an	1 ^{er} maximum	0,05	Norme	MELCC	0,025	NCQQA v6
Béryllium	Be	1 an	1 ^{er} maximum	0,0004	Norme	MELCC	0	NCQQA v6
Cadmium	Cd	1 an	1 ^{er} maximum	0,0036	Norme	MELCC	0,003	NCQQA v6
Chrome (composés de chrome hexavalent)	Cr(VI)	1 an	1 ^{er} maximum	0,004	Norme	MELCC	0,002	NCQQA v6
Chrome (composés de chrome trivalent)	Cr(III)	1 an	1 ^{er} maximum	0,1	Norme	MELCC	0,01	NCQQA v6
Cobalt	Co	1 an	1 ^{er} maximum	0,1	Critère	MELCC	0	NCQQA v6
Cuivre	Cu	24 heures	1 ^{er} maximum	2,5	Norme	MELCC	0,2	NCQQA v6
Manganèse	Mn	1 an	1 ^{er} maximum	0,025	Critère	MELCC	0,02	NCQQA v6

Tableau 2 : Normes et critères associés aux composés modélisés (suite)

Substance	Acronyme /Formule	Période	Statistique	Seuil (µg/m³)	Type de seuil	Autorité/ Organisation	Concentration initiale (µg/m³)	Référence concentration initiale
Mercure	Hg	1 an	1 ^{er} maximum	0,005	Norme	MELCC	0,002	NCQQA v6
Nickel	Ni	24 heures	1 ^{er} maximum	0,014	Norme	MELCC	0,002	NCQQA v6
Plomb	Pb	1 an	1 ^{er} maximum	0,1	Norme	MELCC	0,025	NCQQA v6
Sélénium	Se	1 heure	1 ^{er} maximum	2	Critère	MELCC	0,15	NCQQA v6
Silice cristalline	SiO2	1 heure	1 ^{er} maximum	23	Critère	MELCC	6	NCQQA v6
		1 an	1 ^{er} maximum	0,07	Critère	MELCC	0,04	NCQQA v6
Thallium	Tl	1 an	1 ^{er} maximum	0,25	Norme	MELCC	0,05	NCQQA v6
Titane	Ti	24 heures	1 ^{er} maximum	2,5	Critère	MELCC	0	NCQQA v6
Vanadium	V	1 an	1 ^{er} maximum	1	Norme	MELCC	0,01	NCQQA v6
Zinc	Zn	24 heures	1 ^{er} maximum	2,5	Norme	MELCC	0,1	NCQQA v6
<p>[1] MELCC, Communication par courriel @ MFQ, 30 avril 2019.</p> <p>[2] Projets nordiques : Concentrations initiales recommandées pour les projets nordiques lorsque ces projets sont éloignés d'autres sources (MDDELCC, 2017).</p> <p>[3] NCQQA v6 : Concentrations initiales recommandées dans le document <i>Normes et critères québécois de qualité de l'atmosphère</i> (MELCC, 2018, version 6).</p>								

3 CONTEXTE DE MODÉLISATION

Dans le cadre d'une étude de dispersion atmosphérique, il est important de définir en premier lieu le ou les scénarios de modélisation. Pour ce faire, les principales sources d'émissions et les substances émises par le projet à l'étude doivent être identifiées. Plus spécifiquement, les substances considérées et les périodes des normes et critères définies pour celles-ci vont influencer le choix des scénarios de modélisation.

De plus, en ce qui concerne la présente étude, la modélisation doit également être réalisée pour un scénario avant-projet qui correspond aux activités actuellement autorisées et pour lesquelles MFQ pourrait exploiter sans devoir demander de modification à ses autorisations. Ainsi, en plus de présenter un scénario permettant d'évaluer l'impact du projet d'augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles à la mine de fer du lac Bloom, l'acceptabilité de ce dernier sera évaluée conformément à l'article 197 du RAA, c'est-à-dire que le projet n'entraîne pas de dépassements des normes et des critères de qualité de l'atmosphère ou que le projet n'entraîne pas d'augmentation des concentrations pour les contaminants dont les normes et les critères sont déjà dépassés relativement aux activités minières actuellement autorisées.

3.1 DESCRIPTION SOMMAIRE DES PHASES DE PROJET

Le projet prévoit la poursuite de l'exploitation minière sur une durée de 21 ans (2019 à 2040). L'extraction s'y fait de façon conventionnelle dans des fosses à ciel ouvert, où du mort terrain, du stérile et du minerai sont extraits. Les stériles et le mort terrain sont entreposés sur les haldes à stériles. Des sautages sont effectués dans les fosses afin d'extraire les stériles et le minerai. Enfin, le minerai est acheminé aux concasseurs #1 et #2 pour ensuite, une fois concassé, être acheminé à l'usine de traitement pour sa concentration.

Le traitement du minerai consiste en un concassage primaire, la concentration et l'élimination des résidus et le chargement du concentré. La concentration inclut une étape de préparation du minerai, laquelle consiste en un broyage et une classification humide. Le concentré produit est entreposé dans un silo avant d'être acheminé par train jusqu'aux installations portuaires de Pointe-Noire. Les résidus sont évacués du concentrateur dans deux flux distincts : résidus grossiers et résidus fins. Ces derniers sont ségrégués et entreposés dans des parcs à résidus distincts.

Le projet prévoit l'augmentation de la capacité d'entreposage des stériles et des résidus. En particulier, pour les stériles, par l'ajout de la halde Sud-Ouest, l'expansion de la halde Triangle et la construction de la halde Sud, ainsi que, pour les résidus, par l'ajout du parc à résidus HPA-Nord. Pour ces ajouts, des activités de construction constituant à la préparation des sols, l'aménagement des fossés, des bassins et des digues et leur rehaussement progressif seront effectuées tout au long de la durée de vie du projet.

3.2 IDENTIFICATION DES SOURCES ET DES SUBSTANCES ÉMISES

L'exploitation d'une mine à ciel ouvert implique plusieurs types d'activités susceptibles de générer des émissions fugitives. Plus spécifiquement, les opérations de forage ainsi que le chargement et le déchargement des camions de transport sont reconnus comme des sources fugitives de matières particulières. Le sautage représente également une source fugitive de particules et de gaz. L'utilisation d'un concasseur, pour la préparation de matériau de construction, est également une source de matières particulières.

L'entraînement de la poussière lors du passage des véhicules sur le réseau de routes non pavées représente pour sa part une importante source de particules. En effet, le routage des différentes matières est habituellement le principal contributeur parmi toutes les sources fugitives d'un complexe minier exploitant une fosse. Les gaz d'échappement des divers équipements mobiles utilisés sont des sources de gaz de combustion et de particules.

L'aire d'entreposage des différents matériaux (halles de stériles, pile de matériaux de construction), les digues en construction, ainsi que les parcs à résidu sont quant à eux sujets à l'érosion éolienne et sont considérés comme des sources surfaciques de matières particulaires.

Pour sa part, l'usine de traitement emploie un procédé humide et représente une source négligeable de particules relativement aux autres sources du complexe minier, à l'exception des divers dépoussiéreurs, considérés comme des sources de matières particulaires et des chaudières et fournaies à l'eau glycolée qui constituent des sources de gaz de combustion et de particules.

3.3 SCÉNARIOS

Afin de satisfaire aux exigences du MELCC, la modélisation vise à représenter les conditions qui maximiseront les répercussions sur la qualité de l'air. Pour ce faire, des « scénarios pires cas » doivent être considérés. Dans le cas où la modélisation de ces scénarios conservateurs respecte les normes de qualité de l'air, il est fort probable que les normes soient respectées en tout temps au cours de la durée de vie du projet.

La sélection des scénarios de modélisation dépend de la variabilité des opérations durant toute la durée de vie du projet. Ainsi, une description détaillée de la variation des opérations est donnée à la section suivante, et ce, avant de présenter les scénarios modélisés.

3.3.1 VARIATION DES OPÉRATIONS

Les opérations de chacune des activités de construction et d'exploitation présentent des particularités qui affectent la qualité de l'air de façon différente. La variation de celles-ci dans le temps et dans l'espace influence le choix des scénarios de modélisation. L'analyse de ces variations est effectuée pour chacune des situations, soit avant-projet et avec projet dans le but de sélectionner les scénarios de modélisation.

3.3.1.1 SITUATION AVANT-PROJET

La phase d'exploitation avant-projet inclut des *activités de production* et des *activités de construction*. Ces activités sont décrites plus en détail dans les sections suivantes.

ACTIVITÉS DE PRODUCTION

Les activités de production représentent l'exploitation des fosses (extraction des stériles, du minerai et du mort-terrain, les sautages, etc.) et l'opération de l'usine de traitement. Ces activités sont prévues en continu à longueur d'année, à un rythme de 24 heures par jour. Des sautages sont prévus environ deux fois par semaine.

Le tonnage extrait des fosses évolue selon les années d'exploitation. La planification minière phase 2 de Cliffs mise à jour en septembre 2014 représente l'information la plus récente disponible pour caractériser la situation avant-projet. Celle-ci est présentée à la figure 1. Cette planification minière, qui ne tient pas compte des arrêts de la production entre 2014 et 2018, prévoyait la production d'au plus 14 Mt de concentré par année. L'exploitation prévue pour l'année 2017 se démarque des années précédentes où l'extraction atteint 84 Mt, soit près de l'année d'exploitation maximale 2025 où 86 Mt seraient extraites.

La situation avant-projet prévoit l'exploitation de la mine et de l'usine de traitement en continu.

ACTIVITÉS DE CONSTRUCTION

L'opération des parcs à résidus prévoit la construction des digues associées qui se déroulerait tout au long de l'exploitation.

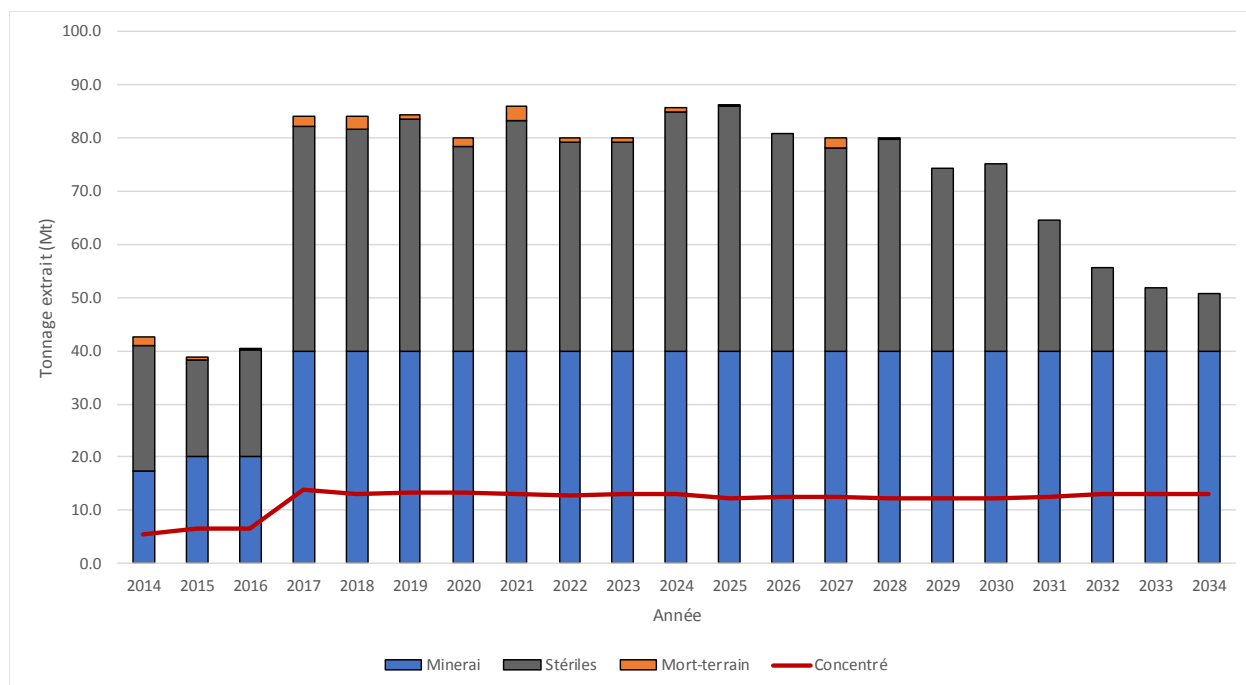


Figure 1 : Tonnage extrait des fosses, selon la planification minière phase 2 de Cliffs mise à jour en septembre 2014, situation avant-projet

3.3.1.2 SITUATION PROJET

La phase d'exploitation, d'une durée de 21 ans, inclut des *activités de production*, l'*opération des parcs à résidus* et des *activités de construction*. Ces activités sont décrites plus en détail dans les sections suivantes.

ACTIVITÉS DE PRODUCTION

Les activités de production représentent l'exploitation des fosses (extraction des stériles, du minéral et du mort-terrain, les sautages, etc.) et l'opération de l'usine de traitement. Ces activités sont prévues en continu à longueur d'année, à un rythme de 24 heures par jour. Des sautages sont prévus deux fois par semaine.

Le tonnage extrait de la fosse évolue selon les années d'exploitation. La figure 2 présente la planification minière de BBA mise à jour le 7 mai 2019⁵ pour les activités de production de la phase d'exploitation du projet. Selon cette planification, la production de concentré est relativement constante pour la période d'exploitation et correspond à une production d'au plus 14,9 Mt par année. L'extraction maximale est prévue pour l'année 2034 où elle atteint 98,9 Mt. Le nombre de camions miniers prévus est également à son maximum, soit 34 camions, lors de cette année. La distance parcourue par les camions miniers dépend de la quantité matière transportée et de la distance des destinations. La figure 3 présente la distance parcourue prévue par année selon la planification minière. L'année 2034 présente la plus grande distance parcourue, soit environ 4,6 millions de km.

Les périodes d'opération des diverses infrastructures minières (haldes à stériles et parcs à résidus) varient également au cours du projet. En effet, les haldes à stériles et les parcs à résidus grossiers sont prévus être en opération pour des années précises. Le tableau suivant présente les périodes d'opération de chacune des infrastructures minières pour la durée de vie du projet.

⁵ BBA, Communication par courriel @ WSP, 27 mai 2019.

Tableau 3 : Période d'opération de chacune des infrastructures minières (haldes à stériles et parcs à résidus) pour la durée de vie du projet, de 2021 à 2040

Infrastructures minières	Période d'opération
Halde à stériles	Halde Mazaré
	2021 à 2024
	Halde Triangle
	2021 à 2025
Parcs à résidus	Halde Sud-Ouest
	2021 à 2025
	Halde Sud
	2026 à 2040
Parcs à résidus	HPA-Sud et HPA-Ouest (résidus grossiers)
	2021 à 2027
	Bassin A (résidus fins)
Parcs à résidus	Actuel à 2040
	HPA Nord (résidus grossiers)
Parcs à résidus	2028 à 2040

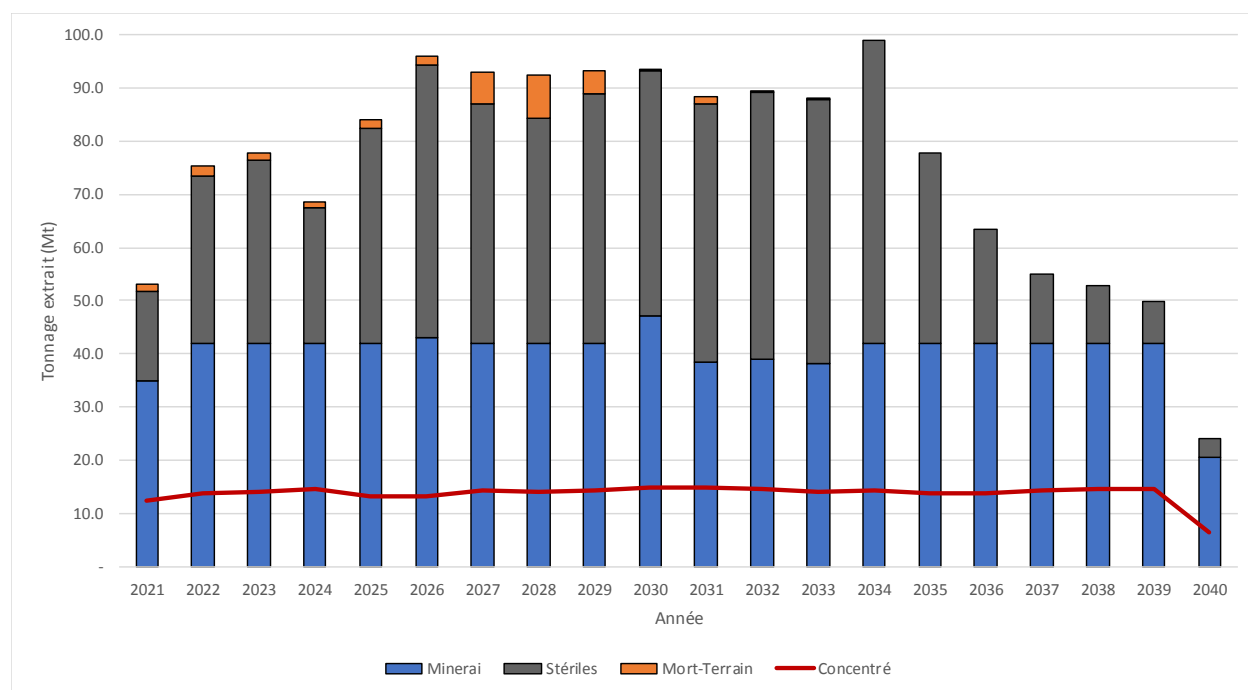


Figure 2 : Tonnage extrait des fosses, selon la planification minière du projet

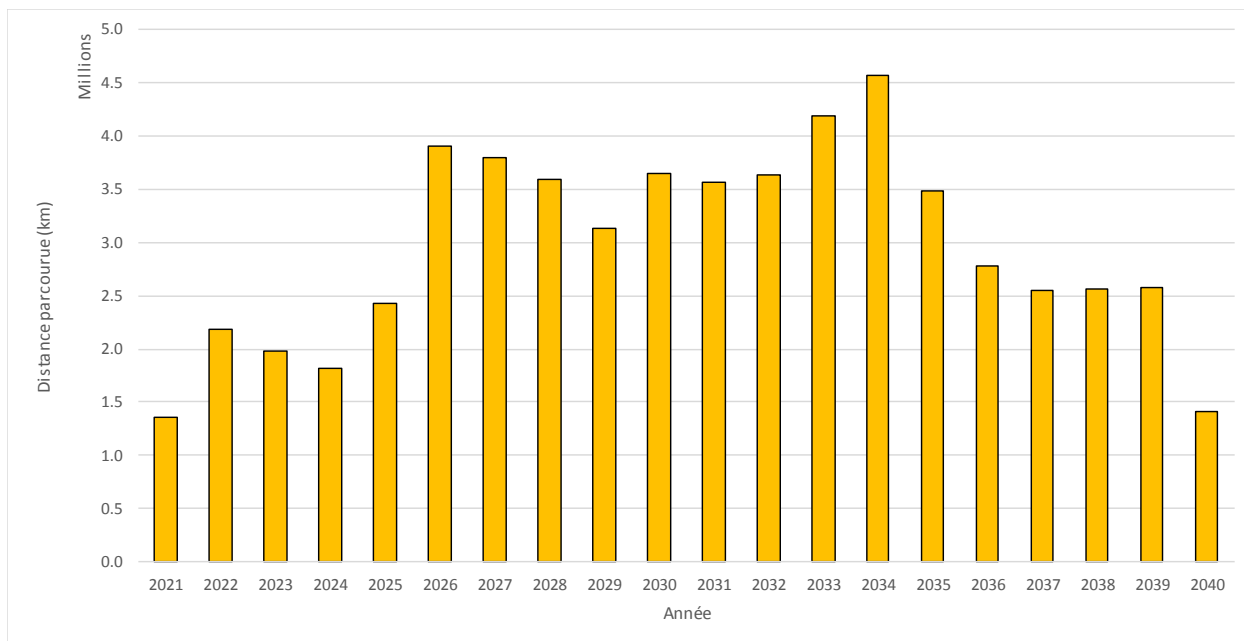


Figure 3 : Distance parcourue par année, selon la planification minière du projet

OPÉRATIONS DES PARCS À RÉSIDUS

L'opération des parcs à résidus est prévue tout au long de la durée de vie du projet. Ces opérations consistent principalement en la gestion des tuyaux de déchargements des résidus et le rehaussement progressif des digues des parcs à résidus grossiers. Ces opérations sont prévues à un rythme de 24 heures par jour, six mois par année, de mai à octobre.

ACTIVITÉS DE CONSTRUCTION

Les activités de construction sont associées aux diverses infrastructures minières qui seront mises en opération tout au long du projet, tel que décrit au tableau 3. Ces activités incluent la préparation des sols, l'aménagement des fossés, des bassins et des digues et leurs rehaussements progressifs seront effectués tout au long de la durée de vie du projet. Elles sont prévues être effectuées principalement de juin à octobre. Ces activités se déroulent chaque année du projet, mais l'emplacement et l'intensité des travaux varient selon les étapes de construction à réaliser.

3.3.2 SCÉNARIOS D'OPÉRATIONS SÉLECTIONNÉS

Suivant les pratiques actuelles en modélisation de la dispersion atmosphérique, la principale problématique pour les sites miniers concerne les émissions de matières particulaires dont le routage est normalement le principal contributeur. Les gaz d'échappement sont également un important contributeur notamment de particules fines. La sélection des scénarios modélisés est donc normalement orientée en ce sens. La distance parcourue, le nombre d'équipements miniers actifs et les tonnages manipulés sont généralement d'excellents indicateurs pour déterminer les conditions maximales lors d'une exploitation minière. La localisation des activités par rapport aux milieux récepteurs est également un facteur important dans le choix des scénarios.

L'analyse des différentes activités présentées à la section 3.3.1 montre une grande variation autant au niveau de l'intensité des activités (tonnage, nombre d'équipements) que dans leur localisation sur le site. Malgré tout, un scénario d'opération maximal a été établi pour chacune des situations. Ces scénarios sont décrits aux sections suivantes.

3.3.2.1 SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE (SITUATION AVANT-PROJET)

Le scénario de référence vise à représenter une journée d'opération de la situation autorisée avant-projet qui maximise les émissions atmosphériques. Basée sur la planification minière de phase 2 de Cliffs mise à jour en septembre 2014, l'année 2017 est choisie comme scénario de modélisation en raison de l'extraction prévue de 84 Mt.

En plus des quantités de matières extraites données par la planification minière, l'exercice de modélisation de la qualité de l'air requiert un niveau de détail élevé dans la description des opérations (équipements miniers, topographie, trajets de transport, etc.). Or, peu de détail d'ingénierie est disponible pour la modélisation d'une année précise de la planification minière. Par contre, le choix de l'année 2017 coïncide avec l'année du scénario de modélisation présenté dans le rapport *Modélisation de la dispersion atmosphérique – Mine du lac Bloom (haldes temporaires)* réalisé pour Cliffs en juillet 2014 (WSP, 2014b). En effet, ce rapport de modélisation présentait un scénario pour l'opération de l'année 2017 en utilisant les haldes à stériles actuels ou temporaires, et ce, sans considérer le projet d'augmentation de la capacité d'entreposage de stériles. La description technique (liste d'équipement minier, la topographie, les trajets, etc.) est donc basée sur l'information transmise par Cliffs en 2014 lors de la caractérisation de ce scénario. Les tonnages extraits ont par contre été ajustés pour tenir compte de la planification minière phase 2 de Cliffs.

Dans le scénario de référence, un sautage par jour est considéré dans la fosse Bloom Ouest pour l'évaluation du scénario pire-cas sur 24 heures, avec une annualisation pondérée pour deux sautages par semaine. Les activités de construction de la digue filtrante HPA ont également été considérées dans ce scénario.

Le scénario de modélisation représente donc une situation hypothétique qui maximise les émissions atmosphériques pour la situation avant-projet.

3.3.2.2 SCÉNARIO D'EXPLOITATION (SITUATION AVEC PROJET)

Le scénario d'exploitation vise à représenter une journée d'opération de la phase d'exploitation en situation projet qui maximise les émissions atmosphériques. L'année 2034 est choisie comme scénario de modélisation.

Pour cette année, le tonnage extrait de la fosse est de 98,9 Mt et un total de 34 camions miniers est prévu. De plus, la distance parcourue par les camions miniers y est maximale. L'opération de l'usine de traitement est constante pour toute la durée de l'exploitation de la mine. Elle est donc également incluse dans ce scénario. Pour l'année 2034, le dépôt des stériles se fait sur la halde Sud, soit le plus près des récepteurs sensibles.

Dans le scénario d'exploitation, un sautage par jour est considéré pour l'évaluation du scénario pire-cas sur 24 heures, avec une annualisation pondérée pour deux sautages par semaine. De plus, deux variantes de ce scénario ont été modélisées, soit une variante pour lorsque les sautages surviennent dans la fosse Chief Phase 2 et une seconde pour les sautages dans la fosse Bloom Ouest.

Les opérations des parcs à résidus sont considérées pour le scénario de modélisation. Pour l'année 2034, ces opérations consistent en la gestion des résidus fins et le rehaussement progressif des digues du parc à résidus HPA Nord. Ces activités sont modélisées selon leur horaire prévu, soit en continu, de mai à octobre.

Les activités de construction pour l'année 2034 sont considérées pour le scénario de modélisation. Ces activités correspondent aux rehaussements des digues du bassin A. Le rehaussement progressif des digues du parc à résidus HPA Nord est également considéré. Ces activités sont modélisées selon leur horaire prévu, soit principalement de jour de juin à octobre.

Le plan des infrastructures des parcs à résidus n'étant pas disponible pour l'année de modélisation (2034), le plan à l'ultime, soit à l'année 2040, est utilisé. Les surfaces considérées sont alors beaucoup plus grandes que celles réellement prévues pour l'année de modélisation, ce qui constitue une approche conservatrice.

De plus, en raison de la proximité des récepteurs sensibles à la halde Sud (résidents du lac Daigle), MFQ s'engage à mettre en place une variante d'opération pour le quartz et des mesures d'atténuation spécifiques pour le contrôle des émissions de silice cristalline.

Par exemple, concernant la variante d'opération pour le quartz, les matériaux stériles à forte teneur en SiO₂ (comme le quartz et le gneiss) sont transportés au nord de la halde Sud plutôt qu'au sud. Cette variante éloignera ainsi la

manipulation de ces matériaux des récepteurs sensibles. De cette variante résultent des changements au niveau de plusieurs sources, dont le routage, les chargements et déchargements, le boutage et l'érosion éolienne. Comme il s'agit d'une variante d'opération, les deux situations sont modélisées de façon indépendante, c'est-à-dire un scénario où chacune des situations est modélisée sur l'ensemble de l'année. Selon la planification minière, cette situation surviendra environ 18 % de l'année 2034.

Finalement, comme mentionnés à la section 6.2.6, malgré la mise en place de la variante d'opération pour le quartz, des dépassements résiduels des critères de SiO_2 sont modélisés aux récepteurs sensibles. Des mesures d'atténuation spécifiques pour la silice cristalline sont donc intégrées à la modélisation. Ces mesures sont abordées plus en détail dans la caractérisation des sources à la section 4.2, ainsi que dans la présentation des résultats à la section 6.3.

3.3.3 CONFIGURATION DES SCÉNARIOS EN FONCTION DES PÉRIODES

Les substances modélisées possèdent des normes définies sur différentes périodes (4 minutes, 1 heure, 8 heures, 24 heures et 1 an). Dans la mesure du possible, les scénarios modélisés tentent de maximiser les émissions en fonction de ces périodes, pour chacun des types de sources.

Par exemple, certaines activités ne sont pas effectuées tous les jours (sautage). Cependant, afin de modéliser le pire cas 24 heures relativement aux matières particulaires et le pire cas 1 heure pour les composés gazeux, les scénarios correspondent à une journée où toutes les activités sont en opération simultanément, et ce, tous les jours de la modélisation.

Ainsi, de façon conservatrice, ces scénarios d'émission sont ainsi testés sur l'ensemble de l'échantillon météorologique à la recherche des pires conditions de dispersion. Par la suite, pour effectuer les moyennes annuelles, les scénarios sont annualisés, c'est-à-dire pondérés et combinés selon leur fréquence annuelle afin d'obtenir un résultat de modélisation plus réaliste de la période à l'étude.

4 CARACTÉRISATION DES SOURCES D'ÉMISSIONS

Les sections suivantes présentent la description et les caractéristiques des sources d'émissions considérées dans cette étude. Les informations générales, les hypothèses et la description des scénarios modélisés sont présentées sous forme de tableau dans la présente section en support au texte. Pour leur part, la description des sources utilisées dans le modèle sont fournies sous forme de tableaux à l'annexe A afin de simplifier la lecture de la présente section. La localisation des sources est finalement présentée à l'annexe B, pour chacun des scénarios.

4.1 SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE

La localisation des sources d'émissions considérées pour le scénario de référence est présentée à la carte B2-1, alors que les tableaux de description des sources sont présentés à l'annexe A1. L'ensemble des opérations est généralement prévu en continu 24 heures par jour, 365 jours par année.

4.1.1 USINE DE TRAITEMENT DU MINÉRAI

Les deux phases de l'usine de traitement du minerai sont considérées comme actives pour le scénario de référence puisque celles-ci sont actuellement autorisées. Deux types de sources sont identifiées à l'usine, soit les *chaudières et fournaies à eau glycolée* et les *dépoussiéreurs*. Ceux-ci sont présentés dans les deux sections suivantes.

4.1.1.1 CHAUDIÈRES ET FOURNAISE À EAU GLYCOLÉE

Aux deux chaudières existantes, la construction de la deuxième ligne de production implique l'ajout d'une troisième chaudière ainsi que quatre fournaies à eau glycolée. Ces équipements sont en opération du mois de novembre à mai inclusivement et sont des sources de gaz de combustion (CO , NO_x et SO_2) et de particules, résultant de la combustion de l'huile n° 2.

Pour les chaudières #1 et #2, les caractéristiques physiques et les taux d'émissions des sources sont tirés du rapport final de la campagne d'échantillonnage triennale (Consulair, 2018). Pour chacune des sources, trois essais ont été effectués. Par conservatisme, les taux d'émission maximaux de chacun de ces essais ont été utilisés pour la modélisation. Les matières particulaires échantillonnées correspondent aux PMT et aucune mesure des $\text{PM}_{2,5}$ n'est effectuée. Par conservatisme, un ratio de $\text{PM}_{2,5}/\text{PMT}$ de 97 % est alors postulé. Dans le but d'effectuer une évaluation prudente, un scénario conservateur a été modélisé considérant la situation **sans bouilloire électrique**. Dans ce scénario, toutes les sources échantillonnées sont considérées comme actives en continu et elles sont modélisées selon leur mode opératoire maximal respectif.

En effet, en 2018, MFQ a procédé à l'installation d'une bouilloire électrique visant à remplacer l'utilisation des chaudières au mazout existante. Ce remplacement a pour effet réduire les émissions à l'atmosphère, puisqu'il est estimé que les chaudières au mazout seront alors utilisées environ 30 jours par année lors des arrêts de la bouilloire électrique. La situation modélisée représente donc une surestimation des émissions annuelles réelles attendues pour ces sources. Néanmoins, de façon générale, il s'agit de sources de faible contribution par rapport à l'ensemble des sources du complexe minier.

Pour les autres sources, les taux d'émission ont été estimés à l'aide des facteurs d'émission proposés à la section 1.3 Fuel Oil Combustion de l'AP-42 (US-EPA 1995) et de la consommation théorique des différents équipements. Un ratio $\text{PM}_{2,5}/\text{PMT}$ de 97 % a été considéré. Finalement, le taux d'émission pour le SO_2 a été calculé par bilan de masse en fonction de la consommation nominale des chaudières et de la teneur en soufre maximale dans le mazout n° 2 (0,5 %). Les caractéristiques physiques ont quant à elles été déterminées à partir des informations contenues dans les demandes de CA de Cliffs 2010. Les débits ont, pour leur part, été estimés à partir de la consommation nominale en carburant des sources.

Les émissions sont dirigées vers trois points d'émission; les chaudières #1 et #2 avec les fournaies #1 et #2 dans la cheminée #1, la chaudière #3 dans la cheminée #2 et les fournaies #3 et #4 dans la cheminée #3. Les trois cheminées sont modélisées à l'aide de sources ponctuelles verticales. Les caractéristiques physiques de ces points d'émissions, telles que l'emplacement (coordonnées et élévation), les dimensions (hauteur et diamètre), la température et le débit des gaz ont été compilés à partir du rapport d'échantillonnage et des informations fournies par Cliffs et MFQ.

Le tableau 4 présente le sommaire de la caractérisation des sources ponctuelles de combustion de l'usine de traitement. Les tableaux A1-1 et A1-2 présentent les caractéristiques physiques et les taux d'émission, respectivement, par sources individuelles. Alors que les tableaux A1-3 et A1-4 présentent cette même information regroupée par point de sortie.

Ces sources sont considérées comme actives dans le modèle 24 heures par jour pour la période de novembre à mai, inclusivement.

Tableau 4 : Sommaire de la caractérisation des sources ponctuelles de combustion de l'usine de traitement

Sources	Point de sortie	Paramètres physiques	Taux d'émission
Chaudière 1 et 2	Cheminée 1	Consulair 2018	Consulair 2018
Fournaise 1 et 2	Cheminée 1	Demande de CA, 2010, débit calculé à partir de la capacité nominale	AP-42 et bilan de masse
Chaudière 3	Cheminée 2		
Fournaise 3 et 4	Cheminée 3		

4.1.1.2 DÉPOUSSIÉREURS

Les dépoussiéreurs considérés dans la modélisation comme des sources d'émission sont le dépoussiéreur du concasseur #2, le dépoussiéreur sur chacun des deux silos d'entreposage ainsi que le dépoussiéreur sur chacun des systèmes de récupération à la base des silos. Il est important de souligner que le dépoussiéreur à filtre du laboratoire de tests métallurgiques représente une contribution marginale et n'est donc pas pris en compte. En ce qui concerne le dépoussiéreur du concasseur #1 et les trois dépoussiéreurs du dôme de minerai concassé, les sorties d'air sont à l'intérieur de bâtiments fermés et ceux-ci ne sont donc pas considérés comme des sources d'émission à l'atmosphère.

Pour les deux dépoussiéreurs positionnés respectivement à l'entrée et à la sortie du silo d'entreposage du concentré de minerai de fer #1 et le dépoussiéreur du concasseur #2, les caractéristiques physiques et les taux d'émissions des sources sont tirés du rapport final de la campagne d'échantillonnage triennale (Consulair, 2018). Pour chacune des sources, les taux d'émission maximaux de chacun des trois essais ont été utilisés pour la modélisation. Les matières particulières échantillonnées correspondent aux PMT et aucune mesure des $PM_{2,5}$ n'est effectuée. Par conservatisme, un ratio de $PM_{2,5}/PMT$ de 100 % est alors postulé.

En ce qui concerne les deux nouveaux dépoussiéreurs du silo d'entreposage du concentré de minerai de fer #2, les débits et émissions maximales de PMT après épuración spécifiés dans les demandes de certificat d'autorisation ont été utilisés. La concentration d'émission en PMT considérée est donc de 5 mg/Nm^3 . Un ratio $PM_{2,5}/PMT$ de 100 % a également été considéré par conservatisme.

Les taux d'émission en métaux ont également été tirés de l'échantillonnage où les taux d'émission maximaux de chacun des trois essais ont été utilisés. Pour les dépoussiéreurs du silo #2, les mêmes teneurs en métaux que les dépoussiéreurs du silo #1 ont été utilisées.

Les caractéristiques physiques des points d'émissions, telles que l'emplacement (coordonnées et élévation), les dimensions (hauteur et diamètre), la température et la vitesse de sortie des gaz ont été compilées à partir de la description technique fournie et sont présentés au tableau A1-5. Les taux d'émission sont quant à eux présentés au tableau A1-6 pour les composés principaux et au tableau A1-7 pour les métaux.

Les dépoussiéreurs sont tous considérés en opération continue dans les modélisations. Les sorties à l'atmosphère sont toutes horizontales et sont représentées dans les modélisations à l'aide de sources ponctuelles horizontales.

4.1.2 ROUTAGE

Le soulèvement de la poussière lors du transport des différentes matières sur le réseau de routes non pavées est habituellement le principal contributeur parmi les sources fugitives d'un complexe minier. Puisque l'intensité des émissions est directement proportionnelle à la quantité de matériel transporté, au type de véhicule utilisé et à la teneur en limon (silt) contenu dans les matériaux utilisés pour la construction et l'entretien des surfaces de roulement, les différents trajets empruntés sur le réseau routier doivent donc être suffisamment détaillés pour permettre d'établir un taux d'émissions spécifique à chacun des tronçons de route.

Pour le scénario de référence modélisé, la description des opérations ainsi que les caractéristiques physiques des routes, telles que l'emplacement et les dimensions (longueur et largeur), ont été compilées à partir des données techniques fournies par Cliffs en 2014. La flotte de camions considérés est détaillée au tableau 5.

Tableau 5 : Description de la flotte de camions de transport considérée – Scénario de référence

Véhicule	Hauteur (m)	Largeur (m)	Poids du véhicule (t)	Charge utile (t)	Nombre de véhicules dans la flotte (actif sur le site)	Utilisation
Caterpillar 793D	6,5	6,9	165,7	218,0	4	Manipulation du mort terrain
Caterpillar 793F	6,6	7,6	163,3	226,8	3	
Komatsu 830E	6,9	7,3	164,2	221,6	5	
Komatsu 930E	7,4	8,7	215,3	290,4	26	Exploitation minière (stériles et minerai)

Le scénario de routage considéré pour le scénario de référence est présenté au tableau 6 et comprend neuf trajets. Les camions hors route Komatsu 930E sont considérés pour le transport du minerai et du stérile. Le nombre de voyages calculé est également présenté au tableau 6. Un total de 40 Mt de minerai est extrait depuis les deux fosses au cours de l'année du scénario de référence. La majorité du minerai est transporté vers le concasseur 2, ce qui réduit la distance de transport requis. Pour ce qui est du stérile, un total de 42 Mt est extrait des fosses et est transporté vers les haldes à stériles et la digue filtrante pour la construction. Enfin, un total de 1,8 Mt de mort terrain est excavé et déposé sur les haldes.

Les trajets ont été subdivisés en 24 segments, formant un réseau d'environ 23 km. Ces segments sont détaillés au tableau A1-9. Les trajets et segments sont identifiés par leur point de départ et d'arrivée et peuvent être localisés à la carte B2-2 aux vues A et B. Dans la modélisation, chacun de ces segments est représenté par une série de sources volumiques alternées. Les coordonnées de chacune de ces sources sont données en annexe au tableau A1-8. Pour chacun des segments, le poids moyen et la hauteur moyenne des camions ainsi que la distance parcourue (VKT) ont été déterminés en fonction du nombre de déplacements. La hauteur de relâche et la dispersion initiale verticale ont été estimées en fonction de la hauteur moyenne des camions sur le segment tandis que la dispersion initiale horizontale a été estimée en fonction de la largeur des routes. La largeur des routes a été fixée à 28 m sur l'ensemble du site. Dans les modélisations, trois mètres additionnels sont ajoutés de chaque côté de la route afin de tenir compte des émissions de poussières qui sont susceptibles de se produire par turbulence. Une largeur totale de 34 m est donc utilisée. Ces différents paramètres sont les mêmes pour chacune des sources d'un même segment et sont également donnés au tableau A1-9.

Les taux d'émissions de particules associées à chacun des segments ont finalement été estimés de façon conservatrice à partir des facteurs d'émission proposés dans la section 13.2.2 *Unpaved Roads* de l'AP-42. Les différentes informations utilisées pour le calcul des taux d'émissions sont regroupées au tableau A1-9. En l'absence de donnée spécifique au site à l'étude, une teneur en silt de 8,3 % a été sélectionnée, correspondant à la valeur moyenne tabulée à la section 13.2.2 de l'AP-42 (US-EPA, 1995) pour la catégorie *Stone quarrying and processing, Haul road to/from pit*.

Enfin, il est important de préciser qu'un facteur d'atténuation de 0,25 a été appliqué aux sources de routage afin de prendre en compte une réduction des particules émises de l'ordre de 75 %, découlant de l'arrosage régulier des routes ou de la pluie. Ce taux d'atténuation a été estimé à partir du tableau 4 du document *Emission Estimation Technique Manual for Mining* du *National Pollutant Inventory* (NPI, 2012); en accord avec les exigences présentées dans le *Guide d'instruction – Préparation et réalisation d'une modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques – Projets miniers* (MDDELCC, 2017).

4.1.3 CHARGEMENTS ET DÉCHARGEMENTS

Les opérations de chargement de matériaux dans les véhicules de transport et le déchargement de ceux-ci représentent des sources de matières particulaires (PMT, PM₁₀, PM_{2,5}) dans l'atmosphère. Afin de représenter ces opérations, une source volumique a été positionnée à chacun des points de chargement et de déchargement.

Un point de chargement et de déchargement a été considéré pour chacun des trajets décrits au tableau 6.

Afin de déterminer des taux d'émission pour ces sources, les facteurs d'émission ont d'abord été estimés à l'aide de l'équation 1 de la section 13.2.4 *Aggregate handling and storage piles* de l'AP-42. L'humidité des matériaux a été fixée à 5,4 % suivant la valeur donnée à la section 13.2.4 de l'AP -42, tableau 13.2.4-1, pour la catégorie *Iron and steel production, Lump ore*. Enfin, les facteurs d'émissions ont été déterminés heure par heure, en fonction de la vitesse du vent, et les taux d'émission ont été obtenus en multipliant le facteur d'émission par le tonnage manipulé.

Les pelles hydrauliques Terex RH340 ont été considérées dans la fosse alors que les chargeuses Létourneau L-2350 et Komatsu WA1200-3 ont été considérées pour le chargement du mort terrain. La largeur des pelles a été utilisée afin de caractériser la dispersion initiale horizontale. La hauteur de relâche et la dispersion initiale verticale ont pour leur part été caractérisées suivant les caractéristiques des camions de transports associés. Pour les sources liées au déchargement, ces trois paramètres ont été caractérisés en fonction des caractéristiques des camions de transports. Les paramètres physiques utilisés dans le modèle sont présentés en annexe au tableau A1-10. Ce tableau présente également le tonnage manipulé par heure pour chacune des sources et une estimation des taux d'émission calculée spécifiquement pour la présentation dans ce rapport avec la vitesse moyenne du vent de l'échantillon météorologique modélisé.

4.1.4 BOUTAGE

Pour le scénario de référence, cinq boteurs sur chenilles sont utilisés pour le placement des matériaux : deux boteurs sont associés à la manipulation du stérile, à la halde STK2 et à la digue filtrante, deux boteurs sont associés à la manipulation du mort terrain, aux haldes Pignac et Bloom Ouest, et un boteur est associé à l'opération du parc à résidus fins.

Les taux d'émission ont été estimés pour ces opérations suivant la section 11.9 *Western Surface Coal Mining* de l'AP-42 alors que, dans le cadre de la présente étude, le facteur d'émission proposé pour le mort-terrain a été jugé plus représentatif que le facteur d'émission proposé pour le charbon. Le facteur d'émission proposé dépend du taux d'humidité et du taux de silt du matériel manipulé. Le taux de silt, celui-ci a été fixé à 9,5 % pour le stérile suivant la valeur donnée à la section 13.2.4 de l'AP -42, tableau 13.2.4-1, *Iron and steel production, Lump ore*, et à 7,5 % pour le mort-terrain, selon la valeur pour *Western surface coal mining, Overburden*. L'humidité des stériles et du mort terrain a été fixée à 5,4 % selon la valeur donnée à la section 13.2.4 de l'AP -42, tableau 13.2.4-1, pour la catégorie *Iron and steel production, Lump ore*; aucune valeur n'étant disponible pour le mort terrain. Pour sa part, le boteur actif à la sortie de la ligne de pompage dans le parc à résidus fins travaille dans une zone saturée d'eau et n'est donc pas considéré comme une source fugitive de particules.

Les opérations de boutage sont représentées dans les modélisations à l'aide de sources volumiques. Les paramètres physiques et les taux d'émissions utilisés dans le modèle sont présentés en annexe au tableau A1-11. La caractérisation de cette source a été ajustée en fonction du modèle et des caractéristiques physiques des équipements. Enfin, une atténuation de 50 % a été appliquée afin de représenter le taux d'utilisation et le caractère intermittent de ce type d'opération.

Tableau 6 : Description du scénario de routage modélisé – Scénario de référence

Longueur du trajet (aller-retour)					Quantité de matériel déplacé (tm/an)				Nombre de déplacements ^[1] (jour ⁻¹)				
Trajets	Origine	Destination	Matériaux	(m)	Total	Caterpillar 793D	Caterpillar 793F	Komatsu 830E	Komatsu 930E	Caterpillar 793D	Caterpillar 793F	Komatsu 830E	Komatsu 930E
P27_P01	Pignac Ouest	Concasreur 2	Minerai	2 169	6 541 717	-	-	-	6 541 717	-	-	-	123
P06_P02	Pignac Est	Concasreur 1	Minerai	7 699	7 458 283	-	-	-	7 458 283	-	-	-	141
P05_P01	Bloom Ouest	Concasreur 2	Minerai	3 324	26 000 000	-	-	-	26 000 000	-	-	-	491
P04_P03	Bloom Ouest	Halde temporaire STK2	Stériles	7 800	24 971 974	-	-	-	24 971 974	-	-	-	471
P06_P07	Pignac Est	Digue filtrante	Stériles	13 047	7 869 000	-	-	-	7 869 000	-	-	-	148
P27_P07	Pignac Ouest	Digue filtrante	Stériles	11 540	6 901 960	-	-	-	6 901 960	-	-	-	130
P05_P07	Bloom Ouest	Digue filtrante	Stériles	10 883	2 459 809	-	-	-	2 459 809	-	-	-	46
P25_P12	Zone de décapage Chief	Halde Pignac	Mort terrain	7 208	926 536	463 268	463 268	-	-	12	11	-	-
P11_P19	Zone de décapage Bloom Ouest	Halde Bloom Ouest	Mort terrain	6 428	926 536	0	0	926 536	0	0	0	23	0

[1] Un aller-retour correspond à 2 déplacements.

4.1.5 SAUTAGE

Le tonnage de matériaux sauté pour le scénario de référence est de 82 202 743 tonnes. Ce tonnage est extrait sur une année complète. Les données d'ingénieries spécifiques aux sautages transmises par Cliffs en 2014 ont été utilisées, ceux-ci prévoient des sautages à l'émulsion avec des bancs de 14 m. Pour l'ajustement du tonnage selon le scénario de référence, le nombre de trous par sautage a été ajusté de façon à considérer une fréquence de deux sautages par semaine. Les paramètres utilisés pour la modélisation des sautages sont détaillés au tableau 7.

Tableau 7 : Paramètres utilisés pour la modélisation des sautages et du forage – Scénario de référence

Paramètres de forage/sautage	Unité	Variable	Valeur	Référence ^[1]
Tonnage extrait	tonne	T	82 202 743	LOM 2014 phase 2 de Cliffs pour l'année 2017
Facteur de poudre	kg/tonne	PWD	0,457	Cliffs, Intrants reçus par courriel, 2013-11-20
Densité de l'explosif	tonne/m ³	Erho	1.200	Fiche technique Titan XL 1 000
Quantité totale d'explosif requis	tonne	EQy	37 601	$t \cdot \text{PWD} / 1\,000$
Volume total d'explosif requis	m ³	EVy	31334	EQy / Erho
Diamètre du trou foré	m	D	0,311	Fiche technique Cat. MD6640
Hauteur de banc	m	BH	14	EIE 2006
Hauteur du collet	m	SL	4	Cliffs, Intrants reçus par courriel, 2013-11-20
Sous forage	m	SD	1,2	Cliffs, Intrants reçus par courriel, 2013-11-20
Hauteur de forage	m	HL	15,2	$\text{BH} + \text{SD}$
Hauteur de la colonne d'explosif	m	C	11,2	$\text{HL} - \text{SL}$
Volume d'explosif par forage	m ³ /trou	EVh	0.852	$\text{Pi} \cdot (\text{D}/2)^2 \cdot \text{C}$
Quantité d'explosif par forage	tonne/trou	EQh	1.022	$\text{EVh} \cdot \text{Erho}$
Nombre de forages par sautage	trous/saut.	NHb	354	Ajustement pour une fréquence de 2 sautages par semaine
Nombre total de forages	trous	NHy	36 794	EVy / EVh
Nombre total de sautages	saut.	NBy	104	NHy / NHb
Quantité d'explosif par sautage	tonne/saut.	EQb	361,55	$\text{EQh} \cdot \text{NHb}$
Burden	m	B	7,6	Cliffs, Intrants reçus par courriel, 2013-11-20
Spacing	m	S	7,6	Cliffs, Intrants reçus par courriel, 2013-11-20
Surface de sautage par forage	m ² /trou	BAh	57,8	$\text{B} \cdot \text{S}$
Surface de sautage totale	m ² /saut.	BA	20 435	$\text{BAh} \cdot \text{NHb}$
Ratio d'ANFO de l'explosif	%	Ra	0 %	Cliffs, Intrants reçus par courriel, 2013-11-20
Ratio d'émulsion de l'explosif	%	Re	100 %	$1 - \text{Ra}$

L'ensemble des informations a été fourni par Cliffs.

Le volume sauté est de 286 084 m³, ce qui correspond à 354 trous par sautage et à une surface de 20 435 m². Les sautages sont considérés à 12 h dans la modélisation.

Pour les matières particulaires (PMT, PM₁₀, PM_{2,5}), les taux d'émission ont été calculés à l'aide du tableau 11.9-2 de la section 11,9 *Western Surface Coal Mining* de l'AP-42 (US-EPA, 1995). Les taux d'émission pour le monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azote (NO_x) et le dioxyde de soufre (SO₂) ont été estimés à l'aide du document *NPI – Explosives detonation and firing ranges* (DSEWPac, 2012b). La hauteur du souffle a quant à elle été estimée à environ 20 m.

Ces émissions sont représentées dans la modélisation à l'aide d'une source volumique. Les caractéristiques et les taux d'émissions de cette source sont présentés en annexe au tableau A1-12.

4.1.6 FORAGE

Les opérations de forage ont été considérées dans la modélisation. Pour le scénario de référence, sept foreuses de production ont été considérées et une cadence combinée de forage d'environ 100,8 trous par jour a été estimée basée sur le scénario présenté au tableau 7. En plus de la production, trois foreuses topographiques supplémentaires sont utilisées dans les zones de décapage. Une cadence de forage de 16 trous par jour est estimée en fonction de la surface décapée (quantité de mort terrain) et d'un patron de forage de 5 mètres par 5 mètres. Ces trois foreuses ont été combinées en une même source (*drill8*) pour les besoins de la modélisation.

Les taux d'émission de matières particulaires (PMT, PM₁₀, PM_{2,5}) résultants des opérations de forage ont été estimés à l'aide du tableau 11.9-4 de la section 11.9 *Western Surface Coal Mining* de l'AP-42 en fonction du nombre de trous forés par jour. Un facteur d'échelle de 0,5 a été considéré pour les particules fines.

Les opérations de forage sont représentées dans les modélisations à l'aide d'une source volumique. Les paramètres physiques et le taux d'émissions utilisé dans le modèle sont présentés en annexe au tableau A1-13. Les foreuses ont été positionnées en fonction des quantités de matériaux extraits par zone d'exploitation. La caractérisation de la source a été établie en fonction des caractéristiques physiques des foreuses, soit des foreuses Caterpillar MD6640 pour la production et A. Copco CM-780D pour les foreuses topographiques. Finalement, une atténuation de 70 % (DSEWPac, 2012) est considérée sur les émissions de poussières de forage afin de tenir compte du système d'épuration installé sur les foreuses de production (forage à l'eau) tandis qu'une atténuation de 99 % (DSEWPac, 2012) est considérée afin de tenir compte du système d'épuration installé sur les foreuses topographiques (dépoussiéreurs à filtre à manche).

4.1.7 GAZ D'ÉCHAPPEMENT

Les émissions provenant des gaz d'échappement (PMT, PM₁₀, PM_{2,5}, CO, NO_x et SO₂) des différents véhicules actifs sur le site ont été considérées lors de la modélisation. La flotte de véhicules prévue a été estimée à partir des données techniques fournies par Cliffs.

Pour les véhicules hors route, les facteurs d'émissions (g/hp.hr) ont été estimés suivant la méthode proposée dans le document *Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Engine Modeling Compression-Ignition* (US-EPA, juillet 2010). Les taux d'émission pour chacun des modèles de véhicule ont ensuite été calculés en considérant la puissance des moteurs (hp) et le facteur de chargement en fonction du type d'équipement. Ces différents paramètres sont donnés avec les taux d'émission calculés pour chacun des véhicules au tableau 8.

Pour la présente étude, la teneur en soufre dans le diesel a été fixée à 15 ppm, soit la limite prescrite par le *Règlement sur le soufre dans le carburant diesel* (Environnement Canada, 2013) pour les carburants diesel pour les moteurs hors route. Il est important de préciser que suivant la méthode utilisée, le diamètre de toutes les particules émises par les systèmes d'échappement est assumé inférieur à 10 microns (PM₁₀) de sorte que les taux d'émission pour les PMT et les PM₁₀ sont égaux. De plus, la fraction de particules fines (PM_{2,5}) sur l'ensemble des particules émises est estimée à 97 %. Finalement, puisque l'âge spécifique de la flotte de véhicules est inconnu, l'augmentation des émissions due à la dégradation des moteurs a été maximisée afin de considérer le scénario « pire cas ».

Basés sur la description des activités d'exploitation, les équipements considérés sont détaillés au tableau 9. Ce tableau, incluant le nombre d'équipements et le positionnement de ceux-ci, définit le scénario modélisé pour les gaz d'échappement. Il est important de noter que les excavatrices principales dans les fosses et les foreuses de production sont électriques et ne présentent donc pas d'émission de gaz d'échappement.

Afin de caractériser les sources d'émission, la méthode de modélisation prévoit de séparer la machinerie présente sur le site en trois catégories distinctes : les équipements de transport, les équipements de support (camion d'arrosage, etc.) et les équipements localisés (excavatrices, boteurs, etc.). Cette catégorisation est donnée au tableau 9 pour chaque équipement du présent scénario.

Tableau 8 : Description et taux d'émissions calculés pour les véhicules hors route utilisés sur le site – Scénario de référence

Véhicule	Type	Puissance (hp)	Tier	Facteur de chargement ^[1]	Taux d'émission par véhicule (g/s)				
					PM ₁₀ ^[2]	PM _{2,5}	CO	NO _x	SO ₂
Létourneau L-1850-2	Chargeuse sur roues	2000	T2	0,59	6.09E-02	5.91E-02	4.22E-01	1.29E+00	1.61E-03
Létourneau L-2350	Chargeuse sur roues	2 300	T2	0,59	7.01E-02	6.80E-02	4.85E-01	1.48E+00	1.86E-03
Komatsu WA1200-3	Chargeuse sur roues	1 560	T2	0,59	4.75E-02	4.61E-02	3.29E-01	1.00E+00	1.26E-03
Caterpillar 793D	Camion de transport hors route	2 337	T1	0,59	1.01E-01	9.79E-02	4.93E-01	2.29E+00	1.88E-03
Caterpillar 793F	Camion de transport hors route	2 478	T2	0,59	7.55E-02	7.32E-02	5.23E-01	1.60E+00	2.00E-03
Caterpillar 793D	Camion de transport hors route	2 337	T1	0,59	1.01E-01	9.79E-02	4.93E-01	2.29E+00	1.88E-03
Komatsu 830E	Camion de transport hors route	2 360	T2	0,59	7.19E-02	6.98E-02	4.98E-01	1.52E+00	1.90E-03
Komatsu 930E-4SE	Camion de transport hors route	3 346	T2	0,59	1.02E-01	9.89E-02	7.06E-01	2.16E+00	2.70E-03
Caterpillar D9T	Bouteur à chenilles	441	T3	0,59	1.97E-02	1.91E-02	1.07E-01	1.89E-01	3.56E-04
Komatsu D375	Bouteur à chenilles	605	T2	0,59	1.84E-02	1.79E-02	2.22E-01	3.90E-01	4.88E-04
Komatsu D475ASD-5E0	Bouteur à chenilles	890	T2	0,59	2.71E-02	2.63E-02	1.88E-01	5.73E-01	7.18E-04
Caterpillar 854K	Bouteur sur roues	801	T3	0,59	3.05E-02	2.96E-02	1.77E-01	5.64E-01	6.47E-04
Komatsu WA600-6	Chargeuse sur roues	530	T3	0,59	2.37E-02	2.29E-02	1.29E-01	2.28E-01	4.28E-04
Komatsu WA900-3	Chargeuse sur roues	856	T2	0,59	2.61E-02	2.53E-02	1.81E-01	5.51E-01	6.91E-04
Caterpillar 16M	Niveleuse	332	T3	0,59	1.48E-02	1.44E-02	8.07E-02	1.43E-01	2.68E-04
Caterpillar 24M	Niveleuse	533	T3	0,59	2.38E-02	2.31E-02	1.30E-01	2.29E-01	4.30E-04
Komatsu PC650LC-8	Excavatrice	429	T3	0,59	1.91E-02	1.86E-02	1.04E-01	1.84E-01	3.46E-04
Komatsu WA250-6	Chargeuse sur roues	138	T3	0,59	9.59E-03	9.30E-03	3.45E-02	5.93E-02	1.11E-04
Caterpillar 777F	Camion de transport hors route	938	T2	0,59	2.86E-02	2.77E-02	1.98E-01	6.04E-01	7.57E-04
Caterpillar 785B	Camion de transport hors route	1 400	T1	0,59	6.05E-02	5.87E-02	2.95E-01	1.37E+00	1.13E-03
A. Copco CM-780D	Foreuse	425	T2	0.43	7.20E-03	6.99E-03	4.71E-02	2.22E-01	2.48E-04

[1] Appendix A, Median life, annual activity and load factor values for nonroad engine emissions modeling (US-EPA, April 2004).

[2] Toutes les émissions de particules sont considérées comme plus petites que 10 µm, et donc PMT = PM₁₀.

Tableau 9 : Description du scénario modélisé pour les gaz d'échappement – Scénario de référence

Équipement	Disponibilité mécanique (%)	Nombre d'équipement		Catégorie	Source(s) associée(s) pour le positionnement
		Total dans la flotte	Total considéré		
Létourneau L-1850-2	70 %	1	1	Support	Sources de routage
Létourneau L-2350	75 %	2	2	Localisé	ldp25obx
Komatsu WA1200-3	70 %	2	2	Localisé	ldp11obx
Caterpillar 793D	75 %	4	1	Transport	Sources de routage
Caterpillar 793F	75 %	3	1	Transport	Sources de routage
Caterpillar 793D	75 %	3	3	Support	Sources de routage
Komatsu 830E	75 %	5	2	Transport	Sources de routage
Komatsu 930E-4SE	78 %	26	21	Transport	Sources de routage
Caterpillar D9T	85 %	1	1	Support	Sources de routage
Komatsu D375	85 %	1	1	Localisé	doztlgx
Komatsu D475ASD-5E0	85 %	5	4	Localisé	dozws2x, dozwtx, dozobpx, dozobwx
Caterpillar 854K	85 %	2	2	Support	Sources de routage
Komatsu WA600-6	85 %	4	4	Support	Sources de routage
Komatsu WA900-3	85 %	1	1	Support	Sources de routage
Caterpillar 16M	85 %	2	2	Support	Sources de routage
Caterpillar 24M	85 %	2	2	Support	Sources de routage
Komatsu PC650LC-8	85 %	2	2	Support	Sources de routage
Komatsu WA250-6	85 %	2	2	Support	Sources de routage
Caterpillar 777F	75 %	1	1	Support	Sources de routage
Caterpillar 785B	75 %	1	1	Support	Sources de routage
A. Copco CM-780D	100 %	3	3	Localisé	drill8x

Équipements localisés

En ce qui concerne les équipements localisés, la dispersion des émissions n'est pas influencée de façon importante par le mouvement des véhicules puisque les déplacements ont lieu à de faibles vitesses et que les émissions sont propulsées vers le haut à des vitesses relativement grandes. Les caractéristiques physiques réelles (tels que la vitesse et la température des émissions, la hauteur et le diamètre du point d'émission) ont toutes été utilisées pour ces types de véhicules. Celles-ci ont été déterminées en fonction du numéro de modèle de l'équipement considéré. La caractérisation des sources utilisées pour représenter les gaz d'échappement des équipements localisés est donnée en annexe au tableau A1-14. Les taux d'émission utilisés y sont également présentés.

Équipements de transport

Dans le cas des véhicules de transport, les tuyaux d'échappement sont parfois positionnés horizontalement et/ou sur le côté des véhicules. La dispersion des émissions sera ainsi affectée de façon plus importante par le mouvement et la turbulence créée par les camions. De façon conservatrice, l'effet de flottabilité est négligé et les émissions des gaz d'échappement pour les camions de transport sont représentées dans la modélisation à l'aide de sources volumiques. Ces émissions ont été réparties sur les différents segments en fonction du temps moyen passé sur chacun d'eux (tableau 10). Ces proportions ont été estimées à partir du type d'opération associé à chaque segment (chargement, déchargement), de la longueur et de la topographie du segment (terrain plat ou en pente) et du nombre de déplacements requis pour transporter le tonnage prévu entre les différents points. Afin d'éviter d'alourdir

inutilement le modèle, les sources associées au routage (voir section 4.1.2) ont été utilisées pour la modélisation de ces gaz d'échappement.

Équipements de support minier

Pour la modélisation des gaz d'échappement des véhicules de support, les sources associées au routage ont également été utilisées. Les taux d'émissions calculés pour les véhicules de support ont été répartis sur les segments de routage dans la même proportion que les véhicules de transport.

La répartition du temps passé sur chacun des segments par les véhicules de transport est présentée au tableau 10. Les taux d'émissions sont finalement calculés en fonction du nombre d'équipements et du temps passé sur chacun des segments. Les taux d'émissions par segment y sont également présentés.

Tableau 10 : Répartition des taux d'émission des gaz d'échappement – Scénario de référence

Nom du segment	Temps passé sur chaque segment (%)					Taux d'émission (routage + support) (g/s)				
	Caterpillar 793D	Caterpillar 793F	Komatsu 830E	Komatsu 930E-4SE	Véhicules de Support	PM ₁₀ ¹	PM _{2,5}	CO	NOx	SO ₂
P02_P15	0	0	0	4,6	4,4	1.33E-01	1.29E-01	8.67E-01	2.70E+00	3.28E-03
P04_P08	0	0	0	24,4	23,6	7.09E-01	6.87E-01	4.62E+00	1.44E+01	1.75E-02
P05_P16	0	0	0	10,4	10,1	3.03E-01	2.94E-01	1.98E+00	6.15E+00	7.48E-03
P08_P03	0	0	0	17,1	16,5	4.97E-01	4.82E-01	3.24E+00	1.01E+01	1.23E-02
P11_P16	0	0	47,1	0	0,7	7.35E-02	7.13E-02	5.00E-01	1.54E+00	1.91E-03
P13_P01	0	0	0	3,2	3,1	9.31E-02	9.03E-02	6.07E-01	1.89E+00	2.30E-03
P14_P18	0	0	0	0,2	0,2	5.76E-03	5.59E-03	3.76E-02	1.17E-01	1.42E-04
P15_P21	0	0	0	1,3	1,2	3.71E-02	3.60E-02	2.42E-01	7.54E-01	9.17E-04
P17_P18	0	0	0	0,4	0,4	1.27E-02	1.24E-02	8.30E-02	2.58E-01	3.15E-04
P17_P29	0	0	0	0,9	0,9	2.72E-02	2.64E-02	1.78E-01	5.53E-01	6.73E-04
P18_P06	0	0	0	3,9	3,8	1.13E-01	1.09E-01	7.35E-01	2.29E+00	2.78E-03
P21_P14	0	0	0	0,3	0,3	8.60E-03	8.35E-03	5.61E-02	1.75E-01	2.13E-04
P22_P13	0	0	0	0,7	0,7	2.11E-02	2.05E-02	1.38E-01	4.29E-01	5.22E-04
P22_P23	0	0	0	3,4	3,3	9.94E-02	9.64E-02	6.48E-01	2.02E+00	2.45E-03
P22_P29	0	0	0	0,7	0,6	1.92E-02	1.86E-02	1.25E-01	3.89E-01	4.73E-04
P23_P07	0	0	0	20,6	20,0	6.00E-01	5.82E-01	3.91E+00	1.22E+01	1.48E-02
P23_P13	0	0	0	4,4	4,3	1.28E-01	1.24E-01	8.32E-01	2.59E+00	3.15E-03
P23_P16	0	0	0,9	0,3	0,3	1.11E-02	1.07E-02	7.25E-02	2.25E-01	2.75E-04
P23_P19	0	0	52,0	0	0,8	8.12E-02	7.87E-02	5.52E-01	1.70E+00	2.11E-03
P24_P12	30,1	30,1	0	0	0,5	5.71E-02	5.54E-02	3.27E-01	1.24E+00	1.25E-03
P25_P26	35,3	35,3	0	0	0,6	6.71E-02	6.51E-02	3.85E-01	1.46E+00	1.47E-03
P26_P24	34,6	34,6	0	0	0,6	6.57E-02	6.37E-02	3.76E-01	1.43E+00	1.44E-03
P28_P27	0	0	0	2,5	2,5	7.38E-02	7.16E-02	4.81E-01	1.50E+00	1.82E-03
P28_P29	0	0	0	0,5	0,5	1.53E-02	1.48E-02	9.94E-02	3.10E-01	3.77E-04

[1] Toutes les particules émises sont supposées être plus petites que 10 microns donc PMT = PM₁₀.

4.1.8 ÉROSION ÉOLIENNE

Dans la modélisation du scénario de référence, l'érosion éolienne des haldes, des aires de construction et des parcs à résidus a été prise en compte.

Afin de quantifier les émissions de matière particulaire dues à l'érosion éolienne, l'équation (8.11) du *Guide pour les carrières et sablières* de l'Inventaire national des rejets de polluants (INRP, 2014) a été utilisée sur une base horaire, tel que prescrit par le MELCC. Pour ce faire, la vitesse du vent chaque heure a été utilisée et comparée à la vitesse seuil de 19,3 km/h à partir de laquelle l'érosion éolienne apparaît. Le taux d'émission est alors effectif lorsque la vitesse du vent est supérieure à cette vitesse seuil et nul lorsque la vitesse du vent est inférieure à celle-ci.

De plus, comme l'équation est considérée sur une base horaire, le facteur d'atténuation dû aux précipitations n'est pas pris en compte. Il est également important de mentionner que, outre l'omission du facteur d'atténuation lié aux précipitations, le total des émissions annuelles calculées suivant la formulation horaire est identique au total calculé suivant la formulation traditionnelle de l'équation de l'INRP. Seule la répartition des émissions est affectée.

Dans le secteur de la mine, pour les années météorologiques de modélisation choisies, la vitesse du vent est supérieure au seuil d'émission pour environ 55,7 % du temps, ce qui correspond au temps où l'érosion éolienne sera active sur le site, selon la méthodologie exigée par le MELCC.

HALDES ET AIRES DE CONSTRUCTION

Par ailleurs, les haldes considérées sont de grandes dimensions; toutefois, seule une fraction de leur surface est véritablement « active », ce terme étant utilisé pour signifier que des opérations de déchargement y sont effectuées et engendrent l'émission de particules dans l'air, et ce, autant lors de sa construction que de son opération. En effet, de telles opérations ont lieu dans des secteurs bien précis des haldes et celles-ci sont en grande partie complétées ou ne font l'objet d'aucune opération de déchargement pendant de longues périodes. Par conséquent, une fois le potentiel d'érosion éolienne devenu inexistant à la suite de forts vents, la portion de la halde sur laquelle les opérations sont terminées ou interrompues à long terme n'émettra plus de poussières. D'autre part, les précipitations et l'humidité contribuent au lavage des surfaces et à la cimentation des particules fines. Il s'avère donc irréaliste de considérer toute la surface des haldes comme active et émettant sans arrêt des particules dans l'air. Ainsi, pour le cas de la surface décapée pour la préparation de la halde à stériles, la surface où s'effectuent des opérations de déchargement au cours d'un mois d'activité a été estimée et utilisée comme surface active.

En absence de données spécifiques au projet pour le stérile et le mort terrain, leur teneur en limon (silt) a été fixée suivant les valeurs données à la section 13.2.4 de l'AP-42, tableau 13.2.4-1 et selon les catégories suivantes :

- Stériles : 9,5 % selon la catégorie *Iron and steel production, Lump ore*;
- Mort terrain : 7,5 % selon la catégorie *Western surface coal mining, Overburden*.

PARCS À RÉSIDUS

Pour les parcs à résidus, l'ensemble des surfaces exposées a été considéré. Suivant les informations fournies par Cliffs, l'humidité de la surface varie d'un parc à l'autre et d'une section à l'autre; la moitié de la superficie du parc à résidus fins est à 30 % d'humidité alors que l'autre moitié est saturée par déposition hydraulique, tandis que la superficie totale du parc à résidus grossiers est à 6 % d'humidité. Or, l'équation proposée par l'INRP a été conçue à la suite des mesures effectuées sur des piles de sable et de calcaire concassé, alors que ces matériaux possèdent normalement des taux d'humidité variant entre 0,3 et 1,1 % (US-EPA, juin 1974; AP-42 section 13.2.4 Aggregate Handling And Storage Piles). Suivant Cowherd et al. (1988), le facteur d'émission dû à l'érosion éolienne d'une surface humide est inversement proportionnel au carré du taux d'humidité. Ainsi, plus l'humidité augmente, plus le facteur d'émission diminue. De façon conservatrice, en considérant un taux d'humidité de 1,1 % pour les matériaux utilisés dans l'élaboration de l'équation, un facteur d'atténuation de 3,36 % est calculé pour les résidus grossiers à 6 % d'humidité. Finalement, en raison du haut taux d'humidité du parc à résidus fins, ce dernier est considéré comme une source négligeable de particules et est omis dans la modélisation. Il est également pertinent de préciser que les parcs sont gelés en période hivernale (décembre à mars, inclusivement) et ne sont donc pas considérés comme des sources d'émission au cours de cette période.

La teneur en limon pour les résidus grossiers est donnée par les données techniques de Cliffs et correspond à 11,9 %.

L'érosion éolienne a été représentée dans les modélisations à l'aide de sources surfaciques. Les caractéristiques physiques considérées sont présentées au tableau A1-15, avec les taux d'émission calculés.

4.2 SCÉNARIO D'EXPLOITATION

La localisation des sources d'émissions considérées pour le scénario d'exploitation pour les activités de production est présentée à la carte B3-1 alors que les tableaux de description des sources sont présentés à l'annexe A2. L'ensemble des opérations de production est généralement prévu 24 heures par jour. Les opérations des parcs à résidus sont considérées 24 h par jour de mai à octobre. Enfin, les activités de construction sont quant à elles effectuées de juin à octobre, selon deux quarts de travail (jour et nuit).

4.2.1 USINE DE TRAITEMENT DU MINERAI

Les deux phases de l'usine de traitement du minerai sont considérées comme actifs pour le scénario d'exploitation. L'ensemble des sources considéré dans le scénario de référence, soit les *chaudières et fournaies à eau glycolée* et les *dépoussiéreurs*, sont également considérées dans le scénario d'exploitation. Les caractéristiques d'émission des tableaux A1-1 à A1-7 s'appliquent donc également pour ce scénario.

4.2.2 ROUTAGE

La description des opérations ainsi que les caractéristiques physiques des routes, telles que l'emplacement et les dimensions (longueur et largeur), ont été compilées à partir des données techniques fournies par MFQ selon la planification minière pour l'année 2034 d'exploitation. La flotte de camions prévue est détaillée au tableau 11 pour le scénario étudié. Les camions sont classés en trois catégories selon leur utilité : la production, l'opération des parcs à résidus et la construction.

Tableau 11 : Description de la flotte de camions de transport prévue – Scénario d'exploitation

Véhicule	Hauteur (m)	Largeur (m)	Poids du véhicule (t)	Charge utile (t)	Nombre de véhicules dans la flotte (sur le site)	Utilisation
Caterpillar 793F	6,6	7,6	172,1	218,0	34	Production : Exploitation minière (stériles et minerai)
Volvo A35E	3,5	3,1	28,1	33,5	2	Opération des parcs à résidus : Entretien des parcs et rehaussement progressif des digues
Caterpillar 777	5,2	5,5	72,6	90,7	2	
Caterpillar 730	3,5	3,0	23,7	28,0	7	Construction : Préparation des sols et construction des digues
Caterpillar 775	4,5	4,3	48,1	63,7	7	

La même méthodologie que celle présentée à la section 4.1.2 a été utilisée pour déterminer les caractéristiques physiques et les taux d'émissions de particules associées à chacun des segments. Une teneur en silt de 8,3 % a été sélectionnée pour l'ensemble des routes de la mine à l'exception des segments sur les parcs à résidus, correspondant à la valeur moyenne tabulée à la section 13.2.2 de l'AP-42 (US-EPA, 1995) pour la catégorie *Stone quarrying and processing, Haul road to/from pit*. Sur les parcs à résidus, une teneur en silt de 8,0 % basée sur les analyses granulométriques des résidus grossiers a été utilisée.

Les trajets et segments sont identifiés par leur point de départ et d'arrivée et peuvent être localisés à la carte B3-2 aux vues A et B. Dans la modélisation, chacun de ces segments est représenté par une série de sources volumiques alternées. Les coordonnées de chacune de ces sources sont données en annexe aux tableaux A2-1 et A2-2.

Enfin, il est important de préciser qu'un facteur d'atténuation de 0,25 a été appliqué aux sources de routage afin de prendre en compte une réduction des particules émises de l'ordre de 75 %, découlant de l'arrosage régulier des

routes ou de la pluie. Ce taux d'atténuation a été estimé à partir du tableau 4 du document *Emission Estimation Technique Manual for Mining* du *National Pollutant Inventory* (NPI, 2012); en accord avec les exigences présentées dans le *Guide d'instruction – Préparation et réalisation d'une modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques – Projets miniers* (MDDELCC, 2017).

ACTIVITÉS DE PRODUCTION

Le scénario de routage considéré pour les activités de production du scénario d'exploitation est présenté au tableau 12 et comprend sept trajets. Un total de 42 Mt de minerai est extrait depuis les deux fosses au cours de l'année du scénario d'exploitation. La majorité du minerai est transporté vers le concasseur 2, ce qui réduit la distance de transport requis. Pour ce qui est du stérile, un total de 56 Mt est extrait des fosses et est transporté vers la halde Sud et 0,9 Mt est extrait des fosses et transporté vers les parcs à résidus, au concasseur mobile, pour la construction.

Les trajets ont été subdivisés en 22 segments, formant un réseau d'environ 23 km. Ces segments sont détaillés au tableau A2-3. Les différents paramètres, ainsi que les taux d'émission estimés y sont donnés.

Variante d'opération pour le quartz

Comme mentionné à la section 3.3.2.2, une variante d'opération a été modélisée afin de réduire les concentrations de silice cristalline. Dans cette variante, les matériaux stériles à forte teneur en SiO₂ (comme le quartz et le gneiss) sont transportés au nord de la halde Sud (point P08b) plutôt qu'au sud (point P08). Cette variante apporte donc des modifications aux trajets P01_P08 et P11_P08, ceux-ci sont remplacés par les trajets présentés au tableau 13. Le segment P07_P08 est également modifié et remplacé par le segment du tableau A2-4. Cette situation survient environ à 18 % de l'année.

OPÉRATION DES PARCS À RÉSIDUS

La méthode prévue pour le rehaussement progressif des digues des parcs à résidus implique l'utilisation de brouettes qui déplacent les résidus grossiers accumulés en amont afin d'être compactés. Cette méthode ne prévoit aucun transport de résidus grossiers par camion. Cependant, plusieurs camions sont prévus dans la liste d'équipement pour l'opération des parcs à résidus. *Pour les fins de la modélisation, une hypothèse a été posée pour l'utilisation de ces camions.* Cette hypothèse implique le transport d'environ 12 kt de résidus grossiers par jour et représente donc un scénario conservateur. Ces opérations sont considérées 24 h par jour de mai à octobre.

Ce trajet est constitué d'un seul segment d'environ 200 m. Ce segment est détaillé au tableau A2-5. Les différents paramètres, ainsi que les taux d'émission estimés y sont donnés.

ACTIVITÉS DE CONSTRUCTION

La construction des digues et la préparation des sols pour les infrastructures minières prévue en 2034 représentent, entre autres, le rehaussement des digues A et Est du parc à résidus fin (bassin A). Ceci implique la manipulation de résidus grossiers, de stériles tout-venant et de granulats. Ces opérations prévues diffèrent selon le quart de jour et de nuit et celles-ci sont prévues de juin à octobre. Les trajets associés à ces opérations sont présentés aux tableaux 15 et 16, pour les quarts de jour et de nuit, respectivement.

Les trajets ont été subdivisés en neuf segments, formant un réseau d'environ 8 km. Ces segments sont détaillés aux tableaux A2-6 et A2-7, pour les quarts de jour et de nuit, respectivement. Les différents paramètres, ainsi que les taux d'émission estimés y sont donnés.

4.2.3 CHARGEMENTS ET DÉCHARGEMENTS

Les opérations de chargement de matériaux dans les véhicules de transport et le déchargement de ceux-ci représentent des sources de matières particulaires (PMT, PM₁₀, PM_{2,5}) dans l'atmosphère. Afin de représenter ces opérations, une source volumique a été positionnée à chacun des points de chargement et de déchargement.

Un point de chargement et de déchargement a été considéré pour chacun des trajets décrits aux tableaux 12 à 16.

Tableau 12 : Description du scénario de routage modélisé – Scénario d’exploitation – Activités de production

Trajets	Origine	Destination	Matériaux	Longueur du trajet (m)	Quantité de matériel déplacé (tm/an)	Nombre de déplacements ^[1] (jour ⁻¹)	Horaire
					Caterpillar 793F	Caterpillar 793F	
P02_P22	Chief Phase 2	Concasseur 1	Minerai	13 199	10 117 323	254	Opération continue
P02_P15	Chief Phase 2	Concasseur 2	Minerai	6 869	26 495 020	666	
P01_P08	Chief Phase 2	Halde sud	Stériles	14 482	38 436 871	966	
P12_P22	Bloom Ouest	Concasseur 1	Minerai	11 113	1 084 517	27	
P12_P15	Bloom Ouest	Concasseur 2	Minerai	4 783	4 259 150	107	
P11_P08	Bloom Ouest	Halde sud	Stériles	10 841	17 619 716	443	
P11_P19	Bloom Ouest	Concasseur mobile	Stériles	13 739	900 000	23	
[1] Un aller-retour correspond à 2 déplacements.							

Tableau 13 : Description du scénario de routage modélisé – Scénario d’exploitation – Activités de production – Variante d’opération pour le quartz

Trajets	Origine	Destination	Matériaux	Longueur du trajet (m)	Quantité de matériel déplacé (tm/an)	Nombre de déplacements ^[1] (jour ⁻¹)		Horaire
					Caterpillar 793F	Caterpillar 793F		
P01_P08b	Chief Phase 2	Halde sud (nord)	Stériles (autres que l’amphibolite)	12 736	7 108 851	966		Modélisé en continu, survient environ 18 % du temps
P11_P08b	Bloom Ouest	Halde sud (nord)		9 094	3 258 744	443		
[1] Un aller-retour correspond à 2 déplacements.								

Tableau 14 : Description du scénario de routage modélisé – Scénario d’exploitation – Opération des parcs à résidus

Trajets	Origine	Destination	Matériaux	Longueur du trajet (m)	Quantité de matériel déplacé (tm/jour)			Nombre de déplacements ^[1] (jour ⁻¹)		Horaire
					Total	Volvo A35E	Caterpillar 777	Volvo A35E	Caterpillar 777	
P30_P31	HPA Nord	HPA Nord	Résidus grossiers	200	11 923	3 216	8 707	192	192	24 h par jour, en été
[1] Un aller-retour correspond à 2 déplacements.										

Tableau 15 : Description du scénario de routage modélisé – Scénario d’exploitation – Activité de construction – Quart de jour

Trajets	Origine	Destination	Matériaux	Longueur du trajet (m)	Quantité de matériel déplacé (tm/jour)		Nombre de déplacements ^[1] (jour ⁻¹)			Horaire
					Total	Caterpillar 730	Caterpillar 775	Caterpillar 730	Caterpillar 775	
P34_P32	Digue A	HPA Nord	Résidus grossiers	11 042	2 447	2 447	0	175	0	12 h durant le jour de juin à octobre
P19_P29	Concasseur mobile	Digue A	Stériles/Granulats	2 287	2 090	2 090	0	149	0	
P19_P29	Concasseur mobile	Digue A	Stériles/Granulats	2 287	3 135	3 135	0	224	0	
P19_P27	Concasseur mobile	Digue Est	Stériles/Granulats	4 207	4 754	0	4 754	0	149	
P32_P34	HPA Nord	Digue A	Résidus grossiers	11 042	11 132	0	11 132	0	350	
P19_P27	Concasseur mobile	Digue Est	Stériles/Granulats	4 207	2 377	0	2 377	0	75	
[1]	Un aller-retour correspond à 2 déplacements.									

Tableau 16 : Description du scénario de routage modélisé – Scénario d’exploitation – Activité de construction – Quart de nuit

Trajets	Origine	Destination	Matériaux	Longueur du trajet (m)	Quantité de matériel déplacé (tm/jour)		Nombre de déplacements ^[1] (jour ⁻¹)		Horaire	
					Total	Caterpillar 730	Caterpillar 775	Caterpillar 730		Caterpillar 775
P34_P32	Digue A	HPA Nord	Résidus grossiers	11 042	2 447	2 447	0	175	0	12 h durant la nuit de juin à octobre
P19_P29	Concasseur mobile	Digue A	Stériles/Granulats	2 287	0	0	0	0	0	
P19_P29	Concasseur mobile	Digue A	Stériles/Granulats	2 287	0	0	0	0	0	
P19_P27	Concasseur mobile	Digue Est	Stériles/Granulats	4 207	0	0	0	0	0	
P32_P34	HPA Nord	Digue A	Résidus grossiers	11 042	11 132	0	11 132	0	350	
P19_P27	Concasseur mobile	Digue Est	Stériles/Granulats	4 207	2 377	0	2 377	0	75	
[1] Un aller-retour correspond à 2 déplacements.										

La même méthodologie que celle présentée à la section 4.1.3 pour déterminer les caractéristiques physiques et les taux d'émissions des sources d'émissions est utilisée. L'humidité du minerai et des stériles a été fixée à 5,4 % suivant la valeur donnée à la section 13.2.4 de l'AP -42, tableau 13.2.4-1, pour la catégorie *Iron and steel production, Lump ore*. Pour les résidus grossiers, une humidité de 5 % a été considérée selon les données d'ingénierie du projet.

Les pelles hydrauliques Caterpillar 6060 ont été considérées pour les paramètres physiques des sources de chargement dans la fosse. Les paramètres physiques utilisés dans le modèle sont présentés en annexe aux tableaux A2-8 à A2-12, et ce, pour les activités de production, l'opération des parcs à résidus et les activités de construction, respectivement. Ces tableaux présentent également le tonnage manipulé par heure pour chacune des sources et une estimation des taux d'émission calculée spécifiquement pour la présentation dans ce rapport avec la vitesse moyenne du vent de l'échantillon météorologique modélisé.

Variante d'opération pour le quartz

Comme mentionné à la section 3.3.2.2, une variante d'opération a été modélisée afin de réduire les concentrations de silice cristalline. Dans cette variante, les matériaux stériles à forte teneur en SiO₂ (comme le quartz et le gneiss) sont transportés au nord de la halde Sud (point P08b) plutôt qu'au sud (point P08). Cette variante apporte donc des modifications aux points de déchargement P08 (*dpp08b*) et aux points de chargements de stériles dans les fosses (*ldp01* et *ldp11*), ceux-ci sont donc remplacés par les points présentés au tableau A2-9. Cette situation survient environ à 18 % de l'année.

4.2.4 BOUTAGE

Plusieurs boteurs sont utilisés pour les diverses activités du projet. Ces équipements sont considérés comme des sources de matières particulaires. La même méthodologie que celle présentée à la section 4.1.4 pour déterminer les caractéristiques physiques et les taux d'émissions des sources d'émissions est utilisée. Une atténuation de 50 % a été appliquée à ces sources afin de représenter le taux d'utilisation et le caractère intermittent de ce type d'opération.

La description de chacune des activités est donnée ci-dessous.

ACTIVITÉS DE PRODUCTION

Pour les activités de production, deux boteurs sur roues et six boteurs sur chenilles sont en opération. Les boteurs sur roues ont été considérés pour la manipulation des piles tampon de minerai près de chacun des concasseurs. Deux boteurs sur chenilles ont été considérés à l'intérieur de chacune des fosses, en support aux excavatrices. Et enfin, deux boteurs sur chenilles sont considérés sur la halde Sud afin de disposer les stériles déposés.

Pour les matériaux manipulés (minerai et stériles), l'humidité a été fixée à 5,4 % et taux de silt à 9,5 % suivant les valeurs données à la section 13.2.4 de l'AP -42, tableau 13.2.4-1, *Iron and steel production, Lump ore*.

Les paramètres physiques et les taux d'émissions utilisés dans le modèle sont présentés en annexe au tableau A2-13.

Variante d'opération pour le quartz

Comme mentionné à la section 3.3.2.2, une variante d'opération a été modélisée afin de réduire les concentrations de silice cristalline. Dans cette variante, les matériaux stériles à forte teneur en SiO₂ (comme le quartz et le gneiss) sont transportés au nord de la halde Sud (point P08b) plutôt qu'au sud (point P08). Cette variante apporte donc des modifications aux positions des boteurs sur la halde Sud (*tdoz05* et *tdoz06*), ceux-ci sont donc déplacés près du point P08b. Ces sources sont donc remplacées par les sources du tableau A2-14. Cette situation survient environ à 18 % de l'année.

OPÉRATION DES PARCS À RÉSIDUS

Pour l'opération des parcs à résidus, un boteur sur roue est prévu pour la manipulation des résidus fins dans le bassin A et deux boteurs sont prévus pour le rehaussement progressif des digues des parcs à résidus grossiers.

Pour les boteurs actifs dans les résidus grossiers une teneur en silt de 8,0 % basée sur les analyses granulométriques des résidus grossiers et une humidité de 5 % basée sur les données d'ingénierie du projet ont été utilisées. Pour sa

part, le boueur actif dans le parc à résidus fins travaille dans une zone saturée d'eau et n'est donc pas considéré comme une source fugitive de particules.

Les paramètres physiques et les taux d'émissions utilisés dans le modèle sont présentés en annexe au tableau A2-15.

ACTIVITÉS DE CONSTRUCTION

Pour les activités de construction, six boueurs sont prévus être actif pour le quart de jour et trois boueurs pour le quart de nuit. Ceux-ci sont positionnés aux diverses zones de construction (digue A, digue Est, HPA Nord et concasseur mobile). Pour ces équipements, l'humidité a été fixée à 5,4 % et taux de silt à 9,5 % suivant les valeurs données à la section 13.2.4 de l'AP -42, tableau 13.2.4-1, *Iron and steel production, Lump ore*.

Les paramètres physiques et les taux d'émissions utilisés dans le modèle sont présentés en annexe au tableau A2-16.

4.2.5 CONCASSEUR MOBILE

Les opérations de concassage et de criblage effectuées pour la fabrication de granulat pour la construction ont été considérées. *La description détaillée de l'unité de concassage n'étant pas disponible, des hypothèses jugées conservatrices ont alors dû être effectuées pour les fins de la modélisation.* Une ligne de concassage, constituée d'un concasseur et d'une unité de criblage, est considérée près du point P19. Un taux d'alimentation de 650 t/h a été supposé pour chacun des équipements.

Les matières particulaires émises par les unités et ont été estimées à l'aide des facteurs d'émission proposés à la section 11.19.2, *Crushed Stone Processing and Pulverized Mineral Processing* de l'AP-42 et du taux d'alimentation des unités. De façon conservatrice, le facteur d'émission proposé pour le concassage tertiaire a été utilisé pour le concasseur tandis que le facteur d'émission proposé pour le criblage a été utilisé pour l'unité de criblage.

Ces opérations de concassage et de criblage ont été représentées dans les modélisations à l'aide de sources volumiques. Les paramètres physiques et les taux d'émission sont présentés au tableau A2-17.

Les émissions des gaz d'échappement des unités de concassages et de criblages ont également été considérées dans la modélisation. Ceux-ci ont été modélisés comme des équipements localisés tels que décrits à la section 4.1.7.

Finalement, tel que décrit à la section 11.24 de l'AP-42, il est admis que les émissions de particules produites par l'alimentation du concasseur et par le transfert des matériaux d'une unité à l'autre sont incluses dans les facteurs d'émissions donnés. Néanmoins, une source de déchargement représentant la chute du convoyeur du cribleur a été considérée. Les émissions de cette source ont été estimées selon la même méthode que les déchargements de la section 4.2.3 et les paramètres physiques et les taux d'émission sont présentés au tableau A2-18.

4.2.6 SAUTAGE

Le tonnage de matériaux sauté prévu pour l'année 2034 est de 98 912 597 tonnes. Ce tonnage est extrait sur une année complète. Les données d'ingénieries spécifiques aux sautages transmises par BBA, selon la planification minière de mai 2019, ont été utilisées, ceux-ci prévoient des sautages avec 30 % d'ANFO avec des bancs de 14 m. Les sautages sont prévus à une fréquence de deux sautages par semaine. De plus, les sautages surviendront dans une proportion d'environ 76 % dans la fosse Chief Phase 2 et 24 % dans la fosse Bloom Ouest. Les paramètres utilisés pour la modélisation des sautages sont détaillés au tableau 17. Deux variantes de ce scénario ont donc été modélisées, soit une variante pour chaque position de sautage.

Le volume sauté est de 318 085 m³, ce qui correspond à 438 trous par sautage et à une surface de 22 720 m². Les sautages sont considérés à 12 h dans la modélisation.

Les émissions ont été estimées selon la même méthode que la section 4.1.5 et la hauteur du souffle a quant à elle été estimée à environ 20 m.

Ces émissions sont représentées dans la modélisation à l'aide d'une source volumique. Les caractéristiques et les taux d'émissions de cette source sont présentés en annexe au tableau A2-19.

Tableau 17 : Paramètres utilisés pour la modélisation des sautages et du forage – Scénario d'exploitation

Paramètres de forage/sautage	Unité	Variable	Valeur	Référence ^[1]
Tonnage extrait	tonne	T	98 912 597	Planification minière mai 2019 l'année 2034
Facteur de poudre	kg/tonne	PWD	0,405	BBA, Intrants reçus par courriel, 2019-02-20
Densité de l'explosif	tonne/m ³	Erho	1.050	BBA, Intrants reçus par courriel, 2019-02-20
Quantité totale d'explosif requis	tonne	EQy	40 083	$t \cdot \text{PWD} / 1\,000$
Volume total d'explosif requis	m ³	EVy	38 174	EQy / Erho
Diamètre du trou foré	m	D	0,311	BBA, Intrants reçus par courriel, 2019-02-20
Hauteur de banc	m	BH	14	BBA, Intrants reçus par courriel, 2019-02-20
Hauteur du collet	m	SL	4,5	BBA, Intrants reçus par courriel, 2019-02-20
Sous forage	m	SD	1,5	BBA, Intrants reçus par courriel, 2019-02-20
Hauteur de forage	m	HL	15,5	$\text{BH} + \text{SD}$
Hauteur de la colonne d'explosif	m	C	11,0	$\text{HL} - \text{SL}$
Volume d'explosif par forage	m ³ /trou	EVh	0.838	$\text{Pi} \cdot (\text{D}/2)^2 \cdot \text{C}$
Quantité d'explosif par forage	tonne/trou	EQh	0,880	$\text{EVh} \cdot \text{Erho}$
Nombre de forages par sautage	trous/saut.	NHb	438	BBA, Intrants reçus par courriel, 2019-02-20
Nombre total de forages	trous	NHy	45 570	EVy / EVh
Nombre total de sautages	saut.	NBy	104	NHy / NHb
Quantité d'explosif par sautage	tonne/saut.	EQb	385,41	$\text{EQh} \cdot \text{NHb}$
Burden	m	B	6,70	BBA, Intrants reçus par courriel, 2019-02-20
Spacing	m	S	7,74	BBA, Intrants reçus par courriel, 2019-02-20
Surface de sautage par forage	m ² /trou	BAh	51,9	$\text{B} \cdot \text{S}$
Surface de sautage totale	m ² /saut.	BA	22 720	$\text{BAh} \cdot \text{NHb}$
Ratio d'ANFO de l'explosif	%	Ra	30 %	BBA, Intrants reçus par courriel, 2019-02-20
Ratio d'émulsion de l'explosif	%	Re	70 %	$1 - \text{Ra}$

[1] L'ensemble des informations a été fourni par BBA.

Mesures d'atténuation spécifiques pour le contrôle des émissions de la silice cristalline

Comme mentionné à la section 3.3.2.2, des mesures d'atténuation spécifiques pour le contrôle des émissions de silice cristalline ont été modélisées afin de réduire les concentrations de silice cristalline. Les mesures considérées pour les sautages sont les suivantes :

Restrictions d'angle de vent pour les sautages

Une mesure d'atténuation spécifique considérant des restrictions des sautages en fonction des angles de vent a été modélisée. Les angles ont été déterminés en fonction de la position des sautages et de la position des récepteurs sensibles. Les directions de vents où les sautages ont été repoussés sont les suivantes :

- Sautage fosse Chief : Direction de provenance des vents entre 272 et 328 degrés
- Sautage fosse Bloom Ouest : Direction de provenance des vents entre 272 et 312 degrés

Cette situation survient en moyenne environ à 30 % du temps pour l'heure considéré dans la modélisation. Cette mesure est mise en place pour les sautages de toutes les lithologies, à l'exception de l'amphibolite qui présente une faible teneur en SiO₂.

Mesures d'atténuation pour le quartz

Une mesure d'atténuation spécifique considérant que la taille des sautages de quartz est limitée à 19 500 m², soit 376 trous par sautage, a également été modélisée. La quantité de quartz représente environ 7 % des matières sautées en 2034. Les caractéristiques et les taux d'émissions de ces sources ajustées sont présentés en annexe au tableau A2-20.

4.2.7 FORAGE

Les opérations de forage ont été considérées dans la modélisation. Pour les activités de production, sept foreuses ont été considérées et une cadence combinée de forage d'environ 117 trous par jour a été estimée. Cette cadence est obtenue à partir des données techniques du projet lorsque les patrons de forage pour chacune des lithologies sont considérés.

La même méthodologie que celle présentée à la section 4.1.6 pour déterminer les caractéristiques physiques et les taux d'émissions des sources d'émissions est utilisée. Les paramètres physiques et le taux d'émissions utilisé dans le modèle sont présentés en annexe au tableau A2-21.

Les foreuses ont été positionnées en fonction des quantités de matériaux extraits par zone d'exploitation, soit cinq foreuses dans la fosse Chief et deux foreuses dans la fosse Bloom Ouest. La caractérisation de la source a été établie en fonction des caractéristiques physiques des foreuses, soit des foreuses Caterpillar MD6640. Finalement, une atténuation de 70 % (DSEWPac, 2012) est considérée sur les émissions de poussières de forage afin de tenir compte du système d'épuration installé sur les foreuses de production (forage à l'eau).

4.2.8 GAZ D'ÉCHAPPEMENT

Les émissions provenant des gaz d'échappement (PMT, PM₁₀, PM_{2,5}, CO, NO_x et SO₂) des différents véhicules actifs sur le site ont été considérées lors de la modélisation. La flotte de véhicules prévue a été établie à partir des données techniques fournies par BBA pour la production et de diverses données d'ingénieries de MFQ.

Pour les véhicules hors route, la même méthodologie que celle présentée à la section 4.1.7 pour déterminer les caractéristiques physiques et les taux d'émissions des sources d'émissions est utilisée. Les différents paramètres et les taux d'émission calculés pour chacun des véhicules sont donnés aux tableaux 18 à 20, et ce, pour les activités de production, l'opération des parcs à résidus et les activités de construction, respectivement.

Basés sur la description des activités, les équipements considérés sont détaillés aux tableaux 21 à 23, et ce, pour les activités de production, l'opération des parcs à résidus et les activités de construction, respectivement. Ces tableaux, incluant le nombre d'équipements et le positionnement de ceux-ci, définissent le scénario modélisé pour les gaz d'échappement. Il est important de noter que les excavatrices principales dans les fosses et les foreuses de production sont électriques et ne présentent donc pas d'émission de gaz d'échappement.

Afin de caractériser les sources d'émission, la méthode de modélisation prévoit de séparer la machinerie présente sur le site en trois catégories distinctes : les équipements de transport, les équipements de support (camion d'arrosage, etc.) et les équipements localisés (excavatrices, boteurs, etc.). La méthodologie de modélisation des équipements est la même que celle décrite à la section 4.1.7. Cette catégorisation est donnée aux tableaux 21 à 23 pour chaque équipement du présent scénario.

Équipements localisés

La caractérisation et les taux d'émission des sources utilisées pour représenter les gaz d'échappement des équipements localisés sont donnés en annexe aux tableaux A2-22 à A2-24, et ce, pour les activités de production, l'opération des parcs à résidus et les activités de construction, respectivement.

Équipements de transport

Ces émissions ont été réparties sur les différents segments en fonction du temps moyen passé sur chacun d'eux (tableaux 24 à 27). Les sources associées au routage (voir section 4.2.2) ont été utilisées pour la modélisation de ces gaz d'échappement.

Tableau 18 : Description et taux d'émissions calculés pour les véhicules hors route utilisés sur le site – Scénario d'exploitation – Activité de production

Véhicule	Type	Puissance (hp)	Tier	Facteur de chargement ^[1]	Taux d'émission par véhicule (g/s)				
					PM ₁₀ ^[2]	PM _{2,5}	CO	NO _x	SO ₂
Caterpillar 793F	Camion de transport hors route	2 478	T2	0,59	7.55E-02	7.32E-02	5.23E-01	1.60E+00	2.00E-03
Komatsu WA1200-6	Chargeuse sur roues	1 765	T2	0,59	5.38E-02	5.22E-02	3.72E-01	1.14E+00	1.42E-03
Caterpillar 18M3 (option T4N)	Niveleuse	304	T4N	0,59	6.75E-04	6.55E-04	4.82E-03	1.39E-02	1.74E-04
Caterpillar 16M	Niveleuse	332	T3	0,59	1.48E-02	1.44E-02	8.07E-02	1.43E-01	2.68E-04
Caterpillar 854K	Bouteur sur roues	801	T2	0,59	2.44E-02	2.37E-02	1.69E-01	5.16E-01	6.47E-04
Caterpillar D9T	Bouteur à chenilles	441	T3	0,59	1.97E-02	1.91E-02	1.07E-01	1.89E-01	3.56E-04
Caterpillar D10T	Bouteur à chenilles	603	T3	0,59	2.69E-02	2.61E-02	2.31E-01	2.59E-01	4.87E-04
Caterpillar 988H	Chargeuse sur roues	540	T3	0,59	2.41E-02	2.34E-02	1.31E-01	2.32E-01	4.36E-04
Komatsu WA900-3	Chargeuse sur roues	856	T2	0,59	2.61E-02	2.53E-02	1.81E-01	5.51E-01	6.91E-04
Caterpillar 390F-L	Excavatrice	524	T4N	0,59	1.16E-03	1.13E-03	8.30E-03	2.39E-02	3.00E-04
Komatsu WA600-6	Chargeuse sur roues	530	T3	0,59	2.37E-02	2.29E-02	1.29E-01	2.28E-01	4.28E-04
Komatsu WA250-6	Chargeuse sur roues	138	T3	0,59	9.59E-03	9.30E-03	3.45E-02	5.93E-02	1.11E-04
Caterpillar 777F	Camion de transport hors route	938	T2	0,59	2.86E-02	2.77E-02	1.98E-01	6.04E-01	7.57E-04
Caterpillar 6020	Excavatrice	1 043	T4i	0,59	1.74E-02	1.69E-02	1.50E-01	4.12E-01	5.96E-04
Caterpillar D10T	Bouteur à chenilles	603	T3	0,59	2.69E-02	2.61E-02	2.31E-01	2.59E-01	4.87E-04
Caterpillar 390D	Excavatrice	523	T3	0,59	2.33E-02	2.26E-02	1.27E-01	2.25E-01	4.22E-04
[1] Appendix A, Median life, annual activity and load factor values for nonroad engine emissions modeling (US-EPA, April 2004).									
[2] Toutes les émissions de particules sont considérées comme plus petites que 10 µm, et donc PMT = PM ₁₀ .									

Tableau 19 : Description et taux d'émissions calculés pour les véhicules hors route utilisés sur le site – Scénario d'exploitation – Opération des parcs à résidus

Véhicule	Type	Puissance (hp)	Tier	Facteur de chargement ^[1]	Taux d'émission par véhicule (g/s)				
					PM ₁₀ ^[2]	PM _{2,5}	CO	NO _x	SO ₂
Caterpillar 988H	Chargeuse sur roues	540	T3	0,59	2.41E-02	2.34E-02	1.31E-01	2.32E-01	4.36E-04
Caterpillar 345D-L	Excavatrice	380	T3	0,59	1.70E-02	1.64E-02	9.24E-02	1.63E-01	3.07E-04
Caterpillar D9T	Bouteur à chenilles	441	T3	0,59	1.97E-02	1.91E-02	1.07E-01	1.89E-01	3.56E-04
Caterpillar 16M	Niveleuse	332	T3	0,59	1.48E-02	1.44E-02	8.07E-02	1.43E-01	2.68E-04
Volvo A35E	Camion de transport hors route	414	T3	0,59	1.85E-02	1.79E-02	1.01E-01	1.78E-01	3.34E-04
Caterpillar 777F	Camion de transport hors route	938	T2	0,59	2.86E-02	2.77E-02	1.98E-01	6.04E-01	7.57E-04
Hamm 3520	Rouleau compresseur	207,7	T3	0.59	9.27E-03	8.99E-03	4.48E-02	8.92E-02	1.68E-04

[1] Appendix A, Median life, annual activity and load factor values for nonroad engine emissions modeling (US-EPA, April 2004).
[2] Toutes les émissions de particules sont considérées comme plus petites que 10 µm, et donc PMT = PM₁₀.

Tableau 20 : Description et taux d'émissions calculés pour les véhicules hors route utilisés sur le site – Scénario d'exploitation – Activités de construction

Véhicule	Type	Puissance (hp)	Tier	Facteur de chargement ^[1]	Taux d'émission par véhicule (g/s)				
					PM ₁₀ ^[2]	PM _{2,5}	CO	NO _x	SO ₂
Caterpillar 730	Camion de transport hors route	325	T3	0,59	1.45E-02	1.41E-02	7.90E-02	1.40E-01	2.62E-04
Caterpillar 775G	Camion de transport hors route	791	T2	0,59	2.41E-02	2.34E-02	1.67E-01	5.09E-01	6.38E-04
Caterpillar D8T	Bouteur à chenilles	310	T3	0,59	1.38E-02	1.34E-02	7.54E-02	1.33E-01	2.50E-04
Caterpillar D6T	Bouteur à chenilles	188	T3	0,59	8.39E-03	8.14E-03	4.06E-02	8.07E-02	1.52E-04
Caterpillar CS78B	Rouleau compresseur	173,7	T4i	0,59	3.86E-04	3.74E-04	2.85E-03	7.17E-02	9.94E-05
Caterpillar 374D-L	Excavatrice	476	T3	0,59	2.12E-02	2.06E-02	1.16E-01	2.04E-01	3.84E-04
Caterpillar 336D	Excavatrice	270	T3	0,59	1.20E-02	1.17E-02	5.82E-02	1.16E-01	2.18E-04
Kpijci 3055	Unité de concassage/criblage	415	T3	0,43	8.38E-03	8.12E-03	4.81E-02	1.25E-01	2.42E-04
Kpijci FT6203	Unité de concassage/criblage	225	T3	0.43	4.54E-03	4.40E-03	2.31E-02	6.77E-02	1.31E-04

[1] Appendix A, Median life, annual activity and load factor values for nonroad engine emissions modeling (US-EPA, April 2004).
[2] Toutes les émissions de particules sont considérées comme plus petites que 10 µm, et donc PMT = PM₁₀.

Tableau 21 : Description du scénario modélisé pour les gaz d'échappement – Scénario d'exploitation – Activité de production

Équipement	Disponibilité mécanique ^[1] (%)	Nombre d'équipement		Catégorie	Source(s) associée(s) pour le positionnement
		Total dans la flotte	Total considéré		
Caterpillar 793F	80 %	34	28	Transport	Sources de routage
Komatsu WA1200-6	100 %	4	4	Localisé	ldp02ox, ldp12ox, ldp01wx, ldp11wx
Caterpillar 18M3 (option T4N)	100 %	1	1	Support	Sources de routage
Caterpillar 16M	100 %	3	3	Support	Sources de routage
Caterpillar 854K	100 %	2	2	Localisé	wdoz01x, wdoz02x
Caterpillar D9T	100 %	2	2	Localisé	tdoz01x, tdoz02x
Caterpillar D10T	100 %	4	4	Localisé	tdoz03x, tdoz04x, tdoz05x, tdoz06x
Caterpillar 988H	100 %	1	1	Support	Sources de routage
Komatsu WA900-3	100 %	1	1	Support	Sources de routage
Caterpillar 390F-L	100 %	1	1	Support	Sources de routage
Komatsu WA600-6	100 %	4	4	Support	Sources de routage
Komatsu WA250-6	100 %	3	3	Support	Sources de routage
Caterpillar 777F	100 %	3	3	Support	Sources de routage
Caterpillar 6020	100 %	1	1	Support	Sources de routage
Caterpillar D10T	100 %	1	1	Support	Sources de routage
Caterpillar 390D	100 %	1	1	Support	Sources de routage
[1] Hypothèse.					

Tableau 22 : Description du scénario modélisé pour les gaz d'échappement – Scénario d'exploitation – Opérations des parcs à résidus

Équipement	Disponibilité mécanique ^[1] (%)	Nombre d'équipement		Catégorie	Source(s) associée(s) pour le positionnement
		Total dans la flotte	Total considéré		
Caterpillar 988H	100 %	3	3	Localisé	ldp30obx, wl01x
Caterpillar 345D-L	100 %	3	3	Localisé	ldp30oax, exc01x
Caterpillar D9T	100 %	3	3	Localisé	tdozop1x, tdozop2x, tdozop3x
Caterpillar 16M	100 %	1	1	Support	Sources de routage
Volvo A35E	100 %	2	2	Transport	Sources de routage
Caterpillar 777F	100 %	2	2	Transport	Sources de routage
Hamm 3520	100 %	1	1	Localisé	comp01x
[1] Hypothèse.					

Tableau 23 : Description du scénario modélisé pour les gaz d'échappement – Scénario d'exploitation – Activité de construction

Équipement	Disponibilité mécanique ^[1] (%)	Nombre d'équipement			Catégorie	Source(s) associée(s) pour le positionnement
		Total dans la flotte	Total considéré Jour	Total considéré Nuit		
Caterpillar 730	100 %	7	7	2	Transport	Sources de routage
Caterpillar 775G	100 %	7	7	5	Transport	Sources de routage
Caterpillar D8T	100 %	4	4	3	Localisé	tdoz01cx, tdoz02cx, tdoz03cx, tdoz04cx
Caterpillar D6T	100 %	2	2	0	Localisé	tdoz05cx, tdoz06cx
Caterpillar CS78B	100 %	4	4	2	Localisé	compc1x, compc2x, compc3x, compc4x
Caterpillar 374D-L	100 %	4	4	3	Localisé	ldp34rcx, ldp32rcx
Caterpillar 336D	100 %	2	2	0	Localisé	ldp19wcx
Kpijci 3055	100 %	1	1	0	Localisé	crushx
Kpijci FT6203	100 %	1	1	0	Localisé	screenx
[1] Hypothèse.						

Tableau 24 : Répartition des taux d'émission des gaz d'échappement – Scénario d'exploitation – Activité de production

Nom du segment	Temps passé sur chaque segment (%)		Taux d'émission (routage + support) (g/s)				
	Caterpillar 793F	Véhicules de Support	PM ₁₀ ¹	PM _{2,5}	CO	NOx	SO ₂
P03_P01	4,3	4,3	1.07E-01	1.04E-01	7.26E-01	2.13E+00	2.76E-03
P03_P02	3,1	3,1	7.61E-02	7.38E-02	5.18E-01	1.52E+00	1.97E-03
P03_P04	8,6	8,6	2.13E-01	2.07E-01	1.45E+00	4.27E+00	5.51E-03
P04_P05	8,2	8,2	2.03E-01	1.97E-01	1.38E+00	4.06E+00	5.24E-03
P05_P06	20,1	20,1	5.01E-01	4.86E-01	3.41E+00	1.00E+01	1.29E-02
P05_P09	9,4	9,4	2.35E-01	2.28E-01	1.60E+00	4.70E+00	6.07E-03
P07_P06	13,0	13,0	3.24E-01	3.14E-01	2.20E+00	6.47E+00	8.36E-03
P07_P08	11,9	11,9	2.96E-01	2.87E-01	2.01E+00	5.91E+00	7.63E-03
P09_P13	0,3	0,3	8.28E-03	8.03E-03	5.63E-02	1.65E-01	2.14E-04
P09_P24	1,3	1,3	3.33E-02	3.23E-02	2.27E-01	6.66E-01	8.60E-04
P10_P06	8,2	8,2	2.05E-01	1.99E-01	1.39E+00	4.10E+00	5.29E-03
P10_P09	1,5	1,5	3.71E-02	3.60E-02	2.53E-01	7.42E-01	9.59E-04
P10_P11	1,5	1,5	3.77E-02	3.65E-02	2.56E-01	7.53E-01	9.72E-04
P10_P12	0,7	0,7	1.67E-02	1.62E-02	1.14E-01	3.34E-01	4.31E-04
P13_P14	0,4	0,4	1.09E-02	1.06E-02	7.41E-02	2.18E-01	2.81E-04
P13_P17	0,1	0,1	2.78E-03	2.70E-03	1.89E-02	5.57E-02	7.19E-05
P14_P15	2,3	2,3	5.70E-02	5.53E-02	3.88E-01	1.14E+00	1.47E-03
P17_P18	0,5	0,5	1.34E-02	1.30E-02	9.12E-02	2.68E-01	3.46E-04
P18_P19	0,0	0,0	9.32E-04	9.04E-04	6.34E-03	1.86E-02	2.41E-05
P21_P22	0,7	0,7	1.75E-02	1.69E-02	1.19E-01	3.49E-01	4.51E-04
P24_P25	2,4	2,4	5.96E-02	5.78E-02	4.06E-01	1.19E+00	1.54E-03
P25_P21	1,3	1,3	3.28E-02	3.19E-02	2.24E-01	6.57E-01	8.48E-04

[1] Toutes les particules émises sont supposées être plus petites que 10 microns donc PMT = PM₁₀.

Tableau 25 : Répartition des taux d'émission des gaz d'échappement – Scénario d'exploitation – Opération des parcs à résidus

Nom du segment	Temps passé sur chaque segment (%)			Taux d'émission (routage + support) (g/s)				
	Volvo A35E	Caterpillar 777F	Véhicules de Support	PM ₁₀ ¹	PM _{2,5}	CO	NOx	SO ₂
P30_P31	100,0	100,0	100,0	1.09E-01	1.06E-01	6.78E-01	1.71E+00	2.45E-03

[1] Toutes les particules émises sont supposées être plus petites que 10 microns donc PMT = PM₁₀.

Tableau 26 : Répartition des taux d'émission des gaz d'échappement – Scénario d'exploitation – Activité de construction – Quart de jour

Nom du segment	Temps passé sur chaque segment (%)			Taux d'émission (routage + support) (g/s)				
	Caterpillar 730	Caterpillar 775G	Véhicules de Support	PM ₁₀ ¹	PM _{2,5}	CO	NOx	SO ₂
P18_P19	7,9	3,2	5,1	1.34E-02	1.30E-02	8.13E-02	1.92E-01	2.89E-04
P20_P26	0	3,9	2,3	6.59E-03	6.39E-03	4.56E-02	1.39E-01	1.75E-04
P20_P33	0	1,7	1,0	2.79E-03	2.71E-03	1.93E-02	5.89E-02	7.39E-05
P26_P27	0	9,9	5,9	1.66E-02	1.61E-02	1.15E-01	3.52E-01	4.41E-04
P26_P28	34,5	47,3	42,1	1.15E-01	1.11E-01	7.43E-01	2.02E+00	2.75E-03
P26_P34	8,1	11,1	9,9	2.69E-02	2.61E-02	1.74E-01	4.74E-01	6.44E-04
P28_P32	13,7	18,8	16,7	4.56E-02	4.43E-02	2.95E-01	8.04E-01	1.09E-03
P33_P18	10,3	4,2	6,7	1.75E-02	1.70E-02	1.06E-01	2.51E-01	3.77E-04
P33_P29	25,6	0	10,4	2.60E-02	2.52E-02	1.41E-01	2.50E-01	4.70E-04

[1] Toutes les particules émises sont supposées être plus petites que 10 microns donc PMT = PM₁₀.

Tableau 27 : Répartition des taux d'émission des gaz d'échappement – Scénario d'exploitation – Activité de construction – Quart de nuit

Nom du segment	Temps passé sur chaque segment (%)			Taux d'émission (routage + support) (g/s)				
	Caterpillar 730	Caterpillar 775G	Véhicules de Support	PM ₁₀ ¹	PM _{2,5}	CO	NOx	SO ₂
P18_P19	0	1,3	0,9	1.53E-03	1.49E-03	1.06E-02	3.24E-02	4.06E-05
P20_P26	0	1,5	1,1	1.85E-03	1.80E-03	1.28E-02	3.91E-02	4.90E-05
P20_P33	0	0,7	0,4	7.83E-04	7.60E-04	5.42E-03	1.66E-02	2.08E-05
P26_P27	0	3,9	2,7	4.68E-03	4.54E-03	3.24E-02	9.88E-02	1.24E-04
P26_P28	61,3	55,8	57,5	8.50E-02	8.24E-02	5.62E-01	1.59E+00	2.10E-03
P26_P34	14,4	13,1	13,5	1.99E-02	1.93E-02	1.32E-01	3.73E-01	4.93E-04
P28_P32	24,4	22,2	22,9	3.38E-02	3.28E-02	2.24E-01	6.33E-01	8.36E-04
P33_P18	0	1,7	1,1	2.00E-03	1.94E-03	1.38E-02	4.22E-02	5.29E-05
P33_P29	0	0	0	0	0	0	0	0

[1] Toutes les particules émises sont supposées être plus petites que 10 microns donc PMT = PM₁₀.

Équipements de support minier

La répartition du temps passé sur chacun des segments par les véhicules de transport est présentée aux tableaux 24 à 27, et ce, pour les activités de production, l'opération des parcs à résidus et les activités de construction, respectivement. Les taux d'émissions sont finalement calculés en fonction du nombre d'équipements et du temps passé sur chacun des segments. Les taux d'émissions par segment y sont également présentés.

4.2.9 ÉROSION ÉOLIENNE

Dans la modélisation du scénario d'exploitation, l'érosion éolienne des haldes, des aires de construction et des parcs à résidus a été prise en compte. La méthodologie pour le calcul des émissions est la même que celle présentée à la section 4.1.8.

L'érosion éolienne a été représentée dans les modélisations à l'aide de sources surfaciques. Les caractéristiques physiques considérées, ainsi que les taux d'émission calculés, sont présentées aux tableaux A2-25 et A2-26, et ce, pour les haldes et aires de construction et les parcs à résidus, respectivement.

HALDES ET AIRES DE CONSTRUCTION

Comme présentées à la section 4.1.8, les surfaces actives considérées de la halde Sud et de la construction de la digue A correspondent à la surface où s'effectuent des opérations de déchargement au cours d'un mois d'activité.

L'érosion éolienne d'une pile d'entreposage de granulat, près du concasseur mobile, a également été considérée. Peu de données techniques sont disponibles pour la caractérisation de cette pile, une hypothèse d'une pile correspondante à environ sept jours de production a été considérée.

En absence de données spécifiques au projet pour le stérile, leur teneur en limon (silt) a été fixée à 9,5 % suivant la valeur donnée à la section 13.2.4 de l'AP -42, tableau 13.2.4-1 et selon la catégorie *Iron and steel production, Lump ore*.

Comme mentionné à la section 3.3.2.2, des variantes d'opération ont été modélisées afin de réduire les concentrations de silice cristalline. Les variantes pour l'érosion éolienne sont les suivantes :

Variante d'opération pour le quartz

Dans cette variante, les matériaux stériles à forte teneur en SiO_2 (comme le quartz et le gneiss) sont transportés au nord de la halde Sud (point P08b) plutôt qu'au sud (point P08). Cette variante apporte donc une source d'érosion éolienne supplémentaire (*hsudq*) au nord de la halde. Puisque cette situation survient à environ 18 % de l'année, la surface considérée correspond donc à environ 18 % de la surface de la source *hsud*.

Mesures d'atténuation spécifiques pour le contrôle des émissions de silice cristalline

Finalement, une mesure d'atténuation supplémentaire est considérée. Cette mesure consiste en un recouvrement du quartz déposé sur la halde Sud par de l'amphibolite, et ce, à l'intérieur d'une semaine suivant le dépôt sur la halde afin de limiter l'érosion éolienne de poussières à haute teneur en silice cristalline. Cette mesure se traduit par une atténuation d'environ 75 %⁶ pour les émissions de SiO_2 .

⁶ L'atténuation de 75 % est calculée à partir de la réduction effective de la surface active à 1 semaine plutôt que 1 mois (soit environ 4 semaines) pour le quartz. Bien entendu, une surface active supplémentaire équivalente d'amphibolite utilisée pour le recouvrement devrait également être considérée. Or, la surface de la source *hsud* contient déjà l'équivalent d'une surface d'un mois pour l'ensemble du stérile extrait de la fosse. Cette surface d'amphibolite est donc déjà considérée. De plus, l'atténuation est seulement considérée pour les émissions de SiO_2 et l'amphibolite en contient très peu.

PARCS À RÉSIDUS

Pour les parcs à résidus, l'ensemble des surfaces exposées a été considéré. Le plan des infrastructures des parcs à résidus n'étant pas disponible pour l'année de modélisation (2034), le plan à l'ultime, soit à l'année 2040, est utilisé. Les surfaces considérées sont alors beaucoup plus grandes que celles réellement prévues pour l'année de modélisation, ce qui constitue une approche conservatrice.

Suivant les informations fournies par l'ingénierie, l'humidité de la surface varie d'un parc à l'autre et d'une section à l'autre. Les sections des parcs ont donc été séparées en différentes sources pour tenir compte des différentes humidités et, également, des différentes élévations des surfaces. Selon les données d'ingénierie, l'humidité des zones désaturées des résidus grossiers est estimée à 5 %, celle des zones partiellement saturées des résidus grossiers à 18 % et les zones de résidus fins saturées à 50 %. Selon la même méthode que celle présentée à la section 4.1.8, un facteur d'atténuation de 4,8 % est calculé pour les résidus grossiers à 5 % d'humidité, un facteur d'atténuation de 0,4 % est calculé pour les résidus grossiers à 18 % d'humidité. Finalement, en raison du haut taux d'humidité du parc à résidus fins, ce dernier est considéré comme une source négligeable de particules et est omis dans la modélisation. Pour les parcs à résidus grossiers, une teneur en silt de 8,0 % basée sur les analyses granulométriques des résidus grossiers a été utilisée. Il est également pertinent de préciser que les parcs sont gelés en période hivernale (décembre à mars, inclusivement) et ne sont donc pas considérés comme des sources d'émission au cours de cette période.

4.3 AUTRES SOURCES

Les sources d'émissions occasionnelles ou présentant une contribution marginale aux émissions totales de particules et gaz de combustions n'ont pas été prises en compte pour la modélisation de la dispersion atmosphérique. Par exemple, les déplacements pour la manutention de faibles volumes (camionnette), le dépoussiéreur du laboratoire de tests métallurgiques, etc.

Un convoyeur de secours, une pile extérieure et une trémie de récupération sont également prévus sur chacune des lignes de production. Dans le cas où un des silos est rempli et le train est en retard, le concentré est entassé à l'extérieur, sur un site prévu pour accueillir 80 000 t de concentré. Ces piles présenteront une élévation maximale de 11 m et les fréquences d'utilisation prévue sont faibles (1,5 % du temps). Ces infrastructures ne sont donc pas incluses dans le modèle. Il est important de rappeler que tous les autres convoyeurs et points de transfert sont fermés et ne sont donc pas considérés comme des sources d'émissions.

Finalement, il faut noter que le chemin de fer ainsi que la tour de chargement du concentré sont situés au Labrador. Ces sources ne sont donc pas traitées dans la modélisation.

5 MÉTHODOLOGIE

5.1 CHOIX DU MODÈLE DE DISPERSION

La modélisation vise à documenter la portée et l'ampleur des rejets atmosphériques du projet, et à vérifier la conformité des concentrations potentielles avec la réglementation québécoise applicable.

L'approche de modélisation choisie est basée sur l'utilisation du logiciel météorologique diagnostique AERMET (version 18081) et du modèle de dispersion AERMOD (version 18081), deux programmes informatiques recommandés par le MELCC (MDDEP 2005, section 8.2.3).

5.2 DESCRIPTION DU MODÈLE DE DISPERSION AERMOD

Le programme AERMOD permet de réaliser des études de 2^e niveau (MDDEP, 2005). Ce type d'étude est exigé lorsque l'une des conditions suivantes est rencontrée :

- projet situé dans un parc industriel;
- présence de sources émettrices multiples;
- somme des concentrations simulées et ambiantes (bruit de fond) égale ou supérieure à 80 % de la norme applicable;
- projet situé en bordure d'un plan d'eau;
- sources émettant des polluants toxiques ou dangereux.

Le programme AERMOD est un modèle gaussien de dispersion permettant de calculer les concentrations de composés gazeux ou de matières particulaires résultant des émissions de sources ponctuelles, surfaciques ou volumiques en milieu urbain ou rural. Le programme comporte les caractéristiques suivantes :

- utilisation de données météorologiques horaires;
- création de profils de température, de vent et de turbulence afin de déterminer une hauteur de mélange mécanique et convective;
- fonction de distribution des probabilités s'adaptant aux conditions de stabilité de l'atmosphère (gaussienne ou non);
- intégration de caractéristiques de surface du terrain telles que la rugosité, l'albédo et le ratio de Bowen;
- grille de points-calcul (récepteurs) flexible;
- incorporation de termes d'ajustement permettant de tenir compte des propriétés physico-chimiques pouvant affecter le comportement de certains composés.

Le programme utilise des données météorologiques horaires afin d'estimer les concentrations de particules ou substances gazeuses dans l'air ambiant à différents points-calcul pour différentes périodes (ex. : horaire, 8 heures, 24 heures, annuelle, etc.). Il intègre également le module BPIP-PRIME (*Building Profile Input Program*) permettant de tenir compte de l'effet de sillage (turbulence) induit par la présence de bâtiments. Cette option est particulièrement importante dans le cas où des édifices susceptibles de modifier l'écoulement de l'air se retrouvent à proximité des sources d'émissions ponctuelles.

5.3 DOMAINE DE MODÉLISATION

Le domaine de modélisation détermine les limites géographiques dans lesquelles s'insère la modélisation de la dispersion atmosphérique. Pour le site à l'étude, le domaine de modélisation est situé dans la zone UTM 19 de l'hémisphère nord et s'étend de part et d'autre des installations sur une distance de 17 km de long par 15 km de large (voir carte B1-2). Le coin sud-ouest du domaine est situé au point X = 622 700 m; Y = 5 848 500 m. Le domaine

couvre ainsi une superficie suffisante afin d'inclure l'ensemble des premières zones d'utilisation du territoire susceptibles d'être exposées aux émissions atmosphériques.

5.4 TOPOGRAPHIE

La topographie du terrain à l'intérieur du domaine de modélisation est prise en considération par le modèle de dispersion AERMOD à l'aide du préprocesseur AERMAP. La topographie a été générée pour chacun des scénarios étudiés. En ordre de priorité, les trois sources de données suivantes ont été utilisées pour générer les différentes topographies de la mine :

- les dessins techniques des infrastructures pour les scénarios étudiés (fosse, haldes, etc.);
- le LIDAR, couvrant le voisinage immédiat des installations de la mine;
- le modèle numérique d'altitude (MNA) 1:20 000 produit par la Direction de la cartographie topographique du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN) du Québec;
- les Données numériques d'Élévation du Canada (DNEC) 1:50 000 produites par la Direction de l'information cartographique du ministère des Ressources naturelles du Canada.

Le MNA offre une représentation numérique du relief d'un territoire généré à partir de données altimétriques (altitude) et planimétriques (rectangulaires ou géographiques). Le MNA standard fournit des valeurs d'altitude qui reposent sur un quadrillage de 0,324 seconde d'arc en coordonnées géographiques, ce qui correspond à une résolution d'environ 10 mètres sur le terrain⁷. Les DNEC offrent quant à elles des valeurs d'altitude à une résolution de base de 0,75 seconde d'arc, ce qui correspond à une résolution d'environ 20 mètres pour le domaine d'intérêt.

5.5 PRÉPARATION DES DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES

L'échantillon météorologique utilisé pour la modélisation avec le programme AERMOD (version 18081) a été préparé à l'aide du module AERMET (version 18081) de l'U.S. EPA (Environmental Protection Agency). Le module AERMET permet de créer un format de fichier météorologique horaire compatible avec l'exécution du programme AERMOD en combinant les données météorologiques avec la caractérisation de l'utilisation du sol.

5.5.1 STATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

La station météorologique la plus près du site de l'étude est celle de Wabush (CYWK), située à environ 31 km du site minier. La région du lac Bloom présente une topographie très variable influençant fortement la météorologie de méso-échelle. Pour cette raison, la station météorologique de Wabush n'est pas représentative en ce qui concerne les effets locaux influençant la dispersion atmosphérique.

Deux stations météorologiques sont installées sur le site de la mine du lac Bloom : l'une est installée sur le site de la mine et la seconde est au sud du site à proximité de la route 389. La carte B1-5 présente la localisation des deux stations météorologiques.

La première station météorologique est installée depuis le 22 octobre 2014 au milieu du site sur le toit d'un bâtiment. Les paramètres mesurés sont la vitesse et la direction des vents, la température, la pression et l'humidité. La seconde (station PW), située au sud de la mine du lac Bloom, a été installée en octobre 2017. Les paramètres mesurés sont la vitesse et la direction des vents ainsi que la température. L'enregistrement des paramètres a démarré le 21 octobre 2017. Ces ensembles de données météorologiques n'ont pas été retenus puisque d'une part ils ne comportent pas cinq années de données météorologiques et d'autre part ils n'incluent pas tous les paramètres météorologiques nécessaires.

⁷ https://mern.gouv.qc.ca/publications/territoire/expertise/13_MNA20k.pdf

Des données météorologiques provenant du modèle météorologique WRF (Weather Research and Forecast) ont par conséquent été utilisées. Ce choix est approfondi à la section 5.5.5.

5.5.1.1 DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES DE SURFACE ET AÉROLOGIQUES

Les données météorologiques ont été produites pour la période 2014-2018 avec la version 3.9 du modèle météorologique WRF (Shamarock et al., 2008). WRF est un modèle numérique de prévision du temps à méso-échelle développé dans un effort commun entre le « National Center for Atmospheric Research » (NCAR), le « National Centers for Environmental Prediction » (NCEP), le « Forecast Systems Laboratory » (FSL), l'« Air Force Weather Agency » (AFWA), l'« Oklahoma University » (OU) ainsi que d'autres universités. Les réanalyses climatiques ERA5 produites par ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) sont quant à elles utilisées comme conditions initiales et conditions aux limites pour alimenter le modèle.

Les réanalyses ERA5 sont utilisées dans plusieurs sciences et industries telles que la climatologie, l'agronomie, les énergies renouvelables, l'hydrologie, la qualité de l'air et l'océanographie. Celles-ci sont produites à partir d'un modèle météorologique qui combine plusieurs types d'observations météorologiques, tels que des stations de surface, des radiosondages, des avions et des satellites, et ce, avec une prévision à courte échéance. En fait, les données ERA5 sont accessibles sur tout le globe sur une grille ayant une résolution horizontale de 31 km.

Le modèle WRF utilise les réanalyses pour faire une descente d'échelle spatiale dynamique afin de reproduire les conditions météorologiques à fine échelle, soit au 2 km, en prenant en compte la topographie et les caractéristiques de la surface à haute résolution horizontale.

5.5.1.2 DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES DE SURFACE

Les paramètres météorologiques de surfaces utilisées dans le cadre de cette étude sont les suivants :

- Vitesse et direction du vent à 10 m;
- Température à 2 m;
- Humidité relative à 2 m;
- Pression de surface.

Les données horaires WRF sont reformatées pour être compatibles avec le module AERMET et utilisées comme station « surface ».

5.5.1.3 DONNÉES DE RAYONNEMENT NET ET COUVERTURE NUAGEUSE

Les paramètres de turbulence de la couche limite planétaire sont calculés par le module AERMET à partir du rayonnement net durant les conditions de couche limite convective (généralement pendant le jour) et de la couverture nuageuse durant les conditions de couche limite stable (généralement pendant la nuit) (US-EPA, 2004).

Dans le cadre de la présente étude, les données horaires de rayonnement net et de couverture nuageuse utilisées proviennent des analyses MERRA-2 (Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version 2). MERRA-2 est un système d'analyse atmosphérique globale qui assimile les observations météorologiques et, particulièrement, les observations satellitaires du rayonnement et de la couverture nuageuse. Ces données horaires sont produites par la NASA et sont disponibles sur une grille horizontale d'une maille d'environ 50 km.

Cette approche offre un échantillon de données complet sur les cinq années retenues ainsi qu'une bonne représentativité du site à l'étude. Pour la présente étude, les données ont été extraites au point de grille le plus proche du site.

5.5.1.4 DONNÉES AÉROLOGIQUES

L'outil MMIF v3.3 de l'US-EPA est utilisé pour extraire et reformater les champs de sortie du modèle WRF au même point de grille de l'extraction des données de surface. Cette procédure permet de créer un fichier de radiosondage au format FSL compatible avec le module AERMET. Les variables météorologiques en altitude ayant été considérées pour la modélisation sont l'élévation à partir du sol, la pression atmosphérique et la température. Pour résumer, les principales caractéristiques des stations considérées sont présentées au tableau 28.

Tableau 28 : Caractéristiques des données météorologiques considérées

Type de données	Source	Données météorologiques
Surface	MERRA-2	Rayonnement net Couverture nuageuse
	WRF	Vitesse et direction du vent à 10 m Température à 2 m Humidité relative à 2 m Pression de surface
Altitude	WRF	Profil vertical de la température Profil vertical de la pression atmosphérique

5.5.2 CLASSIFICATION DU TERRITOIRE ET UTILISATION DU SOL

Le module AERMET utilise trois paramètres d'entrée liés aux caractéristiques du sol : le ratio de Bowen, l'albédo et la rugosité. Le ratio de Bowen est une mesure de l'humidité disponible pour l'évaporation, alors que l'albédo représente la portion de luminosité qui est reflétée du sol. La rugosité du sol est associée au frottement et à la variation, à petite échelle, du relief du terrain.

Comme recommandé dans le guide d'implémentation d'AERMOD (US-EPA, août 2015), l'évaluation de la rugosité est basée sur une moyenne géométrique pondérée par l'inverse de la distance, et ce, pour une zone de 1 km de rayon défini autour du site de mesure. Cette zone est découpée en plusieurs secteurs, dont la largeur n'est jamais inférieure à 30 degrés. La rugosité varie donc d'un secteur à un autre pour tenir compte des variations de la couverture terrestre. L'évaluation du ratio de Bowen et de l'albédo est effectuée sur un domaine de 10 km sur 10 km, centré sur le site de mesure. Une moyenne géométrique non pondérée (indépendante de la direction ou de la distance) est utilisée pour le ratio de Bowen alors qu'une moyenne arithmétique est utilisée pour l'albédo. Pour chacune des saisons et chacun des types de couvertures, les valeurs de rugosité, d'albédo et de ratio de Bowen sont tirées du guide de AERSURFACE (US-EPA, janvier 2013).

L'évaluation des caractéristiques de surface se fait donc autour du point d'extraction des données météorologiques rapportées ci-dessus. En raison de la localisation du projet, deux saisons ont été considérées pour l'évaluation de ces caractéristiques soit l'hiver (novembre à avril inclusivement) et l'été (mai à octobre inclusivement).

Les valeurs estimées pour les différents paramètres sont présentées au tableau 29. Les catégories d'utilisation du sol définies dans un rayon de 1 km autour du point d'extraction des données WRF (près de la station d'enregistrement PW) sont pour leur part illustrées à la carte B1-3.

Tableau 29 : Paramètres d'utilisation du sol autour du point de grille des données de surface

Saison	Albedo	Bowen	Rugosité (m) par secteur					
			A (1°-41°)	B (41°-115°)	C (115°-162°)	D (162°-251°)	E (251°-312°)	F (312°-1°)
Été (mai, juin, juillet, août, septembre, octobre)	0,136	0,310	0,775	0,825	0,733	0,702	0,544	0,326
Hiver (janvier, février, mars, avril, novembre, décembre)	0,378	0,500	0,720	0,759	0,614	0,577	0,416	0,251

5.5.3 CONFIGURATION D'AERMET

L'ensemble des paramètres par défaut du modèle AERMET sont utilisés. Depuis la version 16216 d'AERMET, l'option du modèle *ADJ_U** n'est plus une option bêta et a donc été intégrée dans la présente étude. Cette option ajuste la vitesse de friction de surface (u^*) lors de faibles vents sous les conditions stables.

De plus, l'option UASELECT est activée pour traiter les données aérologiques horaires, ce qui permet à AERMET de choisir le profil vertical optimal suivant l'heure locale du lever de soleil.

5.5.4 ÉCHANTILLON MÉTÉOROLOGIQUE

Conformément aux demandes du MELCC dans le cadre d'une modélisation de la dispersion atmosphérique de 2^e niveau (MDDEP, 2005), un échantillon météorologique couvrant les cinq années les plus récentes et représentatif de la région a été considéré. Dans ce contexte, les années météorologiques 2014 à 2018 ont été sélectionnées.

Les données de rayonnement net et de couverture nuageuse (MERRA-2) ainsi que les données de surface et aérologiques (ERA5) sont complètes à 100 %.

Les roses des vents de l'échantillon météorologique sont présentées par année à la figure 4. Les vents dominants soufflent majoritairement en provenance de l'ouest-nord-ouest. La vitesse moyenne du vent est de 5,98 m/s et le pourcentage moyen de vent calme est de 0,45 %⁸.

Finalement, il est important de souligner que la topographie n'est pas prise en compte par le modèle météorologique AERMET et que les paramètres météorologiques sont considérés comme identiques en tout point à l'intérieur du domaine de modélisation.

5.5.5 JUSTIFICATION DE L'UTILISATION DES DONNÉES WRF

Tel que mentionné à la section 5.5.1, le territoire entourant le projet présente de fortes variations topographiques susceptibles d'impacter la climatologie de méso-échelle. Pour cette raison, les données d'enregistrements de la station la plus près du site (Wabush; CYWK) ont été rejetées puisque jugées non représentatives.

Afin de démontrer l'impact de la topographie sur les régimes de vent du territoire entourant le site minier ainsi que la fiabilité du modèle WRF, les données WRF ont été extraites à plusieurs emplacements et comparées aux données d'enregistrement.

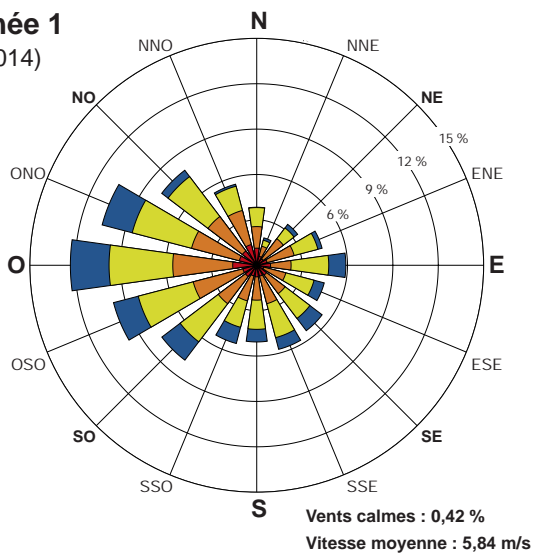
La figure 5 présente la rose des vents issue des données WRF extraites près de la station d'enregistrement PW ainsi que la rose des vents des données de la station d'enregistrement PW pour l'année 2018. À cet emplacement, WRF semble surestimer la vitesse des vents, mais représente bien le patron des directions. La figure 6 présente quant à elle la rose des vents issue des données WRF extraites près de la station d'enregistrement de Wabush ainsi que la rose des vents des données de la station d'enregistrement de Wabush pour la période 2014 à 2018 inclusivement. À cet emplacement, WRF surestime également la vitesse des vents, mais les similitudes entre les patrons de vents sont acceptables. De plus, il est possible de constater l'impact du territoire sur les régimes de vents en analysant les divergences entre les roses des vents issues des données d'enregistrement des deux emplacements.

Il est donc possible de conclure que la configuration du modèle WRF utilisée permet de reproduire les conditions météorologiques réelles dominantes sur la région du projet avec un degré de fiabilité acceptable et que la divergence entre les deux ensembles de données provenant de stations d'enregistrement indique la variabilité météorologique de méso-échelle de ce domaine.

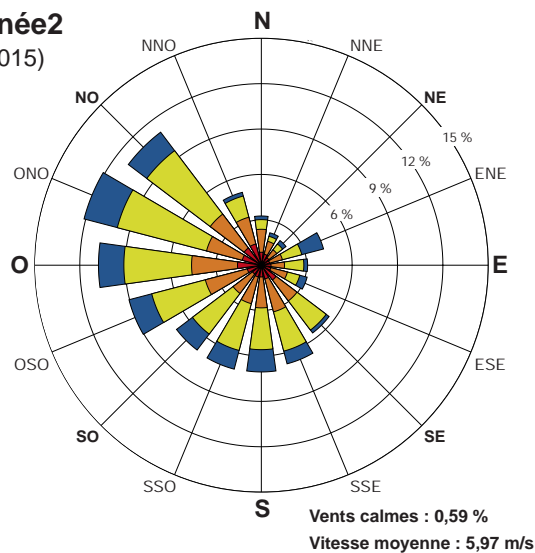
À la suite de cette analyse, il a été jugé que les données météorologiques d'enregistrement de Wabush ne peuvent pas représenter le site minier puisqu'elles proviennent d'une station trop éloignée. Conséquemment, les données WRF extraites près de la station d'enregistrement PW ont été sélectionnées et utilisées dans le cadre de cette étude afin de réduire les chances de modéliser des situations météorologiques non plausibles.

⁸ Le seuil utilisé ici pour les vents calmes est de 0,77 m/s, ou 1,5 nœud. Historiquement et selon le manuel des observations d'Environnement Canada (Environnement Canada, 2015), les données météorologiques sont arrondies au nœud entier le plus près et les vitesses inférieures à 2 nœuds sont rapportées comme vent calme. L'utilisation ici de 1,5 nœud comme seuil coïncide donc avec la méthode d'Environnement Canada afin de déterminer le pourcentage de vents calmes.

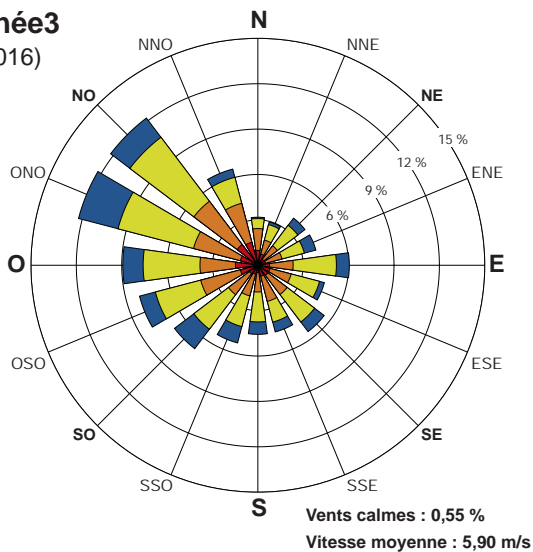
Année 1
(2014)



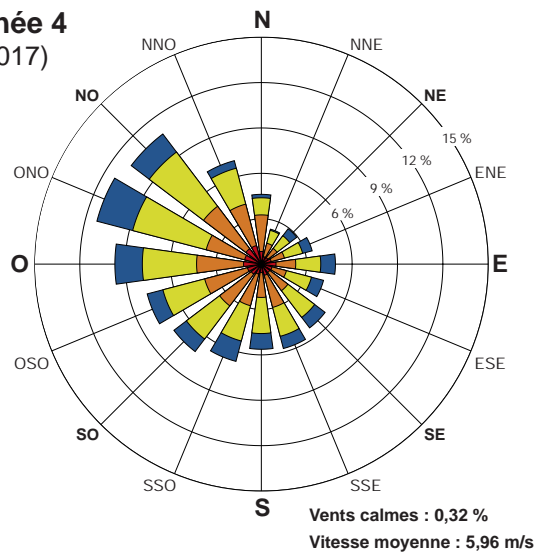
Année 2
(2015)



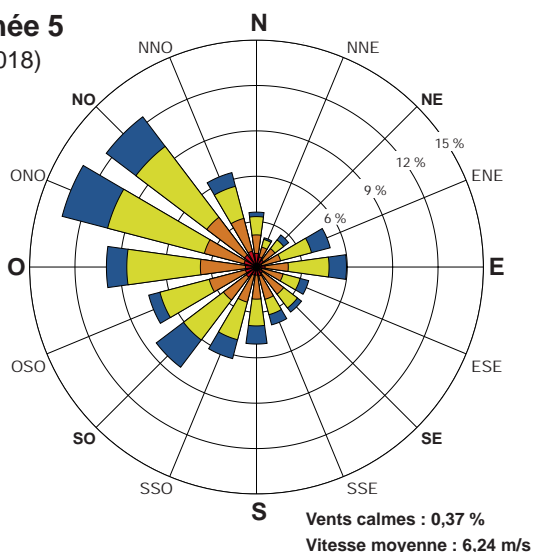
Année 3
(2016)



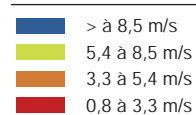
Année 4
(2017)



Année 5
(2018)



Vitesse des vents



Note :
Diagramme de la fréquence de provenance du vent,
par exemple, le vent souffle du nord 6,5 % du temps.



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus
et stériles miniers
Rapport sectoriel - Modélisation de la dispersion atmosphérique

Figure 4
Roses des vents
de l'échantillon météorologique

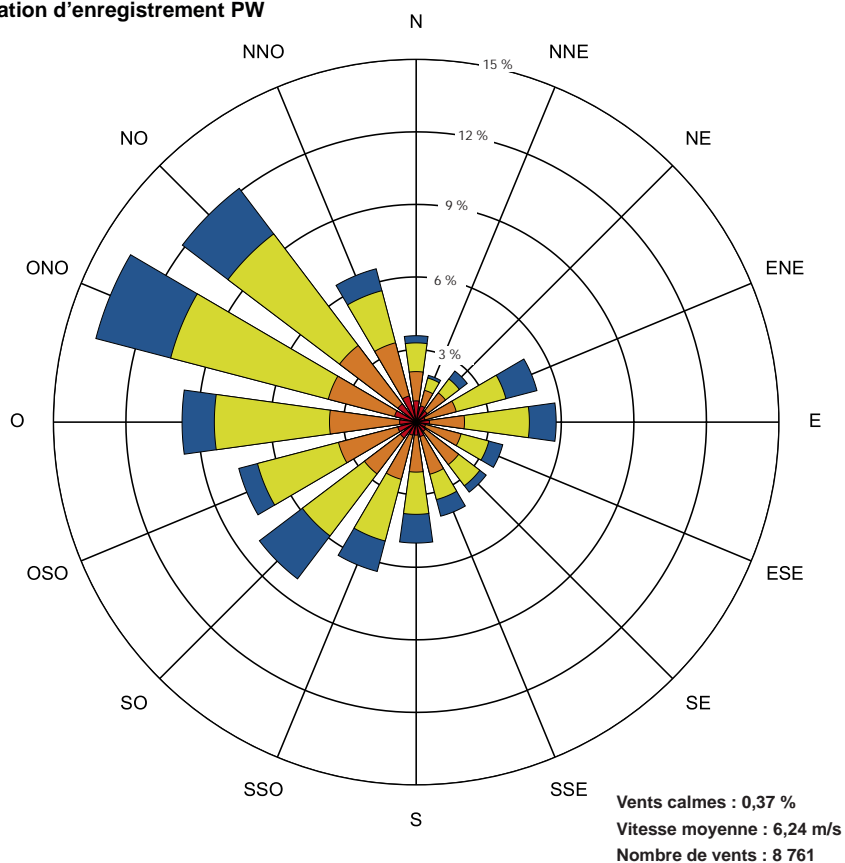
Sources :
Données AERMET v18081 (.SFC)
(Re-Analyses ERA5, WRF v3.9, MM5 v3.3)

Août 2019

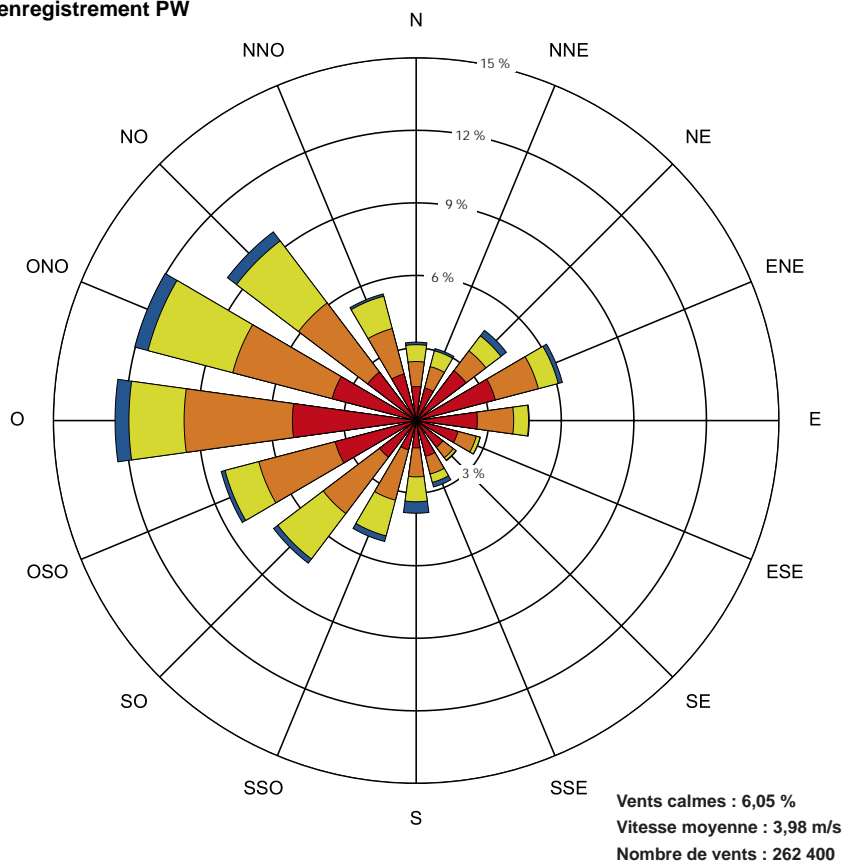
Préparation : V.Ciguère
Dessin : A.Lemay
Vérification : P.Rhéaume
181-03709-01_eie_f4_266_qa_roses_wspT_190801.ai

wsp

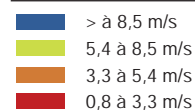
Données WRF extraient près de la station d'enregistrement PW



Données de la station d'enregistrement PW



Vitesse des vents



Note :
Diagramme de la fréquence de provenance du vent,
par **exemple**, le vent souffle du nord 6,5 % du temps.



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus
et stériles miniers

Rapport sectoriel - Modélisation de la dispersion atmosphérique

Figure 5
Comparaison des roses des vents
issues des données WRF (station PW)

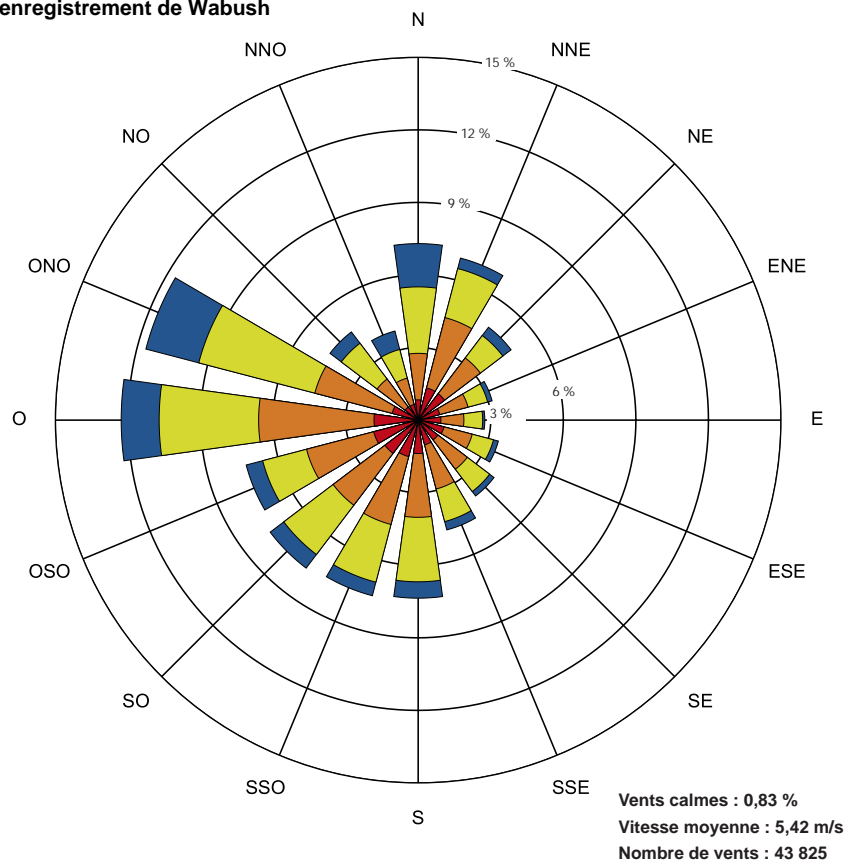
Sources :
Ré-Analyses ERA5, WRF v3.9, MM5 v3.3
Station météorologique PW

Août 2019

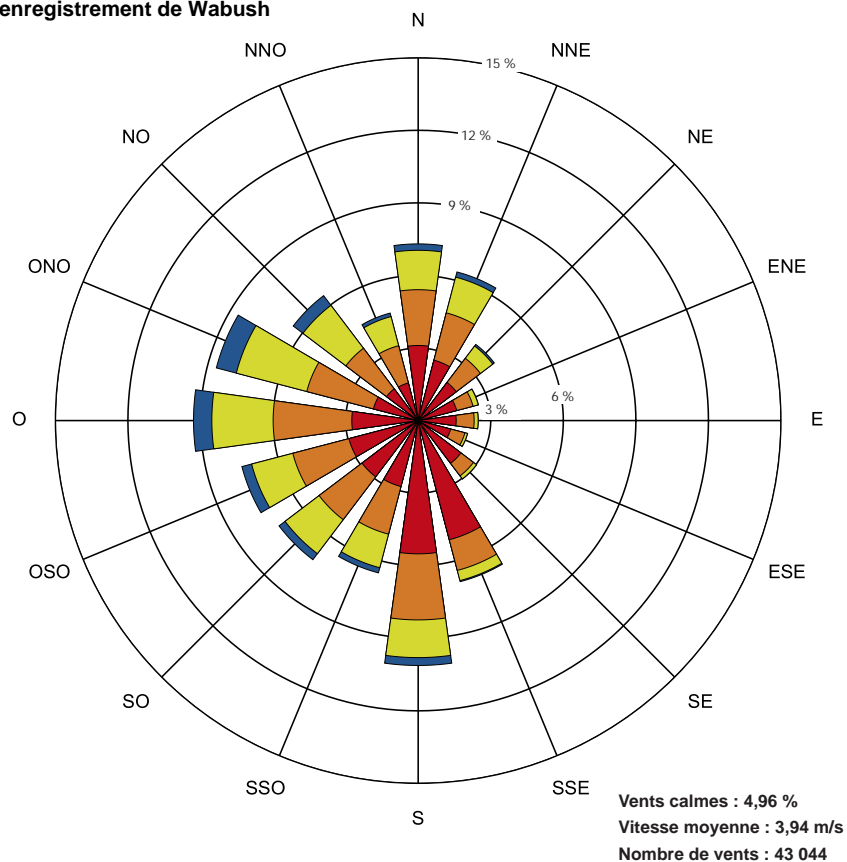
Préparation : V. Giguère
Dessin : A. Lemay
Vérification : P. Rhéaume
181-03709-01_eie_f5_229_qa_rosePW_wspT_190801.ai

wsp

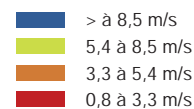
**Données WRF extraient près de la station
d'enregistrement de Wabush**



**Données de la station
d'enregistrement de Wabush**



Vitesse des vents



Note :
 Diagramme de la fréquence de provenance du vent,
 par **exemple**, le vent souffle du nord 6,5 % du temps.



**Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus
et stériles miniers**
 Rapport sectoriel - Modélisation de la dispersion atmosphérique

Figure 6
Comparaison des roses des vents
issues des données WRF (station Wabush)

Sources :
 Ré-Analyses ERA5, WRF v3.9, MM5 v3.3
 Environnement et Changement climatique Canada

Août 2019

Préparation : V. Giguère
 Dessin : A. Lemay
 Vérification : P. Rhéaume
 181-03709-01_eie_f6_230_qa_roseWabush_wspT_190723.ai

wsp

5.6 RÉCEPTEURS

Les récepteurs (points de calculs) sont séparés en trois catégories, soit la grille de récepteurs, les récepteurs de la limite d'application et les récepteurs sensibles. Ceux-ci sont décrits dans les sous-sections suivantes et leur position est présentée aux cartes B1-4 et B1-5. Pour chacun des scénarios, l'élévation des récepteurs a été établie en tenant compte de la topographie du terrain (voir section 5.4) à l'aide du préprocesseur AERMAP.

5.6.1 GRILLE DE RÉCEPTEURS

La grille de récepteur est définie par une grille de résolution de 250 m au centre du domaine suivi par une grille de résolution de 500 m. De plus, le voisinage immédiat du site minier fait l'objet d'une attention particulière et une grille de résolution de 150 mètres a été utilisée afin de raffiner les résultats dans ce secteur. La grille de récepteurs est ainsi constituée d'un total de 4 050 points de calculs.

La densité de la grille de récepteurs utilisée permet de générer suffisamment de valeurs modélisées de manière à obtenir une bonne représentativité des concentrations estimées (répartition spatiale) dans l'air ambiant. La grille de récepteurs est présentée à la carte B1-4.

5.6.2 RÉCEPTEURS À LA LIMITE D'APPLICATION

Afin de satisfaire les exigences du MELCC, une séquence de récepteurs ponctuels, espacés au 100 m, a été placée le long de la limite d'application définie à la section 2.3. Un total de 277 récepteurs a ainsi été ajouté.

Les récepteurs sur la limite d'application sont illustrés à la carte B1-4.

5.6.3 RÉCEPTEURS SENSIBLES

Un total de 27 récepteurs sensibles, représentant les divers milieux sensibles à proximité, a été identifié dans la zone d'étude, et ce, selon l'inventaire du milieu humain. Ces récepteurs sensibles ont été regroupés en deux catégories, soit les baux de villégiature et les baux pour un abri sommaire en forêt.

Le tableau 30 décrit ces récepteurs sensibles de même que leurs coordonnées respectives. Les récepteurs sensibles sont présentés à la carte B1-5.

5.6.4 RÉCEPTEURS DU DOMAINE D'APPLICATION

Les récepteurs du domaine d'application sont les récepteurs de la grille (section 5.6.1) situés à l'extérieur de la limite d'application, ceux situés sur cette même limite (section 5.6.2), ainsi que tous les récepteurs sensibles (section 5.6.3).

Les autres récepteurs, soit les récepteurs à l'intérieur de la limite d'application, n'ont, quant à eux, pas été pris en compte pour évaluer la conformité des concentrations modélisées aux normes et critères de qualité de l'air.

Tableau 30 : Coordonnées des récepteurs sensibles

Description	Identifiant	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Distance par rapport à la limite d'application (m)
Fins de villégiature	BAUX001	619 224,0	5 852 351,0	687,9	439
Fins de villégiature	BAUX002	619 767,0	5 852 871,0	692,4	866
Fins de villégiature	BAUX003	619 356,0	5 852 669,0	697,3	455
Fins de villégiature	BAUX004	619 243,0	5 852 218,0	685,3	532
Fins d'abri sommaire en forêt	BAUX005	621 636,0	5 851 872,0	691,2	2 265
Fins de villégiature	BAUX006	622 685,0	5 850 398,0	729,3	3 041
Fins de villégiature	BAUX007	619 837,0	5 852 875,0	698,6	936
Fins de villégiature	BAUX008	619 489,0	5 852 718,0	691,0	583
Fins de villégiature	BAUX009	619 227,0	5 852 074,0	685,0	598
Fins de villégiature	BAUX012	622 074,0	5 853 242,2	684,5	1 083
Fins de villégiature	BAUX013	620 725,0	5 853 322,0	693,4	1 892
Fins de villégiature	BAUX014	619 238,0	5 852 285,0	689,1	489
Fins d'abri sommaire en forêt	BAUX015	621 997,0	5 853 159,0	687,3	1 188
Fins de villégiature	BAUX016	621 953,0	5 853 150,2	690,1	1 231
Fins de villégiature	BAUX018	621 730,0	5 853 021,0	688,7	1 488
Fins de villégiature	BAUX019	620 808,0	5 853 316,0	692,2	1 920
Fins de villégiature	BAUX020	620 284,0	5 853 073,0	688,9	1 407
Fins de villégiature	BAUX022	621 873,0	5 853 070,0	687,6	1 338
Fins de villégiature	BAUX027	622 041,0	5 853 193,2	684,5	1 133
Fins de villégiature	BAUX028	622 290,0	5 854 122,2	682,2	549
Fins de villégiature	BAUX029	620 322,0	5 853 092,0	686,7	1 448
Fins de villégiature	BAUX030	619 243,0	5 852 515,0	692,8	381
Fins de villégiature	BAUX032	621 925,0	5 853 089,0	685,3	1 283
Fins de villégiature	BAUX033	622 145,0	5 850 737,2	735,9	2 914
Fins de villégiature	BAUX034	621 899,0	5 850 331,0	730,3	3 386
Fins de villégiature	BAUX035	619 292,0	5 852 573,0	694,7	410
Fins de villégiature	BAUX036	620 353,0	5 853 129,0	686,0	1 485

5.7 EFFET DES BÂTIMENTS

Étant donné la proximité de certaines sources ponctuelles par rapport aux différents bâtiments, l'effet de rabattement du panache de dispersion a été calculé. Pour ce faire, le programme « *Building Profile Input Program* » (BPIP) a été utilisé afin de déterminer l'effet des bâtiments. Les résultats du calcul ont par la suite été incorporés au modèle AERMOD qui applique les corrections requises pour l'estimation des concentrations dans l'air ambiant à l'aide du module PRIME.

Pour calculer l'effet de rabattement du panache, les infrastructures projetées du site minier ont été tracées. Les coordonnées géographiques, l'élévation des bâtiments et la position des sources d'émissions ont été déterminées à partir des plans techniques fournis par MFQ.

Les cartes B1-6 et B1-7 présentent des vues 3D des bâtiments considérés.

5.8 CONFIGURATION D'AERMOD

Les sources ponctuelles horizontales ont été exécutées à l'aide de l'option POINTHOR. Pour la modélisation des matières particulaires, les options de déposition sèches sont utilisées (DRYDPLT, NOWETDPLT).

Toutes les autres options par défaut du modèle AERMOD ont été considérées pour son exécution en conformité avec les exigences indiquées dans le guide de modélisation du MELCC.

5.9 MÉTHODES SPÉCIFIQUES

Cette section décrit les méthodologies spécifiques adoptées pour la modélisation de certains contaminants.

5.9.1 ESTIMATION DE LA DÉPOSITION DES MATIÈRES PARTICULAIRES

Il est d'abord important de souligner que la déposition n'a pas été considérée pour les particules émises dans les gaz de combustion (par exemple, gaz d'échappement des véhicules mobiles). En effet, le diamètre aérodynamique de ces particules est très petit (majoritairement inférieur à 1 µm) et ces particules se déposent que très peu.

Afin de modéliser la déposition sèche avec le modèle AERMOD, le mot clé « DDEP » doit être ajouté aux options du modèle. Cette option active à la fois la déposition sèche (DRYDPLT) et humide (WETDPLT). L'option NOWETDPLT doit être également ajoutée afin de ne pas considérer la déposition humide.

La granulométrie et la densité des particules émises par chacune des sources doivent être spécifiées. Afin de décrire cette granulométrie, celle-ci doit être divisée en catégories de taille de particule à l'aide du diamètre aérodynamique des particules et de la fraction de la masse correspondante. La densité de chacune des catégories doit également être spécifiée.

La méthode choisie afin de modéliser la déposition sèche des particules est tirée du Guideline for Plume Dispersion Modelling du gouvernement de Terre-Neuve et du Labrador (NLDEC, 2012). Ce guide propose de séparer les particules en trois fractions (P1, P2 et P3) représentant des tailles aérodynamiques spécifiques : la fraction P1 représentant les particules de diamètre inférieur à 2,5 µm, la fraction P2 représentant les particules de diamètre situé entre 2,5 et 10 µm et la fraction P3 représentant les particules de diamètre supérieur à 10 µm. Les taux d'émission de chacune de ces fractions sont établis, pour chacune des sources d'émissions, à partir des taux d'émission de PMT, PM₁₀ et PM_{2,5} selon les équations suivantes :

$$\begin{aligned}P1 &= PM_{2,5} \\P2 &= PM_{10} - PM_{2,5} \\P3 &= PMT - PM_{10}\end{aligned}$$

Les résultats de modélisation pour P1, P2 et P3 sont finalement recombinaés afin d'estimer les concentrations et les flux de déposition pour chacune des tailles de particules :

$$\begin{aligned}\text{PMT avec déposition} &= P1 + P2 + P3 \\PM_{10} \text{ avec déposition} &= P1 + P2 \\PM_{2,5} \text{ avec déposition} &= P1\end{aligned}$$

Le guide propose également une distribution de la granulométrie pour chacune de ces trois fractions. Celles-ci sont présentées au tableau 2.6.1 du guide (NLDEC, 2012) et ont été utilisées dans la présente modélisation afin de décrire P1, P2 et P3.

La densité utilisée est de 2,77 g/cm³ et est basée par conservatisme sur la plus faible densité identifiée dans la planification minière du projet. Cette densité a été utilisée pour toutes les sources de matières particulaires (à l'exception des matières particulaires de combustion) et toutes les tailles de particules. Bien que la densité puisse être ajustée en fonction des sources, il s'agit d'une hypothèse jugée acceptable puisque la majorité des particules totales émises dans les scénarios considérés proviennent d'opérations de manipulation et transformation de matériaux, telles que les chargements et déchargements, le forage, le sautage et le transport sur des routes non pavées.

Finalement, bien que les paramètres de granulométrie et que la densité de chacune des fractions P1, P2 et P3 sont identiques pour toutes les sources, il est important de rappeler que la proportion de chacune de ces fractions est spécifique à chaque source puisque leurs taux d'émissions sont basés sur les taux de PMT, PM₁₀ et PM_{2,5}, qui sont eux, spécifiques à chaque source.

5.9.2 ESTIMATION DES CONCENTRATIONS EN NO₂

Concernant l'estimation des concentrations de NO₂ dans l'air ambiant, la méthode OLM (*Ozone Limiting Method*) a été appliquée pour les deux scénarios modélisés pour les périodes 1 heure et 24 heures. Pour la période annuelle, une conversion totale du NO_x en NO₂ a été utilisée.

La méthode OLM permet de calculer la conversion du NO en NO₂, en fonction du ratio NO₂/NO_x à la source et de l'ozone disponible dans l'air ambiant. Pour ce faire, des concentrations d'ozone prescrites par le MELCC pour les projets nordiques (MDDELCC, 2017) ont été utilisées. Il s'agit de 120 µg/m³ (horaire), de 80 µg/m³ (quotidienne) et de 50 µg/m³ (annuelle).

En ce qui concerne le ratio NO₂/NO_x, les différentes sources de NO_x présentent des ratios à la source de NO₂/NO_x (*in-stack ratio*) différents. Pour les moteurs diesel, une valeur de 20 % est normalement suggérée (NL DOEC 2012). Pour les sautages par contre, une valeur autour de 4 % est plutôt attendue (Attalla, 2008).

Pour la période 1 heure, les principaux contributeurs sont les gaz d'échappement et les sautages, selon les heures de modélisation et les scénarios. Pour le scénario de référence, les contributeurs principaux sont les gaz d'échappement, ainsi un ratio à la source de 20 % a été utilisé. Pour le scénario d'exploitation, les contributeurs principaux varient d'une heure à l'autre. Il est démontré à la section 6.2.4 qu'un ratio de 20 % permet le respect de la norme pour toutes les heures où ce sont les gaz d'échappement qui sont le principal contributeur et qu'un ratio de 4 % permet le respect pour les heures restantes où ce sont les sautages qui sont le principal contributeur. Les résultats sont donc présentés avec un ratio à la source de 4 %.

Pour les périodes 24 heures, le ratio de 20 % a été sélectionné puisqu'il est représentatif des émissions provenant des gaz d'échappement de la machinerie, et conservateur par rapport aux émissions lors des sautages.

5.9.3 ESTIMATIONS DES CONCENTRATIONS POUR LES PÉRIODES INFÉRIEURES À 1 HEURE

Bien que le pas de temps du modèle de dispersion soit de 1 heure, des normes et critères sont définis sur des périodes plus courtes pour certains contaminants. Lorsqu'une telle valeur seuil est établie, l'annexe H du RAA prescrit l'utilisation de la formule suivante afin d'estimer la concentration sur la période désirée en fonction de la concentration horaire modélisée :

$$C(T) = C_{\text{MAX-H}} \times 0,97 T^{-0,25}$$

où T est la période exprimée en heure et C_{MAX-H} est la concentration horaire maximale modélisée.

Ainsi, cette équation est utilisée dans la présente étude afin d'estimer les concentrations 4 minutes de dioxyde de soufre (SO₂) et d'en permettre la comparaison avec les normes associées. Dans le cas présent, les concentrations modélisées sont alors majorées par un facteur d'environ 1,91.

5.9.4 ÉVALUATION DES ÉMISSIONS DE MÉTAUX ET DE MÉTALLOÏDES

Les émissions de métaux et métalloïdes ont été effectuées pour les deux scénarios de modélisation. À l'exception des dépoussiéreurs de l'usine de traitement, où les taux d'émission en métaux ont été déterminés directement à partir de l'échantillonnage, les émissions en métaux ont été déterminées à partir des émissions de particules modélisées et de la caractérisation géochimique des lithologies manipulées sur le site. Il est alors assumé que la teneur en métaux dans les matières particulaires émises est semblable à la teneur in situ en métaux dans les matériaux associés. Bien que cette hypothèse présente une grande incertitude, elle permet néanmoins d'estimer les métaux émis à l'atmosphère liés aux matières particulaires en suspension.

Afin de déterminer la teneur en métaux dans les matières particulaires émises, les sources d'émissions sont d'abord regroupées en fonction des types d'opérations et des lithologies impliquées.

Dans le cas du scénario d'exploitation, six groupes de sources présentant des émissions de métaux ont été considérés et ceux-ci sont décrits brièvement au tableau 31 et des exemples de sources y sont donnés.

Tableau 31 : Description des regroupements de sources utilisés pour l'estimation des concentrations de métaux

Groupe	Description	Exemples de sources associées
Minerai	Opérations liées à la manipulation de minerai seulement	Chargement/déchargement de minerai
Stériles	Opérations liées à la manipulation de stériles seulement	Chargement/déchargement de stériles, concassage, boutage, érosion des haldes et des piles de matériaux de construction
Résidus grossiers	Opérations liées à la manipulation de résidus grossiers	Chargement/déchargement de résidus grossiers, boutage sur les parcs à résidus grossiers, routage sur les parcs à résidus grossiers et érosion des parcs à résidus grossiers
Mort terrain	Opérations liées à la manipulation de mort terrain seulement	Chargement/déchargement de mort terrain, boutage, forage, érosion des haldes
Extraction de la fosse	Opérations liées à la manipulation de minerai ou stériles dans la fosse	Boutage, forage et sautage dans la fosse
Routes	Émissions liées au routage	Routage de l'ensemble du site, à l'exception des routes sur les parcs à résidus grossiers
Sans métaux	Opérations sans émission de métaux	Gaz d'échappement des équipements mobiles et sources de combustion de l'usine

La teneur en métaux dans les particules émises pour chacun de ces groupes est ensuite estimée en fonction de la proportion annuelle des lithologies associées à ces groupes et de leurs teneurs en métaux respectives. Les proportions annuelles des lithologies associées à ces groupes sont déterminées à partir de la planification minière considérée et sont présentées au tableau 32. Les proportions pour l'année 2034 de la planification minière du projet ont été utilisées pour les deux scénarios.

Tableau 32 : Distribution des lithologies associées à chacun des groupes

Groupe	Composition du groupe de lithologie (%)						
	Stériles			Minerai			Mort terrain
	Amphibolite	Gneiss	Roche de quartz	Formation de fer (IF)	Formation de fer silicatée (SIF)	Résidus grossiers	
Minerai	-	-	-	50	50	-	-
Stériles	82	6	12	-	-	-	-
Résidus grossiers	-	-	-	-	-	100	-
Mort terrain	-	-	-	-	-	-	100
Extraction de la fosse	45	4	7	22	22	-	-
Routes	100	-	-	-	-	-	-

Le calcul de la teneur en métaux effectué dépend de la période étudiée. En fait, deux calculs différents sont utilisés, soit pour une période de 1 an et pour une période inférieure à 1 an.

- Lorsque la période de référence est **égale à 1 an**, l'utilisation des émissions moyennes d'un groupe est justifiée. Ainsi, la teneur en métaux d'un groupe est obtenue par **la moyenne des teneurs en métaux de chaque lithologie associée** pondérée par la proportion annuelle des lithologies.
- Lorsque la période de référence est **inférieure à 1 an**, il n'est plus justifié de considérer les émissions moyennes, car sur une courte période, les activités d'un groupe pourraient être associées aux lithologies concernées dans des proportions différentes. Ainsi, par conservatisme, pour chacun des métaux indépendamment, **la teneur en métaux maximale des lithologies associées** est considérée.

Pour chacun des métaux et des périodes, le taux d'émission de chacune des sources est finalement obtenu en multipliant la teneur déterminée par le taux d'émission de particules. Comme prescrit par le MELCC (voir section 2.2), les concentrations de métaux sont calculées sur les PMT, à l'exception du manganèse, du nickel, de la silice cristalline 1 heure et du titane, où les PM₁₀ sont plutôt utilisées et de la silice cristalline annuelle où les PM₄ sont plutôt utilisées.

5.9.4.1 LITHOLOGIES ET TENEURS

La teneur en métaux des différentes lithologies est basée sur la caractérisation géochimique des stériles, du minerai, des résidus et du concentré de la mine de fer du lac Bloom réalisée par Golder Associés Ltée (Golder, 2013). La moyenne de chacun des échantillons analysés, pour chaque métal, a été utilisée. Dans tous les cas, lorsque la valeur indiquée était en deçà de la limite de détection, la moitié de celle-ci a été utilisée comme teneur. Le tableau 33 présente les teneurs en métaux pour chacune de ces lithologies ou substances. Pour le mort terrain, des hypothèses ont été supposées puisqu'aucune analyse n'est disponible. Cette hypothèse influence uniquement le scénario de référence.

En ce qui concerne la silice cristalline (SiO₂), les teneurs sont basées sur une analyse qualitative des formations lithologiques et de la teneur en quartz (SiO₂) des analyses de roche totale, et ce, selon une note de service de Cliffs de 2014, mise à jour en 2019 par MFQ (Cliffs, 2014).

Tableau 33 : Teneur en métaux par lithologie

Métal	Teneur par lithologie (kg/kg)							
	Stériles			Minerai		Résidus fins	Résidus grossiers	Mort terrain
	Amphibolite	Gneiss	Roche de quartz	Formation de fer (IF)	Formation de fer silicatée (SIF)			
Antimoine (Sb)	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06
Argent (Ag)	4.00E-07	4.00E-07	4.00E-07	4.00E-07	4.00E-07	4.00E-07	4.00E-07	4.00E-07
Arsenic (As)	2.50E-06	2.50E-06	2.50E-06	2.50E-06	2.50E-06	2.50E-06	2.50E-06	2.50E-06
Baryum (Ba)	5.23E-04	1.08E-04	7.25E-06	4.21E-06	1.99E-04	5.51E-05	2.03E-05	5.23E-04
Béryllium (Be)	2.50E-07	2.50E-07	2.50E-07	2.50E-07	2.50E-07	8.06E-07	2.50E-07	2.50E-07
Cadmium (Cd)	2.50E-07	2.50E-07	2.50E-07	2.50E-07	2.50E-07	2.50E-07	2.50E-07	2.50E-07
Chrome total (Cr)	6.06E-05	2.30E-05	3.38E-06	1.71E-06	1.78E-05	9.25E-06	1.67E-06	6.06E-05
Cobalt (Co)	1.75E-05	1.03E-05	1.00E-06	1.07E-06	7.50E-06	5.50E-06	1.00E-06	1.75E-05
Cuivre (Cu)	1.45E-05	2.00E-06	1.88E-06	1.14E-06	3.90E-06	1.13E-05	2.17E-06	1.45E-05
Manganèse (Mn)	7.96E-05	1.63E-04	9.86E-05	7.43E-05	2.61E-04	8.18E-04	2.22E-04	1.63E-04
Mercure (Hg)	1.00E-08	1.00E-08	1.00E-08	1.00E-08	1.00E-08	1.25E-08	1.00E-08	1.00E-08
Nickel (Ni)	4.40E-05	2.47E-05	1.63E-06	7.86E-07	1.41E-05	6.88E-06	1.42E-06	4.40E-05
Plomb (Pb)	2.50E-06	2.50E-06	2.50E-06	2.50E-06	2.50E-06	2.50E-06	2.50E-06	2.50E-06
Sélénium (Se)	8.18E-07	5.00E-07	5.63E-07	5.00E-07	6.50E-07	5.00E-07	5.00E-07	8.18E-07
Silice cristalline (SiO ₂)	2.00E-02	5.31E-01	8.88E-01	5.41E-01	4.98E-01	6.26E-01	7.54E-01	2.50E-01
Thallium (Tl)	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06
Titane (Ti)	1.21E-03	1.34E-03	1.53E-05	3.75E-06	5.92E-04	1.05E-04	4.45E-05	1.34E-03
Vanadium (V)	2.51E-05	2.02E-05	2.50E-06	2.68E-06	1.58E-05	5.56E-06	2.50E-06	2.51E-05
Zinc (Zn)	2.86E-05	2.07E-05	5.00E-06	5.00E-06	1.69E-05	8.13E-06	5.00E-06	2.86E-05

6 RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les sections qui suivent présentent les résultats de la modélisation réalisée pour le scénario de référence et le scénario d'exploitation. Afin de comparer les concentrations modélisées aux normes et critères en vigueur pour chacune des substances, celles-ci sont additionnées aux concentrations initiales applicables dans le secteur. **Il est important de prendre note que les concentrations totales présentées dans cette section ne représentent pas des concentrations réelles mesurées, mais plutôt des concentrations obtenues par la simulation des activités planifiées.**

Les cartes illustrent les courbes d'isoconcentration associées aux résultats. Les données chiffrées apparaissant sur ces cartes correspondent à la contribution des opérations du projet seulement. La couleur des courbes indique si les concentrations totales, incluant les concentrations initiales, dépassent ou non les normes et critères de qualité de l'atmosphère. Les courbes présentées illustrent la concentration maximale calculée à chaque récepteur pour la période et l'ensemble des années météorologiques modélisés. Ainsi, il faut noter que ces maximums présentés pour chacun des points de calcul considérés ne se produisent pas nécessairement au cours de la même heure, de la même journée ou de la même année.

En somme, **les courbes d'isoconcentration présentent des situations hypothétiques où les conditions de dispersion les plus défavorables sont combinées simultanément sur la même carte.** Ces courbes, exigées par le MELCC, permettent néanmoins de bien visualiser pour une zone donnée du domaine de modélisation la concentration maximale des cinq années météorologiques considérées.

6.1 SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE

Pour le scénario de référence, les résultats des concentrations maximales modélisés sont présentés au tableau 36 pour le domaine d'application (défini à la section 2.3) et au tableau 37 pour les récepteurs sensibles. Les résultats de silice cristalline dans la *situation sans sautage* sont quant à eux présentés aux tableaux 38 et 39. Les cartes de l'annexe B2 illustrent quant à elles les courbes d'isoconcentration associées aux résultats de la modélisation de ce scénario.

6.1.1 PARTICULES TOTALES

Les concentrations modélisées de particules totales dépassent la norme 24 heures dans le domaine d'application. Toutefois, les résultats montrent un respect de la norme à tous les récepteurs sensibles.

Les concentrations maximales de particules totales sont modélisées au nord du site, près du parc à résidus grossiers, où les dépassements s'étendent jusqu'à environ 2 km de la limite d'application. Aucun dépassement n'est modélisé au sud, en direction des récepteurs sensibles.

Aux récepteurs sensibles, la concentration maximale modélisée en considérant la concentration initiale représente 57 % de la norme. Le projet contribue à 21 % de cette concentration modélisée.

La principale source contributrice des concentrations maximales modélisées est le routage pour environ 50 %. Ensuite, l'érosion éolienne est la seconde source en importance, contribuant à environ 37 % des concentrations maximales modélisées. Les courbes d'isoconcentration sont illustrées à la carte B2-3.

6.1.2 PARTICULES FINES

Dans le domaine d'application, les concentrations modélisées de particules fines dépassent la norme 24 heures. Toutefois, les résultats montrent un respect de la norme à tous les récepteurs sensibles.

Les concentrations maximales de particules fines 24 heures sont modélisées au nord du site, près du parc à résidus grossiers, où les dépassements sont situés sur la limite d'application.

Aux récepteurs sensibles, la concentration maximale modélisée en considérant la concentration initiale représente 58 % de la norme. Le projet contribue à 13 % de cette concentration modélisée.

La principale source contributrice des concentrations maximales modélisées est le routage pour environ 50 %. Ensuite, l'érosion éolienne et le boutage sont les prochaines sources en importance, contribuant à environ 30 % et 17 %, respectivement, des concentrations maximales modélisées. Les courbes d'isoconcentration sont illustrées à la carte B2-4.

6.1.3 MONOXYDE DE CARBONE

Les concentrations modélisées de monoxyde de carbone respectent l'ensemble des normes considérées, et ce, autant dans le domaine d'application qu'à tous les récepteurs sensibles.

En raison des faibles concentrations modélisées par rapport aux valeurs limites, les courbes d'isoconcentration pour le monoxyde de carbone n'ont pas été cartographiées.

6.1.4 DIOXYDE D'AZOTE

Dans le domaine d'application, les concentrations modélisées de dioxyde d'azote dépassent la norme 1 heure, mais respectent les normes 24 heures et annuelle. Néanmoins, les résultats montrent un respect de la totalité des trois normes considérées à tous les récepteurs sensibles.

Les concentrations maximales de dioxyde d'azote sont modélisées au nord du site, près du parc à résidus grossiers.

Aux récepteurs sensibles, les concentrations maximales modélisées en considérant les concentrations initiales représentent 78 %, 58 % et 30 % des normes pour les périodes 1 heure, 24 heures et annuelle, respectivement.

La principale source contributrice des concentrations maximales modélisées sont les gaz d'échappement de la machinerie pour plus de 97 %. Les courbes d'isoconcentration sont illustrées aux cartes B2-5 et B2-6 pour les normes sur les périodes 1 heure et 24 heures, respectivement. En raison des faibles concentrations modélisées par rapport à la valeur limite, les courbes d'isoconcentration pour la norme annuelle n'ont pas été cartographiées.

6.1.5 DIOXYDE DE SOUFRE

Les concentrations modélisées de dioxyde de soufre respectent l'ensemble des normes considérées, et ce, autant dans le domaine d'application qu'à tous les récepteurs sensibles.

En raison des faibles concentrations modélisées par rapport aux valeurs limites, les courbes d'isoconcentration pour le dioxyde de soufre n'ont pas été cartographiées.

6.1.6 MÉTAUX ET MÉTALLOÏDES

À l'exception de la silice cristalline, les concentrations modélisées pour tous les métaux respectent l'ensemble des normes et critères considéré, et ce, autant dans le domaine d'application qu'à tous les récepteurs sensibles.

En raison des faibles concentrations modélisées par rapport aux valeurs limites, les courbes d'isoconcentration pour ces métaux n'ont pas été cartographiées.

Pour ce qui est du chrome, il est important de noter que les analyses géochimiques des lithologies du projet (voir section 5.9.4.1) ne distinguent pas la forme chimique de celui-ci. Ainsi, des concentrations de chrome total sont modélisées. Par conséquent, il a été choisi de les comparer aux deux normes, soit la norme du Cr(VI) et Cr(III).

Puisque des dépassements sont modélisés pour la silice cristalline, les résultats sont discutés plus en détail à la section suivante.

SILICE CRISTALLINE

Les résultats de modélisation de la silice cristalline montrent des dépassements des critères 1 heure et annuel dans le domaine d'application. Aux récepteurs sensibles, les résultats présentent des dépassements du critère 1 heure, mais montrent un respect du critère annuel.

Pour le critère 1 heure, bien que l'étendue des dépassements couvre une grande superficie du domaine d'application, la fréquence de dépassement est néanmoins faible. En effet, ces dépassements sont majoritairement causés par les sautages qui ne surviennent que quelques heures dans l'année. La situation sans sautage, par exemple, montre des dépassements de plus faibles amplitudes situés au nord du site, près du parc à résidus grossiers, sans atteindre les récepteurs sensibles.

Aux récepteurs sensibles, les concentrations maximales modélisées en considérant la concentration initiale représentent 433 % et 23 % du critère 1 heure, pour les situations avec et sans sautage, respectivement. Bien que la concentration modélisée soit élevée par rapport au critère, la modélisation présente une probabilité de dépassement d'au plus 1 heure par année aux récepteurs sensibles.

La principale source contributrice des concentrations maximales modélisées est le sautage. Pour la situation sans sautage, la principale source contributrice des concentrations maximales modélisées est l'érosion éolienne de la digue filtrante.

Pour le critère annuel, les concentrations maximales sont modélisées au nord du site, près du parc à résidus grossiers, où les dépassements s'étendent jusqu'à environ 2 km de la limite d'application.

Aux récepteurs sensibles, la concentration maximale modélisée en considérant la concentration initiale représente 68 % du critère. Le projet contribue à 16 % de cette concentration modélisée. La principale source contributrice des concentrations maximales modélisées est l'érosion éolienne de la digue filtrante à 57 %. Le boutage, le routage et la manipulation de matériaux sont les prochaines sources en importance.

Les courbes d'isoconcentration pour le critère 1 heure sont illustrées aux cartes B2-7 et B2-8 pour les situations avec et sans sautage, respectivement. Les courbes d'isoconcentration pour le critère annuel sont quant à elles illustrées à la carte B2-9.

6.2 SCÉNARIO D'EXPLOITATION

Pour le scénario d'exploitation, les résultats des concentrations maximales modélisés sont présentés au tableau 40 pour le domaine d'application et au tableau 41 pour les récepteurs sensibles. Les résultats de silice cristalline dans la *situation sans sautage* sont quant à eux présentés aux tableaux 42 et 43. Les cartes de l'annexe B3 illustrent les courbes d'isoconcentration associées aux résultats de la modélisation de ce scénario.

6.2.1 PARTICULES TOTALES

Les concentrations modélisées de particules totales dépassent la norme 24 heures dans le domaine d'application. Toutefois, les résultats montrent un respect de la norme à tous les récepteurs sensibles.

Les concentrations maximales de particules totales sont modélisées au nord du site, près du parc à résidus grossiers. Des dépassements sont également modélisés au sud, près de la halde Sud, où ceux-ci s'étendent jusqu'à environ 1 km de la limite d'application, mais sans atteindre les récepteurs sensibles.

Aux récepteurs sensibles, la concentration maximale modélisée en considérant la concentration initiale représente 89 % de la norme. Le projet contribue à 49 % de cette concentration modélisée.

La principale source contributrice des concentrations maximales modélisées est le routage pour plus de 80 %. Ensuite, l'érosion éolienne est la seconde source en importance, contribuant à environ 8 % des concentrations maximales modélisées. Les courbes d'isoconcentration sont illustrées à la carte B3-3.

6.2.2 PARTICULES FINES

Autant dans le domaine d'application qu'aux récepteurs sensibles, les concentrations modélisées de particules fines respectent la norme 24 heures.

Les concentrations maximales de particules fines 24 heures sont modélisées au nord du site, près du parc à résidus grossiers.

Aux récepteurs sensibles, la concentration maximale modélisée en considérant la concentration initiale représente 69 % de la norme. Le projet contribue à 28 % de cette concentration modélisée.

La principale source contributrice des concentrations maximales modélisées est le routage pour environ 65 %. Ensuite, les gaz d'échappement de la machinerie sont les prochaines sources en importance contribuant à environ 15 % des concentrations maximales modélisées. Les courbes d'isoconcentration sont illustrées à la carte B3-4.

6.2.3 MONOXYDE DE CARBONE

Les concentrations modélisées de monoxyde de carbone respectent l'ensemble des normes considérées, et ce, autant dans le domaine d'application qu'à tous les récepteurs sensibles.

Les concentrations maximales de monoxyde de carbone 1 heure sont modélisées au nord du site, près du parc à résidus grossiers.

Les courbes d'isoconcentration sont illustrées à la carte B3-5 pour la norme sur une période 1 heure. En raison des faibles concentrations modélisées par rapport à la valeur limite, les courbes d'isoconcentration pour la norme 8 heures n'ont pas été cartographiées.

6.2.4 DIOXYDE D'AZOTE

Dans le domaine d'application, les concentrations modélisées de dioxyde d'azote dépassent les normes 1 heure et 24 heures, mais respectent la norme annuelle. Néanmoins, les résultats montrent un respect de la totalité des trois normes considérées à tous les récepteurs sensibles.

Les concentrations maximales de dioxyde d'azote sont modélisées au nord du site, près du parc à résidus grossiers.

En raison des concentrations modélisées, la méthode OLM a été appliquée sur les concentrations 1 heure et 24 heures. Pour le choix du ratio de NO₂ à la source de la période 1 heure, la section 5.9.2 présente deux ratios différents applicables selon les types de sources, soit 20 % pour les gaz d'échappement et 4 % pour les sautages.

Le tableau 34 montre les dix concentrations maximales modélisées aux récepteurs sensibles sur une période de 1 heure. Parmi ces dix événements modélisés, l'analyse des contributeurs montre que pour chacun des événements, le contributeur principal est soit les gaz d'échappement ou soit le sautage. Appliquer la méthode OLM avec un ratio de 20 % permet le respect de la norme pour toutes les heures où ce sont les gaz d'échappement qui sont le principal contributeur et avec un ratio de 4 % permet le respect pour les heures restantes où ce sont les sautages qui sont le principal contributeur. Les résultats sont donc présentés avec un ratio à la source de 4 %.

Aux récepteurs sensibles, les concentrations maximales modélisées en considérant les concentrations initiales représentent 74 %, 72 % et 31 % des normes pour les périodes 1 heure, 24 heures et annuelle, respectivement.

La principale source contributrice des concentrations maximales modélisées à la limite d'application sont les sautages pour plus de 90 %. Les courbes d'isoconcentration sont illustrées aux cartes B3-6 et B3-7 pour les normes sur les périodes 1 heure et 24 heures, respectivement. En raison des faibles concentrations modélisées par rapport à la valeur limite, les courbes d'isoconcentration pour la norme annuelle n'ont pas été cartographiées.

Tableau 34 : Concentrations maximales de NO₂ modélisées aux récepteurs sensibles pour le scénario d'exploitation

Date	Contributeurs				Conversion totale du NO _x en NO ₂		Méthode OLM avec ratio de 20 % de NO ₂ à la source		Méthode OLM avec ratio de 4 % de NO ₂ à la source	
	Gaz d'échappement	Sources ponctuelles de l'usine		Récepteur	Concentration maximale modélisée (µg/m ³)	Dépassement de la norme 1 heure	Concentration maximale modélisée (µg/m ³)	Dépassement de la norme 1 heure	Concentration maximale modélisée (µg/m ³)	Dépassement de la norme 1 heure
		Sautage								
2018-01-02 12 h	2,6	0,02	97,4	BAUX009	869,2	Oui	293,8	Oui	154,8	Non
2017-03-06 12 h	6,3	0,10	93,6	BAUX035	755,7	Oui	271,1	Oui	150,2	Non
2016-12-22 12 h	9,1	0,03	90,8	BAUX028	591,1	Oui	238,2	Non	-	-
2016-01-17 12 h	4,3	0,00	95,7	BAUX001	526,1	Oui	225,2	Non	-	-
2015-02-11 12 h	3,7	0,08	96,2	BAUX009	502,2	Oui	220,4	Non	-	-
2017-11-23 12 h	6,5	0,01	93,5	BAUX013	293,3	Oui	178,7	Non	-	-
2016-12-22 13 h	99,8	0,24	-	BAUX028	288,3	Oui	177,7	Non	-	-
2018-01-08 12 h	6,6	0,00	93,4	BAUX007	284,8	Oui	177,0	Non	-	-
2017-01-17 12 h	4,1	0,00	95,9	BAUX035	241,6	Non	-	-	-	-
2016-11-06 12 h	10,1	0,03	89,9	BAUX027	198,5	Non	-	-	-	-

6.2.5 DIOXYDE DE SOUFRE

Les concentrations modélisées de dioxyde de soufre respectent l'ensemble des normes considérées, et ce, autant dans le domaine d'application qu'à tous les récepteurs sensibles.

En raison des faibles concentrations modélisées par rapport aux valeurs limites, les courbes d'isoconcentration pour le dioxyde de soufre n'ont pas été cartographiées.

6.2.6 MÉTAUX ET MÉTALLOÏDES

À l'exception de la silice cristalline, les concentrations modélisées pour tous les métaux respectent l'ensemble des normes et critères considéré, et ce, autant dans le domaine d'application qu'à tous les récepteurs sensibles.

En raison des faibles concentrations modélisées par rapport aux valeurs limites, les courbes d'isoconcentration pour ces métaux n'ont pas été cartographiées.

Pour ce qui est du chrome, il est important de noter que les analyses géochimiques des lithologies du projet (voir section 5.9.4.1) ne distinguent pas la forme chimique de celui-ci. Ainsi, des concentrations de chrome total sont modélisées. Par conséquent, il a été choisi de les comparer aux deux normes, soit la norme du Cr(VI) et Cr(III).

Puisque des dépassements sont modélisés pour la silice cristalline, les résultats sont discutés plus en détail à la section suivante.

SILICE CRISTALLINE

Les résultats de modélisation de la silice cristalline, et ce, même en considérant les *variantes d'opération pour le quartz*, montrent des dépassements des critères 1 heure et annuel autant dans le domaine d'application qu'à tous les récepteurs sensibles.

Pour le critère 1 heure, bien que l'étendue des dépassements couvre une grande superficie du domaine d'application, la fréquence de dépassement est néanmoins faible. En effet, ces dépassements sont majoritairement causés par les sautages qui ne surviennent que quelques heures par année. La situation sans sautage, par exemple, montre des dépassements de plus faible ampleur situés au nord du site, près du parc à résidus grossiers, et à l'est du site, sans atteindre les récepteurs sensibles.

Aux récepteurs sensibles, les concentrations maximales modélisées en considérant la concentration initiale représentent 1 291 % et 70 % du critère 1 heure, pour les situations avec et sans sautage, respectivement. Bien que la concentration modélisée soit élevée par rapport au critère, la modélisation présente une probabilité de dépassement de 1 à 2 heures par année aux récepteurs sensibles. Néanmoins, il s'agit d'une augmentation de l'ampleur de la concentration modélisée par rapport au scénario de référence.

La principale source contributrice des concentrations maximales modélisées est le sautage. Pour la situation sans sautage, la principale source contributrice des concentrations maximales modélisées est le routage sur les parcs à résidus grossiers.

Pour le critère annuel, les concentrations maximales sont modélisées au nord du site, près du parc à résidus grossiers, et au sud du site, près de la halde Sud, et atteignent les récepteurs sensibles.

Aux récepteurs sensibles, la concentration maximale modélisée en considérant la concentration initiale représente 118 % du critère. Le projet contribue à 52 % de cette concentration modélisée.

La principale source contributrice des concentrations maximales modélisées est l'érosion éolienne des parcs à résidus grossiers.

Les courbes d'isoconcentration pour le critère 1 heure sont illustrées aux cartes B3-8 et B3-9 pour les situations avec et sans sautage, respectivement. Tandis que les courbes d'isoconcentration pour le critère annuel sont illustrées à la carte B3-10.

En raison des dépassements modélisés, MFQ s'engage à mettre en place des mesures d'atténuation supplémentaires. La section suivante présente ces mesures.

6.3 MESURES D'ATTÉNUATION POUR LE QUARTZ

Les résultats de la modélisation du scénario d'exploitation selon les méthodes d'opération actuelles montrent des dépassements pour la silice cristalline. Dans ce contexte, MFQ s'engage à mettre en place des mesures d'atténuation supplémentaires. L'ensemble des mesures prises en considération est résumé au tableau 35.

Le premier engagement de MFQ concerne les matériaux stériles à forte teneur en SiO_2 (comme le quartz et le gneiss). En effet, ceux-ci seront transportés au nord de la halde Sud plutôt qu'au sud de cette dernière. Cette mesure éloignera ainsi la manipulation de ces matériaux des récepteurs sensibles (résidents du lac Daigle). Cette situation survient environ à 18 % de l'année et constitue ce qui est décrit comme étant la variante d'opération pour le quartz.

La deuxième mesure ajoute comme engagement des restrictions au niveau des sautages, et ce, en fonction des angles de vent. Les angles ont été déterminés en fonction de la position des sautages et de la position des récepteurs sensibles. Cette situation survient en moyenne environ à 30 % du temps pour l'heure considérée dans la modélisation. Cette mesure est mise en place pour les sautages de toutes les lithologies, à l'exception de l'amphibolite qui présente une faible teneur en SiO_2 .

Enfin, des mesures d'atténuation spécifiques pour le contrôle des émissions de silice cristalline ont été intégrées à la modélisation. La première concerne la taille des sautages de quartz. En effet, ceux-ci seront limités à 19 500 m^2 , soit 376 trous par sautage. Le quartz représente près de 7 % des matières sautées en 2034.

Deux autres mesures d'atténuation spécifiques ont également été ajoutées à la modélisation. Cependant, il est important de préciser que celles-ci sont conditionnelles à ce que le suivi de qualité de l'air montre une problématique au niveau de la silice cristalline.

La première mesure conditionnelle suggère l'utilisation d'amphibolite avec une teneur en SiO_2 de 1 % en moyenne sur les routes, alors que des roches avec des teneurs de 2 % sont présentement utilisées. La deuxième mesure conditionnelle concerne le recouvrement du quartz déposé sur la halde Sud par de l'amphibolite, et ce, à l'intérieur d'une semaine suivant le dépôt sur la halde. Cette mesure permettra de limiter l'érosion éolienne et la dispersion de poussières à haute teneur en silice cristalline.

Finalement, une variante d'opération concernant les travaux de construction a été intégrée à la modélisation. Il ne s'agit pas d'un engagement de MFQ mais bien d'une analyse de sensibilité sur les intrants utilisés. Le raffinement du scénario est justifié par l'incertitude relative au positionnement des routes de transport des matériaux lors de la construction des infrastructures. Ainsi, une réduction de 50 % de la longueur de la route de construction sur le parc à résidus a été considérée puisque les infrastructures de l'année 2040 ont été utilisées pour positionner les sources de l'année 2034. Cette analyse démontre bien qu'il est important de réduire au mieux le routage sur les résidus.

Les résultats suivant la mise en place de ces mesures sont présentés dans les sections suivantes.

Tableau 35 : Sommaire des mesures d'atténuation pour réduire les concentrations modélisées de SiO_2

Catégorie	Mesure d'atténuation	Cartes	Tableaux	Type de mesure
Variante d'opération pour le quartz	Dépôt du stérile à fortes teneurs en SiO_2 (Quartz/Gneiss) au nord de la halde Sud	B3-8 à B3-14	40 à 47	Engagement
Restrictions d'angle de vent pour les sautages	Restrictions des sautages en fonction des angles de vent (pour toutes les lithologies, à l'exception de l'amphibolite)	B3-11 à B3-14	44 à 47	Engagement
Mesures d'atténuation spécifiques pour le contrôle des émissions de silice cristalline	Restriction de la taille maximale pour les sautages de quartz	B3-13 à B3-14	46 à 47	Engagement
	Utilisation de l'amphibolite avec une teneur en SiO_2 de 1 % en moyenne sur les routes	B3-13 à B3-14	46 à 47	Engagement, conditionnel au suivi de qualité de l'air
	Recouvrement du quartz déposé sur la halde Sud par de l'amphibolite, et ce, à l'intérieur d'une semaine suivant le dépôt sur la halde	B3-13 à B3-14	46 à 47	Engagement, conditionnel au suivi de qualité de l'air

6.3.1 VARIANTES D'OPÉRATION POUR LE QUARTZ ET RESTRICTIONS D'ANGLE DE VENT POUR LES SAUTAGES

Les résultats de modélisation de la silice cristalline, et ce, même en considérant les variantes d'opération pour le quartz et les restrictions d'angle de vent pour les sautages, montrent des dépassements des critères 1 heure et annuel autant dans le domaine d'application qu'à tous les récepteurs sensibles.

Pour le critère 1 heure, l'ampleur des dépassements est cependant considérablement réduite aux récepteurs sensibles. La concentration maximale modélisée en considérant la concentration initiale y représente alors 117 %. Bien que la modélisation présente des dépassements, la probabilité de dépassement aux récepteurs sensibles est jugée négligeable avec moins de 1 heure aux récepteurs sensibles pour les cinq années modélisées. En réalité, l'annualisation des fréquences de dépassement se traduit par 1 heure en dépassement sur 100 ans, ce qui est plus long que la durée de vie du projet.

Pour le critère annuel, cette mesure sur les sautages apporte par contre une faible réduction des concentrations modélisées aux récepteurs sensibles. La concentration maximale modélisée en considérant la concentration initiale y représente alors 116 %.

Les courbes d'isoconcentration sont illustrées aux cartes B3-11 et B3-12 pour les critères 1 heure et annuel, respectivement.

Dans ce contexte, MFQ s'engage à ajouter d'autres mesures d'atténuation spécifiques pour le contrôle des émissions de silice cristalline.

6.3.2 MESURES D'ATTÉNUATION SPÉCIFIQUES POUR LE CONTRÔLE DES ÉMISSIONS DE SILICE CRISTALLINE

Les résultats de modélisation de la silice cristalline, en considérant les variantes d'opération pour le quartz, les restrictions d'angle de vent pour les sautages et les mesures d'atténuation spécifiques pour le contrôle des émissions de silice cristalline, montrent des dépassements des critères 1 heure et annuel dans le domaine d'application. Toutefois, les résultats incluant toutes les mesures d'atténuation considérées par MFQ pour réduire les concentrations modélisées de silice cristalline montrent un respect des deux critères à tous les récepteurs sensibles.

Pour le critère 1 heure, la concentration maximale modélisée aux récepteurs sensibles en considérant la concentration initiale représente alors 98 %.

Pour le critère annuel, ces mesures apportent une réduction des concentrations modélisées aux récepteurs sensibles. La concentration maximale modélisée en considérant la concentration initiale y représente alors 98 %.

Or, il est important de rappeler que MFQ mesure séquentiellement les matières particulaires à chacune de ses trois stations de suivi de la qualité de l'air. Il est également prévu d'ajouter des stations près du lac Daigle et d'effectuer le suivi de la silice cristalline. La localisation des stations projetées est présentée à la carte B1-5.

Les courbes d'isoconcentration sont illustrées aux cartes B3-13 et B3-14 pour les critères 1 heure et annuel, respectivement.

Tableau 36 : Résultats de la modélisation dans le domaine d'application pour le scénario de référence

Description de la norme ou du critère					Concentrations modélisées dans le domaine d'application des normes et critères (µg/m³)									Concentration totale modélisée¹ (µg/m³)	Contribution du projet² (%)	Pourcentage de la valeur limite³ (%)
Substance	Acronyme	Type de seuil	Période	Statistique	Valeur limite (µg/m³)	Référence concentration initiale	Concentration initiale (µg/m³)	Maximum par année de l'échantillon météorologique								
								A1	A2	A3	A4	A5	Maximum			
Particules totales	PMT	Norme	24 heures	1 ^{er} maximum	120	Station PW (Lac Bloom)	54	122	105	106	102	118	122	176	69	147
Particules fines	PM2,5	Norme	24 heures	1 ^{er} maximum	30	Projets nordiques	15	14,9	11,3	9,8	9,8	15,6	15,6	30,6	51	102
Monoxyde de carbone	CO	Norme	1 heure	1 ^{er} maximum	34 000	NCQQA v6	2 650	5 168	762	2 131	656	521	5 168	7 818	66	23
			8 heures	1 ^{er} maximum	12 700	NCQQA v6	1 750	661	96	281	88	91	661	2 411	27	19
Dioxyde d'azote	NO2	Norme	1 heure	1 ^{er} maximum	414	NCQQA v6	150	373	250	251	263	231	373	523	71	126
			24 heures	1 ^{er} maximum	207	NCQQA v6	100	101	69	56	48	98	101	201	50	97
			1 an	1 ^{er} maximum	103	NCQQA v6	30	5	5	5	4	4	5	35	14	34
Dioxyde de soufre	SO2	Norme	4 minutes	1 ^{er} maximum	1 310	NCQQA v6	150	298	227	234	172	213	298	448	67	34
				99.5 ^e percentile	1 050	NCQQA v6	150	62	57	59	59	53	62	212	29	20
			24 heures	1 ^{er} maximum	288	NCQQA v6	50	21	23	25	18	19	25	75	33	26
				1 an	1 ^{er} maximum	52	NCQQA v6	20	2,1	1,7	1,8	1,5	1,7	2,1	22,1	9
Antimoine	Sb	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,17	NCQQA v6	0,007	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,007	< 1	4
Argent	Ag	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,23	NCQQA v6	0,005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,005	3	2
Arsenic	As	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,003	NCQQA v6	0,002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00202	1	67
Baryum	Ba	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,05	NCQQA v6	0,025	0,0044	0,0047	0,0036	0,0039	0,0031	0,0047	0,0297	16	59
Béryllium	Be	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,0004	NCQQA v6	0	7.17E-06	7.92E-06	8.43E-06	7.47E-06	7.41E-06	8.43E-06	8.43E-06	100	2
Cadmium	Cd	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,0036	NCQQA v6	0,003	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00301	< 1	84
Chrome (composés de chrome hexavalent)	Cr(VI)	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,004	NCQQA v6	0,002	0,00052	0,00055	0,00041	0,00045	0,00037	0,00055	0,00255	22	64
Chrome (composés de chrome trivalent)	Cr(III)	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,1	NCQQA v6	0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,011	5	11
Cobalt	Co	Critère	1 an	1 ^{er} maximum	0,1	NCQQA v6	0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	100	< 1
Cuivre	Cu	Norme	24 heures	1 ^{er} maximum	2,5	NCQQA v6	0,2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,20	< 1	8
Manganèse	Mn	Critère	1 an	1 ^{er} maximum	0,025	NCQQA v6	0,02	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0004	0,0204	2	82
Mercure	Hg	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,005	NCQQA v6	0,002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00201	< 1	40
Nickel	Ni	Norme	24 heures	1 ^{er} maximum	0,014	NCQQA v6	0,002	0,0041	0,0025	0,0023	0,0022	0,0035	0,0041	0,0061	67	44
Plomb	Pb	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,1	NCQQA v6	0,025	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,025	< 1	25
Sélénium	Se	Critère	1 heure	1 ^{er} maximum	2	NCQQA v6	0,15	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,15	1	8
Silice cristalline	SiO2	Critère	1 heure	1 ^{er} maximum	23	NCQQA v6	6	1 236	253	698	201	169	1 236	1 242	100	5 401
	SiO2	Critère	1 an	1 ^{er} maximum	0,07	NCQQA v6	0,04	0,157	0,163	0,114	0,133	0,093	0,163	0,203	80	291
Thallium	Tl	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,25	NCQQA v6	0,05	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,050	< 1	20
Titane	Ti	Critère	24 heures	1 ^{er} maximum	2,5	NCQQA v6	0	0,12	0,07	0,07	0,06	0,10	0,12	0,12	100	5
Vanadium	V	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	1	NCQQA v6	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	2	1
Zinc	Zn	Norme	24 heures	1 ^{er} maximum	2,5	NCQQA v6	0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,11	7	4

[1] La concentration totale modélisée est la somme de la concentration maximale modélisée et de la concentration initiale.

[2] La contribution du projet est la concentration maximale modélisée divisée par la concentration totale modélisée, en pourcentage.

[3] Le pourcentage de la valeur limite est la concentration totale modélisée divisée par la valeur limite, en pourcentage.

Tableau 37 : Résultats de la modélisation aux récepteurs sensibles pour le scénario de référence

Description de la norme ou du critère											Concentration totale modélisée ¹ (µg/m³)	Contribution du projet ² (%)	Pourcentage de la valeur limite ³ (%)
Substance	Acronyme	Type de seuil	Période	Statistique	Valeur limite (µg/m³)	Référence concentration initiale	Concentration initiale (µg/m³)	Maximum par catégorie					
								Fins de villégiature	Fins d’abri sommaire en forêt	Maximum			
Particules totales	PMT	Norme	24 heures	1 ^{er} maximum	120	Station PW (Lac Bloom)	54	14	10	14	68	21	57
Particules fines	PM2,5	Norme	24 heures	1 ^{er} maximum	30	Projets nordiques	15	2,3	1,4	2,3	17,3	13	58
Monoxyde de carbone	CO	Norme	1 heure	1 ^{er} maximum	34 000	NCQQA v6	2 650	300	237	300	2 950	10	9
			8 heures	1 ^{er} maximum	12 700	NCQQA v6	1 750	52	38	52	1 802	3	14
Dioxyde d’azote	NO2	Norme	1 heure	1 ^{er} maximum	414	NCQQA v6	150	173	111	173	323	54	78
			24 heures	1 ^{er} maximum	207	NCQQA v6	100	20	12	20	120	16	58
			1 an	1 ^{er} maximum	103	NCQQA v6	30	1	<1	1	31	3	30
Dioxyde de soufre	SO2	Norme	4 minutes	1 ^{er} maximum	1 310	NCQQA v6	150	60	31	60	210	29	16
				99.5 ^e percentile	1 050	NCQQA v6	150	14	10	14	164	9	16
			24 heures	1 ^{er} maximum	288	NCQQA v6	50	4	3	4	54	7	19
				1 an	1 ^{er} maximum	52	NCQQA v6	20	0,3	0,2	0,3	20,3	1
Antimoine	Sb	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,17	NCQQA v6	0,007	<0,001	<0,001	<0,001	0,007	< 1	4
Argent	Ag	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,23	NCQQA v6	0,005	<0,001	<0,001	<0,001	0,005	< 1	2
Arsenic	As	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,003	NCQQA v6	0,002	<0,00001	<0,00001	<0,00001	0,00200	< 1	67
Baryum	Ba	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,05	NCQQA v6	0.025	0.0004	0.0002	0.0004	0.0254	1	51
Béryllium	Be	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,0004	NCQQA v6	0	2.61E-07	1.92E-07	2.61E-07	2.61E-07	100	< 1
Cadmium	Cd	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,0036	NCQQA v6	0,003	<0,00001	<0,00001	<0,00001	0,00300	< 1	83
Chrome (composés de chrome hexavalent)	Cr(VI)	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,004	NCQQA v6	0,002	0,00004	0,00002	0,00004	0,00204	2	51
Chrome (composés de chrome trivalent)	Cr(III)	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,1	NCQQA v6	0,01	<0,001	<0,001	<0,001	0,010	< 1	10
Cobalt	Co	Critère	1 an	1 ^{er} maximum	0,1	NCQQA v6	0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	100	< 1
Cuivre	Cu	Norme	24 heures	1 ^{er} maximum	2,5	NCQQA v6	0,2	<0,01	<0,01	<0,01	0,20	< 1	8
Manganèse	Mn	Critère	1 an	1 ^{er} maximum	0,025	NCQQA v6	0,02	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0200	< 1	80
Mercure	Hg	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,005	NCQQA v6	0,002	<0,00001	<0,00001	<0,00001	0,00200	< 1	40
Nickel	Ni	Norme	24 heures	1 ^{er} maximum	0,014	NCQQA v6	0,002	0,0005	0,0004	0,0005	0,0025	21	18
Plomb	Pb	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,1	NCQQA v6	0,025	<0,001	<0,001	<0,001	0,025	< 1	25
Sélénium	Se	Critère	1 heure	1 ^{er} maximum	2	NCQQA v6	0,15	<0,01	<0,01	<0,01	0,15	< 1	8
Silice cristalline	SiO2	Critère	1 heure	1 ^{er} maximum	23	NCQQA v6	6	93,5	74,1	93,5	99,5	94	433
	SiO2	Critère	1 an	1 ^{er} maximum	0,07	NCQQA v6	0,04	0,0078	0,0044	0,0078	0,0478	16	68
Thallium	Tl	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,25	NCQQA v6	0,05	<0,001	<0,001	<0,001	0,050	< 1	20
Titane	Ti	Critère	24 heures	1 ^{er} maximum	2,5	NCQQA v6	0	0,01	0,01	0,01	0,01	100	< 1
Vanadium	V	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	1	NCQQA v6	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	< 1	1
Zinc	Zn	Norme	24 heures	1 ^{er} maximum	2,5	NCQQA v6	0,1	<0,01	<0,01	<0,01	0,10	< 1	4

[1] La concentration totale modélisée est la somme de la concentration maximale modélisée et de la concentration initiale.

[2] La contribution du projet est la concentration maximale modélisée divisée par la concentration totale modélisée, en pourcentage.

[3] Le pourcentage de la valeur limite est la concentration totale modélisée divisée par la valeur limite, en pourcentage.

Tableau 38 : Résultats de la modélisation de SiO₂ dans le domaine d'application pour le scénario de référence – Sans sautage

Description de la norme ou du critère								Concentrations modélisées dans le domaine d'application des normes et critères (µg/m³)							Concentration totale modélisée ¹ (µg/m³)	Contribution du projet ² (%)	Pourcentage de la valeur limite ³ (%)
Substance	Acronyme	Type de seuil	Période	Statistique	Valeur limite (µg/m³)	Référence concentration initiale	Concentration initiale (µg/m³)	Maximum par année de l'échantillon météorologique					Maximum				
								A1	A2	A3	A4	A5					
Silice cristalline	SiO2	Critère	1 heure	1 ^{er} maximum	23	NCQQA v6	6	100	104	99	110	93	110	116	95	503	
[1] La concentration totale modélisée est la somme de la concentration maximale modélisée et de la concentration initiale.																	
[2] La contribution du projet est la concentration maximale modélisée divisée par la concentration totale modélisée, en pourcentage.																	
[3] Le pourcentage de la valeur limite est la concentration totale modélisée divisée par la valeur limite, en pourcentage.																	

Tableau 39 : Résultats de la modélisation de SiO₂ aux récepteurs sensibles pour le scénario de référence – Sans sautage

Description de la norme ou du critère								Maximum par catégorie			Concentration totale modélisée ¹ (µg/m³)	Contribution du projet ² (%)	Pourcentage de la valeur limite ³ (%)
Substance	Acronyme	Type de seuil	Période	Statistique	Valeur limite (µg/m³)	Référence concentration initiale	Concentration initiale (µg/m³)	Fins de villégiature	Fins d'abri sommaire en forêt	Maximum			
Silice cristalline	SiO2	Critère	1 heure	1 ^{er} maximum	23	NCQQA v6	6	3,6	1,8	3,6	9,6	38	42

[1] La concentration totale modélisée est la somme de la concentration maximale modélisée et de la concentration initiale.
[2] La contribution du projet est la concentration maximale modélisée divisée par la concentration totale modélisée, en pourcentage.
[3] Le pourcentage de la valeur limite est la concentration totale modélisée divisée par la valeur limite, en pourcentage.

Tableau 40 : Résultats de la modélisation dans le domaine d'application pour le scénario d'exploitation

Description de la norme ou du critère					Concentrations modélisées dans le domaine d'application des normes et critères (µg/m³)									Concentration totale modélisée ¹ (µg/m³)	Contribution du projet ² (%)	Pourcentage de la valeur limite ³ (%)
Substance	Acronyme	Type de seuil	Période	Statistique	Valeur limite (µg/m³)	Référence concentration initiale	Concentration initiale (µg/m³)	Maximum par année de l'échantillon météorologique					Maximum			
Particules totales	PMT	Norme	24 heures	1 ^{er} maximum	120	Station PW (Lac Bloom)	54	141	151	143	116	143	151	205	74	171
Particules fines	PM2,5	Norme	24 heures	1 ^{er} maximum	30	Projets nordiques	15	9,9	10,0	11,2	7,5	8,3	11,2	26,2	43	87
Monoxyde de carbone	CO	Norme	1 heure	1 ^{er} maximum	34 000	NCQQA v6	2 650	27 314	5 841	16 179	6 485	7 997	27 314	29 964	91	88
			8 heures	1 ^{er} maximum	12 700	NCQQA v6	1 750	3 419	741	2 030	817	1 005	3 419	5 169	66	41
Dioxyde d'azote	NO2	Norme	1 heure	1 ^{er} maximum	414	NCQQA v6	150	359	171	263	178	190	359	509	71	123
			24 heures	1 ^{er} maximum	207	NCQQA v6	100	132	76	112	74	85	132	232	57	112
			1 an	1 ^{er} maximum	103	NCQQA v6	30	5	5	5	5	5	5	35	15	34
Dioxyde de soufre	SO2	Norme	4 minutes	1 ^{er} maximum	1 310	NCQQA v6	150	300	228	234	172	214	300	450	67	34
				99,5 ^e percentile	1 050	NCQQA v6	150	62	57	59	59	54	62	212	29	20
			24 heures	1 ^{er} maximum	288	NCQQA v6	50	21	23	25	18	19	25	75	33	26
				1 an	1 ^{er} maximum	52	NCQQA v6	20	2,1	1,7	1,8	1,5	1,7	22,1	9	42
Antimoine	Sb	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,17	NCQQA v6	0,007	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,007	< 1	4
Argent	Ag	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,23	NCQQA v6	0,005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,005	3	2
Arsenic	As	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,003	NCQQA v6	0,002	0,00005	0,00005	0,00005	0,00005	0,00005	0,00005	0,00205	3	68
Baryum	Ba	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,05	NCQQA v6	0,025	0,0110	0,0111	0,0105	0,0105	0,0103	0,0111	0,0361	31	72
Béryllium	Be	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,0004	NCQQA v6	0	9.42E-06	1.00E-05	1.04E-05	9.71E-06	9.50E-06	1.04E-05	1.04E-05	100	3
Cadmium	Cd	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,0036	NCQQA v6	0,003	0,00001	0,00001	0,00002	0,00001	0,00001	0,00002	0,00302	< 1	84
Chrome (composés de chrome hexavalent)	Cr(VI)	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,004	NCQQA v6	0,002	0,00127	0,00129	0,00122	0,00122	0,00119	0,00129	0,00329	39	82
Chrome (composés de chrome trivalent)	Cr(III)	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,1	NCQQA v6	0,01	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,011	11	11
Cobalt	Co	Critère	1 an	1 ^{er} maximum	0,1	NCQQA v6	0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	100	< 1
Cuivre	Cu	Norme	24 heures	1 ^{er} maximum	2,5	NCQQA v6	0,2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,20	1	8
Manganèse	Mn	Critère	1 an	1 ^{er} maximum	0,025	NCQQA v6	0,02	0,0007	0,0008	0,0007	0,0007	0,0007	0,0008	0,0208	4	83
Mercure	Hg	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,005	NCQQA v6	0,002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00201	< 1	40
Nickel	Ni	Norme	24 heures	1 ^{er} maximum	0,014	NCQQA v6	0,002	0,0038	0,0031	0,0040	0,0023	0,0029	0,0040	0,0060	66	43
Plomb	Pb	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,1	NCQQA v6	0,025	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,025	< 1	25
Sélénium	Se	Critère	1 heure	1 ^{er} maximum	2	NCQQA v6	0,15	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,15	< 1	8
Silice cristalline	SiO2	Critère	1 heure	1 ^{er} maximum	23	NCQQA v6	6	1 318	439	768	486	547	1 318	1 324	100	5 756
	SiO2	Critère	1 an	1 ^{er} maximum	0,07	NCQQA v6	0,04	0,144	0,173	0,134	0,167	0,138	0,173	0,213	81	305
Thallium	Tl	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,25	NCQQA v6	0,05	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,050	< 1	20
Titane	Ti	Critère	24 heures	1 ^{er} maximum	2,5	NCQQA v6	0	0,11	0,09	0,11	0,06	0,08	0,11	0,11	100	5
Vanadium	V	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	1	NCQQA v6	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	5	1
Zinc	Zn	Norme	24 heures	1 ^{er} maximum	2,5	NCQQA v6	0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,11	7	4
<div>[1] La concentration totale modélisée est la somme de la concentration maximale modélisée et de la concentration initiale. [2] La contribution du projet est la concentration maximale modélisée divisée par la concentration totale modélisée, en pourcentage. [3] Le pourcentage de la valeur limite est la concentration totale modélisée divisée par la valeur limite, en pourcentage.</div>																

Tableau 41 : Résultats de la modélisation aux récepteurs sensibles pour le scénario d'exploitation

Description de la norme ou du critère													
Substance	Acronyme	Type de seuil	Période	Statistique	Valeur limite (µg/m³)	Référence concentration initiale	Concentration initiale (µg/m³)	Maximum par catégorie		Maximum	Concentration totale modélisée¹ (µg/m³)	Contribution du projet² (%)	Pourcentage de la valeur limite³ (%)
								Fins de villégiature	Fins d’abri sommaire en forêt				
Particules totales	PMT	Norme	24 heures	1 ^{er} maximum	120	Station PW (Lac Bloom)	54	52	36	52	106	49	89
Particules fines	PM2,5	Norme	24 heures	1 ^{er} maximum	30	Projets nordiques	15	5,8	3,9	5,8	20,8	28	69
Monoxyde de carbone	CO	Norme	1 heure	1 ^{er} maximum	34 000	NCQQA v6	2 650	3 943	1 956	3 943	6 593	60	19
			8 heures	1 ^{er} maximum	12 700	NCQQA v6	1 750	499	257	499	2 249	22	18
Dioxyde d’azote	NO2	Norme	1 heure	1 ^{er} maximum	414	NCQQA v6	150	155	139	155	305	51	74
			24 heures	1 ^{er} maximum	207	NCQQA v6	100	49	32	49	149	33	72
			1 an	1 ^{er} maximum	103	NCQQA v6	30	2	<1	2	32	6	31
Dioxyde de soufre	SO2	Norme	4 minutes	1 ^{er} maximum	1 310	NCQQA v6	150	60	31	60	210	29	16
				99.5 ^e percentile	1 050	NCQQA v6	150	14	10	14	164	9	16
			24 heures	1 ^{er} maximum	288	NCQQA v6	50	4	3	4	54	7	19
			1 an	1 ^{er} maximum	52	NCQQA v6	20	0,3	0,2	0,3	20,3	1	39
Antimoine	Sb	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,17	NCQQA v6	0,007	<0,001	<0,001	<0,001	0,007	< 1	4
Argent	Ag	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,23	NCQQA v6	0,005	<0,001	<0,001	<0,001	0,005	< 1	2
Arsenic	As	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,003	NCQQA v6	0,002	0,00001	<0,00001	0,00001	0,00201	< 1	67
Baryum	Ba	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,05	NCQQA v6	0,025	0,0026	0,0009	0,0026	0,0276	9	55
Béryllium	Be	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,0004	NCQQA v6	0	1.36E-06	5.44E-07	1.36E-06	1.36E-06	100	< 1
Cadmium	Cd	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,0036	NCQQA v6	0,003	<0,00001	<0,00001	<0,00001	0,00300	< 1	83
Chrome (composés de chrome hexavalent)	Cr(VI)	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,004	NCQQA v6	0,002	0,00030	0,00011	0,00030	0,00230	13	58
Chrome (composés de chrome trivalent)	Cr(III)	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,1	NCQQA v6	0,01	<0,001	<0,001	<0,001	0,010	3	10
Cobalt	Co	Critère	1 an	1 ^{er} maximum	0,1	NCQQA v6	0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	100	< 1
Cuivre	Cu	Norme	24 heures	1 ^{er} maximum	2,5	NCQQA v6	0,2	<0,01	<0,01	<0,01	0,20	< 1	8
Manganèse	Mn	Critère	1 an	1 ^{er} maximum	0,025	NCQQA v6	0,02	0,0002	<0,0001	0,0002	0,0202	< 1	81
Mercure	Hg	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,005	NCQQA v6	0,002	<0,00001	<0,00001	<0,00001	0,00200	< 1	40
Nickel	Ni	Norme	24 heures	1 ^{er} maximum	0,014	NCQQA v6	0,002	0,0016	0,0012	0,0016	0,0036	44	26
Plomb	Pb	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,1	NCQQA v6	0,025	<0,001	<0,001	<0,001	0,025	< 1	25
Sélénium	Se	Critère	1 heure	1 ^{er} maximum	2	NCQQA v6	0,15	<0,01	<0,01	<0,01	0,15	< 1	8
Silice cristalline	SiO2	Critère	1 heure	1 ^{er} maximum	23	NCQQA v6	6	291	140	291	297	98	1 291
	SiO2	Critère	1 an	1 ^{er} maximum	0,07	NCQQA v6	0,04	0,0425	0,0215	0,0425	0,0825	52	118
Thallium	Tl	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	0,25	NCQQA v6	0,05	<0,001	<0,001	<0,001	0,050	< 1	20
Titane	Ti	Critère	24 heures	1 ^{er} maximum	2,5	NCQQA v6	0	0,04	0,03	0,04	0,04	100	2
Vanadium	V	Norme	1 an	1 ^{er} maximum	1	NCQQA v6	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	1	1
Zinc	Zn	Norme	24 heures	1 ^{er} maximum	2,5	NCQQA v6	0,1	<0,01	<0,01	<0,01	0,10	2	4
[1] La concentration totale modélisée est la somme de la concentration maximale modélisée et de la concentration initiale. [2] La contribution du projet est la concentration maximale modélisée divisée par la concentration totale modélisée, en pourcentage. [3] Le pourcentage de la valeur limite est la concentration totale modélisée divisée par la valeur limite, en pourcentage.													

Tableau 42 : Résultats de la modélisation de SiO₂ dans le domaine d'application pour le scénario d'exploitation – Sans sautage

Description de la norme ou du critère								Concentrations modélisées dans le domaine d'application des normes et critères (µg/m³)							Concentration totale modélisée ¹ (µg/m³)	Contribution du projet ² (%)	Pourcentage de la valeur limite ³ (%)
Substance	Acronyme	Type de seuil	Période	Statistique	Valeur limite (µg/m³)	Référence concentration initiale	Concentration initiale (µg/m³)	Maximum par année de l'échantillon météorologique					Maximum				
								A1	A2	A3	A4	A5					
Silice cristalline	SiO2	Critère	1 heure	1 ^{er} maximum	23	NCQQA v6	6	42,2	28,2	29,5	28,3	30,0	42,2	48,2	88	209	
[1] La concentration totale modélisée est la somme de la concentration maximale modélisée et de la concentration initiale.																	
[2] La contribution du projet est la concentration maximale modélisée divisée par la concentration totale modélisée, en pourcentage.																	
[3] Le pourcentage de la valeur limite est la concentration totale modélisée divisée par la valeur limite, en pourcentage.																	

Tableau 43 : Résultats de la modélisation de SiO₂ aux récepteurs sensibles pour le scénario d'exploitation – Sans sautage

Description de la norme ou du critère											Concentration totale modélisée ¹ (µg/m³)	Contribution du projet ² (%)	Pourcentage de la valeur limite ³ (%)
Substance	Acronyme	Type de seuil	Période	Statistique	Valeur limite (µg/m³)	Référence concentration initiale	Concentration initiale (µg/m³)	Maximum par catégorie		Maximum			
								Fins de villégiature	Fins d’abri sommaire en forêt				
Silice cristalline	SiO2	Critère	1 heure	1 ^{er} maximum	23	NCQQA v6	6	10,2	5,6	10,2	16,2	63	70
[1] La concentration totale modélisée est la somme de la concentration maximale modélisée et de la concentration initiale.													
[2] La contribution du projet est la concentration maximale modélisée divisée par la concentration totale modélisée, en pourcentage.													
[3] Le pourcentage de la valeur limite est la concentration totale modélisée divisée par la valeur limite, en pourcentage.													

Tableau 44 : Résultats de la modélisation dans le domaine d'application pour le scénario d'exploitation – Avec restrictions d'angle sur les sautages

Description de la norme ou du critère										Concentrations modélisées dans le domaine d'application des normes et critères (µg/m³)						
Substance	Acronyme	Type de seuil	Période	Statistique	Valeur limite (µg/m³)	Référence concentration initiale	Concentration initiale (µg/m³)	Maximum par année de l'échantillon météorologique					Maximum	Concentration totale modélisée¹ (µg/m³)	Contribution du projet² (%)	Pourcentage de la valeur limite³ (%)
								A1	A2	A3	A4	A5				
Silice cristalline	SiO2	Critère	1 heure	1 ^{er} maximum	23	NCQQA v6	6	1 318	439	768	486	377	1 318	1 324	100	5 756
	SiO2	Critère	1 an	1 ^{er} maximum	0,07	NCQQA v6	0,04	0,144	0,173	0,135	0,167	0,138	0,173	0,213	81	305
<p>[1] La concentration totale modélisée est la somme de la concentration maximale modélisée et de la concentration initiale.</p> <p>[2] La contribution du projet est la concentration maximale modélisée divisée par la concentration totale modélisée, en pourcentage.</p> <p>[3] Le pourcentage de la valeur limite est la concentration totale modélisée divisée par la valeur limite, en pourcentage.</p>																

Tableau 45 : Résultats de la modélisation aux récepteurs sensibles pour le scénario d'exploitation – Avec restrictions d'angle sur les sautages

Description de la norme ou du critère											Concentration totale modélisée ¹ (µg/m³)	Contribution du projet ² (%)	Pourcentage de la valeur limite ³ (%)
Substance	Acronyme	Type de seuil	Période	Statistique	Valeur limite (µg/m³)	Référence concentration initiale	Concentration initiale (µg/m³)	Maximum par catégorie		Maximum			
								Fins de villégiature	Fins d’abri sommaire en forêt				
Silice cristalline	SiO2	Critère	1 heure	1 ^{er} maximum	23	NCQQA v6	6	20,8	13,0	20,8	26,8	78	117
	SiO2	Critère	1 an	1 ^{er} maximum	0,07	NCQQA v6	0,04	0,0409	0,0211	0,0409	0,0809	51	116
[1] La concentration totale modélisée est la somme de la concentration maximale modélisée et de la concentration initiale.													
[2] La contribution du projet est la concentration maximale modélisée divisée par la concentration totale modélisée, en pourcentage.													
[3] Le pourcentage de la valeur limite est la concentration totale modélisée divisée par la valeur limite, en pourcentage.													

Tableau 46 : Résultats de la modélisation dans le domaine d'application pour le scénario d'exploitation – Avec restrictions d'angle sur les sautages et mesures d'atténuation spécifiques pour la silice cristalline

Description de la norme ou du critère								Concentrations modélisées dans le domaine d'application des normes et critères (µg/m³)							Concentration totale modélisée¹ (µg/m³)	Contribution du projet² (%)	Pourcentage de la valeur limite³ (%)
Substance	Acronyme	Type de seuil	Période	Statistique	Valeur limite (µg/m³)	Référence concentration initiale	Concentration initiale (µg/m³)	Maximum par année de l'échantillon météorologique					Maximum				
								A1	A2	A3	A4	A5					
Silice cristalline	SiO2	Critère	1 heure	1 ^{er} maximum	23	NCQQA v6	6	1 049	349	611	386	300	1 049	1 055	99	4 585	
	SiO2	Critère	1 an	1 ^{er} maximum	0,07	NCQQA v6	0,04	0,134	0,163	0,126	0,159	0,130	0,163	0,203	80	290	
[1] La concentration totale modélisée est la somme de la concentration maximale modélisée et de la concentration initiale.																	
[2] La contribution du projet est la concentration maximale modélisée divisée par la concentration totale modélisée, en pourcentage.																	
[3] Le pourcentage de la valeur limite est la concentration totale modélisée divisée par la valeur limite, en pourcentage.																	

Tableau 47 : Résultats de la modélisation aux récepteurs sensibles pour le scénario d'exploitation – Avec restrictions d'angle sur les sautages et mesures d'atténuation spécifiques pour la silice cristalline

Description de la norme ou du critère											Concentration totale modélisée ¹ (µg/m³)	Contribution du projet ² (%)	Pourcentage de la valeur limite ³ (%)
Substance	Acronyme	Type de seuil	Période	Statistique	Valeur limite (µg/m³)	Référence concentration initiale	Concentration initiale (µg/m³)	Maximum par catégorie		Maximum			
								Fins de villégiature	Fins d'abri sommaire en forêt				
Silice cristalline	SiO2	Critère	1 heure	1 ^{er} maximum	23	NCQQA v6	6	16,5	10,3	16,5	22,5	73	98
	SiO2	Critère	1 an	1 ^{er} maximum	0,07	NCQQA v6	0,04	0,0288	0,0163	0,0288	0,0688	42	98
[1] La concentration totale modélisée est la somme de la concentration maximale modélisée et de la concentration initiale.													
[2] La contribution du projet est la concentration maximale modélisée divisée par la concentration totale modélisée, en pourcentage.													
[3] Le pourcentage de la valeur limite est la concentration totale modélisée divisée par la valeur limite, en pourcentage.													

7 CONSERVATISME ET LIMITATIONS

7.1 CONSERVATISME DE L'APPROCHE

La modélisation de la dispersion atmosphérique strictement réalisée selon les exigences du MELCC a pour objectif d'évaluer les concentrations potentielles maximales dans l'air ambiant et de s'assurer que les normes seront respectées en tout temps. En effet, selon le *Guide de modélisation de la dispersion atmosphérique* du MELCC, les résultats présentés doivent toujours correspondre aux maximums obtenus, pour chacune des périodes, à chacun des récepteurs identifiés. Il s'agit donc d'une approche très conservatrice puisqu'aucune valeur modélisée n'est retirée de l'analyse et qu'aucun traitement par centiles n'est effectué, à l'exception de certaines normes bien spécifiques.

De plus, pour évaluer les impacts d'un projet à l'aide de la modélisation, des scénarios conservateurs doivent être considérés. Par conséquent, des « scénarios pires cas » doivent être modélisés afin de bien représenter les maximums pouvant survenir pendant toute la durée de vie du projet, et ce, même si une fluctuation importante des opérations est planifiée.

Finalement, des concentrations initiales conservatrices sont ajoutées aux résultats de modélisation. Les valeurs utilisées sont des valeurs fixes alors que les concentrations initiales réelles varient dans le temps et sont en moyenne plus basses que les valeurs utilisées.

7.2 INCERTITUDES ET LIMITATIONS DU MODÈLE

7.2.1 HYPOTHÈSES DE MODÉLISATION

Les scénarios de modélisation considérés sont parfois hautement hypothétiques. En effet, les hypothèses à la base de la caractérisation des sources d'émission découlent directement de l'information disponible dans les études de préféabilité ou de faisabilité, qui sont quant à elles axées sur la viabilité économique des projets. Ainsi, les étapes ayant un impact relativement faible sur l'économie du projet ou ne présentant aucun indicateur de risque quant à la faisabilité technique du projet sont peu ou pas documentées avant l'ingénierie détaillée; c'est le cas notamment des phases de construction.

7.2.2 FACTEURS D'ÉMISSIONS

Les taux d'émission utilisés pour représenter les différentes sources fugitives sont estimés à l'aide d'équations empiriques visant à donner un ordre de grandeur des émissions plutôt qu'un chiffre exact. De plus, l'efficacité de l'atténuation appliquée dans le but de contrôler ces émissions ne peut qu'être estimée grossièrement. En effet, les principaux contributeurs lors d'opérations de construction et lors d'opération minières sont des sources fugitives dont la caractérisation demeure un exercice difficile puisque leurs émissions varient, entre autres, en fonction des conditions météorologiques, de l'heure de la journée et de la variation des opérations.

L'estimation des taux d'émissions est d'ailleurs majoritairement basée sur des facteurs d'émissions provenant de l'AP-42, souvent déterminés à partir d'ensembles relativement petits de mesures et entachés de grandes incertitudes. Ces équations ont également été développées à l'aide de mesures effectuées dans des contextes et des climats variés. Par exemple, aucune de ces équations ne prend en compte les conditions hivernales et la couverture de neige, qui est pourtant une réalité importante au Québec.

À titre indicatif, Golder Associates a déterminé, à la suite d'une campagne d'échantillonnage sur deux sites miniers canadiens, que les conditions hivernales peuvent atténuer naturellement les émissions de particules générées par le transport sur route non pavées de 94 % et 96 % (Golder Associates, 2012). L'étude a également permis de démontrer une forte dépendance entre les concentrations de particules mesurées et l'humidité relative de l'air, paramètre qui

n'est pas considéré dans l'équation suggérée par l'AP-42 pour déterminer les taux d'émissions de matières particulaires de resuspension découlant du routage. Prendre note que ces atténuations en conditions hivernales n'ont pas été considérées dans la présente modélisation, mais sont données pour appuyer l'argumentaire sur les incertitudes et limitations.

7.2.3 DISPERSION DES MATIÈRES PARTICULAIRES

Il est reconnu depuis un bon nombre d'années que la modélisation des sources fugitives de particules surestime substantiellement les concentrations réelles dans l'atmosphère (Pace 2005, AISI 2015). Il s'avère également que les mesures prises afin de déterminer les facteurs d'émission ont généralement été effectuées près des sources, typiquement entre 5 et 10 mètres, alors qu'en moyenne, environ 2/3 du nuage de poussière était à moins de 2 mètres du sol. Ainsi, puisque les nuages étaient turbulents et près du sol, d'importantes réductions sont susceptibles de survenir sur une distance de quelques dizaines ou centaines de mètres pour ce type d'émission.

Il s'avère en effet que la dispersion des matières particulaires est un procédé physique complexe et actuellement mal représenté par les modèles de dispersion. Il est maintenant reconnu que différents phénomènes affectent la dispersion des particules : la déposition sèche (due à la force de gravité et la masse des particules), la déposition humide (due aux précipitations), la filtration des émissions par la couverture du sol (herbe, arbres, bâtiments, etc.) lorsque les émissions sont émises près du sol, ainsi que les forces électrostatiques, la thermophorèse et l'agglomération des particules qui peuvent accroître la déposition au sol. Des phénomènes qui s'ajoutent à la déposition sèche déjà supportée par les modèles de dispersion et prise en considération dans la présente étude.

De plus, la filtration des émissions par la couverture du sol n'est actuellement pas supportée par les modèles de dispersion. Ces phénomènes physiques contribuent à réduire de façon considérable les concentrations réelles de particules dans l'air, et particulièrement par vent faible, alors que la dispersion est faible. Lors de tests sur le terrain, il a en effet été démontré que l'effet de filtration peut être très variable, allant de très faible, de jour, dans un environnement dénudé jusqu'à un taux de 85 %, de nuit, alors que des structures étaient présentes entre la route et les équipements de mesures (Pace 2005).

7.2.4 VARIATION SPATIALE ET TEMPORELLE DU SCÉNARIO

Les scénarios de modélisation considérés sont des scénarios statiques, c'est-à-dire que les sources d'émission ont les mêmes positions au cours de l'année. Or, la majorité des émetteurs se déplacent au fil des heures et de l'année. Les tronçons de route utilisés s'allongent et se déplacent tandis que d'autres sont abandonnés, les bouteurs, les chargeuses et les foreuses se déplacent, les sautages sont effectués dans diverses régions sur le site, etc. Le scénario réel d'opération est ainsi beaucoup plus complexe et variable que le scénario de modélisation.

En fait, vu la complexité et la variabilité des opérations d'un complexe minier, un scénario moyen est considéré. C'est donc dire que l'ensemble des opérations est moyenné sur chacune des heures de l'année.

7.2.5 MODÈLE MÉTÉOROLOGIQUE ET MODÈLE DE DISPERSION

Les modèles de dispersion sont conçus pour représenter le plus fidèlement possible la réalité, tout en restant conservateurs. Or, ceux-ci sont des modèles mathématiques avec leurs limites, considérant un ensemble fini de paramètres. Ces modèles seront donc toujours entachés d'une certaine incertitude.

7.2.5.1 VENTS COMPLEXES

Le modèle AERMOD ne prend pas en compte les champs de vents complexes susceptibles d'être rencontrés en région accidentée ou dans une région où l'utilisation du sol n'est pas uniforme. En effet, les paramètres météorologiques utilisés par le modèle sont les mêmes en tout point du domaine de modélisation, autant horizontalement que verticalement. Le champ de vent considéré par le modèle est donc le même au creux d'une vallée, au sommet d'une montagne, en ville ainsi qu'au milieu d'un lac.

7.2.5.2 TOPOGRAPHIE ET LIGNE DE MIRE

Le modèle AERMOD est un modèle gaussien qui est valide lorsque la dispersion en ligne de mire est représentative. Plus précisément, AERMOD peut calculer assez fidèlement la dispersion à l'intérieur d'une vallée, mais ne peut représenter adéquatement le transport des contaminants à l'extérieur de celle-ci. Ainsi, il n'est pas approprié lorsque des obstacles topographiques importants doivent être traversés.

Le traitement de la topographie du modèle AERMOD met justement ce phénomène en évidence. En effet, la topographie est traitée via l'utilisation du préprocesseur AERMAP, qui assigne une valeur de zhill à chacun des récepteurs en fonction de la topographie locale, et ce, sans tenir compte de la position des sources et donc, de la provenance des émissions. Ainsi pour un récepteur donné, AERMAP et AERMOD ne peuvent distinguer si l'obstacle se trouve devant ou derrière le récepteur, par rapport à la source. Un autre point important concernant la valeur attribuée au zhill est que celle-ci dépend uniquement de l'environnement local. Les obstacles topographiques rencontrés en amont n'ont donc aucun effet sur la dispersion aux récepteurs d'intérêt.

Il est important de souligner que le modèle de dispersion AERMOD n'est pas apte à représenter les concentrations susceptibles d'être observées dans l'atmosphère de l'autre côté d'obstacles topographiques importants. Dans le cadre de la présente étude, le modèle AERMOD ne peut pas représenter adéquatement la dispersion des émissions en provenance des fosses vers les récepteurs sensibles du lac Daigle, alors qu'une montagne doit être traversée. Les concentrations modélisées à ces récepteurs sont donc susceptibles d'être grandement surestimées.

7.2.5.3 TRAITEMENT DES VENTS FAIBLES

Dans les conditions actuelles de modélisation pour les projets miniers, les concentrations maximales sont obtenues par vent faible. Ceci s'explique par les conditions de modélisation : taux d'émission indépendant du vent pour la majorité des sources, sources volumiques situées près du sol, etc. Pour cette raison, le traitement des vents calmes est primordial, d'autant plus que seules les valeurs maximales sont présentées et utilisées pour l'analyse des impacts des projets.

De par leur formulation théorique, les modèles gaussiens, pour lesquels la solution à l'état stationnaire diverge par vent faible, produisent des concentrations excessivement élevées dans de telles conditions. Les guides de dispersion atmosphérique pour ces modèles recommandent d'ailleurs de retirer les vents inférieurs à 0,5 m/s et certaines conditions de vents sont donc écartées de l'analyse.

Bien que les problèmes de performance du modèle AERMOD par vent faible soient historiquement bien connus, de nouvelles options de traitement ont été proposées et sont maintenant acceptées comme option par défaut afin de contrôler cette problématique. L'importance des conditions de vents faibles, couplée à la formulation problématique du modèle dans de telles conditions, soulève néanmoins d'importantes incertitudes sur les résultats.

7.3 DISCUSSION ET RÉSERVES

L'article 197 du RAA prescrit l'utilisation de la modélisation de la dispersion atmosphérique dans le but d'évaluer et d'autoriser les projets. Or, il est important de réitérer au lecteur l'ampleur des différentes incertitudes et limitations connues du modèle dans la représentation de la dispersion des émissions d'un projet minier, alors que les sources fugitives de particules sont prédominantes. Dr Cowherd, contributeur important de l'AP-42 et de l'élaboration des facteurs d'émission pour les sources fugitives, prônait d'ailleurs en 2012 le développement et le raffinement des méthodes de modélisation avant d'imposer l'utilisation de la modélisation pour l'application des standards de qualité de l'air aux États-Unis (Cowherd, 2012).

Il est en fait reconnu depuis un bon nombre d'années que la modélisation des sources fugitives de particules surestime substantiellement les concentrations réelles dans l'atmosphère (Pace 2005, AISI 2015). Les analyses suggèrent que ces surestimations peuvent aller jusqu'à un ordre de grandeur. Dans le milieu des années 90, l'U.S. EPA Office of Air Quality Planning and Standards (OAQPS) a d'ailleurs commencé à utiliser systématiquement un facteur « divide by four » afin « d'ajuster » les estimations d'émissions de particules et d'obtenir de meilleurs accords entre les modélisations et les données d'échantillonnage.

Dans ce contexte, il est important de rappeler que plusieurs maximums modélisés de la présente étude surviennent par vent faible, alors que d'expérience, les événements de poussière d'un site minier se produisent plutôt par vent fort. L'évaluation des conditions météorologiques lors de dépassements modélisés est donc contradictoire et démontre bien l'incapacité actuelle du modèle à représenter fidèlement la réalité d'un site minier. De ce fait, il est important de comprendre que la modélisation de la dispersion atmosphérique des particules dans sa forme actuelle rend difficile l'évaluation de scénarios alternatifs d'opération ou l'évaluation de mesures d'atténuation efficaces.

8 CONCLUSION

Le présent document constitue la mise à jour de l'étude sectorielle évaluant l'impact sur la qualité de l'air des émissions provenant des opérations associées au projet d'augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et des stériles à la mine de fer du lac Bloom, déposée en février 2014 dans le cadre de l'étude d'impact sur l'environnement. Cette étude sectorielle s'inscrit dans la poursuite du processus d'évaluation environnementale provincial du projet, lequel a toutefois été ajusté en fonction du nouveau plan minier élaboré par MFQ.

La démarche de modélisation préconisée dans la présente étude s'appuie sur la méthodologie proposée par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) dans le *Guide de modélisation de la dispersion atmosphérique* (MDDEP, 2005) et dans le *Guide d'instruction – Préparation et réalisation d'une modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques – Projets miniers* (MDDELCC, 2017). L'étude prend en compte les données fournies et des informations obtenues auprès des responsables de la planification des opérations et de la conception des installations.

La modélisation a été effectuée à l'aide du logiciel AERMOD (version 18081) sur cinq années de données météorologiques. Des données météorologiques compilées par le modèle météorologique WRF (Weather Research and Forecast) considérant les réanalyses climatiques ERA5 produites par ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) comme conditions initiales et conditions aux limites ont été utilisées. L'option du modèle ADJ_U*, qui n'est plus une option bêta, a été intégrée dans la présente étude. De plus, la déposition sèche des particules a été activée dans le modèle. Concernant le traitement des résultats, l'approche est très conservatrice puisqu'aucune valeur modélisée n'est retirée lors de l'analyse des normes et critères.

L'étude propose la caractérisation des situations maximisant l'impact sur la qualité de l'air. Pour se faire, deux scénarios ont été retenus, soit le scénario de référence et le scénario d'exploitation de l'année 2034. Le scénario de référence caractérise l'avant-projet et correspond aux activités actuellement autorisées et pour lesquelles MFQ pourrait exploiter sans devoir demander de modification à ses autorisations. Le scénario d'exploitation représente quant à lui l'année où l'extraction des fosses et la distance parcourue par les camions miniers sont maximales. Ainsi, l'acceptabilité du projet d'augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles à la mine de fer du lac Bloom est évaluée conformément à l'article 197 du RAA.

Les substances retenues pour les modélisations sont les matières particulaires (PMT et PM_{2,5}), le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde d'azote (NO₂), le dioxyde de soufre (SO₂) ainsi que 19 métaux et métalloïdes pour lesquels une norme ou un critère de qualité de l'atmosphère a été établi par le MELCC.

Le tableau 48 présente une synthèse des résultats de modélisation évalués aux récepteurs sensibles, pour les deux scénarios considérés. Pour le scénario de référence, les résultats de la modélisation indiquent un respect des normes et critères aux récepteurs sensibles pour tous les composés à l'exception de la silice cristalline. Il s'agit des mêmes conclusions pour le scénario d'exploitation du projet. Par contre, cette situation mène à une non-recevabilité au niveau de l'article 197 du RAA puisque le projet entraîne une augmentation des concentrations pour les contaminants dont les normes et les critères sont déjà dépassés relativement aux activités minières actuellement autorisées.

Dans ce contexte, MFQ s'engage à mettre en place une variante d'opération pour le quartz et des mesures d'atténuation spécifiques pour le contrôle des émissions de silice cristalline. Or, lorsque toutes les mesures de mitigation prises en considération dans la présente étude sont appliquées, les concentrations modélisées de silice cristalline montrent un respect des critères à tous les récepteurs sensibles.

Par contre, il est impératif de mettre en perspective les résultats obtenus relativement aux arguments énumérés dans la section concernant le conservatisme et les limitations du modèle. En effet, les résultats proviennent essentiellement de modélisations sans rétroaction ou calibration à partir des mesures du programme de suivi de la qualité de l'air de MFQ. Les modélisations demeurent des estimations faites avec des hypothèses très conservatrices et peu représentatives d'une opération minière qui est en mouvement et déplacement constant.

Il est aussi important de rappeler que MFQ mesure séquentiellement les matières particulaires à chacune de ses trois stations de suivi de la qualité de l'air. Il est également prévu d'ajouter des stations près du lac Daigle et d'effectuer le suivi de la silice cristalline.

Finalement, compte tenu de la sensibilité des résultats aux conditions d'exploitation et des paramètres de modélisation exigés par le MELCC, l'engagement que prend MFQ de mettre en place un plan de gestion de poussières supporté par son programme de suivi de la qualité de l'air permettra d'évaluer l'efficacité des mesures d'atténuation et de conception qui ont été modélisées dans le cadre du présent rapport; mesures représentant les hypothèses les plus réalistes découlant de la documentation la plus à jour sur le projet.

Tableau 48 : Synthèse des résultats de modélisation aux récepteurs sensibles

Catégorie	Substance	Période	Statistique	Type de seuil	Scénario de référence	Scénario d'exploitation	Restrictions d'angle sur les sautages	Mesures spécifiques pour le SiO ₂
Matières particulaires	PMT	24 heures	Maximum	Norme	✓	✓	✓	✓
	PM _{2,5}	24 heures	Maximum	Norme	✓	✓	✓	✓
Gaz de combustion	CO	Var.	Maximum	Norme	✓	✓	✓	✓
	NO ₂	Var.	Maximum	Norme	✓	✓	✓	✓
	SO ₂	Var.	Maximum	Norme	✓	✓	✓	✓
Métaux	Var.	Var.	Maximum	Var.	✓	✓	✓	✓
Silice cristalline	SiO ₂	1 heure	Maximum	Critère	✗	✗	✓ ^[1]	✓
		1 an	Maximum	Critère	✓	✗	✗	✓
Var. Variable. Regroupe les substances, périodes et seuils dont les conclusions sont identiques								
[1] Bien que la modélisation de cette variante présente un dépassement, l'annualisation des fréquences de dépassements se traduit par une heure en dépassement sur 100 ans, ce qui est plus long que la durée de vie du projet. Le dépassement est donc jugé négligeable.								

9 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALBERTA ENVIRONMENT. Preparation of Alberta Environment Regional AERMOD Screening Meteorology Data Sets. Alberta Environment (AENV) Science and Standards, T/641. 2002.
- ATTALLA *ET AL.* NO_x Emissions from Blasting Operations in Open-Cut Coal Mining, Atmospheric Environment 42 (2008) 7874–7883.
- AUSTRALIAN GOVERNMENT, DEPARTMENT OF SUSTAINABILITY, ENVIRONMENT, WATER, POPULATION AND COMMUNITIES (DSEWPac). National Pollutant Inventory. Emission estimation technique manual for mining. Version 3.1. January 2012a.
- AUSTRALIAN GOVERNMENT, DEPARTMENT OF SUSTAINABILITY, ENVIRONMENT, WATER, POPULATION AND COMMUNITIES (DSEWPac). National Pollutant Inventory. Emission Estimation Technique Manual for Explosives Detonation and Firing Ranges. Version 3.0. January 2012b.
- BRITISH COLUMBIA MINISTRY OF ENVIRONMENT. Guidelines for Air Quality Dispersion Modelling in British Columbia. Environmental Protection Division, Environmental Quality Branch, Air Protection Section, Victoria, B.C. 2006.
- BRODE, R. ET ROBINSON, R. 2007. AERMOD Implementation Workgroup. EPA Regional/State/Local Modelers Workshop.
- CLIFFS, Note de service de Claude Baillargeon. Présence de fer, aluminium et silice cristalline dans le gisement de la mine de fer du Lac Bloom. 11 octobre 2014, mise à jour le 3 juillet 2019, Hugues Longuépée (MFQ).
- CONSULAIR. Rapport de caractérisation des émissions atmosphériques en provenance des chaudières, du silo (2 sources) et du concasseur. Référence #18-5303. Décembre 2018.
- COUNTESS, R. 2007. Reconciling Fugitive Dust Emission Inventories with Ambient Measurements, Emission Inventory Conference.
- COWHERD, C.; MULESKI, G. E.; KINSEY, J. S. September 1988. *Control of open fugitive dust sources*.
- COWHERD, C. March 13, 2012. Modeling Concerns for Fugitive Sources in the Iron, Steel and Mining Industries. Modeling Conference in Research Triangle Park, NC.
- GOLDER ASSOCIÉS. Caractérisation géochimique des stériles, du minerai, des résidus et du concentré de la mine de fer du Lac bloom, SEC Mine de Fer du Lac Bloom, Fermont (Québec). Réf. 002-12-1221-0070-RF-Rev0, Février 2013.
- GOLDER ASSOCIATES. September 2012. Determination of Natural Winter Mitigation of Road Dust Emissions from Mining Operations in Northern Canada.
- GOUVERNEMENT DU CANADA, ENVIRONNEMENT CANADA. 2013. Règlement sur le soufre dans le carburant diesel.
- GOUVERNEMENT DU CANADA, ENVIRONNEMENT CANADA. 2015. *MANOBS (Manuel d'observations météorologiques de surface) Septième édition*, 978-0-660-23073-3, 477 pages.
- GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, ENVIRONNEMENT ET LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES. Guide d'instructions – Préparation et réalisation d'une modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques – Projets miniers. Janvier 2017.
- GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES. Normes et critères québécois de qualité de l'atmosphère, version 6, Québec, Direction des avis et des expertises, ISBN 978-2-550-82698-9. 2018.
<http://www.environnement.gouv.qc.ca/air/criteres/index.htm>.
- GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS. Guide de la modélisation de la dispersion atmosphérique. 2005.
- GOUVERNEMENT DU QUÉBEC. Règlement modifiant le Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère, Décret 1228-2013, 27 novembre 2013.

- HANNA, S. R. ET CHOWDHURY, B. 2014. Minimum turbulence assumptions and u^* and L estimation for dispersion models during low-wind stable conditions. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 64(3):309–321.
- NEWFOUNDLAND AND LABRADOR, DEPARTMENT OF ENVIRONMENT AND CONSERVATION (NLDEC). Guideline for Plume Dispersion Modelling. 2nd Revision, Saint John's, NL. September 18, 2012.
- ONTARIO MINISTRY OF THE ENVIRONMENT. 2009. Air dispersion modelling guideline for Ontario. PIBs # 5165e02. 154 pages.
- PACE, THOMPSON G. Methodology to Estimate the Transportable Fraction (TF) of Fugitive Dust Emissions for Regional and Urban Scale Air Quality Analyses US EPA (8/3/2005 Revision).
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US-EPA). User's Guide for the AERMOD Meteorological Preprocessor (AERMET). EPA-454/B-16-010. Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC. December, 2016.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US-EPA). Light-Duty Vehicles and Light-Duty Trucks: Clean Fuel Fleet Exhaust Emission Standards. EPA-420-B-16-006. Office of Transportation and Air Quality. March, 2016
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US-EPA). AERMOD Implementation Guide. Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC. August, 2015.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US-EPA). *11th Modeling Conference*, Updates to EPA's AERMOD Modeling System. <http://www3.epa.gov/ttn/scram/11thmodconf.htm>. 2015.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US-EPA). AERSURFACE User's Guide, EPA-454/B-08-001, January 2008, Revised 01/16/2013. Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC. January, 2013.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US-EPA). Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Engine Modeling - Compression-Ignition. July, 2010.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US-EPA). Guideline on Air Quality Models, 40 CFR Part 51, Appendix W. 2005.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US-EPA). Median life, annual activity, and load factor values for nonroad engine emissions modeling. EPA-420-P-04-005. Office of Transportation and Air Quality. April, 2004.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US-EPA). Compilation of Air Pollutant Emission Factors: AP 42, Fifth Edition, Volume I: Stationary Point and Area Sources. 1995.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US-EPA). Compilation of Air Pollutant Emission Factors: AP 42, Fourth Edition, Volume I: Stationary Point and Area Sources. 1985.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US-EPA). Development of emission factors for fugitive dust sources. EPA-450/3-74-037. Office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park, NC, June 1974.
- WATSON, JOHN G., Reconciling Urban Fugitive Dust Emissions Inventory and Ambient Source contribution Estimates: Summary of Current Knowledge and Needed Research. Desert Research Institute. May 2000.
- WESTERN REGIONAL AIR PARTNERSHIP (WRAP). 2006. Fugitive Dust Handbook.
- WSP. Mine de fer du lac Bloom. Augmentation de la capacité de stockage des résidus et stériles miniers à la mine de fer du lac Bloom. Étude d'impact sur l'environnement. Rapport principal, réalisé pour CLIFFS Février 2014a.
- WSP. Mine du lac Bloom. Modélisation de la dispersion atmosphérique. Rapport soumis à CLIFFS dans le cadre de la demande d'autorisation pour l'ajout de haldes temporaires. Juillet 2014b.

ANNEXE

A

CARACTÉRISTIQUES DES
SOURCES D'ÉMISSIONS

ANNEXE

A1 *SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE*



A1-1 Caractéristiques physiques des sources ponctuelles de combustion à l'usine de traitement – Par source

ID	Capacité nominale (MW)	Consomm. Calculée ^[1] (l/hr)	Température (°C)	Débit		Humidité des gaz (%)
				(dry Nm ³ /h)	(m ³ /h)	
Chaudière #1	18,46	1 740	129	21 213	31 581	8,0 %
Chaudière #2	18,46	1 740	150	24 835	38 988	8,4 %
Chaudière #3	56,70	5 343	153	58 477	91 506	9,6 %
Fournaise #1	4,292	404	153	4 427	6 927	9,6 %
Fournaise #2	4,292	404	153	4 427	6 927	9,6 %
Fournaise #3	4,292	404	153	4 427	6 927	9,6 %
Fournaise #4	4,292	404	153	4 427	6 927	9,6 %

[1] Basé sur une capacité calorifique de 0,0382 GJ/L, Ressources naturelles Canada

A1-2 Taux d'émission des sources ponctuelles de combustion à l'usine de traitement – Par source

Identifiant	Taux d'émission (g/s)					
	PMT	PM ₁₀	PM _{2,5}	CO	NO _x	SO ₂
Chaudière #1	1.28E-02	1.28E-02	1.24E-02	2.18E-01	6.94E-01	3.22E-01
Chaudière #2	6.94E-03	6.94E-03	6.74E-03	1.46E-01	6.67E-01	4.06E-01
Chaudière #3	5.87E-01	5.87E-01	5.69E-01	8.89E-01	4.27E+00	1.26E+01
Fournaise #1	4.44E-02	4.44E-02	4.31E-02	6.73E-02	3.23E-01	9.56E-01
Fournaise #2	4.44E-02	4.44E-02	4.31E-02	6.73E-02	3.23E-01	9.56E-01
Fournaise #3	4.44E-02	4.44E-02	4.31E-02	6.73E-02	3.23E-01	9.56E-01
Fournaise #4	4.44E-02	4.44E-02	4.31E-02	6.73E-02	3.23E-01	9.56E-01

A1-3 Caractéristiques physiques des sources ponctuelles de combustion à l'usine de traitement – Par point de sortie

Identifiant	Description	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Hauteur de relâche (m)	Température (K)	Vitesse (m/s)	Diamètre (m)	Horaire de fonctionnement
STCK1	Cheminée 1	617 620	5 857 156	685,0	46,0	415,4	10,8	1,7	
STCK2	Cheminée 2	617 626	5 857 155	685,0	46,0	425,7	7,0	2,2	
STCK3	Cheminée 3	617 702	5 857 525	696,9	56,9	425,7	5,8	0,9	

A1-4 Taux d'émission des sources ponctuelles de combustion à l'usine de traitement – Par point de sortie

Identifiant	Description	Taux d'émission (g/s)					
		PMT	PM ₁₀	PM _{2,5}	CO	NO _x	SO ₂
STCK1	Cheminée 1	1.09E-01	1.09E-01	1.05E-01	4.99E-01	2.01E+00	2.64E+00
STCK2	Cheminée 2	5.87E-01	5.87E-01	5.69E-01	8.89E-01	4.27E+00	1.26E+01
STCK3	Cheminée 3	8.89E-02	8.89E-02	8.62E-02	1.35E-01	6.46E-01	1.91E+00

A1-5 Caractéristiques physiques des dépoussiéreurs de l'usine de traitement

Identifiant	Description	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Hauteur de relâche (m)	Température (K)	Vitesse (m/s)	Diamètre (m)
DC_SILO1	Entrée silo #1	618 208	5 857 639	726,3	36,5	Ambiante + 20 K	9,7	0,6
DC_SILO2	Sortie silo #1	618 219	5 857 637	726,3	3,2	Ambiante + 20 K	11,7	0,7
DC_SILO3	Entrée silo #2	618 230	5 857 570	736,7	40,0	Ambiante + 20 K	8,2	0,5
DC_SILO4	Sortie silo #2	618 243	5 857 582	736,7	3,2	Ambiante + 20 K	19,0	0,5
DC_CRSH2	Concasseur 2	614 126	5 856 158	690,0	10,6	Ambiante	28,0	0,5

A1-6 Taux d'émission des dépoussiéreurs de l'usine de traitement

Identifiant	Description	Taux d'émission (mg/Nm³)					
		PMT	PM ₁₀	PM _{2,5}	CO	NO _x	SO ₂
DC_SILO1	Entrée silo #1	6.40E-01	6.40E-01	6.40E-01	-	-	-
DC_SILO2	Sortie silo #1	1.48E+00	1.48E+00	1.48E+00	-	-	-
DC_SILO3	Entrée silo #2	5.00E+00	5.00E+00	5.00E+00	-	-	-
DC_SILO4	Sortie silo #2	5.00E+00	5.00E+00	5.00E+00	-	-	-
DC_CRSH2	Concasseur 2	3.90E-01	3.90E-01	3.90E-01	-	-	-

A1-7 Taux d'émission en métaux des dépoussiéreurs de l'usine de traitement

Identifiant	Taux d'émission (g/s)														
	Sb	Ag	As	Ba	Be	Cd	Crh	Cu	Fe	Hg	Ni	Pb	Tl	V	Zn
DC_SILO1	5.16E-07	4.90E-06	5.16E-07	1.78E-06	2.58E-07	1.24E-06	2.32E-06	7.07E-06	1.33E-04	1.01E-06	5.08E-06	2.53E-06	5.16E-07	9.55E-07	3.23E-05
DC_SILO2	1.22E-06	1.45E-05	1.22E-06	1.69E-06	7.47E-07	7.47E-07	2.08E-06	9.47E-06	1.51E-04	1.02E-06	1.79E-05	7.27E-06	1.22E-06	2.44E-06	5.11E-05
DC_SILO3	2.31E-06	2.19E-05	2.31E-06	7.95E-06	1.15E-06	5.53E-06	1.04E-05	3.16E-05	5.94E-04	4.49E-06	2.27E-05	1.13E-05	2.31E-06	4.26E-06	1.44E-04
DC_SILO4	3.58E-06	4.27E-05	3.58E-06	4.97E-06	2.19E-06	2.19E-06	6.12E-06	2.78E-05	4.42E-04	3.00E-06	5.27E-05	2.14E-05	3.58E-06	7.16E-06	1.50E-04
DC_CRSH2	8.73E-07	5.02E-06	8.73E-07	2.84E-06	4.91E-07	4.91E-07	5.73E-06	4.04E-06	7.31E-05	7.09E-07	5.51E-06	5.02E-06	8.73E-07	1.80E-06	1.56E-04

A1-8 Coordonnées et élévations des volumes sources de routage

Identifiant	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Identifiant	X (m)	Y (m)	Élévation (m)
P02_P15_01	617 115	5 857 411	706,0	P04_P08_01	612 894	5 855 544	718,8
P02_P15_02	617 048	5 857 422	706,1	P04_P08_02	612 934	5 855 597	717,3
P02_P15_03	616 980	5 857 422	706,4	P04_P08_03	612 898	5 855 646	715,9
P02_P15_04	616 914	5 857 407	705,7	P04_P08_04	612 833	5 855 668	716,8
P02_P15_05	616 849	5 857 387	703,7	P04_P08_05	612 766	5 855 664	716,3
P02_P15_06	616 786	5 857 363	699,4	P04_P08_06	612 701	5 855 645	715,5
P02_P15_07	616 728	5 857 328	695,7	P04_P08_07	612 638	5 855 619	712,8
P02_P15_08	616 684	5 857 277	691,0	P04_P08_08	612 576	5 855 592	710,0
P02_P15_09	616 651	5 857 218	687,2	P04_P08_09	612 514	5 855 565	711,6
P02_P15_10	616 623	5 857 156	684,4	P04_P08_10	612 451	5 855 539	713,3
P02_P15_11	616 608	5 857 090	683,1	P04_P08_11	612 387	5 855 519	713,4
P02_P15_12	616 595	5 857 024	682,7	P04_P08_12	612 321	5 855 502	711,6
P02_P15_13	616 591	5 856 956	682,6	P04_P08_13	612 259	5 855 474	711,1
P02_P15_14	616 587	5 856 888	682,5	P04_P08_14	612 205	5 855 435	707,4
P02_P15_15	616 579	5 856 821	681,9	P04_P08_15	612 193	5 855 370	707,7
P02_P15_16	616 543	5 856 766	682,4	P04_P08_16	612 195	5 855 302	705,4
P02_P15_17	616 498	5 856 715	683,7	P04_P08_17	612 202	5 855 234	701,7
P02_P15_18	616 438	5 856 684	684,4	P04_P08_18	612 208	5 855 167	694,5
P02_P15_19	616 377	5 856 654	685,4	P04_P08_19	612 217	5 855 100	689,4
P02_P15_20	616 316	5 856 624	686,6	P04_P08_20	612 233	5 855 035	693,3
P02_P15_21	616 256	5 856 591	688,4	P04_P08_21	612 282	5 854 990	700,8
P02_P15_22	616 198	5 856 557	690,5	P04_P08_22	612 337	5 854 951	706,5
P02_P15_23	616 139	5 856 523	691,8	P04_P08_23	612 398	5 854 922	712,4
P02_P15_24	616 080	5 856 488	693,0	P04_P08_24	612 459	5 854 892	718,3
P02_P15_25	616 026	5 856 447	694,4	P04_P08_25	612 520	5 854 867	724,4
P02_P15_26	615 976	5 856 401	696,0	P04_P08_26	612 588	5 854 867	730,4
P02_P15_27	615 926	5 856 356	697,6	P04_P08_27	612 654	5 854 880	736,3
P02_P15_28	615 876	5 856 310	698,8	P04_P08_28	612 718	5 854 901	742,4
P02_P15_29	615 832	5 856 258	700,1	P04_P08_29	612 784	5 854 909	748,9
P02_P15_30	615 793	5 856 202	701,1	P04_P08_30	612 849	5 854 890	754,9
P02_P15_31	615 754	5 856 146	702,5	P04_P08_31	612 913	5 854 865	761,0
P02_P15_32	615 719	5 856 088	704,2	P04_P08_32	612 975	5 854 840	767,1

A1-8 Coordonnées et élévations des volumes sources de routage (suite)

Identifiant	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Identifiant	X (m)	Y (m)	Élévation (m)
P04_P08_33	613 038	5 854 815	773,4	P08_P03_13	612 842	5 854 494	862,7
P04_P08_34	613 097	5 854 781	779,6	P08_P03_14	612 893	5 854 449	868,4
P04_P08_35	613 154	5 854 744	785,7	P08_P03_15	612 952	5 854 418	873,8
P04_P08_36	613 211	5 854 708	791,8	P08_P03_16	613 019	5 854 414	879,9
P04_P08_37	613 266	5 854 670	795,0	P08_P03_17	613 076	5 854 449	885,2
P05_P16_01	612 865	5 855 454	720,2	P08_P03_18	613 096	5 854 506	890,5
P05_P16_02	612 918	5 855 497	719,6	P08_P03_19	613 038	5 854 539	895,0
P05_P16_03	612 970	5 855 540	718,5	P08_P03_20	612 972	5 854 554	895,0
P05_P16_04	613 023	5 855 582	717,9	P11_P16_01	612 329	5 855 666	686,9
P05_P16_05	613 067	5 855 633	717,4	P11_P16_02	612 385	5 855 705	690,2
P05_P16_06	613 095	5 855 695	718,2	P11_P16_03	612 441	5 855 743	691,2
P05_P16_07	613 123	5 855 757	717,2	P11_P16_04	612 497	5 855 782	695,6
P05_P16_08	613 168	5 855 806	717,4	P11_P16_05	612 532	5 855 837	695,6
P05_P16_09	613 230	5 855 832	720,1	P11_P16_06	612 543	5 855 904	693,6
P05_P16_10	613 294	5 855 857	722,9	P11_P16_07	612 571	5 855 958	683,6
P05_P16_11	613 358	5 855 880	725,2	P11_P16_08	612 634	5 855 971	691,8
P05_P16_12	613 423	5 855 898	727,8	P11_P16_09	612 701	5 855 972	694,5
P05_P16_13	613 489	5 855 916	728,0	P11_P16_10	612 769	5 855 966	700,7
P05_P16_14	613 553	5 855 936	728,8	P11_P16_11	612 836	5 855 958	704,0
P05_P16_15	613 617	5 855 960	729,3	P11_P16_12	612 904	5 855 953	709,0
P08_P03_01	613 217	5 854 646	795,6	P11_P16_13	612 972	5 855 952	714,0
P08_P03_02	613 154	5 854 672	801,0	P11_P16_14	613 038	5 855 967	715,7
P08_P03_03	613 091	5 854 697	806,4	P11_P16_15	613 102	5 855 990	720,1
P08_P03_04	613 027	5 854 717	811,9	P11_P16_16	613 165	5 856 014	725,5
P08_P03_05	612 961	5 854 734	817,4	P11_P16_17	613 230	5 856 032	728,5
P08_P03_06	612 895	5 854 751	820,7	P11_P16_18	613 296	5 856 049	729,2
P08_P03_07	612 830	5 854 759	828,2	P11_P16_19	613 362	5 856 063	729,0
P08_P03_08	612 766	5 854 736	834,0	P11_P16_20	613 430	5 856 057	729,1
P08_P03_09	612 712	5 854 696	838,2	P11_P16_21	613 492	5 856 030	729,5
P08_P03_10	612 697	5 854 636	845,1	P11_P16_22	613 552	5 855 998	729,3
P08_P03_11	612 747	5 854 590	851,3	P11_P16_23	613 614	5 855 970	729,2
P08_P03_12	612 795	5 854 542	857,2	P13_P01_1	614 141	5 856 107	708,9

A1-8 Coordonnées et élévations des volumes sources de routage (suite)

Identifiant	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Identifiant	X (m)	Y (m)	Élévation (m)
P14_P18_1	615 026	5 855 538	718,0	P21_P14_2	615 151	5 855 533	717,8
P14_P18_2	614 987	5 855 486	716,8	P21_P14_3	615 083	5 855 539	717,9
P15_P21_01	615 678	5 856 040	705,2	P22_P13_1	614 359	5 855 733	708,0
P15_P21_02	615 624	5 856 000	705,4	P22_P13_2	614 352	5 855 801	708,5
P15_P21_03	615 596	5 855 939	705,6	P22_P13_3	614 342	5 855 868	710,6
P15_P21_04	615 573	5 855 875	705,5	P22_P13_4	614 324	5 855 933	710,2
P15_P21_05	615 554	5 855 809	705,8	P22_P13_5	614 281	5 855 985	709,3
P15_P21_06	615 535	5 855 744	706,3	P22_P13_6	614 223	5 856 019	709,1
P15_P21_07	615 503	5 855 685	706,1	P22_P13_7	614 168	5 856 058	708,6
P15_P21_08	615 452	5 855 640	707,5	P22_P23_01	614 350	5 855 725	708,1
P15_P21_09	615 393	5 855 607	712,7	P22_P23_02	614 292	5 855 760	709,2
P15_P21_10	615 336	5 855 571	716,7	P22_P23_03	614 233	5 855 794	710,2
P15_P21_11	615 279	5 855 534	717,7	P22_P23_04	614 175	5 855 828	714,1
P17_P18_1	614 954	5 855 544	718,7	P22_P23_05	614 117	5 855 865	717,7
P17_P18_2	614 980	5 855 484	716,4	P22_P23_06	614 057	5 855 895	721,1
P17_P29_1	614 886	5 855 556	718,6	P22_P23_07	613 996	5 855 925	725,0
P17_P29_2	614 819	5 855 561	718,6	P22_P23_08	613 931	5 855 944	726,8
P17_P29_3	614 754	5 855 580	718,7	P22_P23_09	613 864	5 855 957	727,4
P17_P29_4	614 694	5 855 612	716,8	P22_P23_10	613 796	5 855 962	728,1
P17_P29_5	614 631	5 855 635	712,1	P22_P23_11	613 728	5 855 958	728,8
P17_P29_6	614 564	5 855 647	709,0	P22_P23_12	613 666	5 855 973	729,0
P17_P29_7	614 497	5 855 660	707,4	P22_P29_1	614 413	5 855 690	706,9
P18_P06_1	614 984	5 855 425	710,8	P23_P07_01	613 648	5 856 022	726,9
P18_P06_2	614 988	5 855 357	705,6	P23_P07_02	613 630	5 856 088	722,6
P18_P06_3	615 010	5 855 297	705,6	P23_P07_03	613 616	5 856 154	716,3
P18_P06_4	615 074	5 855 275	705,3	P23_P07_04	613 608	5 856 221	715,1
P18_P06_5	615 141	5 855 264	705,3	P23_P07_05	613 604	5 856 289	714,7
P18_P06_6	615 208	5 855 255	704,9	P23_P07_06	613 601	5 856 357	712,6
P18_P06_7	615 276	5 855 250	704,9	P23_P07_07	613 597	5 856 425	712,0
P18_P06_8	615 344	5 855 248	704,8	P23_P07_08	613 600	5 856 493	712,0
P18_P06_9	615 412	5 855 246	705,0	P23_P07_09	613 603	5 856 560	712,0
P21_P14_1	615 219	5 855 527	717,9	P23_P07_10	613 591	5 856 627	712,0

A1-8 Coordonnées et élévations des volumes sources de routage (suite)

Identifiant	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Identifiant	X (m)	Y (m)	Élévation (m)
P23_P07_11	613 549	5 856 679	712,0	P23_P07_43	611 937	5 857 831	669,6
P23_P07_12	613 489	5 856 712	712,0	P23_P07_44	611 903	5 857 889	665,0
P23_P07_13	613 423	5 856 721	708,2	P23_P07_45	611 896	5 857 957	661,6
P23_P07_14	613 356	5 856 714	702,7	P23_P07_46	611 889	5 858 024	660,0
P23_P07_15	613 289	5 856 701	697,3	P23_P07_47	611 882	5 858 092	660,0
P23_P07_16	613 223	5 856 688	691,9	P23_P07_48	611 875	5 858 159	660,0
P23_P07_17	613 156	5 856 676	686,6	P23_P07_49	611 851	5 858 222	660,0
P23_P07_18	613 089	5 856 669	681,2	P23_P07_50	611 820	5 858 282	660,9
P23_P07_19	613 022	5 856 680	675,8	P23_P07_51	611 788	5 858 343	661,5
P23_P07_20	612 960	5 856 706	670,6	P23_P07_52	611 757	5 858 403	661,2
P23_P07_21	612 908	5 856 748	665,3	P23_P07_53	611 724	5 858 462	660,0
P23_P07_22	612 849	5 856 781	666,4	P23_P07_54	611 692	5 858 522	660,0
P23_P07_23	612 784	5 856 802	667,3	P23_P07_55	611 659	5 858 582	662,1
P23_P07_24	612 726	5 856 835	667,4	P23_P07_56	611 625	5 858 640	661,7
P23_P07_25	612 696	5 856 894	664,7	P23_P07_57	611 585	5 858 695	662,5
P23_P07_26	612 670	5 856 957	661,2	P23_P07_58	611 545	5 858 750	662,8
P23_P07_27	612 644	5 857 020	660,0	P23_P07_59	611 504	5 858 805	663,6
P23_P07_28	612 613	5 857 080	660,0	P23_P07_60	611 463	5 858 859	664,3
P23_P07_29	612 570	5 857 132	662,9	P23_P07_61	611 423	5 858 914	665,0
P23_P07_30	612 511	5 857 165	664,0	P23_P07_62	611 387	5 858 971	665,4
P23_P07_31	612 464	5 857 213	661,8	P23_P07_63	611 350	5 859 029	665,0
P23_P07_32	612 422	5 857 267	661,5	P23_P07_64	611 313	5 859 086	664,6
P23_P07_33	612 381	5 857 321	662,6	P23_P07_65	611 276	5 859 143	663,7
P23_P07_34	612 340	5 857 375	662,7	P23_P13_1	613 678	5 856 029	722,8
P23_P07_35	612 299	5 857 429	664,7	P23_P13_2	613 741	5 856 049	713,6
P23_P07_36	612 249	5 857 475	665,0	P23_P13_3	613 808	5 856 062	711,4
P23_P07_37	612 198	5 857 520	663,5	P23_P13_4	613 875	5 856 057	710,5
P23_P07_38	612 148	5 857 565	663,2	P23_P13_5	613 943	5 856 048	712,9
P23_P07_39	612 103	5 857 617	663,5	P23_P13_6	614 010	5 856 039	709,2
P23_P07_40	612 059	5 857 669	665,6	P23_P13_7	614 077	5 856 031	709,1
P23_P07_41	612 015	5 857 721	665,3	P23_P13_8	614 144	5 856 038	708,7
P23_P07_42	611 973	5 857 773	670,0	P23_P16_1	613 653	5 855 978	729,0

A1-8 Coordonnées et élévations des volumes sources de routage (suite)

Identifiant	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Identifiant	X (m)	Y (m)	Élévation (m)
P23_P19_01	613 641	5 856 027	726,7	P24_P12_09	615 855	5 854 589	806,6
P23_P19_02	613 616	5 856 090	722,4	P24_P12_10	615 913	5 854 623	811,9
P23_P19_03	613 597	5 856 155	716,0	P24_P12_11	615 938	5 854 680	815,0
P23_P19_04	613 574	5 856 218	719,0	P24_P12_12	615 886	5 854 718	815,0
P23_P19_05	613 552	5 856 282	724,4	P25_P26_01	616 349	5 856 381	724,6
P23_P19_06	613 528	5 856 346	729,8	P25_P26_02	616 407	5 856 348	727,1
P23_P19_07	613 503	5 856 409	735,0	P25_P26_03	616 455	5 856 300	722,7
P23_P19_08	613 485	5 856 474	740,3	P25_P26_04	616 500	5 856 249	721,8
P23_P19_09	613 467	5 856 539	745,7	P25_P26_05	616 542	5 856 196	719,2
P23_P19_10	613 433	5 856 595	751,6	P25_P26_06	616 572	5 856 136	716,0
P23_P19_11	613 376	5 856 564	754,7	P25_P26_07	616 594	5 856 072	717,5
P23_P19_12	613 321	5 856 524	760,1	P25_P26_08	616 626	5 856 012	719,0
P23_P19_13	613 262	5 856 491	765,6	P25_P26_09	616 645	5 855 947	723,9
P23_P19_14	613 203	5 856 458	771,1	P25_P26_10	616 648	5 855 880	732,1
P23_P19_15	613 141	5 856 430	776,6	P25_P26_11	616 634	5 855 815	742,3
P23_P19_16	613 075	5 856 417	782,0	P25_P26_12	616 639	5 855 750	742,9
P23_P19_17	613 008	5 856 407	787,5	P25_P26_13	616 638	5 855 682	743,8
P23_P19_18	612 941	5 856 400	792,0	P25_P26_14	616 638	5 855 615	744,6
P23_P19_19	612 888	5 856 362	792,0	P25_P26_15	616 643	5 855 547	745,7
P23_P19_20	612 910	5 856 306	792,0	P25_P26_16	616 650	5 855 479	743,3
P23_P19_21	612 977	5 856 303	792,0	P25_P26_17	616 656	5 855 411	743,2
P23_P19_22	613 045	5 856 305	792,0	P25_P26_18	616 653	5 855 344	746,7
P23_P19_23	613 113	5 856 307	792,0	P25_P26_19	616 633	5 855 280	755,5
P23_P19_24	613 181	5 856 309	792,0	P26_P24_01	616 608	5 855 232	763,6
P24_P12_01	615 457	5 854 685	767,7	P26_P24_02	616 567	5 855 178	772,1
P24_P12_02	615 435	5 854 622	770,8	P26_P24_03	616 531	5 855 122	781,9
P24_P12_03	615 450	5 854 566	775,2	P26_P24_04	616 500	5 855 062	790,8
P24_P12_04	615 518	5 854 562	779,5	P26_P24_05	616 476	5 854 999	792,5
P24_P12_05	615 585	5 854 560	785,0	P26_P24_06	616 433	5 854 949	785,4
P24_P12_06	615 653	5 854 564	790,4	P26_P24_07	616 373	5 854 924	766,2
P24_P12_07	615 720	5 854 571	795,8	P26_P24_08	616 309	5 854 902	765,5
P24_P12_08	615 788	5 854 579	801,2	P26_P24_09	616 241	5 854 901	760,2

A1-8 Coordonnées et élévations des volumes sources de routage (suite)

Identifiant	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Identifiant	X (m)	Y (m)	Élévation (m)
P26_P24_10	616 174	5 854 905	754,9	P26_P24_20	615 555	5 854 860	771,5
P26_P24_11	616 114	5 854 935	761,4	P26_P24_21	615 522	5 854 801	769,0
P26_P24_12	616 051	5 854 952	771,7	P26_P24_22	615 480	5 854 748	770,1
P26_P24_13	615 983	5 854 945	775,2	P28_P27_1	614 439	5 855 581	709,8
P26_P24_14	615 916	5 854 938	778,8	P28_P27_2	614 485	5 855 534	708,3
P26_P24_15	615 852	5 854 934	775,2	P28_P27_3	614 507	5 855 470	705,5
P26_P24_16	615 785	5 854 932	772,1	P28_P27_4	614 514	5 855 402	706,1
P26_P24_17	615 717	5 854 930	773,1	P28_P27_5	614 524	5 855 335	706,7
P26_P24_18	615 649	5 854 928	772,8	P28_P27_6	614 560	5 855 278	707,2
P26_P24_19	615 583	5 854 921	770,2	P28_P29_1	614 437	5 855 630	708,7

A1-9 Description des segments de routage modélisés

Segment	Longueur du segment (m)	Largeur du segment (m)	Hauteur moyenne des véhicules (m)	Hauteur de relâche (m)	Sigma Y (m)	Sigma Z (m)	Teneur en limon (%)	Poids moyen des véhicules (tons)	Facteur d'émission (lb/VMT)			Nombre de déplacement (jour ⁻¹)	VKT	Taux d'émission (g/s)			Atténuation (%)
									PMT	PM ₁₀	PM _{2,5}			PMT	PM ₁₀	PM _{2,5}	
P02_P15	2 174	28,0	7,4	6,3	31,63	5,83	8,3	397,4	34,13	9,70	0,97	140,7	305,9	3.41E+01	9.69E+00	9.69E-01	75
P04_P08	2 515	28,0	7,4	6,3	31,63	5,83	8,3	397,4	34,13	9,70	0,97	471,1	1 185,1	1.32E+02	3.75E+01	3.75E+00	75
P05_P16	997	28,0	7,4	6,3	31,63	5,83	8,3	397,4	34,13	9,70	0,97	536,9	535,4	5.96E+01	1.70E+01	1.70E+00	75
P08_P03	1 385	28,0	7,4	6,3	31,63	5,83	8,3	397,4	34,13	9,70	0,97	471,1	652,4	7.26E+01	2.07E+01	2.07E+00	75
P11_P16	1 545	28,0	6,9	5,8	31,63	5,44	8,3	303,2	30,21	8,59	0,86	22,9	35,4	3.49E+00	9.92E-01	9.92E-02	75
P13_P01	62	28,0	7,4	6,3	31,63	5,83	8,3	397,4	34,13	9,70	0,97	613,9	38,3	4.26E+00	1.21E+00	1.21E-01	75
P14_P18	128	28,0	7,4	6,3	31,63	5,83	8,3	397,4	34,13	9,70	0,97	140,7	18,0	2.01E+00	5.71E-01	5.71E-02	75
P15_P21	748	28,0	7,4	6,3	31,63	5,83	8,3	397,4	34,13	9,70	0,97	140,7	105,2	1.17E+01	3.33E+00	3.33E-01	75
P17_P18	122	28,0	7,4	6,3	31,63	5,83	8,3	397,4	34,13	9,70	0,97	148,5	18,1	2.02E+00	5.74E-01	5.74E-02	75
P17_P29	493	28,0	7,4	6,3	31,63	5,83	8,3	397,4	34,13	9,70	0,97	148,5	73,2	8.15E+00	2.32E+00	2.32E-01	75
P18_P06	608	28,0	7,4	6,3	31,63	5,83	8,3	397,4	34,13	9,70	0,97	289,2	175,8	1.96E+01	5.57E+00	5.57E-01	75
P21_P14	191	28,0	7,4	6,3	31,63	5,83	8,3	397,4	34,13	9,70	0,97	140,7	26,9	3.00E+00	8.53E-01	8.53E-02	75
P22_P13	458	28,0	7,4	6,3	31,63	5,83	8,3	397,4	34,13	9,70	0,97	123,4	56,5	6.29E+00	1.79E+00	1.79E-01	75
P22_P23	797	28,0	7,4	6,3	31,63	5,83	8,3	397,4	34,13	9,70	0,97	278,7	222,2	2.47E+01	7.03E+00	7.03E-01	75
P22_P29	95	28,0	7,4	6,3	31,63	5,83	8,3	397,4	34,13	9,70	0,97	402,1	38,0	4.24E+00	1.20E+00	1.20E-01	75
P23_P07	4 408	28,0	7,4	6,3	31,63	5,83	8,3	397,4	34,13	9,70	0,97	325,1	1 433,0	1.60E+02	4.54E+01	4.54E+00	75
P23_P13	567	28,0	7,4	6,3	31,63	5,83	8,3	397,4	34,13	9,70	0,97	490,5	277,9	3.09E+01	8.80E+00	8.80E-01	75
P23_P16	36	28,0	7,3	6,2	31,63	5,81	8,3	393,6	33,98	9,66	0,97	559,8	20,0	2.22E+00	6.32E-01	6.32E-02	75
P23_P19	1 633	28,0	6,9	5,8	31,63	5,44	8,3	303,2	30,21	8,59	0,86	22,9	37,4	3.69E+00	1.05E+00	1.05E-01	75
P24_P12	841	28,0	6,5	5,6	31,63	5,18	8,3	303,9	30,24	8,60	0,86	22,8	19,2	1.89E+00	5.39E-01	5.39E-02	75
P25_P26	1 293	28,0	6,5	5,6	31,63	5,18	8,3	303,9	30,24	8,60	0,86	22,8	29,5	2.91E+00	8.29E-01	8.29E-02	75
P26_P24	1 470	28,0	6,5	5,6	31,63	5,18	8,3	303,9	30,24	8,60	0,86	22,8	33,6	3.31E+00	9.42E-01	9.42E-02	75
P28_P27	384	28,0	7,4	6,3	31,63	5,83	8,3	397,4	34,13	9,70	0,97	253,6	97,4	1.09E+01	3.09E+00	3.09E-01	75
P28_P29	86	28,0	7,4	6,3	31,63	5,83	8,3	397,4	34,13	9,70	0,97	253,6	21,7	2.42E+00	6.87E-01	6.87E-02	75

A1-10 Paramètres physiques et taux d’émissions utilisés pour la modélisation des opérations de chargement et déchargement

Identifiant	Description	Tonnage manipulé (ktm/h)	Humidité du matériel (%)	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Hauteur de relâche (m)	Sigma Y (m)	Sigma Z (m)	Taux d’émission (g/s) ^[1]		
										PMT	PM ₁₀	PM _{2,5}
ldp27o	Chargement au point P27 (Minerai)	0,747	5,4	614 579	5 855 269	707,3	5,5	1,16	0,74	2.24E-01	1.06E-01	1.61E-02
ldp06o	Chargement au point P06 (Minerai)	0,851	5,4	615 444	5 855 245	705,8	5,5	1,16	0,74	2.56E-01	1.21E-01	1.83E-02
ldp05o	Chargement au point P05 (Minerai)	2,968	5,4	612 847	5 855 440	720,4	5,5	1,16	0,74	8.92E-01	4.22E-01	6.39E-02
ldp27w	Chargement au point P27 (Stériles)	0,788	5,4	614 579	5 855 269	707,3	5,5	1,16	0,74	2.37E-01	1.12E-01	1.70E-02
ldp06w	Chargement au point P06 (Stériles)	0,898	5,4	615 444	5 855 245	705,8	5,5	1,16	0,74	2.70E-01	1.28E-01	1.93E-02
ldp04w	Chargement au point P04 (Stériles)	2,851	5,4	612 872	5 855 519	719,4	5,5	1,16	0,74	8.56E-01	4.05E-01	6.13E-02
ldp05w	Chargement au point P05 (Stériles)	0,281	5,4	612 847	5 855 440	720,4	5,5	1,16	0,74	8.44E-02	3.99E-02	6.04E-03
ldp25ob	Chargement au point P25 (Mort terrain)	0,106	5,4	616 317	5 856 396	724,0	4,7	1,58	0,72	3.18E-02	1.50E-02	2.28E-03
ldp11ob	Chargement au point P11 (Mort terrain)	0,106	5,4	612 309	5 855 652	685,2	5,3	1,49	0,65	3.18E-02	1.50E-02	2.28E-03
dpp01o	Déchargement au point P01 (Minerai)	3,715	5,4	614 135	5 856 135	708,5	1,6	1,90	6,52	1.12E+00	5.28E-01	7.99E-02
dpp02o	Déchargement au point P02 (Minerai)	0,851	5,4	617 132	5 857 384	705,8	1,6	1,90	6,52	2.56E-01	1.21E-01	1.83E-02
dpp03w	Déchargement au point P03 (Stériles)	2,851	5,4	612 927	5 854 564	895,0	1,6	1,90	6,52	8.56E-01	4.05E-01	6.13E-02
dpp07w	Déchargement au point P07 (Stériles)	1,967	5,4	611 261	5 859 167	663,4	1,6	1,90	6,52	5.91E-01	2.79E-01	4.23E-02
dpp12ob	Déchargement au point P12 (Mort terrain)	0,106	5,4	615 840	5 854 721	815,0	1,3	1,56	6,28	3.18E-02	1.50E-02	2.28E-03
dpp19ob	Déchargement au point P19 (Mort terrain)	0,106	5,4	613 216	5 856 310	792,0	1,8	1,60	6,24	3.18E-02	1.50E-02	2.28E-03
[1] Taux d’émission calculés heure par heure en fonction de la vitesse du vent suivant la méthode de l’AP-42, section 13.2.4 Aggregate Handling And Storage Piles. Les taux d’émission présentés ici sont calculés pour la vitesse moyenne du vent de 5,98 m/s.												

A1-11 Paramètres physiques et taux d’émissions utilisés pour la modélisation des opérations de boutage

Identifiant	Description	Équipement	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Hauteur de relâche (m)	Sigma Y (m)	Sigma Z (m)	Teneur en silt (%) ^[1]	Humidité du matériel (%) ^[2]	Atténuation (%)	Taux d’émission (g/s)		
												PMT	PM ₁₀	PM _{2,5}
dozws2	Boutage – Halde STK2	Komatsu D475ASD-5E0	612 868	5 854 608	895,0	1,3	1,50	1,25	9,5	5,4	50	6.01E-01	1.29E-01	6.31E-02
dozwt	Boutage – Digue filtrante 1	Komatsu D475ASD-5E0	611 215	5 859 300	663.3	1.3	1.50	1.25	9.5	5.4	50	6.01E-01	1.29E-01	6.31E-02
dozobp	Boutage – Halde Pignac	Komatsu D475ASD-5E0	615 818	5 854 651	815,0	1,3	1,50	1,25	7,5	5,4	50	4.52E-01	9.08E-02	4.75E-02
dozobbw	Boutage – Halde Bloom Ouest	Komatsu D475ASD-5E0	613 274	5 856 380	792,0	1,3	1,50	1,25	7,5	5,4	50	4.52E-01	9.08E-02	4.75E-02
doztlg	Boutage – Parc à résidus	Komatsu D375A-5	613 439	5 857 638	690.8	1.1	1.09	1.05	-	Saturation	100	0	0	0
[1] AP-42, Section 13.2.4 Aggregate Handling And Storage Piles, Lump ore and overburden average. [2] AP-42, Section 13.2.4 Aggregate Handling And Storage Piles, Lump ore average.														

A1-12 Paramètres physiques et taux d’émissions utilisés pour la modélisation des opérations de sautage

Identifiant	Description	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Hauteur de relâche (m)	Sigma Y (m)	Sigma Z (m)	Taux d’émission (g/s)					
								PMT	PM ₁₀	PM _{2,5}	CO	NO _x	SO ₂
saut1f2	Sautage de production – 82 202 742 t – 354 trous	612 828	5 855 583	724,8	10,0	33,24	9,30	1.79E+02	9.28E+01	5.36E+00	2.31E+02	2.01E+01	6.03E+00

A1-13 Paramètres physiques et taux d’émissions utilisés pour la modélisation des opérations de forage

Identifiant	Description	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Hauteur de relâche (m)	Sigma Y (m)	Sigma Z (m)	Méthode d’atténuation	Atténuation (%)	Taux d’émission – avec atténuation (g/s)		
										PMT	PM ₁₀	PM _{2,5}
drill1	Forage de production – Pignac Est	615 282	5 855 173	721	2,3	1,07	2,14	Jets d’eau	70 %	2.95E-02	2.66E-02	1.48E-02
drill2	Forage de production – Pignac Ouest	614 547	5 855 205	722	2,3	1,07	2,14	Jets d’eau	70 %	2.95E-02	2.66E-02	1.48E-02
drill3	Forage de production - Bloom Ouest #1	612 954	5 855 342	735	2,3	1,07	2,14	Jets d’eau	70 %	2.95E-02	2.66E-02	1.48E-02
drill4	Forage de production - Bloom Ouest #2	612 981	5 855 350	735	2,3	1,07	2,14	Jets d’eau	70 %	2.95E-02	2.66E-02	1.48E-02
drill5	Forage de production - Bloom Ouest #3	613 009	5 855 358	735	2,3	1,07	2,14	Jets d’eau	70 %	2.95E-02	2.66E-02	1.48E-02
drill6	Forage de production - Bloom Ouest #4	613 036	5 855 366	735	2,3	1,07	2,14	Jets d’eau	70 %	2.95E-02	2.66E-02	1.48E-02
drill7	Forage de production - Bloom Ouest #5	613 063	5 855 375	735	2,3	1,07	2,14	Jets d’eau	70 %	2.95E-02	2.66E-02	1.48E-02
drill8	Forage de mort-terrain (3)	616 461	5 856 428	707	1,9	0,87	1,75	Dépoussiéreur	99 %	1.09E-03	9.85E-04	5.47E-04

A1-14 Paramètres physiques et taux d’émission utilisés pour la modélisation des gaz d’échappement des équipements localisés

Identifiant	Description	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Hauteur de relâche (m)	Température (K)	Vitesse (m/s)	Diamètre équivalent (m)	Taux d’émission (g/s)				
									PM ₁₀ ^a	PM _{2,5}	CO	NOx	SO ₂
ldp25obx	Chargement au point P25 (Mort terrain) – Exhaust	616 317	5 856 396	724,0	6,2	733,2	38,1	0,79	1.40E-01	1.36E-01	9.70E-01	2.96E+00	3.71E-03
ldp11obx	Chargement au point P11 (Mort terrain) – Exhaust	612 309	5 855 652	685,2	6,2	755,4	20,1	0,80	9.51E-02	9.22E-02	6.58E-01	2.01E+00	2.52E-03
dozws2x	Boutage – Halde STK2 - Exhaust	612 868	5 854 608	895,0	4,5	755,4	24,1	0,59	2.71E-02	2.63E-02	1.88E-01	5.73E-01	7.18E-04
dozwtx	Boutage – Digue filtrante 1 – Exhaust	611 215	5 859 300	663,3	4,5	755,4	24,1	0,59	2.71E-02	2.63E-02	1.88E-01	5.73E-01	7.18E-04
dozobpx	Boutage – Halde Pignac – Exhaust	615 818	5 854 651	815,0	4,5	755,4	24,1	0,59	2.71E-02	2.63E-02	1.88E-01	5.73E-01	7.18E-04
dozobbwx	Boutage – Halde Bloom Ouest – Exhaust	613 274	5 856 380	792,0	4,5	755,4	24,1	0,59	2.71E-02	2.63E-02	1.88E-01	5.73E-01	7.18E-04
doztlgx	Boutage – Parc à résidus – Exhaust	613 439	5 857 638	690,8	4,3	755,4	29,5	0,20	1.84E-02	1.79E-02	2.22E-01	3.90E-01	4.88E-04
drill8x	Forage de mort-terrain (3) – Exhaust	616 461	5 856 428	707,3	3,2	782,0	50,0	0,36	2.16E-02	2.10E-02	1.41E-01	6.66E-01	7.43E-04
a Toutes les particules émises sont supposées être plus petites que 10 microns donc PM _{tot} = PM ₁₀ .													

A1-15 Paramètres physiques et taux d’émission des sources surfaciques associées aux haldes, aires de construction et parcs à résidus

Identifiant	Description	Élévation (m)	Hauteur de relâche (m)	Sigma Z (m)	Surface considérée (m²)	Teneur en limon (%)	Atténuation (%)	Taux d’émission – sans atténuation (g/s.m²)		
								PMT	PM ₁₀	PM _{2,5}
SSTK2	Zone de déchargement – Halde temporaire (STK2)	885,0	5,0	2,33	105 300	9,5	0	1.45E-04	7.23E-05	1.08E-05
SDF	Zone de déchargement – Digue filtrante	655,0	5,0	2,33	78 000	9,5	0	1.45E-04	7.23E-05	1.08E-05
SPIGNAC	Zone de déchargement – Halde Pignac	805,0	5,0	2,33	5 300	7,5	0	1.14E-04	5.70E-05	8.56E-06
SBW	Zone de déchargement – Halde Bloom Ouest	772,0	10,0	4,65	8 700	7,5	0	1.14E-04	5.70E-05	8.56E-06
PARCRGs	Parc à résidus grossiers	700,0	0,5	0,23	1 463 600	11,9	96,6	1.81E-04	9.05E-05	1.36E-05
Note : Le taux d’émission est égal à zéro lorsque la vitesse du vent est inférieure à 5,36 m/s (19,3 km/h).										

ANNEXE

A2 *SCÉNARIO D'EXPLOITATION*



A2-1 Coordonnées et élévations des volumes sources de routage – Activité de production

Identifiant	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Identifiant	X (m)	Y (m)	Élévation (m)
P24_P25_01	615 320	5 855 539	714,2	P09_P24_04	614 657	5 855 611	712,5
P24_P25_02	615 368	5 855 587	711,0	P09_P24_05	614 718	5 855 583	718,0
P24_P25_03	615 421	5 855 630	711,0	P09_P24_06	614 784	5 855 568	719,5
P24_P25_04	615 474	5 855 672	707,4	P09_P24_07	614 851	5 855 556	720,9
P24_P25_05	615 515	5 855 726	704,0	P09_P24_08	614 918	5 855 549	720,6
P24_P25_06	615 552	5 855 782	704,0	P09_P24_09	614 986	5 855 541	720,7
P24_P25_07	615 573	5 855 847	704,0	P09_P24_10	615 054	5 855 535	718,5
P24_P25_08	615 594	5 855 912	704,0	P09_P24_11	615 121	5 855 529	716,5
P24_P25_09	615 617	5 855 975	704,0	P09_P24_12	615 189	5 855 522	718,0
P24_P25_10	615 652	5 856 032	704,0	P09_P24_13	615 256	5 855 514	718,0
P24_P25_11	615 698	5 856 082	704,0	P25_P21_01	616 544	5 856 758	681,8
P24_P25_12	615 743	5 856 133	700,3	P25_P21_02	616 580	5 856 814	681,4
P24_P25_13	615 785	5 856 187	699,9	P25_P21_03	616 596	5 856 880	680,6
P24_P25_14	615 826	5 856 241	699,4	P25_P21_04	616 605	5 856 947	681,5
P24_P25_15	615 871	5 856 292	699,5	P25_P21_05	616 611	5 857 015	683,0
P24_P25_16	615 917	5 856 342	699,0	P25_P21_06	616 620	5 857 082	683,0
P24_P25_17	615 966	5 856 389	693,9	P25_P21_07	616 632	5 857 149	684,4
P24_P25_18	616 017	5 856 433	694,1	P25_P21_08	616 659	5 857 212	687,5
P24_P25_19	616 070	5 856 475	693,2	P25_P21_09	616 686	5 857 274	690,9
P24_P25_20	616 129	5 856 510	692,7	P25_P21_10	616 731	5 857 324	695,4
P24_P25_21	616 188	5 856 544	690,0	P25_P21_11	616 788	5 857 358	697,0
P24_P25_22	616 246	5 856 579	690,0	P25_P21_12	616 852	5 857 380	703,2
P24_P25_23	616 303	5 856 615	685,8	P13_P17_01	614 338	5 855 761	707,7
P24_P25_24	616 365	5 856 644	685,1	P13_P17_02	614 277	5 855 791	709,9
P24_P25_25	616 426	5 856 672	684,5	P13_P17_03	614 216	5 855 820	711,0
P24_P25_26	616 485	5 856 706	683,0	P13_P17_04	614 154	5 855 849	714,8
P21_P22_1	616 937	5 857 399	707,2	P13_P17_05	614 093	5 855 878	718,0
P21_P22_2	617 004	5 857 409	706,6	P13_P17_06	614 032	5 855 907	721,1
P21_P22_3	617 072	5 857 411	704,0	P13_P17_07	613 970	5 855 934	725,0
P09_P24_01	614 461	5 855 657	704,0	P13_P17_08	613 902	5 855 943	725,9
P09_P24_02	614 527	5 855 641	704,0	P13_P17_09	613 835	5 855 951	725,0
P09_P24_03	614 594	5 855 633	709,7	P13_P17_10	613 768	5 855 959	725,0

A2-1 Coordonnées et élévations des volumes sources de routage – Activité de production (suite)

Identifiant	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Identifiant	X (m)	Y (m)	Élévation (m)
P13_P17_11	613 700	5 855 960	726,2	P17_P18_32	612 576	5 857 179	662,0
P17_P18_01	613 664	5 855 986	725,0	P17_P18_33	612 591	5 857 220	662,8
P17_P18_02	613 702	5 856 023	718,0	P17_P18_34	612 656	5 857 241	663,2
P17_P18_03	613 762	5 856 049	717,5	P17_P18_35	612 721	5 857 261	663,2
P17_P18_04	613 776	5 856 113	710,9	P17_P18_36	612 787	5 857 248	663,0
P17_P18_05	613 780	5 856 180	712,7	P17_P18_37	612 853	5 857 232	663,2
P17_P18_06	613 779	5 856 247	716,5	P17_P18_38	612 919	5 857 217	663,6
P17_P18_07	613 755	5 856 310	718,0	P17_P18_39	612 986	5 857 203	664,0
P17_P18_08	613 733	5 856 375	717,1	P17_P18_40	613 052	5 857 189	664,4
P17_P18_09	613 710	5 856 439	715,9	P17_P18_41	613 119	5 857 176	665,0
P17_P18_10	613 681	5 856 500	714,2	P17_P18_42	613 187	5 857 168	665,7
P17_P18_11	613 648	5 856 559	716,4	P17_P18_43	613 254	5 857 161	669,0
P17_P18_12	613 611	5 856 614	718,0	P17_P18_44	613 321	5 857 148	669,0
P17_P18_13	613 560	5 856 659	715,6	P17_P18_45	613 388	5 857 137	669,5
P17_P18_14	613 504	5 856 698	716,6	P17_P18_46	613 455	5 857 128	670,1
P17_P18_15	613 439	5 856 714	716,8	P17_P18_47	613 522	5 857 116	670,6
P17_P18_16	613 372	5 856 715	714,3	P17_P18_48	613 589	5 857 103	672,1
P17_P18_17	613 306	5 856 699	713,2	P17_P18_49	613 655	5 857 085	672,0
P17_P18_18	613 242	5 856 676	712,6	P17_P18_50	613 720	5 857 067	672,1
P17_P18_19	613 178	5 856 656	707,6	P17_P18_51	613 785	5 857 047	673,2
P17_P18_20	613 111	5 856 645	702,3	P17_P18_52	613 850	5 857 027	674,0
P17_P18_21	613 044	5 856 645	697,0	P17_P18_53	613 916	5 857 010	675,1
P17_P18_22	612 979	5 856 662	694,5	P17_P18_54	613 981	5 856 991	676,0
P17_P18_23	612 920	5 856 694	686,4	P17_P18_55	614 047	5 856 973	676,0
P17_P18_24	612 861	5 856 728	681,1	P17_P18_56	614 113	5 856 960	678,8
P17_P18_25	612 803	5 856 762	676,0	P17_P18_57	614 179	5 856 942	679,0
P17_P18_26	612 769	5 856 820	669,0	P17_P18_58	614 244	5 856 924	682,8
P17_P18_27	612 730	5 856 876	669,0	P17_P18_59	614 310	5 856 910	684,1
P17_P18_28	612 699	5 856 936	665,5	P17_P18_60	614 377	5 856 903	690,0
P17_P18_29	612 669	5 856 997	662,0	P17_P18_61	614 444	5 856 912	695,5
P17_P18_30	612 638	5 857 057	662,0	P17_P18_62	614 509	5 856 931	697,0
P17_P18_31	612 607	5 857 118	662,0	P17_P18_63	614 574	5 856 952	697,0

A2-1 Coordonnées et élévations des volumes sources de routage – Activité de production (suite)

Identifiant	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Identifiant	X (m)	Y (m)	Élévation (m)
P17_P18_64	614 636	5 856 979	697,0	P05_P06_29	616 169	5 854 452	767,0
P17_P18_65	614 690	5 857 020	700,8	P05_P06_30	616 102	5 854 442	769,4
P17_P18_66	614 752	5 857 044	704,0	P05_P06_31	616 034	5 854 433	772,9
P17_P18_67	614 818	5 857 060	704,0	P05_P06_32	615 967	5 854 424	774,0
P05_P06_01	614 840	5 855 080	648,0	P05_P06_33	615 900	5 854 424	776,2
P05_P06_02	614 906	5 855 078	652,5	P05_P06_34	615 833	5 854 434	778,8
P05_P06_03	614 974	5 855 081	658,8	P05_P06_35	615 765	5 854 442	782,9
P05_P06_04	615 041	5 855 084	665,5	P05_P06_36	615 698	5 854 442	786,3
P05_P06_05	615 108	5 855 086	669,0	P05_P06_37	615 646	5 854 406	796,3
P05_P06_06	615 176	5 855 089	669,0	P05_P06_38	615 641	5 854 339	801,2
P05_P06_07	615 244	5 855 094	672,3	P07_P06_01	616 307	5 853 447	846,8
P05_P06_08	615 311	5 855 095	679,7	P07_P06_02	616 262	5 853 497	844,0
P05_P06_09	615 378	5 855 085	683,9	P07_P06_03	616 210	5 853 540	839,6
P05_P06_10	615 443	5 855 069	688,9	P07_P06_04	616 177	5 853 598	833,9
P05_P06_11	615 509	5 855 051	694,1	P07_P06_05	616 149	5 853 658	826,9
P05_P06_12	615 575	5 855 044	699,9	P07_P06_06	616 115	5 853 717	821,2
P05_P06_13	615 643	5 855 038	707,2	P07_P06_07	616 070	5 853 767	814,3
P05_P06_14	615 709	5 855 030	713,7	P07_P06_08	616 023	5 853 816	808,6
P05_P06_15	615 776	5 855 024	720,6	P07_P06_09	615 977	5 853 865	801,6
P05_P06_16	615 844	5 855 018	725,4	P07_P06_10	615 930	5 853 913	795,0
P05_P06_17	615 911	5 855 012	731,6	P07_P06_11	615 882	5 853 961	788,0
P05_P06_18	615 978	5 855 000	737,1	P07_P06_12	615 837	5 854 011	783,7
P05_P06_19	616 039	5 854 978	742,7	P07_P06_13	615 797	5 854 066	788,0
P05_P06_20	616 095	5 854 939	749,2	P07_P06_14	615 761	5 854 123	794,0
P05_P06_21	616 149	5 854 900	755,8	P07_P06_15	615 724	5 854 181	797,2
P05_P06_22	616 200	5 854 856	758,3	P07_P06_16	615 688	5 854 238	799,7
P05_P06_23	616 232	5 854 796	760,0	P07_P06_17	615 652	5 854 295	801,4
P05_P06_24	616 264	5 854 736	760,0	P10_P09_01	613 631	5 854 978	693,1
P05_P06_25	616 295	5 854 676	760,3	P10_P09_02	613 639	5 855 046	694,3
P05_P06_26	616 282	5 854 610	767,3	P10_P09_03	613 644	5 855 113	700,3
P05_P06_27	616 264	5 854 546	770,7	P10_P09_04	613 637	5 855 179	707,4
P05_P06_28	616 218	5 854 496	767,3	P10_P09_05	613 621	5 855 244	714,0

A2-1 Coordonnées et élévations des volumes sources de routage – Activité de production (suite)

Identifiant	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Identifiant	X (m)	Y (m)	Élévation (m)
P10_P09_06	613 634	5 855 308	717,8	P10_P06_03	613 657	5 854 769	700,6
P10_P09_07	613 671	5 855 365	721,7	P10_P06_04	613 674	5 854 705	707,6
P10_P09_08	613 732	5 855 382	728,2	P10_P06_05	613 719	5 854 654	708,7
P10_P09_09	613 799	5 855 383	736,6	P10_P06_06	613 764	5 854 603	714,4
P10_P09_10	613 863	5 855 404	740,6	P10_P06_07	613 809	5 854 553	716,7
P10_P09_11	613 928	5 855 424	743,2	P10_P06_08	613 857	5 854 505	722,4
P10_P09_12	613 992	5 855 434	751,1	P10_P06_09	613 905	5 854 457	726,8
P10_P09_13	614 056	5 855 443	732,0	P10_P06_10	613 953	5 854 409	728,9
P10_P09_14	614 121	5 855 460	728,4	P10_P06_11	613 999	5 854 360	735,5
P10_P09_15	614 176	5 855 498	720,1	P10_P06_12	614 044	5 854 310	739,0
P10_P09_16	614 232	5 855 536	712,7	P10_P06_13	614 090	5 854 260	742,5
P10_P09_17	614 288	5 855 574	705,5	P10_P06_14	614 154	5 854 240	745,4
P10_P09_18	614 344	5 855 612	699,4	P10_P06_15	614 221	5 854 235	749,5
P10_P09_19	614 400	5 855 649	701,3	P10_P06_16	614 287	5 854 222	753,1
P14_P15_1	614 329	5 855 906	711,0	P10_P06_17	614 352	5 854 201	756,5
P14_P15_2	614 289	5 855 961	711,0	P10_P06_18	614 415	5 854 178	763,0
P14_P15_3	614 249	5 856 016	711,0	P10_P06_19	614 473	5 854 142	764,2
P14_P15_4	614 207	5 856 069	708,0	P10_P06_20	614 532	5 854 111	770,3
P14_P15_5	614 160	5 856 118	704,1	P10_P06_21	614 593	5 854 082	772,7
P13_P14_1	614 358	5 855 784	707,3	P10_P06_22	614 652	5 854 048	777,4
P13_P14_2	614 348	5 855 851	707,4	P10_P06_23	614 717	5 854 029	780,9
P09_P13_1	614 417	5 855 682	704,0	P10_P06_24	614 784	5 854 025	788,0
P09_P13_2	614 375	5 855 735	704,0	P10_P06_25	614 845	5 854 023	800,8
P04_P05_1	615 241	5 855 191	610,1	P10_P06_26	614 909	5 854 043	802,0
P04_P05_2	615 174	5 855 186	616,4	P10_P06_27	614 976	5 854 054	798,0
P04_P05_3	615 111	5 855 164	623,6	P10_P06_28	615 043	5 854 058	790,8
P04_P05_4	615 046	5 855 147	629,6	P10_P06_29	615 111	5 854 063	787,5
P04_P05_5	614 979	5 855 138	635,5	P10_P06_30	615 177	5 854 077	784,4
P04_P05_6	614 912	5 855 129	642,2	P10_P06_31	615 241	5 854 099	782,7
P04_P05_7	614 845	5 855 119	644,7	P10_P06_32	615 304	5 854 122	789,4
P10_P06_01	613 633	5 854 902	694,9	P10_P06_33	615 368	5 854 145	794,9
P10_P06_02	613 646	5 854 836	694,1	P10_P06_34	615 432	5 854 167	802,0

A2-1 Coordonnées et élévations des volumes sources de routage – Activité de production (suite)

Identifiant	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Identifiant	X (m)	Y (m)	Élévation (m)
P10_P06_35	615 496	5 854 190	802,0	P07_P08_04	616 561	5 853 382	840,1
P10_P06_36	615 546	5 854 236	802,0	P07_P08_05	616 629	5 853 388	839,7
P10_P06_37	615 596	5 854 282	802,0	P07_P08_06	616 697	5 853 394	839,3
P03_P04_01	616 177	5 855 174	606,0	P07_P08_07	616 764	5 853 400	838,5
P03_P04_02	616 110	5 855 180	606,0	P07_P08_08	616 832	5 853 405	837,7
P03_P04_03	616 042	5 855 184	606,0	P07_P08_09	616 900	5 853 410	837,0
P03_P04_04	615 977	5 855 186	592,7	P07_P08_10	616 957	5 853 392	823,0
P03_P04_05	615 910	5 855 188	592,0	P07_P08_11	617 018	5 853 364	823,0
P03_P04_06	615 842	5 855 190	591,3	P07_P08_12	617 076	5 853 328	823,0
P03_P04_07	615 774	5 855 192	590,8	P07_P08_13	617 133	5 853 292	821,6
P03_P04_08	615 706	5 855 192	592,0	P07_P08_14	617 191	5 853 255	820,2
P03_P04_09	615 638	5 855 192	592,0	P07_P08_15	617 246	5 853 216	820,0
P03_P04_10	615 570	5 855 193	592,0	P07_P08_16	617 301	5 853 176	820,2
P03_P04_11	615 502	5 855 193	592,0	P07_P08_17	617 356	5 853 136	820,4
P03_P04_12	615 434	5 855 193	592,0	P07_P08_18	617 411	5 853 096	819,7
P03_P04_13	615 366	5 855 194	597,7	P07_P08_19	617 466	5 853 056	816,6
P03_P04_14	615 299	5 855 194	603,1	P07_P08_20	617 521	5 853 017	816,0
P03_P02_1	616 223	5 855 166	606,0	P07_P08_21	617 576	5 852 977	816,0
P03_P02_2	616 289	5 855 151	608,6	P07_P08_22	617 631	5 852 937	816,0
P03_P02_3	616 339	5 855 106	612,2	P07_P08_23	617 686	5 852 897	818,3
P03_P02_4	616 386	5 855 057	613,0	P10_P11_1	613 580	5 854 956	693,0
P03_P01_1	616 222	5 855 182	606,0	P10_P11_2	613 522	5 854 987	690,0
P03_P01_2	616 285	5 855 206	608,4	P10_P12_1	613 603	5 854 967	692,8
P03_P01_3	616 339	5 855 244	611,3	P10_P12_2	613 573	5 855 025	690,0
P03_P01_4	616 386	5 855 294	612,7	P10_P12_3	613 560	5 855 091	690,0
P03_P01_5	616 398	5 855 360	613,3	P10_P12_4	613 555	5 855 159	690,0
P03_P01_6	616 407	5 855 427	615,0	P10_P12_5	613 553	5 855 227	690,0
P03_P01_7	616 406	5 855 495	615,8	P10_P12_6	613 549	5 855 295	689,1
P03_P01_8	616 406	5 855 563	617,1	P10_P12_7	613 569	5 855 355	676,0
P07_P08_01	616 363	5 853 407	842,3	P10_P12_8	613 588	5 855 420	676,0
P07_P08_02	616 425	5 853 385	841,3	P05_P09_01	614 792	5 855 085	648,0
P07_P08_03	616 493	5 853 383	840,7	P05_P09_02	614 729	5 855 065	651,9

A2-1 Coordonnées et élévations des volumes sources de routage – Activité de production (suite)

Identifiant	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Identifiant	X (m)	Y (m)	Élévation (m)
P05_P09_03	614 662	5 855 056	658,3	P07_P08b_01	616 361	5 853 457	843,5
P05_P09_04	614 595	5 855 046	663,8	P07_P08b_02	616 389	5 853 517	842,4
P05_P09_05	614 528	5 855 036	668,9	P07_P08b_03	616 412	5 853 581	840,9
P05_P09_06	614 461	5 855 031	673,2	P07_P08b_04	616 434	5 853 645	839,5
P05_P09_07	614 395	5 855 043	680,4	P07_P08b_05	616 457	5 853 709	838,1
P05_P09_08	614 339	5 855 081	686,5	P07_P08b_06	616 481	5 853 773	837,0
P05_P09_09	614 286	5 855 121	693,2	P07_P08b_07	616 505	5 853 837	837,0
P05_P09_10	614 246	5 855 176	697,2	P07_P08b_08	616 539	5 853 895	837,0
P05_P09_11	614 232	5 855 242	702,0	P07_P08b_09	616 576	5 853 953	837,0
P05_P09_12	614 232	5 855 309	708,2	P07_P08b_10	616 612	5 854 010	837,0
P05_P09_13	614 240	5 855 376	714,6				
P05_P09_14	614 250	5 855 443	718,0				
P05_P09_15	614 268	5 855 506	711,0				
P05_P09_16	614 313	5 855 556	704,1				
P05_P09_17	614 359	5 855 607	698,9				
P05_P09_18	614 408	5 855 651	704,0				
P18_P19_1	614 851	5 857 052	702,4				

A2-2 Coordonnées et élévations des volumes sources de routage – Opération et construction

Identifiant	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Identifiant	X (m)	Y (m)	Élévation (m)
P20_P33_1	615 890	5 857 430	694,2	P26_P28_09	616 370	5 857 781	711,0
P20_P33_2	615 825	5 857 448	694,5	P26_P28_10	616 436	5 857 768	710,7
P20_P33_3	615 759	5 857 465	696,4	P26_P28_11	616 503	5 857 754	708,0
P20_P33_4	615 693	5 857 478	697,3	P26_P28_12	616 569	5 857 741	704,9
P20_P33_5	615 626	5 857 468	697,5	P26_P28_13	616 636	5 857 728	704,0
P20_P33_6	615 570	5 857 431	696,3	P26_P28_14	616 703	5 857 714	704,0
P33_P29_1	615 517	5 857 423	698,0	P26_P28_15	616 769	5 857 701	704,0
P33_P29_2	615 480	5 857 471	718,0	P26_P28_16	616 836	5 857 687	704,0
P33_P29_3	615 529	5 857 516	718,0	P26_P28_17	616 903	5 857 674	702,7
P33_P29_4	615 577	5 857 564	718,0	P26_P28_18	616 969	5 857 660	700,8
P33_P29_5	615 625	5 857 612	718,0	P26_P28_19	617 036	5 857 647	699,1
P26_P27_1	615 780	5 857 807	718,0	P26_P28_20	617 103	5 857 634	697,4
P26_P27_2	615 729	5 857 853	718,0	P26_P28_21	617 162	5 857 666	697,0
P26_P27_3	615 682	5 857 901	718,0	P26_P28_22	617 214	5 857 708	697,0
P26_P27_4	615 635	5 857 950	718,0	P26_P28_23	617 252	5 857 764	697,0
P26_P27_5	615 587	5 857 999	718,0	P26_P28_24	617 289	5 857 821	697,0
P26_P27_6	615 540	5 858 048	718,0	P26_P28_25	617 318	5 857 881	695,1
P26_P27_7	615 492	5 858 096	718,0	P26_P28_26	617 374	5 857 918	695,5
P20_P26_1	615 925	5 857 445	696,2	P26_P28_27	617 432	5 857 953	696,0
P20_P26_2	615 907	5 857 511	697,3	P26_P28_28	617 491	5 857 987	696,5
P20_P26_3	615 886	5 857 575	700,9	P26_P28_29	617 550	5 858 022	697,0
P20_P26_4	615 864	5 857 640	704,0	P26_P28_30	617 605	5 858 060	698,5
P20_P26_5	615 841	5 857 703	708,4	P26_P28_31	617 637	5 858 119	701,2
P20_P26_6	615 815	5 857 766	711,0	P26_P28_32	617 639	5 858 186	704,0
P26_P28_01	615 827	5 857 781	711,0	P26_P28_33	617 618	5 858 250	706,7
P26_P28_02	615 895	5 857 782	708,3	P26_P28_34	617 595	5 858 314	709,4
P26_P28_03	615 963	5 857 780	704,0	P26_P28_35	617 572	5 858 378	712,1
P26_P28_04	616 031	5 857 781	704,0	P26_P28_36	617 549	5 858 442	714,8
P26_P28_05	616 099	5 857 782	701,0	P26_P28_37	617 526	5 858 506	718,0
P26_P28_06	616 167	5 857 783	703,6	P26_P28_38	617 503	5 858 570	722,7
P26_P28_07	616 235	5 857 786	707,6	P26_P28_39	617 480	5 858 633	727,4
P26_P28_08	616 302	5 857 788	711,0	P26_P28_40	617 457	5 858 697	732,1

A2-2 Coordonnées et élévations des volumes sources de routage – Opération et construction (suite)

Identifiant	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Identifiant	X (m)	Y (m)	Élévation (m)
P26_P28_41	617 434	5 858 761	736,6	P28_P32_22	616 161	5 859 375	770,0
P26_P28_42	617 411	5 858 825	741,3	P28_P32_23	616 093	5 859 378	770,0
P26_P28_43	617 392	5 858 890	746,0	P28_P32_24	616 025	5 859 381	770,0
P26_P28_44	617 402	5 858 956	750,7	P28_P32_25	615 957	5 859 384	770,0
P26_P28_45	617 439	5 859 012	755,5	P28_P32_26	615 889	5 859 388	770,0
P26_P28_46	617 487	5 859 060	760,2	P28_P32_27	615 821	5 859 391	770,0
P26_P28_47	617 534	5 859 108	764,9	P28_P32_28	615 753	5 859 394	770,0
P26_P28_48	617 581	5 859 157	768,9	P33_P18_01	615 523	5 857 392	694,8
P26_P28_49	617 622	5 859 210	771,1	P33_P18_02	615 472	5 857 347	694,4
P26_P28_50	617 635	5 859 275	771,9	P33_P18_03	615 421	5 857 302	694,7
P18_P19_1	614 851	5 857 052	702,4	P33_P18_04	615 370	5 857 256	694,9
P28_P32_01	617 587	5 859 306	771,0	P33_P18_05	615 314	5 857 221	695,1
P28_P32_02	617 519	5 859 309	770,0	P33_P18_06	615 252	5 857 192	695,1
P28_P32_03	617 451	5 859 312	770,0	P33_P18_07	615 190	5 857 164	694,4
P28_P32_04	617 383	5 859 315	770,0	P33_P18_08	615 128	5 857 136	694,2
P28_P32_05	617 315	5 859 319	770,0	P33_P18_09	615 063	5 857 118	697,0
P28_P32_06	617 247	5 859 322	770,0	P33_P18_10	614 996	5 857 103	697,0
P28_P32_07	617 179	5 859 325	770,0	P33_P18_11	614 930	5 857 088	697,8
P28_P32_08	617 111	5 859 329	770,0	P33_P18_12	614 864	5 857 072	701,6
P28_P32_09	617 043	5 859 332	770,0	P26_P34_1	615 768	5 857 788	718,0
P28_P32_10	616 976	5 859 335	770,0	P26_P34_2	615 723	5 857 738	718,0
P28_P32_11	616 908	5 859 338	770,0	P26_P34_3	615 682	5 857 684	718,0
P28_P32_12	616 840	5 859 342	770,0	P30_P31_1	615 650	5 859 350	769,4
P28_P32_13	616 772	5 859 345	770,0				
P28_P32_14	616 704	5 859 348	770,0				
P28_P32_15	616 636	5 859 352	770,0				
P28_P32_16	616 568	5 859 355	770,0				
P28_P32_17	616 500	5 859 358	770,0				
P28_P32_18	616 432	5 859 361	770,0				
P28_P32_19	616 364	5 859 365	770,0				
P28_P32_20	616 296	5 859 368	770,0				
P28_P32_21	616 228	5 859 371	770,0				

A2-3 Description des segments de routage modélisés – Activité de production

Segment	Longueur du segment (m)	Largeur du segment (m)	Hauteur moyenne des véhicules (m)	Hauteur de relâche (m)	Sigma Y (m)	Sigma Z (m)	Teneur en limon (%)	Poids moyen des véhicules (tons)	Facteur d’émission (lb/VMT)			Nombre de déplacement (jour ⁻¹)	VKT	Taux d’émission (g/s)			Atténuation (%)
									PMT	PM ₁₀	PM _{2,5}			PMT	PM ₁₀	PM _{2,5}	
P24_P25	1 781	28,0	6,6	5,6	31,63	5,22	8,3	309,8	30,51	8,68	0,87	281,6	501,6	4.99E+01	1.42E+01	1.42E+00	75
P21_P22	232	28,0	6,6	5,6	31,63	5,22	8,3	309,8	30,51	8,68	0,87	281,6	65,4	6.51E+00	1.85E+00	1.85E-01	75
P09_P24	887	28,0	6,6	5,6	31,63	5,22	8,3	309,8	30,51	8,68	0,87	281,6	249,8	2.49E+01	7.07E+00	7.07E-01	75
P25_P21	825	28,0	6,6	5,6	31,63	5,22	8,3	309,8	30,51	8,68	0,87	281,6	232,4	2.31E+01	6.58E+00	6.58E-01	75
P13_P17	737	28,0	6,6	5,6	31,63	5,22	8,3	309,8	30,51	8,68	0,87	22,6	16,7	1.66E+00	4.72E-01	4.72E-02	75
P17_P18	4 546	28,0	6,6	5,6	31,63	5,22	8,3	309,8	30,51	8,68	0,87	22,6	102,8	1.02E+01	2.91E+00	2.91E-01	75
P05_P06	2 577	28,0	6,6	5,6	31,63	5,22	8,3	309,8	30,51	8,68	0,87	966,1	2 489,9	2.48E+02	7.05E+01	7.05E+00	75
P07_P06	1 148	28,0	6,6	5,6	31,63	5,22	8,3	309,8	30,51	8,68	0,87	1 409,0	1 617,0	1.61E+02	4.58E+01	4.58E+00	75
P10_P09	1 292	28,0	6,6	5,6	31,63	5,22	8,3	309,8	30,51	8,68	0,87	156,9	202,8	2.02E+01	5.74E+00	5.74E-01	75
P14_P15	319	28,0	6,6	5,6	31,63	5,22	8,3	309,8	30,51	8,68	0,87	773,0	246,4	2.45E+01	6.98E+00	6.98E-01	75
P13_P14	140	28,0	6,6	5,6	31,63	5,22	8,3	309,8	30,51	8,68	0,87	773,0	107,8	1.07E+01	3.05E+00	3.05E-01	75
P09_P13	103	28,0	6,6	5,6	31,63	5,22	8,3	309,8	30,51	8,68	0,87	795,6	82,0	8.16E+00	2.32E+00	2.32E-01	75
P04_P05	484	28,0	6,6	5,6	31,63	5,22	8,3	309,8	30,51	8,68	0,87	1 886,4	913,4	9.09E+01	2.59E+01	2.59E+00	75
P10_P06	2 535	28,0	6,6	5,6	31,63	5,22	8,3	309,8	30,51	8,68	0,87	442,9	1 122,5	1.12E+02	3.18E+01	3.18E+00	75
P03_P04	924	28,0	6,6	5,6	31,63	5,22	8,3	309,8	30,51	8,68	0,87	1 886,4	1 743,3	1.74E+02	4.93E+01	4.93E+00	75
P03_P02	258	28,0	6,6	5,6	31,63	5,22	8,3	309,8	30,51	8,68	0,87	920,3	237,1	2.36E+01	6.71E+00	6.71E-01	75
P03_P01	529	28,0	6,6	5,6	31,63	5,22	8,3	309,8	30,51	8,68	0,87	966,1	511,3	5.09E+01	1.45E+01	1.45E+00	75
P07_P08	1 579	28,0	6,6	5,6	31,63	5,22	8,3	309,8	30,51	8,68	0,87	1 409,0	2 224,5	2.21E+02	6.30E+01	6.30E+00	75
P10_P11	160	28,0	6,6	5,6	31,63	5,22	8,3	309,8	30,51	8,68	0,87	465,5	74,3	7.39E+00	2.10E+00	2.10E-01	75
P10_P12	538	28,0	6,6	5,6	31,63	5,22	8,3	309,8	30,51	8,68	0,87	134,3	72,3	7.20E+00	2.05E+00	2.05E-01	75
P05_P09	1 207	28,0	6,6	5,6	31,63	5,22	8,3	309,8	30,51	8,68	0,87	920,3	1 110,7	1.11E+02	3.14E+01	3.14E+00	75
P18_P19	32	28,0	6,6	5,6	31,63	5,22	8,3	309,8	30,51	8,68	0,87	22,6	0,7	7.19E-02	2.04E-02	2.04E-03	75

A2-4 Description des segments de routage modélisés – Activité de production – Variante d’opération pour le quartz

Segment	Longueur du segment (m)	Largeur du segment (m)	Hauteur moyenne des véhicules (m)	Hauteur de relâche (m)	Sigma Y (m)	Sigma Z (m)	Teneur en limon (%)	Poids moyen des véhicules (tons)	Facteur d’émission (lb/VMT)			Nombre de déplacement (jour ⁻¹)	VKT	Taux d’émission (g/s)			Atténuation (%)
									PMT	PM ₁₀	PM _{2,5}			PMT	PM ₁₀	PM _{2,5}	
P07_P08b	705	28,0	6,6	5,6	31,63	5,22	8,3	309,8	30,51	8,68	0,87	1 409,0	994,0	9.89E+01	2.81E+01	2.81E+00	75

A2-5 Description des segments de routage modélisés – Opération des parcs à résidus

Segment	Longueur du segment (m)	Largeur du segment (m)	Hauteur moyenne des véhicules (m)	Hauteur de relâche (m)	Sigma Y (m)	Sigma Z (m)	Teneur en limon (%)	Poids moyen des véhicules (tons)	Facteur d’émission (lb/VMT)			Nombre de déplacement (jour ⁻¹)	VKT	Taux d’émission (g/s)			Atténuation (%)	Horaire de fonctionnement
									PMT	PM ₁₀	PM _{2,5}			PMT	PM ₁₀	PM _{2,5}		
P30_P31	100	28,0	4,4	3,7	31,63	3,45	8,0	89,7	17,02	4,81	0,48	384,0	38,4	2.13E+00	6.02E-01	6.02E-02	75	24 h par jour, en été

A2-6 Description des segments de routage modélisés – Activité de construction – Quart de jour

Segment	Longueur du segment (m)	Largeur du segment (m)	Hauteur moyenne des véhicules (m)	Hauteur de relâche (m)	Sigma Y (m)	Sigma Z (m)	Teneur en limon (%)	Poids moyen des véhicules (tons)	Facteur d’émission (lb/VMT)			Nombre de déplacement (jour ⁻¹)	VKT	Taux d’émission (g/s)			Atténuation (%)	Horaire de fonctionnement
									PMT	PM ₁₀	PM _{2,5}			PMT	PM ₁₀	PM _{2,5}		
P20_P33	427	28,0	4,5	3,8	31,63	3,53	8,3	88,1	17,33	4,93	0,49	223,9	95,6	1.08E+01	3.07E+00	3.07E-01	75	12 h durant le jour de juin à octobre
P33_P29	327	28,0	3,5	3,0	31,63	2,75	8,3	41,6	12,35	3,51	0,35	373,3	122,2	9.85E+00	2.80E+00	2.80E-01	75	
P26_P27	465	28,0	4,5	3,8	31,63	3,53	8,3	88,1	17,33	4,93	0,49	223,9	104,2	1.18E+01	3.35E+00	3.35E-01	75	
P20_P26	395	28,0	4,5	3,8	31,63	3,53	8,3	88,1	17,33	4,93	0,49	223,9	88,4	9.99E+00	2.84E+00	2.84E-01	75	
P26_P28	3 390	28,0	4,1	3,5	31,63	3,27	8,3	72,6	15,88	4,52	0,45	524,3	1 777,3	1.84E+02	5.24E+01	5.24E+00	75	
P18_P19	32	28,0	3,8	3,3	31,63	3,04	8,3	59,0	14,47	4,11	0,41	597,1	19,1	1.80E+00	5.12E-01	5.12E-02	75	
P28_P32	1 930	28,0	4,1	3,5	31,63	3,27	8,0	72,6	15,48	4,37	0,44	524,3	1 011,8	1.02E+02	2.88E+01	2.88E+00	75	
P33_P18	784	28,0	3,8	3,3	31,63	3,04	8,3	59,0	14,47	4,11	0,41	597,1	468,3	4.42E+01	1.26E+01	1.26E+00	75	
P26_P34	202	28,0	4,1	3,5	31,63	3,27	8,3	72,6	15,88	4,52	0,45	524,3	105,7	1.10E+01	3.11E+00	3.11E-01	75	

A2-7 Description des segments de routage modélisés – Activité de construction – Quart de nuit

Segment	Longueur du segment (m)	Largeur du segment (m)	Hauteur moyenne des véhicules (m)	Hauteur de relâche (m)	Sigma Y (m)	Sigma Z (m)	Teneur en limon (%)	Poids moyen des véhicules (tons)	Facteur d’émission (lb/VMT)			Nombre de déplacement (jour ⁻¹)	VKT	Taux d’émission (g/s)			Atténuation (%)	Horaire de fonctionnement
									PMT	PM ₁₀	PM _{2,5}			PMT	PM ₁₀	PM _{2,5}		
P20_P33	427	28,0	4,5	3,8	31,63	3,53	8,3	88,1	17,33	4,93	0,49	74,6	31,9	3.60E+00	1.02E+00	1.02E-01	75	12 h durant la nuit de juin à octobre
P33_P29	327	28,0	3,5	3,0	31,63	2,75	8,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
P26_P27	465	28,0	4,5	3,8	31,63	3,53	8,3	88,1	17,33	4,93	0,49	74,6	34,7	3.93E+00	1.12E+00	1.12E-01	75	
P20_P26	395	28,0	4,5	3,8	31,63	3,53	8,3	88,1	17,33	4,93	0,49	74,6	29,5	3.33E+00	9.47E-01	9.47E-02	75	
P26_P28	3 390	28,0	4,1	3,5	31,63	3,27	8,3	72,6	15,88	4,52	0,45	524,3	1 777,3	1.84E+02	5.24E+01	5.24E+00	75	
P18_P19	32	28,0	4,5	3,8	31,63	3,53	8,3	88,1	17,33	4,93	0,49	74,6	2,4	2.69E-01	7.66E-02	7.66E-03	75	
P28_P32	1 930	28,0	4,1	3,5	31,63	3,27	8,0	72,6	15,48	4,37	0,44	524,3	1 011,8	1.02E+02	2.88E+01	2.88E+00	75	
P33_P18	784	28,0	4,5	3,8	31,63	3,53	8,3	88,1	17,33	4,93	0,49	74,6	58,5	6.62E+00	1.88E+00	1.88E-01	75	
P26_P34	202	28,0	4,1	3,5	31,63	3,27	8,3	72,6	15,88	4,52	0,45	524,3	105,7	1.10E+01	3.11E+00	3.11E-01	75	

A2-8 Paramètres physiques et taux d’émissions utilisés pour la modélisation des opérations de chargement et déchargement – Activité de production

Identifiant	Description	Tonnage manipulé (ktm/h)	Humidité du matériel (%)	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Hauteur de relâche (m)	Sigma Y (m)	Sigma Z (m)	Taux d'émission (g/s) ^[1]			Horaire de fonctionnement
										PMT	PM ₁₀	PM _{2,5}	
ldp02o	Chargement au point P02 (minerai)	4,179	5,4	616 405	5 855 038	613,0	4,9	1,00	0,76	1.26E+00	5.94E-01	8.99E-02	En continu
ldp12o	Chargement au point P12 (minerai)	0,610	5,4	613 596	5 855 450	676,0	4,9	1,00	0,76	1.83E-01	8.67E-02	1.31E-02	
ldp01w	Chargement au point P01 (stériles)	4,388	5,4	616 405	5 855 590	620,0	4,9	1,00	0,76	1.32E+00	6.23E-01	9.44E-02	
ldp11w	Chargement au point P11 (stériles)	2,011	5,4	613 477	5 854 987	690,0	4,9	1,00	0,76	6.04E-01	2.86E-01	4.33E-02	
ldp11wp	Chargement au point P11 (stériles)	0,103	5,4	613 477	5 854 987	690,0	4,9	1,00	0,76	3.09E-02	1.46E-02	2.21E-03	
dpp22o	Déchargement au point P22 (minerai)	1,279	5,4	617 120	5 857 412	704,0	1,3	1,62	6,45	3.84E-01	1.82E-01	2.75E-02	
dpp15o	Déchargement au point P15 (minerai)	3,511	5,4	614 144	5 856 135	704,0	1,3	1,62	6,45	1.05E+00	4.99E-01	7.55E-02	
dpp08w	Déchargement au point P08 (stériles)	6,399	5,4	617 720	5 852 873	819,3	1,3	1,62	6,45	1.92E+00	9.09E-01	1.38E-01	
dpp19wp	Déchargement au point P19 (stériles)	0,103	5,4	614 855	5 857 037	701,9	1,3	1,62	6,45	3.09E-02	1.46E-02	2.21E-03	
[1] Taux d'émission calculés heure par heure en fonction de la vitesse du vent suivant la méthode de l'AP-42, section 13.2.4 Aggregate Handling And Storage Piles. Les taux d'émission présentés ici sont calculés pour la vitesse moyenne du vent de 5,98 m/s.													

A2-9 Paramètres physiques et taux d’émissions utilisés pour la modélisation des opérations de chargement et déchargement – Activité de production – Variante d’opération pour le quartz

Identifiant	Description	Tonnage manipulé (ktm/h)	Humidité du matériel (%)	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Hauteur de relâche (m)	Sigma Y (m)	Sigma Z (m)	Taux d'émission (g/s) ^[1]			Horaire de fonctionnement
										PMT	PM ₁₀	PM _{2,5}	
ldp01q	Chargement au point P01 (quartz)	4,388	5,4	616 405	5 855 590	620,0	4,9	1,00	0,76	1.32E+00	6.23E-01	9.44E-02	Modélisé en continu, survient environ 18 % du temps
ldp11q	Chargement au point P11 (quartz)	2,011	5,4	613 477	5 854 987	690,0	4,9	1,00	0,76	6.04E-01	2.86E-01	4.33E-02	
dpp08bq	Déchargement au point P08b (quartz)	6,399	5,4	616 637	5 854 049	837,0	1,3	1,62	6,45	1.92E+00	9.09E-01	1.38E-01	
[1] Taux d'émission calculés heure par heure en fonction de la vitesse du vent suivant la méthode de l'AP-42, section 13.2.4 Aggregate Handling And Storage Piles. Les taux d'émission présentés ici sont calculés pour la vitesse moyenne du vent de 5,98 m/s.													

A2-10 Paramètres physiques et taux d’émissions utilisés pour la modélisation des opérations de chargement et déchargement – Opération des parcs à résidus

Identifiant	Description	Tonnage manipulé (ktm/h)	Humidité du matériel (%)	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Hauteur de relâche (m)	Sigma Y (m)	Sigma Z (m)	Taux d'émission (g/s) ^[1]			Horaire de fonctionnement
										PMT	PM ₁₀	PM _{2,5}	
ldp30ro	Chargement au point P30 (résidus grossiers)	0,497	5,0	615 650	5 859 400	769,4	3,1	0,47	0,41	1.66E-01	7.86E-02	1.19E-02	24 h par jour, en été
dpp31ro	Déchargement au point P31 (résidus grossiers)	0,497	5,0	615 650	5 859 300	769,3	0,9	1,06	3,95	1.66E-01	7.86E-02	1.19E-02	

[1] Taux d'émission calculés heure par heure en fonction de la vitesse du vent suivant la méthode de l'AP-42, section 13.2.4 Aggregate Handling And Storage Piles. Les taux d'émission présentés ici sont calculés pour la vitesse moyenne du vent de 5,98 m/s.

A2-11 Paramètres physiques et taux d’émissions utilisés pour la modélisation des opérations de chargement et déchargement – Activité de construction – Quart de jour

Identifiant	Description	Tonnage manipulé (ktm/h)	Humidité du matériel (%)	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Hauteur de relâche (m)	Sigma Y (m)	Sigma Z (m)	Taux d'émission (g/s) ^[1]			Horaire de fonctionnement
										PMT	PM ₁₀	PM _{2,5}	
ldp34rcj	Chargement au point P34 (résidus grossiers)	0,204	5,0	615 664	5 857 656	718,0	2,2	0,44	0,34	6.82E-02	3.23E-02	4.89E-03	12 h durant le jour de juin à octobre
ldp32rcj	Chargement au point P32 (résidus grossiers)	0,928	5,0	615 706	5 859 397	770,0	3,0	0,44	0,45	3.10E-01	1.47E-01	2.22E-02	
ldp19wcj	Chargement au point P19 (stériles)	1,030	5,4	614 855	5 857 037	701,9	2,6	0,36	0,40	3.09E-01	1.46E-01	2.22E-02	
dpp32rcj	Déchargement au point P32 (résidus grossiers)	0,204	5,0	615 706	5 859 397	770,0	0,6	0,67	1,62	6.82E-02	3.23E-02	4.89E-03	
dpp34rcj	Déchargement au point P34 (résidus grossiers)	0,928	5,0	615 664	5 857 656	718,0	0,7	0,93	4,32	3.10E-01	1.47E-01	2.22E-02	
dpp29wcj	Déchargement au point P29 (stériles)	0,435	5,4	615 645	5 857 632	718,0	0,6	0,67	1,62	1.31E-01	6.19E-02	9.37E-03	
dpp27wcj	Déchargement au point P27 (stériles)	0,594	5,4	615 472	5 858 117	718,0	0,7	0,93	4,32	1.78E-01	8.44E-02	1.28E-02	
[1] Taux d'émission calculés heure par heure en fonction de la vitesse du vent suivant la méthode de l'AP-42, section 13.2.4 Aggregate Handling And Storage Piles. Les taux d'émission présentés ici sont calculés pour la vitesse moyenne du vent de 5,98 m/s.													

A2-12 Paramètres physiques et taux d’émissions utilisés pour la modélisation des opérations de chargement et déchargement – Activité de construction – Quart de nuit

Identifiant	Description	Tonnage manipulé (ktm/h)	Humidité du matériel (%)	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Hauteur de relâche (m)	Sigma Y (m)	Sigma Z (m)	Taux d'émission (g/s) ^[1]			Horaire de fonctionnement
										PMT	PM ₁₀	PM _{2,5}	
ldp34rcj	Chargement au point P34 (résidus grossiers)	0,204	5,0	615 664	5 857 656	718,0	2,2	0,44	0,34	6.82E-02	3.23E-02	4.89E-03	12 h durant la nuit de juin à octobre
ldp32rcj	Chargement au point P32 (résidus grossiers)	0,928	5,0	615 706	5 859 397	770,0	3,0	0,44	0,45	3.10E-01	1.47E-01	2.22E-02	
ldp19wcj	Chargement au point P19 (stériles)	0,198	5,4	614 855	5 857 037	701,9	3,0	0,31	0,45	5.95E-02	2.81E-02	4.26E-03	
dpp32rcj	Déchargement au point P32 (résidus grossiers)	0,204	5,0	615 706	5 859 397	770,0	0,6	0,67	1,62	6.82E-02	3.23E-02	4.89E-03	
dpp34rcj	Déchargement au point P34 (résidus grossiers)	0,928	5,0	615 664	5 857 656	718,0	0,7	0,93	4,32	3.10E-01	1.47E-01	2.22E-02	
dpp29wcj	Déchargement au point P29 (stériles)	0	5,4	615 645	5 857 632	718,0	-	-	-	0	0	0	
dpp27wcj	Déchargement au point P27 (stériles)	0,198	5,4	615 472	5 858 117	718,0	0,7	0,93	4,32	5.95E-02	2.81E-02	4.26E-03	
[1] Taux d'émission calculés heure par heure en fonction de la vitesse du vent suivant la méthode de l'AP-42, section 13.2.4 Aggregate Handling And Storage Piles. Les taux d'émission présentés ici sont calculés pour la vitesse moyenne du vent de 5,98 m/s.													

A2-13 Paramètres physiques et taux d’émissions utilisés pour la modélisation des opérations de boutage – Activité de production

Identifiant	Description	Équipement	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Hauteur de relâche (m)	Sigma Y (m)	Sigma Z (m)	Teneur en silt (%) ^[1]	Humidité du matériel (%) ^[1]	Atténuation (%)	Taux d'émission (g/s)			Horaire de fonctionnement
												PMT	PMT	PMT	
wdoz01	Bouteur sur roues 1 (minerais)	Caterpillar 854H	617 010	5 857 355	709,0	1,1	1,47	1,01	9,5	5,4	50	6.01E-01	1.29E-01	6.31E-02	En continu
wdoz02	Bouteur sur roues 2 (minerais)	Caterpillar 854H	614 328	5 856 127	718,0	1,1	1,47	1,01	9,5	5,4	50	6.01E-01	1.29E-01	6.31E-02	
tdoz01	Bouteur sur chenilles 1 (minerais)	Caterpillar D9T	616 465	5 855 053	613,0	1,0	1,00	0,90	9,5	5,4	50	6.01E-01	1.29E-01	6.31E-02	
tdoz02	Bouteur sur chenilles 2 (minerais)	Caterpillar D9T	613 644	5 855 457	676,0	1,0	1,00	0,90	9,5	5,4	50	6.01E-01	1.29E-01	6.31E-02	
tdoz03	Bouteur sur chenilles 3 (stériles)	Caterpillar D10T	616 472	5 855 575	620,0	1,1	1,22	1,05	9,5	5,4	50	6.01E-01	1.29E-01	6.31E-02	
tdoz04	Bouteur sur chenilles 4 (stériles)	Caterpillar D10T	613 487	5 855 037	690,0	1,1	1,22	1,05	9,5	5,4	50	6.01E-01	1.29E-01	6.31E-02	
tdoz05	Bouteur sur chenilles 5 (stériles)	Caterpillar D10T	617 818	5 852 897	821,6	1,1	1,22	1,05	9,5	5,4	50	6.01E-01	1.29E-01	6.31E-02	
tdoz06	Bouteur sur chenilles 6 (stériles)	Caterpillar D10T	617 722	5 852 768	821,4	1,1	1,22	1,05	9,5	5,4	50	6.01E-01	1.29E-01	6.31E-02	
[1] AP-42, Section 13.2.4 Aggregate Handling And Storage Piles, Lump ore average.															

A2-14 Paramètres physiques et taux d’émissions utilisés pour la modélisation des opérations de boutage – Activité de production – Variante d’opération pour le quartz

Identifiant	Description	Équipement	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Hauteur de relâche (m)	Sigma Y (m)	Sigma Z (m)	Teneur en silt (%) ^[1]	Humidité du matériel (%) ^[1]	Atténuation (%)	Taux d'émission (g/s)			Horaire de fonctionnement
												PMT	PMT	PMT	
tdoz05b	Bouteur sur chenilles 5b (quartz)	Caterpillar D10T	616 600	5 854 150	837,0	1,1	1,22	1,05	9,5	5,4	50	6.01E-01	1.29E-01	6.31E-02	Modélisé en continu, survient environ 18 % du temps
tdoz06b	Bouteur sur chenilles 6b (quartz)	Caterpillar D10T	616 700	5 854 050	837,0	1,1	1,22	1,05	9,5	5,4	50	6.01E-01	1.29E-01	6.31E-02	

[1] AP-42, Section 13.2.4 Aggregate Handling And Storage Piles, Lump ore average.

A2-15 Paramètres physiques et taux d’émissions utilisés pour la modélisation des opérations de boutage – Opération des parcs à résidus

Identifiant	Description	Équipement	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Hauteur de relâche (m)	Sigma Y (m)	Sigma Z (m)	Teneur en silt (%) ^[1]	Humidité du matériel (%) ^[1]	Atténuation (%)	Taux d'émission (g/s)			Horaire de fonctionnement
												PMT	PMT	PMT	
tdozop1	Bouteur sur chenilles 1 (résidus fins)	Caterpillar D9T	613 595	5 858 697	727,5	1,0	1,00	0,90	100,0	50,0	100	0	0	0	24 h par jour, en été
tdozop2	Bouteur sur chenilles 2 (résidus grossiers)	Caterpillar D9T	615 620	5 859 280	768,0	1,0	1,00	0,90	8,0	5,0	50	5.40E-01	1.11E-01	5.67E-02	
tdozop3	Bouteur sur chenilles 3 (résidus grossiers)	Caterpillar D9T	615 620	5 859 250	768,0	1,0	1,00	0,90	8,0	5,0	50	5.40E-01	1.11E-01	5.67E-02	
[1] Données d'ingénierie des résidus fins et grossiers.															

A2-16 Paramètres physiques et taux d’émissions utilisés pour la modélisation des opérations de boutage – Activité de construction

Identifiant	Description	Équipement	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Hauteur de relâche (m)	Sigma Y (m)	Sigma Z (m)	Teneur en silt (%) ^[1]	Humidité du matériel (%) ^[1]	Atténuation (%)	Taux d'émission (g/s)			Horaire de fonctionnement
												PMT	PMT	PMT	
tdoz01c	Bouteur sur chenilles 1 (stériles)	Caterpillar D8T	615 665	5 857 615	713,0	0,8	0,92	0,79	9,5	5,4	50	6.01E-01	1.29E-01	6.31E-02	24 h par jour de juin à octobre
tdoz02c	Bouteur sur chenilles 2 (stériles)	Caterpillar D8T	615 695	5 857 645	711,0	0,8	0,92	0,79	9,5	5,4	50	6.01E-01	1.29E-01	6.31E-02	
tdoz03c	Bouteur sur chenilles 3 (stériles)	Caterpillar D8T	615 445	5 858 125	718,0	0,8	0,92	0,79	9,5	5,4	50	6.01E-01	1.29E-01	6.31E-02	
tdoz04c	Bouteur sur chenilles 4 (stériles)	Caterpillar D8T	615 475	5 858 155	715,0	0,8	0,92	0,79	9,5	5,4	50	6.01E-01	1.29E-01	6.31E-02	12 h durant le jour de juin à octobre
tdoz05c	Bouteur sur chenilles 5 (résidus grossiers)	Caterpillar D6T	615 725	5 859 360	770,0	0,7	0,76	0,65	8,0	5,0	50	5.40E-01	1.11E-01	5.67E-02	
tdoz06c	Bouteur sur chenilles 6 (stériles)	Caterpillar D6T	614 880	5 857 035	700,5	0,7	0,76	0,65	9,5	5,4	50	6.01E-01	1.29E-01	6.31E-02	

[1] AP-42, Section 13.2.4 Aggregate Handling And Storage Piles, Lump ore average.

A2-17 Paramètres physiques et taux d’émissions utilisés pour la modélisation des opérations de concassage – Activité de construction

Identifiant	Description	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Hauteur de relâche (m)	Sigma Y (m)	Sigma Z (m)	Taux d'alimentation (t/h)	Référence du facteur d'émission utilisé	Taux d'émission (g/s)			Horaire de fonctionnement
										PMT	PM ₁₀	PM _{2,5} ^[1]	
crush	Concasseur mobile (stériles)	614 845	5 857 010	701,5	2,4	1,72	2,25	650,0	AP-42 11.19.2 –Tertiary Crushing	4.88E-01	2.17E-01	1.08E-01	12 h durant le jour de juin à octobre
screen	Tamis (stériles)	614 875	5 857 015	700,5	2,4	1,83	2,20	650,0	AP-42 11.19.2 –Screening	2.26E+00	7.76E-01	3.88E-01	

[1] Lorsque non spécifié par la référence, un facteur d'échelle de 50 % est considéré par rapport aux PM₁₀.

A2-18 Paramètres physiques et taux d’émissions utilisés pour la modélisation des opérations de déchargement de l’unité de concassage mobile – Activité de construction

Identifiant	Description	Tonnage manipulé (ktm/h)	Humidité du matériel (%)	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Hauteur de relâche (m)	Sigma Y (m)	Sigma Z (m)	Taux d’émission (g/s) ^[1]			Horaire de fonctionnement
										PMT	PM ₁₀	PM _{2,5}	
conv1	Chute du tamis (stériles)	0,650	5,4	614 890	5 857 030	700,0	2,7	0,25	0,33	1.95E-01	9.24E-02	1.40E-02	12 h durant le jour de juin à octobre
[1] Taux d’émission calculés heure par heure en fonction de la vitesse du vent suivant la méthode de l’AP-42, section 13.2.4 Aggregate Handling And Storage Piles. Les taux d’émission présentés ici sont calculés pour la vitesse moyenne du vent de 5,98 m/s.													

A2-19 Paramètres physiques et taux d’émissions utilisés pour la modélisation des opérations de sautage – Activité de production

Identifiant	Description	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Hauteur de relâche (m)	Sigma Y (m)	Sigma Z (m)	Taux d’émission (g/s)					
								PMT	PM ₁₀	PM _{2,5}	CO	NO _x	SO ₂
saut1f2	Sautage – Fosse Chief – 75 049 214 t – 438 trous	616 463	5 855 041	613,0	10,0	35,05	9,30	2.09E+02	1.09E+02	6.28E+00	1.26E+03	2.72E+02	6.42E+00
saut2f2	Sautage – Fosse Bloom Ouest – 23 863 382 t – 438 trous	613 474	5 855 039	690,0	10,0	35,05	9,30	2.09E+02	1.09E+02	6.28E+00	1.26E+03	2.72E+02	6.42E+00

A2-20 Paramètres physiques et taux d’émissions utilisés pour la modélisation des opérations de sautage – Activité de production – Mesures d’atténuation pour le quartz

Identifiant	Description	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Hauteur de relâche (m)	Sigma Y (m)	Sigma Z (m)	Taux d’émission (g/s)		
								PMT	PM ₁₀	PM _{2,5}
saut1f2qr	Sautage – Fosse Chief – 376 trous (Quartz)	616 463	5 855 041	613,0	10,0	35,05	9,30	1.66E+02	8.65E+01	4.99E+00
saut2f2qr	Sautage – Fosse Bloom Ouest – 376 trous (Quartz)	613 474	5 855 039	690,0	10,0	35,05	9,30	9.06E+01	4.71E+01	2.72E+00

A2-21 Paramètres physiques et taux d’émissions utilisés pour la modélisation des opérations de forage – Activité de production

Identifiant	Description	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Hauteur de relâche (m)	Sigma Y (m)	Sigma Z (m)	Méthode d’atténuation	Atténuation (%)	Taux d’émission – avec atténuation (g/s)		
										PMT	PM ₁₀	PM _{2,5}
drill1	Forage de production – Chief #1	616 440	5 855 021	613	2,3	1,07	2,14	Jets d’eau	70 %	3.43E-02	3.09E-02	1.72E-02
drill2	Forage de production – Chief #2	616 470	5 855 021	613	2,3	1,07	2,14	Jets d’eau	70 %	3.43E-02	3.09E-02	1.72E-02
drill3	Forage de production – Chief #3	616 500	5 855 021	613	2,3	1,07	2,14	Jets d’eau	70 %	3.43E-02	3.09E-02	1.72E-02
drill4	Forage de production – Chief #4	616 435	5 855 624	628	2,3	1,07	2,14	Jets d’eau	70 %	3.43E-02	3.09E-02	1.72E-02
drill5	Forage de production – Chief #5	616 465	5 855 624	630	2,3	1,07	2,14	Jets d’eau	70 %	3.43E-02	3.09E-02	1.72E-02
drill6	Forage de production - Bloom Ouest #1	613 480	5 855 065	690	2,3	1,07	2,14	Jets d’eau	70 %	3.43E-02	3.09E-02	1.72E-02
drill7	Forage de production - Bloom Ouest #2	613 480	5 855 095	690	2,3	1,07	2,14	Jets d’eau	70 %	3.43E-02	3.09E-02	1.72E-02

A2-22 Paramètres physiques et taux d’émission utilisés pour la modélisation des gaz d’échappement des équipements localisés – Activité de production

Identifiant	Description	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Hauteur de relâche (m)	Température (K)	Vitesse (m/s)	Diamètre équivalent (m)	Taux d'émission (g/s)					Horaire de fonctionnement
									PM ₁₀ ^a	PM _{2,5}	CO	NOx	SO ₂	
wdoz01x	Bouteur sur roues 1 – Exhaust	617 010	5 857 355	709,0	5,2	755,4	32,7	0,31	2.44E-02	2.37E-02	1.69E-01	5.16E-01	6.47E-04	En continu
wdoz02x	Bouteur sur roues 2 – Exhaust	614 328	5 856 127	718,0	5,2	755,4	32,7	0,31	2.44E-02	2.37E-02	1.69E-01	5.16E-01	6.47E-04	
tdoz01x	Bouteur sur chenilles 1 – Exhaust	616 465	5 855 053	613,0	3,9	755,4	44,3	0,21	1.97E-02	1.91E-02	1.07E-01	1.89E-01	3.56E-04	
tdoz02x	Bouteur sur chenilles 2 – Exhaust	613 644	5 855 457	676,0	3,9	755,4	44,3	0,21	1.97E-02	1.91E-02	1.07E-01	1.89E-01	3.56E-04	
tdoz03x	Bouteur sur chenilles 3 – Exhaust	616 472	5 855 575	620,0	4,5	755,4	31,2	0,50	2.69E-02	2.61E-02	2.31E-01	2.59E-01	4.87E-04	
tdoz04x	Bouteur sur chenilles 4 – Exhaust	613 487	5 855 037	690,0	4,5	755,4	31,2	0,50	2.69E-02	2.61E-02	2.31E-01	2.59E-01	4.87E-04	
tdoz05x	Bouteur sur chenilles 5 – Exhaust	617 818	5 852 897	821,6	4,5	755,4	31,2	0,50	2.69E-02	2.61E-02	2.31E-01	2.59E-01	4.87E-04	
tdoz06x	Bouteur sur chenilles 6 – Exhaust	617 722	5 852 768	821,4	4,5	755,4	31,2	0,50	2.69E-02	2.61E-02	2.31E-01	2.59E-01	4.87E-04	
ldp02ox	Chargement au point P02 – Exhaust	616 405	5 855 038	613,0	6,7	755,4	34,7	0,59	5.38E-02	5.22E-02	3.72E-01	1.14E+00	1.42E-03	
ldp12ox	Chargement au point P12 – Exhaust	613 596	5 855 450	676,0	6,7	755,4	34,7	0,59	5.38E-02	5.22E-02	3.72E-01	1.14E+00	1.42E-03	
ldp01wx	Chargement au point P01 – Exhaust	616 405	5 855 590	620,0	6,7	755,4	34,7	0,59	5.38E-02	5.22E-02	3.72E-01	1.14E+00	1.42E-03	
ldp11wx	Chargement au point P11 – Exhaust	613 477	5 854 987	690,0	6,7	755,4	34,7	0,59	5.38E-02	5.22E-02	3.72E-01	1.14E+00	1.42E-03	
a Toutes les particules émises sont supposées être plus petites que 10 microns donc PM _{tot} = PM ₁₀ .														

A2-23 Paramètres physiques et taux d’émission utilisés pour la modélisation des gaz d’échappement des équipements localisés – Opération des parcs à résidus

Identifiant	Description	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Hauteur de relâche (m)	Température (K)	Vitesse (m/s)	Diamètre équivalent (m)	Taux d'émission (g/s)					Horaire de fonctionnement
									PM ₁₀ ^a	PM _{2,5}	CO	NOx	SO ₂	
tdozop1x	Bouteur sur chenilles 1 – Exhaust	613 595	5 858 697	727,5	3,9	755,4	44,3	0,25	1.97E-02	1.91E-02	1.07E-01	1.89E-01	3.56E-04	24 h par jour, en été
tdozop2x	Bouteur sur chenilles 2 – Exhaust	615 620	5 859 280	768,0	3,9	755,4	44,3	0,25	1.97E-02	1.91E-02	1.07E-01	1.89E-01	3.56E-04	
tdozop3x	Bouteur sur chenilles 3 – Exhaust	615 620	5 859 250	768,0	3,9	755,4	44,3	0,25	1.97E-02	1.91E-02	1.07E-01	1.89E-01	3.56E-04	
ldp30obx	Chargement au point P30 – Exhaust	615 650	5 859 400	769,4	4,1	755,4	14,3	0,62	4.82E-02	4.68E-02	2.63E-01	4.64E-01	8.72E-04	
ldp30oax	Chargement au point P30 – Exhaust	615 650	5 859 400	769,4	3,2	755,4	27,7	0,39	3.39E-02	3.29E-02	1.85E-01	3.26E-01	6.13E-04	
wl01x	Chargeuse sur roue bassin A – Exhaust	613 625	5 858 697	727,5	4,1	755,4	14,3	0,44	2.41E-02	2.34E-02	1.31E-01	2.32E-01	4.36E-04	
exc01x	Excavatrice bassin A – Exhaust	613 655	5 858 697	727,5	3,2	755,4	27,7	0,28	1.70E-02	1.64E-02	9.24E-02	1.63E-01	3.07E-04	
comp01x	Compacteur – Exhaust	615 678	5 859 221	770,0	1,2	755,4	0	0,14	9.27E-03	8.99E-03	4.48E-02	8.92E-02	1.68E-04	
a Toutes les particules émises sont supposées être plus petites que 10 microns donc PM _{tot} = PM ₁₀ .														

A2-24 Paramètres physiques et taux d’émission utilisés pour la modélisation des gaz d’échappement des équipements localisés – Activité de construction

Identifiant	Description	X (m)	Y (m)	Élévation (m)	Hauteur de relâche (m)	Température (K)	Vitesse (m/s)	Diamètre équivalent (m)	Taux d'émission (g/s)					Horaire de fonctionnement
									PM ₁₀ ^a	PM _{2,5}	CO	NOx	SO ₂	
tdoz01cx	Bouteur sur chenilles 1 – Exhaust	615 665	5 857 615	713,0	3,4	678,7	45,9	0,29	1.38E-02	1.34E-02	7.54E-02	1.33E-01	2.50E-04	24 h par jour de juin à octobre
tdoz02cx	Bouteur sur chenilles 2 – Exhaust	615 695	5 857 645	711,0	3,4	678,7	45,9	0,29	1.38E-02	1.34E-02	7.54E-02	1.33E-01	2.50E-04	
tdoz03cx	Bouteur sur chenilles 3 – Exhaust	615 445	5 858 125	718,0	3,4	678,7	45,9	0,29	1.38E-02	1.34E-02	7.54E-02	1.33E-01	2.50E-04	
ldp32rcx	Chargement au point P32 – Exhaust	615 706	5 859 397	770,0	3,6	775,9	29,1	0,73	6.37E-02	6.18E-02	3.47E-01	6.13E-01	1.15E-03	
compc1x	Compacteur 1 – Exhaust	615 650	5 857 630	718,0	3,0	722,2	32,3	0,20	3.86E-04	3.74E-04	2.85E-03	7.17E-02	9.94E-05	
compc3x	Compacteur 3 – Exhaust	615 415	5 858 155	718,8	3,0	722,2	32,3	0,20	3.86E-04	3.74E-04	2.85E-03	7.17E-02	9.94E-05	
tdoz04cx	Bouteur sur chenilles 4 – Exhaust	615 475	5 858 155	715,0	3,4	678,7	45,9	0,29	1.38E-02	1.34E-02	7.54E-02	1.33E-01	2.50E-04	12 h durant le jour de juin à octobre
tdoz05cx	Bouteur sur chenilles 5 – Exhaust	615 725	5 859 360	770,0	3,1	770,5	50,0	0,18	8.39E-03	8.14E-03	4.06E-02	8.07E-02	1.52E-04	
tdoz06cx	Bouteur sur chenilles 6 – Exhaust	614 880	5 857 035	700,5	3,1	770,5	50,0	0,18	8.39E-03	8.14E-03	4.06E-02	8.07E-02	1.52E-04	
ldp34rcx	Chargement au point P34 – Exhaust	615 664	5 857 656	718,0	3,6	775,9	29,1	0,42	2.12E-02	2.06E-02	1.16E-01	2.04E-01	3.84E-04	
ldp19wcx	Chargement au point P19 – Exhaust	614 855	5 857 037	701,9	3,0	755,4	9,4	0,40	2.41E-02	2.34E-02	1.16E-01	2.32E-01	4.36E-04	
compc2x	Compacteur 2 – Exhaust	615 680	5 857 660	718,0	3,0	722,2	32,3	0,20	3.86E-04	3.74E-04	2.85E-03	7.17E-02	9.94E-05	
compc4x	Compacteur 4 – Exhaust	615 445	5 858 185	715,0	3,0	722,2	32,3	0,20	3.86E-04	3.74E-04	2.85E-03	7.17E-02	9.94E-05	
crushx	Concasseur mobile – Exhaust	614 845	5 857 010	701,5	4,2	845,2	50,0	0,15	8.38E-03	8.12E-03	4.81E-02	1.25E-01	2.42E-04	
screenx	Tamis – Exhaust	614 875	5 857 015	700,5	3,4	716,2	0	0,15	4.54E-03	4.40E-03	2.31E-02	6.77E-02	1.31E-04	
a Toutes les particules émises sont supposées être plus petites que 10 microns donc PM _{tot} = PM ₁₀ .														

A2-25 Paramètres physiques et taux d’émission des sources surfaciques associées aux haldes et aires de construction

Identifiant	Description	Élévation (m)	Hauteur de relâche (m)	Sigma Z (m)	Surface considérée (m²)	Teneur en limon (%)	Atténuation (%)	Taux d’émission – Sans atténuation (g/s.m²)		
								PMT	PM ₁₀	PM _{2,5}
hsud	Zone de déchargement - Halde Sud	821,0	10,0	4,65	115 500	9,5	0	1.45E-04	7.23E-05	1.08E-05
pcrsh	Pile de concassé – Concassage pour construction	698,2	1,5	0,70	15 000	9,5	0	1.45E-04	7.23E-05	1.08E-05
diguea	Digue A	714.2	5,0	2,33	36 400	9,5	0	1.45E-04	7.23E-05	1.08E-05
hsudq	Zone de déchargement Nord - Halde Sud	837,0	10,0	4,65	21 400	9,5	0 (75 pour le SiO ₂) ^[1]	1.45E-04	7.23E-05	1.08E-05
[1] Atténuation spécifique pour les mesures relatives à la réduction des émissions de silice cristalline Note : Le taux d’émission est égal à zéro lorsque la vitesse du vent est inférieure à 5,36 m/s (19,3 km/h).										

A2-26 Paramètres physiques et taux d’émission des sources surfaciques associées aux parcs à résidus

Identifiant	Description	Élévation (m)	Hauteur de relâche (m)	Sigma Z (m)	Surface considérée (m²)	Teneur en limon (%)	Humidité (%)	Atténuation (%)	Taux d'émission – Sans atténuation (g/s.m²)		
									PMT	PM ₁₀	PM _{2,5}
prn1s	Parc à résidu HPA Nord #1	726,5	10,9	5,06	1 542 300	8,0	18	99,6	1.22E-04	6.08E-05	9.13E-06
prn2s	Parc à résidu HPA Nord #2	701,4	8,7	4,06	289 600	8,0	5	95,2	1.22E-04	6.08E-05	9.13E-06
prn3s	Parc à résidu HPA Nord #3	695,9	18,5	8,62	1 950 600	8,0	5	95,2	1.22E-04	6.08E-05	9.13E-06
prn4s	Parc à résidu HPA Nord #4	768,1	0,9	0,40	1 259 300	8,0	5	95,2	1.22E-04	6.08E-05	9.13E-06
prn5s	Parc à résidu HPA Nord #5	713,2	14,2	6,60	1 163 400	8,0	5	95,2	1.22E-04	6.08E-05	9.13E-06
prs1s	Parc à résidu HPA Sud #1	698,5	11,4	5,29	1 216 000	8,0	5	95,2	1.22E-04	6.08E-05	9.13E-06
prs2s	Parc à résidu HPA Sud #2	671,3	7,7	3,60	36 000	8,0	5	95,2	1.22E-04	6.08E-05	9.13E-06
prs3s	Parc à résidu HPA Sud #3	655,0	22,3	10,35	2 349 100	8,0	5	95,2	1.22E-04	6.08E-05	9.13E-06
prs4s	Parc à résidu HPA Sud #4	742,0	0,5	0,23	314 700	8,0	5	95,2	1.22E-04	6.08E-05	9.13E-06
prs5s	Parc à résidu HPA Sud #5	737,9	1,5	0,68	390 300	8,0	5	95,2	1.22E-04	6.08E-05	9.13E-06
prs6s	Parc à résidu HPA Sud #6	710,2	8,4	3,93	254 200	8,0	5	95,2	1.22E-04	6.08E-05	9.13E-06
prs7s	Parc à résidu HPA Sud #7	698,3	0,5	0,23	67 600	8,0	18	99,6	1.22E-04	6.08E-05	9.13E-06
Note : Le taux d'émission est égal à zéro lorsque la vitesse du vent est inférieure à 5,36 m/s (19,3 km/h).											

ANNEXE

B

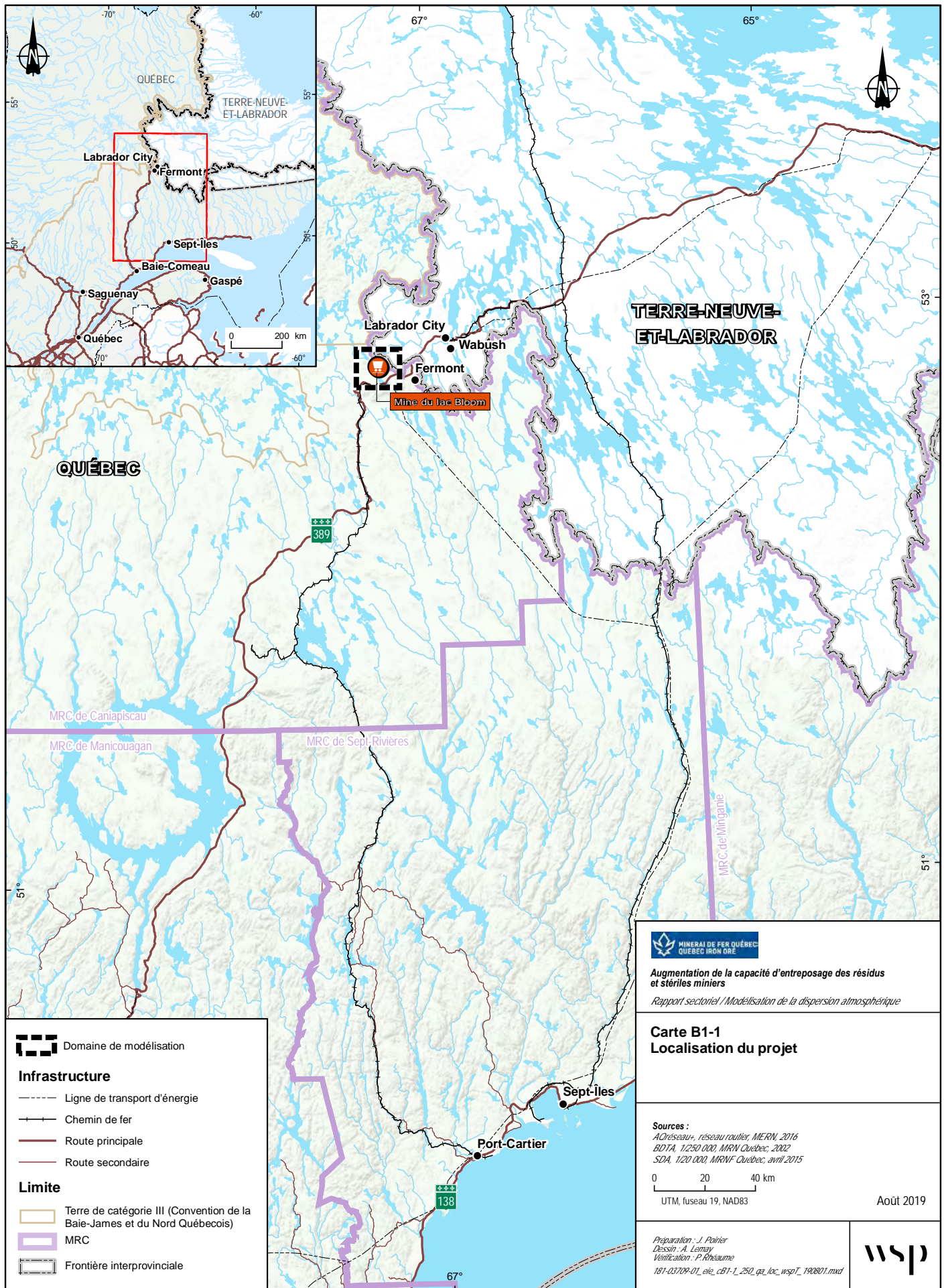
CARTES



ANNEXE

B1 *CARTES GÉNÉRALES*







- Domaine de modélisation
- Limite d'application des normes et critères
- Infrastructures du projet
- Emprise des installations du complexe minier de Mont-Wright
- Route 389
- Autre chemin
- Voie ferrée
- Frontière



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Rapport sectoriel - Modélisation de la dispersion atmosphérique

Carte B1-2 Domaine de modélisation et limite d'application

Sources :
Image Google, 2019
BDTQ, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1:50 000, RNCan, 2014
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, avril 2015
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018

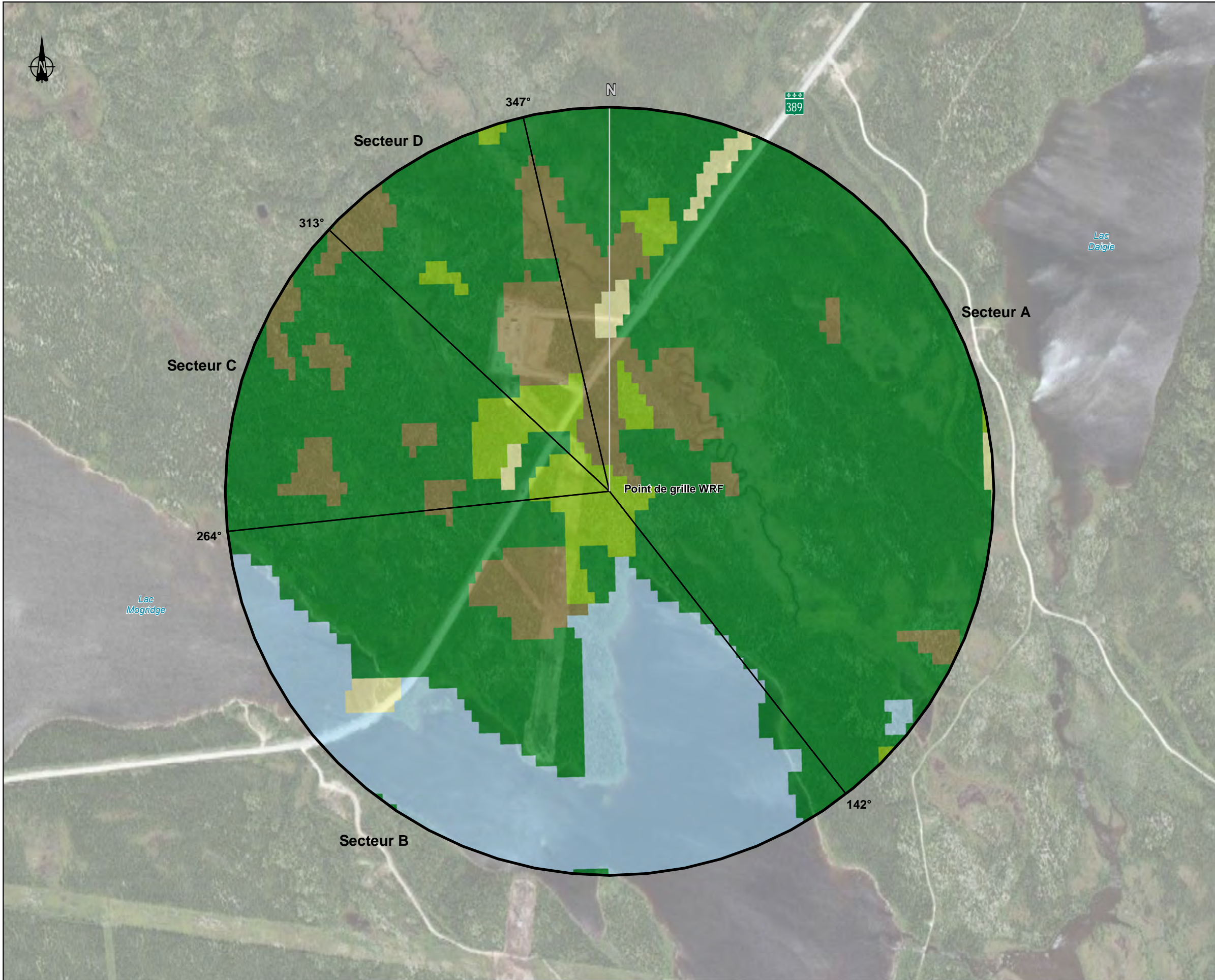
0 600 1 200 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Août 2019

Préparation : J. Poirier
Dessin : A. Lemay
Vérification : P. Rhéaume
181-03709-01_eie_cB1-2_254_ga_domaine_wspT_190801.mxd



La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.



Code	Description
11	Eau
12	Neige/glace éternelle
21	Résidentiel clairsemé
22	Résidentiel dense
23a	Commercial/industriel/transport - Site d'aéroport
23b	Commercial/industriel/transport - Autre
31a	Sol rocheux/sableux/argileux (région aride)
31b	Sol rocheux/sableux/argileux (région non-aride)
32	Carrière/mines/gravier
33	Zone de transition entre 2 catégories
41	Forêt de feuillus
42	Forêt de conifères
43	Forêt mixte
51a	Fruticées (arbustes) - région aride
51b	Fruticées (arbustes) - région non aride
71	Prairies/herbacé
61	Vergers/vignobles
81	Pâturage/foins
82	Champs de culture en rang
83	Champs de culture de graminées (blé, riz etc.)
84	Champs avec alternance culture/travail au sol
85	Végétation artificiel (parcs, golf, herbes d'aéroport, etc.)
91	Zones humides boisées
92	Herbacées en milieu humide
	Non défini



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers
Rapport sectoriel - Modélisation de la dispersion atmosphérique

Carte B1-3
Catégories d'utilisation du sol dans un rayon d'un kilomètre autour du point de grille WRF

Sources :
World Imagery, (ESRI, 2019)

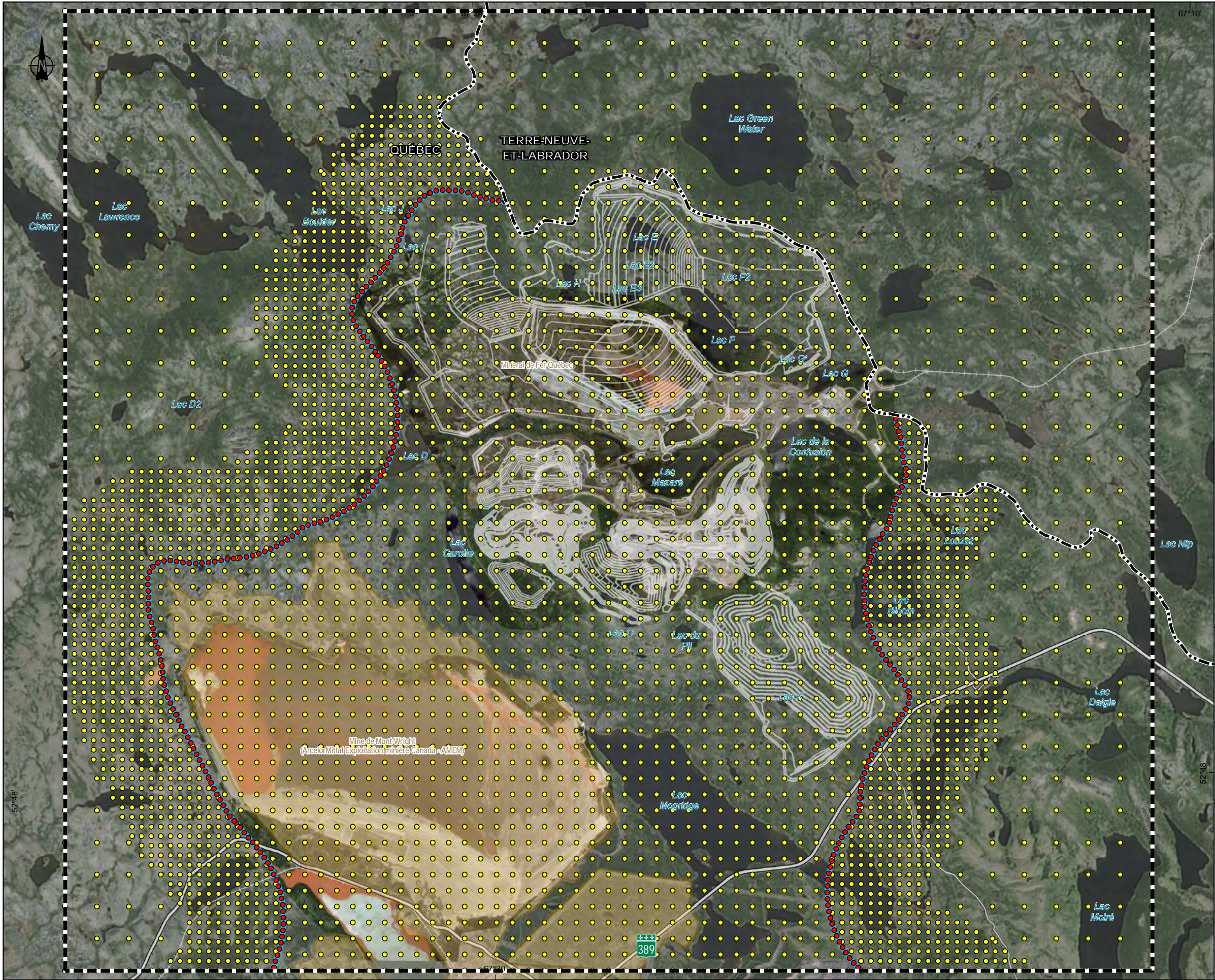
0 100 200 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Août 2019

Préparation : J. Poirier
Dessin : A. Lemay
Vérification : P. Rhéaume
181-03709-01_eie_cB1-3_255_qa_utilisation_wspT_190801.mxd



La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.



- Domaine de modélisation
- Limite d'application des normes et critères
- Récepteur sur la limite d'application
- Grille de récepteurs
- Infrastructures du projet
- Emprise des installations du complexe minier de Mont-Wright
- Route 389
- Autre chemin
- Voie ferrée
- Frontière



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers
Rapport sectoriel - Modélisation de la dispersion atmosphérique

Carte B1-4 Grille de récepteurs

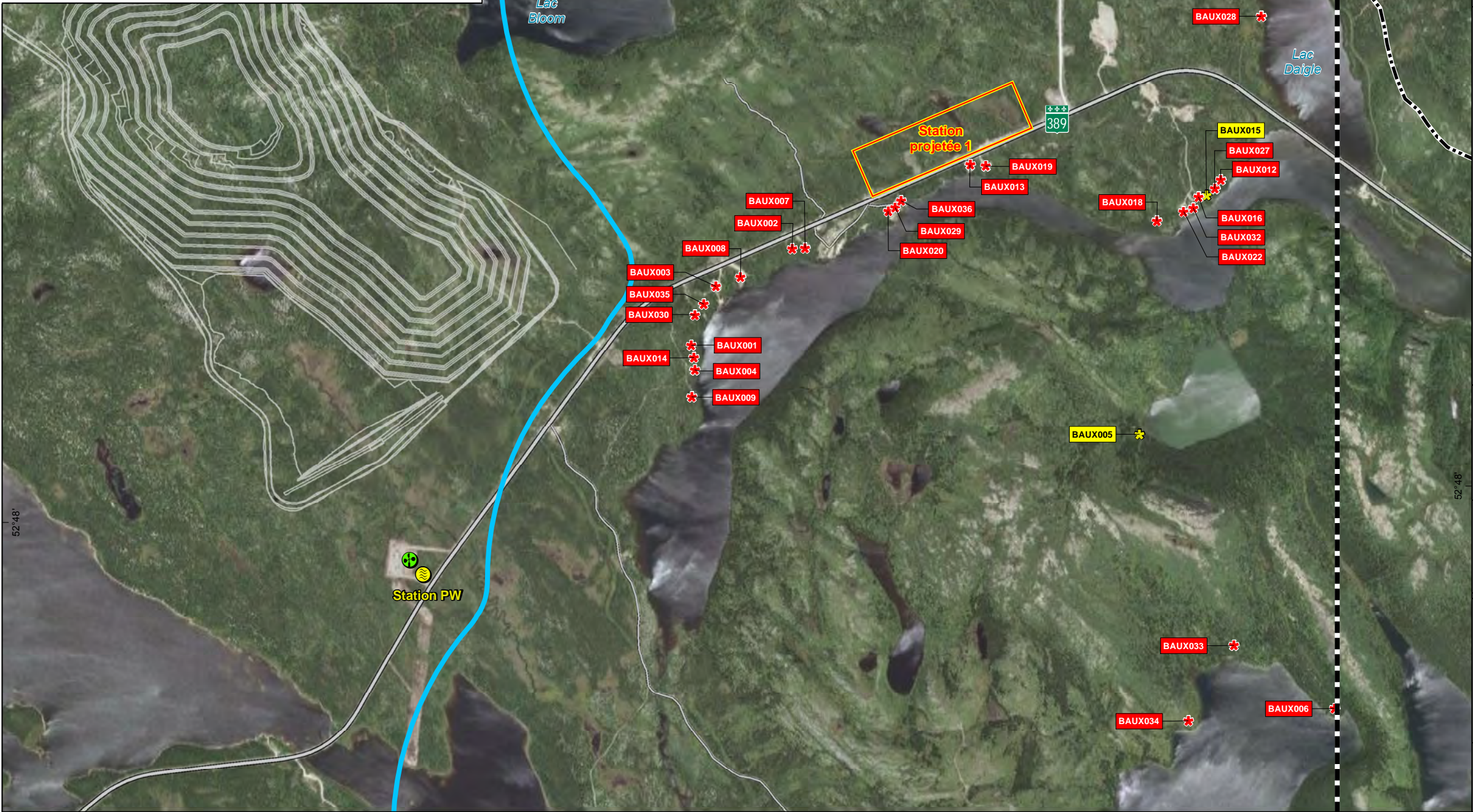
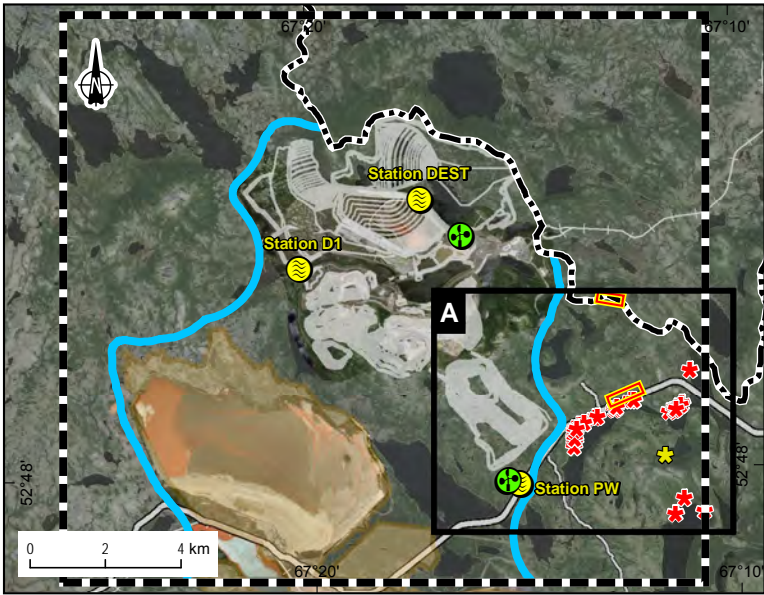
Sources :
Image Google, 2019
BDTQ, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1:50 000, RNCan, 2014
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, avril 2015
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018

0 600 1 200 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Août 2019

Préparation : J. Poirier
Dessin : A. Lemay
Vérification : P. Rhéaume
181-03709-01_eie_cB1-4_256_qa_domaine_wspT_190801.mxd





- Domaine de modélisation
- Limite d'application des normes et critères
- Récepteurs sensibles**
- Baux à des fins d'abri sommaire en forêt
- Baux à des fins de villégiature
- Station de la qualité de l'air**
- Station météorologique
- Station de suivi de la qualité de l'air existante
- Zone projetée d'installation des stations
- Infrastructures du projet
- Empreinte des installations du complexe minier de Mont-Wright
- Route 389
- Autre chemin
- Voie ferrée
- Frontière



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Rapport sectoriel - Modélisation de la dispersion atmosphérique

Carte B1-5

Récepteurs sensibles

Sources :

World Imagery (ESRI, 2019)

Image Google, 2019

BDTQ, 1:20 000, MRNF Québec, 2007

CanVec+, 1:50 000, RNCan, 2014

SDA, 1:20 000, MRNF Québec, avril 2015

Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018

0 200 400 m

UTM, fuseau 19, NAD83

Août 2019

Préparation : J. Poirier

Dessin : A. Lemay

Vérification : P. Rhéaume

181-03709-01_eie_cB1-5_257_qa_receptsens_wspT_190801.mxd



La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.

Vue vers le nord



Vue vers l'est



Vue vers l'ouest



Vue vers le sud



Rapport sectoriel - Modélisation de la dispersion atmosphérique

Carte B1-6
Vues en 3D des bâtiments
(Usine de traitement)

Source :
Modèle numérique 3D, WSP

Août 2019

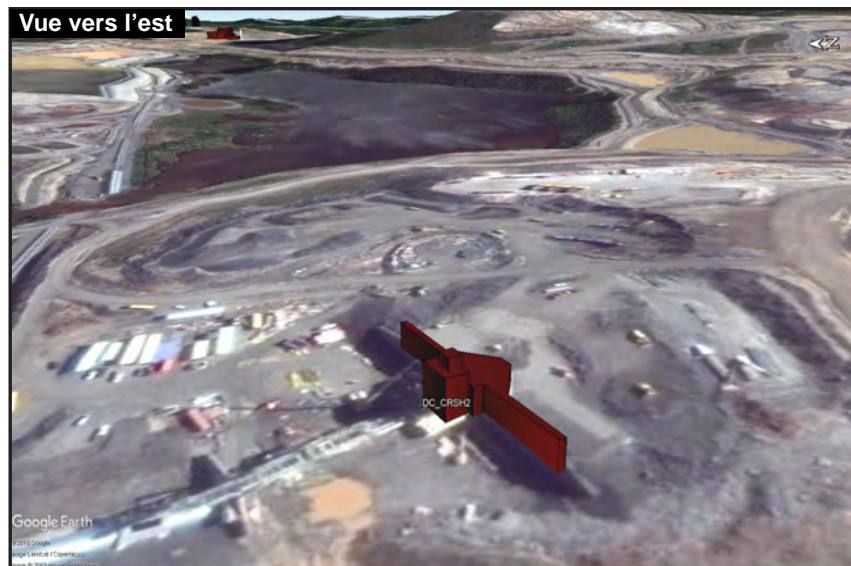
Préparation : M. St-Pierre
Dessin : A. Lemay
Approbation : P. Rhéaume
181-03709-01_eie_cb1-6_258_qa_batiusi_wspT_190801.ai

wsp

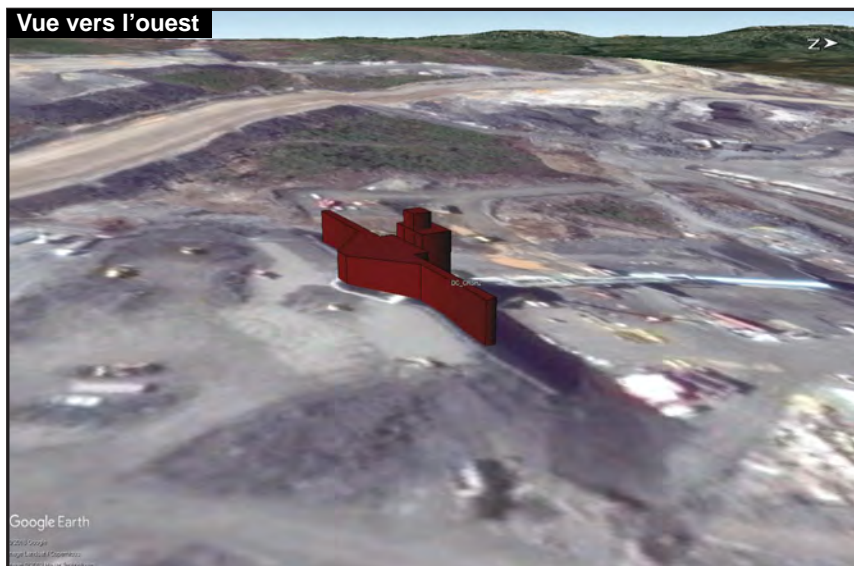
Vue vers le nord



Vue vers l'est



Vue vers l'ouest



Vue vers le sud



Rapport sectoriel - Modélisation de la dispersion atmosphérique

Carte B1-7
Vues en 3D des bâtiments
(Concasseur 2)

Source :
Modèle numérique 3D, WSP

Août 2019

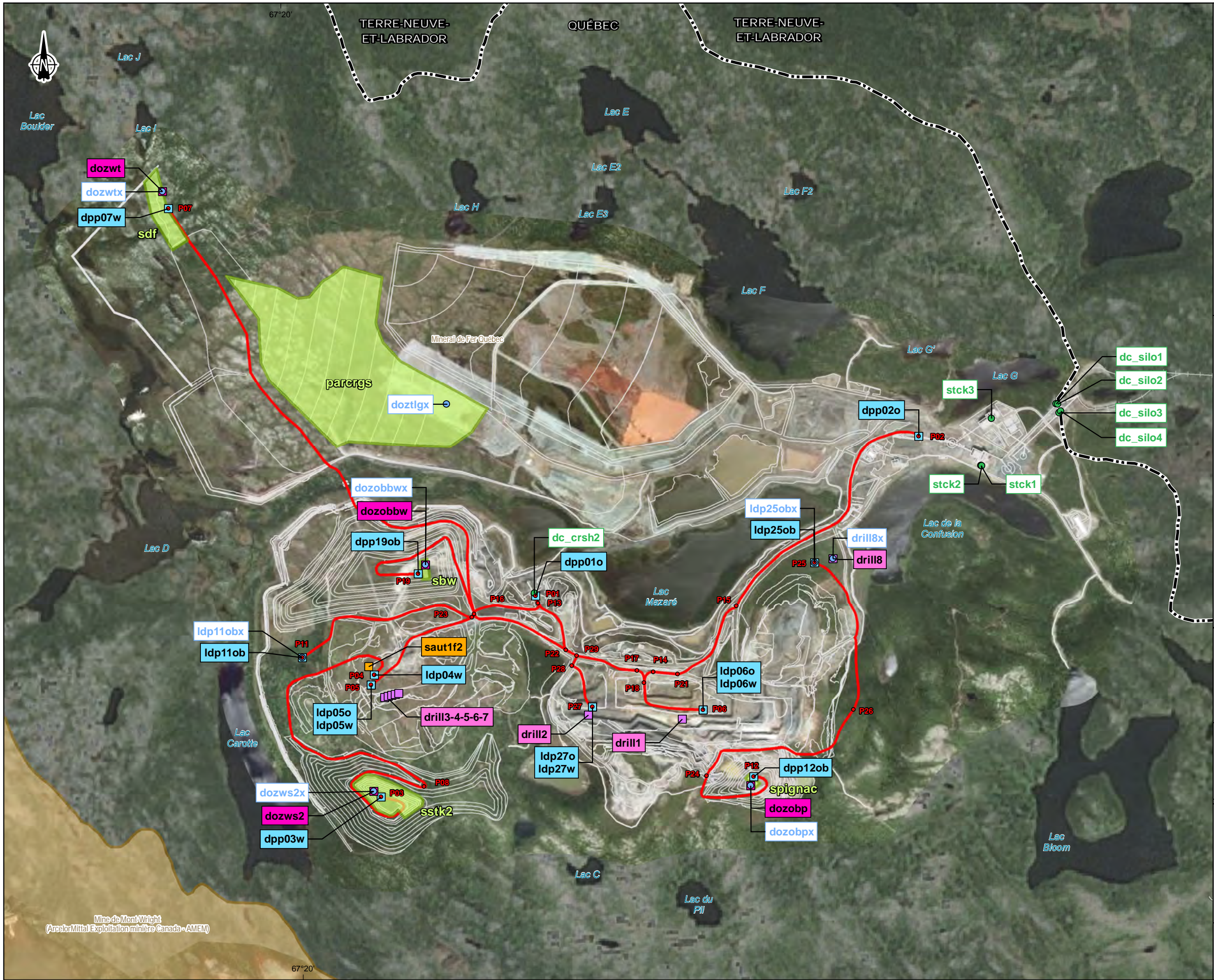
Préparation : M. St-Pierre
Dessin : A. Lemay
Approbation : P. Rhéaume
181-03709-01_eie_cB1-7_259_qa_baticon_wspT_190801.ai

wsp

ANNEXE

B2 SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE





- Infrastructures du projet
- Empreinte des installations du complexe minier de Mont-Wright
- Route 389
- Autre chemin
- Voie ferrée
- Frontière

Modèle de dispersion atmosphérique

- Extrémité de segment de routage
- Routage

Sources ponctuelles

- Gaz d'échappement
- Usine

Sources volumiques

- Boutage
- Chargement/Déchargement
- Forage
- Sautage

Source surfacique

- Erosion éolienne



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Rapport sectoriel - Modélisation de la dispersion atmosphérique

Carte B2-1
Sources d'émissions utilisées pour la modélisation de la dispersion atmosphérique
Scénario de référence

Sources :
Image Google, 2019
BDTQ, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1:50 000, RNCan, 2014
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, avril 2015
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018

0 300 600 m
UTM, fuseau 19, NAD83

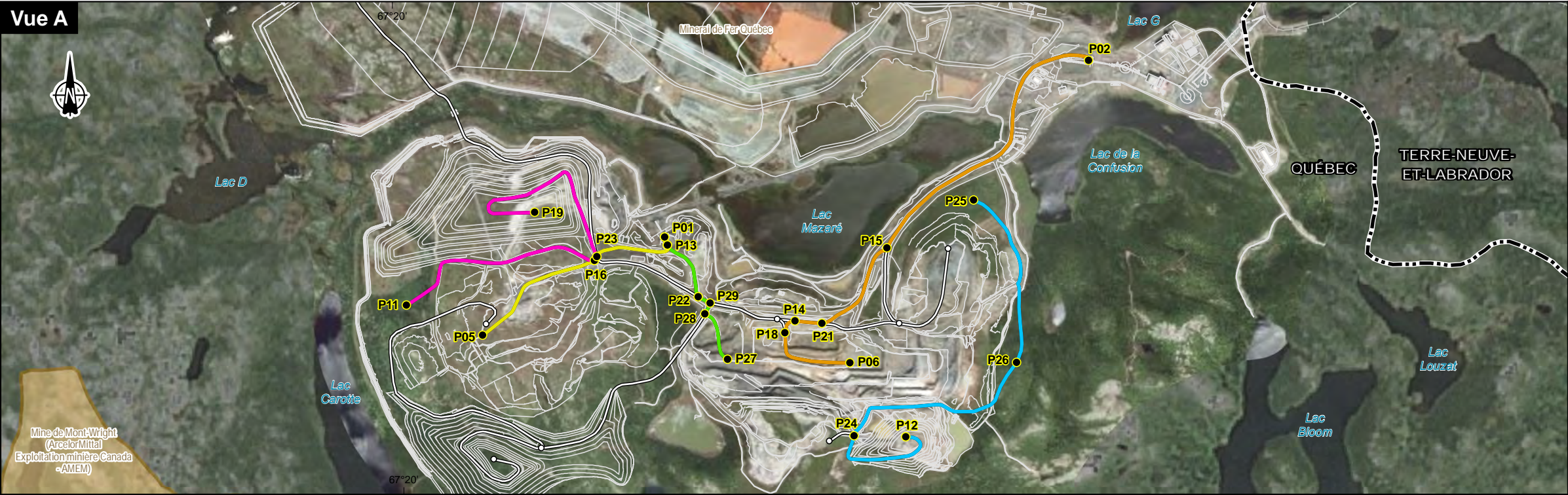
Août 2019

Préparation : J. Poirier
Dessin : A. Lemay
Vérification : P. Rhéaume
181-03709-01_eie_cB2-1_260_qa_source_wsp07_190801.mxd




La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.


Vue A





Vue B




 Infrastructures du projet


 Empreinte des installations du complexe minier de Mont-Wright

 Voie ferrée


 Frontière


Modèle de dispersion atmosphérique


 Routage


 Intersection de segment de routage


Trajets (vue A)

 P05_P01


 P06_P02


 P11_P19


 P25_P12


 P27_P01


Trajets (vue B)


 P04_P03

 P05_P07

 P06_P07

 P27_P07

 Intersection de trajet

 MINÉRAI DE FER QUÉBEC
QUÉBEC IRON ORE

Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Rapport sectoriel - Modélisation de la dispersion atmosphérique


Carte B2-2
Trajets de transport des différentes matières sur le site
Scénario de référence

Sources :
Image Google, 2019
BDTQ, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1:50 000, RNCan, 2014
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, avril 2015
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018

0 350 700 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Août 2019

Préparation : J. Poirier
Dessin : A. Lemay
Vérification : P. Rhéaume
181-03709-01_eie_cB2-2_261_qa_trajet_wspT_190801.mxd



La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.



- Infrastructures du projet
- Emprise des installations du complexe minier de Mont-Wright
- Route 389
- Autre chemin
- Voie ferrée
- Frontière
- Modèle de dispersion atmosphérique**
- Courbe isoconcentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Supérieure à la valeur limite
- Inférieure à la valeur limite (considérant la concentration initiale)
- Hors domaine d'application
- Domaine de modélisation
- Limite d'application des normes et critères
- Récepteurs sensibles

Valeur limite : $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Concentration initiale : $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Rapport sectoriel - Modélisation de la dispersion atmosphérique

Carte B2-3
Concentrations maximales modélisées
Substance : Particules totales (PMT)
Période : 24 heures
Scénario de référence

Sources :
Image Google, 2019
BDTO, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1:50 000, RNCan, 2014
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, avril 2015
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018

0 650 1 300 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Août 2019

Préparation : J. Poirier
Dessin : A. Lemay
Vérification : P. Rhéaume
181-03709-01_eie_cB2-3a9_262_qa_isoactu_wspT_190801.mxd





- Infrastructures du projet
- Emprise des installations du complexe minier de Mont-Wright
- Route 389
- Autre chemin
- Voie ferrée
- Frontière
- Modèle de dispersion atmosphérique**
- Courbe isoconcentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Supérieure à la valeur limite
- Inférieure à la valeur limite (considérant la concentration initiale)
- Hors domaine d'application
- Domaine de modélisation
- Limite d'application des normes et critères
- Récepteurs sensibles

Valeur limite : $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Concentration initiale : $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Rapport sectoriel - Modélisation de la dispersion atmosphérique

Carte B2-4
Concentrations maximales modélisées
Substance : Particules fines ($\text{PM}_{2.5}$)
Période : 24 heures
Scénario de référence

Sources :
Image Google, 2019
BDOT, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1:50 000, RNCan, 2014
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, avril 2015
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018

0 650 1 300 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Août 2019

Préparation : J. Poirier
Dessin : A. Lemay
Vérification : P. Rhéaume
181-03709-01_eie_cB2-3a9_262_qa_isoactu_wspT_190801.mxd





- Infrastructures du projet
- Emprise des installations du complexe minier de Mont-Wright
- Route 389
- Autre chemin
- Voie ferrée
- Frontière
- Modèle de dispersion atmosphérique**
- Courbe isoconcentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Supérieure à la valeur limite
- Inférieure à la valeur limite (considérant la concentration initiale)
- Hors domaine d'application
- Domaine de modélisation
- Limite d'application des normes et critères
- Récepteurs sensibles

Valeur limite : $414 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Concentration initiale : $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Rapport sectoriel - Modélisation de la dispersion atmosphérique

Carte B2-5
Concentrations maximales modélisées
Substance : Dioxyde d'azote (avec OLM) (NO_2)
Période : 1 heure
Scénario de référence

Sources :
Image Google, 2019
BDTO, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1:50 000, RNCAN, 2014
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, avril 2015
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018

0 650 1 300 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Août 2019

Préparation : J. Poirier
Dessin : A. Lemay
Vérification : P. Rhéaume
181-03709-01_eie_cB2-3a9_2a2_qa_isoactu_wsp_190801.mxd





- Infrastructures du projet
- Emprise des installations du complexe minier de Mont-Wright
- Route 389
- Autre chemin
- Voie ferrée
- Frontière
- Modèle de dispersion atmosphérique**
- Courbe isoconcentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Supérieure à la valeur limite
- Inférieure à la valeur limite (considérant la concentration initiale)
- Hors domaine d'application
- Domaine de modélisation
- Limite d'application des normes et critères
- Récepteurs sensibles

Valeur limite : $207 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Concentration initiale : $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Rapport sectoriel - Modélisation de la dispersion atmosphérique

Carte B2-6
Concentrations maximales modélisées
Substance : Dioxyde d'azote (avec OLM) (NO_2)
Période : 24 heures
Scénario de référence

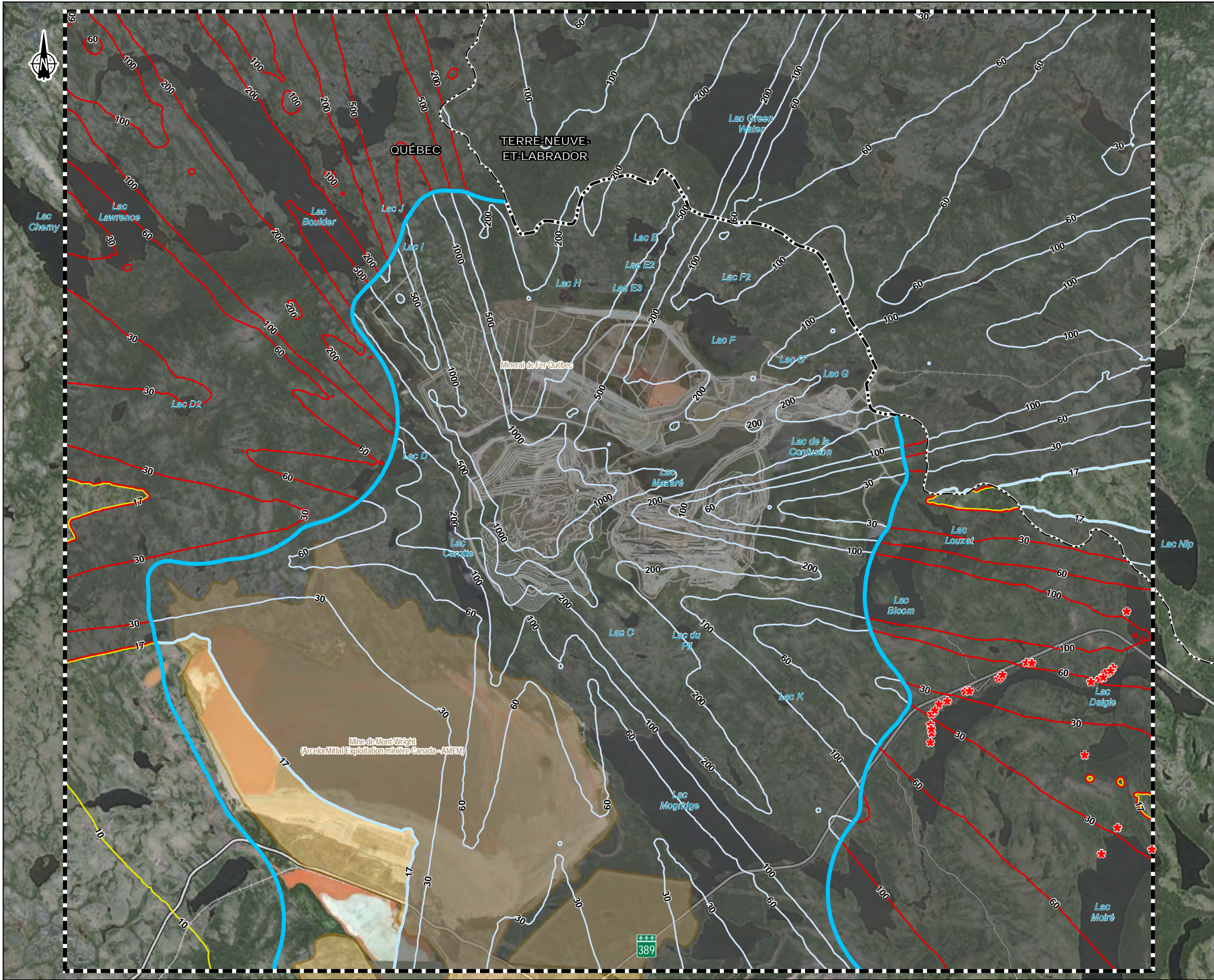
Sources :
Image Google, 2019
BDTO, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1:50 000, RNCan, 2014
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, avril 2015
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018

0 650 1 300 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Août 2019

Préparation : J. Poirier
Dessin : A. Lemay
Vérification : P. Rhéaume
181-03709-01_eie_cB2-3a9_262_qa_isoactu_wspT_190801.mxd





- Infrastructures du projet
- Emprise des installations du complexe minier de Mont-Wright
- Route 389
- Autre chemin
- Voie ferrée
- Frontière
- Modèle de dispersion atmosphérique**
- Courbe isoconcentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Supérieure à la valeur limite
 - Inférieure à la valeur limite (considérant la concentration initiale)
 - Hors domaine d'application
- Domaine de modélisation
- Limite d'application des normes et critères
- Récepteurs sensibles

Valeur limite : $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Concentration initiale : $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Rapport sectoriel - Modélisation de la dispersion atmosphérique

Carte B2-7
Concentrations maximales modélisées
Substance : Silice cristalline (SiO_2)
Période : 1 heure
Scénario de référence

Sources :

- Image Google, 2019
- BDTO, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
- CanVec+, 1:50 000, RNCan, 2014
- SDA, 1:20 000, MRNF Québec, avril 2015
- Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018

0 650 1 300 m

UTM, fuseau 19, NAD83

Août 2019

Préparation : J. Poirier
Dessin : A. Lemay
Vérification : P. Rhéaume
151-03709-01_eie_cB2-3a9_2a2_qa_isoactu_wsp_T_190801.mxd



La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.



- Infrastructures du projet
- Emprise des installations du complexe minier de Mont-Wright
- Route 389
- Autre chemin
- Voie ferrée
- Frontière
- Modèle de dispersion atmosphérique**
- Courbe isoconcentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Supérieure à la valeur limite
- Inférieure à la valeur limite (considérant la concentration initiale)
- Hors domaine d'application
- Domaine de modélisation
- Limite d'application des normes et critères
- Récepteurs sensibles

Valeur limite : $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Concentration initiale : $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Rapport sectoriel - Modélisation de la dispersion atmosphérique

Carte B2-8
Concentrations maximales modélisées
Substance : Silice cristalline (SiO_2)
Période : 1 heure
Scénario de référence - sans sautage

Sources :
Image Google, 2019
BDOT, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1:50 000, RNCan, 2014
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, avril 2015
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018

0 650 1 300 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Août 2019

Préparation : J. Poirier
Dessin : A. Lemay
Vérification : P. Rhéaume
151-03709-01_eie_cB2-3a9_2a2_qa_isoactu_wsp_190801.mxd





- Infrastructures du projet
- Empreinte des installations du complexe minier de Mont-Wright
- Route 389
- Autre chemin
- Voie ferrée
- Frontière
- Modèle de dispersion atmosphérique**
- Courbe isoconcentration (µg/m³)
Supérieure à la valeur limite
- Inférieure à la valeur limite
(considérant la concentration initiale)
- Hors domaine d'application
- Domaine de modélisation
- Limite d'application des normes et critères
- Récepteurs sensibles

Valeur limite : 0.07 µg/m³
Concentration initiale : 0.04 µg/m³



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Rapport sectoriel - Modélisation de la dispersion atmosphérique

Carte B2-9
Concentrations maximales modélisées
Substance : Silice cristalline (SiO₂)
Période : 1 an
Scénario de référence

Sources :
Image Google, 2019
BDOT, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1:50 000, RNCan, 2014
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, avril 2015
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018

0 650 1 300 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Août 2019

Préparation : J. Poirier
Dessin : A. Lemay
Vérification : P. Rhéaume
151-03709-01_eie_cB2-3a9_2a2_qa_isoactu_wsp_190801.mxd



La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.

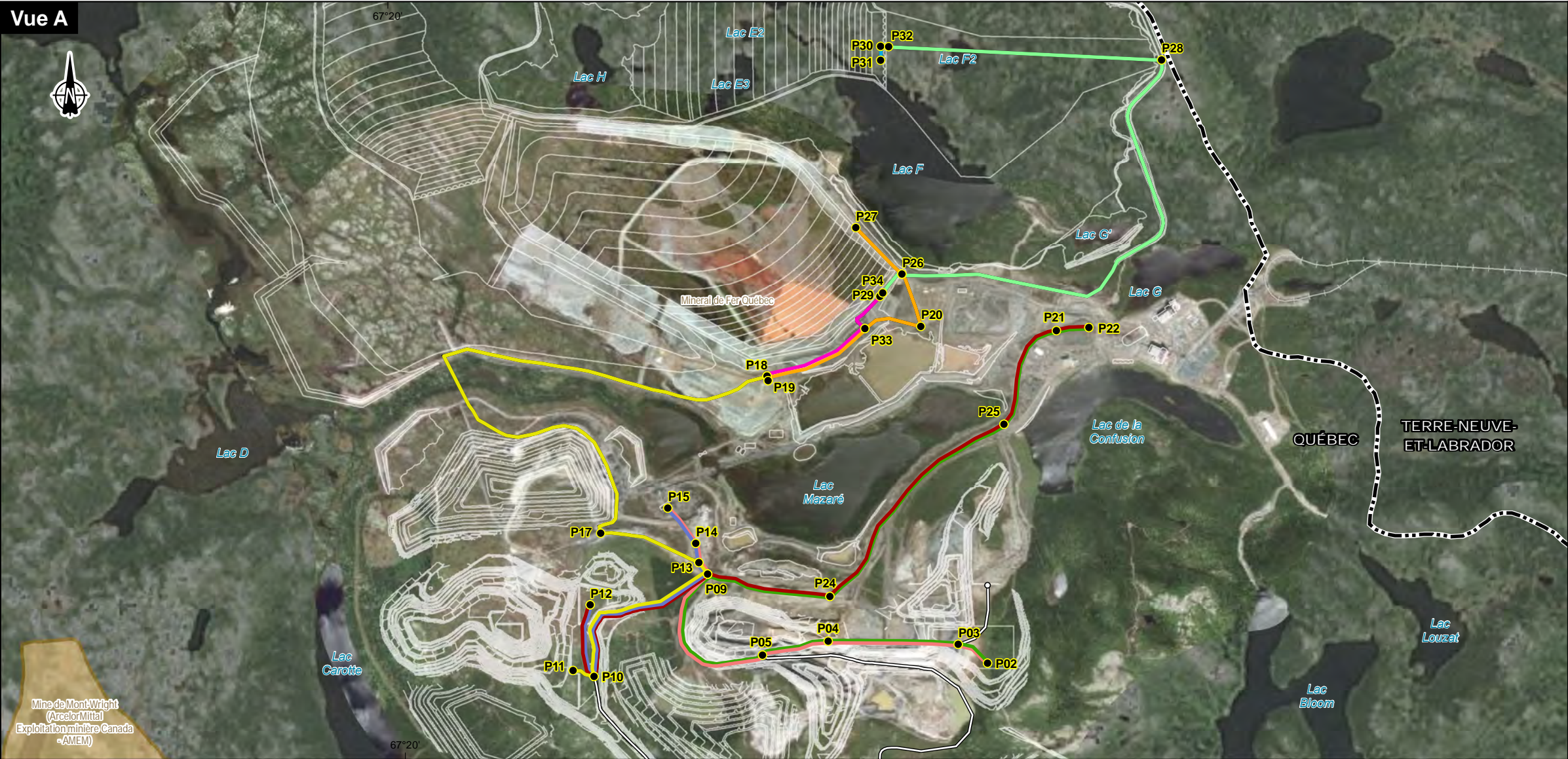
ANNEXE

B3 SCÉNARIO D'EXPLOITATION





Vue A



- Infrastructures du projet
- Emprise des installations du complexe minier de Mont-Wright
- Voie ferrée
- Frontière

Modèle de dispersion atmosphérique

- ROUTAGE
- Intersection de segment de routage

Trajets (vue A)

- P02_P15
- P02_P22
- P11_P19
- P12_P15
- P12_P22
- P19_P27
- P19_P29
- P30_P31
- P32_P34

Trajet (vue B)

- P01_P08
- P01_P08b
- P11_P08
- P11_P08b

- Intersection de trajet

Vue B



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Rapport sectoriel - Modélisation de la dispersion atmosphérique

Carte B3-2
Trajets de transport des
différentes matières sur le site
Scénario d'exploitation

Sources :
Image Google, 2019
BDTQ, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec, 1:50 000, RNCAN, 2014
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, avril 2015
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018

0 350 700 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Août 2019

Préparation : J. Poirier
Dessin : A. Lemay
Vérification : P. Rhéaume
181-03709-01_eie_cB3-2_264_qa_trajetfu_wspT_190802.mxd





- Infrastructures du projet
- Emprise des installations du complexe minier de Mont-Wright
- Route 389
- Autre chemin
- Voie ferrée

Modèle de dispersion atmosphérique

- Courbe isoconcentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Supérieure à la valeur limite
- Inférieure à la valeur limite (considérant la concentration initiale)
- Hors domaine d'application
- Domaine de modélisation
- Limite d'application des normes et critères
- Récepteurs sensibles

Valeur limite : $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Concentration initiale : $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Rapport sectoriel - Modélisation de la dispersion atmosphérique

Carte B3-3
Concentrations maximales modélisées
Substance : Particules totales (PMT)
Période : 24 heures
Scénario d'exploitation

Sources :
Image Google, 2019
BDOT, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1:50 000, RNCAN, 2014
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, avril 2015
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018

0 650 1 300 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Août 2019

Préparation : J. Poirier
Dessin : A. Lemay
Vérification : P. Rhéaume
181-03709-01_eie_cB3-3a14_265_qa_isotutu_wsp_T_190802.mxd





- Infrastructures du projet
- Emprise des installations du complexe minier de Mont-Wright
- Route 389
- Autre chemin
- Voie ferrée

Modèle de dispersion atmosphérique

- Courbe isoconcentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Supérieure à la valeur limite
- Inférieure à la valeur limite (considérant la concentration initiale)
- Hors domaine d'application
- Domaine de modélisation
- Limite d'application des normes et critères
- Récepteurs sensibles

Valeur limite : $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Concentration initiale : $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Rapport sectoriel - Modélisation de la dispersion atmosphérique

Carte B3-4
Concentrations maximales modélisées
Substance : Particules fines ($\text{PM}_{2.5}$)
Période : 24 heures
Scénario d'exploitation

Sources :
Image Google, 2019
BDTO, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1:50 000, RNCan, 2014
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, avril 2015
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018

0 650 1 300 m
UTM, fuseau 19, NAD83












Août 2019

Préparation : J. Poirier
Dessin : A. Lemay
Vérification : P. Rhéaume
151-03709-01_eie_cB3-3a14_265_qa_isotutu_wspT_190802.mxd



La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.



-  Infrastructures du projet
-  Empreinte des installations du complexe minier de Mont-Wright
-  Route 389
-  Autre chemin
-  Voie ferrée
- Modèle de dispersion atmosphérique**
-  Courbe isoconcentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Supérieure à la valeur limite
-  Inférieure à la valeur limite (considérant la concentration initiale)
-  Hors domaine d'application
-  Domaine de modélisation
-  Limite d'application des normes et critères
-  Récepteurs sensibles

Valeur limite : $34000 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Concentration initiale : $2650 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Rapport sectoriel - Modélisation de la dispersion atmosphérique

Carte B3-5
Concentrations maximales modélisées
Substance : Monoxyde de carbone (CO)
Période : 1 heure
Scénario d'exploitation

Sources :
Image Google, 2019
BDTO, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1:50 000, RNCan, 2014
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, avril 2015
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018

0 650 1 300 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Août 2019

Préparation : J. Poirier
Dessin : A. Lemay
Vérification : P. Rhéaume
151-03709-01_eie_cB3-3a14_265_qa_isotutu_wsp_T_190802.mxd





- Infrastructures du projet
- Emprise des installations du complexe minier de Mont-Wright
- Route 389
- Autre chemin
- Voie ferrée

Modèle de dispersion atmosphérique

- Courbe isoconcentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Supérieure à la valeur limite
- Inférieure à la valeur limite (considérant la concentration initiale)
- Hors domaine d'application
- Domaine de modélisation
- Limite d'application des normes et critères
- Récepteurs sensibles

Valeur limite : $414 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Concentration initiale : $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Rapport sectoriel - Modélisation de la dispersion atmosphérique

Carte B3-6
Concentrations maximales modélisées
Substance : Dioxyde d'azote (avec OLM) (NO_2)
Période : 1 heure
Scénario d'exploitation

Sources :
Image Google, 2019
BDTO, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1:50 000, RNCan, 2014
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, avril 2015
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018

0 650 1 300 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Août 2019

Préparation : J. Poirier
Dessin : A. Lemay
Vérification : P. Rhéaume
151-03709-01_eie_cB3-3a14_265_qa_isotutu_wsp_T_190802.mxd



La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.



- Infrastructures du projet
- Emprise des installations du complexe minier de Mont-Wright
- Route 389
- Autre chemin
- Voie ferrée

Modèle de dispersion atmosphérique

- Courbe isoconcentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Supérieure à la valeur limite
- Inférieure à la valeur limite (considérant la concentration initiale)
- Hors domaine d'application
- Domaine de modélisation
- Limite d'application des normes et critères
- Récepteurs sensibles

Valeur limite : $207 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Concentration initiale : $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Rapport sectoriel - Modélisation de la dispersion atmosphérique

Carte B3-7
Concentrations maximales modélisées
Substance : Dioxyde d'azote (avec OLM) (NO_2)
Période : 24 heures
Scénario d'exploitation

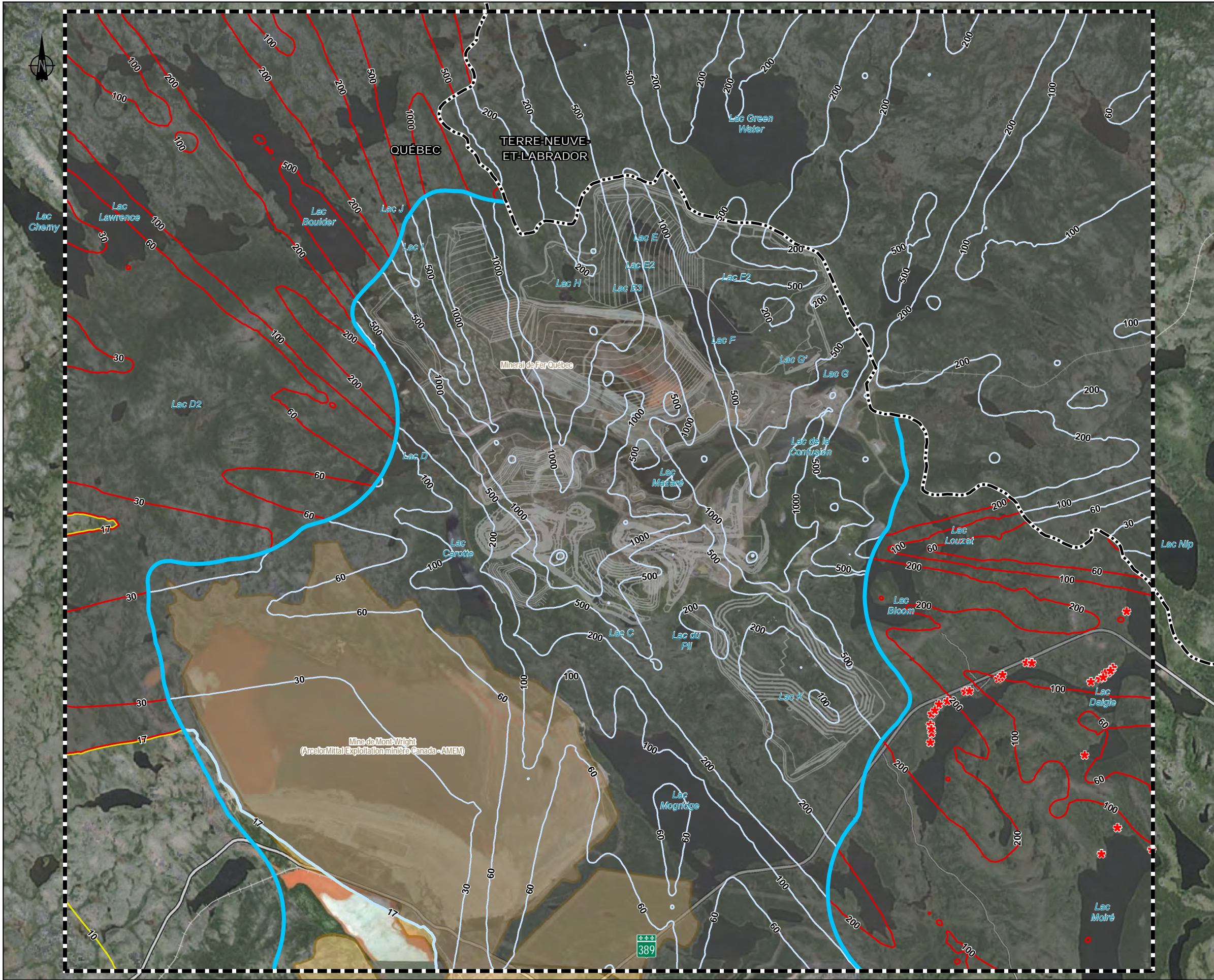
Sources :
Image Google, 2019
BDTO, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1:50 000, RNCan, 2014
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, avril 2015
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018

0 650 1 300 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Août 2019

Préparation : J. Poirier
Dessin : A. Lemay
Vérification : P. Rhéaume
151-03709-01_eie_cB3-3a14_265_qa_isotutu_wsp_190802.mxd





- Infrastructures du projet
- Emprise des installations du complexe minier de Mont-Wright
- Route 389
- Autre chemin
- Voie ferrée

Modèle de dispersion atmosphérique

- Courbe isoconcentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Supérieure à la valeur limite
- Inférieure à la valeur limite (considérant la concentration initiale)
- Hors domaine d'application
- Domaine de modélisation
- Limite d'application des normes et critères
- Récepteurs sensibles

Valeur limite : $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Concentration initiale : $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Rapport sectoriel - Modélisation de la dispersion atmosphérique

Carte B3-8
Concentrations maximales modélisées
Substance : Silice cristalline (SiO_2)
Période : 1 heure
Scénario d'exploitation

Sources :
Image Google, 2019
BDOT, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1:50 000, RNCan, 2014
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, avril 2015
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018

0 650 1 300 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Août 2019

Préparation : J. Poirier
Dessin : A. Lemay
Vérification : P. Rhéaume
181-03709-01_eie_cB3-3a14_265_qa_isotutu_wsp_190802.mxd



La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.



- Infrastructures du projet
- Emprise des installations du complexe minier de Mont-Wright
- Route 389
- Autre chemin
- Voie ferrée

Modèle de dispersion atmosphérique

- Courbe isoconcentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Supérieure à la valeur limite
- Inférieure à la valeur limite (considérant la concentration initiale)
- Hors domaine d'application
- Domaine de modélisation
- Limite d'application des normes et critères
- Récepteurs sensibles

Valeur limite : $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Concentration initiale : $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Rapport sectoriel - Modélisation de la dispersion atmosphérique

Carte B3-9
Concentrations maximales modélisées
Substance : Silice cristalline (SiO_2)
Période : 1 heure
Scénario d'exploitation sans sautage

Sources :
Image Google, 2019
BDOT, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1:50 000, RNCan, 2014
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, avril 2015
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018

0 650 1 300 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Août 2019

Préparation : J. Poirier
Dessin : A. Lemay
Vérification : P. Rhéaume
151-03709-01_eie_cB3-3a14_265_qa_isotutu_wsp_T_190802.mxd





- Infrastructures du projet
- Emprise des installations du complexe minier de Mont-Wright
- Route 389
- Autre chemin
- Voie ferrée

Modèle de dispersion atmosphérique

- Courbe isoconcentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Supérieure à la valeur limite
- Inférieure à la valeur limite (considérant la concentration initiale)
- Hors domaine d'application
- Domaine de modélisation
- Limite d'application des normes et critères
- Récepteurs sensibles

Valeur limite : $0.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Concentration initiale : $0.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Rapport sectoriel - Modélisation de la dispersion atmosphérique

Carte B3-10
Concentrations maximales modélisées
Substance : Silice cristalline (SiO_2)
Période : 1 an
Scénario d'exploitation

Sources :
Image Google, 2019
BDTO, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1:50 000, RNCAN, 2014
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, avril 2015
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018

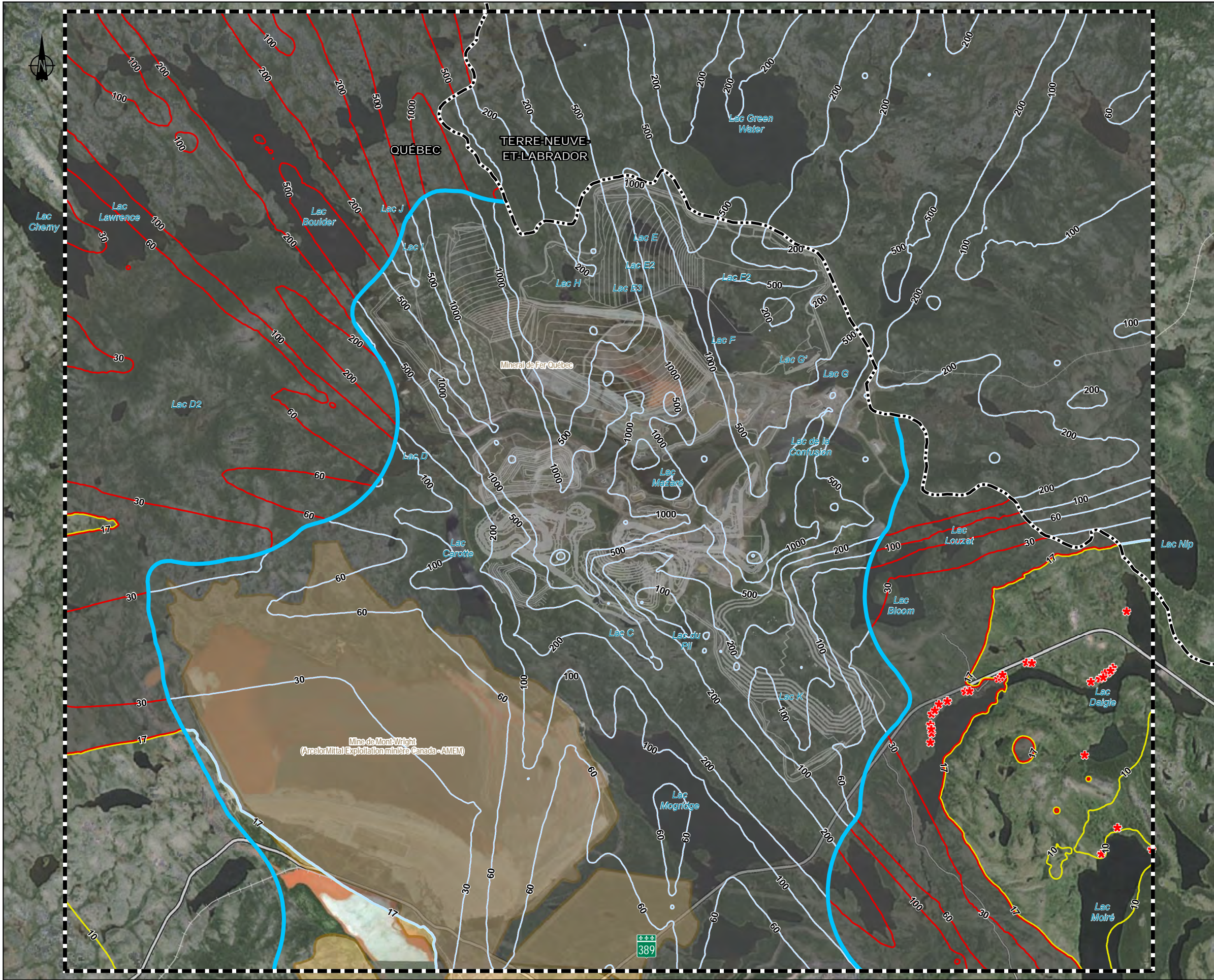
0 650 1 300 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Août 2019

Préparation : J. Poirier
Dessin : A. Lemay
Vérification : P. Rhéaume
181-03709-01_eie_cB3-3a14_265_qa_isotutu_wspT_190802.mxd



La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.



- Infrastructures du projet
- Emprise des installations du complexe minier de Mont-Wright
- Route 389
- Autre chemin
- Voie ferrée

Modèle de dispersion atmosphérique

- Courbe isoconcentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Supérieure à la valeur limite
- Inférieure à la valeur limite (considérant la concentration initiale)
- Hors domaine d'application
- Domaine de modélisation
- Limite d'application des normes et critères
- Récepteurs sensibles

Valeur limite : $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Concentration initiale : $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Rapport sectoriel - Modélisation de la dispersion atmosphérique

Carte B3-11
Concentrations maximales modélisées
Substance : Silice cristalline (SiO_2)
Période : 1 heure
Scénario d'exploitation
Restrictions d'angle sur les sautages

Sources :
Image Google, 2019
BDOT, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1:50 000, RNCan, 2014
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, avril 2015
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018

0 650 1 300 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Août 2019

Préparation : J. Poirier
Dessin : A. Lemay
Vérification : P. Rhéaume
181-03709-01_eie_cB3-3a14_265_qa_isotutu_wsp_190802.mxd





- Infrastructures du projet
- Emprise des installations du complexe minier de Mont-Wright
- Route 389
- Autre chemin
- Voie ferrée

Modèle de dispersion atmosphérique

- Courbe isoconcentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Supérieure à la valeur limite
- Inférieure à la valeur limite (considérant la concentration initiale)
- Hors domaine d'application
- Domaine de modélisation
- Limite d'application des normes et critères
- Récepteurs sensibles

Valeur limite : $0.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Concentration initiale : $0.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Rapport sectoriel - Modélisation de la dispersion atmosphérique

Carte B3-12
Concentrations maximales modélisées
Substance : Silice cristalline (SiO_2)
Période : 1 an
Scénario d'exploitation
Restrictions d'angle sur les sautages

Sources :
Image Google, 2019
BDTO, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1:50 000, RNCan, 2014
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, avril 2015
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018

0 650 1 300 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Août 2019

Préparation : J. Poirier
Dessin : A. Lemay
Vérification : P. Rhéaume
181-03709-01_eie_cB3-3a14_265_qa_isotutu_wspT_190802.mxd



La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.



- Infrastructures du projet
- Emprise des installations du complexe minier de Mont-Wright
- Route 389
- Autre chemin
- Voie ferrée
- Modèle de dispersion atmosphérique**
- Courbe isoconcentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Supérieure à la valeur limite
 - Inférieure à la valeur limite (considérant la concentration initiale)
 - Hors domaine d'application
- Domaine de modélisation
- Limite d'application des normes et critères
- Récepteurs sensibles

Valeur limite : $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Concentration initiale : $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Rapport sectoriel - Modélisation de la dispersion atmosphérique

Carte B3-13
Concentrations maximales modélisées
Substance : Silice cristalline (SiO_2)
Période : 1 heure
Scénario d'exploitation
Restrictions d'angle sur les sautages
Mesures d'atténuation spécifiques pour le SiO_2

Sources :
Image Google, 2019
BDTO, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1:50 000, RNCan, 2014
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, avril 2015
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018

0 650 1 300 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Août 2019

Préparation : J. Poirier
Dessin : A. Lemay
Vérification : P. Rhéaume
181-03709-01_eie_cB3-3a14_265_qa_isotutu_wspT_190802.mxd





- Infrastructures du projet
- Emprise des installations du complexe minier de Mont-Wright
- Route 389
- Autre chemin
- Voie ferrée

Modèle de dispersion atmosphérique

- Courbe isoconcentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Supérieure à la valeur limite
- Inférieure à la valeur limite (considérant la concentration initiale)
- Hors domaine d'application
- Domaine de modélisation
- Limite d'application des normes et critères
- Récepteurs sensibles

Valeur limite : $0.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Concentration initiale : $0.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Rapport sectoriel - Modélisation de la dispersion atmosphérique

Carte B3-14
Concentrations maximales modélisées
Substance : Silice cristalline (SiO_2)
Période : 1 an
Scénario d'exploitation
Restrictions d'angle sur les sautages
Mesures d'atténuation spécifiques pour le SiO_2

Sources :
Image Google, 2019
BDOT, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1:50 000, RNCan, 2014
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, avril 2015
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018

0 650 1 300 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Août 2019

Préparation : J. Poirier
Dessin : A. Lemay
Vérification : P. Rhéaume
181-03709-01_eie_cB3-3a14_265_qa_isotutu_wspT_190802.mxd



La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.

ANNEXE

8

ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE



NOTE TECHNIQUE

CLIENT :	Minerai de fer Québec	
PROJET :	Expansion de la mine du lac Bloom	Réf. WSP : 181-03709-01
OBJET :	Estimation des émissions de GES	DATE : 5 août 2019
DESTINATAIRE :	François Lafrenière, MFQ Jean Lavoie et Luc Bouchard, WSP	

1 INTRODUCTION

1.1 MISE EN CONTEXTE

Minerai de fer Québec (MFQ) exploite la mine de fer du lac Bloom près de Fermont depuis la reprise des opérations minière en février 2018.

MFQ a déjà l'autorisation d'augmenter sa production de concentré de fer jusqu'à 16 Mt/an. MFQ doit augmenter la capacité d'entreposage des résidus et des stériles par l'ajout de nouvelles infrastructures sur son site minier (carte 1). Cette note technique vise donc à présenter la méthodologie et les résultats projetés dans le cadre de la quantification des émissions de gaz à effet de serre (GES) du projet de construction et d'exploitation des nouveaux sites d'entreposage pour les résidus et stériles miniers, à savoir de 2021 à 2040. Objectif de l'étude

Les principaux objectifs de cette étude sont :

- De déterminer les sources d'émissions de GES du projet d'augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles.
- D'estimer les émissions de GES des sources identifiées.
- D'évaluer le caractère direct ou indirect des émissions.

2 MÉTHODOLOGIE

La méthodologie suivante a été suivie :

- Analyse des éléments et des activités du projet en fonction des documents descriptifs et techniques.
- Identification des sources significatives de GES du projet.
- Estimation des émissions en fonction des exigences de la version du 29 août 2018 de l'Annexe II des directives pour la réalisation d'une étude d'impact sur l'environnement du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques : Complément d'information pour la prise en compte des changements climatiques.

2.1 ACTIVITÉS DU PROJET

Les infrastructures de surface pour l'exploitation de la mine du lac Bloom sont déjà opérationnelles. Ce sont des infrastructures conventionnelles pour un projet d'extraction minière à ciel ouvert. Cette note technique se concentre sur le projet de construction et d'opération des nouvelles infrastructures d'entreposage à la mine du lac Bloom et qui n'ont pas encore été autorisées. Selon la carte 1, elles comprennent :

- Un nouveau parc à résidus grossiers (HPA-Nord) incluant les rehaussements périodiques des digues.
- Une nouvelle halde à stériles (halde Sud).
- Une nouvelle halde à stériles à l'intérieur d'une limite préalablement autorisée (halde Sud-Ouest).
- L'aménagement de rampes de sorties des fosses Ouest et Est.
- Le bassin HPA-Ouest et la digue de fermeture Nord.
- Le transport de nouveaux employés (30) affectés aux nouvelles infrastructures.

Les haldes triangles et Mazaré ne sont pas incluses parce que ces éléments ont déjà été autorisés.

2.2 LIMITES OPÉRATIONNELLES ET ORGANISATIONNELLES

MFQ est le promoteur exploitant de la mine de fer du lac Bloom à Fermont et de son projet d'agrandissement. Les limites opérationnelles du projet sont constituées de l'ensemble des activités du projet d'augmentation de la capacité d'entreposage tel la préparation du terrain, la construction et l'entretien des nouvelles infrastructures sur le site.

Les émissions indirectes liées à la logistique du transport du personnel ont été évaluées. L'expédition des produits par train n'en fait toutefois pas partie puisque ces activités ont déjà été autorisées.

2.3 GAZ À EFFET DE SERRE CONSIDÉRÉS

Les GES et potentiels de réchauffement planétaire (PRP) considérés dans cette évaluation sont présentés au tableau 1. Les potentiels considérés sont les PRP actualisés selon le rapport AR4 du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Selon un échange avec le MELCC, ces facteurs sont applicables aux projets qui seront en exploitation après 2020.

Tableau 1. Potentiels de réchauffement planétaire des GES considérés

GES	Potentiel de réchauffement planétaire
CO ₂	1
CH ₄	25
N ₂ O	298

2.4 SOURCES D'ÉMISSIONS

Les émissions de GES ont été estimées sur la durée du projet, soit durant les phases de construction des éléments de projet à partir de 2021, d'utilisation et de fermeture du site en 2040. La section suivante donne le détail des émissions par source ainsi que par catégorie de GES.

2.5 DÉFINITION DES TYPES D'ÉMISSIONS

2.5.1 ÉMISSIONS DIRECTES DE GES

Les émissions directes de MFQ proviennent de sources qui appartiennent ou qui sont sous le contrôle opérationnelle de MFQ pendant toute la durée du projet. Ainsi, ces émissions incluent celles provenant d'activités sous-traitées sur le site des nouvelles infrastructures. Il s'agit essentiellement des émissions provenant de la combustion de sources d'énergie fossile telle l'utilisation de carburants dans les véhicules et la machinerie opérés sur le site.

Les émissions directes pour le projet consistent donc aux activités de boutage aux haldes ainsi qu'aux activités de construction et d'entretien des éléments présentés à la section 2.1.

2.5.2 ÉMISSIONS INDIRECTES DE GES DUES AU TRANSPORT AÉRIEN

Les émissions indirectes sont des émissions qui ne sont pas directement produites par les activités du projet de construction, mais qui y sont reliées. Il s'agit essentiellement des émissions provenant d'activités connexes, typiquement sous le contrôle opérationnel d'une autre entité, tel que le transport logistique des intrants et extrants de la mine. Les émissions indirectes de GES incluent celles générées par le transport aérien des employés. En effet, le transport des 30 nouveaux employés associés à l'exploitation des nouvelles infrastructures se fera par avion depuis l'aéroport de Wabush-Fermont. Même si ces émissions ne sont pas soumises aux critères de déclaration obligatoire des émissions de GES au fédéral (Programme de déclaration des émissions de gaz à effet de serre et au provincial (Règlement sur la déclaration obligatoire de certaines émissions de contaminants dans l'atmosphère [RDOCECA]), ces émissions sont présentées dans cette étude à titre indicatif.

2.5.3 IDENTIFICATION DES SOURCES ET DES PUIXS DE GES

La norme ISO 14064-1 définit :

- Une source de GES comme une unité physique ou un processus rejetant un GES dans l'atmosphère.
- Un puits de GES comme une unité physique ou un processus retirant un GES de l'atmosphère.

Le tableau 2 identifie les sources et les puits de GES par activité.

Tableau 2. Sources et puits de GES par activité du projet

Activité	Source	Puits	Type de GES						
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	SF ₆	NF ₃
Boutage des haldes	Combustion de carburant fossile par des équipements mobiles	Pas de puits identifié	✓	✓	✓				
Construction et entretien des digues du parc à résidus	Combustion de carburant fossile par des équipements mobiles	Pas de puits identifié	✓	✓	✓				
Transport des nouveaux travailleurs	Combustion de carburant fossile par des équipements mobiles	Pas de puits identifié	✓	✓	✓				

Légende : CO₂ : dioxyde de carbone; HFC : hexafluorure de soufre; NF₃ : trifluorure d'azote; CH₄ : méthane; PFC : perfluorocarbure; SF₆ : hexafluorure de soufre; N₂O : protoxyde d'azote (oxyde nitreux).

2.6 EXCLUSIONS DES SOURCES D'ÉMISSIONS

Les activités suivantes de la mine sont exclues puisqu'elles sont déjà autorisées et qu'elles ne sont pas en lien avec le projet d'extension :

- Sautage et forage.
- Chargement et transport par camion dans les fosses notamment les stériles déjà autorisés
- Utilisation du propane par les chariots élévateurs.
- Transport ferroviaire du minerai produit du site jusqu'à Sept-Îles.
- Toutes les sources fixes liées à l'exploitation autorisée.

2.7 MÉTHODE DE QUANTIFICATION

2.7.1 CALCUL

COMBUSTION DE DIESEL (SOURCES MOBILES)

La consommation de diesel par la machinerie au site minier engendrée par l'activité aux nouvelles infrastructures a été estimée en fonction de la quantité de diesel qui a été calculée à partir de la consommation horaire des véhicules. Les facteurs d'émissions du RDOCECA pour les véhicules au diesel ont été utilisés.

Pour la quantité de diesel liée à la construction et à l'entretien des digues du parc à résidus, les données de référence choisies sont celles de 2034, l'année projetée comme ayant la plus grande quantité extraite de la fosse et de diesel consommé en concordance avec les calculs utilisés dans le cadre de l'étude de modélisation de la dispersion atmosphérique basés sur l'*Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Engine Modeling* de l'US-EPA. Pour les autres années, la quantité est calculée au prorata du minerai extrait par rapport à 2034 et l'année recherchée.

COMBUSTION D'ESSENCE (SOURCES MOBILES)

Les sources mobiles incluent transport de personnes et de matériel par camionnette. La consommation d'essence a été estimée en fonction du nombre de véhicules et de la quantité d'essence consommée en 2018 (728 358 litres). En 2018, il y avait 20 véhicules à essence. Après l'extension du projet, il y en aura 25; ce qui correspond à une consommation estimée proportionnellement à 910 448 litres par an.

COMBUSTION DE KÉROSÈNE (SOURCES MOBILES – TRANSPORT AÉRIEN)

La consommation de kérosène a été estimée selon l'hypothèse que l'avion utilisé pour faire le transport est un Dash-8 pour toutes les années du projet. Ce modèle correspond à l'avion typiquement utilisé actuellement pour faire les déplacements aériens. Il consomme 2,79 L/km¹. En supposant que tous les employés (30) supplémentaires partent de Montréal, ce qui est l'hypothèse la plus conservatrice, la distance entre l'aéroport de Montréal et l'aéroport de Wabush-Fermont est de 970 km environ. Les employés travaillent deux semaines et puis reviennent deux semaines chez eux. Cela fait donc 52 trajets par an (2 x 26). La consommation annuelle de kérosène est donc de 140 727,6 litres (2,79 x 2 x 26 x 970).

¹ <https://www.flyradius.com/bombardier-q400/fuel-burn-consumption>

Pour toute combustion, le calcul des émissions de GES est réalisé à partir de l'équation suivante :

$$\text{Émissions GES} = \sum (\text{Carburant}_j * \text{FE}_j)$$

(Environnement Canada 2015, Annexe 3, Équation A3-1)

Où :

Carburant_j = quantité de carburant j consommée (en L, kg ou m³)

FE_j = facteur d'émissions (g GES/L, kg ou m³ de carburant)

j = type de carburant

2.7.2 FACTEURS D'ÉMISSIONS

Le tableau 3 présente les facteurs d'émissions utilisés.

Tableau 3. Facteurs d'émissions de gaz à effet de serre

Carburant	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Source
Diesel pour véhicule	2 663 g/L	0,15 g/L	1,10 g/L	RDOCECA, tableau 27-1, annexe 2
Essence pour véhicule	2 289 g/L	2,70 g/L	0,05 g/L	RDOCECA, tableau 27-1, annexe 2
Kérosène pour le transport aérien	2 560 g/L	0,029 g/L	0,071 g/L	Env. Canada, Rapport d'inventaire national 1990-2017, tableau A6-13

Les facteurs d'émissions du kérosène sont issus du rapport d'inventaire d'Environnement et changement climatique Canada (ECCC 2017), car le RDOCECA n'en contient pas.

3 RÉSULTATS

3.1 ÉQUIPEMENTS MOBILES

Les données sur la consommation de carburant diesel ainsi que les quantités de GES émis par les équipements mobiles sont présentées dans les tableaux suivants. Elles incluent les activités aux haldes Sud-Ouest, Sud et au parc à résidus grossiers jusqu'en 2025. À partir de 2026, les activités de boutage seront principalement à la halde Sud.

Tableau 4. Consommation de carburant (diesel) - Équipements mobiles hors route

Année	Consommation diesel (L)	Émissions de GES (tonne) - Diesel			
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq
2021	10355	28	0	0	31
2022	0	0	0	0	0
2023	0	0	0	0	0
2024	2968839	7906	0	3,27	8890
2025	1182677	3149	0	1,30	3542
2026	6415150	17084	0,96	7,06	19210

Année	Consommation diesel (L)	Émissions de GES (tonne) - Diesel			
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq
2027	6415150	17084	0,96	7,06	19210
2028	6415150	17084	0,96	7,06	19210
2029	6415150	17084	0,96	7,06	19210
2030	6415150	17084	0,96	7,06	19210
2031	6415150	17084	0,96	7,06	19210
2032	6415150	17084	0,96	7,06	19210
2033	6415150	17084	0,96	7,06	19210
2034	6415150	17084	0,96	7,06	19210
2035	6415150	17084	0,96	7,06	19210
2036	5790518	15420	0,87	6,37	17340
2037	5446609	14504	0,82	5,99	16310
2038	3992243	10631	0,60	4,39	11955
2039	3992243	10631	0,60	4,39	11955
2040	3992243	10631	0,60	4,39	11955
Total	91527225	243737	14	101	274083

La quantité de GES émis par les équipements mobiles est de 274 kt CO₂ eq. Une moyenne de 13 704 t CO₂ eq sera émise par année de construction/exploitation des nouvelles haldes projetées.

3.2 TRANSPORT ASSOCIÉ AU PROJET

Les émissions du projet incluent la combustion d'essence pour les camions de transport et la combustion de kérosène pour le transport aérien. Les données sur la consommation de carburant ainsi que les quantités de GES émis par les équipements mobiles sont présentées dans les tableaux suivants.

Bien que la nouvelle halde Sud ne sera exploitée qu'à partir de 2026, nous considérons le transport routier à partir de 2021 pour être le plus conservateur possible par rapport aux autres infrastructures. La consommation d'essence a été estimée en se basant sur la consommation d'essence de 2018 avec 20 véhicules et 728 358 litres. À partir de 2021, il y aura 25 véhicules et la consommation a été estimée à 910 448 litres (728 358 /20 x 25).

Tableau 5. Consommation de carburant (essence) - Transport routier

Année	Consommation essence (L)	Émissions de GES (tonne) -Essence			
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq
2021	910448	2084	2,46	0,05	2159
2022	910448	2084	2,46	0,05	2159
2023	910448	2084	2,46	0,05	2159
2024	910448	2084	2,46	0,05	2159
2025	910448	2084	2,46	0,05	2159

Année	Consommation essence (L)	Émissions de GES (tonne) -Essence			
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq
2026	910448	2084	2,46	0,05	2159
2027	910448	2084	2,46	0,05	2159
2028	910448	2084	2,46	0,05	2159
2029	910448	2084	2,46	0,05	2159
2030	910448	2084	2,46	0,05	2159
2031	910448	2084	2,46	0,05	2159
2032	910448	2084	2,46	0,05	2159
2033	910448	2084	2,46	0,05	2159
2034	910448	2084	2,46	0,05	2159
2035	910448	2084	2,46	0,05	2159
2036	910448	2084	2,46	0,05	2159
2037	910448	2084	2,46	0,05	2159
2038	910448	2084	2,46	0,05	2159
2039	910448	2084	2,46	0,05	2159
2040	910448	2084	2,46	0,05	2159
Total	18208950	41680	49	1	43181

Tableau 6. Consommation de carburant (kérosène) - Transport aérien

Année	Litres de kérosène	Émissions de GES (tonne) - Transport aérien			
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq
2021	140728	360	0,004	0,010	363
2022	140728	360	0,004	0,010	363
2023	140728	360	0,004	0,010	363
2024	140728	360	0,004	0,010	363
2025	140728	360	0,004	0,010	363
2026	140728	360	0,004	0,010	363
2027	140728	360	0,004	0,010	363
2028	140728	360	0,004	0,010	363
2029	140728	360	0,004	0,010	363
2030	140728	360	0,004	0,010	363
2031	140728	360	0,004	0,010	363
2032	140728	360	0,004	0,010	363
2033	140728	360	0,004	0,010	363
2034	140728	360	0,004	0,010	363

Année	Litres de kérosène	Émissions de GES (tonne) - Transport aérien			
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq
2035	140728	360	0,004	0,010	363
2036	140728	360	0,004	0,010	363
2037	140728	360	0,004	0,010	363
2038	140728	360	0,004	0,010	363
2039	140728	360	0,004	0,010	363
2040	140728	360	0,004	0,010	363
Total	2814552	7205	0	0	7267

Le transport aérien étant une source indirecte, il n'est pas relié aux activités de MFQ. Les émissions de GES de ces dernières ne font donc pas partie de nos calculs. Elles sont tout de même fournies à titre indicatif.

La quantité de GES émis par le transport routier est de 43 kt CO₂ eq. Une moyenne de 2 159 t CO₂ eq sera émise par année d'exploitation.

3.3 CONSTRUCTION DES DIGUES DU PARC À RÉSIDUS

Les données sur la consommation de carburant ainsi que les quantités de GES émises par la construction des nouvelles infrastructures sont présentées dans le tableau 7.

Tableau 7. Consommation de carburant (diesel) - Construction des digues

Année	Consommation diesel (L)	Émissions de GES (tonne) - Diesel			
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq
2021	2105913	5608	0,32	2,32	6306
2022	1497042	3987	0,22	1,65	4483
2023	2054281	5471	0,31	2,26	6152
2024	1811270	4823	0,27	1,99	5424
2025	2001259	5329	0,30	2,20	5993
2026	2533608	6747	0,38	2,79	7587
2027	2986886	7954	0,45	3,29	8944
2028	2963603	7892	0,44	3,26	8875
2029	2990976	7965	0,45	3,29	8957
2030	2994908	7975	0,45	3,29	8968
2031	2854220	7601	0,43	3,14	8547
2032	2390248	6365	0,36	2,63	7158
2033	2428126	6466	0,36	2,67	7271
2034	2615417	6965	0,39	2,88	7832
2035	2053168	5468	0,31	2,26	6148

Année	Consommation diesel (L)	Émissions de GES (tonne) - Diesel			
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq
2036	1677642	4468	0,25	1,85	5024
2037	1452449	3868	0,22	1,60	4349
2038	1396558	3719	0,21	1,54	4182
2039	1320584	3517	0,20	1,45	3955
2040	635759	1693	0,10	0,70	1904
Total	42763916	113880	6	47	128059

La quantité de GES émis par la construction des infrastructures est de 128 kt CO₂ eq. Une moyenne de 6 403 t CO₂ eq sera émise par année d'exploitation.

3.4 ENTRETIEN DES DIGUES DU PARC À RÉSIDUS

Les données sur la consommation de carburant ainsi que les quantités de GES émis par l'entretien des digues du parc à résidus sont présentées dans le tableau 8.

Bien que la nouvelle halde Sud ne sera exploitée qu'à partir de 2026, nous considérons le travail d'entretien sur les autres infrastructures à partir de 2021 pour être le plus conservateur possible.

Tableau 8. Consommation de carburant (diesel) - Entretien des digues

Année	Consommation diesel (L)	Émissions de GES (tonne) - Diesel			
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq
2021	2037009	5425	0,31	2,24	6100
2022	2896120	7712	0,43	3,19	8673
2023	2980600	7937	0,45	3,28	8926
2024	2628010	6998	0,39	2,89	7870
2025	3226299	8592	0,48	3,55	9661
2026	3676066	9789	0,55	4,04	11008
2027	3611447	9617	0,54	3,97	10815
2028	3583296	9542	0,54	3,94	10730
2029	3616393	9630	0,54	3,98	10829
2030	3621147	9643	0,54	3,98	10844
2031	3451041	9190	0,52	3,80	10334
2032	3468062	9235	0,52	3,81	10385
2033	3523020	9382	0,53	3,88	10550
2034	3794764	10105	0,57	4,17	11364
2035	2978986	7933	0,45	3,28	8921
2036	2434127	6482	0,37	2,68	7289

Année	Consommation diesel (L)	Émissions de GES (tonne) - Diesel			
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq
2037	2107390	5612	0,32	2,32	6311
2038	2026296	5396	0,30	2,23	6068
2039	1916064	5102	0,29	2,11	5738
2040	922436	2456	0,14	1,01	2762
Total	58498571	155782	9	64	175177

La quantité de GES émis par la construction des digues du parc à résidus est de 175 kt CO₂ eq. Une moyenne de 8 759 t CO₂ eq sera émise par année d'exploitation.

3.5 SOMMAIRE DES ÉMISSIONS DE GES

Les émissions du projet d'extension incluent la combustion de diesel et d'essence par la machinerie mobile, la construction et l'entretien des nouvelles infrastructures de même que le transport sur le site par camionnette, mais excluant le transport aérien. Ces émissions sont détaillées par année au tableau 9. La synthèse des émissions sans aucun transport est détaillée au tableau 10.

Tableau 9. Synthèse des émissions de GES du projet avec transport par camionnette

Année	Émissions de GES (tonne) - sommaire			
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq
2021	13144	3,08	4,61	14596
2022	13783	3,12	4,88	15315
2023	15492	3,21	5,58	17236
2024	21812	3,57	8,19	24343
2025	19154	3,42	7,10	21355
2026	35704	4,35	13,93	39965
2027	36739	4,41	14,36	41129
2028	36602	4,40	14,30	40975
2029	36763	4,41	14,37	41156
2030	36786	4,41	14,38	41182
2031	35958	4,37	14,04	40251
2032	34768	4,30	13,55	38913
2033	35015	4,31	13,65	39191
2034	36238	4,38	14,15	40565
2035	32568	4,18	12,64	36439
2036	28454	3,94	10,94	31812
2037	26068	3,81	9,95	29129

Année	Émissions de GES (tonne) - sommaire			
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq
2038	21830	3,57	8,20	24364
2039	21335	3,54	8,00	23806
2040	16865	3,29	6,15	18780
Total	555079	78	213	620499

La quantité de GES émis par l'ensemble des activités directes est de 620 kt CO₂ eq. Sur la période d'exploitation, les émissions moyennes annuelles seront de 31 025 t CO₂eq.

Tableau 10. Synthèse des émissions de GES du projet sans aucun transport

Année	Émissions de GES (tonne) - sommaire			
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq
2021	11033	0,62	4,56	12406
2022	11699	0,66	4,83	13156
2023	13408	0,76	5,54	15077
2024	11822	0,67	4,88	13294
2025	13921	0,78	5,75	15654
2026	16536	0,93	6,83	18595
2027	17571	0,99	7,26	19759
2028	17434	0,98	7,20	19605
2029	17595	0,99	7,27	19786
2030	17619	0,99	7,28	19812
2031	16791	0,95	6,94	18881
2032	15601	0,88	6,44	17543
2033	15848	0,89	6,55	17821
2034	17070	0,96	7,05	19196
2035	13401	0,75	5,54	15069
2036	10950	0,62	4,52	12313
2037	9480	0,53	3,92	10660
2038	9115	0,51	3,77	10250
2039	8619	0,49	3,56	9692
2040	4149	0,23	1,71	4666
Total	269662	15	111	303236

La quantité de GES émis par l'ensemble des activités directes sans le transport est de 303 kt CO₂ eq. Sur la période d'exploitation, les émissions moyennes annuelles seront de 15 162 t CO₂ eq.

4 IMPORTANCE DES ÉMISSIONS DU PROJET

Les activités liées à la construction et la maintenance des nouvelles infrastructures produiront en moyenne 15 kT de CO₂ eq/an.

4.1 AU QUÉBEC

En 2016, les émissions totales de GES au Québec se chiffraient à 78,6 Mt de CO₂ eq, soit 9,6 T par habitant, représentant 11,1 % des émissions canadiennes, lesquelles atteignaient 708 Mt de CO₂ eq.

Le secteur ayant produit le plus d'émissions de GES au Québec, en 2016, était celui du transport (routier, aérien, maritime, ferroviaire, hors route). Le secteur des industries était en deuxième place, atteignant 23,6 Mt de CO₂ eq, soit 30,1 % des émissions totales. Ces émissions se répartissaient comme suit : 50,3 % provenaient de la consommation énergétique, 49,1 % des procédés industriels et 0,6 % des émissions fugitives et de l'utilisation de solvants et d'autres produits (MELCC 2019).

Le projet étudié fait partie du secteur Industrie. Durant l'exploitation des nouvelles infrastructures, les émissions de GES seraient dans le pire cas d'environ 31 kT (0,031 Mt) CO₂ eq/an. Ces émissions représentent 0,13 % des émissions provenant du secteur Industrie et 0,04 % des émissions totales à l'échelle provinciale. L'apport des émissions directes est donc moyen.

4.2 AU CANADA

Selon le rapport national des émissions de GES 1990-2017 (ECCC 2019), les émissions totales de GES en 2016 atteignaient pour le Canada 708 Mt de CO₂ eq, et pour 2017, 716 Mt de CO₂ eq.

Selon les secteurs d'activité définis dans le sommaire exécutif du rapport d'inventaire national 1990-2017, les activités de la catégorie *Procédés industriels et Utilisation des produits* ont émis pour 54 Mt de CO₂ eq en 2017. La contribution estimée du projet par ses émissions moyennes annualisées directes se chiffrerait à 0,06 % des émissions liées à ce secteur d'activité.

Les émissions annuelles provenant des activités du projet représentent 0,004 % des émissions totales à l'échelle fédérale. L'apport des émissions directes liées à l'exploitation du projet est donc faible.

Les émissions d'exploitation du projet (après la phase de construction des digues) doivent être comparées avec les émissions projetées pour le Canada. Le tableau 11 présente la comparaison avec les émissions projetées par Environnement et changement climatique Canada pour les années 2020 et 2030.

Tableau 11. Comparaison entre les émissions du projet et les émissions nationales projetées par Environnement Canada pour les années 2020 et 2030

Composante du projet	Projections des émissions de GES ¹ par année (Mt CO ₂ eq/an)			
	Industrie lourde au Canada		Tous les secteurs au Canada	
	2020	2030	2020	2030
	85	97	731	742
Projet, émissions d'opération annuelle	0,042			
	0,05 %	0,04 %	0,006 %	0,006 %

¹ Environnement et Changement climatique Canada - Scénario de référence des émissions de gaz à effet de serre 2016 du Canada

5 MÉTHODES ET PRATIQUES MISES EN PLACE POUR MINIMISER LES ÉMISSIONS DE GES

5.1 RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DE GES

Afin de réduire au maximum l'empreinte carbone de toutes les activités minières de MFQ, les mesures suivantes seront mises en place :

- MFQ inclura l'écoconduite dans ses formations aux chauffeurs des camions : l'écoconduite se définit par l'application de conseils et de techniques de conduite qui permettent de réduire la consommation de carburant d'un véhicule pour le même service rendu. L'élément central de cette nouvelle façon de conduire se veut la gestion efficace des accélérations et des décélérations. La marche au ralenti du moteur est également un facteur de consommation de carburant important sur lequel le conducteur a un contrôle direct. Le Bureau de l'efficacité et de l'innovation énergétiques estime que pratiquer l'écoconduite représente un potentiel d'économie de carburant d'environ 10 % lorsqu'elle est adoptée de façon assidue.
- Dans le cadre de sa politique d'achat responsable, MFQ étudiera l'usage de biocarburant comme le biodiesel par type de machine dans le respect des recommandations des fabricants de machinerie. Selon les informations des fabricants de moteurs au diesel, une proportion d'utilisation de 20 % de biodiesel dans le diesel utilisé serait atteignable sans engendrer de problèmes techniques.

Les actions suivantes sont déjà en place dans les opérations actuelles de MFQ et seront étendues aux activités du projet pour optimiser la réduction/évitement d'émissions de GES :

- MFQ utilise des équipements motorisés en bon état de fonctionnement. Selon l'Agence américaine de l'énergie², des économies d'énergie de l'ordre de 5 à 20 % sont atteignables par le biais de mesures de maintenance. Ceci se traduit par des évitements équivalents d'émissions de GES.
- Afin de prévenir à la source l'émission de gaz à effet de serre, MFQ a procédé au remplacement de certains équipements qui consomment de l'énergie fossile au profit d'énergie verte, tel que présenté au tableau 12.

² U.S. Department of Energy. 2002. *Operations & Maintenance Best Practices A Guide to Achieving Operational Efficiency*.

Tableau 12. Action préventive permettant d'éliminer à la source l'émission de gaz à effet de serre et la consommation d'énergie fossile

Action	Réduction des quantités de gaz à effet de serre émis annuellement (tonne de CO ₂ équivalent)	Réduction des quantités de carburant fossile consommé annuellement (L)
Remplacement au concentrateur de bouilloires fonctionnant au mazout par des bouilloires électriques	10 300	3 800 000
Remplacement de camions de halage pour le transport de minerai de fer par un convoyeur de 3,8 km	9 300	3 400 000
Remplacement de camions de halage pour transporter les résidus miniers par une technologie de pompage des résidus sous forme de pulpe	13 600	4 900 000
Total annuel	33 200	12 100 000
Total sur la durée de vie de la mine (20 ans)	664 000	242 000 000

- MFQ prend en compte dans sa politique d'achat responsable de l'efficacité énergétique au moment d'acheter de l'équipement neuf ou de remplacement et viser les meilleures technologies disponibles sur le marché en matière de consommation énergétique. En plus de baisser les coûts d'opération, cette mesure permet la réduction des émissions de polluants de combustion et les gaz à effet de serre.

5.2 COMPENSATION DES IMPACTS RÉSIDUELS

Les mesures mentionnées à la section précédente permettront de réduire les émissions de GES. Il est attendu que, malgré ces mesures, l'exploitation du projet générera des émissions de GES. Comme les émissions de GES annuelles du projet sont majoritairement dues aux véhicules hors route et routiers, MFQ devra s'acquitter des frais d'utilisation des carburants auprès des fournisseurs qui seront ensuite détournés vers le Fonds vert.

5.3 PROGRAMME DE SUIVI ENVIRONNEMENTAL DES ÉMISSIONS DE GES

Dans le but de quantifier les émissions réelles de GES du projet en exploitation, MFQ réalise déjà un suivi des activités, données et paramètres associés aux sources de GES pour répondre à la déclaration des GES dans l'IQEA et à l'INRP fédéral.

5.3.1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

Le plan de surveillance permet d'établir les responsabilités et procédures pour recueillir, analyser et documenter les données et informations relatives au projet. Ces données seront utilisées pour produire les rapports d'émissions de GES requis par le RDOCECA.

Le plan de surveillance spécifie les sources des informations et des données à utiliser, les méthodes, instruments et fréquences de surveillance, de même que le mode de traitement et d'enregistrement de ces informations. Dans le cas d'utilisation d'équipements de surveillance, le plan de surveillance prévoit de façon intrinsèque le respect des procédures d'utilisation et d'étalonnage prévues par le fabricant de ces équipements.

5.3.2 RESPONSABILITÉS

L'application du plan de surveillance et des activités régulières qui y sont présentés sera la responsabilité de MFQ. MFQ sera donc responsable de la mise en place et de l'utilisation des outils, instruments, procédures, structures logistiques et administratives requis pour le calcul annuel et la déclaration des émissions de GES liées au projet.

5.3.3 ACTIVITÉS INCLUSES AU SUIVI

Les activités suivantes du projet ont été identifiées comme émettrices de GES et sont donc incluses dans le suivi des émissions de GES émises par les nouvelles infrastructures. Elles consistent aux activités sources d'émissions directes de GES sujettes au RDOCECA. En ce sens, les émissions indirectes de GES associées à la logistique d'approvisionnement de même que celles associées à la consommation d'énergie électrique du réseau d'Hydro-Québec ne sont pas incluses au suivi.

- Consommation de carburant (diesel, essence, propane) de la machinerie et équipement en phase de construction.
- Consommation de carburant (diesel, essence, propane) de la machinerie et équipement en phase d'exploitation.
- Consommation de carburant (diesel, mazout, gaz naturel) des sources fixes en phase d'exploitation.

5.3.4 MÉTHODOLOGIE DE CALCUL

Pour chaque équipement, les données obtenues par les protocoles sur le calcul des émissions seront sommées en convertissant les émissions de CH₄, N₂O et réfrigérant en tonnes équivalentes de CO₂ par l'utilisation du facteur PRP de ces gaz. Ces valeurs de PRP sont citées à l'annexe 1 du RDOCECA. Si le règlement est amendé en cours de projet, la valeur du calcul pour l'année applicable sera ajustée.

5.3.4.1 ÉQUIPEMENTS MOBILES

Les protocoles cités dans la section QC-27 du RDOCECA (R.R.Q., c. Q-2, r.15) seront utilisés pour les équipements mobiles. Le calcul des émissions de CO₂ sera effectué selon le protocole QC.27.3.1. De même, pour l'inventaire et le calcul des émissions de CH₄ et N₂O sur ces mêmes équipements, le protocole QC.27.4.1 sera utilisé. Les facteurs d'émissions seront tirés du tableau 27-1 du même règlement (RDOCECA) dans la même section.

5.3.5 DONNÉES ET PARAMÈTRES PRINCIPAUX

5.3.5.1 DONNÉES DE BASE

Les paramètres opérationnels principaux du projet sont :

- Les consommations en litres de carburant fossile en phase de construction.
- Les consommations annuelles en litres ou m³ de carburant fossile en phase d'exploitation.
- Selon le cas, la teneur en biodiesel du diesel consommé.

5.3.5.2 PARAMÈTRES INTERMÉDIAIRES

Les données et paramètres suivants sont des intermédiaires requis par l'évaluation pour traiter, obtenir ou valider les données de surveillance :

- Les facteurs d'émissions de GES des camions et équipements.
- Les facteurs d'émissions de GES des sources fixes.
- Les potentiels de réchauffement planétaire des GES émis par le projet.

5.3.5.3 PARAMÈTRE FINAL

Le paramètre de sortie de l'évaluation des réductions d'émissions de GES est la tonne de CO₂ équivalent (t CO₂ eq).

5.3.6 PARAMÈTRES SUIVIS

Les tâches du plan de surveillance de chacune des étapes du projet sont présentées dans le tableau 12.

Tableau 13. Paramètres suivis dans le cadre du plan de surveillance

Élément	Méthode	Unité	Source	Stockage	Fréquence	Données de rechange élément de vérification
Quantité de carburant consommé en construction	Documentée	L	Clé carburant	Papier et informatique	Mensuelle	Facture/bon de transport
Quantité de carburant consommé en exploitation	Documentée	L	Clé carburant	Papier et informatique	Mensuelle	Facture/bon de transport
Teneur en biodiesel du diesel	Documentée	%	Fiche technique du combustible diesel	Papier et informatique	Annuelle	
Facteur d'émissions de la combustion de carburant dans les sources fixes	Documentée	Kg CO ₂ /L Kg CH ₄ /L Kg N ₂ O/L	Environnement Canada ou RDOCECA	Informatique	Annuelle	
Facteur d'émissions de la combustion de carburant dans les sources mobiles	Documentée	Kg CO ₂ /L Kg CH ₄ /L Kg N ₂ O/L	Environnement Canada ou RDOCECA	Informatique	Annuelle	
Potentiel de réchauffement planétaire des GES	Documentée		Environnement Canada ou RDOCECA	Informatique	Annuelle	

5.3.7 CALENDRIER D'EXÉCUTION

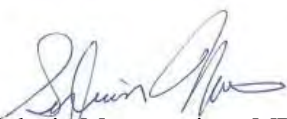
L'estimation des émissions annuelles sera réalisée après la fin de chaque année civile. L'estimation sera réalisée de manière à respecter les échéances de déclaration applicables au RDOCECA.

PRÉPARÉ PAR



Benjamin Parys, Ph. D.
Spécialiste en qualité de l'air

RÉVISÉ PAR



Sylvain Marcoux, ing., MBA (OIQ n° 116307)
Directeur de projet

6 RÉFÉRENCES

- ENVIRONNEMENT ET CHANGEMENT CLIMATIQUE CANADA. 2018. *Rapport d'inventaire national 1990-2016 : Sources et puits de gaz à effet de serre au Canada – Sommaire*. En ligne : <https://www.ec.gc.ca/ges-ghg/default.asp?lang=Fr&n=662F9C56-1>
- ENVIRONNEMENT ET CHANGEMENT CLIMATIQUE CANADA. *Scénario de référence des émissions de gaz à effet de serre 2016 du Canada*. En ligne : <https://www.ec.gc.ca/ges-ghg/default.asp?lang=Fr&n=1F24D9EE-1>, dernier accès le 19 mai 2017.
- FLYRADIUS, *Bombardier Q400 Fuel Burn – Consumption*. En ligne : <https://www.flyradius.com/bombardier-q400/fuel-burn-consumption>, dernier accès juin 2019.
- GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT (GIEC). 2006. *Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, préparé par le Programme pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre*, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. et Tanabe K. (eds). Publié : IGES, Japon.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES. 2019. *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2016 et leur évolution depuis 1990*. Québec, Direction des politiques de la qualité de l'atmosphère. 38 p.
- US EPA. 2002. *Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Engine Modeling – compression ignition*. EPA420-P02-016.
- PACIFIC NORTHWEST NATIONAL LABORATORY. 2002. *Operations & Maintenance Best Practices A Guide to Achieving Operational Efficiency*, publié par le U.S. Department of Energy, États-Unis.

ANNEXE

9

SIMULATION DE L'IMPACT SONORE

NOTE TECHNIQUE

CLIENT :	Minerai de fer Québec	
PROJET :	Mine de fer du lac Bloom – Augmentation de la capacité d’entreposage des résidus et stériles miniers	Réf. WSP : 181-03709-01
OBJET :	Impacts sur l’ambiance sonore	DATE : 29 juillet 2019
DESTINATAIRE :	François Lafrenière, MFQ	

1 INTRODUCTION

1.1 MISE EN CONTEXTE

Minerai de fer Québec (MFQ) exploite la mine de fer du lac Bloom près de Fermont depuis la reprise des opérations minières en février 2018.

MFQ a déjà l’autorisation d’augmenter sa production de concentré de fer jusqu’à 16 Mt/an. MFQ doit augmenter la capacité d’entreposage des résidus et des stériles miniers par l’ajout de nouvelles infrastructures sur son site minier.

Cette note technique vise à présenter l’évaluation de l’impact sonore du site minier, avec les nouvelles installations, simulé pour l’année 2034 qui est l’année où il y aura un maximum d’équipements prévus en utilisation. L’année 2034 représente ainsi la pire condition en termes d’émissions sonores. Plus précisément, les objectifs sont de :

- Modéliser à l’aide du logiciel SoundPLAN® 7.4 le site minier ainsi que les activités des équipements présents, tel que planifié pour l’année 2034.
- Évaluer la conformité acoustique du projet en fonction de la Directive 019 sur l’industrie minière du ministère de l’Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) pour les zones sensibles.

2 MÉTHODOLOGIE

Afin de mener à bien l’étude sonore, la méthodologie suivante a été suivie :

- Récupération des topographies des nouvelles installations de gestion des résidus de l’année 2034.
- Cueillette de l’information technique ainsi que des trajets concernant les équipements associés aux activités des nouvelles installations de gestion des résidus pour l’année 2034.
- Évaluation de la puissance acoustique produite par chacun des équipements prévus être utilisés.
- Évaluation, par simulation de la propagation sonore, des niveaux de bruit perçus aux zones sensibles.
- Comparaison des résultats avec les critères sonores du MELCC.

- Identification des mesures d'atténuation sonore et du programme de suivi.
- Rédaction d'une note technique.

3 MODÈLE DE PROPAGATION SONORE

Un modèle de propagation sonore a été développé à l'aide du logiciel SoundPLAN® 7.4 en tenant compte des puissances sonores et de la topographie du site d'étude et des nouvelles installations de gestion des résidus (2034). Ce logiciel trace des rayons sonores entre les sources de bruit et les récepteurs, calcule l'atténuation procurée par la distance ainsi que l'absorption de l'air et tient compte des effets de sol et des effets de réduction sonore des écrans de longueurs finies (bâtiments, écrans, topographie). De plus, il considère l'effet des réflexions sur les surfaces entourant les sources sonores. Ces calculs sont réalisés selon la norme ISO 9613 - Parties 1 et 2, intitulée « *Atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre* ».

Les simulations de propagation sonore des sources de bruit environnementales permettent de calculer la contribution sonore des équipements identifiés aux zones résidentielles entourant la mine de fer du lac Bloom. De plus, elles permettent de tracer des cartes de bruit (isophones). Ces cartes de bruit indiquent les niveaux de bruit générés par les activités reliées à l'exploitation de la mine, à la halde Sud ainsi qu'aux parcs à résidus sur l'ensemble du territoire adjacent.

La topographie du site d'étude et la localisation des équipements, utilisées dans le développement du modèle, ont été obtenues sur plan.

La mine étant en activité 24 heures sur 24, le pire scénario de l'année 2034 a été modélisé pour obtenir le niveau sonore équivalent durant 1 heure, période correspondant à l'indicateur de bruit utilisé dans la note d'instructions (NI) 98-01¹. De ce fait, les niveaux de bruit équivalents seront identiques pour la nuit comme pour le jour.

3.1 IDENTIFICATION DES SOURCES DE BRUIT

Le plan minier déterminé pour l'année 2034 permet d'identifier les sources de bruit dues aux activités reliées à la nouvelle halde Sud, à l'extraction minière ainsi qu'au nouveau parc à résidus HPA-Nord. La figure 1 présente l'emplacement de ces activités par rapport aux résidences de villégiature aux abords du lac Daigle.

¹ MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MELCC). 2006. *Note d'instructions 98-01 sur le bruit – note révisée en date du 9 juin 2006*. En ligne : <http://www.environnement.gouv.qc.ca/publications/note-instructions/98-01.htm>

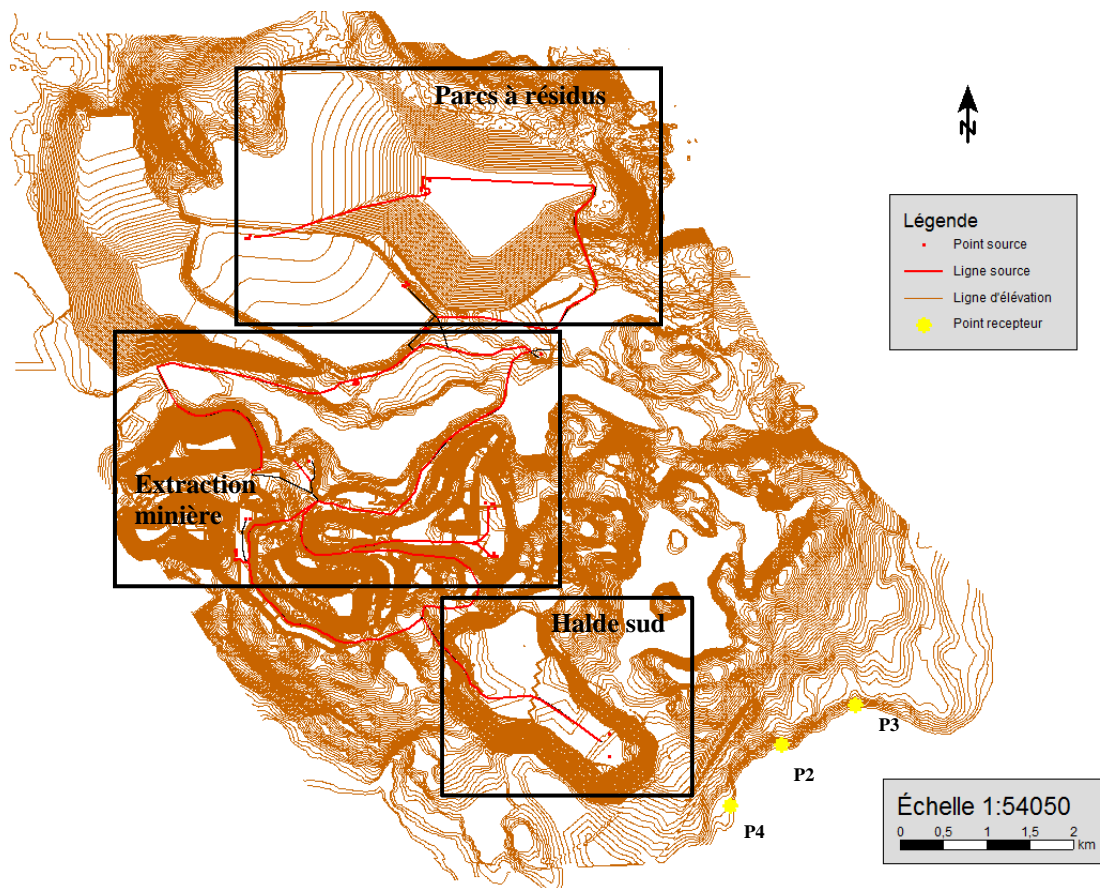


Figure 1. Emplacement des sources principales et points récepteurs à l'étude pour l'année 2034

Les lignes sources correspondent aux trajets des différents équipements mobiles tandis que les points sources représentent des équipements fixes ou mobiles, mais étant attirés à un emplacement précis. Les points récepteurs reflètent les résidences de villégiature se situant au bord du lac Daigle, les seules présentes à proximité de la mine du lac Bloom. Les scénarios d'emplacement et de trajectoire des équipements sont calqués sur l'étude de modélisation de la qualité de l'air (annexe 7 du volume 3).

Le tableau 1 présente les puissances acoustiques des sources de bruit correspondant aux principaux équipements associés aux différentes activités de la mine, tel que planifié pour l'année 2034. Tous les équipements fournis dans le plan minier ont été modélisés, mais seuls ceux considérés comme principaux pour l'étude sont indiqués dans le tableau 1. Le nombre requis de chaque équipement est également indiqué par type d'activité. Le détail des équipements modélisés est présenté à l'annexe A.

Tableau 1. Puissances acoustiques et nombre des équipements principaux pour l'année 2034

Équipement	Puissance acoustique (dBA)	Halde Sud (unité)	Extraction minière (unité)	Parc à résidus HPA-Nord (unité)
Camion hors route 793F	120,5	8	26	N/A
Camion hors route 777F	116,1	1	2	N/A
Buteur sur chenilles	117,0	2	4	N/A
Niveleuse	118,4	1	3	1
Camion à eau	118,1	1	1	1
Chargeur sur roues	118,8	N/A	4	N/A
Pelle hydraulique	118,9	N/A	6	N/A
Petite pelle mécanique	108,9	N/A	2	9
Foreuse	128,6	N/A	7	N/A
Concasseur	113,0	N/A	N/A	1
Tamiseur	114,8	N/A	N/A	1
Compacteur	104,4	N/A	N/A	5

N/A : non applicable

4 RÉSULTATS

4.1 CONDITIONS ACTUELLES

Une évaluation du climat sonore existant aux zones habitées a été effectuée à proximité des installations minières du site minier du lac Bloom (annexe 1 du volume 2). Cette évaluation a été réalisée durant le fonctionnement de la mine. Les mesures ont été relevées à la limite des propriétés résidentielles de villégiature les plus sensibles et les plus proches géographiquement des nouvelles infrastructures.

L'écoute des enregistrements et l'analyse des mesures permettent de souligner qu'à l'exception d'une résidence de villégiature en bordure du lac Daigle en période de nuit, le niveau de bruit résiduel horaire minimum mesuré a été inférieur à 45 dBA le jour et 40 dBA la nuit. Par conséquent, les critères de bruit de la zone I de la NI 98-01 s'appliquent pour tous les points récepteurs, à l'exception d'un point qui sera de 41 dBA la nuit.

4.2 CONDITIONS PROJETÉES

Le bruit généré aux résidences de villégiature du lac Daigle ainsi qu'à Fermont par les activités de la mine du lac Bloom, telles que planifiées pour l'année 2034, est estimé à l'aide du modèle de propagation sonore et comparé aux critères de bruit de la NI 98-01. Les points P1 à P4 sont positionnés tel qu'indiqué sur la figure 1.

Les résultats sont présentés dans le tableau 2 et comparés pour leur conformité au critère de bruit déterminé à l'aide de la réglementation provinciale NI 98-01 ainsi que des mesures environnementales effectuées en août 2018. La carte 1 présente les résultats sous forme de courbes de bruit.



Tableau 2. Résultat des niveaux sonores aux résidences de villégiature pour l'année 2034

Point récepteur	L _{Aeq,1h} (dBA) simulé	Critère de bruit du projet L _{Aeq, 1h} (dBA)		Conformité	
	Jour et nuit	Jour (7 h 00 à 19 h 00)	Nuit (19 h 00 à 7 h 00)	Jour (7 h 00 à 19 h 00)	Nuit (19 h 00 à 7 h 00)
P1 (Ville de Fermont)	23,6	45	40	Oui	Oui
P2	38	45	41	Oui	Oui
P3	35	45	40	Oui	Oui
P4	41	45	40	Oui	Non

Les résultats indiquent que les critères de bruit sont pratiquement respectés pour les activités de la mine durant l'année 2034. Le logiciel de simulation SoundPLAN® 7.4 permet de déterminer quelle source a la contribution sonore la plus importante sur les points récepteurs.

Le seul point n'étant pas conforme est le point P4, la résidence de villégiature la plus proche de la nouvelle halde Sud. Le tableau 3 présente les principales contributions sonores des sources au point P4, classées en ordre décroissant.

Tableau 3. Contribution sonore des sources au point P4

Source	Activité	Contribution sonore L _r (dBA) au point P4 - Jour et nuit
Camion 240 tonnes 793F	Halde Sud	36,9
Bouteur sur chenilles	Halde Sud	31,1
Bouteur sur chenilles	Halde Sud	30,0
Niveleuse	Halde Sud	29,9
Camion à eau	Halde Sud	27,5

Le tableau 4 démontre que les activités de la halde Sud sont principalement responsables du dépassement du niveau sonore au point P4 pour l'année 2034, qui est l'année où il y aura un maximum d'équipements en opération prévus. Les camions hors route 793F se déplaçant sur la halde contribuent plus particulièrement à l'augmentation du niveau sonore aux résidences.

5 RECOMMANDATIONS

Les résultats de simulation indiquent un dépassement à l'une des résidences de villégiature du lac Daigle dû majoritairement aux trajets des camions hors route 793F (240 tonnes).

Bien que les activités de la mine soient moins importantes au cours des années précédant 2034, la halde sera en construction et en augmentation au fil des années. De ce fait, lorsque la halde sera moins haute que la hauteur atteinte en 2034, l'effet d'écran causé par la halde sera moindre sinon inexistant et les bruits des équipements parviendront plus facilement aux résidences de villégiature du lac Daigle.

Pour pallier à ce dépassement des critères sonores de la NI 98-01, une nouvelle simulation a été effectuée avec les mesures d'atténuation particulières suivantes :

- Ériger un écran au périmètre sud du sommet de la halde Sud dépassant la hauteur des équipements, tel que présenté sur la figure 2, pour toute la durée de vie de la mine.

- Assurer que l'élévation du sommet de la halde évolue de manière à conserver toujours un effet d'écran avec les résidences. Par conséquent, l'extrémité sud de la halde Sud ne devra pas être en contre-bas par rapport au reste de la superficie du sommet de la halde.
- Limiter la présence de la machinerie au même moment en simultané sur la superficie de la halde Sud. Il ne devra pas y avoir plus de huit camions hors route 793F, deux boteurs et un équipement auxiliaire (ex. niveleuse, camion eau, camion hors route 777F, etc.).
- Limiter à 250 m de l'extrémité sud du sommet de la halde Sud l'approche des camions hors route 793F.

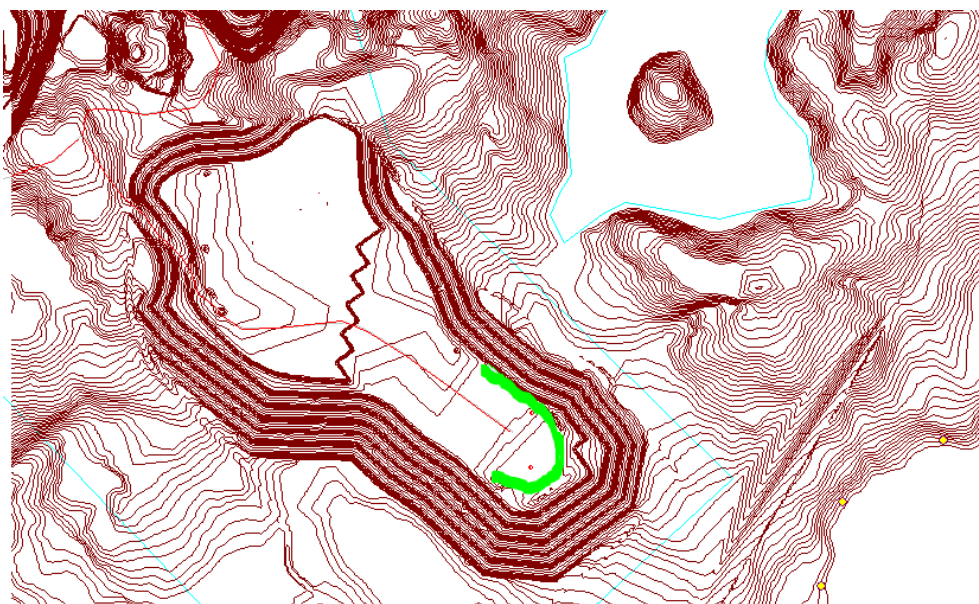


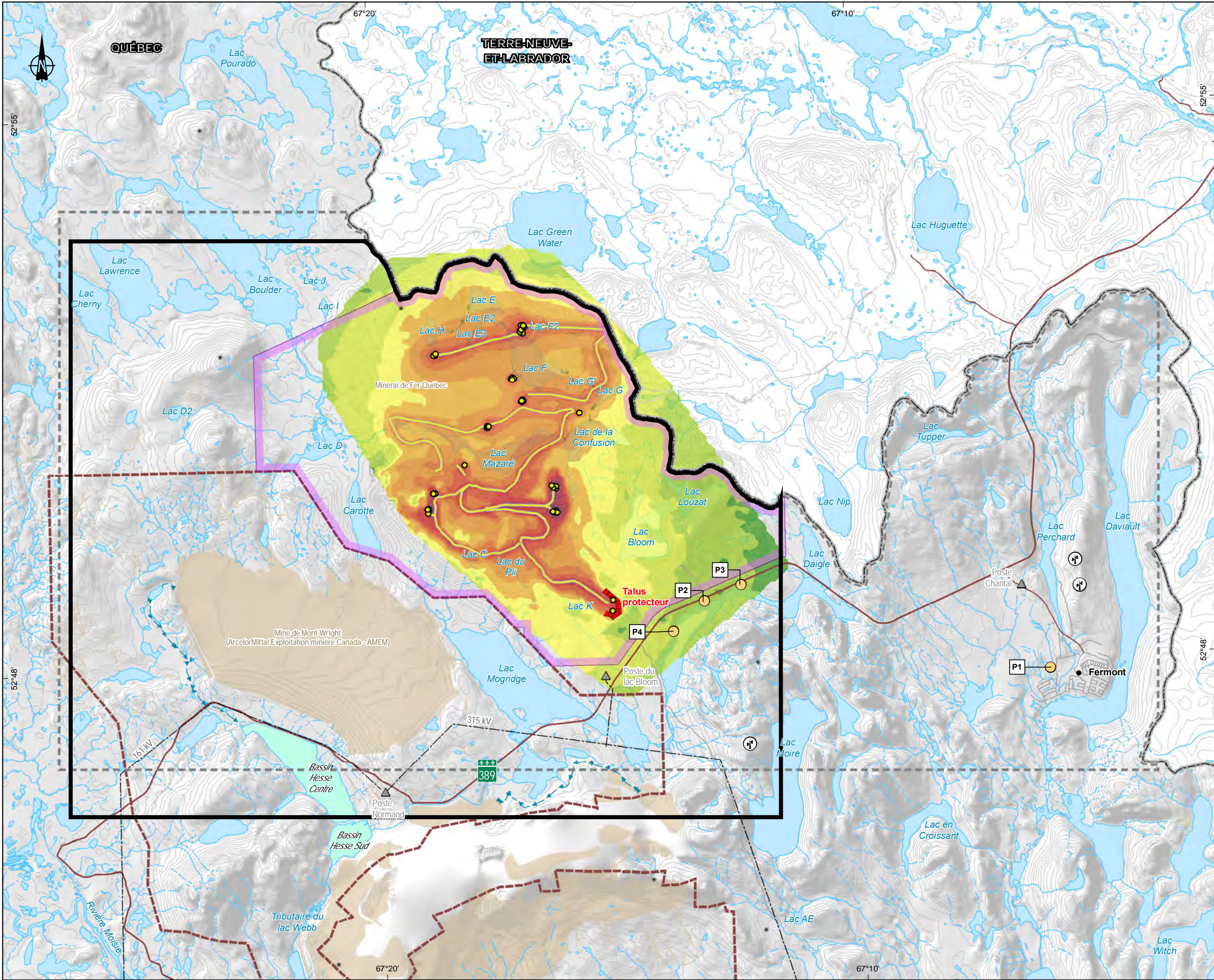
Figure 2. Emplacement du talus anti-bruit sur la halde Sud

Les résultats des niveaux sonores obtenus aux résidences de villégiature dans cette configuration sont présentés dans le tableau 4. La carte 2 présente les résultats sous forme de courbes de bruit avec les mesures d'atténuation.

Tableau 4. Niveaux sonores aux points récepteurs avec mesures d'atténuation

Point récepteur	L _{Aeq,1h} (dBA) simulé	Critère de bruit du projet L _{Aeq, 1h} (dBA)		Conformité	
	Jour et nuit	Jour (7 h 00 à 19 h 00)	Nuit (19 h 00 à 7 h 00)	Jour (7 h 00 à 19 h 00)	Nuit (19 h 00 à 7 h 00)
P1 (Ville de Fermont)	23	45	40	Oui	Oui
P2	37	45	41	Oui	Oui
P3	35	45	40	Oui	Oui
P4	40	45	40	Oui	Oui

Les résultats indiquent que les critères de bruit aux résidences de villégiature sont alors respectés de jour comme de nuit grâce aux mesures d'atténuation proposées.



Mesure d'atténuation

- Talus protecteur

Relevé sonore

- Station de relevé sonore
- Source de bruit ponctuel
- Source de bruit linéaire

Niveau de bruit (en dBA)

25-30	60-65
30-35	65-70
35-40	70-75
40-45	75-80
45-50	80-85
50-55	85 et plus
55-60	

Hydrographie

- Canal
- Intermittent
- Intermittent partiellement souterrain
- Permanent
- Permanent partiellement souterrain

Infrastructure

- Tour de télécommunication
- Poste électrique
- Ligne de transport d'énergie
- Route nationale
- Route régionale
- Route locale
- Voie ferrée

Composante du site minier

- Emprise des infrastructures minières existantes ou autorisées
- Bassin

Limite

- Frontière interprovinciale
- Limite du bail minier (MFQ)
- Propriété d'AMEM
- Zone d'étude régionale

Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Annexe / Ambiance sonore

Carte 2

Modélisation des niveaux sonores générés par les activités de la mine en 2034 avec les mesures d'atténuation

Sources :
BDTQ, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec, 1:50 000, RNCan, 2014
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, avril 2015
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018

0 900 1 800 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Préparation : L. Jacqemmoz-Jouve
Dessin : M. Leclerc
Vérification : L. Bouchard
181-03709-01_eie_ann_c2_227_as_bruit_mz_wspb_190730.mxd

La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.

6 CONCLUSION

Une évaluation du climat sonore existant aux zones habitées par des résidences de villégiature à proximité des installations minières du site minier du lac Bloom a été effectuée en août 2018. Cette évaluation a été réalisée alors que la mine était en activité. Les mesures ont été relevées à la limite des propriétés résidentielles les plus sensibles et les plus proches géographiquement. Le but était donc de mesurer le climat sonore du secteur lorsque la mine est en pleine activité.


Pour définir le critère et s'assurer d'être conforme en tout temps, le niveau de bruit résiduel horaire minimum a été évalué et comparé au critère de bruit.

À la suite de cette évaluation, des scénarios concernant la pire année de l'exploitation minière en termes de tonnage et de nombre de véhicules utilisés ont été déterminés dans le but de simuler les impacts sonores aux résidences de villégiature en bordure du lac Daigle.

Les résultats de la simulation indiquent que la halde Sud provoquera des dépassements sonores aux résidences les plus proches, dus particulièrement aux trajets des camions hors route 793F de 240 tonnes sur la halde. Une simulation a été effectuée en ajoutant une série de mesures d'atténuation. L'application de ces mesures d'atténuation permettra de diminuer l'impact sonore aux résidences de villégiature du lac Daigle et de respecter les critères applicables.

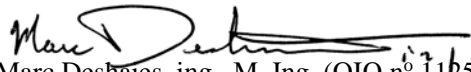
Il est à noter que seules les activités de la halde Sud sont à contrôler. Celles de l'extraction minière ou du parc à résidus HPA-Nord n'auront pas d'impact sonore sur les résidences du lac Daigle si les scénarios de l'année 2034 sont respectés.

PRÉPARÉ PAR



Laurie Jacquemmoz, ing. jr (OIQ n° 6012596)
Assistante de projet en Acoustique et Vibrations

RÉVISÉ PAR



Marc Deshaies, ing., M. Ing. (OIQ n° 1125236)
Chef d'équipe Acoustique, Vibrations et Qualité de l'air



ANNEXE A

Liste des équipements utilisés dans la modélisation

Liste des équipements utilisés dans la modélisation

Description	Quantité	Puissance sonore globale (dBA)	Puissance sonore des équipements par bande d'octaves (dB)								
			31 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 000 Hz	2 000 Hz	4 000 Hz	8 000 Hz
Caterpillar 793F	34	120,5	121,2	119,6	125,8	116,5	114,5	115,2	114,2	110,3	105,4
Caterpillar 6640	7	128,6	67,3	87,4	104,0	107,2	115,7	121,4	122,8	123,4	117,8
Caterpillar 730	7	110,6	108,6	118,8	112,8	111,1	107,2	105,0	103,4	94,5	87,4
Caterpillar 775G	7	112,7	110,0	119,0	115,6	112,4	108,4	107,4	105,7	100,6	93,5
Caterpillar 777F	5	116,1	108,3	114,5	117,0	112,4	112,2	111,9	109,4	102,3	97,0
Caterpillar D9T	5	117,0	106,3	116,6	119,2	107,1	111,7	110,4	110,4	109,0	104,1
Caterpillar 16M	4	118,4	107,7	110,8	117,3	118,2	117,2	112,7	109,3	104,7	97,2
Caterpillar 374D-L	4	110,1	111,1	112,4	114,3	107,0	106,2	106,0	102,7	95,8	86,8
Caterpillar 6060	4	118,9	121,6	125,1	123,3	120,9	110,0	115,3	110,2	102,9	89,1
Caterpillar 988H	4	113,5	97,9	101,2	110,6	106,9	110,7	110,5	104,6	96,5	89,7
Caterpillar CS78B	4	104,4	92,1	96,2	107,8	98,9	99,6	100,1	97,6	93,0	88,2
Caterpillar D10T	4	117,0	106,3	116,6	119,2	107,1	111,7	110,4	110,4	109,0	104,1
Caterpillar D8T	4	110,6	106,9	111,9	112,9	108,4	107,3	105,7	102,8	99,0	94,7
Komatsu WA1200-6	4	118,8	118,5	124,9	123,6	119,9	114,4	113,8	110,8	104,7	94,5
Komatsu WA600-6	4	118,2	108,2	115,2	119,7	119,2	113,2	114,2	108,7	105,7	100,7
Camion à eau	3	118,1	110,3	116,5	119,0	114,4	114,2	113,9	111,4	104,3	99,0
Caterpillar 345D-L	3	110,1	111,1	112,4	114,3	107,0	106,2	106,0	102,7	95,8	86,8
Komatsu WA250-6	3	118,2	108,2	115,2	119,7	119,2	113,2	114,2	108,7	105,7	100,7
Camion essence	2	105,0	102,9	103,9	103,9	96,9	99,9	102,9	95,9	89,9	79,9
Caterpillar 336D	2	110,1	111,1	112,4	114,3	107,0	106,2	106,0	102,7	95,8	86,8
Caterpillar 854K	2	109,5	107,3	113,2	114,2	104,3	105,0	105,6	102,4	95,0	88,7
Caterpillar D6T	2	110,6	106,9	111,9	112,9	108,4	107,3	105,7	102,8	99,0	94,7
Volvo A35E	2	116,0	115,0	121,0	118,0	113,0	112,0	111,0	109,0	105,0	97,0
Caterpillar 18M3 (option T4N)	1	118,4	107,7	110,8	117,3	118,2	117,2	112,7	109,3	104,7	97,2
Caterpillar 390D	1	114,2	111,7	116,9	117,0	106,6	111,2	109,5	107,6	99,9	91,9
Caterpillar 390F-L	1	114,2	111,7	116,9	117,0	106,6	111,2	109,5	107,6	99,9	91,9
Caterpillar 6020	1	118,9	121,6	125,1	123,3	120,9	110,0	115,3	110,2	102,9	89,1

Description	Quantité	Puissance sonore globale (dBA)	Puissance sonore des équipements par bande d'octaves (dB)								
			31 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 000 Hz	2 000 Hz	4 000 Hz	8 000 Hz
Genset RH340	1	118,9	121,6	125,1	123,3	120,9	110,0	115,3	110,2	102,9	89,1
Hamm 3520	1	104,4	92,1	96,2	107,8	98,9	99,6	100,1	97,6	93,0	88,2
Komatsu WA900-3	1	118,2	108,2	115,2	119,7	119,2	113,2	114,2	108,7	105,7	100,7
Kpijci 3055 concasseur	1	113,0	110,8	118,0	111,8	111,3	109,0	107,1	106,0	103,4	97,6
Kpijci FT6203 tamiseur	1	114,8	108,0	118,9	115,5	109,9	110,5	108,4	108,2	106,8	101,2
Takeuchi TW65	1	105,9	99,0	102,3	99,9	101,7	103,2	101,2	99,4	92,0	83,5

ANNEXE

10

MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE

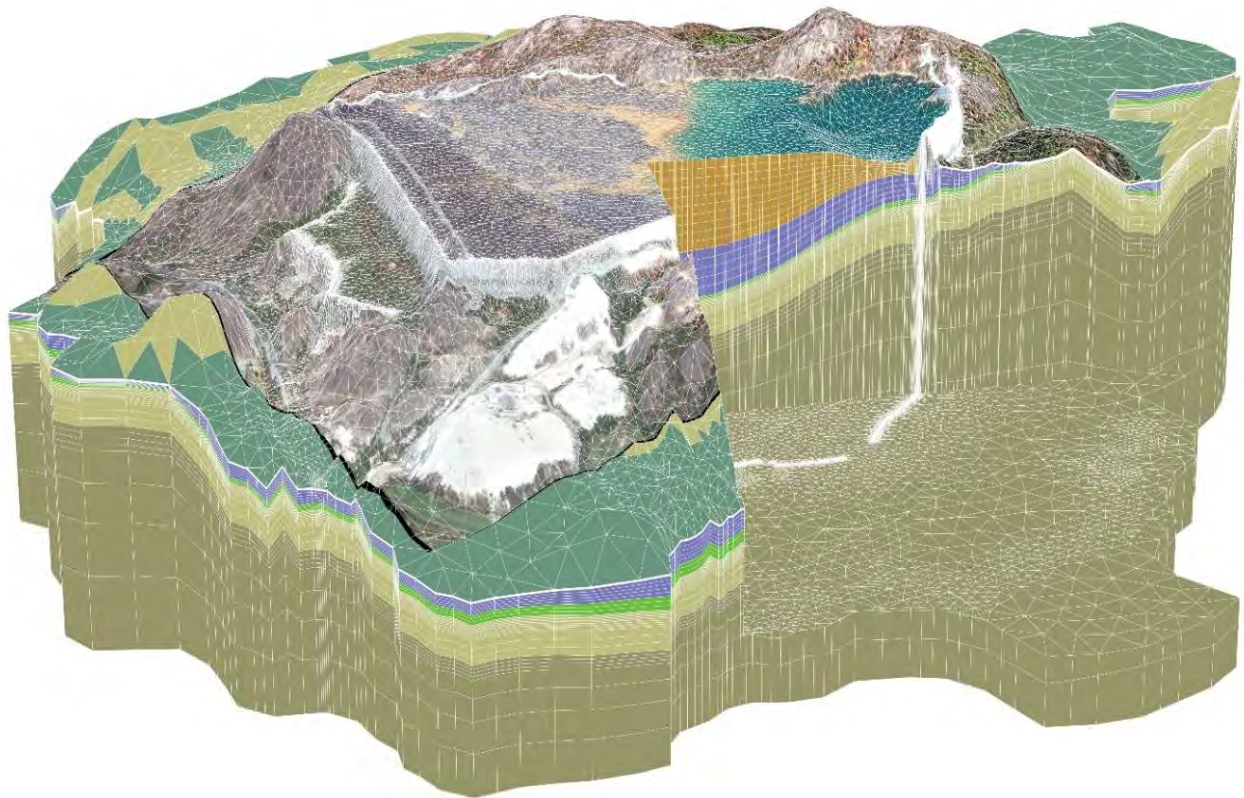
MINÉRAI DE FER QUÉBEC

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

MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE

RÉF. WSP : 181-03709-01

DATE : JUIN 2019





MINERAI DE FER QUÉBEC

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

RÉF. WSP : 181-03709-01
DATE : JUIN 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



Patrick Brunet, ingénieur jr M. Sc.
OIQ n° 5065921

RÉVISÉ PAR



Daniel Lemaire, ingénieur M. Sc.
OIQ n° 146940

APPROUVÉ PAR



Andréanne Hamel, ingénieure M. Sc.
OIQ n° 128249

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'entière 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

MINÉRAI DE FER QUÉBEC

François Lafrenière	Vice-Président Production durable
---------------------	-----------------------------------

WSP CANADA INC.

Directrice de projet	Andréanne Hamel, ingénieure M. Sc.
Chargé de projet – Modélisation	Daniel Lemaire, ingénieur M. Sc.
Modélisation	Patrick Brunet, ingénieur jr M. Sc.
Rédaction	Patrick Brunet, ingénieur jr M. Sc. Daniel Lemaire, ingénieur M. Sc.
Traitement de texte et édition	Nancy Imbeault

Référence à citer :

WSP. 2019. Mine de fer du lac Bloom - *Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers. Modélisation hydrogéologique*. Rapport produit pour Minéral de fer Québec. 82 p. et annexes.

ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES

%	Pourcentage
>	Supérieur à
°C	Degrés Celsius
3D	Trois dimensions
2D	Deux dimensions
km	Kilomètre
km ²	Kilomètre carré
L/m ² /j	Litre par mètre carré par jour
M	Mètre
m ²	Mètre carré
m ³	Mètre cube
mm	Millimètre
mm/an	Millimètre par année
m/m	Mètre par mètre
m/s	Mètre par seconde
m ³ /j	Mètre cubes par jour
Mt	Million de tonnes
MELCC	Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
MERN	Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles
MFQ	Minerais de fer Québec
n°	Numéro
nd	Non disponible
n. d.	Non déterminé
N/A	Non applicable
NRMS	Normalisé RMS
p/r	Par rapport à

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION.....	1
1.1	Mise en contexte.....	1
1.2	Objectifs de la modélisation.....	1
2	INFORMATIONS GÉNÉRALES	3
2.1	Zone d'étude	3
2.2	Description générale des secteurs Nord et Sud	3
2.2.1	Secteur Nord	3
2.2.2	Secteur Sud.....	4
2.3	Informations hydrogéologiques disponibles	4
3	MÉTHODOLOGIE – MODÉLISATION NUMÉRIQUE	11
3.1	Approches retenues.....	11
3.2	Étapes requises	11
3.3	Données utilisées	12
3.4	Choix du simulateur d'écoulement.....	12
3.5	Approche avec un milieu poreux équivalent.....	13
4	DESCRIPTION DU SITE / MODÈLE CONCEPTUEL.....	15
4.1	Topographie.....	15
4.2	Hydrologie et bilan hydrique.....	15
4.2.1	Hydrologie	15
4.2.2	Bilan hydrique.....	16
4.3	Unités hydrostratigraphiques	24
4.3.1	Unité 1 (résidus miniers - remblais)	24
4.3.2	Unité 2 (till)	29
4.3.3	Unité 3 (roc).....	29
4.4	Éléments structuraux.....	29
4.5	Pléziométrie	29
4.5.1	Élévations piézométriques – Secteur Nord.....	29
4.5.2	Élévations piézométriques – Secteur Sud	30
4.5.3	Gradients hydrauliques	37
4.6	Propriétés hydrauliques des matériaux.....	37
4.6.1	Conductivité hydraulique	37
5	CONSTRUCTION DES MODÈLES D'ÉCOULEMENT.....	45
5.1	Étendue du domaine et construction du maillage	45
5.1.1	Étendue du domaine	45
5.1.2	Discretisation du maillage	45

5.1.3	Définition des différentes couches des modèles	45
5.2	Conditions limites	46
5.2.1	Conditions limites externes	46
5.2.2	Conditions limites internes	51
6	CALIBRATION DU MODÈLE D'ÉCOULEMENT 3D – SECTEUR NORD.....	53
6.1	Objectifs de calibration.....	53
6.2	Méthodologie de calibration.....	53
6.3	Résultats de la calibration.....	53
6.3.1	Charges hydrauliques	53
6.3.2	Bilan Hydrique	55
6.4	Conditions finales du modèle 3D calibré.....	55
6.4.1	Conductivité hydraulique	55
6.4.2	Recharge	56
6.4.3	Piézométrie.....	59
6.5	Étude de sensibilité des paramètres.....	59
7	MODÉLISATION DES AIRES D'ACCUMULATION	63
7.1	Infrastructures simulées.....	63
7.2	couches et discrétisation du maillage	64
7.3	Description des paramètres	64
7.3.1	Conductivité hydraulique	64
7.3.2	Recharge	65
7.4	Conditions limites	65
7.4.1	Conditions limites internes	65
7.4.2	Conditions limites externes	66
8	RÉSULTATS DES SIMULATIONS PRÉDICTIVES	69
8.1	Piézométrie	69
8.2	Débits de percolation	70
9	CONCLUSION	79
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	81

TABLEAUX

TABLEAU 1.	LISTE DES SONDAGES UTILISÉS DANS LE CADRE DE CETTE ÉTUDE – SECTEUR NORD	9
TABLEAU 2.	LISTE DES SONDAGES UTILISÉS DANS LE CADRE DE CETTE ÉTUDE – SECTEUR SUD	10
TABLEAU 3.	ÉLÉVATIONS DES PRINCIPAUX PLANS D'EAU DES SECTEURS NORD ET SUD	16
TABLEAU 4.	ÉVALUATION DES PRÉCIPITATIONS EFFICACES DE 1998 À 2007 (MM/AN), POUR STATION CLIMATOLOGIQUE DE WABUSH	23
TABLEAU 5.	LISTE DES PUIITS UTILISÉS POUR GÉNÉRER LA CARTE PIÉZOMÉTRIQUE – SECTEUR NORD	33
TABLEAU 6.	LISTE DES PUIITS UTILISÉS POUR GÉNÉRER LA CARTE PIÉZOMÉTRIQUE – SECTEUR SUD	34
TABLEAU 7.	CALCUL DES GRADIENTS VERTICAUX	38
TABLEAU 8.	RÉSULTATS DES ESSAIS DE PERMÉABILITÉ	39
TABLEAU 9.	COMPILATION DES DONNÉES DE CONDUCTIVITÉS HYDRAULIQUES (M/S)	40
TABLEAU 10.	NOMBRE DE COUCHES DÉFINIES PAR UNITÉ HYDROSTRATIGRAPHIQUE DANS LES MODÈLES NUMÉRIQUES	46
TABLEAU 11.	CALIBRATION DES CHARGES HYDRAULIQUES – SECTEUR NORD	54
TABLEAU 12.	STATISTIQUES DE CALIBRATION (CHARGES HYDRAULIQUES)	54
TABLEAU 13.	BILAN HYDRIQUE DU MODÈLE CALIBRÉ	55
TABLEAU 14.	SOMMAIRE DES CONDUCTIVITÉS HYDRAULIQUES CALIBRÉES	56
TABLEAU 15.	RÉSULTATS DE L'ANALYSE DE SENSIBILITÉ RELATIFS AUX CHARGES HYDRAULIQUES SIMULÉES	60
TABLEAU 16.	SOMMAIRE DES CONDUCTIVITÉS HYDRAULIQUES ATTRIBUÉES AUX INFRASTRUCTURES PROJETÉES	65
TABLEAU 17.	DÉBIT DE PERCOLATION UNITAIRE – SECTEUR NORD	70
TABLEAU 18.	DÉBIT DE PERCOLATION UNITAIRE – SECTEUR SUD	70

CARTES

CARTE 1.	INFRASTRUCTURES PROJETÉES, SECTEUR NORD : PARC À RÉSIDUS	5
CARTE 2.	INFRASTRUCTURES PROJETÉES, SECTEUR SUD : HALDE À STÉRILES	7
CARTE 3.	TOPOGRAPHIE ET LOCALISATION DES SONDAGES – SECTEUR NORD.....	17
CARTE 4.	TOPOGRAPHIE ET LOCALISATION DES SONDAGES – SECTEUR SUD.....	19
CARTE 5.	BASSINS VERSANTS AUX CONDITIONS ACTUELLES.....	21
CARTE 6.	GÉOLOGIE DE SURFACE – DÉPÔT MEUBLES – SECTEUR NORD.....	25
CARTE 7.	GÉOLOGIE DE SURFACE – DÉPÔT MEUBLES – SECTEUR SUD.....	27
CARTE 8.	ÉLÉVATIONS PIÉZOMÉTRIQUES DE LA NAPPE D'EAU SOUTERRAINE (NOVEMBRE 2018) – SECTEUR NORD.....	31
CARTE 9.	ÉLÉVATIONS PIÉZOMÉTRIQUES DE LA NAPPE D'EAU SOUTERRAINE (NOVEMBRE 2018) – SECTEUR SUD.....	35
CARTE 10.	RÉSULTATS D'ESSAIS DE PERMÉABILITÉ – SECTEUR NORD.....	41
CARTE 11.	RÉSULTATS D'ESSAIS DE PERMÉABILITÉ – SECTEUR SUD	43
CARTE 12.	MAILLAGE DU MODÈLE NUMÉRIQUE ET CONDITIONS LIMITES APPLIQUÉES EN SURFACE – CONDITIONS ACTUELLES – SECTEUR NORD	47
CARTE 13.	DÉLIMITATION DES ZONES DE RECHARGE – CONDITIONS ACTUELLES – SECTEUR NORD	57
CARTE 14.	ÉLÉVATIONS PIÉZOMÉTRIQUES CALIBRÉES – CONDITIONS ACTUELLES – SECTEUR NORD	61
CARTE 15.	ZONES DE RECHARGE ET CONDITIONS LIMITES APPLIQUÉES EN SURFACE DU MODÈLE – CONDITIONS FINALES PROJETÉES – SECTEUR NORD.....	67
CARTE 16.	ÉLÉVATIONS PIÉZOMÉTRIQUES SIMULÉES – CONDITIONS FINALES PROJETÉES – SECTEUR NORD.....	71

FIGURES

FIGURE 1.	MAILLAGE DU MODÈLE NUMÉRIQUE ET CONDITIONS LIMITES APPLIQUÉES EN SURFACE – CONDITIONS ACTUELLES – SECTEUR SUD, COUPE D-D'	49
FIGURE 2.	RÉSULTAT DE LA CALIBRATION DES CHARGES HYDRAULIQUES.....	55
FIGURE 3.	CHARGES HYDRAULIQUES SIMULÉES – CONDITIONS FINALES PROJETÉES – SECTEUR NORD, COUPE A-A'	73
FIGURE 4.	CHARGES HYDRAULIQUES SIMULÉES – CONDITIONS FINALES PROJETÉES – SECTEUR NORD, COUPES B-B' ET C-C'	75
FIGURE 5.	CHARGES HYDRAULIQUES SIMULÉES – CONDITIONS FINALES PROJETÉES – SECTEUR SUD, COUPE D-D'	77

ANNEXES

A	ANALYSES GRANULOMÉTRIQUES
B	ANALYSES HYDROGEOSIEVE
C	ESSAIS DE PERMÉABILITÉ

1 INTRODUCTION

1.1 MISE EN CONTEXTE

Depuis février 2018, Minerai de fer Québec (MFQ) est propriétaire et exploite la mine du lac Bloom, située à environ 13 km au nord-nord-ouest de Fermont. La production annuelle est actuellement de l'ordre de 7,5 millions de tonnes (Mt) de concentré de fer. MFQ détient déjà les autorisations pour augmenter la production annuelle à 16 Mt et opérer un nouveau concentrateur; le début de ces activités est prévu en 2021. La fin de vie de la mine du lac Bloom a été estimée vers 2040, soit dans environ 20 ans.

MFQ a récemment effectué une révision de son plan minier à long terme en prenant en considération les réserves disponibles et les conditions du marché. Les superficies actuellement autorisées pour l'entreposage des résidus et des stériles miniers ne sont pas en mesure de recevoir la totalité des quantités prévues. Par conséquent, l'augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et des stériles miniers est nécessaire, ce qui constitue le présent projet.

Compte tenu des nombreuses contraintes limitant les variantes envisageables pour les installations de gestion requises, il est prévu que la déposition de ces rejets empiète de façon directe sur différentes composantes du milieu naturel et entraîne des impacts indirects sur le milieu localisé en périphérie des nouvelles infrastructures prévues pour supporter l'augmentation de production.

Au niveau provincial, le processus réglementaire avait déjà été amorcé dans le cadre du projet d'augmentation des aires d'entreposage des stériles et résidus miniers envisagé par l'ancien propriétaire du site minier du lac Bloom dont l'étude d'impact associée avait été déposée en 2014 et dont le processus est toujours en cours. La présente étude sectorielle s'inscrit dans la poursuite de ce processus d'évaluation environnementale provincial du même projet, lequel a toutefois été ajusté en fonction du nouveau plan minier élaboré par MFQ.

La présente étude concerne les travaux de modélisation hydrogéologique requis pour permettre l'évaluation des impacts sur le milieu hydrogéologique. Les travaux réalisés permettront d'estimer les conditions hydrogéologiques futures ainsi que les débits de percolation sous les infrastructures projetées.

1.2 OBJECTIFS DE LA MODÉLISATION

WSP Canada Inc. (WSP) a été mandatée pour réaliser une étude hydrogéologique permettant de fournir l'information suffisante pour répondre aux exigences de l'étude d'impact pour l'agrandissement des aires d'entreposage des résidus miniers et des stériles. Pour ce faire, une étude incluant des travaux de modélisation hydrogéologique est requise.

Les objectifs de l'étude de modélisation hydrogéologique sont les suivants :

- Construire un modèle hydrogéologique permettant de comprendre le mouvement régional de l'eau souterraine et de reproduire l'écoulement et les élévations actuelles de l'eau souterraine (piézométrie).
- Représenter les conditions finales anticipées des aires de stockage dans le modèle hydrogéologique afin d'évaluer les impacts de celles-ci sur le régime d'écoulement.
- Évaluer les débits de percolation attendus sous les nouvelles aires de stockage.

Ce rapport présente une synthèse des informations requises qui ont été utilisées dans le but de répondre aux objectifs énoncés. Toutefois, les informations plus détaillées quant au contexte géologique, aux conditions hydrogéologiques actuelles des sites d'agrandissement retenus, aux travaux réalisés dans le cadre de l'étude d'impact et aux données antérieures colligées se retrouvent dans le document principal de l'étude d'impact environnemental (WSP 2019).

2 INFORMATIONS GÉNÉRALES

Le contexte géologique du site a été défini à partir de références régionales et provinciales et également à partir des résultats obtenus lors d'études antérieures. Les informations descriptives pertinentes à la modélisation hydrogéologique, présentées sommairement dans cette section, proviennent notamment de l'étude d'impact environnemental réalisée dans le cadre de l'ancien projet déposé en 2014 (WSP février 2014) et de la présente étude d'impact environnemental (WSP 2019).

2.1 ZONE D'ÉTUDE

La mine du lac Bloom est située à environ 13 km à l'ouest de Fermont. Les coordonnées géographiques centrales du projet avoisinent 52° 50' 46" de latitude Nord et 67° 17' 49" de longitude Ouest.

Diverses variantes ont été étudiées pour la sélection des nouvelles aires d'entreposage des résidus et des stériles miniers afin de s'assurer que le projet retenu rencontre les objectifs et les contraintes techniques, tout en respectant les enjeux environnementaux, sociaux et économiques.

Deux secteurs potentiels ont été retenus pour l'augmentation des capacités d'entreposage des résidus et des stériles miniers et, conséquemment, pour l'évaluation des conditions hydrogéologiques futures et des débits de percolation attendus. Le secteur retenu pour l'entreposage de résidus miniers est adjacent au parc à résidus actuel, soit immédiatement au nord de celui-ci et de la fosse (dit « secteur Nord »), alors que le secteur retenu pour le stockage des stériles miniers est situé au sud-est du secteur de la fosse (dit « secteur Sud »). La localisation des secteurs Nord et Sud ainsi que les limites des infrastructures projetées sont présentées sur les cartes 1 et 2 respectivement.

Coordonnées géographiques centrales approximatives du site de la fosse et des secteurs « Nord » et « Sud » UTM (Zone 19, NAD83)	Localisation centrale (fosse)	Secteur Nord (parc HPA-Nord projeté)	Secteur Sud (halde Sud projetée)
X (m)	614 650	615 350	617 050
Y (m)	5 856 550	5 859 300	5 853 050

2.2 DESCRIPTION GÉNÉRALE DES SECTEURS NORD ET SUD

2.2.1 SECTEUR NORD

2.2.1.1 CONDITIONS ACTUELLES

Le secteur Nord (carte 1) est adjacent au parc à résidus actif de la mine du lac Bloom, étant situé immédiatement au nord de ce dernier. La digue Est du parc à résidus actif constitue la limite sud du parc à résidus HPA-Nord projeté (ci-après parc à résidus projeté), dont l'orientation générale suit un axe est-ouest. Cette digue est essentiellement composée de résidus miniers grossiers, sans noyau imperméable. Une petite section à l'extrémité sud-est du parc à résidus projeté est adjacente au secteur industriel de la mine.

Aucune infrastructure significative n'est présente au droit de l'aire de stockage projetée, hormis quelques chemins d'accès non pavés et des canaux entre les lacs F et G' et entre les lacs H et E. Plusieurs lacs se

trouvent au niveau de l’empreinte de l’aire de stockage projetée (lacs E, E2, E2, F et F2), alors que les lacs G’ et H sont situés au droit de bassins projetés. Des hauts topographiques plus ou moins accentués bordent les infrastructures projetées à l’ouest, au nord et à l’est.

2.2.1.2 CONDITIONS PROJETÉES

Un plateau est proposé à 770 m d’élévation du côté est de l’aire d’accumulation; il vient s’appuyer sur un haut topographique à l’extrémité est du site. Les pentes des résidus vers le nord et le sud sont de l’ordre de 10 H : 1 V, alors que la pente vers l’ouest diminue de près de 20H : 1 V à environ 50H : 1 V près du bassin ouest. Considérant les niveaux d’eau attendus au niveau du bassin principal à l’ouest de l’aire de stockage, la digue Est sera prolongée vers l’ouest et le nord (sous la forme d’un « crochet »). Une digue sera également aménagée à la limite sud du lac G’ afin de retenir les eaux du bassin secondaire à l’est. L’étendue de l’aire de stockage de résidus proposée est de l’ordre de 6,7 km², pour un volume total de stériles de l’ordre de 235 millions de m³.

2.2.2 SECTEUR SUD

2.2.2.1 CONDITIONS ACTUELLES

Le secteur Sud (carte 2) est situé au sud du secteur de la fosse de la mine du lac Bloom. La halde à stériles Sud projetée (ci-après halde à stériles projetée) est orientée suivant un axe nord-ouest/sud-est et son extrémité nord est adjacente à une section de la mine actuelle (halde à mort-terrain).

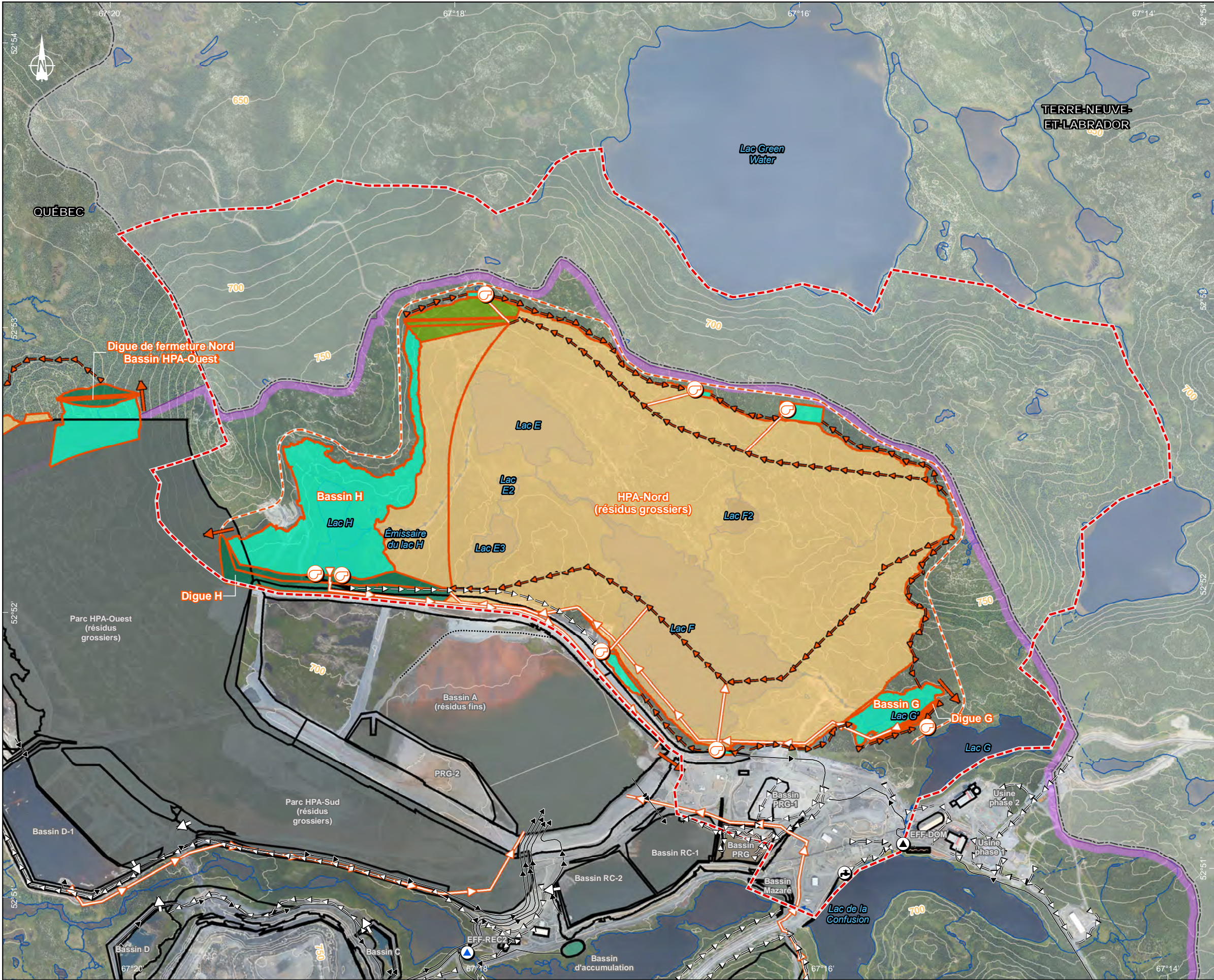
Aucune infrastructure significative n’est présente au droit de l’aire de stockage projetée. Un seul lac se trouve en partie au niveau de l’empreinte de l’aire de stockage projetée, soit le lac K. La partie sud de ce dernier se retrouve au droit d’un bassin projeté au sud de l’aire d’accumulation. Des hauts topographiques plus ou moins accentués bordent les infrastructures projetées dans la portion nord du site, alors que l’aire d’accumulation suit l’axe de la vallée dont le relief s’atténue considérablement vers le sud.

2.2.2.2 CONDITIONS PROJETÉES

Quatre plateaux sont proposés le long de cet axe, soit à 835 m, 855 m, 920 m et 865 m du nord-ouest au sud-est. Les pentes des résidus du centre vers la périphérie sont de l’ordre de 3 H : 1 V. Afin de retenir les eaux s’écoulant de l’aire de stockage projetée vers le sud, une digue sera aménagée à l’extrémité sud. L’étendue de l’aire de stockage de stériles proposée est de l’ordre de 3,4 km², pour un volume total de stériles de l’ordre de 290 millions de m³.

2.3 INFORMATIONS HYDROGÉOLOGIQUES DISPONIBLES

L’évaluation des conditions hydrogéologiques sur le site a été réalisée en tenant compte des données provenant de la littérature, des rapports géologiques, des informations extraites de rapports d’études antérieures réalisées sur le site, ainsi qu’à partir des travaux de forages et d’échantillonnages effectués en 2011 par GENIVAR, en 2012 par AMEC et par WSP en 2014 et 2018. Les sondages retenus dans le cadre de cette étude sont contenus ou adjacents aux secteurs d’entreposage projetés, soit le secteur Nord (parc à résidus projeté) et le secteur Sud (halde à stériles projetée). La liste des sondages consultés pour les secteurs Nord et Sud est présentée dans les tableaux 1 et 2 respectivement.



Composante du site minier

À autoriser

- Poste de pompage
- Déversoir d'urgence
- Conduite
- Fossé
- Fossé d'eau de contact
- Fossé de dérivation (eau propre)
- Chemin de halage
- Bassin
- Digue
- Digue de déposition
- Parc à résidus

Existantes ou autorisées

- Effluent final
- Effluent sanitaire
- Prise d'eau
- Déversoir d'urgence
- Chemin
- Conduite
- Fossé
- Contours infrastructures minières existantes ou autorisées
- Parc à résidus

Hydrographie

Écoulement

- Canal
- Intermittent partiellement souterrain
- Intermittent
- Permanent partiellement souterrain
- Permanent

Limite

- Frontière interprovinciale
- Limite du bail minier (MFQ)
- Limite du modèle numérique



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Annexe / Modélisation hydrogéologique

Carte 1
Infrastructures projetées
Secteur Nord : parc à résidus

Sources :
BDTQ, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1:50 000, RNCan, 2014
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, juillet 2018
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018
Orthophoto, résolution 20 cm, 2018

0 250 500 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Juin 2019

Préparation : P. Brunet
Dessin : J.-M. Tremblay
Vérification : A. Hamel
181-03709-01_eie_anx_c1_191_hg_infras_nord_wsp2_190701.mxd





Composante du site minier

À autoriser

- Poste de pompage
- Déversoir d'urgence
- Conduite
- Fossé d'eau de contact
- Fossé de dérivation (eau propre)
- Chemin de halage
- Bassin
- Digue
- Digue de déposition
- Fosse
- Halde à stériles
- Halde à stériles à l'intérieur de la fosse autorisée

Existante ou autorisée

- Effluent final
- Prise d'eau
- Déversoir d'urgence
- Chemin
- Conduite
- Fossé
- Contours des infrastructures existantes

Hydrographie

Écoulement

- Intermittent partiellement souterrain
- Intermittent
- Permanent partiellement souterrain
- Permanent

Limite

- Frontière interprovinciale
- Limite de bail minier (MFQ)
- Limite de propriété (AMEM)
- Limite du modèle numérique

Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Annexe / Modélisation hydrogéologique

Carte 2

Infrastructures projetées

Secteur Sud : halde à stériles

Sources :

BDTQ, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1:50 000, RNCan, 2014
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, juillet 2018
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018
Orthophoto, résolution 20 cm, 2018

0 250 500 m

UTM, fuseau 19, NAD83

Jun 2019

Préparation : P. Brunel
Dessin : J.-M. Tremblay
Vérification : A. Hamel
181-03709-01_ele_anx_c2_192_hg_infras_sud_wspb_190701.mxd

La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.

Tableau 1. Liste des sondages utilisés dans le cadre de cette étude – Secteur Nord

Nom du sondage	Type de sondage	Réalisé par	Date de complétion du forage	UTM NAD83 Zone 19 Nord (Y) (m)	UTM NAD83 Zone 19 Est (X) (m)	Élévation du sol (Z) (m)	Épaisseur des dépôts meubles (m)	Profondeur du sondage p/r au sol (m)
BH-01-12	Puits	AMEC	2012-08-29	5859100,0	613848,0	716,17	1,98	2,74
BH-02-12	Puits	AMEC	2012-08-29	5859100,0	613851,0	716,20	2,13	11,13
BH-03-12	Puits	AMEC	2012-08-29	5859672,0	614501,0	699,50	7,92	12,50
BH-04-12	Puits	AMEC	2012-08-30	5859672,0	614504,0	699,50	7,92	8,15
BH-05-12	Puits	AMEC	2012-08-31	5860036,2	615128,3	703,76	1,07	1,52
BH-06-12	Puits	AMEC	2012-08-31	5860036,2	615131,3	703,76	1,68	7,92
BH-07-12	Puits	AMEC	2012-09-01	5859231,8	615793,7	696,99	2,84	2,84
BH-08-12	Puits	AMEC	2012-09-01	5859231,8	615796,7	697,05	1,22	6,40
BH-09-12	Puits	AMEC	2012-09-02	5858616,8	616939,5	725,42	6,10	10,67
BH-10-12	Puits	AMEC	2012-09-03	5858616,8	616942,5	725,19	5,33	5,33
BH-11-12	Forage	AMEC	2012-08-08	5859161,2	613037,0	721,68	0,84	5,64
BH-12-12	Forage	AMEC	2012-09-08	5859995,0	613238,0	737,69	0,23	5,79
BH-13-12	Forage	AMEC	2012-09-06	5860384,2	614364,6	702,49	2,89	6,10
BH-14-12	Forage	AMEC	2012-09-06	5860027,1	616508,9	720,32	0,97	6,10
BH-15-12	Forage	AMEC	2012-09-04	5860027,1	616508,9	720,32	1,83	10,21
BH-16-12	Forage	AMEC	2012-09-05	5859219,9	617265,7	747,15	0,84	6,10
BH-17-12	Puits	AMEC	2012-09-03	5858341,0	618063,4	716,68	0,00	5,79
BH-18-12	Forage	AMEC	2012-09-22	5857639,0	617362,0	693,36	7,62	13,72
BH-19-12	Forage	AMEC	2012-09-22	5857690,0	616852,1	702,85	1,70	7,47
BH-20-12	Forage	AMEC	2012-09-21	5858690,0	615086,0	705,82	5,18	10,67
11-FB-3-R	Puits	GENIVAR	2011-10-09	5858740,6	615053,5	710,24	4,90	10,29
11-FB-3-S	Puits	GENIVAR	2011-10-09	5858739,1	615054,1	710,22	4,90	4,57
11-PO-1-R	Puits	GENIVAR	2011-10-05	5857303,7	616834,6	691,45	3,60	8,41
11-PO-4-R	Puits	GENIVAR	2011-09-30	5857645,5	617048,9	699,55	3,90	6,86
11-PO-21-R	Puits	GENIVAR	2011-09-28	5857533,2	617237,5	695,11	3,30	8,45
11-PO-21-S	Puits	GENIVAR	2011-09-28	5857533,3	617235,9	695,09	3,20	3,20
11-PO-22-R	Puits	GENIVAR	2011-10-06	5857580,7	616854,9	699,42	5,10	13,00
PO-28-R	Puits	WSP	2014-06-05	5857595,0	617587,7	697,10	3,61	14,66
PO-28-S	Puits	WSP	2014-06-05	5857593,8	617587,8	697,11	3,61	3,35
PO-31-R	Puits	WSP	2014-06-08	5859284,2	613224,1	729,31	11,58	17,53
PO-31-S	Puits	WSP	2014-06-08	5859283,3	613223,0	729,27	11,58	9,14
TR-01-18	Tranchée	WSP	2018-11-05	5 859 109	613 328	nd	2,30	2,30
TR-02-18	Tranchée	WSP	2018-11-06	5 859 760	613 879	nd	0,60	0,60
TR-03-18	Tranchée	WSP	2018-11-06	5 860 457	614 299	nd	0,35	0,35
TR-04-18	Tranchée	WSP	2018-11-05	5 858 732	615 043	nd	2,00	2,00
TR-05-18	Tranchée	WSP	2018-11-05	5 859 657	614 514	nd	>3,00	3,00
TR-06-18	Tranchée	WSP	2018-11-06	5 860 178	614 975	nd	1,50	1,50
TR-07-18	Tranchée	WSP	2018-11-06	5 859 283	615 721	nd	1,90	1,90
TR-10-18	Tranchée	WSP	2018-11-06	5 858 739	616 583	nd	2,70	2,70

Nom du sondage	Type de sondage	Réalisé par	Date de complétion du forage	UTM NAD83 Zone 19 Nord (Y) (m)	UTM NAD83 Zone 19 Est (X) (m)	Élévation du sol (Z) (m)	Épaisseur des dépôts meubles (m)	Profondeur du sondage p/r au sol (m)
TR-11-18	Tranchée	WSP	2018-11-06	5 858 759	617 212	nd	1,65	1,65
TR-12-18	Tranchée	WSP	2018-11-05	5 859 196	614 072	nd	0,80	0,80
TR-13-18	Tranchée	WSP	2018-11-05	5 858 002	616 644	nd	>3,0	3,0
TR-14-18	Tranchée	WSP	2018-11-06	5 859 568	615 418	nd	1,00	1,00

nd : non disponible

Tableau 2. Liste des sondages utilisés dans le cadre de cette étude – Secteur Sud

Nom du sondage	Type de sondage	Réalisé par	Date de complétion du forage	UTM NAD83 Zone 19 Nord (Y) (m)	UTM NAD83 Zone 19 Est (X) (m)	Élévation du sol (Z) (m)	Épaisseur des dépôts meubles (m)	Profondeur du sondage p/r au sol (m)
BH-SP2-09	Puits	Inspec-Sol	2013-09-17	5854450,8	616176,6	767,41	1,69	4,51
TP-SP2-13	Tranchée	Inspec-Sol	2013	5854382,7	615796,0	781,44	0,90	0,90
TP-SP2-14	Tranchée	Inspec-Sol	2013	5854532,3	615921,0	771,00	1,60	1,60
14-PO-41-R	Puits	WSP	2014-10-04	5854422,3	616266,7	766,38	2,29	23,80
14-PO-41-S	Puits	WSP	2014-10-05	5854421,9	616268,4	766,51	2,29	4,90
14-PO-42-R	Puits	WSP	2014-10-05	5854057,0	617143,8	780,99	0,36	14,90
14-PO-43-R	Puits	WSP	2014-10-07	5853369,2	617782,1	744,44	2,72	23,90
14-PO-43-S	Puits	WSP	2014-10-07	5853368,4	617781,6	744,42	2,72	4,30
14-PO-44-R	Puits	WSP	2014-10-13	5851879,0	617623,6	686,80	4,11	11,30
14-PO-44-S	Puits	WSP	2014-10-13	5851879,5	617622,1	686,73	4,11	3,50
14-PO-45-R	Puits	WSP	2014-10-12	5852278,1	617276,5	686,45	8,64	20,70
14-PO-45-S	Puits	WSP	2014-10-12	5852279,6	617278,6	686,68	8,64	8,20
TR-16-18	Tranchée	WSP	2018-11-08	5854295,0	616841,0	794,80	nd	1,90
TR-19-18	Tranchée	WSP	2018-11-08	5853906,0	617335,0	753,60	nd	1,10
TR-22-18	Tranchée	WSP	2018-11-08	5853587,0	617571,0	728,00	nd	0,70
TR-25-18	Tranchée	WSP	2018-11-07	5853198,0	617929,0	718,30	nd	1,10
TR-28-18	Tranchée	WSP	2018-11-07	5852727,0	618170,0	706,50	nd	1,20
TR-29-18	Tranchée	WSP	2018-11-08	5851675,0	617874,0	664,10	nd	1,30
TR-30-18	Tranchée	WSP	2018-11-08	5851820,0	617564,0	663,00	nd	1,60

nd : non disponible

3 MÉTHODOLOGIE – MODÉLISATION NUMÉRIQUE

3.1 APPROCHES RETENUES

Les approches retenues quant au type de modélisation numérique à appliquer pour chacun des secteurs projetés pour l'agrandissement des aires de stockage dépendent de plusieurs facteurs, notamment :

- Les objectifs de la modélisation (débits de percolation).
- Le nombre, le type et la distribution spatiale des données hydrogéologiques disponibles.
- La configuration topographique du site.
- Le type de matériaux entreposés.

Le **secteur Nord** (parc à résidus projeté) a fait l'objet de la construction d'un modèle numérique d'écoulement en trois dimensions, pour lequel une calibration et une analyse de sensibilité des paramètres du modèle sur les données observées ont été réalisées. Ainsi, la construction du modèle a été réalisée en deux temps. D'abord, les conditions actuelles du site ont été reproduites afin de permettre de calibrer les paramètres du modèle sur la base des données de charge hydraulique disponibles. Ensuite, le modèle numérique calibré a été modifié afin de reproduire les conditions prévues à la fin de l'exploitation du site, soit les conditions les plus défavorables anticipées.

Le **secteur Sud** (halde à stériles projetée) a fait l'objet de la construction de deux modèles numériques d'écoulement en deux dimensions - coupe, soit le long et perpendiculairement à l'axe de la vallée. Les paramètres calibrés pour le secteur Nord ont été utilisés pour construire directement les modèles numériques reproduisant les conditions prévues à la fin de l'exploitation du site, sans devoir passer par des modèles reproduisant les conditions actuelles.

3.2 ÉTAPES REQUISES

Les travaux de modélisation de ce projet incluent les différentes étapes suivantes :

- Élaboration du modèle conceptuel initial basé sur les données disponibles.
- Identification des éléments hydrologiques, tels que les zones d'infiltration des eaux souterraines et les résurgences ainsi que les cours d'eau et lacs.
- Identification du contexte géologique et des propriétés hydrogéologiques des unités hydrostratigraphiques.
- Analyse du mouvement régional de l'eau souterraine incluant les élévations de la nappe d'eau souterraine.
- Détermination de l'étendue de la zone d'étude.
- Construction du modèle hydrogéologique numérique afin d'obtenir une représentation la plus fidèle possible au modèle conceptuel élaboré.
- Calibration des paramètres hydrauliques (secteur Nord seulement) du modèle numérique afin de représenter le plus fidèlement possible le réseau d'écoulement de l'eau souterraine dans le secteur d'étude.
- Analyse de sensibilité des paramètres hydrauliques (secteur Nord seulement) du modèle numérique afin d'évaluer l'impact de ces paramètres sur la calibration du modèle numérique.

3.3 DONNÉES UTILISÉES

Le modèle hydrogéologique a été élaboré à partir des données récoltées lors de la campagne de terrain menée par WSP en novembre 2018, ainsi que de données tirées des études antérieures disponibles.

Voici un résumé des données antérieures utilisées :

- Orthomosaïque du site (source).
- Données de relevé Lidar (source 2018).
- Données digitalisées du réseau hydrologique (BDTQ, 1 : 20 000).
- Cartes géologiques et structurales du navigateur ministériel en ligne (MERN 2019).
- Carte numérique de photo-interprétation des formations/dépôts de surface (WSP, fichier 2019-02-08).
- Carte numérique de délimitation des sous-bassins versants (carte WSP).
- Rapports de forages de chantier et de l'aménagement des puits provenant des travaux d'AMEC en août et septembre 2012 (AMEC 2012).
- Rapports de forages, aménagement des puits, relevés piézométriques et essais de perméabilité provenant de l'étude de GENIVAR en 2013 (GENIVAR 2013).
- Rapports de forages et de tranchées, aménagement de puits et relevés piézométriques provenant de l'étude d'Inspec-Sol en 2014 (Inspec-Sol 2014).
- Étude d'impact sur l'environnement réalisée en 2014 par WSP (WSP février 2014).
- Rapports de forages, aménagement des puits, données d'essais de perméabilité, relevés piézométriques et données d'analyses granulométriques provenant des travaux de WSP en 2014 (WSP novembre 2014).
- Rapports de forages, aménagement des puits, relevés piézométriques et essais de perméabilité provenant de l'étude de WSP en 2015 (WSP 2015).
- Rapports de tranchées, relevés piézométriques et données d'analyses granulométriques de l'étude de WSP en 2019 (WSP 2019).
- Scénarios d'aménagements du parc à résidus et de la halde à stériles proposés par WSP en 2019 (WSP 2019a).

3.4 CHOIX DU SIMULATEUR D'ÉCOULEMENT

Pour représenter l'écoulement de l'eau souterraine en trois dimensions, un simulateur numérique est requis pour reproduire adéquatement les charges hydrauliques, leur distribution spatiale et leur variation dans le temps. Le simulateur numérique choisi doit permettre de répondre aux objectifs de la présente étude et doit pour cela être capable de représenter au mieux le modèle conceptuel qui a été défini. Le simulateur numérique sélectionné pour cette étude est le logiciel « FEFLOW », version 7.1 (*Finite Element Subsurface Flow & Transport Simulation System*; Trefry and Muffels 2007; Diersch 2014).

La résolution des équations de l'écoulement en milieu saturé ou en milieu non saturé dans FEFLOW utilise la technique numérique des éléments finis. FEFLOW permet de produire des modèles numériques d'écoulement de l'eau souterraine en trois dimensions, autant pour les régimes permanents que transitoires de l'eau souterraine dans des aquifères captifs, semi-captifs et libres. Il est particulièrement approprié pour des systèmes aquifères complexes impliquant plusieurs unités hydrostratigraphiques et des conditions aux limites variables. Le modèle permet d'adapter facilement le maillage à une topographie accidentée et la prise en

compte de discontinuités est également facilitée par cette propriété. FEFLOW a largement été utilisé dans le passé pour modéliser l'écoulement souterrain dans le cadre de projets miniers.

Dans le cas de la présente étude, des conditions non confinées en régime permanent ont été utilisées pour la calibration du modèle tridimensionnel du secteur Nord.

3.5 APPROCHE AVEC UN MILIEU POREUX ÉQUIVALENT

La modélisation numérique d'écoulement d'eau souterraine à travers un milieu poreux saturé simule généralement les mouvements de l'eau dans un milieu complètement saturé tels que le sable et le gravier, lesquels ont des distributions prévues de porosité et de conductivité hydraulique. Dans un substrat rocheux fracturé, le mouvement de l'eau souterraine est significativement plus grand à l'intérieur de l'endroit fracturé que dans la matrice rocheuse qui l'entoure. Dans l'hypothèse que la densité des fractures et que la connectivité hydraulique de ces fractures sont suffisantes à plus grande échelle, le roc fracturé peut être simulé comme un « milieu poreux équivalent ». Le modèle est donc construit pour simuler l'écoulement à travers un milieu poreux avec des propriétés hydrauliques équivalentes à celles d'un milieu fracturé. À une plus petite échelle, les mouvements de l'eau souterraine présents et ceux simulés peuvent être différents, et ce, à l'intérieur de la zone où les mouvements de l'eau souterraine sont dominés par quelques fractures. Dans les zones fracturées avec une plus grande densité de fractures et avec des simulations sur une plus grande échelle, l'approche du milieu poreux équivalent fournit une représentation raisonnable du mouvement de l'eau souterraine, laquelle est acceptée par l'industrie.

4 DESCRIPTION DU SITE / MODÈLE CONCEPTUEL

4.1 TOPOGRAPHIE

Le relief du site minier est relativement accidenté. La topographie du secteur Nord est présentée sur la carte 3 alors que celle du secteur Sud est présentée sur la carte 4.

Les élévations au droit du parc à résidus projeté (carte 3) varient de 694 à près de 770 m, avec une élévation moyenne de l'ordre de 709 m. Alors que la majeure partie du parc à résidus projeté est relativement plane, les limites est et ouest sont adjacentes à des sommets topographiques (800 m et 776 m); la limite nord du parc est également adjacente à des hauts topographiques d'élévations moindres (environ 720 à 750 m). Ainsi, le parc à résidus est situé dans un creux topographique, hormis du côté sud où l'on retrouve le parc à résidus actif dont la topographie est plane. Les élévations près de la limite sud du parc projeté varient de 694 (sud-est) à 718 m (élévation maximale de la digue Est du parc à résidus actif).

La topographie au droit de la halde à stériles projetée (carte 4) présente une pente généralement décroissante vers le sud-est, avec des élévations passant d'environ 810 à 785 m au nord-ouest à près de 683 m au sud-est. On observe toutefois une petite dépression topographique jusqu'à 755 m à l'extrémité nord-ouest de la halde à stériles projetée. Au niveau de la topographie adjacente aux limites du site projeté, on retrouve généralement des hauts topographiques le long de l'axe nord-ouest/sud-est, de telle sorte que le site se retrouve en partie encaissé dans une vallée. La limite sud-est du site n'est pas encaissée et donne sur un terrain relativement plat d'élévation moyenne de près de 685 m et bordé du lac Mogridge au sud et du lac Daigle à l'est. Les limites de l'extrémité nord-ouest du site étant situées sur des hauts topographiques, la topographie décroît au pourtour de celles-ci jusqu'à environ 755 à 760 m.

4.2 HYDROLOGIE ET BILAN HYDRIQUE

4.2.1 HYDROLOGIE

La carte 5 montre également les limites des sous-bassins versants tirés de l'étude d'impact (WSP 2019), ainsi que la délimitation des lacs et bassins, la position des fossés de drainage ainsi que les élévations de l'eau de surface. Les élévations des principaux plans d'eau de surface présentées au tableau 3 sont tirées des données Lidar (MFQ, 13-19 août 2018) et de l'étude d'impact (WSP 2019).

Dans les conditions actuelles, les eaux de surface au droit du parc à résidus projeté s'écoulent généralement de l'ouest vers l'est du site. En effet, depuis la mise en place du parc à résidus au sud, les eaux du lac H sont acheminées vers le lac E par un canal, puis elles s'écoulent naturellement vers le lac F. Par l'entremise de trois canaux, les eaux s'écoulent ensuite vers le lac G', puis le lac G et enfin le lac de la Confusion.

Comme illustré sur la carte 5, le site du parc à résidus projeté est situé tout juste à l'intérieur des limites du sous-bassin versant, puisque les hauts topographiques qui le ceinturent au nord, à l'est et à l'ouest agissent comme une barrière naturelle. De plus, la digue Est au sud et le drain à ses pieds agissent également comme une barrière à l'écoulement de surface, contraignant l'écoulement vers l'est. Les eaux du secteur Nord ont comme exutoire principal le lac de la Confusion. Enfin, les nombreux lacs, les accumulations locales d'eau de surface et les nombreux ruisseaux témoignent d'une profondeur de la nappe d'eau souterraine généralement faible.

Tableau 3. Élévations des principaux plans d'eau des secteurs Nord et Sud

Secteur Nord		Secteur Sud	
Plan d'eau	Élévation (m)	Plan d'eau	Élévation (m)
Lac de la Confusion	677,85	Lac du Pli	759,50
Lac Mazaré - grande portion	667,60	Lac Daigle	682,50
Lac G	692,80	Lac Mogridge	675,55
Lac G'	693,70	Lac O	685,30
Lac F	694,15	Bassin	697,50
Lac F2	695,30	Lac P	709,65
Lac E	695,25		
Lac E2	696,25		
Lac E3	696,80		
Lac H	713,23		
Lac « Est »	677,90		
Lac Green Water	656,75		

Dans les conditions actuelles, les eaux de surface au droit de la halde à stériles projetée s'écoulent généralement le long de l'axe de la vallée, soit du nord-ouest vers le sud-est. Toutefois, suivant la topographie illustrée sur la carte, les eaux de surface de l'extrémité nord du secteur s'écoulent plutôt en direction nord, soit vers le secteur de la halde à mort-terrain actuel. Toujours selon la délimitation des bassins versants (carte 5), l'empreinte de la halde à résidus empiète légèrement sur le sous-bassin versant du lac du Pli au nord-est et sur celui du lac Daigle au sud-est. Enfin, l'exutoire principal se situe au sud au niveau de la portion sud-est du lac Mogridge.

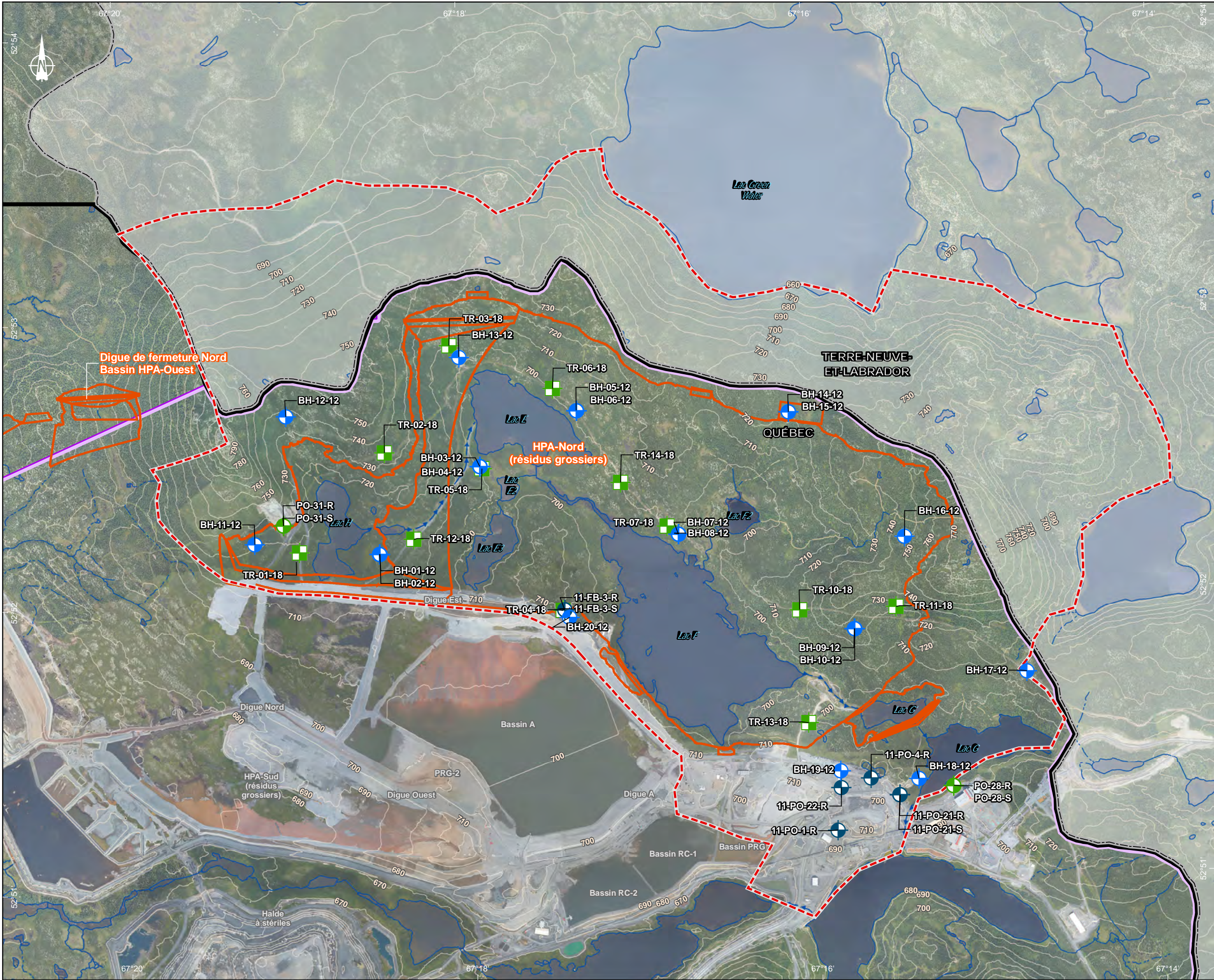
4.2.2 BILAN HYDRIQUE

Le bilan hydrique permet d'obtenir une première estimation de la recharge sur l'ensemble du site à l'étude. En effet, lors de précipitations, ce n'est pas l'ensemble des précipitations qui participe à la recharge de la nappe. Une partie s'écoule par ruissellement et une partie repart dans l'atmosphère par évapotranspiration. De nombreux facteurs sont à prendre en compte.

Naturellement, le taux de recharge de l'aquifère rocheux sera plus élevé aux endroits où l'épaisseur de dépôts meubles est faible, surtout si la conductivité hydraulique de ces dépôts est élevée. Une topographie plane aura également tendance à favoriser la recharge, car le taux de ruissellement sera plus faible. Par contre, dans les milieux humides déjà saturés en eau, la recharge sera beaucoup plus faible puisque l'eau s'écoulera en surface ou s'accumulera sur place.

L'évapotranspiration peut être estimée par la formule de Thornthwaite et Mather (1957). Cette formule utilise notamment les données de précipitations mensuelles, de températures mensuelles ainsi que de latitude de la station météorologique.

Le tableau 4 présente les données de normales climatiques à la station climatologique de Wabush pour la période la plus récente présentant des données de précipitations complètes, soit entre 1998 et 2007. Les précipitations efficaces correspondent à la somme des eaux de ruissellement et de la recharge, donc à la quantité d'eau disponible pour infiltration.



Sondage

Puits d'observation

- GENIVAR, 2011 (11-PO-xx)
- AMEC, 2012 (BH-xx-12)
- WSP, 2014 (PO-xx)

Tranchée d'exploration

- WSP, 2018 (TR-xx-18)

Composante du site minier

- Emprise du projet projetée

Hydrographie

Écoulement

- Canal
- Intermittent partiellement souterrain
- Intermittent
- Permanent partiellement souterrain
- Permanent

Limite

- Frontière interprovinciale
- Limite de bail minier (MFQ)
- Zone d'étude du milieu biophysique
- Limite du modèle numérique



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Annexe / Modélisation hydrogéologique

**Carte 3
Topographie et localisation des sondages -
Secteur Nord**

Sources :
BDTQ, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1:50 000, RNCAN, 2014
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, juillet 2018
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018
Orthophoto, résolution 20 cm, 2018

0 250 500 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Juin 2019

Préparation : P. Brunel
Dessin : J.-M. Tremblay
Vérification : A. Hamel
181-03709-01_ele_anx_c3_202_hg_sondagesN_wspb_190701.mxd



La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.



Sondage

Puits d'observation

- Inspec-Sol, 2014
- WSP, 2014 (PO-xx)

Tranchée d'exploration

- WSP, 2018 (TR-xx-18)

Composante du site minier

- Emprise du projet projetée

Hydrographie

Écoulement

- Intermittent partiellement souterrain
- Intermittent
- Permanent partiellement souterrain
- Permanent

Infrastructure

- Poste électrique
- Ligne de transport d'énergie
- Route nationale
- Route locale

Limite

- Limite du bail minier (MFQ)
- Limite de propriété (AMEM)
- Limite du modèle numérique



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Annexe / Modélisation hydrogéologique

Carte 4
Topographie et localisation des sondages -
Secteur Sud

Sources :
BDTQ, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1:50 000, RNCan, 2014
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, juillet 2018
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018
Orthophoto, résolution 10 cm, 2018

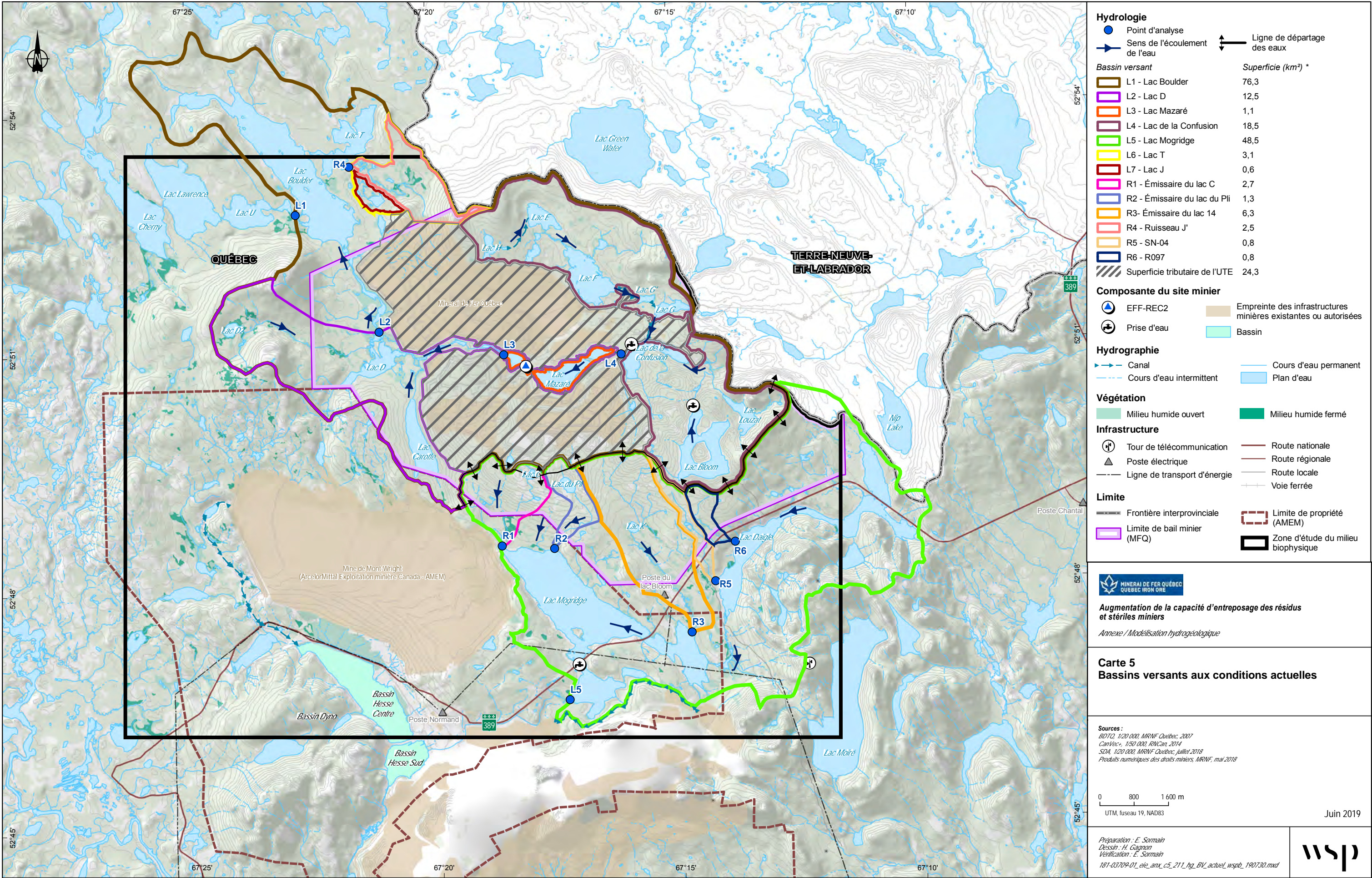
0 200 400 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Juin 2019

Préparation : P. Brunel
Dessin : J.-M. Tremblay
Vérification : A. Hamel
181-03709-01_ele_anx_cL_210_hg_sondagesS_wspb_190701.mxd



La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.



La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.

Tableau 4. Évaluation des précipitations efficaces de 1998 à 2007 (mm/an), pour station climatologique de Wabush

Mois	Précipitations mensuelles moyennes (mm)	Températures mensuelles moyennes (°C)	Évapotranspiration potentielle moyenne (mm)	Précipitations efficaces (mm)
Janvier	50	-21	0	50
Février	45	-20	0	45
Mars	62	-12	0	62
Avril	43	-4	0	43
Mai	55	5	54	1
Juin	98	11	95	3
Juillet	111	14	117	-6
Août	118	13	97	20
Septembre	100	8	59	40
Octobre	82	1	11	71
Novembre	82	-7	0	82
Décembre	49	-16	0	49
Annuel	896	-2	434	462

Les précipitations efficaces sont donc en moyenne de 462 mm/an. Parmi ces 462 mm, une partie va ruisseler en surface, une partie va être captée par les végétaux alors qu'une partie va s'infiltrer plus profondément et participer à la recharge. Le taux de ruissellement varie en fonction de la pente et du type de sol. Le coefficient de ruissellement a été estimé à partir des valeurs tirées du *Manuel de conception des ponceaux* du ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports (MTMDET 2017) ainsi que de celles tirées du *Manuel de calcul et de conception des ouvrages municipaux de gestion des eaux pluviales* du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC 2017). Les sols présents sur le site varient du type A à C. Ils sont de type A à B pour la digue de résidus miniers grossiers (digue Est) et les matériaux de remblai du secteur industriel, ainsi que de type B à C pour l'unité de till et pour le roc affleurant. La pente sur l'ensemble du site, quant à elle, varie de moins de 3 %, notamment dans les zones marécageuses, à plus de 8 % au niveau des sommets rocheux en périphérie du parc à résidus projeté. À partir de ces données, le coefficient de ruissellement varie entre 0,1 et 0,75, ce qui donne des valeurs de ruissellement allant de 90 à 672 mm/an.

Sur la base de cette méthode (Thornthwaite et Mather 1957), on peut estimer que la distribution spatiale de la recharge pourrait varier entre 50 et 373 mm/an. La calibration du modèle, présentée à la section 8.3, permettra de définir les valeurs des différentes zones de recharge.

Comme le sous-bassin versant du lac G couvre l'entièreté de l'empreinte du parc à résidus projeté, une estimation de l'ordre de grandeur du bilan hydrique a été calculée afin de valider les quantités de précipitations annuelles utilisées. Des valeurs de débits ont été relevées par GENIVAR au niveau de l'émissaire du lac G en juin et octobre 2012 dans le cadre de l'étude d'impact. Des valeurs de 0,13 et 0,22 m³/jour y ont été relevées. Considérant que la superficie du sous-bassin versant du lac G est de l'ordre de 9,88 km², les mesures de débits peuvent être converties en précipitations équivalentes de 415 et 702 mm/an sur cette superficie. Cette dernière valeur est vraisemblablement plus représentative, considérant que l'évapotranspiration est considérablement moindre en octobre.

Sur la base des données de précipitations et de débits, ainsi que de la topographie, du type de dépôts de surface et de la perméabilité de ceux-ci, nous estimons ainsi que la recharge imposée initialement au modèle

numérique d'écoulement variera de quelques millimètres par année (zones marécageuses, zones d'émergence) à environ 100 à 150 mm par année au niveau du till affleurant dans les hauts topographiques.

4.3 UNITÉS HYDROSTRATIGRAPHIQUES

Le contexte hydrogéologique régional du site du lac Bloom est défini par un socle rocheux généralement affleurant ou à faible profondeur, recouvert par des dépôts meubles d'origine glaciolacustre (till). Les cartes 6 et 7 présentent la répartition des dépôts de surface dans les secteurs Nord et Sud, ainsi que l'épaisseur totale des dépôts interceptée dans chacun des sondages répertoriés.

En surface, une mince couche de terre végétale ou de tourbe a été rencontrée dans certains sondages. L'épaisseur moyenne et médiane de cette couche est de 0,30 et 0,10 m. Considérant l'absence de cette couche dans plusieurs des sondages et sa faible épaisseur par rapport à l'échelle des sites investigués, il est vraisemblable que son impact soit négligeable sur le plan de la modélisation hydrogéologique. Cette couche n'est donc pas considérée dans la définition des unités hydrostratigraphiques.

Ainsi, trois unités hydrostratigraphiques principales ont été identifiées sur le site à l'étude suite à la compilation des données, soit à partir de la surface du sol :

- Unité 1 : un dépôt anthropique constitué de résidus grossiers (digue Est) ou de remblais (secteur industriel) – secteur Nord.
- Unité 2 : un dépôt granulaire d'origine glaciaire (till).
- Unité 3 : le socle rocheux (aquifère).

4.3.1 UNITÉ 1 (RÉSIDUS MINIERS - REMBLAIS)

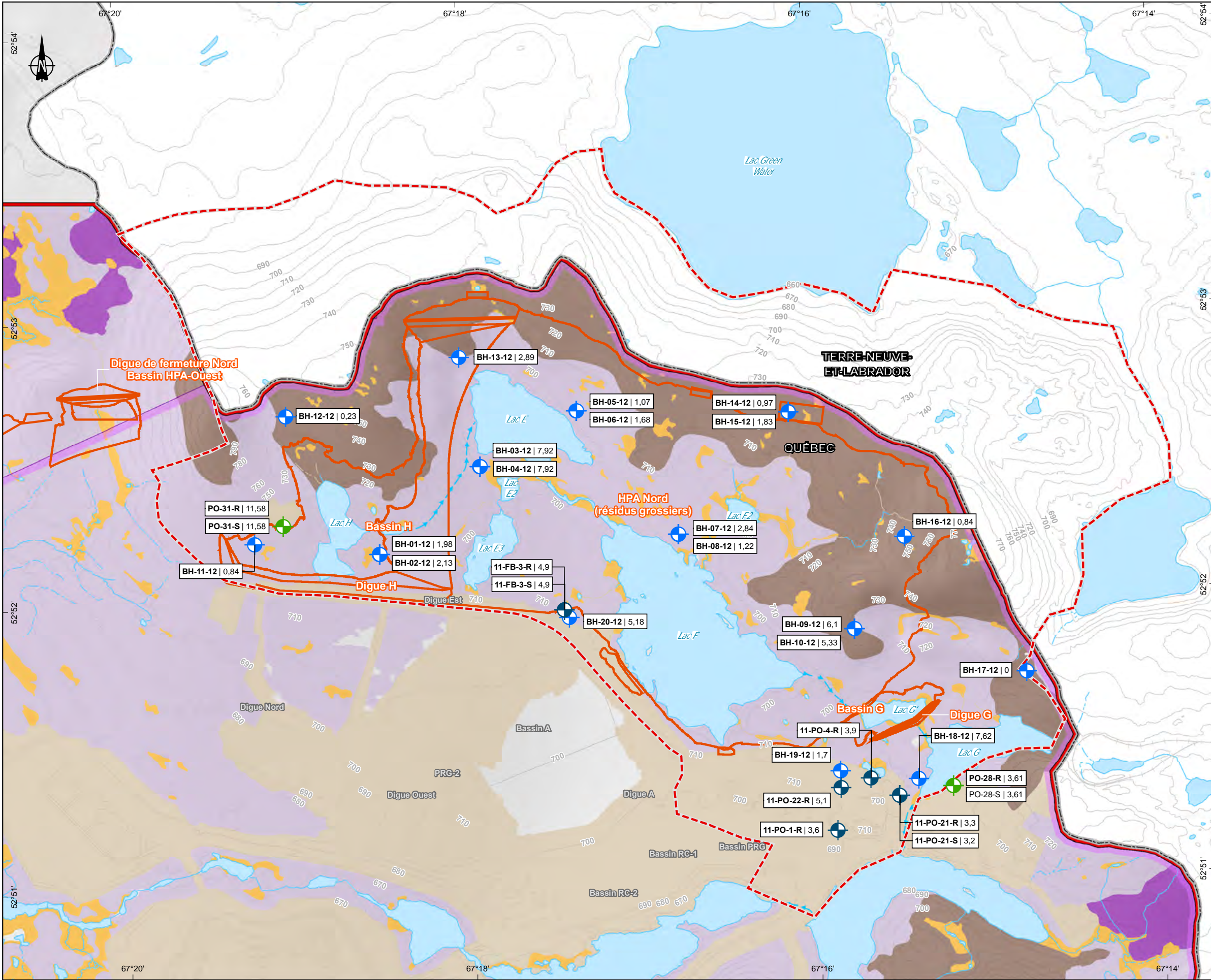
Cette unité anthropique n'est rencontrée que dans le secteur Nord, soit au niveau de la digue Est et au niveau de la zone industrielle au sud-est du parc à résidus projeté.

La digue Est est composée essentiellement de résidus miniers grossiers perméables, sans la présence d'un noyau. Selon les analyses de laboratoires réalisées par AMEC en 2013 sur des échantillons typiques de résidus grossiers, la granulométrie est celle d'un sable avec des traces à un peu de silt (AMEC février 2014).

Selon le rapport de conception produit par AMEC en 2012 (AMEC avril 2013), la digue devait être constituée de sable de résidus avec une protection amont contre l'érosion en enrochement, un drain de pied en aval de la digue et des pentes profilées en aval et en amont avec des inclinaisons de 2,5H : 1V. Selon le rapport d'étude géotechnique d'AMEC (AMEC juin 2012), la fondation des digues est généralement composée d'une couche de till reposant sur le socle rocheux, alors que la profondeur de la surface du roc varie de 0,5 à 6 m.

La source et l'épaisseur des matériaux de remblai présents au niveau de la zone industrielle au sud-est du parc à résidus projeté sont variables, étant vraisemblablement constituées de remblais granulaires ou de résidus grossiers. Les sondages de ce secteur ayant été réalisés avant que les travaux n'y aient été effectués, aucune donnée récente n'y est disponible. La granulométrie des dépôts est présumée être celle du sable avec des traces à un peu de silt et des proportions variables de gravier. En comparant la topographie actuelle de ce secteur avec celle antérieure aux travaux (GENIVAR 2013), l'épaisseur des remblais varie de nulle à près de 23 m au niveau du dépôt à l'est du secteur.

L'impact de ces incertitudes est relativement limité dans la mesure où cette zone est située en aval hydraulique du parc à résidus projeté. La différenciation des unités de la digue (résidus miniers grossiers) et des remblais a été réalisée dans le modèle.



Dépôt de surface

- Anthropique
- Roc et roc avec placages de till mince
- Till (2 à 6 m)
- Till (> 6 m)
- Tourbe mince

Sondage

PO-31-R | 1,00 — Épaisseur de dépôts meubles (m)
Nom du sondage

Puits d'observation

- GENIVAR, 2011 (11-PO-xx)
- AMEC, 2012 (BH-xx-12)
- WSP, 2014 (PO-xx)

Composante du site minier

- Emprise du projet projetée

Hydrographie

- Canal
- Intermittent partiellement souterrain
- Intermittent
- Permanent partiellement souterrain
- Permanent
- Plan d'eau

Limite

- Frontière interprovinciale
- Limite de bail minier (MFQ)
- Zone d'étude du milieu biophysique
- Zone phot-interprétée par WSP (2018)
- Limite du modèle numérique



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers
Annexe / Modélisation hydrogéologique

Carte 6
Géologie de surface – Dépôts meubles -
Secteur Nord

Sources :
BDTQ, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1:50 000, RNCAN, 2014
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, juillet 2018
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018
Dépôts de surface: Photo-interprétation WSP, 2018 et
1:50 000, Ministère de l'Énergie et des Ressources, 1983

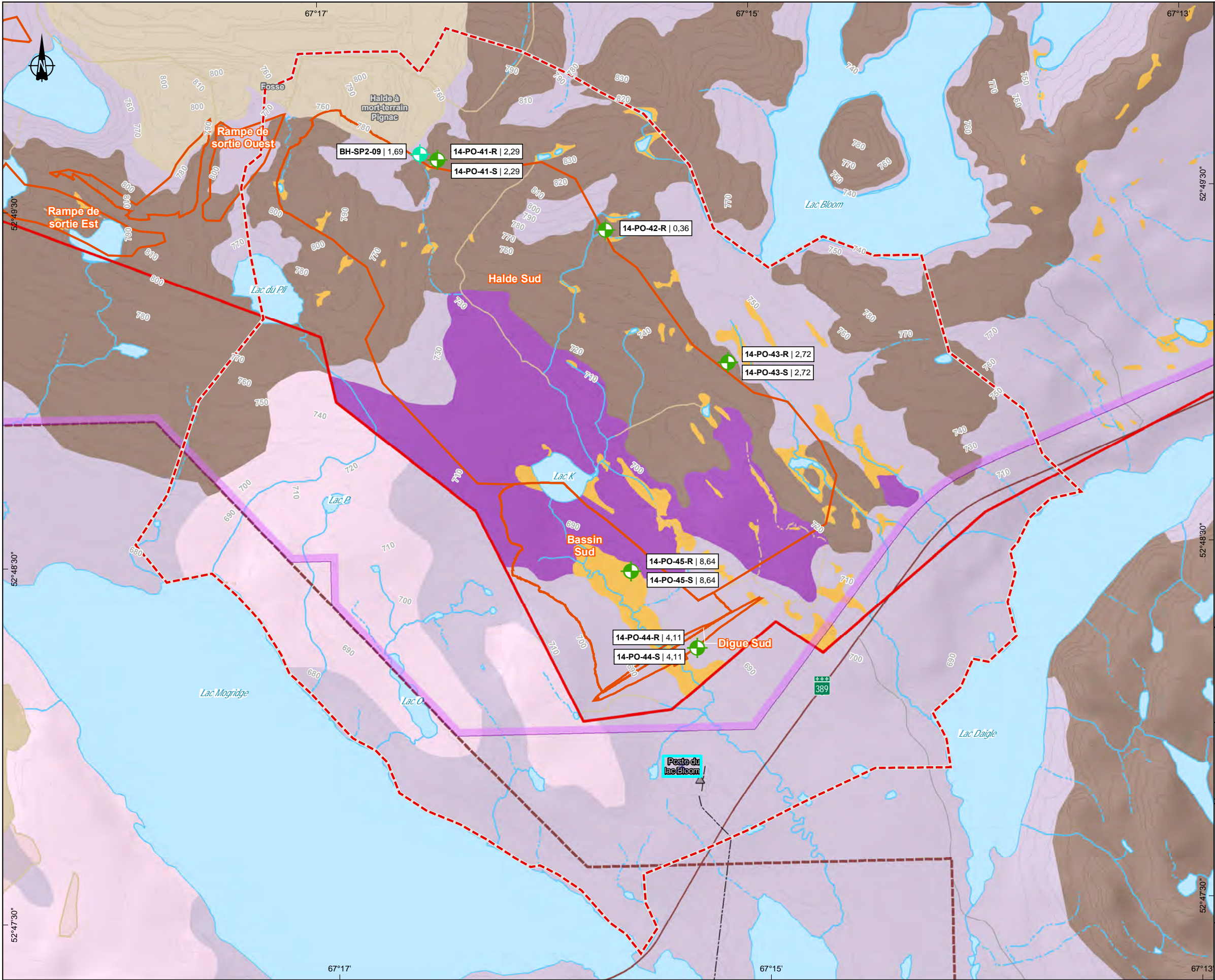
0 250 500 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Juin 2019

Préparation : P. Brunel
Dessin : J.-M. Tremblay
Vérification : A. Hamel
181-03709-01_ele_anx_c6_212_hg_depots_surftw_wspb_190701.mxd



La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.



Dépôt de surface

- Anthropique
- Roc et roc avec placages de till mince
- Till mince
- Till (2 à 6 m)
- Till (> 6 m)
- Tourbe mince

Sondage

PO-31-R | 1,00 — Épaisseur de dépôts meubles (m)
Nom du sondage

Puits d'observation

- Inspec-Sol, 2014
- WSP, 2014 (PO-xx)

Composante du site minier

- Empreinte des infrastructures minières projetées

Hydrographie

- Intermittent partiellement souterrain
- Intermittent
- Permanent partiellement souterrain
- Permanent
- Plan d'eau

Infrastructure

- Poste électrique
- Ligne de transport d'énergie
- Route nationale
- Route locale

Limite

- Limite du bail minier (MFQ)
- Limite de propriété (AMEM)
- Zone photointerprétée par WSP (2018)
- Limite du modèle numérique

MINÉRAI DE FER QUÉBEC
QUÉBEC IRON ORE

Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Annexe / Modélisation hydrogéologique

Carte 7
Géologie de surface – Dépôts meubles -
Secteur Sud

Sources :
BDTQ, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1:50 000, RNCan, 2014
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, juillet 2018
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018
Dépôts de surface: Photointerprétation WSP, 2018 et
1:50 000, Ministère de l'Énergie et des Ressources, 1983

0 200 400 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Jun 2019

Préparation : P. Brunet
Dessin : J.-M. Tremblay
Vérification : A. Hamel
151-03709-01_eie_anx_c7_213_hg_depoI_sursI_wspI_190701.mxd

La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.

L'impact de ces incertitudes est relativement limité dans la mesure où cette zone est située en aval hydraulique du parc à résidus projeté. La différenciation des unités de la digue (résidus miniers grossiers) et des remblais a été réalisée dans le modèle.

4.3.2 UNITÉ 2 (TILL)

Les dépôts meubles correspondent à un till de densité variable dont la composition granulométrique varie d'un sable graveleux et silteux à un silt sableux avec un peu de gravier. Des cailloux et blocs sont également présents. La compacité du till, qualifiée selon les valeurs « N » de l'essai de pénétration standard, varie en général de moyenne à dense, sauf près de la surface où la compacité peut être lâche. L'épaisseur des dépôts meubles varie, aux sites investigués, entre 0 et 11,6 m, pour une valeur moyenne de 3,9 m. L'unité hydrogéologique correspondant au till (épaisseur saturée) est discontinue et généralement d'épaisseur relativement faible.

4.3.3 UNITÉ 3 (ROC)

Le roc est constitué de différentes formations géologiques métamorphisées, notamment des schistes à biotite, du gneiss quartzofeldspathique et des amphibolites. L'indice de qualité du roc RQD (*rock quality designation*) est généralement supérieur à 80 % dans tous les forages réalisés. Seuls quelques forages présentent un RQD faible dans la portion supérieure du roc (les premiers mètres). Le roc saturé constitue une unité hydrogéologique, vraisemblablement en lien hydraulique avec le till considérant qu'il n'y a pas d'unité argileuse ou peu perméable entre les deux.

4.4 ÉLÉMENTS STRUCTURAUX

Selon les données disponibles sur le navigateur ministériel SIGÉOM du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN) (consulté en ligne le 26 avril 2019), le socle rocheux au niveau des secteurs à l'étude est situé dans la province de Grenville et fait partie de la formation de Katsao. Les roches métamorphiques sont essentiellement des gneiss de composition variable. Un pli synclinal traverse le secteur Sud au niveau de la halde à stériles projetée, soit le long de l'axe de la vallée (nord-ouest-sud-est). Dans le secteur Nord, un pli anticlinal recoupe l'extrémité ouest du parc à résidus projeté toujours selon un axe nord-ouest-sud-est. Toutefois, aucune présence de failles pouvant affecter de façon significative les écoulements n'est notée dans les secteurs à l'étude.

4.5 PIÉZOMÉTRIE

4.5.1 ÉLÉVATIONS PIÉZOMÉTRIQUES – SECTEUR NORD

Les élévations piézométriques de la nappe d'eau souterraine du secteur Nord sont présentées sur la carte 8. La topographie générale du site suggère que le ruissellement des eaux de surface s'effectue principalement des hauts topographiques au nord, à l'est et à l'ouest du parc projeté vers les différents lacs et cours d'eau présents sur le site. Le site même du parc à résidus projeté est relativement plat, avec une légère pente vers l'est et le sud-est. L'exutoire se situe à l'est du parc projeté au niveau du lac G', qui se déverse dans le lac G et enfin dans le lac de la Confusion. La présence de la digue Est située au sud du parc projeté agit vraisemblablement comme une barrière qui oriente l'écoulement essentiellement vers l'est. L'eau des précipitations sur les versants opposés des hauts topographiques qui ceinturent le parc s'écoule vers les lacs et cours d'eau situés en aval à l'ouest, au nord et à l'est.

En plus des nombreux lacs et cours d'eau situés sur le site et en périphérie du secteur Nord, les relevés de niveau d'eau réalisés entre 2011 et 2014 et en 2018 ont permis d'établir la direction d'écoulement de l'eau souterraine ainsi que les gradients hydrauliques.

La piézométrie a été interpolée à partir de la campagne de relevé des niveaux d'eau de novembre 2018 effectuée par WSP dans le cadre de cette étude ainsi qu'à partir des données piézométriques, relevées dans le cadre de campagnes antérieures lorsque les données étaient manquantes. La liste des valeurs piézométriques relevées antérieurement (ou valeurs moyennes antérieures) et celles relevées en 2018 sont présentées au tableau 5. Les écarts-types des relevés piézométriques sont également présentés, afin de souligner la variabilité relativement faible des mesures piézométriques. Cependant, trois puits présentent des écarts plus importants, soit 11-FB-3-R, 11-PO-1-R et PO-31-S. Au puits 11-FB-3-R, la valeur moyenne des mesures antérieures est très près de celle relevée en 2018, alors qu'au puits 11-PO-1-R, la tendance croissante des niveaux d'eau dans le temps explique cette variabilité; seule la mesure la plus récente a été retenue pour établir la piézométrie. Seul le puits PO-31-S présente un écart plus important (1,22 m), mais pas de façon à modifier la piézométrie générale du site.

Considérant la variabilité relativement faible des mesures piézométriques dans le temps, une seule carte piézométrique a été produite, intégrant les mesures relevées en 2018 ou la moyenne des mesures antérieures lorsque qu'aucun relevé n'est disponible en 2018.

Enfin, considérant la couverture de dépôts meubles (till) relativement faible sur l'ensemble du secteur, une seule carte piézométrique a été produite. En effet, malgré la présence de gradients verticaux entre le till et le roc, ceux-ci sont généralement faibles; la piézométrie de surface et celle du roc ne diffèrent pas significativement.

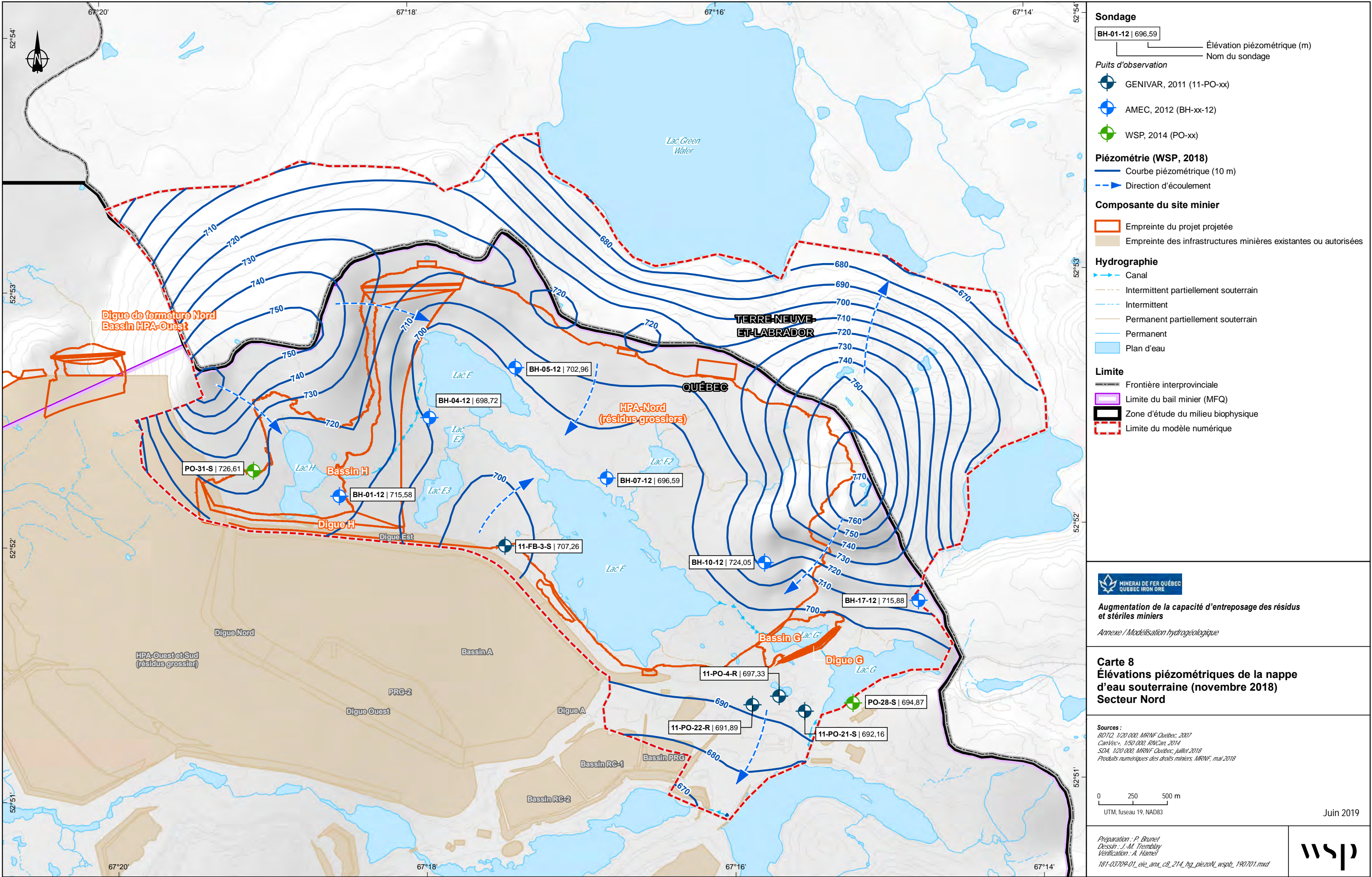
4.5.2 ÉLÉVATIONS PIÉZOMÉTRIQUES – SECTEUR SUD

La topographie générale du secteur Sud suggère que l'écoulement des eaux de surface s'effectue principalement des hauts topographiques au nord et à l'est vers le sud-ouest. Le site de la halde à stériles projetée est situé le long d'une petite vallée davantage enclavée au nord-ouest et qui s'aplanit vers le sud-est. L'exutoire se situe au sud-est du site, au niveau d'un cours d'eau qui se déverse dans la portion sud-est du lac Modridge. Une toute petite partie de l'eau de surface située à l'extrémité sud-est de la halde projetée se déverse par un cours d'eau dans le lac Daigle. Compte tenu de la topographie plus accidentée du secteur, les lacs sont un peu moins nombreux, mais surtout moins vastes au droit du site projeté.

Dans le cadre de la présente étude, la représentation des niveaux d'eau et de la piézométrie est basée sur les niveaux d'eau relevés en 2018 ou sur ceux relevés en 2014, lorsque les données en 2018 ne sont pas disponibles. De plus, le relevé piézométrique de 2014 d'un puits réalisé la même année par Inspec-Sol au nord du site (BH-SP-09-12) a été ajouté pour compléter la carte piézométrique. La liste des valeurs piézométriques relevées en 2014 et en 2018 est présentée au tableau 6. Les écarts des relevés piézométriques sont également présentés et sont généralement faibles, hormis pour les puits 14-PO-43-R et 14-PO-43-S dont le niveau a diminué d'environ 1 m en 2018.

Ainsi, une seule carte piézométrique a été produite, intégrant les mesures relevées en 2018 ou celles de 2014 lorsqu'aucun relevé n'est disponible en 2018. Les élévations piézométriques de la nappe d'eau souterraine du secteur Sud sont présentées sur la carte 9.

Encore une fois, considérant la couverture de dépôts meubles (till) relativement faible sur l'ensemble du secteur, une seule carte piézométrique a été produite. Compte tenu de la discontinuité du recouvrement de till et des épaisseurs généralement faibles, la piézométrie générale de surface et celle du roc ne devraient pas différer significativement.



La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.

Tableau 5. Liste des puits utilisés pour générer la carte piézométrique – Secteur Nord

Nom du sondage	Réalisé par	X (m) (UTM, 19)	Y (m) (UTM, 19)	Z sol (m)	Z mi-crêpine (m)	Prof. eau p/r au sol 2011-2014 (m)	Élévation piézométrique 2011-2014 (m)	Prof. eau p/r au sol WSP 2018 (m)	Élévation piézométrique WSP 2018 (m)	Écart-type (m)
BH-01-12	AMEC	613847,9	5859100,0	716,17	714,50	0,38	715,79	0,59	715,58	0,15
BH-02-12	AMEC	613850,9	5859100,0	716,20	708,88	0,91	715,29	1,27	714,93	0,26
BH-03-12	AMEC	614501,0	5859672,0	699,50	688,53	1,31	698,19	n. d.	n. d.	N/A
BH-04-12	AMEC	614504,0	5859672,0	699,50	693,41	0,73	698,77	0,78	698,72	0,04
BH-05-12	AMEC	615128,3	5860036,2	703,76	702,77	0,75	703,01	0,80	702,96	0,03
BH-06-12	AMEC	615131,3	5860036,2	703,76	698,12	0,59	703,17	0,76	703,00	0,12
BH-07-12	AMEC	615793,7	5859231,8	696,99	694,88	0,48	696,51	0,40	696,59	0,06
BH-08-12	AMEC	615796,7	5859231,8	697,05	692,86	0,44	696,61	0,34	696,71	0,07
BH-09-12	AMEC	616939,5	5858616,8	725,42	716,88	0,37	725,05	n. d.	n. d.	N/A
Bh-10-12	AMEC	616942,5	5858616,8	725,19	721,91	1,14	724,05	n. d.	n. d.	N/A
BH-17-12	AMEC	618063,4	5858341,0	716,68	713,78	0,80	715,88	n. d.	n. d.	N/A
11-FB-3-R	GENIVAR	615053,5	5858740,6	710,24	702,93	3,34	706,90¹	3,49	706,75	0,72
11-FB-3-S	GENIVAR	615054,1	5858739,1	710,22	707,48	2,89	707,33¹	2,96	707,26	0,13
11-PO-1-R	GENIVAR	616834,6	5857303,7	691,45	684,97	6,51 ² (7,35) ¹	684,93 ² (684,10) ¹	n. d.	n. d.	0,73
11-PO-4-R	GENIVAR	617048,9	5857645,5	699,55	693,68	2,16	697,39¹	n. d.	n. d.	0,23
11-PO-21-R	GENIVAR	617237,5	5857533,2	695,11	688,68	5,11	690,00¹	n. d.	n. d.	0,20
11-PO-21-S	GENIVAR	617235,9	5857533,3	695,09	692,96	2,93	692,16	n. d.	n. d.	N/A
11-PO-22-R	GENIVAR	616854,9	5857580,7	699,42	689,88	7,53	691,89¹	n. d.	n. d.	0,20
PO-28-R	WSP	617587,7	5857595,0	697,10	687,02	4,05	693,05	3,25	693,85	0,57
PO-28-S	WSP	617587,8	5857593,8	697,11	694,98	1,62	695,49	2,24	694,87	0,44
PO-31-R	WSP	613224,1	5859284,2	729,31	713,84	8,50	720,81	n. d.	n. d.	N/A
PO-31-S	WSP	613223,0	5859283,3	729,27	724,25	1,44	727,83	2,66	726,61	0,86

¹ Valeur moyenne de plusieurs relevés piézométriques antérieurs.

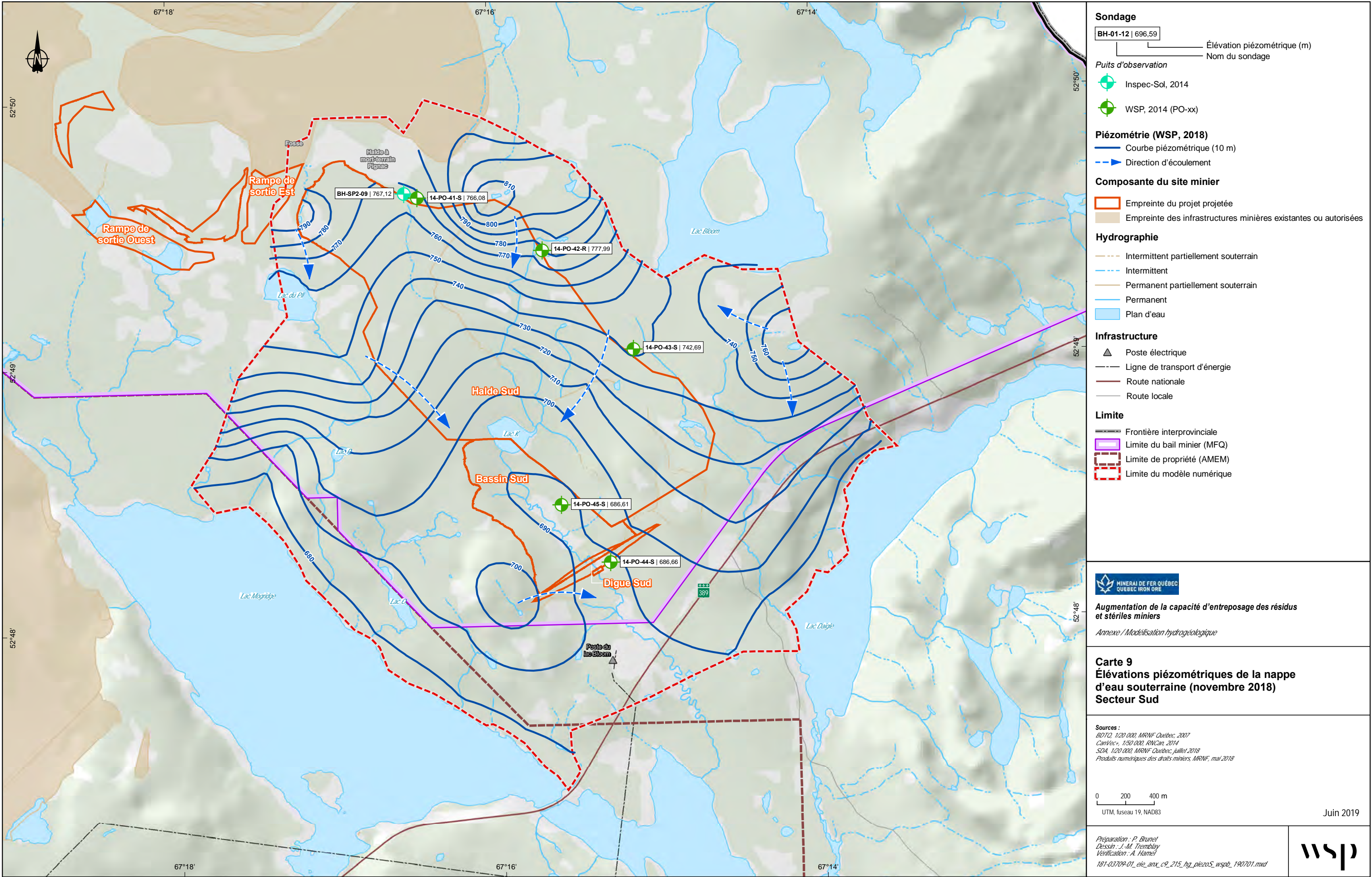
² Valeur plus récente utilisée, car tendance croissante dans le temps des élévations piézométriques relevées.

n. d. : non déterminé / N/A : non applicable

Tableau 6. Liste des puits utilisés pour générer la carte piézométrique – Secteur Sud

Nom du sondage	Réalisé par	X (m) (UTM, 19)	Y (m) (UTM, 19)	Z sol (m)	Z mi-crêpine (m)	Prof. eau p/r au sol 2011-2014 (m)	Élévation piézométrique 2011-2014 (m)	Prof. eau p/r au sol WSP 2018 (m)	Élévation piézométrique WSP 2018 (m)	Écart-type (m)
BH-SP2-09	Inspec-Sol	616176,6	5854450,8	767,41	766,19	0.29	767,12	n. d.	n. d.	N/A
14-PO-41-R	WSP	616266,7	5854422,3	766,38	750,98	1.02	765,36	n. d.	n. d.	N/A
14-PO-41-S	WSP	616268,4	5854421,9	766,51	763,67	0.31	766,20	n. d.	n. d.	N/A
14-PO-42-R	WSP	617143,8	5854057,0	780,99	772,16	2.81	778,18	3.00	777,99	0,19
14-PO-43-R	WSP	617782,1	5853369,2	744,44	728,99	2.11	742,33	3.02	741,42	0,91
14-PO-43-S	WSP	617781,6	5853368,4	744,42	741,79	0.55	743,87	1.73	742,69	1,18
14-PO-44-R	WSP	617623,6	5851879,0	686,80	678,34	0.31	686,49	0.43	686,37	0,12
14-PO-44-S	WSP	617622,1	5851879,5	686,73	684,75	-0.14 ¹	686,87	0.07	686,66	0,21
14-PO-45-R	WSP	617276,5	5852278,1	686,45	671,00	-0.62 ¹	687,07	n. d.	n. d.	N/A
14-PO-45-S	WSP	617278,6	5852279,5	686,68	682,29	0.07	686,61	n. d.	n. d.	N/A

n. d. : non déterminé / N/A : non applicable



La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.

4.5.3 GRADIENTS HYDRAULIQUES

GRADIENT HYDRAULIQUE HORIZONTAL

Les gradients hydrauliques correspondent à la différence de charge en fonction de la distance. Les gradients hydrauliques ont été estimés à partir des distances perpendiculaires entre deux isocontours de charges hydrauliques présentés sur les cartes 8 et 9, correspondant aux lignes d'écoulement de l'eau souterraine.

Dans le secteur Nord (carte 8), les gradients observés sont les plus faibles dans la portion centrale (du lac F jusqu'au lac G), soit d'aussi peu que 0,005 m/m vers l'est, alors qu'ils vont jusqu'à 0,085 m/m au niveau des hauts topographiques à l'est et à l'ouest du secteur.

Dans le secteur Sud (carte 9), les gradients observés sont les plus faibles au sud, soit d'aussi peu que 0,025 m/m vers le sud, alors qu'ils vont jusqu'à 0,125 m/m au niveau des hauts topographiques au nord du secteur.

GRADIENT HYDRAULIQUE VERTICAL

Sur certains sites, des puits ont été aménagés à la fois dans l'horizon de dépôts meubles et dans le roc. Il est donc possible de calculer des gradients verticaux pour ces sites, sur la base de données piézométriques relevées à la même période. Les résultats présentés au tableau 7 indiquent que pour 8 des 12 sites, un gradient hydraulique descendant est observé, soit des sols de surface vers le roc. Les quatre autres sites présentent des gradients verticaux ascendants. Là où des gradients ascendants sont observés, ces conditions laissent présumer que l'infiltration au roc dans ces secteurs est faible ou inexistante et que l'aquifère de roc est en condition captive ou semi-captive.

4.6 PROPRIÉTÉS HYDRAULIQUES DES MATÉRIAUX

Les propriétés hydrauliques des matériaux ont été déterminées pour chaque unité à partir des données disponibles dans les deux secteurs :

- Analyses granulométriques.
- Essais de perméabilité dans les puits.
- Conductivités hydrauliques provenant d'études antérieures.

Toutes ces analyses permettent de déterminer des paramètres, tels que la conductivité hydraulique, présentés dans les sections suivantes en fonction des différentes unités rencontrées.

4.6.1 CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE

4.6.1.1 ANALYSES GRANULOMÉTRIQUES

Lors de la réalisation de certains forages antérieurs et des tranchées en 2018, des échantillons ont été sélectionnés aux fins d'analyses granulométriques; les résultats de ces analyses sont présentés à l'annexe A. Les échantillons proviennent de l'unité de till à différentes profondeurs de prélèvement.

Tableau 7. Calcul des gradients verticaux

Sondage	Élévation du sol (z) (m)	Épaisseur des dépôts meubles (m)	Élévation du roc (m)	Élévation du fond du puits (m)	Profondeur du puits p/r au sol (m)	Profondeur du niveau d'eau p/r au sol (m)	Élévation piézométrique (2018, 2014 ou 2012)	Milieu crépine (m)	Delta H	Delta L	Gradient calculé (m/m)
BH-01-12	716,17	1,98	714,19	713,73	2,44	0,59	715,58	1,67	-0,65	5,62	-0,12 ↓
BH-02-12	716,20	2,13	714,07	705,07	11,13	1,27	714,93	7,32			
BH-03-12	699,50	7,92	691,58	687,01	12,50	1,31	698,19	10,97	-0,58	4,88	-0,12 ↓
BH-04-12	699,50	7,92	691,58	691,88	7,62	0,73	698,77	6,09			
BH-05-12	703,76	1,07	702,69	702,23	1,52	0,8	702,96	0,99	0,04	4,65	0,01 ↑
BH-06-12	703,76	1,68	702,08	695,83	7,92	0,76	703,00	5,64			
BH-07-12	696,99	2,84	694,15	694,15	2,84	0,4	696,59	2,11	0,12	2,02	0,06 ↑
BH-08-12	697,05	1,22	695,83	690,65	6,40	0,34	696,71	4,19			
BH-09-12	725,42	6,10	719,32	715,05	10,36	0,37	725,05	8,54	1,00	5,03	0,20 ↑
Bh-10-12	725,19	5,33	719,86	719,86	5,33	1,14	724,05	3,28			
11-FB-3-R	710,24	4,90	705,34	699,95	10,29	3,49	706,75	7,31	-0,51	4,55	-0,11 ↓
11-FB-3-S	710,22	4,57	N/A	705,65	4,57	2,96	707,26	2,74			
PO-28-R	697,1	3,61	693,49	683,04	14,06	3,25	693,85	10,08	-1,02	7,96	-0,13 ↓
PO-28-S	697,11	3,35	N/A	692,69	4,42	2,24	694,87	2,13			
PO-31-R	729,31	11,58	717,73	711,78	17,53	8,5	720,81	15,47	-7,02	10,41	-0,67 ↓
PO-31-S	729,27	9,14	N/A	720,13	9,14	1,44	727,83	5,02			
14-PO-41-R	766,38	4,88	761,50	742,58	23,80	1,02	765,36	15,40	-0,84	12,69	-0,07 ↓
14-PO-41-S	766,51	4,90	N/A	761,61	4,90	0,31	766,20	2,84			
14-PO-43-R	744,44	2,72	741,72	720,54	23,90	3,02	741,42	15,45	-1,27	12,8	-0,10 ↓
14-PO-43-S	744,42	4,30	N/A	740,12	4,30	1,73	742,69	2,63			
14-PO-44-R	686,8	4,11	682,69	675,50	11,30	0,43	686,37	8,46	-0,29	6,41	-0,05 ↓
14-PO-44-S	686,73	3,50	N/A	683,23	3,50	0,07	686,66	1,98			
14-PO-45-R	686,45	8,64	677,81	665,75	20,70	-0,621	687,07	15,45	0,46	11,29	0,04 ↑
14-PO-45-S	686,68	8,20	N/A	678,48	8,20	0,07	686,61	4,39			

N/A : non applicable

À la suite des analyses granulométriques, la conductivité hydraulique des échantillons analysés a été estimée à l'aide du logiciel HydrogeoSieveXL 2.1 (Devlin 2015, 2016). HydrogeoSieve permet d'estimer la conductivité hydraulique d'un échantillon à partir de sa courbe granulométrique en utilisant 15 équations suggérées dans la littérature. L'applicabilité de chacune des équations est d'abord vérifiée, puis les diamètres nécessaires aux calculs sont interpolés depuis la courbe granulométrique et, finalement, la moyenne géométrique des résultats de toutes les équations applicables est effectuée.

La conductivité hydraulique estimée à partir des analyses granulométriques pour chaque échantillon est présentée à l'annexe B. Les conductivités hydrauliques de l'unité de till varient entre $6,8 \times 10^{-7}$ et $1,0 \times 10^{-4}$ m/s, pour une valeur moyenne (géométrique) de $8,5 \times 10^{-6}$ m/s. Il est important de noter que l'écart observé entre les valeurs de cette unité estimées par les analyses granulométriques et celles calculées lors des essais à charge variable (section suivante) est dû à la nature et la compacité élevée des matériaux de till, laquelle n'est pas prise en compte avec cette méthode d'estimation.

4.6.1.2 ESSAIS DE PERMÉABILITÉ

Les essais de perméabilité à charge variable (« slug test ») permettent de déterminer la conductivité hydraulique des matériaux en place. Les essais de perméabilité ont été réalisés antérieurement sur 28 puits, soit sur 16 puits interceptant le roc, 11 puits interceptant les dépôts meubles (till) et 1 puits interceptant le till et le roc. Pour ce dernier, considérant que le till est généralement plus perméable que le roc, le résultat a été attribué à l'unité de till.

Les résultats des essais de perméabilité pour chacun des puits sont présentés à l'annexe 3 de l'étude d'impact (WSP 2019), tandis qu'un sommaire est présenté au tableau 8. Les cartes 10 et 11 présentent la distribution des résultats pour les deux secteurs. Ces résultats sont représentatifs des matériaux observés et illustrent la plage de variabilité attendue de la conductivité hydraulique pour ces deux unités stratigraphiques.

Les conductivités hydrauliques du till varient de $2,7 \times 10^{-7}$ m/s à $1,9 \times 10^{-5}$ m/s pour une valeur moyenne de $1,8 \times 10^{-6}$ m/s, avec une variation observée sur un peu moins de deux ordres de grandeur. Les conductivités hydrauliques dans le roc varient entre $4,8 \times 10^{-10}$ m/s et $3,8 \times 10^{-4}$ m/s, pour une valeur moyenne de $7,3 \times 10^{-7}$ m/s pour le massif rocheux en général. Les valeurs de conductivité hydraulique mesurées pour le roc varient sur près de six ordres de grandeur, en raison du degré de fracturation très variable du roc et de l'aspect aléatoire dans l'interception de fractures dites « productives » par les sondages. Par exemple, la valeur de perméabilité la plus faible ($4,8 \times 10^{-10}$ m/s) est observée dans un puits qui n'est crépiné que sur 5 m dans le roc.

Tableau 8. Résultats des essais de perméabilité

Lithologie	Nombre de puits testés	Conductivité hydraulique (m/s)		
		Minimum	Maximum	Moyenne géométrique
Till (sable, silt, gravier, cailloux)	12	$2,7 \times 10^{-7}$	$1,9 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-6}$
Roc	16	$4,8 \times 10^{-10}$	$3,8 \times 10^{-4}$	$7,3 \times 10^{-7}$

Par ailleurs, il est généralement admis que la conductivité hydraulique du roc diminue selon une tendance exponentielle avec la profondeur, notamment en raison de l'ouverture des fractures qui diminue avec l'augmentation du poids du roc et des sols sus-jacents.

4.6.1.3 SOMMAIRE DES CONDUCTIVITÉS HYDRAULIQUES

Le tableau 9 présente la compilation des données de conductivité hydraulique par type d'unité déterminée pour la modélisation.

Pour les résidus miniers composant la digue Est, les valeurs de conductivité hydraulique sont tirées des essais de perméabilité réalisés en laboratoire par AMEC (AMEC février 2014). La valeur de conductivité hydraulique attribuée pour les remblais (au sud-est du secteur Nord) correspond à la perméabilité typiquement observée pour ce type de matériaux, soit de l'ordre de 1×10^{-5} m/s. Enfin, considérant la réduction exponentielle de perméabilité du roc avec la profondeur, l'unité de roc a été subdivisée en deux sous-unités. La valeur moyenne des essais de perméabilité dans le roc a été attribuée au roc dit « superficiel », auquel une épaisseur arbitraire de 10 m a été donnée. Pour le roc sous-jacent dit « profond », une valeur de conductivité hydraulique de près de deux ordres de grandeur a été attribuée, soit de 5×10^{-9} m/s.

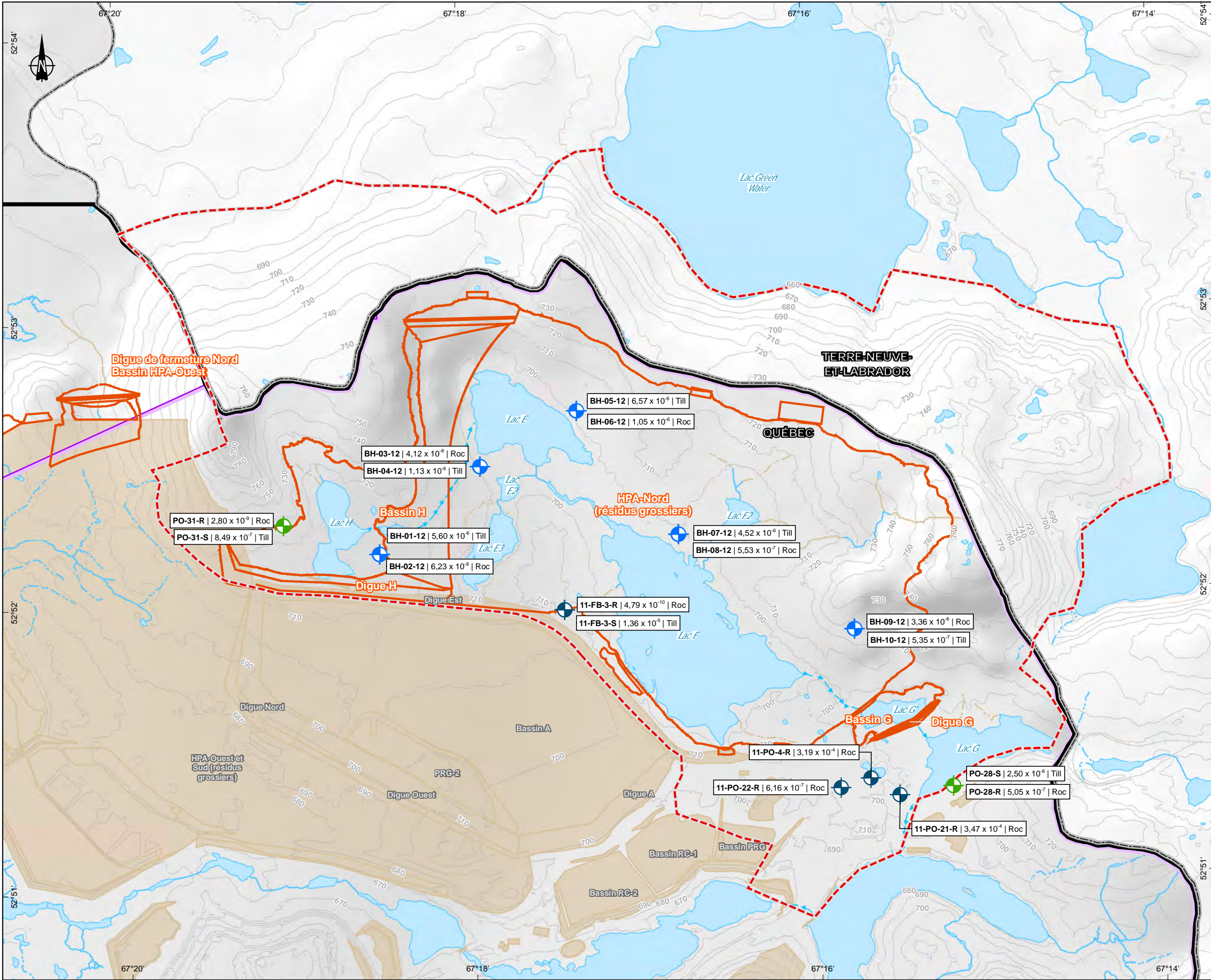
Tableau 9. Compilation des données de conductivités hydrauliques (m/s)

N° d'unité	Type d'unité	Épaisseur (m)	Sommaire des conductivités hydrauliques (m/s)		
			Minimum	Maximum	Moyenne
1	Résidus miniers - Digue Est	Variable	$1,06 \times 10^{-5}$	$2,25 \times 10^{-5}$	$1,37 \times 10^{-5}$
	Matériaux de remblai - Secteur Sud-Est	0-23	-	-	$1,0 \times 10^{-5}$
2	Till ¹	0-12	$2,7 \times 10^{-7}$	$1,9 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-6}$
3	Roc superficiel	10	$4,8 \times 10^{-10}$	$3,8 \times 10^{-4}$	$7,3 \times 10^{-7}$
	Roc plus profond	> 10	-	-	$5,0 \times 10^{-9}$

¹ Cette unité regroupe les dépôts de tourbe ou de terre végétale, aux fins de simplification pour la modélisation.

Par ailleurs, la partie de la digue Est située au sud du lac H devra être rehaussée jusqu'à l'élévation finale de 729,5 m et prolongée afin de contenir les eaux du bassin H projeté (dite « digue H »). Les matériaux utilisés pour le rehaussement et la prolongation de cette digue sont des résidus miniers grossiers, dont la conductivité hydraulique saturée est estimée à 1×10^{-5} m/s. Cette digue ne possédera pas de noyau ni de membrane imperméabilisante. Une digue devra également être construite jusqu'à l'élévation finale de 701,0 m pour contenir les eaux du bassin projeté au droit du lac G' (digue G). Cette digue sera construite avec des matériaux de résidus miniers grossiers (1×10^{-5} m/s) ainsi qu'avec un noyau constitué de till compacté, dont la conductivité hydraulique est estimée à 1×10^{-7} m/s sur la base de résultats d'essais de perméabilité réalisés en cellule triaxiale (réf. Rapport à venir 2019 Énergie WSP).

Dans le secteur Sud, une digue sera construite au sud du bassin projeté adjacent au lac K et au sud de la halde à stériles projetée (digue Sud). Cette digue possédera un noyau de till compacté dont la conductivité hydraulique est estimée à 1×10^{-7} m/s. Les matériaux de remblais utilisés pour cette digue seront des résidus miniers grossiers ou des matériaux granulaires naturels dont la conductivité hydraulique est estimée à 1×10^{-5} m/s.



Sondage

BH-01-12 5,60 x 10 ⁻⁶ Till	Unité
	Conductivité hydraulique (m/s)
	Nom du sondage

Puits d'observation

- GENIVAR, 2011 (11-PO-xx)
- AMEC, 2012 (BH-xx-12)
- WSP, 2014 (PO-xx)

Composante du site minier

- Emprise du projet projetée
- Emprise des infrastructures minières existantes ou autorisées

Hydrographie

- Canal
- Intermittent partiellement souterrain
- Intermittent
- Permanent partiellement souterrain
- Permanent
- Plan d'eau

Limite

- Frontière interprovinciale
- Limite du bail minier (MFG)
- Zone d'étude du milieu biophysique
- Limite du modèle numérique



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers
Annexe / Modélisation hydrogéologique

Carte 10
Résultats d'essais de perméabilité -
Secteur Nord

Sources :
BDTQ, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1:50 000, RNCAN, 2014
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, juillet 2018
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018

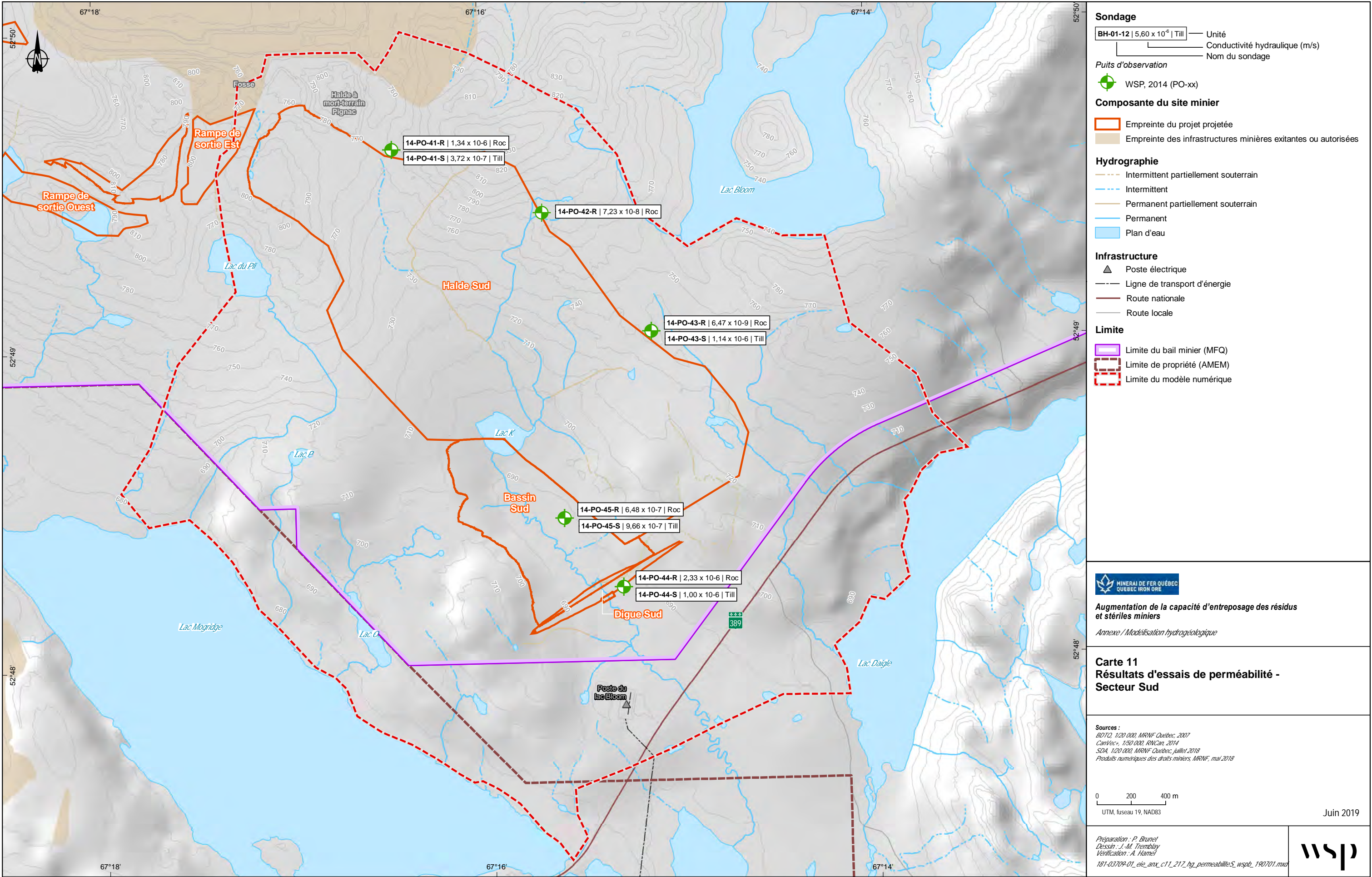
0 250 500 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Juin 2019

Préparation : P. Brunel
Dessin : V. Verne
Vérification : A. Hamel
181-03709-01_ele_anx_c10_216_hg_perméabilitéN_wspb_190701.mxd



La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.



La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.

5 CONSTRUCTION DES MODÈLES D'ÉCOULEMENT

5.1 ÉTENDUE DU DOMAINE ET CONSTRUCTION DU MAILLAGE

5.1.1 ÉTENDUE DU DOMAINE

La carte 12 et la figure 1 présentent la délimitation des zones modélisées pour les secteurs Nord et Sud. Ces limites tiennent compte des bassins versants, des plans d'eau, des cours d'eau et zones d'émergence à proximité des sites. Pour la modélisation du secteur Nord, l'étendue du domaine se rend jusqu'aux limites des lacs Mazaré (partie est), de la Confusion, G et Green Water. La limite sud du modèle correspond à la crête de l'actuelle digue Est.

Pour la modélisation en coupe du secteur Sud, le tracé du modèle a été défini suivant l'axe d'écoulement principal orienté généralement nord-nord-ouest/sud-sud-est. Le domaine préliminaire s'étend jusqu'aux lacs Bloom, Daigle, Mogridge et du Pli, ainsi qu'à la limite de la halde à mort-terrain au nord.

5.1.2 DISCRÉTISATION DU MAILLAGE

SECTEUR NORD

Les dimensions du modèle en trois dimensions du secteur Nord sont approximativement de 3 km dans l'axe nord-sud par 6 km dans l'axe est-ouest, avec une épaisseur totale variant de près de 153 à 300 m. Le centroïde du modèle est situé aux coordonnées 342 900 Est et 5 348 150 Nord (MTM, fuseau 10, NAD83). Le site modélisé couvre une superficie de près de 18,4 km² discrétisée horizontalement via un maillage triangulaire de 602 800 éléments et 318 006 nœuds. Cette triangulation irrégulière s'appuie sur l'ensemble des points où une information est disponible. Ainsi, le maillage est affiné au niveau des digues existantes et projetées, du parc à résidus projeté, des cours d'eau, des fossés/drains et des puits d'observation.

SECTEUR SUD

La longueur du modèle en coupe (deux dimensions) du secteur Sud est d'approximativement de 4,5 km suivant essentiellement l'axe nord-sud. La coupe traverse la halde à stériles et son plateau le plus élevé (920 m), tout en suivant globalement un axe d'écoulement déterminé sur la base de modélisations préliminaires en trois dimensions. La coupe rejoint le bassin de la halde à mort-terrain au nord, alors qu'au sud elle traverse le bassin Sud et la digue Sud pour rejoindre une zone marécageuse située au sud du site. La coupe est discrétisée via un maillage trapézoïdal de 10 200 éléments et 10 571 nœuds. Ce maillage irrégulier s'appuie sur certains points adjacents à la ligne d'écoulement où une information est disponible. Ainsi, le maillage est affiné au niveau de la digue Sud projetée et intercepte la halde à stériles projetée, des cours d'eau et des fossés projetés.

5.1.3 DÉFINITION DES DIFFÉRENTES COUCHES DES MODÈLES

Tant pour les modèles réalisés aux secteurs Nord (tridimensionnel) et Sud (bidimensionnel – coupe), la topographie du site a été implémentée grâce aux données topographiques disponibles pour le site, ajustées avec les données d'arpentage des forages au besoin. La discrétisation verticale des différents horizons est reproduite par l'interpolation de couches correspondant aux diverses unités définies dans le modèle conceptuel. Les

couches du modèle tridimensionnel sont donc constituées d'éléments sous forme de prismes à base triangulaire, alors que les couches du modèle bidimensionnel sont constituées d'éléments trapézoïdaux. Le tableau 10 présente le nombre de couches définies pour chaque unité stratigraphique.

Il est important de rappeler que la modélisation du secteur Nord a été réalisée en deux étapes, soit la représentation des conditions actuelles (afin de permettre la calibration des paramètres de modélisation) puis la modélisation des conditions finales projetées du parc à résidus.

Tableau 10. Nombre de couches définies par unité hydrostratigraphique dans les modèles numériques

Unité	Nombre de couches		
	Secteur Nord		Secteur Sud
	Conditions actuelles	Conditions futures	Conditions futures
Digues - Remblais	4	8 ¹	8 ¹
Aires d'accumulation	-	8 ¹	8 ¹
Till	5	5	5
Roc superficiel	6	6	6
Roc profond	10	10	10

¹ Les mêmes couches ont été utilisées pour la représentation des aires d'accumulation, les digues adjacentes et les matériaux de remblais.

5.2 CONDITIONS LIMITES

Les conditions limites définissent les entrées et les sorties d'eau imposées au système. Elles permettent d'intégrer les relations existantes entre le système aquifère modélisé et les réseaux hydrographiques ou aquifères adjacents au système étudié. Ces relations peuvent être simulées par l'implémentation de conditions de charges hydrauliques et de flux connus ou supposés. Le choix des conditions aux limites est une étape importante de la modélisation puisqu'elles peuvent influencer considérablement les modalités d'écoulement du système.

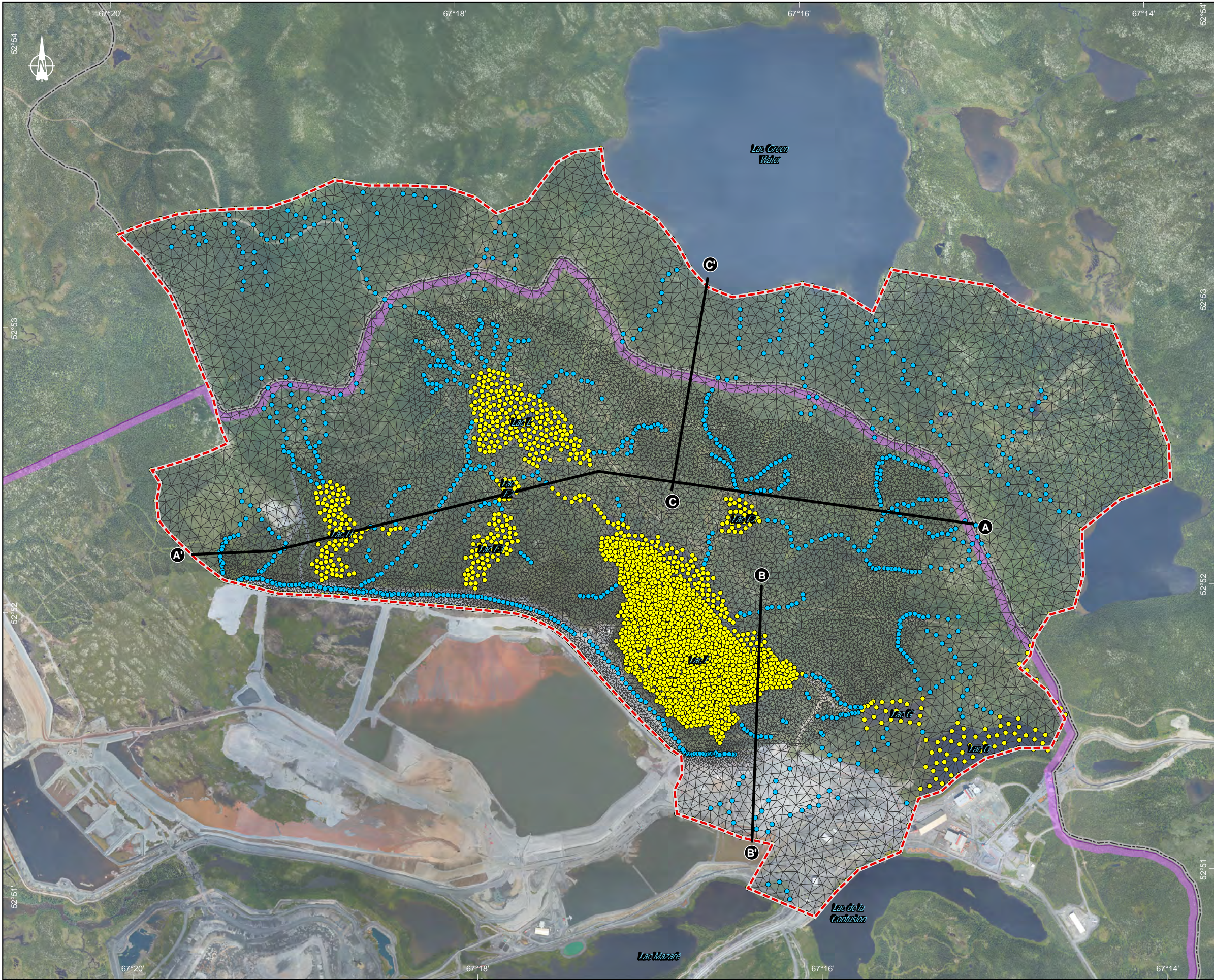
Les conditions limites des modèles numériques ont été attribuées selon le réseau hydrologique des domaines d'étude. La carte 12 présente les vues en plan des conditions limites appliquées sur la couche supérieure du modèle nord, alors que la figure 1 présente la vue en coupe des conditions limites du modèle bidimensionnel du secteur Sud.

5.2.1 CONDITIONS LIMITES EXTERNES

Les conditions limites externes ont été appliquées sur la couche supérieure et les couches subséquentes.

5.2.1.1 TYPE CHARGE CONSTANTE

Une condition limite de charge hydraulique constante impose une charge hydraulique à un nœud prédéfini. Au lieu de calculer la charge hydraulique durant une simulation, la charge hydraulique est imposée par la valeur de la condition aux limites. Cela peut conduire à une entrée d'eau dans le modèle lorsque les nœuds voisins ont un potentiel plus bas, ou à une sortie du modèle lorsqu'il existe un gradient des nœuds voisins vers la condition aux limites. Une charge hydraulique est imposée dans les cas où le potentiel hydraulique est déjà connu (lac, cours d'eau).



- Condition limite de surface**
- Condition limite de charges imposées
 - Condition limite de source imposée
- Coupe**
- Coupe
- Maillage**
- Maillage
- Limite**
- Frontière interprovinciale
 - Limite du bail minier (MFQ)
 - Limite du modèle numérique



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers
Annexe / Modélisation hydrogéologique

Carte 12
Maillage du modèle numérique et
conditions limites appliquées en surface
Conditions actuelles
Secteur Nord

Sources :
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, juillet 2018
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018
Orthophoto, résolution 20 cm, 2018

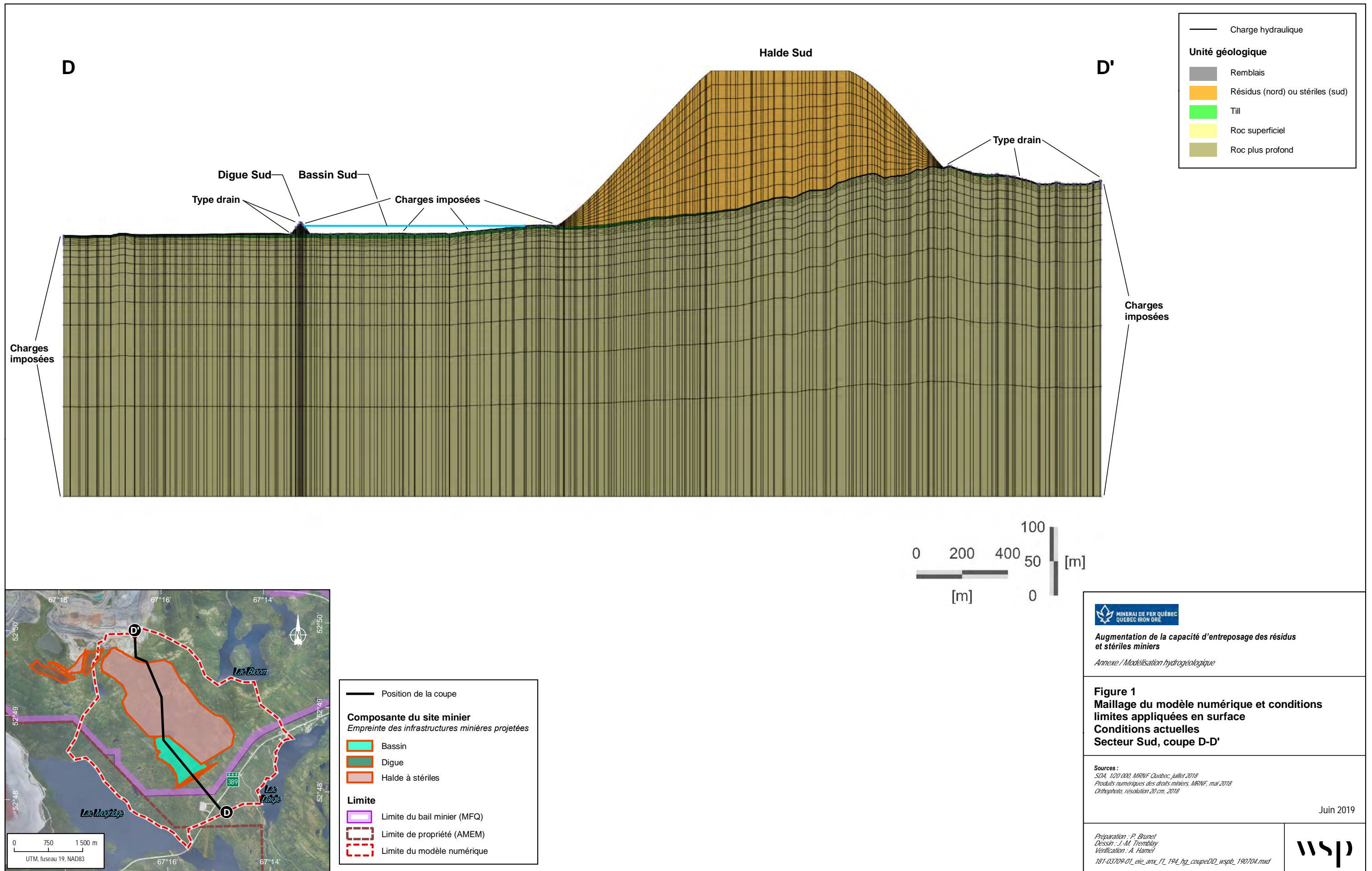
0 250 500 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Juin 2019

Préparation : P. Brunel
Dessin : J.-M. Tremblay
Vérification : A. Hamel
181-03709-01_ele_anx_c12_193_hg_maillage_nord_wspb_190701.mxd



La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.



SECTEUR NORD

Des charges constantes égales à l'élévation des lacs (tableau 3) ont été appliquées aux nœuds en périphérie des lacs Mazaré, de la Confusion, G, « Est » et Green Water, qui se retrouvent aux limites externes du modèle. Des charges constantes ont également été imposées le long de la digue Est, correspondant au niveau d'eau présent dans le parc à résidus actuel. Pour la portion ouest de la digue, les niveaux d'eau ont été interpolés sur la base des élévations où de l'eau est visible à la surface au sud (et à proximité) de la digue Est.

Par ailleurs, des charges constantes égales à l'élévation du sol, auxquelles a été soustraite une valeur de 0,5 m, ont été appliquées à tous les nœuds correspondant aux cours d'eau se trouvant aux limites du modèle nord, la plupart d'entre eux étant des ruisseaux ou des zones marécageuses.

Ces charges constantes ont été imposées sur toute l'épaisseur du modèle.

SECTEUR SUD

Pour le modèle en coupe du secteur Sud et orienté selon l'axe nord-sud, une charge constante égale à l'élévation du bassin situé à l'est de la halde à mort-terrain a été appliquée à l'extrémité nord du modèle. Au niveau de la limite sud du modèle nord-sud, une charge constante correspondant à l'élévation d'un étang situé dans une zone marécageuse y a été attribuée.

Ces charges constantes ont été imposées sur toute l'épaisseur du modèle.

5.2.1.2 TYPE FLUX

SECTEUR NORD

FEFLOW attribue par défaut un flux nul à toute cellule se trouvant aux limites du domaine. Considérant que les limites sud, est et nord du modèle nord ont été établies par la présence de cours d'eau ou d'un lac, une charge constante a été imposée aux nœuds de ces limites plutôt qu'un flux nul. Pour une partie de la limite ouest, les conditions limites ont été imposées le long de lignes d'écoulement estimées. Dans ce cas, une limite de flux nul a été imposée plutôt qu'une charge hydraulique, en l'absence de cours d'eau.

Aucune condition limite externe de type flux nul n'a été imposée au niveau des modèles bidimensionnels du secteur Sud.

5.2.2 CONDITIONS LIMITES INTERNES

Les conditions limites internes ont été appliquées sur la couche supérieure seulement.

5.2.2.1 TYPE CHARGE CONSTANTE

SECTEUR NORD

Des charges constantes égales à l'élévation du niveau d'eau des lacs (tableau 3) ont été appliquées aux nœuds situés au droit des lacs E1, E2, E3, F1, F2, G, G' et H, qui se retrouvent à l'intérieur du modèle numérique.

SECTEUR SUD

Des charges constantes égales à l'élévation maximale projetée du bassin d'eau de procédé, soit le bassin Sud (697,6 m), ont été appliquées aux nœuds situés au droit de celui-ci, qui se retrouve à l'intérieur du modèle en coupe orienté selon l'axe nord-sud.

5.2.2.2 TYPE DRAIN

Des charges constantes de type drain ont été utilisées pour représenter les cours d'eau de surface, les fossés, les drains en pied de digue et les zones d'émergence d'eau (tourbières) à l'intérieur des domaines. Ces types de frontières permettent de simuler les sorties d'eau du système hydrogéologique.

Les élévations des nœuds de type drain au niveau des zones d'émergence ont été estimées en se basant sur la topographie et correspondent à l'élévation de la couche n° 1. Pour les cours d'eau, la charge correspond à l'élévation de la couche n° 1 à laquelle a été soustraite une valeur de 0,5 m. Ceci permet de simuler le surcreusement qui n'est pas représenté au niveau de la topographie, considérant l'échelle et la résolution du modèle numérique d'écoulement.

Afin de représenter les fossés ou drains qui seront aménagés au pourtour du parc à résidus, de la halde à stériles et au pied des digues, des charges constantes de type drain ont été appliquées aux nœuds correspondants. Une contrainte est appliquée en ces nœuds de telle sorte que l'eau souterraine puisse sortir du modèle lorsque le niveau d'eau atteint la base prévue des fossés ou drains, soit approximativement 1,5 m sous la surface du terrain naturel.

6 CALIBRATION DU MODÈLE D'ÉCOULEMENT 3D – SECTEUR NORD

6.1 OBJECTIFS DE CALIBRATION

L'objectif de la calibration du modèle d'écoulement est d'ajuster les conditions et paramètres du modèle numérique du secteur Nord afin qu'il permette de représenter adéquatement les niveaux d'eau souterraine observés dans les puits.

Aux fins de simplification des travaux de terrain et de construction du modèle numérique, les conditions de l'eau souterraine observées et induites sont considérées comme étant statiques, même si une fluctuation naturelle de l'élévation de l'eau souterraine se produit en raison des conditions climatiques saisonnières. Par conséquent, la calibration du modèle a été réalisée en présumant que les élévations piézométriques mesurées sont représentatives du niveau statique moyen de l'eau souterraine.

6.2 MÉTHODOLOGIE DE CALIBRATION

La calibration du modèle a été effectuée en utilisant une approche itérative où les paramètres d'entrée étaient modifiés de façon automatique puis manuellement, et où les statistiques de calibration étaient évaluées et optimisées. Les valeurs de conductivité hydraulique des unités hydrostratigraphiques et les valeurs de recharge furent les principaux paramètres du modèle ajustés pendant le processus de calibration, bien que les conditions aux limites internes aient également été ajustées.

Une comparaison des élévations simulées de l'eau souterraine avec les élévations mesurées disponibles a été effectuée. L'évaluation des statistiques de calibration de la piézométrie prend en considération plusieurs composantes incluant : les valeurs résiduelles maximales et minimales, la moyenne résiduelle, la moyenne résiduelle absolue, la racine de l'erreur quadratique moyenne et la racine de l'erreur quadratique moyenne (à l'échelle ou normalisé RMS [NRMS]). Les résidus sont calculés comme la différence entre les élévations simulées et observées de l'eau souterraine. Les valeurs cibles communément visées pour le NRMS sont inférieures ou égales à 10 %.

6.3 RÉSULTATS DE LA CALIBRATION

6.3.1 CHARGES HYDRAULIQUES

La valeur d'élévation piézométrique mesurée à chaque puits a été comparée avec la valeur de charge hydraulique calculée au centre de la crépine d'un puits fictif situé à la même position dans le modèle numérique. Le tableau 11 présente les valeurs de charges hydrauliques observées et simulées pour chacun des 13 puits utilisés pour la calibration.

Les statistiques de calibration présentées au tableau 12 montrent que la calibration du modèle se trouve à l'intérieur de la plage de NRMS acceptée par l'industrie, soit à 4,2 % (inférieure à 10 %). La figure 2 montre que la calibration des charges hydrauliques, soit les charges mesurées aux puits par rapport aux charges simulées par le modèle numérique. Il est à noter que les niveaux d'eau antérieurs des puits situés dans le

secteur de remblais au sud-est ne font pas partie des statistiques de calibration, considérant la variation significative de la topographie du secteur depuis la prise des derniers niveaux d'eau et la variabilité importante des niveaux d'eau simulés dans ce secteur. Tel que mentionné, ce secteur a peu d'influence sur le régime d'écoulement du site, considérant sa localisation en aval hydraulique de la zone d'intérêt.

Tableau 11. Calibration des charges hydrauliques – Secteur Nord

Sondage	Unité crépinée	Élévation du centre de la crépine (m)	Élévation piézométrique observée (m)	Élévation piézométrique simulée (m)	Différence (m)
BH-01-12	Till	714,50	715,58	715,37	0,21
BH-02-12	Roc	708,88	714,93	715,37	-0,44
BH-03-12	Roc	688,53	698,19	698,27	-0,08
BH-04-12	Till	693,41	698,72	698,15	0,57
BH-05-12	Till (et roc)	702,77	702,96	702,35	0,61
BH-06-12	Roc	698,12	703,00	702,50	0,50
BH-07-12	Till	694,88	696,59	696,70	-0,11
BH-08-12	Roc	692,86	696,71	696,71	0,00
BH-09-12	Roc	716,88	725,05	722,92	2,13
Bh-10-12	Till	721,91	724,05	722,93	1,12
11-FB-3-R	Roc	702,93	706,75	706,78	-0,03
11-FB-3-S	Till	707,48	707,26	706,76	0,50
PO-31-S	Till	724,25	726,61	722,95	3,66

Tous les points se situent à l'intérieur des objectifs de calibration. Le puits PO-31-S présente la plus grande différence, avec un écart de 3,66 m. Il s'agit toutefois d'un puits dont les données sont incertaines. À cet endroit, le puits au roc PO-31-R n'a pas été retrouvé lors des travaux de novembre 2018; le niveau d'eau mesuré en 2012 était de 720,81 m. La valeur simulée au puits PO-31-S (722,95 m) est intermédiaire entre la valeur de 2012 au roc et celle mesurée en surface en 2018.

Tableau 12. Statistiques de calibration (charges hydrauliques)

Mesure statistique	Unité	Résultat du modèle calibré
Nombre de points d'observation		13
Résidu maximum	m	3,66
Résidu minimum	m	-0,44
Somme des résidus	m	8,65
Somme des résidus absolus	m	9,96
Moyenne des résidus	m	0,67
Moyenne absolue des résidus	m	0,77
Somme des résidus au carré	m ²	20,68
Écart-type des résidus ou RMSE (<i>root mean square of errors</i>)	m	1,26
Plage des charges hydrauliques observées	m	30,02
Racine de l'erreur quadratique moyenne à l'échelle (<i>Normalized RMS</i>)	%	4,20

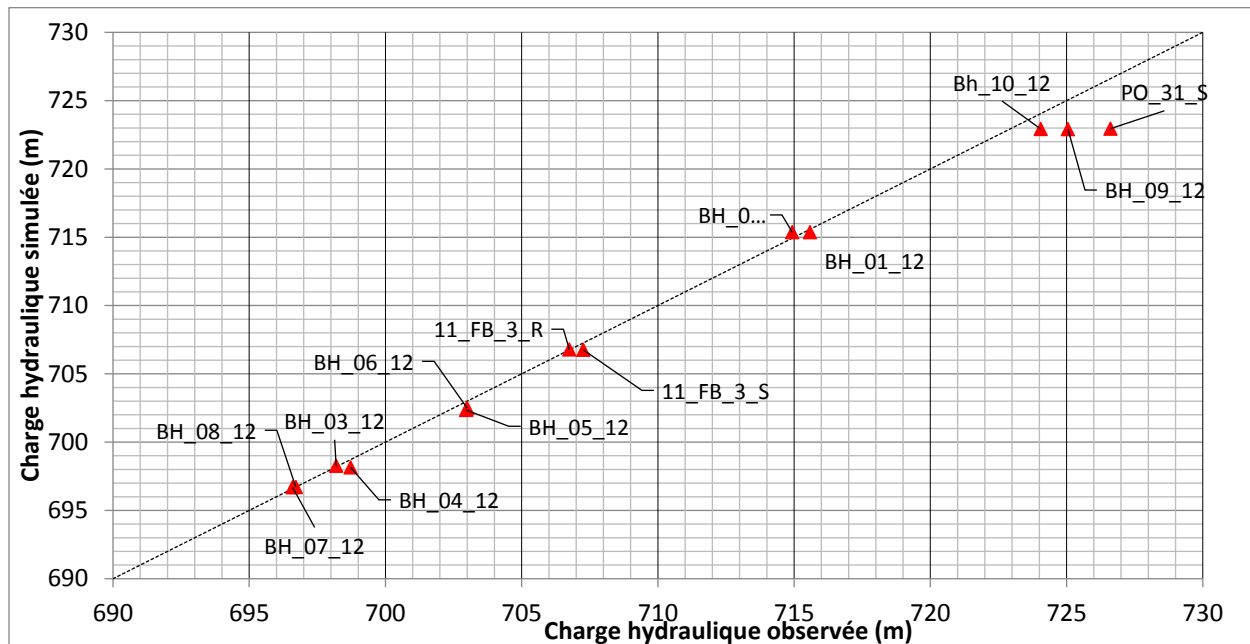


Figure 2. Résultat de la calibration des charges hydrauliques

6.3.2 BILAN HYDRIQUE

Le tableau 13 présente le bilan hydrique pour le modèle calibré d'écoulement de l'eau souterraine en régime permanent. L'écart inscrit dans ce tableau indique que le bilan de masse est pratiquement équilibré dans le modèle calibré. Le différentiel de -0,2 % du bilan hydrique indique que le modèle est près d'être stabilisé, puisque le flux sortant en déficit est faible.

Tableau 13. Bilan hydrique du modèle calibré

Flux entrant (m³/j)		Flux sortant (m³/j)	
Charge constante	1 680,6	Charge constante	5 290,1
Recharge	3 602,5		
Emmagasinement	111,4	Emmagasinement	95,1
Flux entrant total	5 394,5	Flux sortant total	5 385,2
Flux sortant – Flux entrant			-9,3
			-0,2 %

6.4 CONDITIONS FINALES DU MODÈLE 3D CALIBRÉ

6.4.1 CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE

Les valeurs de conductivité hydraulique des différentes unités du modèle ont été attribuées initialement en fonction des données présentées à la section 4.6. Les valeurs de conductivité hydraulique ont ensuite été ajustées durant la calibration du modèle, afin qu'elles reproduisent au mieux les données de charge

hydraulique tout en ne s'écartant pas significativement des valeurs de conductivité mesurées par les essais de terrain.

La conductivité hydraulique calibrée de l'unité de till est de $3,1 \times 10^{-6}$ m/s, soit relativement près de la valeur moyenne considérant la plage de variabilité des données. Cette variabilité est relativement importante pour cette unité, comme en témoigne la plage de valeurs s'étalant sur trois ordres de grandeur (10^{-5} à 10^{-7} m/s); elle est attribuable à la granulométrie et la compacité variable associée à ce type de dépôt glaciaire.

Les données de conductivité hydraulique pour le roc ont été prises généralement dans la partie superficielle de ce dernier, soit les premiers 5 à 20 m de roc. La conductivité hydraulique obtenue pour le roc superficiel (plus fracturé) par calibration est de $7,3 \times 10^{-7}$ m/s, soit la valeur moyenne de la plage de valeurs mesurées. En effet, considérant l'effet de la variation de la conductivité du roc fracturé sur la calibration des charges hydrauliques, la valeur attribuée initialement à cette unité a été maintenue à celle de départ. Bien qu'elle puisse être localement plus élevée, la conductivité hydraulique du roc est non seulement tributaire du degré de fracturation du roc, mais également de la connectivité des réseaux de fractures.

La limite du roc superficiel plus perméable a été fixée à 10 m sous la surface du roc. La meilleure calibration a été obtenue en appliquant au roc sain une valeur $5,0 \times 10^{-9}$ m/s. Bien qu'il soit généralement reconnu que la perméabilité du roc décroît exponentiellement avec la profondeur, les données disponibles sur le site ne permettent pas de préciser les paramètres de cette décroissance.

Le tableau 14 présente la distribution des valeurs de conductivité hydraulique calibrées pour les unités définies.

Tableau 14. Sommaire des conductivités hydrauliques calibrées

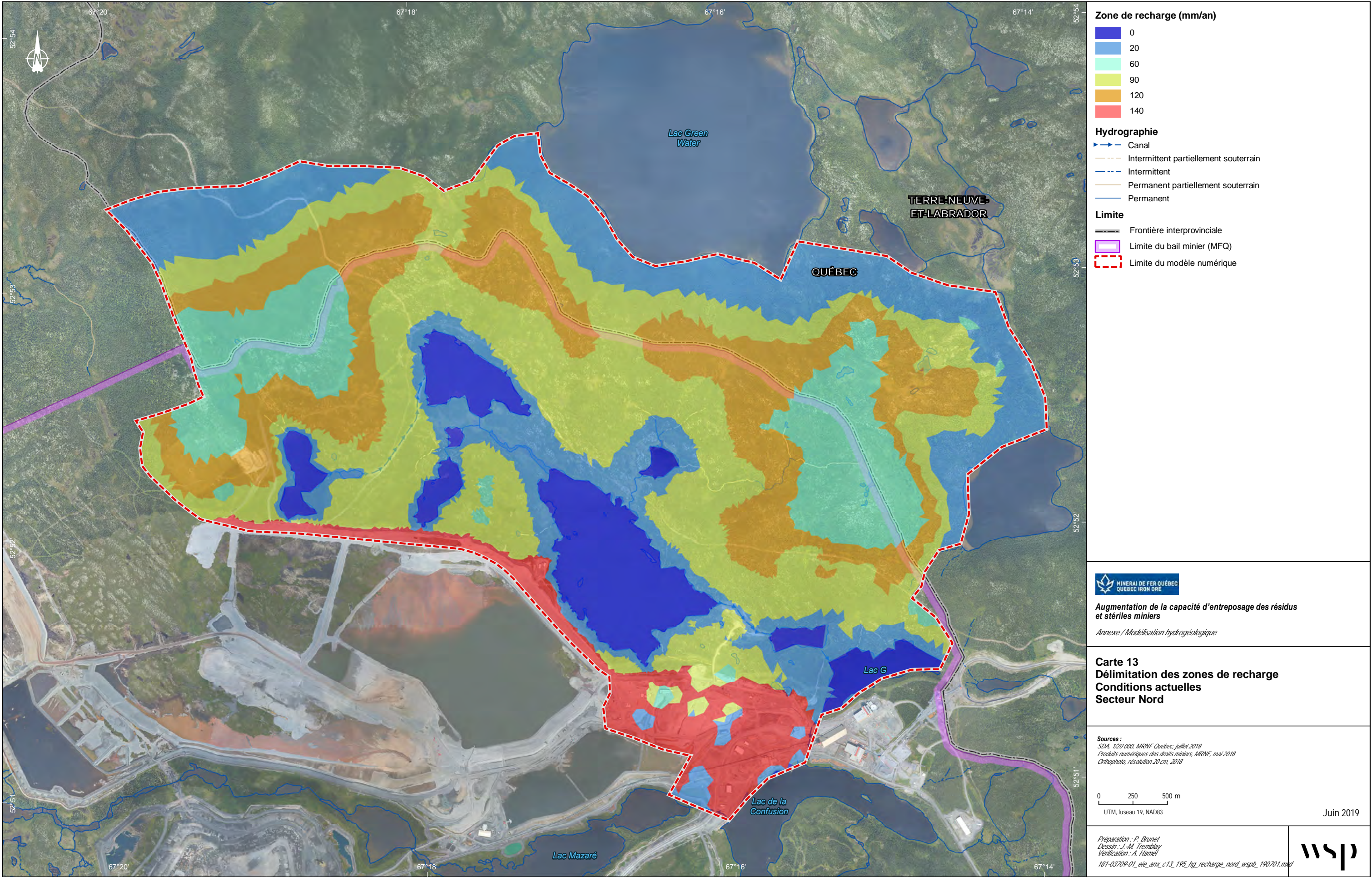
N° d'unité	Unité lithostratigraphique	Conductivité hydraulique (m/s)			
		Calibrée	Minimum	Maximum	Moyenne
1	Résidus miniers - Digue Est	-	$1,06 \times 10^{-5}$	$2,25 \times 10^{-5}$	$1,37 \times 10^{-5}$
	Matériaux de remblai - Secteur Sud-Est	-	-	-	$1,0 \times 10^{-5}$
2	Till	$3,1 \times 10^{-6}$	$2,7 \times 10^{-7}$	$1,9 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-6}$
3	Roc superficiel	$7,3 \times 10^{-7}$	$4,8 \times 10^{-10}$	$3,8 \times 10^{-4}$	$7,3 \times 10^{-7}$
	Roc plus profond	-	-	-	$5,0 \times 10^{-9}$

6.4.2 RECHARGE

La recharge, soit la quantité d'eau (flux) s'infiltrant dans les sols ou le roc jusqu'à la nappe d'eau souterraine, a été ajustée durant la calibration du modèle afin de développer une reproduction adéquate des niveaux d'eau souterraine observés.

La carte 13 illustre les zones de recharge de l'eau souterraine. Ces zones ont été simplifiées et ajustées de manière à tenir compte de la position topographique ainsi que du type de dépôt de surface, plutôt que de la seule inclinaison des pentes. Les zones de recharge se situent généralement au niveau des hauts topographiques où l'on retrouve du roc affleurant ou sub-affleurant et du till. Les zones de résurgence se situent à proximité des cours d'eau, des lacs et au pied des collines (ruptures de pente).

Dans les secteurs déjà saturés en eau ou dans les zones de résurgence, la recharge attribuée au modèle numérique est plus faible puisque l'eau s'accumule sur place ou s'écoule en surface, alors que dans les secteurs où une frange non saturée existe, la capacité d'infiltration est plus élevée.



La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.

Les zones de recharge préférentielles se trouvent au niveau du till en position topographique élevée ou intermédiaire (120 à 90 mm/an). Les zones du roc affleurant ou sub-affleurant présentent une recharge intermédiaire (60 mm/an), considérant leur perméabilité plus faible. Les zones de till situées au niveau de bas topographiques et les secteurs marécageux constituent des zones de résurgence et d'exfiltration; une recharge plus faible a été appliquée (0 à 20 mm/an). Enfin, bien que les zones de dépôts de remblais et de digues ne soient pas situées en position topographique élevée, leur perméabilité considérablement plus grande (10^{-5} m/s) en font des zones de recharge préférentielle (140 mm/an). Cependant, la valeur de recharge attribuée n'a pas fait l'objet de calibration considérant l'absence de données fiables dans ces secteurs.

6.4.3 PIÉZOMÉTRIE

La carte 14 montre les élévations piézométriques calibrées du modèle hydrogéologique du secteur Nord dans les conditions actuelles, ainsi que les puits qui ont été utilisés pour la calibration. L'écoulement de l'eau souterraine suit essentiellement la topographie, avec une ligne de partage des eaux ceinturant le parc à résidus projeté au nord-est, au nord et à l'ouest. Au niveau du secteur plus plat comprenant les lacs H et E à E3, l'écoulement est orienté généralement vers le sud (sous la digue Est) et vers l'est avec un gradient hydraulique horizontal considérablement plus faible. Par contre, au niveau de la partie est de la digue Est, l'écoulement se fait plutôt du bassin A vers le lac F au nord, puisque le niveau de ce dernier est de près de 5 m plus bas. À l'est du lac F, l'écoulement est orienté soit vers le lac G' puis le lac G à l'est, soit vers le secteur industriel et les lacs de la Confusion et Mazaré au sud.

Au niveau de la ligne de partage des eaux ceinturant le parc à résidus projeté, deux secteurs sont visibles où les isopièzes forment une légère dépression, soit au nord du lac E et environ au milieu d'une ligne sur un axe nord-sud entre le puits BH-18-12 et le lac Green Water. En ces endroits, la localisation exacte de ligne de partage des eaux est moins certaine.

6.5 ÉTUDE DE SENSIBILITÉ DES PARAMÈTRES

Une analyse de sensibilité a été effectuée afin d'étudier l'incertitude liée à la variation de certains paramètres du modèle. Les simulations suivantes ont été effectuées lors de l'analyse de sensibilité :

- **SS1** : augmentation par 5 de la conductivité hydraulique du till.
- **SS2** : diminution par 5 de la conductivité hydraulique du till.
- **SS3** : augmentation par 5 de la conductivité hydraulique du roc superficiel (premiers 10 m d'épaisseur).
- **SS4** : diminution par 5 de la conductivité hydraulique du roc superficiel (premiers 10 m d'épaisseur).

Les résultats de l'analyse de sensibilité relatifs aux charges hydrauliques simulées sont présentés au tableau 15. Les NMRS sont également indiqués pour chacune des simulations effectuées afin de pouvoir juger de la qualité de la calibration.

En premier lieu, nous notons certains points d'observations qui sont relativement moins affectés par les variations des paramètres du modèle (écart-type plus faible), notamment les puits BH-03-12 et BH-04-12 dont les élévations piézométriques sont fortement influencées par le niveau des lacs E1 et E2 adjacents. En contrepartie, les puits BH-09-12 et BH-10-12 sont particulièrement sensibles à la variation des paramètres du modèle (écart-type plus élevé).

Les résultats de ces simulations montrent que le modèle est sensible à la hausse et à la baisse de la conductivité hydraulique du till et du roc sous-jacent dans une mesure relativement similaire. En effet, une hausse de conductivité du till et du roc superficiel favorise un écoulement plus aisé dans ces unités. Ceci produit une

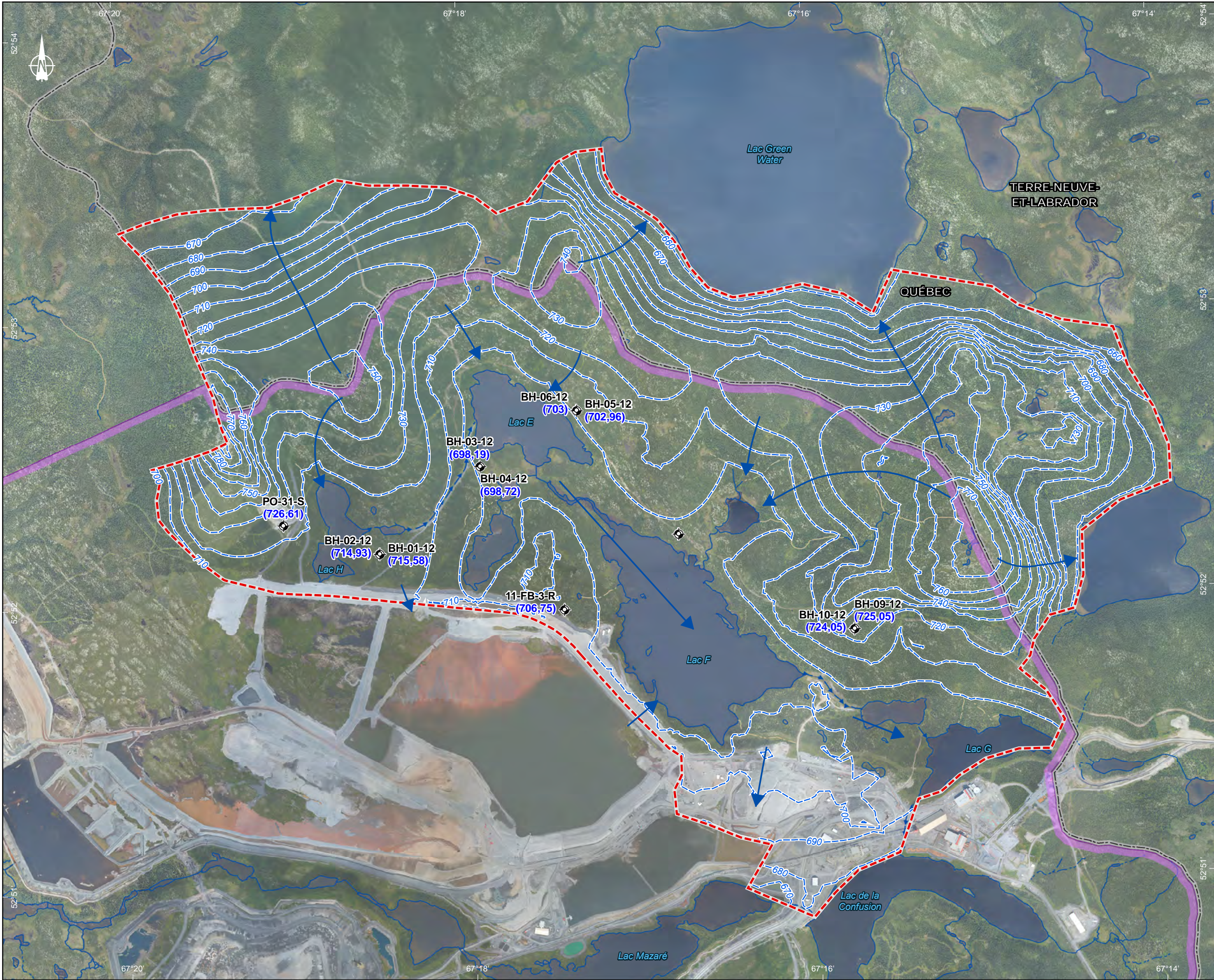
baisse des élévations piézométriques aux puits d'une ampleur globalement similaire, comme en témoignent les valeurs de NRMSE résultantes (10,1 et 11,7 %). En revanche, des variations locales de sensibilité selon les puits peuvent être observées.

Le phénomène inverse est observé lorsque la conductivité hydraulique du till et du roc superficiel est diminuée, soit une limitation de l'écoulement dans ces unités et une augmentation significative des élévations piézométriques aux puits. Encore une fois, l'impact de cette réduction de conductivité du till et du roc est généralement similaire, produisant des NRMSE du même ordre (6,0 et 6,3 %).

Notons que l'écart le plus important des données du modèle calibré par rapport aux données mesurées est celui retrouvé au puits PO-31-S, soit de -3,66 m. Afin de réduire cet écart pour s'approcher de la valeur mesurée, il faudrait réduire la conductivité du till de façon significative, ce qui entraînerait une augmentation excessive des charges hydrauliques dans l'ensemble des puits. Par ailleurs, le rapport du forage PO-31-S indique une épaisseur de till considérablement plus élevée (11,2 m) que dans les autres forages (2,3 m en moyenne), mais surtout une fraction argileuse beaucoup plus importante avec la profondeur. Ceci souligne des conditions localement différentes dans ce secteur, d'où l'écart obtenu avec une approche de calibration globale.

Tableau 15. Résultats de l'analyse de sensibilité relatifs aux charges hydrauliques simulées

Puits	Élévation piézométrique observée (m)	Écarts de charges hydrauliques (mesurées – simulées)					Écart-type
		Modèle calibré	K till x 5	K till /5	K roc sup x 5	K roc sup /5	
BH-01-12	715,58	-0,21	-1,11	0,67	-2,13	1,42	1,62
BH-02-12	714,93	0,44	-0,47	1,32	-1,50	2,07	1,63
BH-03-12	698,19	0,08	-1,54	0,67	-0,60	0,27	0,98
BH-04-12	698,72	-0,57	-2,11	-0,05	-1,20	-0,39	0,92
BH-05-12	702,96	-0,61	-1,20	0,57	-2,70	0,77	1,63
BH-06-12	703,00	-0,50	-1,09	0,68	-2,65	0,89	1,66
BH-07-12	696,59	0,11	-1,41	1,33	-1,21	1,17	1,48
BH-08-12	696,71	0,00	-1,52	1,22	-1,32	1,06	1,48
BH-09-12	725,05	-2,13	-5,99	3,19	-9,12	2,70	6,20
Bh-10-12	724,05	-1,12	-4,72	4,21	-4,05	3,70	4,83
11-FB-3-R	706,75	0,03	-0,31	1,78	-3,38	2,02	2,50
11-FB-3-S	707,26	-0,50	-0,83	1,26	-1,87	1,49	1,63
PO-31-S	726,61	-3,66	-6,70	-1,46	-4,33	-2,95	2,23
NRMSE	-	4,2 %	10,1 %	6,0 %	11,7 %	6,3 %	



Sondage
 Puits d'observation

Eaux souterraines
(698,19) Élévation de l'eau dans le puits (m)
--- Courbe piézométrique
➡ Direction de l'écoulement de l'eau

Hydrographie
➡ Canal
--- Intermittent partiellement souterrain
--- Intermittent
--- Permanent partiellement souterrain
--- Permanent
□ Plan d'eau

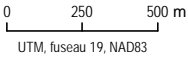
Limite
--- Frontière interprovinciale
□ Limite du bail minier (MFQ)
--- Limite du modèle numérique



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers
Annexe / Modélisation hydrogéologique

Carte 14
Élévations piézométriques calibrées
Conditions actuelles
Secteur Nord

Sources :
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, juillet 2018
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018
Orthophoto, résolution 20 cm, 2018



Juin 2019

Préparation : P. Brunel
Dessin : J.-M. Tremblay
Vérification : A. Hamel
181-03709-01_ele_anx_c14_196_hg_calib_nord_wsp2_1907011.mxd



La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.

7 MODÉLISATION DES AIRES D'ACCUMULATION

Tel que mentionné à la section 3.1, le modèle numérique d'écoulement en 3D du secteur Nord a d'abord été construit afin de reproduire les conditions hydrogéologiques actuelles, puis modifié afin d'intégrer le parc à résidus et reproduire les conditions anticipées à la fermeture du site. Le modèle en coupe (2D) du secteur Sud a été construit en intégrant directement la halde à stériles à la fin de son exploitation, sur la base des paramètres calibrés du secteur Nord. En effet, puisque les valeurs de conductivité hydraulique mesurées pour chaque unité dans les puits du secteur Nord et du secteur Sud sont très similaires, il est raisonnable de penser que les valeurs ajustées de ces paramètres lors du processus de calibration pour le secteur Nord sont représentatives de celles attendues dans le secteur Sud.

Un sommaire de la façon dont ont été intégrées les aires d'accumulation aux modèles numériques est présenté dans les sections suivantes.

7.1 INFRASTRUCTURES SIMULÉES

Le détail des infrastructures proposées pour le parc à résidus du secteur Nord est présenté dans le rapport de WSP (2019). Voici un sommaire des infrastructures/informations pertinentes qui ont été intégrées à la modélisation numérique.

SECTEUR NORD

- Contours et élévations finales projetées (2034) des résidus grossiers, avec un plateau à 770 m.
- Réseau de fossés au pourtour du parc à résidus projeté, d'une profondeur estimée à 1,5 m sous le niveau du terrain naturel.
- Élévations maximales prévues au niveau de la digue Est (entre 721,0 m au sud-est et 730,5 m au nord-ouest).
- Élévations maximales prévues des résidus fins déposés dans le bassin A adjacent à la digue Est.
- Prolongation sur environ 450 m de la digue Est, faite de résidus grossiers (perméables) vers l'ouest puis le nord et dont l'élévation de crête est de 729,5 m, dite « digue H ».
- Aménagement d'un bassin d'eau de procédé au droit du lac H, dit « bassin H », dont le niveau maximal prévu est de 726,5 m.
- Construction d'une digue au sud du lac G' sur environ 620 m avec des matériaux de remblai ou des résidus miniers grossiers et un noyau de till compacté (peu perméables) et dont l'élévation de crête est de 701,0 m, dite « digue G ».
- Aménagement d'un bassin d'eau de procédé au droit du lac G', dit « bassin G », dont le niveau maximal prévu est de 698,5 m.
- Aménagement d'un déversoir d'urgence au niveau de la digue G.

SECTEUR SUD

- Contours et élévations finales projetées (2034) des stériles, avec quatre plateaux à 835 m, 855 m, 920 m et 865 m du nord-ouest au sud-est.
- Réseau de fossés au pourtour de la halde à stériles projetée.

- Construction d'une digue au sud de la halde à stériles projetée sur environ 880 m, avec des matériaux de remblai ou des résidus miniers grossiers et un noyau de till compacté (peu perméables) et dont l'élévation de crête est d'environ 699 m, dite « digue Sud ».
- Aménagement d'un bassin d'eau de procédé au droit et au sud du lac K, dit « bassin Sud », dont le niveau maximal prévu est de 697,5 m.
- Aménagement d'un déversoir d'urgence au niveau de la digue G.

7.2 COUCHES ET DISCRÉTISATION DU MAILLAGE

SECTEUR NORD

Au niveau du secteur Nord, le parc à résidus projeté dans ses conditions finales a été modélisé en ajoutant 10 couches stratigraphiques au-dessus des couches du modèle calibré aux conditions actuelles.

Le maillage au niveau du plateau et de la pente ouest du parc à résidus est légèrement raffiné par rapport à celui à l'extérieur du parc à résidus (diamètre moyen de 37 m plutôt que 70 m). Le maillage des flancs nord et sud du parc à résidus ainsi que celui des digues Est et H sont davantage raffinés, soit à 31 m de diamètre en moyenne. Au niveau de la digue G qui possède un noyau peu perméable de près de 3,0 m de largeur, le maillage a dû être raffiné au niveau du noyau (1,3 m de diamètre moyen) et des matériaux de remblai (3,3 m de diamètre moyen).

SECTEUR SUD

Tel que spécifié à la section 5.1.2, la halde à stériles au niveau du secteur Sud a été modélisée dès le départ sur les huit couches stratigraphiques supérieures des modèles.

La dimension du maillage au niveau des plateaux de la halde à stériles projetée est relativement similaire à celui à l'extérieur de la halde, soit un diamètre moyen des éléments d'environ 40 m. Le maillage est raffiné au niveau des pentes entre les plateaux de stériles (diamètre moyen des éléments de 25 m), sur les flancs au pourtour des plateaux de stériles ainsi qu'au nord du secteur où des gradients plus importants sont attendus (diamètre moyen des éléments de 30 m). Au niveau de la digue Sud qui possède également un noyau peu perméable de près de 4,0 m de largeur, le maillage a dû être raffiné au niveau du noyau (2,0 m de diamètre) et des matériaux de remblai (2,5 m de diamètre moyen).

7.3 DESCRIPTION DES PARAMÈTRES

7.3.1 CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE

Les valeurs de conductivité hydraulique attribuées aux infrastructures projetées sont présentées au tableau 16. Le rehaussement de la digue Est, la construction de la digue H et les résidus entreposés au niveau du parc à résidus projeté doivent être tous composés de résidus grossiers, dont la composition et perméabilité a été mentionnée antérieurement (données tirées de AMEC 2013). Ainsi, la conductivité hydraulique attribuée à ces matériaux est la même que celle de la digue Est actuelle, soit de $1,37 \times 10^{-5}$ m/s. Au niveau de la digue G et de la digue Sud, la conductivité hydraulique du noyau de till compacté a été estimée à 1×10^{-7} m/s sur la base d'essais de perméabilité triaxiaux. Les matériaux de digue seront constitués de remblais ou de résidus miniers grossiers; la conductivité hydraulique a été fixée à $1,0 \times 10^{-5}$ m/s. Les valeurs de conductivité hydraulique saturée des stériles miniers peuvent ainsi varier de plusieurs ordres de grandeur, selon la texture (granulométrie et densité) des matériaux et l'échelle de la mesure (Aubertin *et al.* 2005). Considérant l'hétérogénéité et la granulométrie généralement étalée de ce type de dépôts, une valeur de conductivité hydraulique effective de 5×10^{-4} m/s a été appliquée aux stériles miniers.

Tableau 16. Sommaire des conductivités hydrauliques attribuées aux infrastructures projetées

Secteur	Infrastructure	Matériau	Conductivité hydraulique (m/s)
Nord - Parc à résidus	Rehaussement digue Est	Résidus grossiers	$1,37 \times 10^{-5}$
	Digue H	Résidus grossiers	$1,37 \times 10^{-5}$
	Digue G	Till (noyau)	$1,0 \times 10^{-7}$
		Remblai granulaire	$1,0 \times 10^{-5}$
	Parc à résidus	Résidus grossiers	$1,37 \times 10^{-5}$
Sud - Halde à stériles	Digue Sud	Till (noyau)	$1,0 \times 10^{-7}$
		Remblai granulaire	$1,0 \times 10^{-5}$
	Halde à stériles	Stériles miniers	$5,0 \times 10^{-4}$

7.3.2 RECHARGE

La recharge appliquée en dehors de l’empreinte du parc à résidus et de la halde à stériles demeure inchangée par rapport aux valeurs du modèle calibré. Au droit du parc à résidus grossiers et de la halde à stériles projetés, la recharge a été estimée sur la base de la méthode de Thornthwaite et Mather (1957). On peut estimer que la distribution spatiale de la recharge au niveau du parc à résidus (carte 15) pourrait varier entre 200 mm/an (pentes) et 350 mm/an (plateau), alors que celle au niveau de la halde à stériles pourrait varier entre 280 mm/an (pentes) et 390 mm/an (plateaux).

7.4 CONDITIONS LIMITES

Au niveau du modèle numérique d’écoulement 3D du secteur Nord, les conditions limites appliquées pour les conditions actuelles ont été modifiées en partie pour refléter les conditions prévues à la fin de l’exploitation du parc à résidus. La carte 15 présente la vue en plan des conditions limites appliquées sur la couche supérieure du modèle nord. Au niveau des modèles en coupe du secteur Sud, les conditions limites appliquées n’ont pas été modifiées, puisque les modèles n’ont été construits que pour représenter les conditions en fin d’exploitation de la halde à stériles.

7.4.1 CONDITIONS LIMITES INTERNES

Les modifications apportées aux conditions limites internes ne s’appliquent que sur la couche supérieure du modèle numérique d’écoulement du secteur Nord.

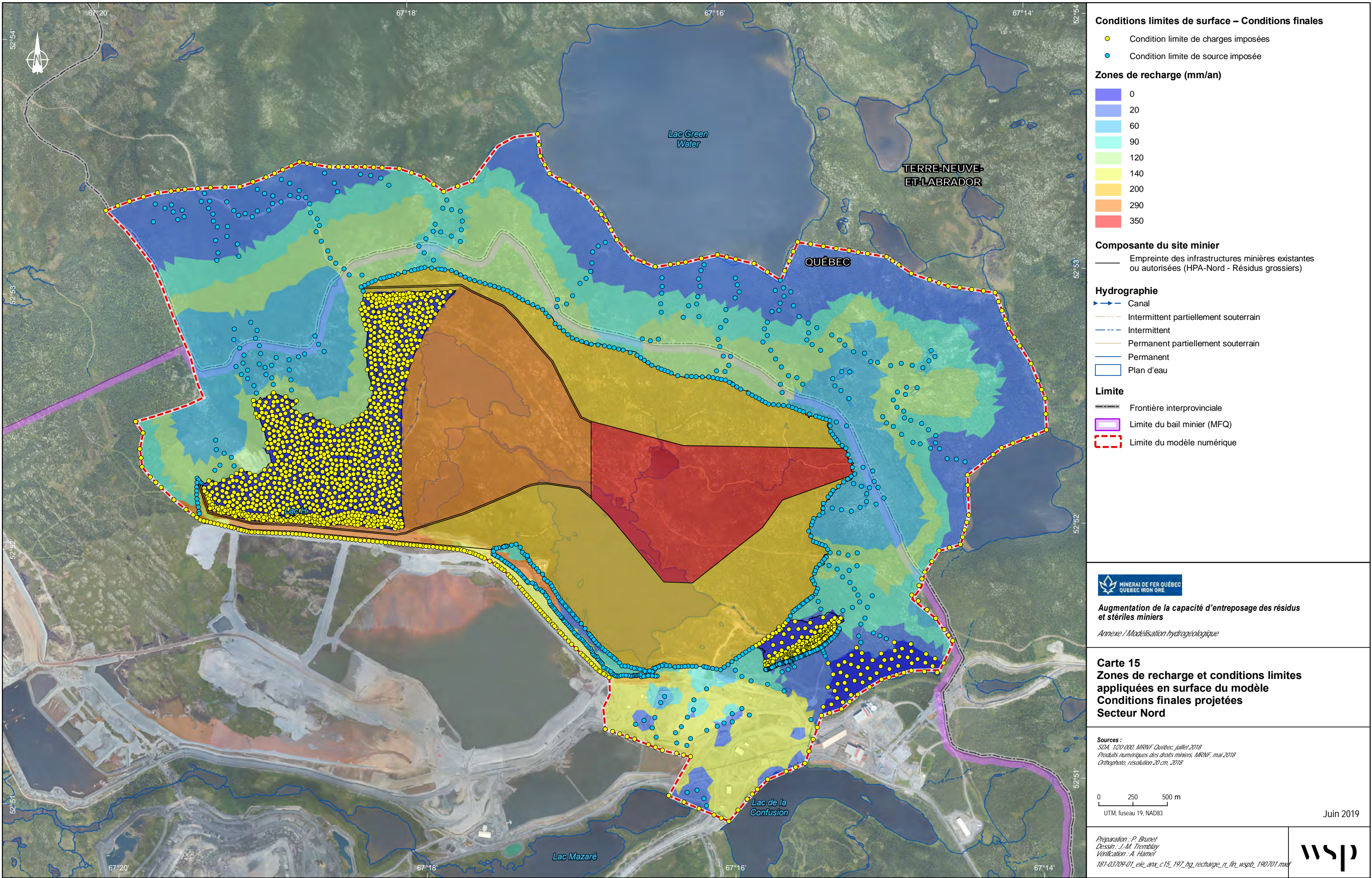
Toutes les charges constantes appliquées au niveau de l’empreinte du parc à résidus, soit au niveau des cours d’eau et des lacs E1, E2, E3, F1, F2, G’ et H ont été retirées. Des charges constantes égales à l’élévation maximale attendue des bassins d’eau de procédé, soit les bassins G (698,5 m) et H (726,5 m), ont été appliquées aux nœuds situés au droit de ceux-ci.

Afin de représenter les fossés ou drains qui seront aménagés au pourtour du parc à résidus et au pied des digues G et H, des charges constantes de type drain ont été appliquées aux nœuds correspondants. Une contrainte est appliquée en ces nœuds de telle sorte que l’eau souterraine puisse sortir du modèle lorsque le niveau d’eau atteint la base prévue des fossés, soit approximativement 1,5 m sous la surface du terrain naturel.

7.4.2 *CONDITIONS LIMITES EXTERNES*

Les modifications apportées aux conditions limites externes s'appliquent sur toutes les couches du modèle numérique d'écoulement du secteur Nord.

Au niveau de la limite sud du modèle, soit le long de l'actuelle digue Est, les élévations finales prévues de la digue et des résidus miniers fins adjacents (dans le bassin A) ont été considérés. Des charges constantes égales à l'élévation finale prévue des résidus miniers adjacents à la digue Est ont été appliquées à la limite sud, puisque ces matériaux seront présumément saturés considérant leur granulométrie et mode de déposition. La même approche a été appliquée pour la partie de la limite ouest qui sera adjacente aux résidus miniers fins du bassin Nord.



La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.

8 RÉSULTATS DES SIMULATIONS PRÉDICTIVES

8.1 PIÉZOMÉTRIE

SECTEUR NORD

La carte 16 présente la carte piézométrique obtenue dans les conditions finales projetées pour le parc à résidus. L'écoulement de l'eau souterraine suit globalement la topographie modifiée par la présence du parc à résidus, avec les hauts piézométriques qui sont associés à des hauts topographiques. Toutefois, l'effet du rehaussement de la piézométrie relié au rehaussement topographique est relativement moindre, considérant la perméabilité plus grande des résidus miniers grossiers par rapport à celles du till et du roc sous-jacent.

De façon générale, puisque la nappe d'eau est rehaussée au niveau du plateau de résidus du parc, l'eau souterraine s'écoule radialement de ce plateau vers la périphérie du parc. Au niveau de la moitié est du plateau, l'eau s'écoule essentiellement vers l'ouest en raison du sommet rocheux adjacent. Des creux piézométriques sont généralement observés au pourtour du parc à résidus et au niveau des bassins H et G, suggérant que l'eau souterraine en provenance du parc est captée par ces ouvrages. Toutefois, comme les digues ne sont pas imperméables, une partie de l'eau souterraine poursuit son écoulement vers les limites du domaine, notamment au niveau de la digue H et de la digue G. Au niveau du secteur Sud-Est du parc projeté, une partie de l'eau souterraine poursuit son écoulement vers le secteur industriel au sud. À l'extrémité nord-ouest du parc projeté (au nord du lac E), une partie de l'eau souterraine s'écoule en direction nord vers la zone marécageuse pour atteindre la limite nord. Cette dernière est située au niveau d'un ruisseau qui se jette dans le lac Green Water au nord-est. Enfin, au nord du plateau de résidus grossiers, bien que le fossé projeté capte une partie de l'eau souterraine qui y émerge, l'écoulement plus profond se poursuit vers le nord jusqu'au lac Green Water.

Les figures 3 et 4 montrent des vues en coupe de la distribution des charges hydrauliques dans le parc et la position du niveau d'eau (en bleu).

Tel qu'illustré sur la figure 3 (coupe A-A'), l'écoulement des eaux souterraines est principalement horizontal, hormis au niveau de la zone non saturée dans les résidus miniers et des hauts topographiques, tels que celui situé à l'est du plateau de résidus. Les charges hydrauliques décroissantes jusqu'en périphérie du modèle sont illustrées sur la figure 4 pour le secteur Sud-Est (coupe B-B') et le secteur Nord (coupe C-C'). Les charges hydrauliques décroissent rapidement au pied du parc à stériles au niveau de la coupe C-C' au nord, produisant des gradients hydrauliques vers le haut (fossé) près de la surface, mais l'écoulement plus profond se poursuit jusqu'au lac Green Water au nord.

Les matériaux drainants au niveau des fossés de drainage qui seront aménagés en périphérie du parc à résidus et au pied aval des digues permettent généralement de rabaisser le niveau d'eau et de créer un gradient dans cette direction. La perméabilité relativement faible du roc sain favorise un rehaussement du niveau d'eau et celui-ci suit la topographie du roc.

SECTEUR SUD

La figure 5 présente les élévations piézométriques en coupe et la position de la nappe d'eau souterraine simulée obtenues dans les conditions finales projetées pour la halde à stériles.

Malgré le rehaussement important de la topographie associée à la halde à stériles et la recharge importante au droit de celle-ci, le niveau d'eau y est faiblement rehaussé en raison de la perméabilité importante des stériles.

L'écoulement de l'eau souterraine suit globalement la topographie, soit du nord vers le sud. Cependant, à partir de la limite nord de la halde, le long de cette coupe, l'eau souterraine s'écoule plutôt vers le nord et vers la halde à mort-terrain.

Entre la halde à stériles et la digue Est, le niveau de la nappe d'eau est fixé à celui du bassin Sud, soit à 697,5 m. Enfin, aux extrémités nord et sud de la coupe, les gradients hydrauliques sont particulièrement faibles et la nappe d'eau y est sub-affleurante.

8.2 DÉBITS DE PERCOLATION

SECTEUR NORD

Les débits de percolation ont été calculés sous le parc à résidus pour l'ensemble du parc (moyenne), ainsi que là où les débits sont les plus importants, soit à proximité des limites du parc. Les débits de percolation sont généralement plus importants à proximité de ces limites sur une bande de 20 à 30 m là où les résidus présentent une pente plus forte. Cette zone où les débits de percolation sont plus importants est illustrée sur la carte 16. Le tableau 17 présente les débits de percolation obtenus pour ces zones de calcul.

Il est important de noter que les zones de recharge appliquées sur le parc à résidus ont été délimitées en considérant la valeur moyenne des pentes prévues des dépôts de résidus. Ainsi, le détail des zones à plus forte pente, telle que celles en périphérie du parc projeté, n'a pas été considéré dans les zones de recharge. En réalité, la recharge est vraisemblablement plus faible dans ces zones en raison de la forte pente et, incidemment, les débits de percolation calculés y sont conservateurs.

Tableau 17. Débit de percolation unitaire – Secteur Nord

Secteur considéré	Parc à résidus entier	Zones (bandes) à plus forte pente
Aire (m ²)	6,72 x 10 ⁶	1,53 x 10 ⁵
Débit (m ³ /j)	1 102	223
Percolation (L/m ² /j)	0,16	1,45

SECTEUR SUD

Les débits de percolation ont été calculés sous la halde à stériles pour l'ensemble de la halde (moyenne), ainsi que pour quatre sections de la coupe, soit : sous la pente au sud du plateau de stériles, sous la première moitié sud du plateau, sous la moitié nord du plateau, puis sous la pente nord de la halde. La délimitation des sections pour lesquelles les débits de percolation ont été calculés est illustrée sur la figure 5. Le tableau 18 présente les débits de percolation obtenus au niveau de ces différentes zones de calcul.

Tableau 18. Débit de percolation unitaire – Secteur Sud

Unité sous les résidus	Pente sud	Plateau sud	Plateau nord	Pente nord	Total
Longueur (m)	646	276	277	389	1 659
Débit (m ³ /j)	0,18	0,013	0,12	0,060	0,37
Percolation (L/m ² /j)	0,28	0,05	0,44	0,15	0,22



Eaux souterraines

730

Élévation de l'eau souterraine (m)

Courbe piézométrique

Direction de l'écoulement de l'eau

Zone de calcul de débits de percolation

Zones à plus forte pente

Composante du site minier

Emprise des infrastructures minières existantes ou autorisées (HPA-Nord - Résidus grossiers)

Hydrographie

Canal

Intermittent partiellement souterrain

Intermittent

Permanent partiellement souterrain

Permanent

Plan d'eau

Limite

Frontière interprovinciale

Limite du bail minier (MFQ)

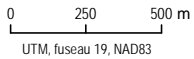
Limite du modèle numérique



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers
Annexe / Modélisation hydrogéologique

Carte 16
Élévations piézométriques simulées
Conditions finales projetées
Secteur Nord

Sources :
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, juillet 2018
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018
Orthophoto, résolution 20 cm, 2018

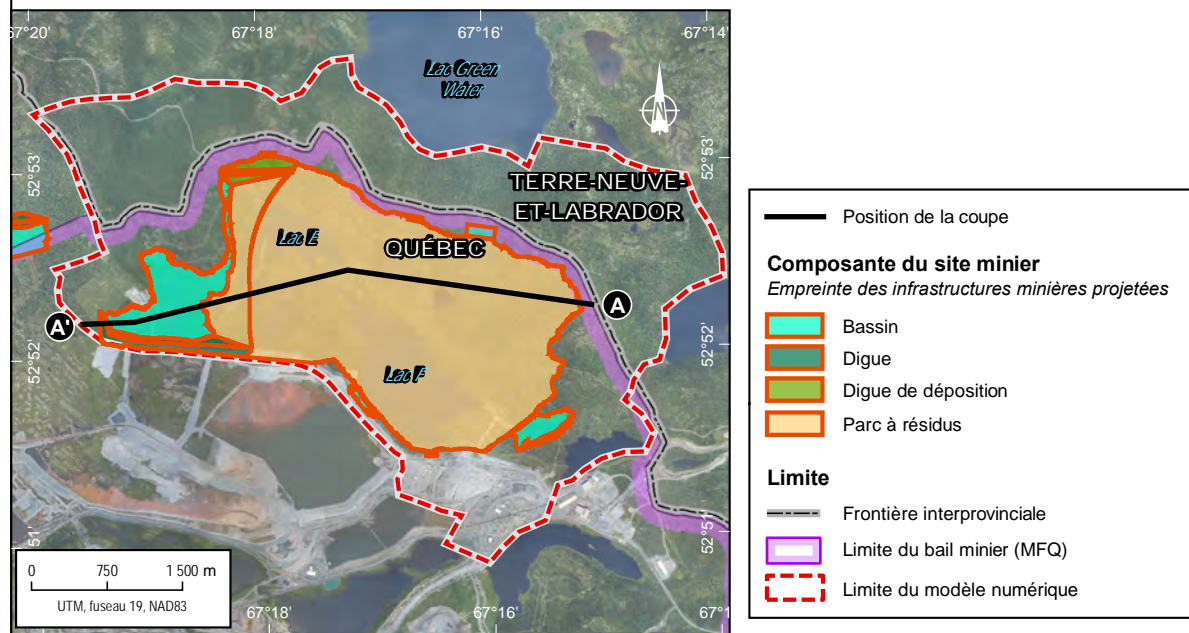
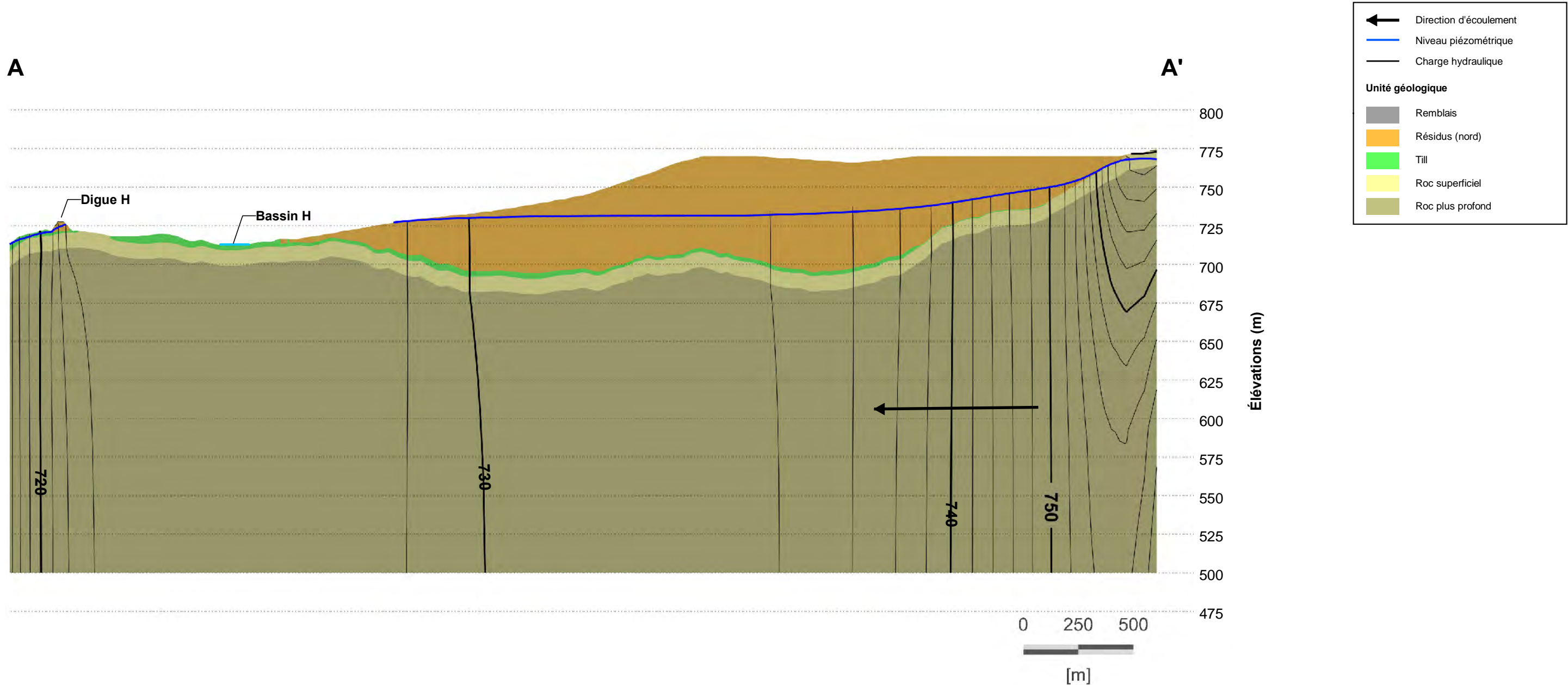


Juin 2019

Préparation : P. Brunel
Dessin : J.-M. Tremblay
Vérification : A. Hamel
181-03709-01_ele_anx_c16_198_hg_piezoproj_n_wspb_190704.mxd



La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Annexe / Modélisation hydrogéologique

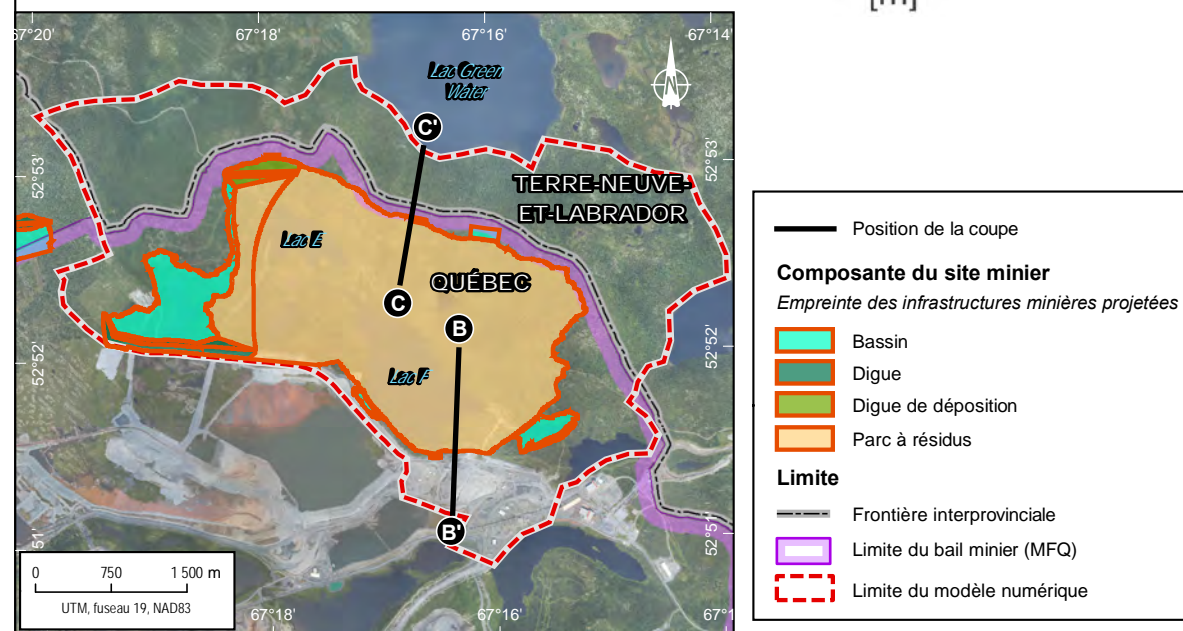
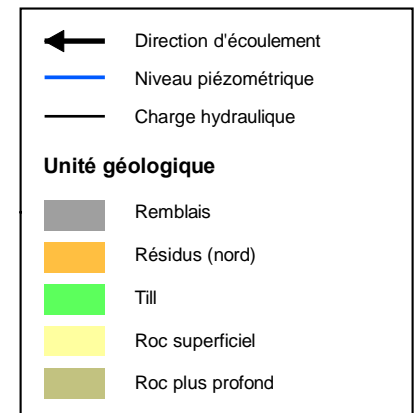
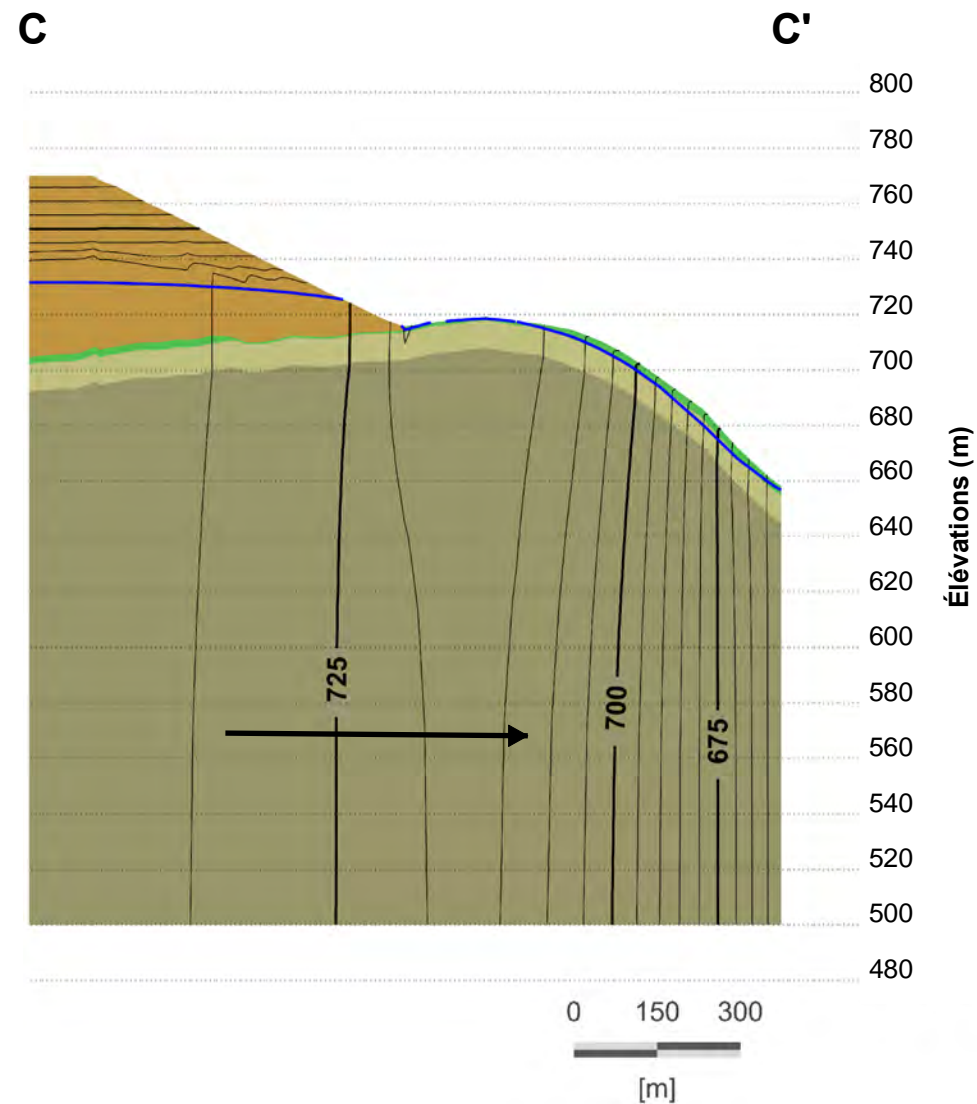
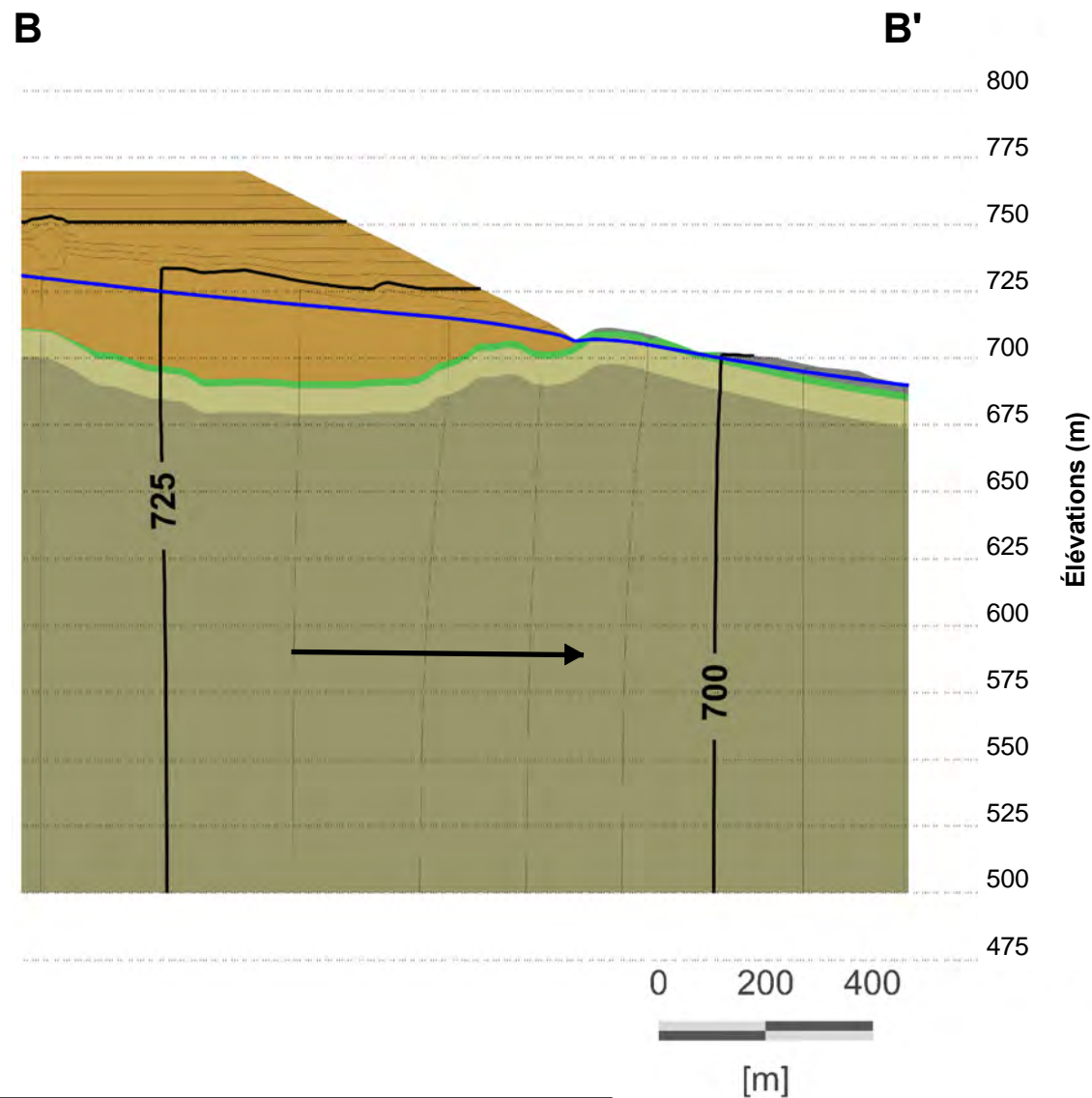
Figure 3
Charges hydrauliques simulées
Conditions finales projetées
Secteur Nord, coupe A-A'

Sources :
SDA, 1/20 000, MRNF Québec, juillet 2018
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018
Orthophoto, résolution 20 cm, 2018

Juin 2019

Préparation : P. Brunet
Dessin : J.-M. Tremblay
Vérification : A. Hamel
181-03709-01_ele_anx_13_192_hg_coupeAA_wspb_190704.mxd





Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Annexe / Modélisation hydrogéologique

Figure 4
Charges hydrauliques simulées
Conditions finales projetées
Secteur Nord, coupes B-B' et C-C'

Sources :
SDA, 1/20 000, MRNF Québec, juillet 2018
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018
Orthophoto, résolution 20 cm, 2018

Juin 2019

Préparation : P. Brunet
Dessin : J.-M. Tremblay
Vérification : A. Hamel
181-03709-01_eie_anx_14_218_hg_coupesBB_CC_wsps_190704.mxd





9 CONCLUSION

Le présent rapport a présenté les travaux de modélisation hydrogéologique qui ont été réalisés pour répondre aux exigences de l'étude d'impact quant à l'évaluation des conditions hydrogéologiques futures et aux débits de percolation anticipés au niveau des nouvelles aires d'accumulation proposées, soit un parc à résidus grossiers et une halde à stériles.

Les principaux objectifs de l'étude hydrogéologique sont les suivants :

- Construire un modèle hydrogéologique permettant de comprendre le mouvement régional de l'eau souterraine et de reproduire l'écoulement et les élévations actuelles de l'eau souterraine (piézométrie).
- Représenter les conditions finales anticipées des aires de stockage dans le modèle hydrogéologique afin d'évaluer les impacts de celles-ci sur le régime d'écoulement.
- Évaluer les débits de percolation attendus sous les nouvelles aires de stockage.

Ce rapport inclut les informations requises dans le but de répondre aux objectifs énoncés.

Le modèle conceptuel a été développé à partir des données disponibles des études antérieures et à partir des données récoltées pour la présente étude d'impact sur l'environnement (WSP 2019). Les travaux de terrain complémentaires réalisés par WSP en 2018 incluaient notamment la réalisation d'un relevé piézométrique dans les puits d'observation existants dans les secteurs Nord et Sud, afin de permettre la calibration des modèles numériques d'écoulement de ces secteurs. Toutefois, l'information recueillie dans le secteur Sud était insuffisante pour permettre la calibration du modèle numérique de ce secteur.

Le modèle conceptuel utilisé pour représenter le système hydrogéologique a été simplifié de manière à :
1) respecter le plus fidèlement possible les observations de terrain et 2) produire des simulations conservatrices concernant la percolation sous le parc à résidus.

Les unités hydrostratigraphiques suivantes ont été identifiées :

- Résidus miniers - Digue Est ($1,37 \times 10^{-5}$ m/s).
- Matériaux de remblai - sud-est du secteur Nord ($1,0 \times 10^{-5}$ m/s).
- Till ($1,8 \times 10^{-6}$ m/s).
- Roc superficiel altéré ($7,3 \times 10^{-7}$ m/s).
- Roc plus profond ($5,0 \times 10^{-9}$ m/s).

L'unité de terre végétale ou de tourbe étant très discontinue, de faible épaisseur et de perméabilité hydraulique du même ordre que celle du till, ces dépôts ont été regroupés avec l'unité de till. Par ailleurs, les unités de résidus miniers et de matériaux de remblai ne sont présentes que dans le secteur Nord, alors que le till et le roc se retrouvent dans les deux secteurs.

La calibration du modèle hydrogéologique 3D du secteur Nord a permis de préciser les valeurs des paramètres hydrogéologiques pour les deux secteurs (Nord et Sud) et de confirmer la nature des liens hydrauliques entre les différentes unités hydrostratigraphiques. Le modèle du secteur Nord a été calibré à partir de données de niveaux d'eau mesurées par WSP en novembre 2018, ou la moyenne des mesures antérieures (2011 à 2014) lorsqu'aucun relevé n'est disponible en 2018. Ces données sont considérées représentatives du niveau statique moyen de l'eau souterraine.

Les principales conclusions de la modélisation sur la base des **conditions actuelles** pour le secteur Nord sont les suivantes :

- Le modèle calibré du secteur Nord en régime permanent représente de façon satisfaisante les conditions existantes au site minier et celui-ci répond aux normes de l'industrie ($NRMS = 4,2 \%$).
- L'eau souterraine à l'intérieur des limites du parc à résidus projeté au secteur Nord s'écoule essentiellement vers le centre des limites de celui-ci puis essentiellement vers l'est, soit vers le lac F puis vers les lacs G' et G ou les lacs de la Confusion et Mazaré au sud-est.
- De l'eau souterraine s'écoule également sous la digue Est située au sud du modèle, soit 1) vers le sud en direction du parc existant au niveau d'une zone comprenant les lacs E3 et H et 2) vers le nord à partir du bassin A au sud vers le lac F, en raison du différentiel d'élévations de ces deux plans d'eau.
- L'écoulement d'eau souterraine se fait essentiellement dans les dépôts de till et le roc superficiel sous-jacent; ce dernier a une conductivité hydraulique moyenne ($7,3 \times 10^{-7} \text{ m/s}$) d'environ un demi-ordre de grandeur inférieure à celle du till ($1,8 \times 10^{-6} \text{ m/s}$).

Les principales conclusions des **simulations prédictives** pour les secteurs Nord et Sud sont les suivantes :

- Les débits de percolation projetés qui ont été calculés sous le parc à résidus (secteur Nord) sont généralement faibles, soit de l'ordre de $0,16 \text{ L/m}^2/\text{jour}$, alors que les débits de percolation de certaines zones à plus forte pente près des limites du parc sont plus importants ($1,45 \text{ L/m}^2/\text{j}$), bien que vraisemblablement conservateurs (maximaux attendus).
- L'eau souterraine s'écoule radialement à partir du plateau projeté du parc à résidus vers la périphérie du parc, soit vers le nord (lac Green Water), l'est (bassin H projeté), le sud (parc à résidus existant) et le sud-est (bassin G projeté).
- Les débits de percolation projetés qui ont été calculés sous la halde à stériles (secteur Nord) le long de la coupe A-A' sont généralement faibles quoique variables selon le secteur considéré, passant de près de $0,05$ à $0,44 \text{ L/m}^2/\text{j}$, pour une valeur moyenne de $0,22 \text{ L/m}^2/\text{j}$ sous l'ensemble de la halde le long de cette coupe.
- Malgré le rehaussement important de la topographie associée à la halde à résidus et la recharge importante au droit de celle-ci, le niveau d'eau y est très faiblement rehaussé en raison de la perméabilité importante des stériles. Ainsi, le régime d'écoulement semble relativement peu affecté.

Toutefois, les résultats des simulations du secteur Sud ne sont valables que pour la coupe A-A' et ne prennent pas en considération l'écoulement tridimensionnel des eaux souterraines.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AMEC ENVIRONNEMENT & INFRASTRUCTURE. Juin 2012. *Étude géotechnique parc à résidus mine lac Bloom*. N. Réf. TX 12 1054 03.
- AMEC ENVIRONNEMENT & INFRASTRUCTURE. Août et septembre 2012. Rapports de chantier des forages et de l'aménagement de puits d'observation. Rapports associés au projet avec N. Réf. TX 12 1353 03.
- AMEC ENVIRONNEMENT & INFRASTRUCTURE. Avril 2013. *Rapport de Conception - Travaux 2012 - Parc à résidus mine de fer du lac Bloom*. N. Réf. TX 12 1056 03.
- AMEC ENVIRONNEMENT & INFRASTRUCTURE. Février 2014. *Geotechnical properties of coarse tailings at the Bloom Lake mine site*. Rapport préparé pour Cliffs Natural Resources. N. Réf. TX 13 1018 03. 1000. 33.
- AUBERTIN, M., O. Fala, J. Molson, A. Gamache-Rochette, B. Lahmira, V. Martin, R. Lefebvre, B. Bussière, R.P. Chapuis, M. Chouteau, G.W. Wilson. 2005. *Évaluation du comportement hydrogéologique et géochimique des haldes a stériles*. Institut de recherche sur les mines et l'environnement (IRME). UQAT- École polytechnique de Montréal. 40 p.
- BDTQ, 1:20 000, Données digitalisées d'élévation topographique et du réseau hydrologique.
- BOUWER, J. et C. Rice. 1976. *A slug test for determinig hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells*. Water Ressources Research. V. 12, pp. 423-428.
- CEAEQ. 2008. *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyse environnementale : généralité (cahier 1)*. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. 58 p.
- CEAEQ. 2010. *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales : échantillonnage des sols (cahier 5)*. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. 59 p.
- CEAEQ. 2012. *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, cahier 3, Échantillonnage des eaux souterraines*. Édition du Centre d'expertise en analyse environnementale. 90 p.
- DEVLIN, J.F. 2015. HydrogeoSieveXL: an Excel-based tool to estimate hydraulic conductivity from grain-size analysis. *Hydrogeology Journal*, 23(4), p. 837-844.
- DEVLIN, J.F. 2016. HydrogeoSieveXL 2.1. Department of Geology, University of Kansas.
- DIERSCH, H-J.G., *FEFLOW – Finite element modeling of flow, mass and heat transport in porous and fractured media*. Springer, 2014, Berlin Heidelberg, 996 p.
- GENIVAR. Février 2013. *Réalisation d'essais de perméabilité - Réseau de surveillance des eaux souterraines - Mine de fer du lac bloom, Fermont (Québec)*. N. Réf. 111-21698-01. 17 p. et annexes.
- INSPEC-SOL. Février 2014. *Bloom Lake Expansion Project - Stock Pile 2 - Bloom Lake, Fermont, Québec*. N. Réf. M031433-A1. 12 p. et annexes.
- MDDELCC. Mars 2017. *Manuel de calcul et de conception des ouvrages municipaux de gestion des eaux pluviales*. 102 p. et annexes.
- MTMDDET. 2017. *Manuel de conception des ponceaux, Chapitre 3- Hydrologie*. 72 p.
- MERN. 2019. Système d'information géominière du Québec (SIGÉOM) - Carte interactive. Consultation en ligne (cartes géologiques).
- THORNTHWAITTE, C.W. and J.R. Mather. 1957. *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance*. Publ. Climatol., 10(3).

- TREFRY, M.G. et C. Muffels. 2007. *FEFLOW: a finite-element ground water flow and transport modeling tool*. *Ground Water*. 45 (5): 525–528.
- WSP CANADA. Janvier 2014. *Plan de restauration des sites actifs – Fonderie Horne*. N. Réf. 131-17139-00, Glencore Canada Corporation.
- WSP CANADA. Février 2014. *Mine de fer du lac Bloom. Augmentation de la capacité de stockage des résidus et stériles miniers à la mine de fer du lac Bloom. Étude d’impact sur l’environnement. Rapport principal, réalisé pour CLIFFS – SEC Mine de Fer du Lac Bloom*. N. Réf. 121-18900-00. Pagination multiple + annexes.
- WSP CANADA. Novembre 2014. *Évaluation des conditions hydrogéologiques - Site de la halde n° 2 et extension de la halde Pignac, Mine de fer du lac Bloom, Fermont (Québec)*. Note technique préparée pour CLIFFS – SEC Mine de Fer du Lac Bloom. N. Réf. 141-22153-00.
- WSP CANADA. Janvier 2015. *Réalisation de dix-sept forages aménagés en puits d’observation - Réseau de surveillance des eaux souterraines, Mine de fer du Lac Bloom, Fermont (Qc)*. Rapport préliminaire, réalisé pour CLIFFS – SEC Mine de Fer du Lac Bloom. N. Réf. 131-24138-00. 23 p. et annexes.
- WSP CANADA. 2019. *Mise à jour de la délimitation des bassins versants des sites d’activités de la fonderie Horne, caractérisation du ruissellement et détermination des débits de base*. Note technique – version préliminaire. Préparé pour Glencore Corporation Canada. 25 p.

ANNEXE

A

ANALYSES
GRANULOMÉTRIQUES



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 14Q915208

Client : WSP Canada Inc.

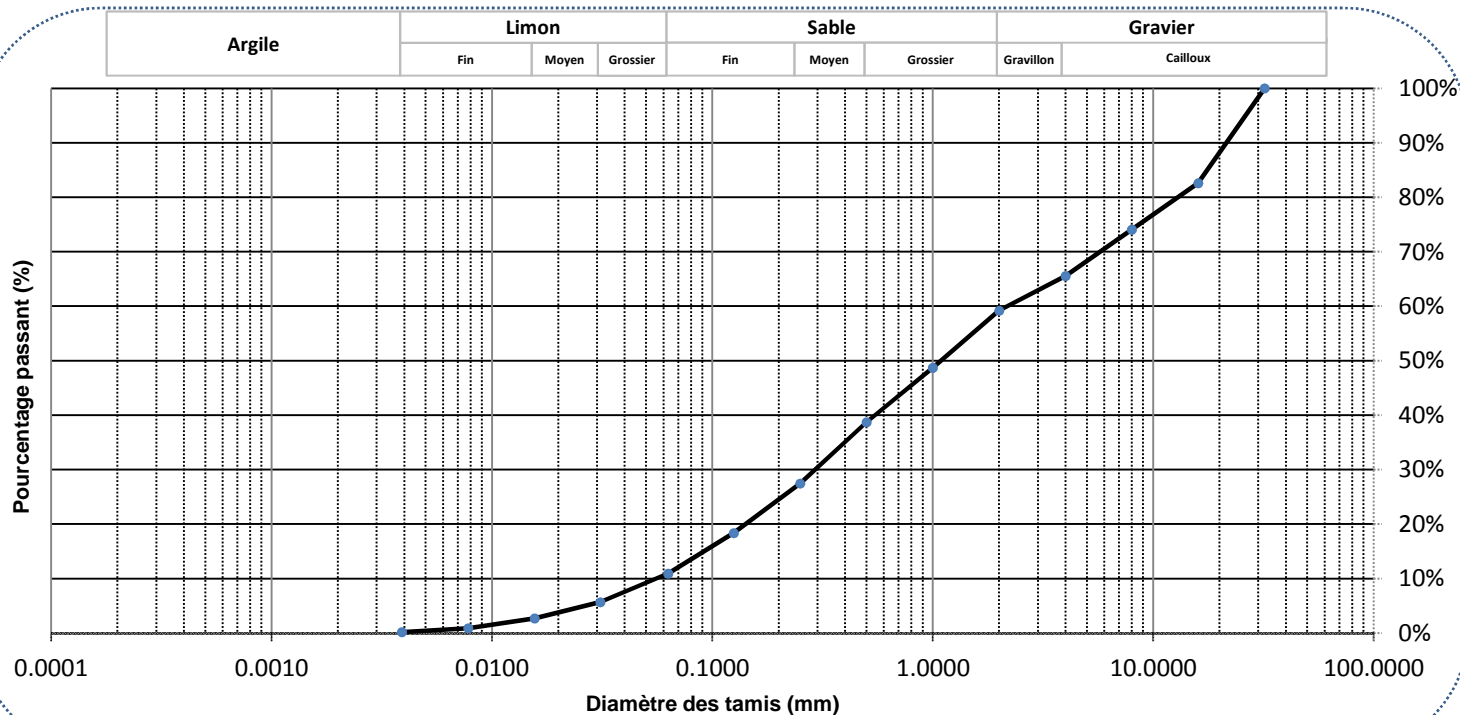
No échantillon : 6068989

Votre référence : 14-PO-41-R-CF4

Version du certificat : 1

Granulométrie Tamis (mm)	Pourcentage Passant (%)
32	100.0%
16	82.6%
8	74.1%
4	65.5%
2	59.2%
1	48.7%
0.500	38.7%
0.250	27.5%
0.125	18.4%
0.063	10.9%

Sédimentométrie Diamètre équivalent (μm)	Pourcentage Passant (%)
31.0	5.7%
15.6	2.7%
7.8	0.9%
3.9	0.2%

**Commentaires :**

Gravier (2-32mm) : 40.8%

Limon (3.9-<63.0 μm) : 10.3%

Sable (0.063-<2mm) : 48.3%

Argile (<3.9 μm) : 0.2%**Date :** 2014-11-20



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 14Q915208

Client : WSP Canada Inc.

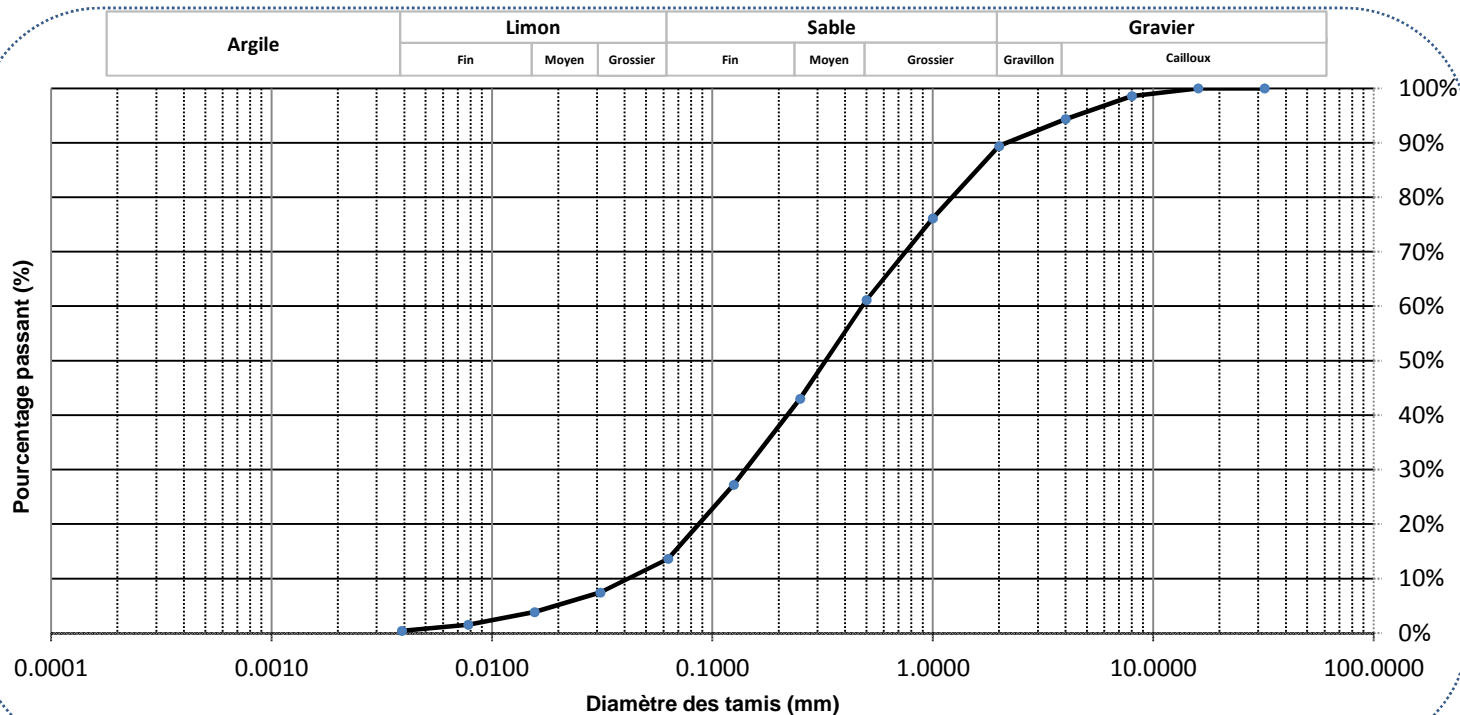
No échantillon : 6069027

Votre référence : 14-PO-44-R-CF3

Version du certificat : 1

Granulométrie Tamis (mm)	Pourcentage Passant (%)
32	100.0%
16	100.0%
8	98.6%
4	94.4%
2	89.4%
1	76.1%
0.500	61.1%
0.250	43.0%
0.125	27.2%
0.063	13.6%

Sédimentométrie Diamètre équivalent (μm)	Pourcentage Passant (%)
31.0	7.4%
15.6	3.8%
7.8	1.5%
3.9	0.4%

**Commentaires :**Gravier (2-32mm) : 10.6%
Sable (0.063-<2mm) : 75.7%Limon (3.9-<63.0 μm) : 13.1%
Argile (<3.9 μm) : 0.4%**Date :** 2014-11-20



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 14Q915208

Client : WSP Canada Inc.

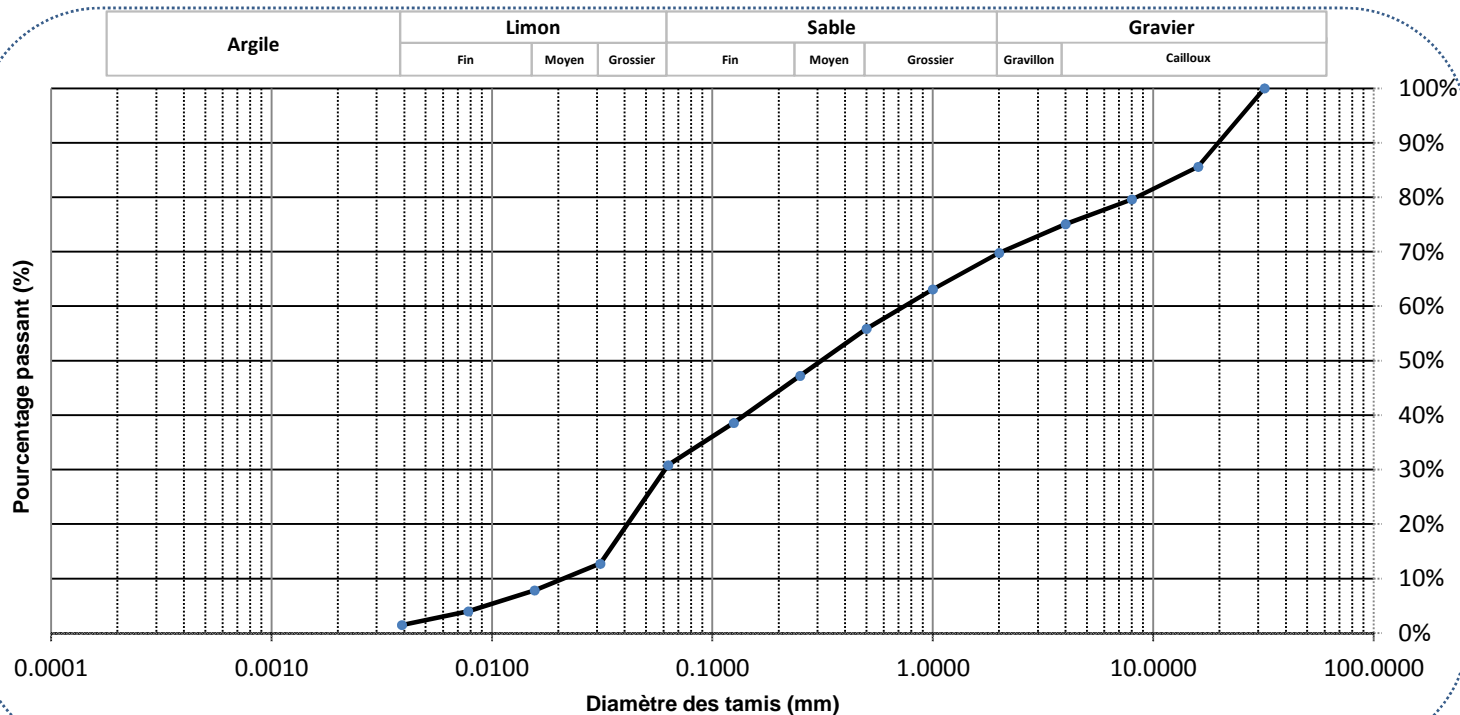
No échantillon : 6068996

Votre référence : 14-PO-45-R-CF6

Version du certificat : 1

Granulométrie Tamis (mm)	Pourcentage Passant (%)
32	100.0%
16	85.6%
8	79.6%
4	75.1%
2	69.8%
1	63.1%
0.500	55.9%
0.250	47.2%
0.125	38.6%
0.063	30.8%

Sédimentométrie Diamètre équivalent (μm)	Pourcentage Passant (%)
31.0	12.7%
15.6	7.8%
7.8	4.0%
3.9	1.5%

**Commentaires :**Gravier (2-32mm) : 30.2%
Sable (0.063-<2mm) : 39.0%Limon (3.9-<63.0 μm) : 29.3%
Argile (<3.9 μm) : 1.5%**Date :** 2014-11-20



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 14Q915208

Client : WSP Canada Inc.

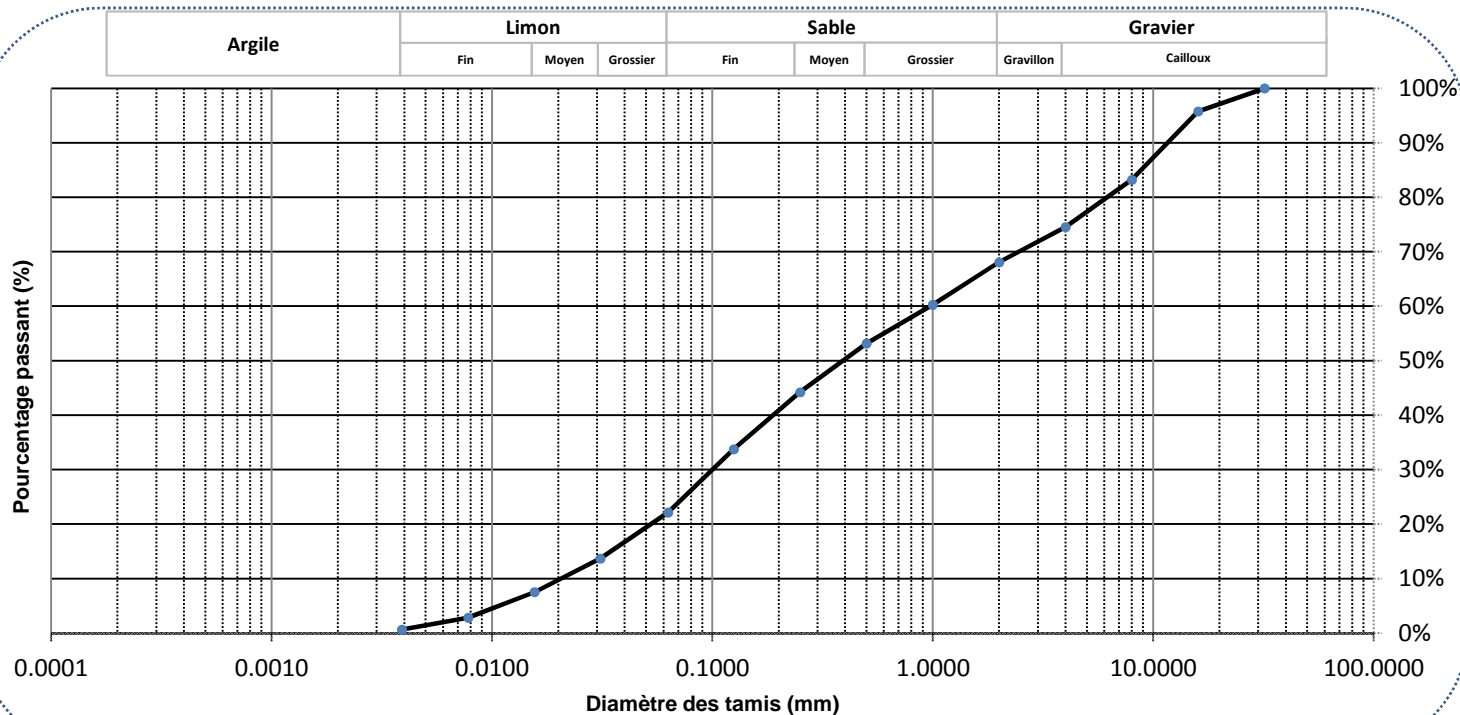
No échantillon : 6069001

Votre référence : 14-PO-45-R-CF10

Version du certificat : 1

Granulométrie Tamis (mm)	Pourcentage Passant (%)
32	100.0%
16	95.8%
8	83.2%
4	74.5%
2	68.1%
1	60.3%
0.500	53.2%
0.250	44.2%
0.125	33.7%
0.063	22.1%

Sédimentométrie Diamètre équivalent (μm)	Pourcentage Passant (%)
31.0	13.7%
15.6	7.5%
7.8	2.8%
3.9	0.6%

**Commentaires :**Gravier (2-32mm) : 31.9%
Sable (0.063-2mm) : 45.9%Limon (3.9-63.0 μm) : 21.3%
Argile (<3.9 μm) : 0.6%**Date :** 2014-11-20

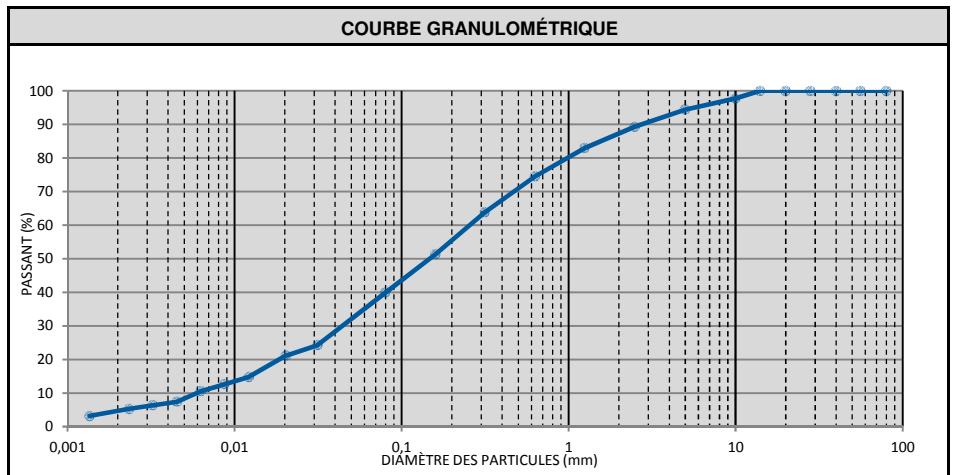


ESSAIS SUR SOLS ET MATÉRIAUX GRANULAIRES

CLIENT : WSP	No. PROJET : 181-03709-01
SITE : Lac Bloom, Fermont	No. D'ÉCHANTILLON LABORATOIRE : G18-1013
	DATE D'ÉMISSION : 2018-12-05

MATÉRIEL			
Matériau : Sol	Provenance : Tranchée		
Calibre :	Localisation : TR 02		
Usage : Étude géotechnique	18-20-60		
Prélevé par : Frederic Tremblay	Date : 2018-11-06	Reçu le : 2018-11-21	

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE				
PAR TAMISAGE (BNQ 2501-025)				
Diamètre (mm)	Passant (%)	Exigences Min Max	N. Conf.	
112				
80	100			
56	100			
40	100			
28	100			
20	100			
14	100			
10	98			
5	94			
2,5	89			
1,25	83			
0,630	74			
0,315	64			
0,160	51			
0,080	40			



DESCRIPTION			
Cailloux: 0,0 %	D ₁₀ : 0,006	Classification unifiée :	
Gravier: 5,6 %	D ₃₀ : 0,049	Description : Sable et Silt, traces de gravier, traces d'argile	
Sable: 54,5 %	D ₆₀ : 0,268		
Silt: 35,3 %	C _c : 1,5		
Argile: 4,6 %	C _u : 44,8		

PAR SEDIMENTOMETRIE (BNQ 2501-025)	
Diamètre (mm)	Passant (%)
0,0315	24,3
0,0204	21,1
0,0122	14,8
0,0087	12,7
0,0063	10,6
0,0045	7,4
0,0032	6,3
0,0023	5,3
0,0014	3,2

ESSAIS DIVERS		
ESSAIS	RÉSULTATS	EXIGENCES
Teneur en eau BNQ2501-170	22,69	

ESSAI PROCTOR	
Méthode :	
Masse volumique maximale :	
Teneur en eau optimale :	

REMARQUES :

Préparé par : Fatima Dahlab, tech.	Vérifié par : Abdelwahab Kamel, ing.	
------------------------------------	--------------------------------------	--

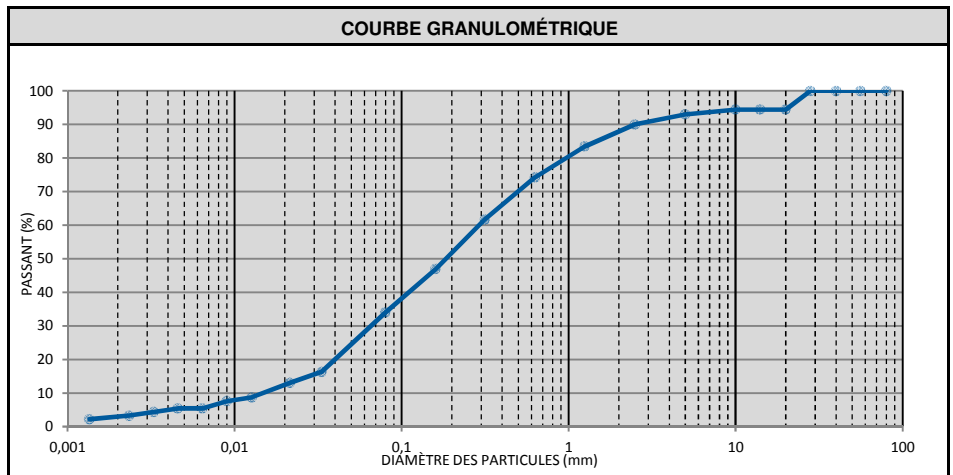


ESSAIS SUR SOLS ET MATÉRIAUX GRANULAIRES

CLIENT : WSP	No. PROJET : 181-03709-01
SITE : Lac Bloom, Fermont	No. D'ÉCHANTILLON LABORATOIRE : G18-1012
	DATE D'ÉMISSION : 2018-12-05

MATÉRIEL			
Matériau : Sol	Provenance : Tranchée		
Calibre : Usage : Étude géotechnique	Localisation : TR 06 18-80-130		
Prélevé par : Frederic Tremblay	Date : 2018-11-06	Reçu le : 2018-11-21	

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE				
PAR TAMISAGE (BNQ 2501-025)				
Diamètre (mm)	Passant (%)	Exigences Min Max	N.Conf.	
112				
80	100			
56	100			
40	100			
28	100			
20	94			
14	94			
10	94			
5	93			
2,5	90			
1,25	83			
0,630	74			
0,315	62			
0,160	47			
0,080	34			



DESCRIPTION			
Cailloux: 0,0 %	D ₁₀ : 0,015	Classification unifiée :	
Gravier: 7,0 %	D ₃₀ : 0,069	Description : Sable silteux, traces de gravier, traces d'argile	
Sable: 59,0 %	D ₆₀ : 0,298		
Silt: 31,1 %	C _c : 1,1		
Argile: 2,9 %	C _u : 19,4		

PAR SEDIMENTOMETRIE (BNQ 2501-025)	
Diamètre (mm)	Passant (%)
0,0333	16,3
0,0215	13,1
0,0127	8,7
0,0090	7,6
0,0064	5,4
0,0046	5,4
0,0033	4,4
0,0023	3,3
0,0014	2,2

ESSAIS DIVERS		
ESSAIS	RÉSULTATS	EXIGENCES
Teneur en eau BNQ2501-170	12,17	

ESSAI PROCTOR	
Méthode :	
Masse volumique maximale :	
Teneur en eau optimale :	

REMARQUES :

Préparé par : Fatima Dahlab, tech.	Vérifié par : Abdelwahab Kamel, ing.	
---------------------------------------	---	--

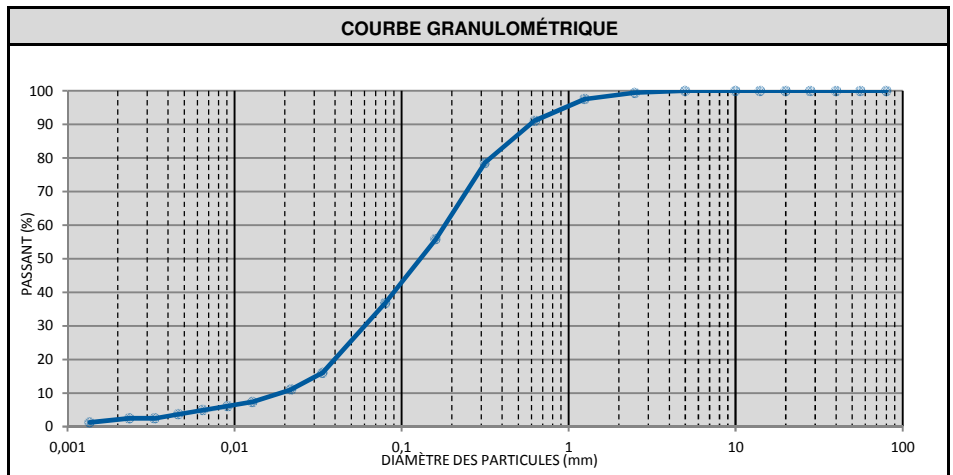


ESSAIS SUR SOLS ET MATÉRIAUX GRANULAIRES

CLIENT : WSP	No. PROJET : 181-03709-01
SITE : Lac Bloom, Fermont	No. D'ÉCHANTILLON LABORATOIRE : G18-1016
	DATE D'ÉMISSION : 2018-12-05

MATÉRIEL			
Matériau : Sol	Provenance : Tranchée		
Calibre :	Localisation : TR 10		
Usage : Étude géotechnique	18-120-170		
Prélevé par : Frederic Tremblay	Date : 2018-11-08	Reçu le : 2018-11-21	

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE			
PAR TAMISAGE (BNQ 2501-025)			
Diamètre (mm)	Passant (%)	Exigences Min Max	N.Conf.
112			
80	100		
56	100		
40	100		
28	100		
20	100		
14	100		
10	100		
5	100		
2,5	99		
1,25	98		
0,630	91		
0,315	78		
0,160	56		
0,080	37		



DESCRIPTION			
Cailloux: 0,0 %	D ₁₀ : 0,019	Classification unifiée :	
Gravier: 0,0 %	D ₃₀ : 0,065	Description :	
Sable: 63,2 %	D ₆₀ : 0,188	Sable et Silt, traces d'argile	
Silt: 35,2 %	C _c : 1,2		
Argile: 1,6 %	C _u : 9,8		

PAR SEDIMENTOMETRIE (BNQ 2501-025)	
Diamètre (mm)	Passant (%)
0,0336	16,0
0,0218	11,1
0,0128	7,4
0,0091	6,1
0,0065	4,9
0,0046	3,7
0,0033	2,5
0,0024	2,5
0,0014	1,2

ESSAIS DIVERS		
ESSAIS	RÉSULTATS	EXIGENCES
Teneur en eau BNQ2501-170	26,37	

ESSAI PROCTOR	
Méthode :	
Masse volumique maximale :	
Teneur en eau optimale :	

REMARQUES :

Préparé par : Fatima Dahlab, tech.	Vérifié par : Abdelwahab Kamel, ing.	
------------------------------------	--------------------------------------	--

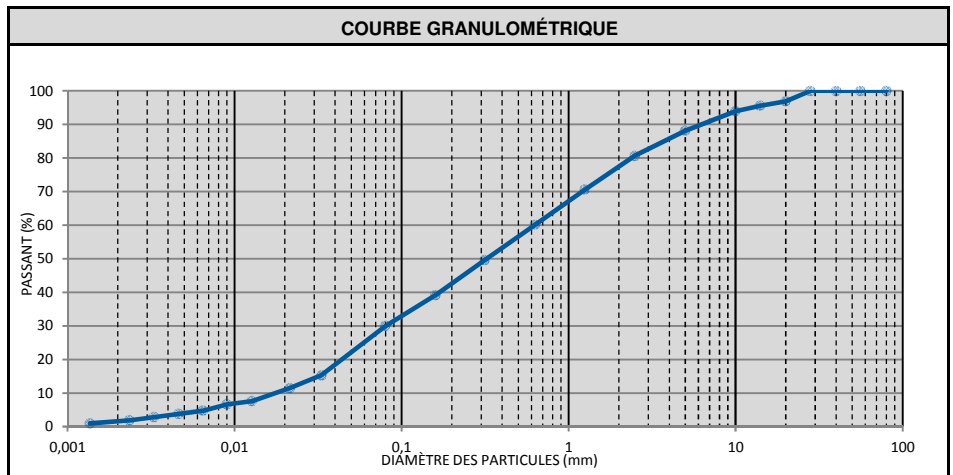


ESSAIS SUR SOLS ET MATÉRIAUX GRANULAIRES

CLIENT : WSP	No. PROJET : 181-03709-01
SITE : Lac Bloom, Fermont	No. D'ÉCHANTILLON LABORATOIRE : G18-1017
	DATE D'ÉMISSION : 2018-12-05

MATÉRIEL			
Matériau : Sol	Provenance : Tranchée		
Calibre :	Localisation : TR 16		
Usage : Étude géotechnique	18-55-80		
Prélevé par : Frederic Tremblay	Date : 2018-11-08	Reçu le : 2018-11-21	

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE				
PAR TAMISAGE (BNQ 2501-025)				
Diamètre (mm)	Passant (%)	Exigences Min Max	N. Conf.	
112				
80	100			
56	100			
40	100			
28	100			
20	97			
14	96			
10	94			
5	88			
2,5	81			
1,25	71			
0,630	60			
0,315	50			
0,160	39			
0,080	30			



DESCRIPTION			
Cailloux: 0,0 %	D ₁₀ : 0,018	Classification unifiée :	
Gravier: 11,9 %	D ₃₀ : 0,080	Description : Sable silteux, un peu de gravier, traces d'argile	
Sable: 58,1 %	D ₆₀ : 0,627		
Silt: 28,4 %	C _c : 0,6		
Argile: 1,6 %	C _u : 34,6		

PAR SEDIMENTOMETRIE (BNQ 2501-025)	
Diamètre (mm)	Passant (%)
0,0332	15,3
0,0215	11,5
0,0127	7,6
0,0090	6,7
0,0065	4,8
0,0046	3,8
0,0033	2,9
0,0024	1,9
0,0014	1,0

ESSAIS DIVERS		
ESSAIS	RÉSULTATS	EXIGENCES
Teneur en eau BNQ2501-170	11,77	

ESSAI PROCTOR	
Méthode :	
Masse volumique maximale :	
Teneur en eau optimale :	

REMARQUES :

Préparé par : Fatima Dahlab, tech.	Vérifié par : Abdelwahab Kamel, ing.	
------------------------------------	--------------------------------------	--

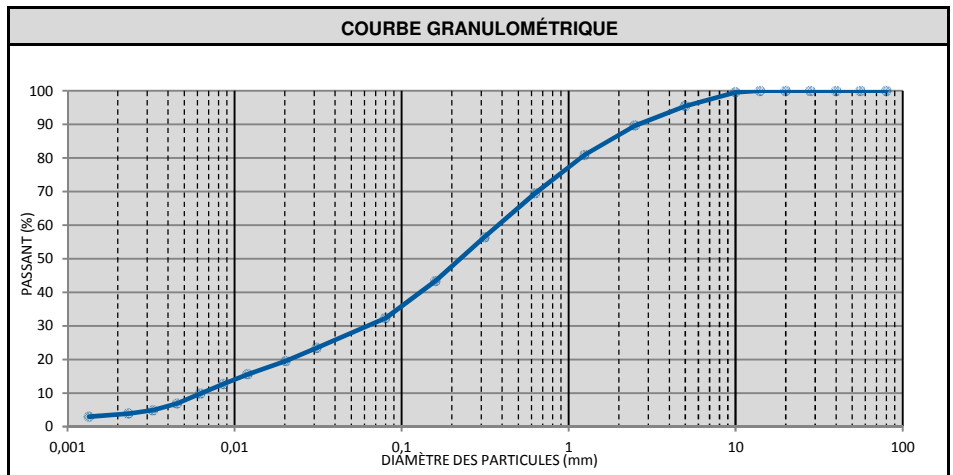


ESSAIS SUR SOLS ET MATÉRIAUX GRANULAIRES

CLIENT :	WSP	No. PROJET :	181-03709-01
SITE :	Lac Bloom, Fermont	No. D'ÉCHANTILLON LABORATOIRE :	G18-1014
		DATE D'ÉMISSION :	2018-12-05

MATÉRIEL			
Matériau :	Sol	Provenance :	Tranchée
Calibre :		Localisation :	TR 16
Usage :	Étude géotechnique		18-130-180
Prélevé par :	Frederic Tremblay	Date :	2018-11-08
		Reçu le :	2018-11-21

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE				
PAR TAMISAGE (BNQ 2501-025)				
Diamètre (mm)	Passant (%)	Exigences Min Max	N. Conf.	
112				
80	100			
56	100			
40	100			
28	100			
20	100			
14	100			
10	100			
5	95			
2,5	90			
1,25	81			
0,630	69			
0,315	56			
0,160	43			
0,080	32			



DESCRIPTION			
Cailloux:	0,0 %	D ₁₀ :	0,006
Gravier:	4,5 %	D ₃₀ :	0,067
Sable:	63,2 %	D ₆₀ :	0,401
Silt:	28,7 %	C _c :	1,8
Argile:	3,6 %	C _u :	62,3
		Classification unifiée :	
		Description :	Sable silteux, traces de gravier, traces d'argile

PAR SEDIMENTOMETRIE (BNQ 2501-025)	
Diamètre (mm)	Passant (%)
0,0311	23,5
0,0203	19,5
0,0120	15,6
0,0086	12,7
0,0062	9,8
0,0045	6,8
0,0033	4,9
0,0023	3,9
0,0013	2,9

ESSAIS DIVERS		
ESSAIS	RÉSULTATS	EXIGENCES
Teneur en eau	BNQ2501-170	7,92

ESSAI PROCTOR	
Méthode :	
Masse volumique maximale :	
Teneur en eau optimale :	

REMARQUES :

Préparé par : Fatima Dahlab, tech.	Vérifié par : Abdelwahab Kamel, ing.	
------------------------------------	--------------------------------------	--

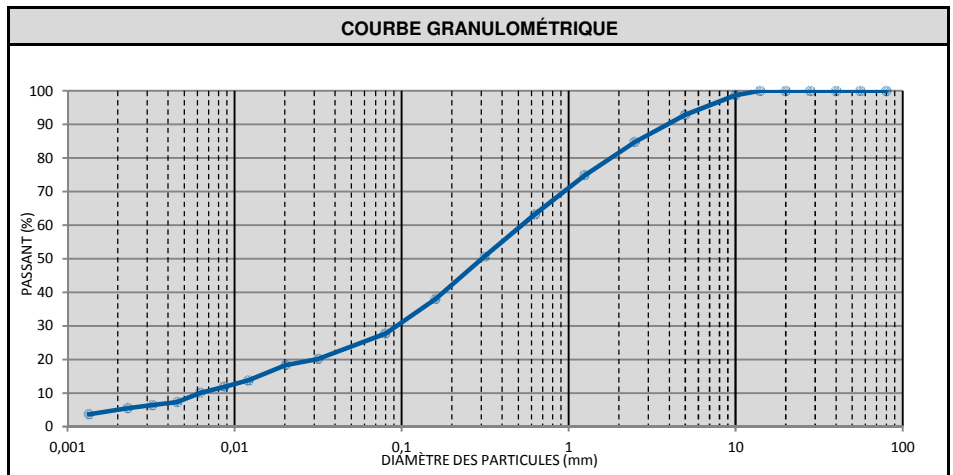


ESSAIS SUR SOLS ET MATÉRIAUX GRANULAIRES

CLIENT : WSP	No. PROJET : 181-03709-01
SITE : Lac Bloom, Fermont	No. D'ÉCHANTILLON LABORATOIRE : G18-1015
	DATE D'ÉMISSION : 2018-12-05

MATÉRIEL			
Matériau : Sol	Provenance : Tranchée		
Calibre : Usage : Étude géotechnique	Localisation : TR 22 18-0-5		
Prélevé par : Frederic Tremblay	Date : 2018-11-08	Reçu le : 2018-11-21	

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE				
PAR TAMISAGE (BNQ 2501-025)				
Diamètre (mm)	Passant (%)	Exigences Min Max	N. Conf.	
112				
80	100			
56	100			
40	100			
28	100			
20	100			
14	100			
10	99			
5	93			
2,5	85			
1,25	75			
0,630	63			
0,315	51			
0,160	38			
0,080	28			



DESCRIPTION			
Cailloux: 0,0 %	D ₁₀ : 0,006	Classification unifiée :	
Gravier: 7,1 %	D ₃₀ : 0,098	Description : Sable silteux, traces de gravier, traces d'argile	
Sable: 65,2 %	D ₆₀ : 0,550		
Silt: 22,8 %	C _c : 2,8		
Argile: 4,9 %	C _u : 88,8		

PAR SEDIMENTOMETRIE (BNQ 2501-025)	
Diamètre (mm)	Passant (%)
0,0319	20,2
0,0204	18,4
0,0122	13,8
0,0087	11,9
0,0062	10,1
0,0045	7,3
0,0032	6,4
0,0023	5,5
0,0013	3,7

ESSAIS DIVERS		
ESSAIS	RÉSULTATS	EXIGENCES
Teneur en eau BNQ2501-170	19,61	

ESSAI PROCTOR	
Méthode :	
Masse volumique maximale :	
Teneur en eau optimale :	

REMARQUES :

Préparé par : Fatima Dahlab, tech.	Vérifié par : Abdelwahab Kamel, ing.	
---------------------------------------	---	--



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 18Q412324

Client : WSP CANADA INC.

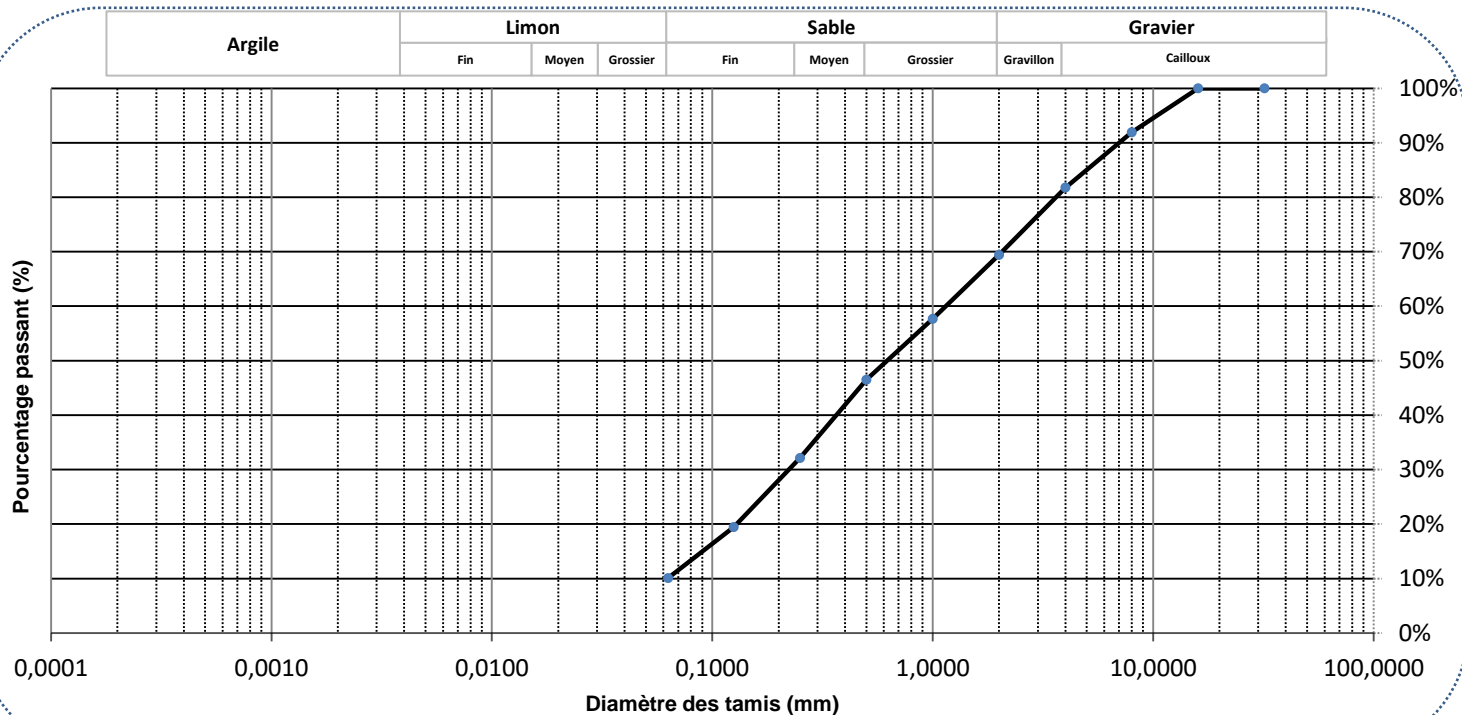
No échantillon : 9730145

Votre référence : TR-04-18-70-120 / TR-04-18-170-200

Version du certificat :

Granulométrie Tamis (mm)	Pourcentage Passant (%)
32	100,0%
16	100,0%
8	91,9%
4	81,8%
2	69,4%
1	57,7%
0,500	46,5%
0,250	32,1%
0,125	19,5%
0,063	10,1%

Sédimentométrie Diamètre équivalent (μ m)	Pourcentage Passant (%)
--	-------------------------------



Commentaires :

Gravier (2-32mm) : 30,58%
Sable (0.063-<2mm) : 59,33%

Limons, Argile (<63 μ m) : 10,09%

Date : 2018-11-28



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 18Q412324

Client : WSP CANADA INC.

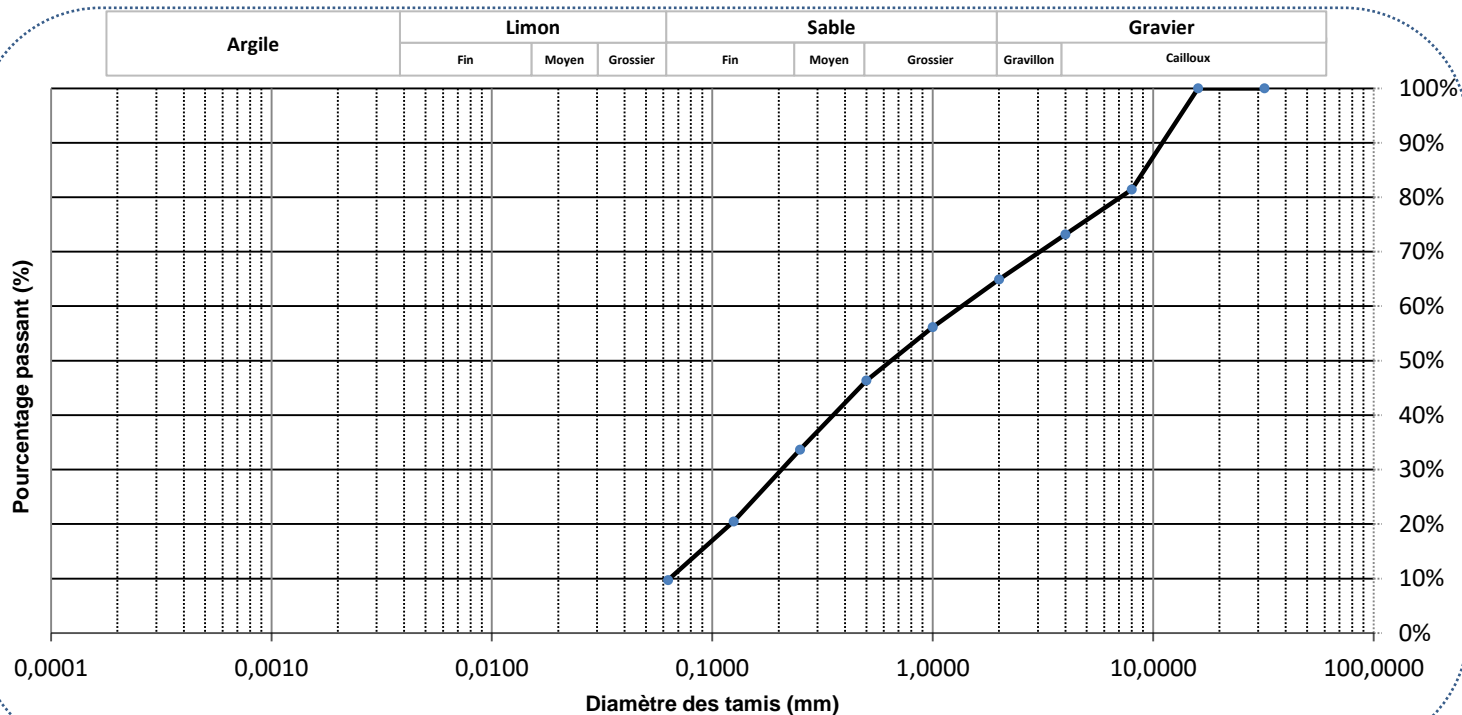
No échantillon : 9730146

Votre référence : TR-07-18-70-120 / TR-07-18-120-170

Version du certificat :

Granulométrie Tamis (mm)	Pourcentage Passant (%)
32	100,0%
16	100,0%
8	81,4%
4	73,2%
2	64,9%
1	56,2%
0,500	46,4%
0,250	33,7%
0,125	20,5%
0,063	9,7%

Sédimentométrie Diamètre équivalent (μ m)	Pourcentage Passant (%)
--	-------------------------------

**Commentaires :**Gravier (2-32mm) : 35,08%
Sable (0.063-<2mm) : 55,20%Limon, Argile (<63 μ m) 9,72%**Date :** 2018-11-28



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 18Q412324

Client : WSP CANADA INC.

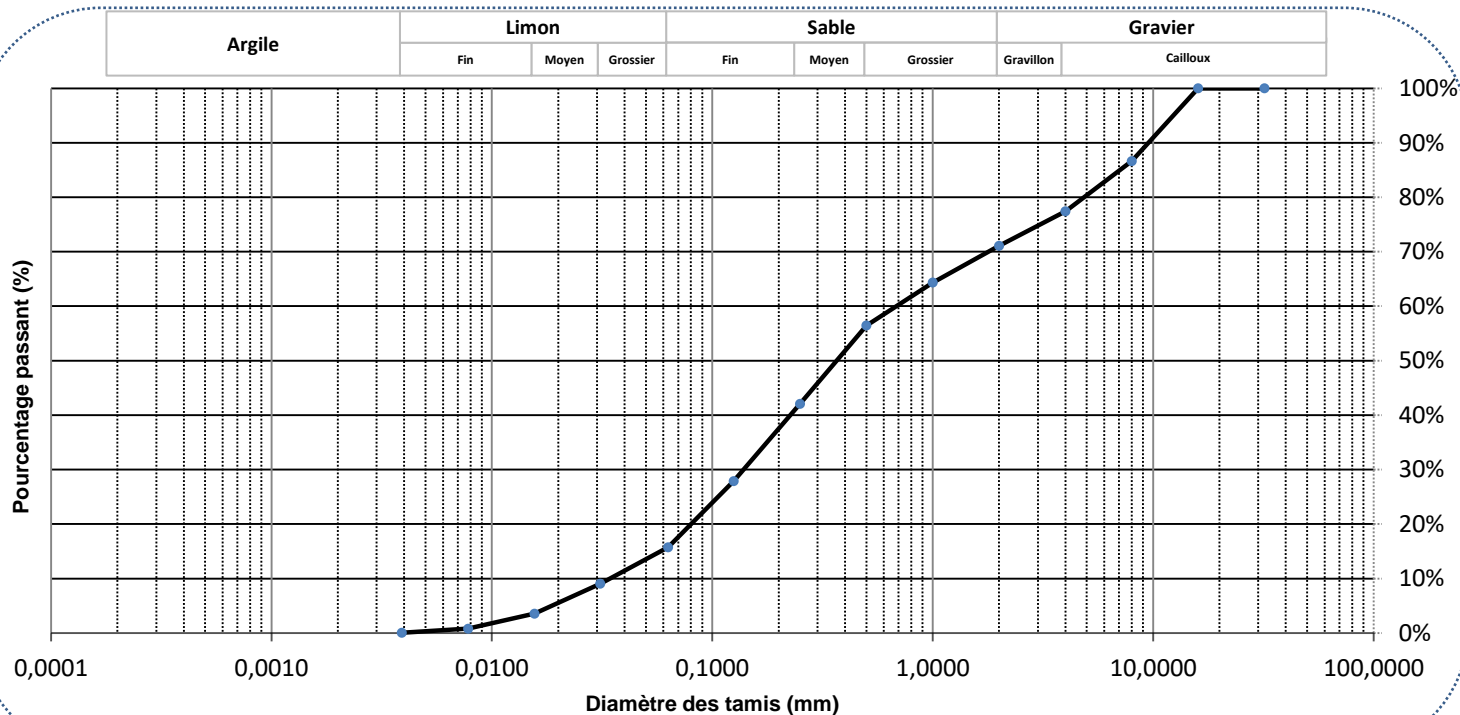
No échantillon : 9730139

Votre référence : TR-13-18-150-200 / TR-13-18-200-250

Version du certificat :

Granulométrie Tamis (mm)	Pourcentage Passant (%)
32	100,0%
16	100,0%
8	86,6%
4	77,4%
2	71,1%
1	64,3%
0,500	56,5%
0,250	42,1%
0,125	27,9%
0,063	15,7%

Sédimentométrie Diamètre équivalent (μ m)	Pourcentage Passant (%)
31,0	9,1%
15,6	3,5%
7,8	0,8%
3,9	0,1%

**Commentaires :**Gravier (2-32mm) : 28,92%
Sable (0.063-<2mm) : 55,34%Limon, Argile (<63 μ m) 15,69%
Argile (<3.9 μ m) : 0,05%**Date :** 2018-12-03



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 18Q412324

Client : WSP CANADA INC.

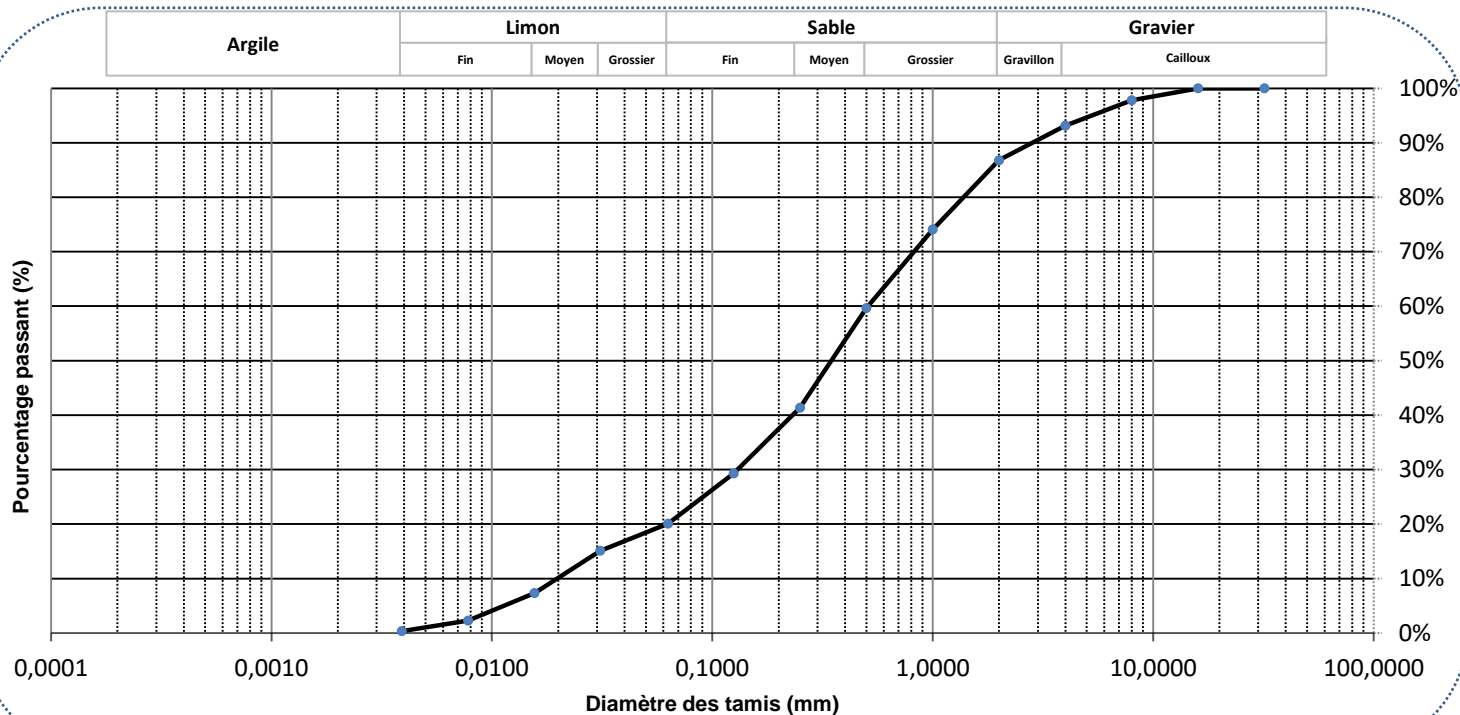
No échantillon : 9730114

Votre référence : TR-19-18-5-10 / TR-19-10-20

Version du certificat :

Granulométrie Tamis (mm)	Pourcentage Passant (%)
32	100,0%
16	100,0%
8	97,8%
4	93,1%
2	86,8%
1	74,1%
0,500	59,7%
0,250	41,4%
0,125	29,3%
0,063	20,1%

Sédimentométrie Diamètre équivalent (μ m)	Pourcentage Passant (%)
31,0	15,1%
15,6	7,3%
7,8	2,3%
3,9	0,4%

**Commentaires :**Gravier (2-32mm) : 13,21%
Sable (0.063-<2mm) : 66,71%Limon, Argile (<63 μ m) 19,72%
Argile (<3.9 μ m) : 0,36%**Date :** 2018-12-03



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 18Q412324

Client : WSP CANADA INC.

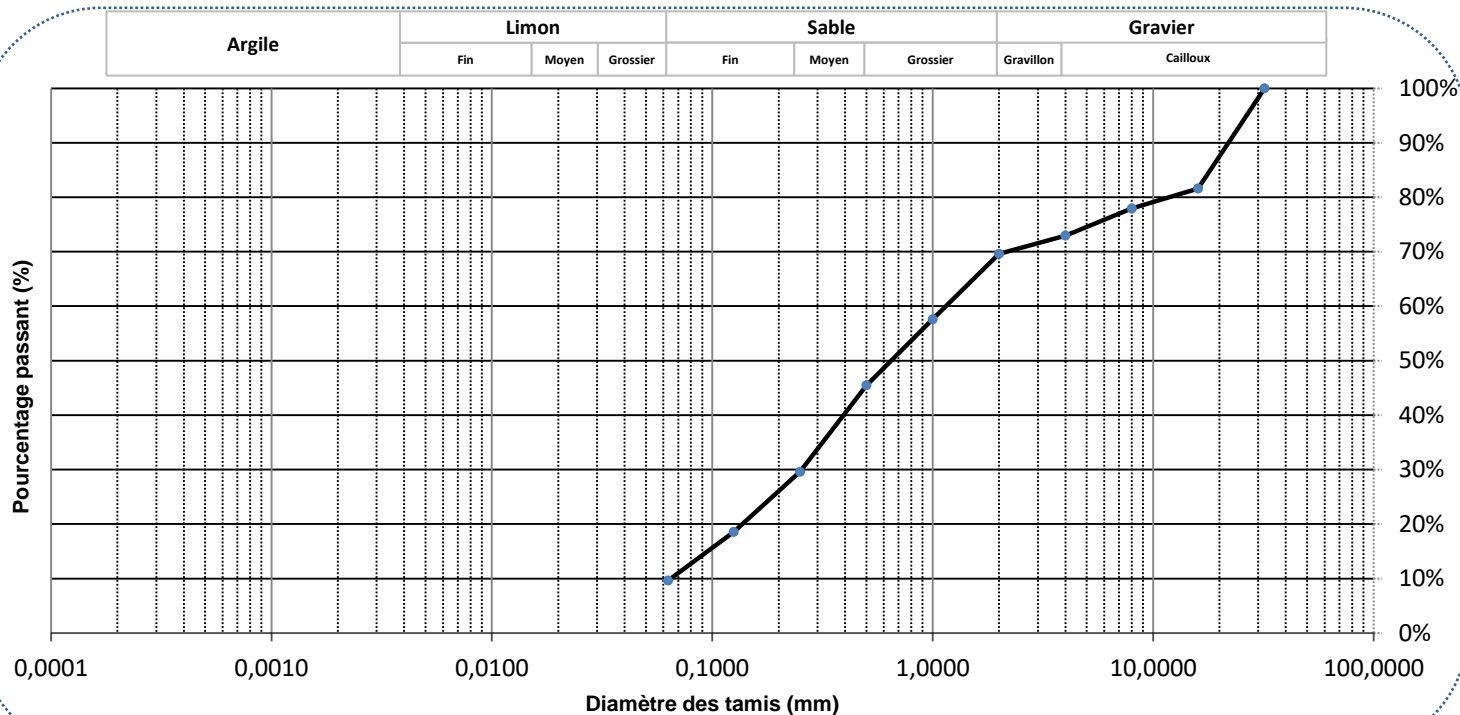
No échantillon : 9727430

Votre référence : TR-19-18-90-110

Version du certificat :

Granulométrie Tamis (mm)	Pourcentage Passant (%)
32	100,0%
16	81,6%
8	77,9%
4	73,0%
2	69,6%
1	57,6%
0,500	45,5%
0,250	29,6%
0,125	18,6%
0,063	9,6%

Sédimentométrie Diamètre équivalent (μ m)	Pourcentage Passant (%)
--	-------------------------------



Commentaires :

Gravier (2-32mm) : 30,38%
Sable (0.063-<2mm) : 59,97%

Limon, Argile (<63 μ m) 9,65%

Date : 2018-11-28



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 18Q412324

Client : WSP CANADA INC.

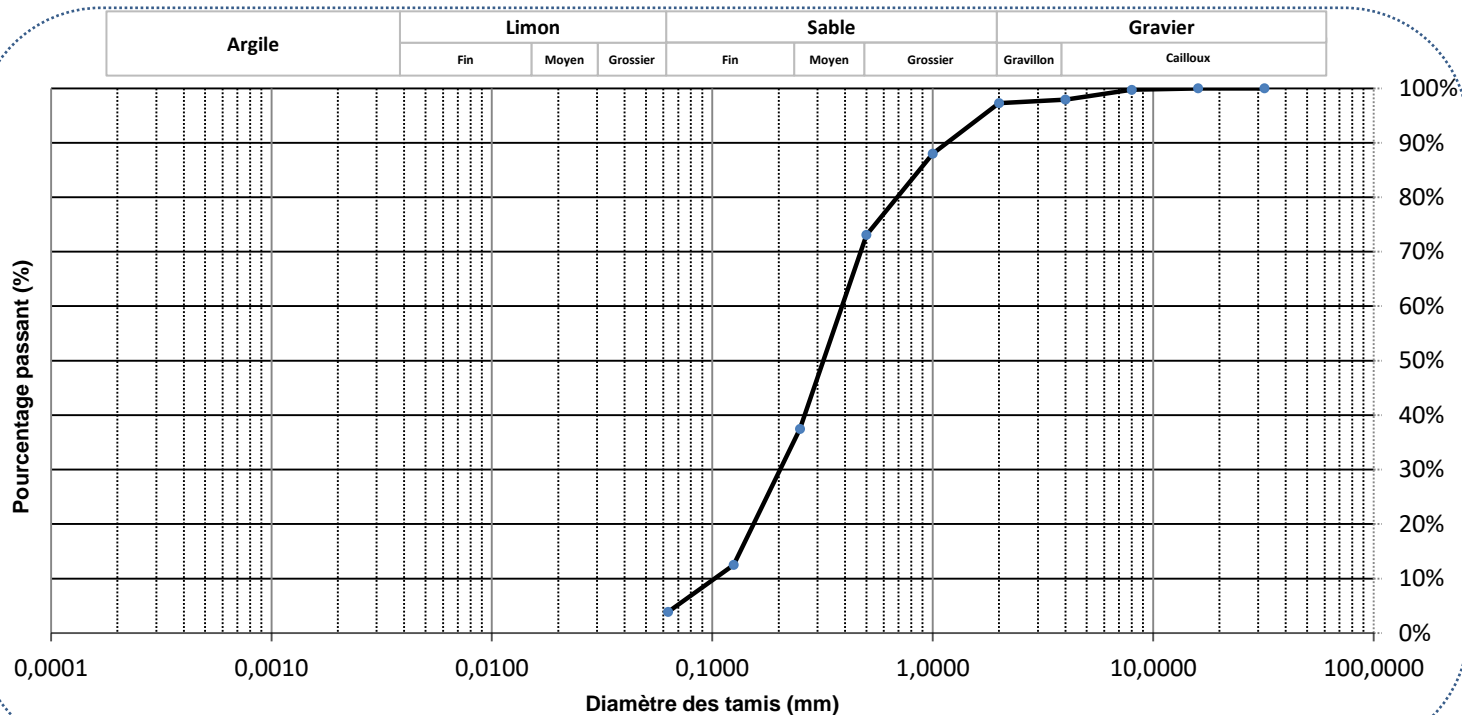
No échantillon : 9730104

Votre référence : TR-25-18-10-20 / TR-25-18-40-60

Version du certificat :

Granulométrie Tamis (mm)	Pourcentage Passant (%)
32	100,0%
16	100,0%
8	99,7%
4	97,9%
2	97,3%
1	88,0%
0,500	73,1%
0,250	37,5%
0,125	12,5%
0,063	3,9%

Sédimentométrie Diamètre équivalent (μ m)	Pourcentage Passant (%)
--	-------------------------------

**Commentaires :**Gravier (2-32mm) : 2,72%
Sable (0.063-<2mm) : 93,40%Limon, Argile (<63 μ m) 3,88%**Date :** 2018-11-28



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 18Q412324

Client : WSP CANADA INC.

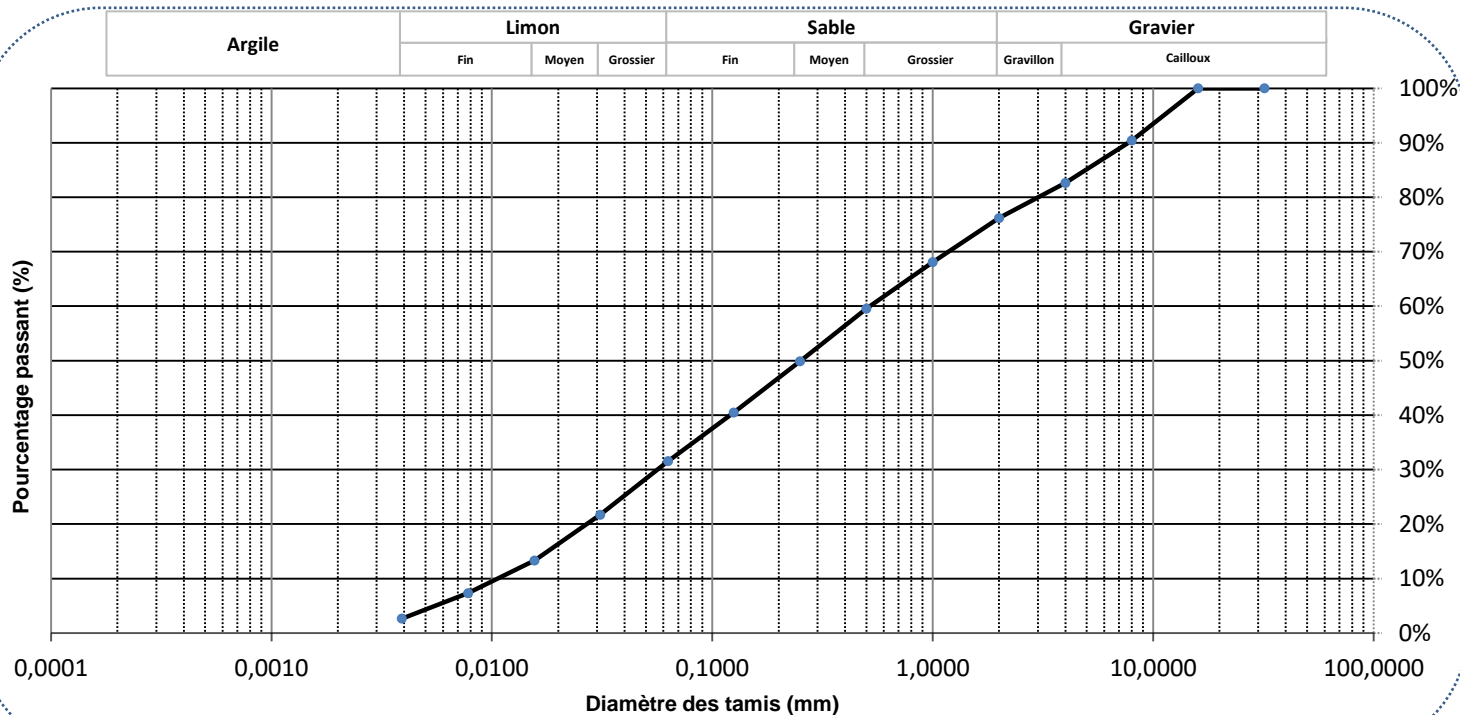
No échantillon : 9730103

Votre référence : TR-28-18-20-35 / TR-28-18-35-85

Version du certificat :

Granulométrie Tamis (mm)	Pourcentage Passant (%)
32	100,0%
16	100,0%
8	90,4%
4	82,6%
2	76,2%
1	68,1%
0,500	59,5%
0,250	49,9%
0,125	40,5%
0,063	31,6%

Sédimentométrie Diamètre équivalent (μ m)	Pourcentage Passant (%)
31,0	21,7%
15,6	13,3%
7,8	7,3%
3,9	2,7%

**Commentaires :**Gravier (2-32mm) : 23,83%
Sable (0.063-<2mm) : 44,61%Limon, Argile (<63 μ m) 28,91%
Argile (<3.9 μ m) : 2,65%**Date :** 2018-12-03



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 18Q412324

Client : WSP CANADA INC.

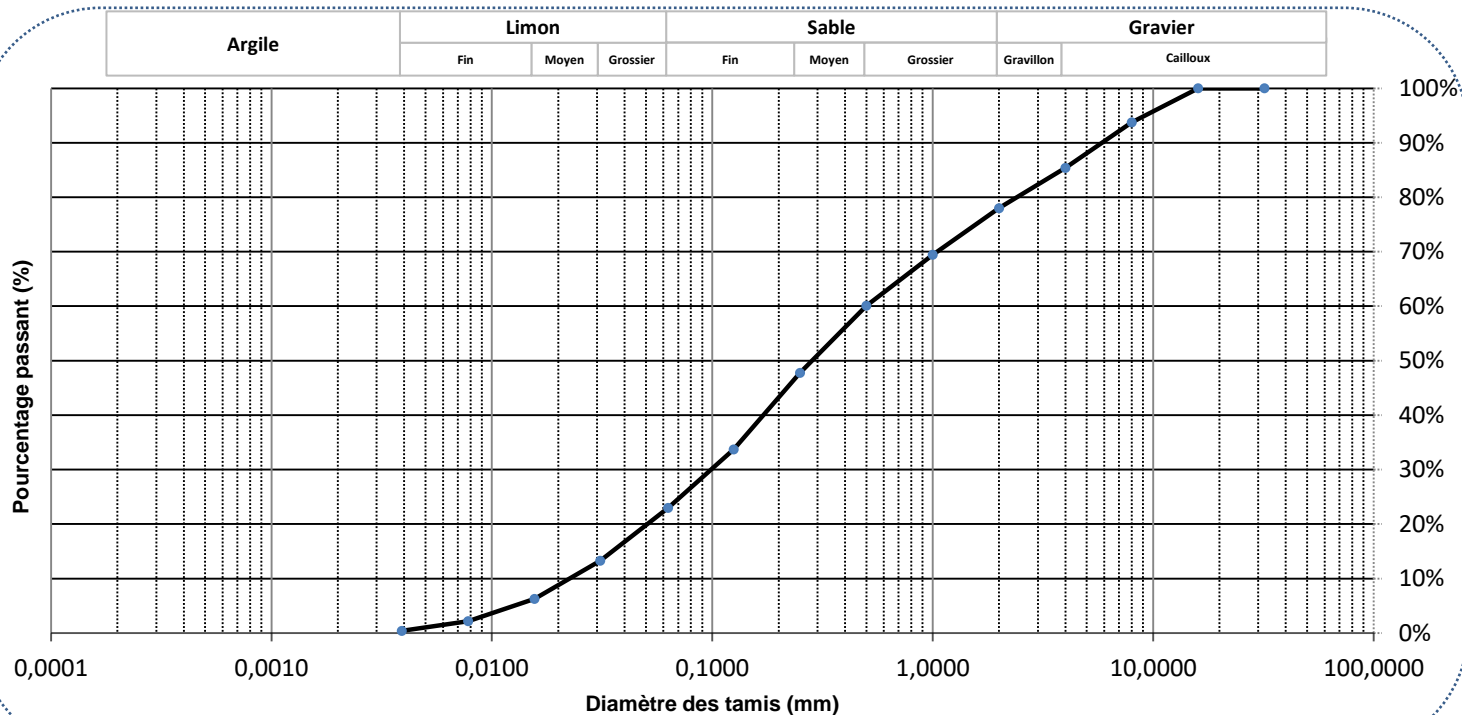
No échantillon : 9730119

Votre référence : TR-29-18-5-10 / TR-29-18-10-20

Version du certificat :

Granulométrie Tamis (mm)	Pourcentage Passant (%)
32	100,0%
16	100,0%
8	93,7%
4	85,4%
2	78,0%
1	69,4%
0,500	60,1%
0,250	47,8%
0,125	33,7%
0,063	23,0%

Sédimentométrie Diamètre équivalent (μ m)	Pourcentage Passant (%)
31,0	13,3%
15,6	6,3%
7,8	2,2%
3,9	0,4%

**Commentaires :**Gravier (2-32mm) : 22,02%
Sable (0.063-<2mm) : 55,01%Limon, Argile (<63 μ m) 22,58%
Argile (<3.9 μ m) : 0,39%**Date :** 2018-12-03



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 18Q412324

Client : WSP CANADA INC.

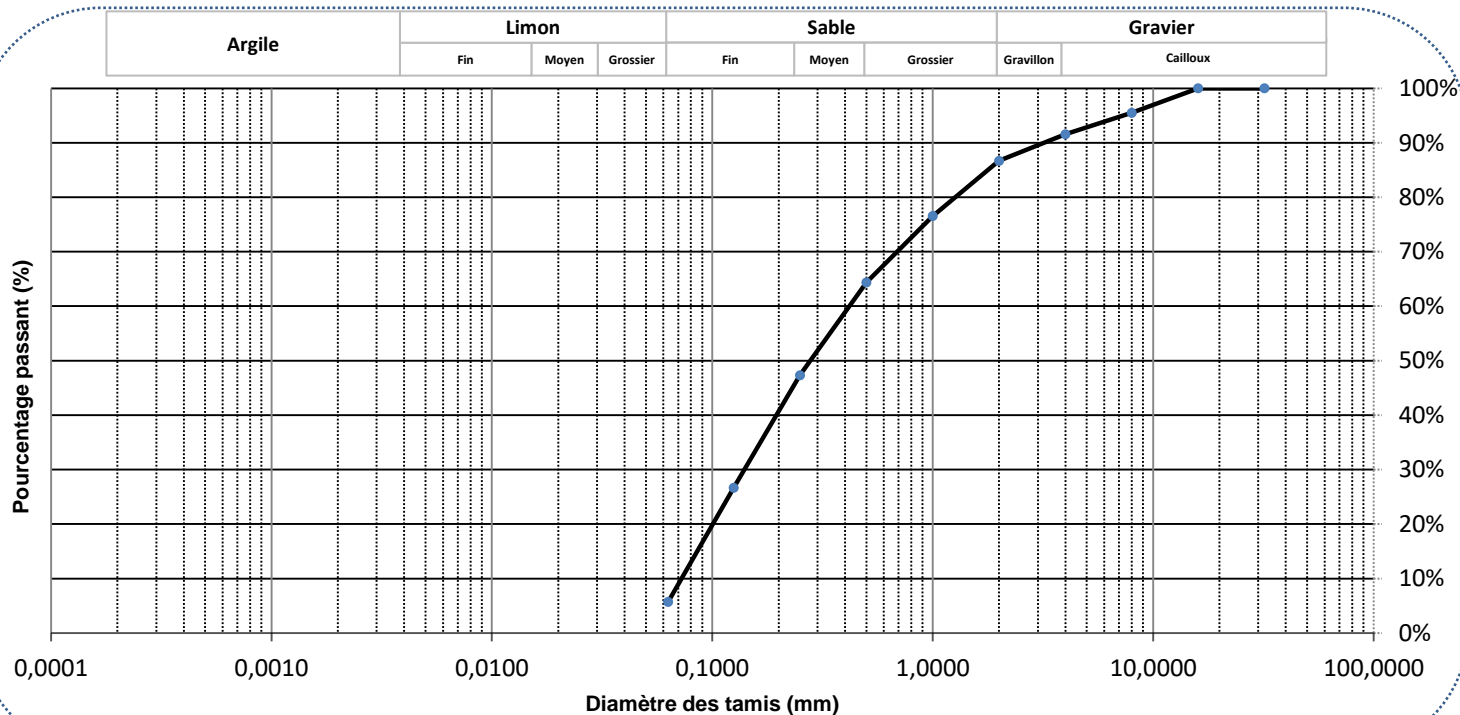
No échantillon : 9730118

Votre référence : TR-30-18-5-10 / TR-30-18-20-70

Version du certificat :

Granulométrie Tamis (mm)	Pourcentage Passant (%)
32	100,0%
16	100,0%
8	95,5%
4	91,6%
2	86,7%
1	76,6%
0,500	64,4%
0,250	47,3%
0,125	26,7%
0,063	5,7%

Sédimentométrie Diamètre équivalent (μ m)	Pourcentage Passant (%)
--	-------------------------------

**Commentaires :**Gravier (2-32mm) : 13,33%
Sable (0.063-<2mm) : 80,96%Limon, Argile (<63 μ m) 5,71%**Date :** 2018-11-28

ANNEXE

B

ANALYSES HYDROGEOSIEVE



K from Grain Size Analysis Report

Date: 2019-02-18

Sample Name:

14-PO-41-R-CF4

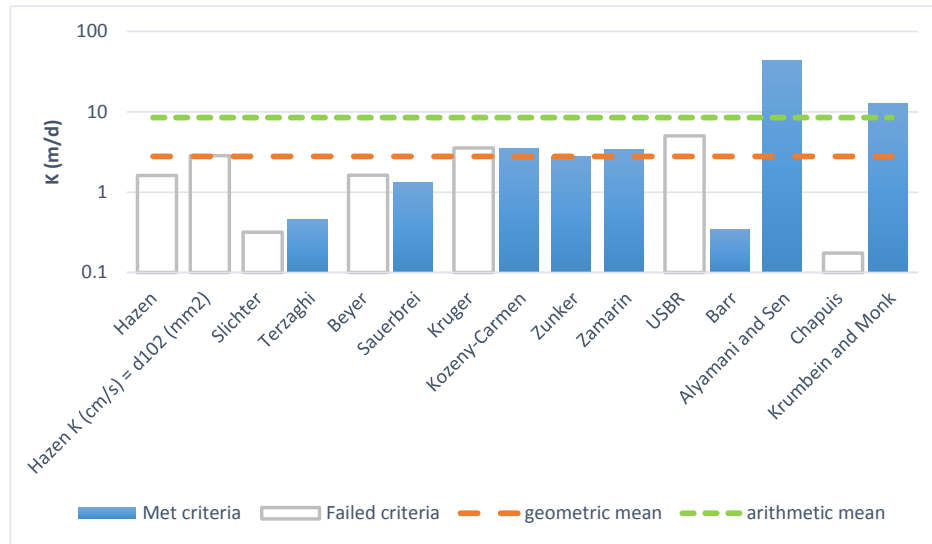
Mass Sample (g):

100

T (oC)

20

Poorly sorted gravelly sand low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	1.87E-03	1.87E-05	1.62
Hazen K (cm/s) = d ₁₀ (mm)	3.30E-03	3.30E-05	2.85
Slichter	3.68E-04	3.68E-06	0.32
Terzaghi	5.25E-04	5.25E-06	0.45
Beyer	1.89E-03	1.89E-05	1.63
Sauerbrei	1.51E-03	1.51E-05	1.31
Kruger	4.10E-03	4.10E-05	3.54
Kozeny-Carmen	4.02E-03	4.02E-05	3.47
Zunker	3.18E-03	3.18E-05	2.75
Zamarin	3.91E-03	3.91E-05	3.38
USBR	5.79E-03	5.79E-05	5.01
Barr	3.95E-04	3.95E-06	0.34
Alyamani and Sen	5.01E-02	5.01E-04	43.28
Chapuis	2.01E-04	2.01E-06	0.17
Krumbein and Monk	1.49E-02	1.49E-04	12.87
geometric mean	3.22E-03	3.22E-05	2.79
arithmetic mean	9.82E-03	9.82E-05	8.48
min	3.95E-04	3.95E-06	0.341
max	5.01E-02	5.01E-04	43.28



K from Grain Size Analysis Report

Date: 2019-02-18

Sample Name:

14-PO-44-R-CF3

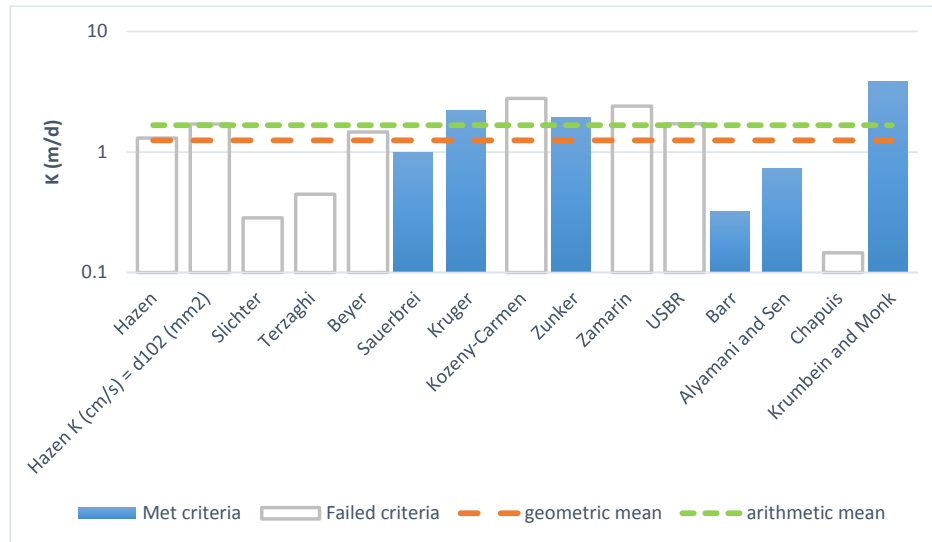
Mass Sample (g):

100

T (oC)

20

Poorly sorted gravelly sand low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	1.51E-03	1.51E-05	1.30
Hazen K (cm/s) = d ₁₀ (mm)	1.97E-03	1.97E-05	1.70
Slichter	3.29E-04	3.29E-06	0.28
Terzaghi	5.18E-04	5.18E-06	0.45
Beyer	1.69E-03	1.69E-05	1.46
Sauerbrei	1.14E-03	1.14E-05	0.99
Kruger	2.56E-03	2.56E-05	2.22
Kozeny-Carmen	3.21E-03	3.21E-05	2.78
Zunker	2.25E-03	2.25E-05	1.94
Zamarin	2.78E-03	2.78E-05	2.40
USBR	1.98E-03	1.98E-05	1.71
Barr	3.73E-04	3.73E-06	0.32
Alyamani and Sen	8.37E-04	8.37E-06	0.72
Chapuis	1.69E-04	1.69E-06	0.15
Krumbein and Monk	4.42E-03	4.42E-05	3.82
geometric mean	1.45E-03	1.45E-05	1.25
arithmetic mean	1.93E-03	1.93E-05	1.67
min	3.73E-04	3.73E-06	0.322
max	4.42E-03	4.42E-05	3.82



K from Grain Size Analysis Report

Date: 2019-02-18

Sample Name:

14-PO-45-R-CF6

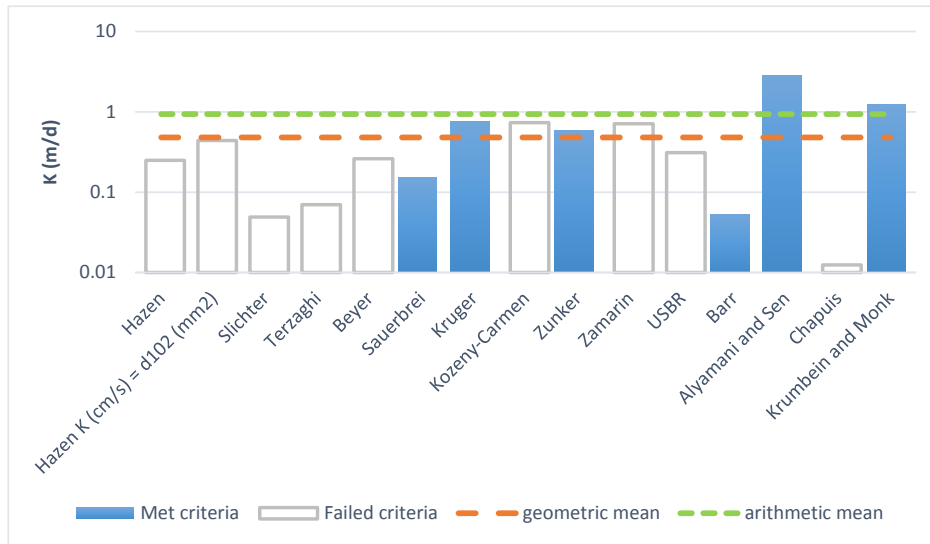
Mass Sample (g):

100

T (oC)

20

Poorly sorted gravelly sand low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	2.88E-04	2.88E-06	0.25
Hazen K (cm/s) = d ₁₀ (mm)	5.07E-04	5.07E-06	0.44
Slichter	5.67E-05	5.67E-07	0.05
Terzaghi	8.09E-05	8.09E-07	0.07
Beyer	3.03E-04	3.03E-06	0.26
Sauerbrei	1.76E-04	1.76E-06	0.15
Kruger	8.64E-04	8.64E-06	0.75
Kozeny-Carmen	8.48E-04	8.48E-06	0.73
Zunker	6.71E-04	6.71E-06	0.58
Zamarin	8.25E-04	8.25E-06	0.71
USBR	3.60E-04	3.60E-06	0.31
Barr	6.08E-05	6.08E-07	0.05
Alyamani and Sen	3.29E-03	3.29E-05	2.84
Chapuis	1.44E-05	1.44E-07	0.01
Krumbein and Monk	1.44E-03	1.44E-05	1.24
geometric mean	5.55E-04	5.55E-06	0.48
arithmetic mean	1.08E-03	1.08E-05	0.94
min	6.08E-05	6.08E-07	0.053
max	3.29E-03	3.29E-05	2.84



K from Grain Size Analysis Report

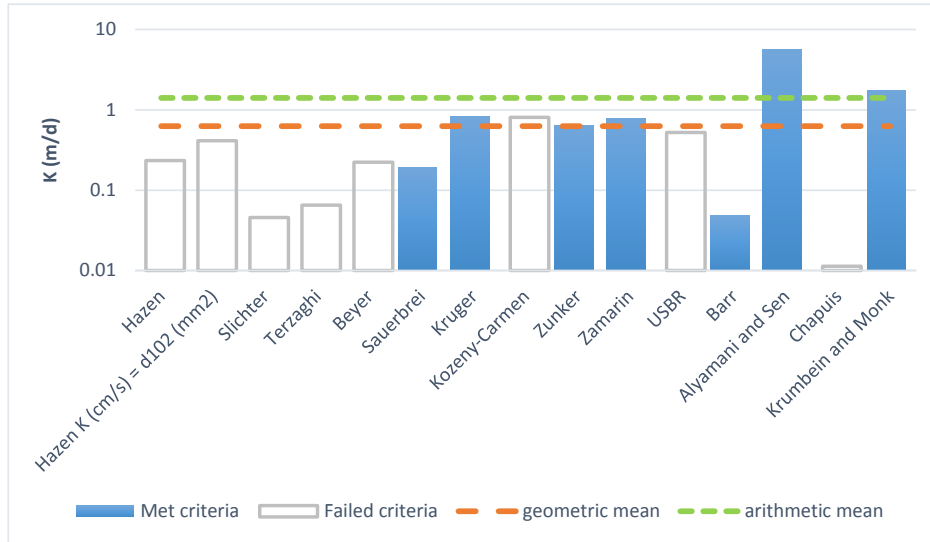
Date: 2019-02-18

Sample Name: 14-PO-45-R-CF10

Mass Sample (g): 100

T (oC) 20

Poorly sorted gravelly sand low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	2.69E-04	2.69E-06	0.23
Hazen K (cm/s) = d ₁₀ (mm)	4.76E-04	4.76E-06	0.41
Slichter	5.30E-05	5.30E-07	0.05
Terzaghi	7.55E-05	7.55E-07	0.07
Beyer	2.57E-04	2.57E-06	0.22
Sauerbrei	2.23E-04	2.23E-06	0.19
Kruger	9.50E-04	9.50E-06	0.82
Kozeny-Carmen	9.32E-04	9.32E-06	0.81
Zunker	7.38E-04	7.38E-06	0.64
Zamarin	9.06E-04	9.06E-06	0.78
USBR	6.04E-04	6.04E-06	0.52
Barr	5.68E-05	5.68E-07	0.05
Alyamani and Sen	6.51E-03	6.51E-05	5.63
Chapuis	1.31E-05	1.31E-07	0.01
Krumbein and Monk	2.01E-03	2.01E-05	1.74
geometric mean	7.25E-04	7.25E-06	0.63
arithmetic mean	1.63E-03	1.63E-05	1.41
min	5.68E-05	5.68E-07	0.049
max	6.51E-03	6.51E-05	5.63



K from Grain Size Analysis Report

Date: 2019-02-18

Sample Name:

TR-02-18-20-60

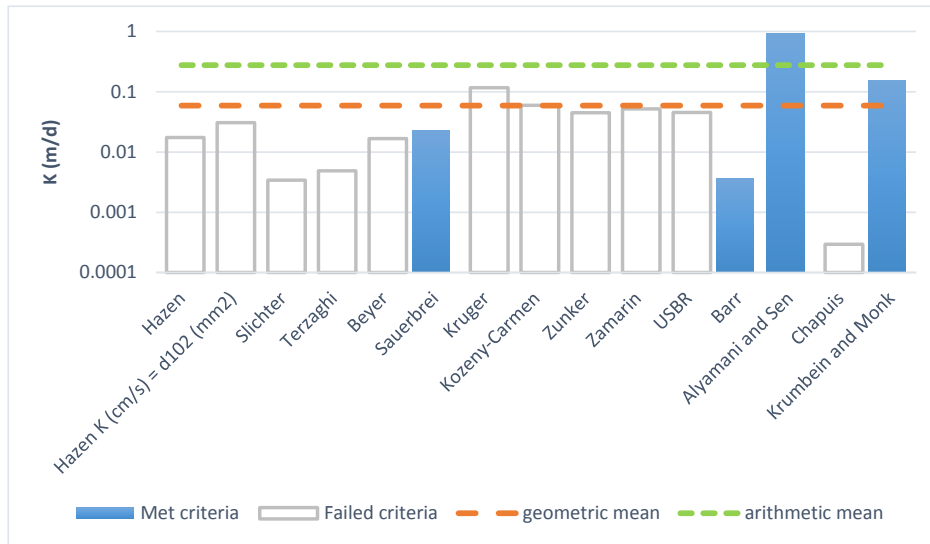
Mass Sample (g):

100

T (oC)

20

Poorly sorted gravelly sand low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	2.01E-05	2.01E-07	0.02
Hazen K (cm/s) = d ₁₀ (mm)	3.56E-05	3.56E-07	0.03
Slichter	3.96E-06	3.96E-08	0.00
Terzaghi	5.65E-06	5.65E-08	0.00
Beyer	1.92E-05	1.92E-07	0.02
Sauerbrei	2.66E-05	2.66E-07	0.02
Kruger	1.35E-04	1.35E-06	0.12
Kozeny-Carmen	6.87E-05	6.87E-07	0.06
Zunker	5.17E-05	5.17E-07	0.04
Zamarin	6.02E-05	6.02E-07	0.05
USBR	5.22E-05	5.22E-07	0.05
Barr	4.24E-06	4.24E-08	0.00
Alyamani and Sen	1.07E-03	1.07E-05	0.92
Chapuis	3.40E-07	3.40E-09	0.00
Krumbein and Monk	1.79E-04	1.79E-06	0.15
geometric mean	6.82E-05	6.82E-07	0.06
arithmetic mean	3.19E-04	3.19E-06	0.28
min	4.24E-06	4.24E-08	0.004
max	1.07E-03	1.07E-05	0.92



K from Grain Size Analysis Report

Date: 2019-02-18

Sample Name:

TR-04-18-70-120_TR-04-18-170-200

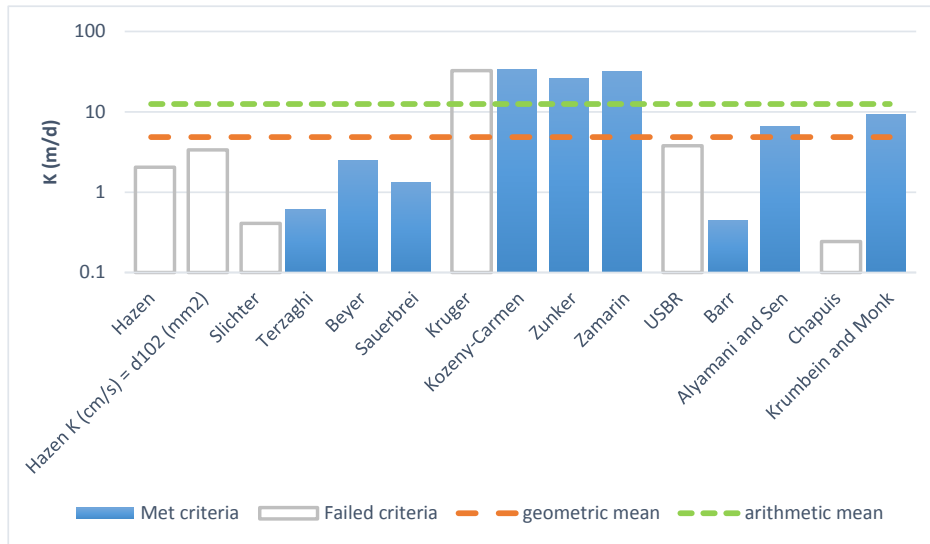
Mass Sample (g):

100

T (oC)

20

Poorly sorted gravelly sand low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	2.37E-03	2.37E-05	2.05
Hazen K (cm/s) = d ₁₀ (mm)	3.89E-03	3.89E-05	3.36
Slichter	4.74E-04	4.74E-06	0.41
Terzaghi	6.94E-04	6.94E-06	0.60
Beyer	2.85E-03	2.85E-05	2.46
Sauerbrei	1.53E-03	1.53E-05	1.32
Kruger	3.77E-02	3.77E-04	32.60
Kozeny-Carmen	3.92E-02	3.92E-04	33.85
Zunker	3.01E-02	3.01E-04	26.05
Zamarin	3.71E-02	3.71E-04	32.06
USBR	4.37E-03	4.37E-05	3.77
Barr	5.14E-04	5.14E-06	0.44
Alyamani and Sen	7.64E-03	7.64E-05	6.60
Chapuis	2.82E-04	2.82E-06	0.24
Krumbein and Monk	1.06E-02	1.06E-04	9.13
geometric mean	5.61E-03	5.61E-05	4.85
arithmetic mean	1.45E-02	1.45E-04	12.50
min	5.14E-04	5.14E-06	0.444
max	3.92E-02	3.92E-04	33.85



K from Grain Size Analysis Report

Date: 2019-02-18

Sample Name:

TR-06-18-80-130

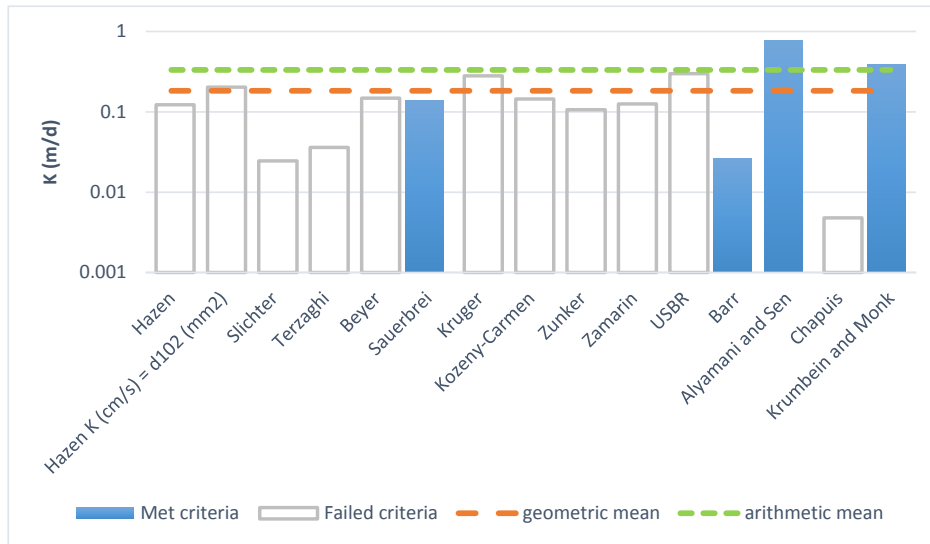
Mass Sample (g):

100

T (oC)

20

Poorly sorted sand low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	1.42E-04	1.42E-06	0.12
Hazen K (cm/s) = d ₁₀ (mm)	2.34E-04	2.34E-06	0.20
Slichter	2.84E-05	2.84E-07	0.02
Terzaghi	4.16E-05	4.16E-07	0.04
Beyer	1.71E-04	1.71E-06	0.15
Sauerbrei	1.60E-04	1.60E-06	0.14
Kruger	3.26E-04	3.26E-06	0.28
Kozeny-Carmen	1.67E-04	1.67E-06	0.14
Zunker	1.23E-04	1.23E-06	0.11
Zamarin	1.45E-04	1.45E-06	0.12
USBR	3.44E-04	3.44E-06	0.30
Barr	3.08E-05	3.08E-07	0.03
Alyamani and Sen	8.94E-04	8.94E-06	0.77
Chapuis	5.53E-06	5.53E-08	0.00
Krumbein and Monk	4.54E-04	4.54E-06	0.39
geometric mean	2.11E-04	2.11E-06	0.18
arithmetic mean	3.85E-04	3.85E-06	0.33
min	3.08E-05	3.08E-07	0.027
max	8.94E-04	8.94E-06	0.77



K from Grain Size Analysis Report

Date: 2019-02-18

Sample Name:

TR-07-18-70-120_TR-07-18-120-170

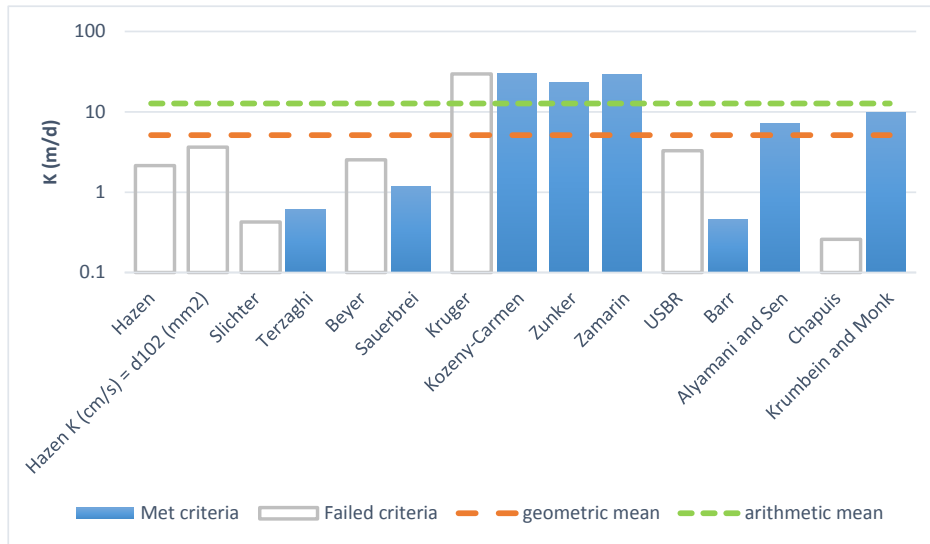
Mass Sample (g):

100

T (oC)

20

Poorly sorted gravelly sand low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	2.47E-03	2.47E-05	2.14
Hazen K (cm/s) = d ₁₀ (mm)	4.19E-03	4.19E-05	3.62
Slichter	4.91E-04	4.91E-06	0.42
Terzaghi	7.11E-04	7.11E-06	0.61
Beyer	2.93E-03	2.93E-05	2.53
Sauerbrei	1.37E-03	1.37E-05	1.18
Kruger	3.43E-02	3.43E-04	29.66
Kozeny-Carmen	3.48E-02	3.48E-04	30.09
Zunker	2.71E-02	2.71E-04	23.43
Zamarin	3.33E-02	3.33E-04	28.80
USBR	3.78E-03	3.78E-05	3.27
Barr	5.30E-04	5.30E-06	0.46
Alyamani and Sen	8.36E-03	8.36E-05	7.22
Chapuis	2.98E-04	2.98E-06	0.26
Krumbein and Monk	1.13E-02	1.13E-04	9.74
geometric mean	5.93E-03	5.93E-05	5.12
arithmetic mean	1.47E-02	1.47E-04	12.69
min	5.30E-04	5.30E-06	0.458
max	3.48E-02	3.48E-04	30.09



K from Grain Size Analysis Report

Date: 2019-02-18

Sample Name:

TR-10-18-120-170

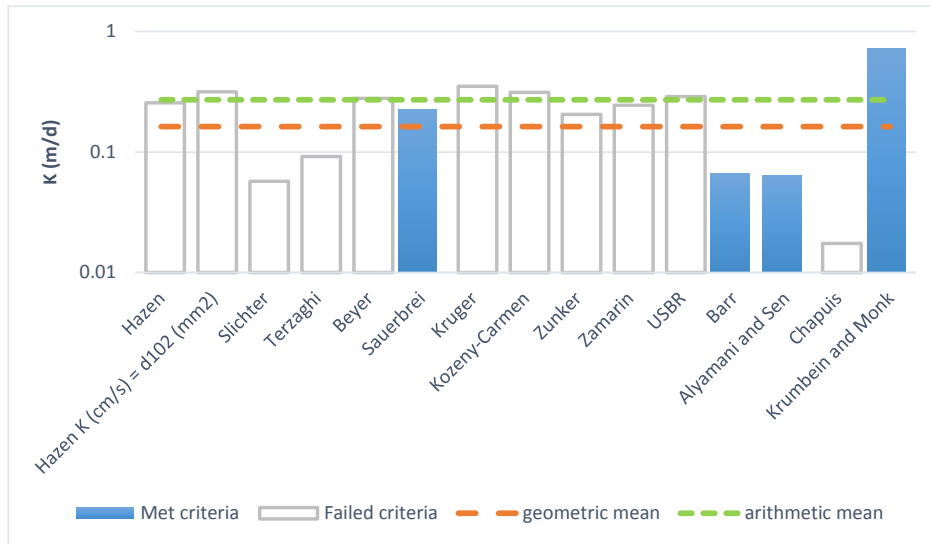
Mass Sample (g):

100

T (oC)

20

Poorly sorted sand low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	2.96E-04	2.96E-06	0.26
Hazen K (cm/s) = d ₁₀ (mm)	3.66E-04	3.66E-06	0.32
Slichter	6.63E-05	6.63E-07	0.06
Terzaghi	1.06E-04	1.06E-06	0.09
Beyer	3.22E-04	3.22E-06	0.28
Sauerbrei	2.63E-04	2.63E-06	0.23
Kruger	4.05E-04	4.05E-06	0.35
Kozeny-Carmen	3.62E-04	3.62E-06	0.31
Zunker	2.38E-04	2.38E-06	0.21
Zamarin	2.83E-04	2.83E-06	0.24
USBR	3.34E-04	3.34E-06	0.29
Barr	7.62E-05	7.62E-07	0.07
Alyamani and Sen	7.40E-05	7.40E-07	0.06
Chapuis	2.02E-05	2.02E-07	0.02
Krumbein and Monk	8.42E-04	8.42E-06	0.73
geometric mean	1.88E-04	1.88E-06	0.16
arithmetic mean	3.14E-04	3.14E-06	0.27
min	7.40E-05	7.40E-07	0.064
max	8.42E-04	8.42E-06	0.73



K from Grain Size Analysis Report

Date: 2019-02-18

Sample Name:

TR-13-18-150-200_TR-13-18-200-250

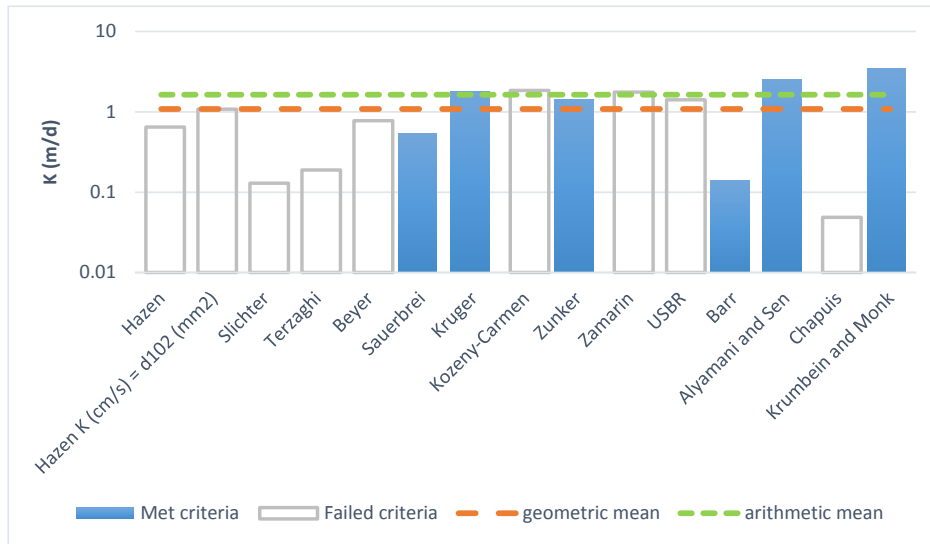
Mass Sample (g):

100

T (oC)

20

Poorly sorted gravelly sand low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	7.50E-04	7.50E-06	0.65
Hazen K (cm/s) = d ₁₀ (mm)	1.25E-03	1.25E-05	1.08
Slichter	1.49E-04	1.49E-06	0.13
Terzaghi	2.18E-04	2.18E-06	0.19
Beyer	8.96E-04	8.96E-06	0.77
Sauerbrei	6.15E-04	6.15E-06	0.53
Kruger	2.08E-03	2.08E-05	1.80
Kozeny-Carmen	2.13E-03	2.13E-05	1.84
Zunker	1.65E-03	1.65E-05	1.43
Zamarin	2.03E-03	2.03E-05	1.76
USBR	1.64E-03	1.64E-05	1.41
Barr	1.62E-04	1.62E-06	0.14
Alyamani and Sen	2.89E-03	2.89E-05	2.49
Chapuis	5.62E-05	5.62E-07	0.05
Krumbein and Monk	3.95E-03	3.95E-05	3.42
geometric mean	1.25E-03	1.25E-05	1.08
arithmetic mean	1.89E-03	1.89E-05	1.63
min	1.62E-04	1.62E-06	0.140
max	3.95E-03	3.95E-05	3.42



K from Grain Size Analysis Report

Date: 2019-02-18

Sample Name:

TR-16-18-55-80

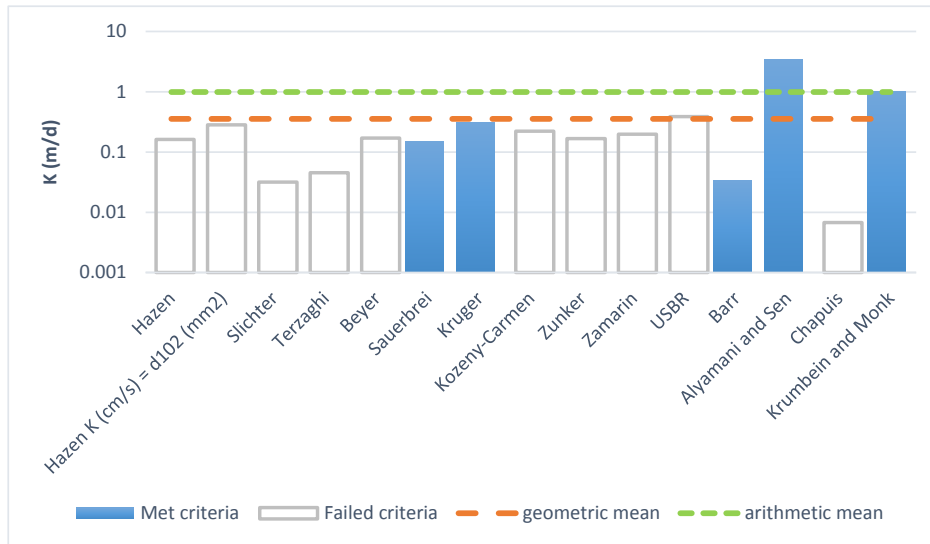
Mass Sample (g):

100

T (oC)

20

Poorly sorted gravelly sand low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	1.87E-04	1.87E-06	0.16
Hazen K (cm/s) = d ₁₀ (mm)	3.28E-04	3.28E-06	0.28
Slichter	3.67E-05	3.67E-07	0.03
Terzaghi	5.24E-05	5.24E-07	0.05
Beyer	1.97E-04	1.97E-06	0.17
Sauerbrei	1.76E-04	1.76E-06	0.15
Kruger	3.60E-04	3.60E-06	0.31
Kozeny-Carmen	2.56E-04	2.56E-06	0.22
Zunker	1.94E-04	1.94E-06	0.17
Zamarin	2.28E-04	2.28E-06	0.20
USBR	4.45E-04	4.45E-06	0.38
Barr	3.94E-05	3.94E-07	0.03
Alyamani and Sen	3.97E-03	3.97E-05	3.43
Chapuis	7.83E-06	7.83E-08	0.01
Krumbein and Monk	1.17E-03	1.17E-05	1.01
geometric mean	4.10E-04	4.10E-06	0.35
arithmetic mean	1.14E-03	1.14E-05	0.99
min	3.94E-05	3.94E-07	0.034
max	3.97E-03	3.97E-05	3.43



K from Grain Size Analysis Report

Date: 2019-02-18

Sample Name:

TR-16-18-130-180

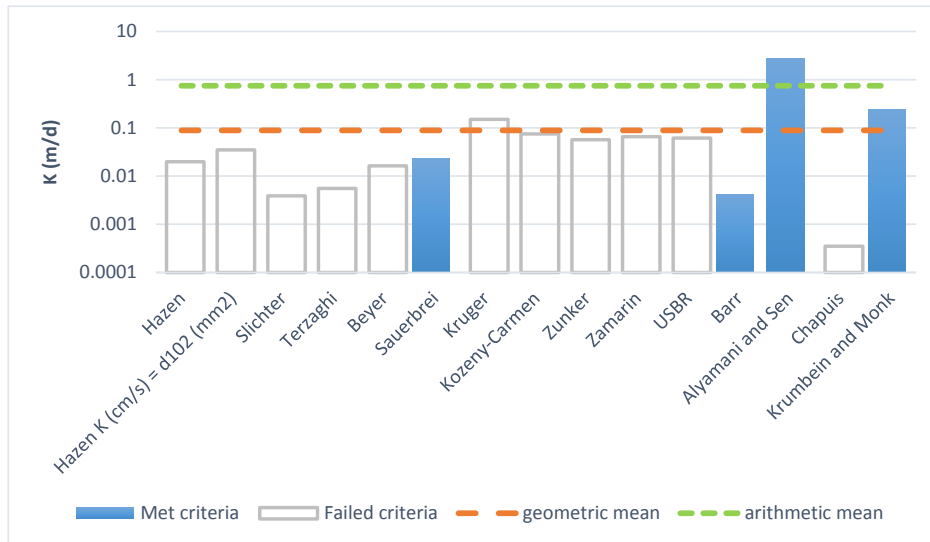
Mass Sample (g):

100

T (oC)

20

Poorly sorted gravelly sand low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	2.29E-05	2.29E-07	0.02
Hazen K (cm/s) = d ₁₀ (mm)	4.05E-05	4.05E-07	0.04
Slichter	4.51E-06	4.51E-08	0.00
Terzaghi	6.43E-06	6.43E-08	0.01
Beyer	1.88E-05	1.88E-07	0.02
Sauerbrei	2.63E-05	2.63E-07	0.02
Kruger	1.73E-04	1.73E-06	0.15
Kozeny-Carmen	8.73E-05	8.73E-07	0.08
Zunker	6.55E-05	6.55E-07	0.06
Zamarin	7.61E-05	7.61E-07	0.07
USBR	7.08E-05	7.08E-07	0.06
Barr	4.83E-06	4.83E-08	0.00
Alyamani and Sen	3.15E-03	3.15E-05	2.72
Chapuis	4.08E-07	4.08E-09	0.00
Krumbein and Monk	2.78E-04	2.78E-06	0.24
geometric mean	1.03E-04	1.03E-06	0.09
arithmetic mean	8.65E-04	8.65E-06	0.75
min	4.83E-06	4.83E-08	0.004
max	3.15E-03	3.15E-05	2.72



K from Grain Size Analysis Report

Date: 2019-02-18

Sample Name:

TR-19-18-5-10_TR-19-10-20

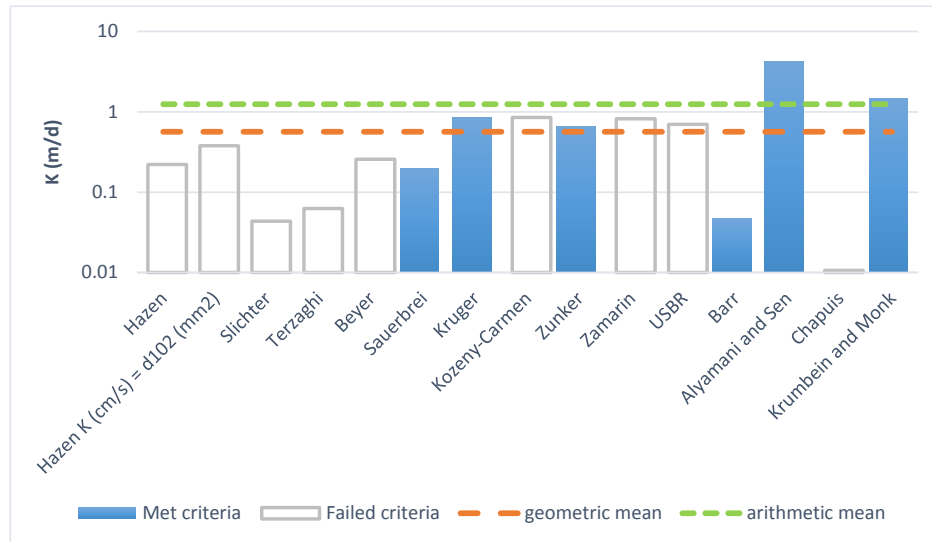
Mass Sample (g):

100

T (oC)

20

Poorly sorted gravelly sand low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	2.55E-04	2.55E-06	0.22
Hazen K (cm/s) = d ₁₀ (mm)	4.38E-04	4.38E-06	0.38
Slichter	5.05E-05	5.05E-07	0.04
Terzaghi	7.27E-05	7.27E-07	0.06
Beyer	2.97E-04	2.97E-06	0.26
Sauerbrei	2.27E-04	2.27E-06	0.20
Kruger	9.81E-04	9.81E-06	0.85
Kozeny-Carmen	9.83E-04	9.83E-06	0.85
Zunker	7.70E-04	7.70E-06	0.67
Zamarin	9.46E-04	9.46E-06	0.82
USBR	8.06E-04	8.06E-06	0.70
Barr	5.43E-05	5.43E-07	0.05
Alyamani and Sen	4.90E-03	4.90E-05	4.23
Chapuis	1.23E-05	1.23E-07	0.01
Krumbein and Monk	1.71E-03	1.71E-05	1.48
geometric mean	6.53E-04	6.53E-06	0.56
arithmetic mean	1.44E-03	1.44E-05	1.24
min	5.43E-05	5.43E-07	0.047
max	4.90E-03	4.90E-05	4.23



K from Grain Size Analysis Report

Date: 2019-02-18

Sample Name:

TR-19-18-90-110

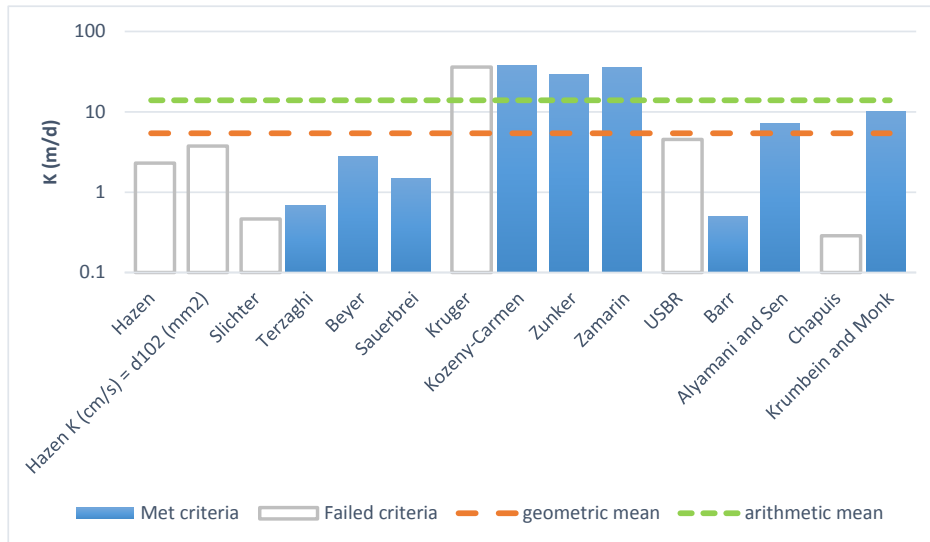
Mass Sample (g):

100

T (oC)

20

Poorly sorted gravelly sand low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	2.67E-03	2.67E-05	2.30
Hazen K (cm/s) = d ₁₀ (mm)	4.32E-03	4.32E-05	3.74
Slichter	5.36E-04	5.36E-06	0.46
Terzaghi	7.88E-04	7.88E-06	0.68
Beyer	3.21E-03	3.21E-05	2.77
Sauerbrei	1.72E-03	1.72E-05	1.49
Kruger	4.18E-02	4.18E-04	36.15
Kozeny-Carmen	4.39E-02	4.39E-04	37.93
Zunker	3.36E-02	3.36E-04	29.04
Zamarin	4.14E-02	4.14E-04	35.76
USBR	5.26E-03	5.26E-05	4.54
Barr	5.82E-04	5.82E-06	0.50
Alyamani and Sen	8.19E-03	8.19E-05	7.08
Chapuis	3.33E-04	3.33E-06	0.29
Krumbein and Monk	1.16E-02	1.16E-04	10.02
geometric mean	6.26E-03	6.26E-05	5.41
arithmetic mean	1.61E-02	1.61E-04	13.92
min	5.82E-04	5.82E-06	0.503
max	4.39E-02	4.39E-04	37.93



K from Grain Size Analysis Report

Date: 2019-02-18

Sample Name:

TR-22-18-0-5

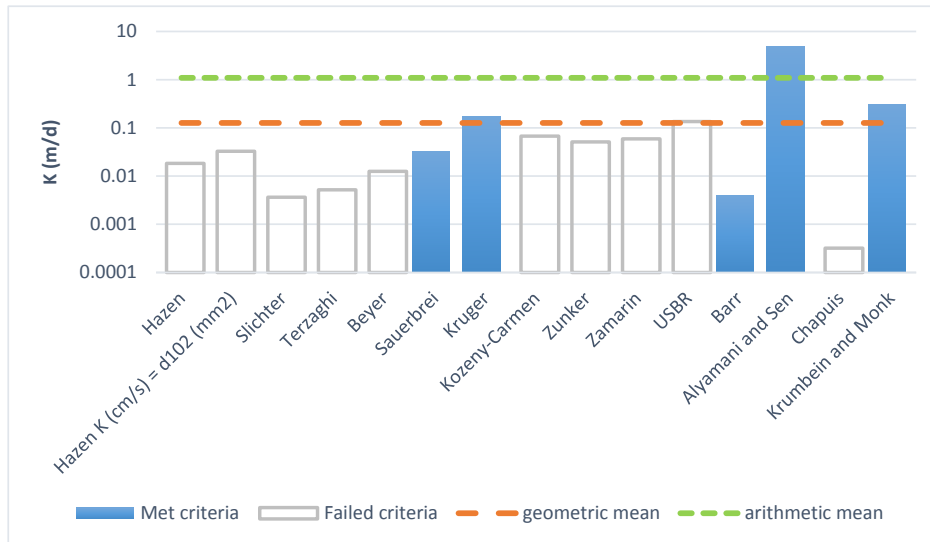
Mass Sample (g):

100

T (oC)

20

Poorly sorted gravelly sand low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	2.13E-05	2.13E-07	0.02
Hazen K (cm/s) = d ₁₀ (mm)	3.77E-05	3.77E-07	0.03
Slichter	4.19E-06	4.19E-08	0.00
Terzaghi	5.98E-06	5.98E-08	0.01
Beyer	1.45E-05	1.45E-07	0.01
Sauerbrei	3.76E-05	3.76E-07	0.03
Kruger	1.96E-04	1.96E-06	0.17
Kozeny-Carmen	7.85E-05	7.85E-07	0.07
Zunker	5.89E-05	5.89E-07	0.05
Zamarin	6.85E-05	6.85E-07	0.06
USBR	1.57E-04	1.57E-06	0.14
Barr	4.50E-06	4.50E-08	0.00
Alyamani and Sen	5.73E-03	5.73E-05	4.95
Chapuis	3.68E-07	3.68E-09	0.00
Krumbein and Monk	3.57E-04	3.57E-06	0.31
geometric mean	1.47E-04	1.47E-06	0.13
arithmetic mean	1.26E-03	1.26E-05	1.09
min	4.50E-06	4.50E-08	0.004
max	5.73E-03	5.73E-05	4.95



K from Grain Size Analysis Report

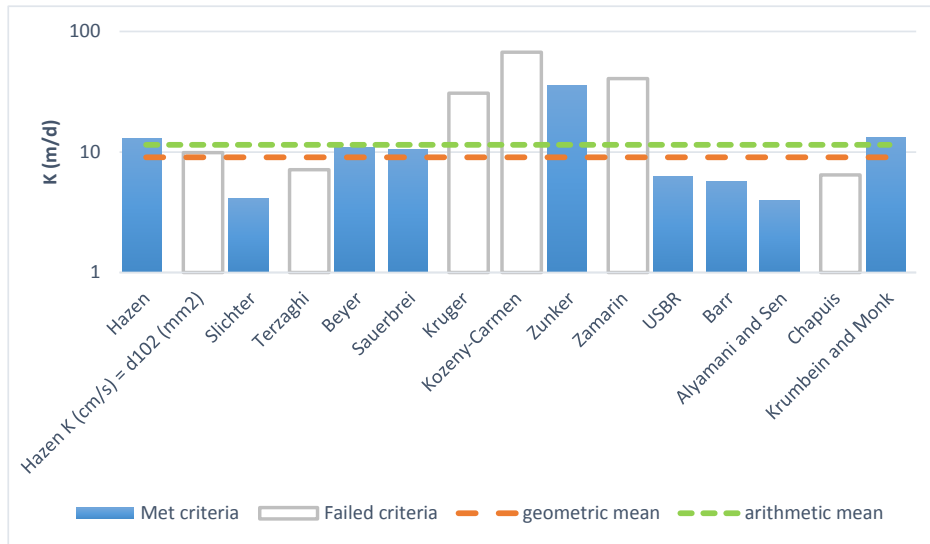
Date: 2019-02-18

Sample Name: TR-25-18-10-20_TR-25-18-40-60

Mass Sample (g): 100

T (oC) 20

Moderately well sorted sand low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	1.50E-02	1.50E-04	12.98
Hazen K (cm/s) = d ₁₀ (mm)	1.14E-02	1.14E-04	9.89
Slichter	4.74E-03	4.74E-05	4.09
Terzaghi	8.23E-03	8.23E-05	7.11
Beyer	1.25E-02	1.25E-04	10.81
Sauerbrei	1.22E-02	1.22E-04	10.56
Kruger	3.57E-02	3.57E-04	30.82
Kozeny-Carmen	7.79E-02	7.79E-04	67.28
Zunker	4.13E-02	4.13E-04	35.70
Zamarin	4.71E-02	4.71E-04	40.71
USBR	7.30E-03	7.30E-05	6.31
Barr	6.54E-03	6.54E-05	5.65
Alyamani and Sen	4.56E-03	4.56E-05	3.94
Chapuis	7.45E-03	7.45E-05	6.44
Krumbein and Monk	1.52E-02	1.52E-04	13.17
geometric mean	1.05E-02	1.05E-04	9.03
arithmetic mean	1.33E-02	1.33E-04	11.47
min	4.56E-03	4.56E-05	3.939
max	4.13E-02	4.13E-04	35.70



K from Grain Size Analysis Report

Date: 2019-02-18

Sample Name:

TR-28-18-20-35_TR-28-18-35-85

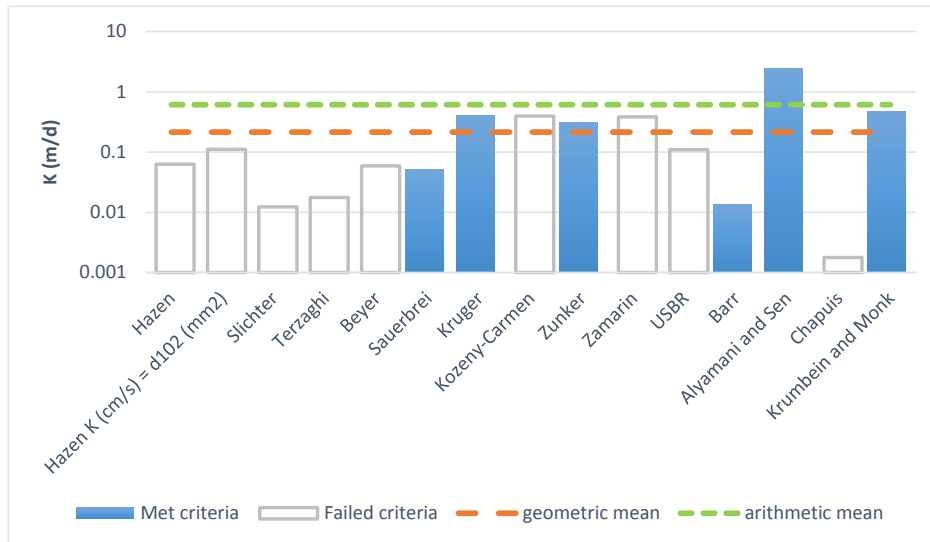
Mass Sample (g):

100

T (oC)

20

Poorly sorted gravelly sand low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	7.25E-05	7.25E-07	0.06
Hazen K (cm/s) = d ₁₀ (mm)	1.28E-04	1.28E-06	0.11
Slichter	1.42E-05	1.42E-07	0.01
Terzaghi	2.03E-05	2.03E-07	0.02
Beyer	6.80E-05	6.80E-07	0.06
Sauerbrei	5.87E-05	5.87E-07	0.05
Kruger	4.67E-04	4.67E-06	0.40
Kozeny-Carmen	4.58E-04	4.58E-06	0.40
Zunker	3.63E-04	3.63E-06	0.31
Zamarin	4.45E-04	4.45E-06	0.38
USBR	1.27E-04	1.27E-06	0.11
Barr	1.53E-05	1.53E-07	0.01
Alyamani and Sen	2.78E-03	2.78E-05	2.40
Chapuis	2.06E-06	2.06E-08	0.00
Krumbein and Monk	5.45E-04	5.45E-06	0.47
geometric mean	2.48E-04	2.48E-06	0.21
arithmetic mean	7.05E-04	7.05E-06	0.61
min	1.53E-05	1.53E-07	0.013
max	2.78E-03	2.78E-05	2.40



K from Grain Size Analysis Report

Date: 2019-02-18

Sample Name:

TR-29-18-5-10_TR-29-18-10-20

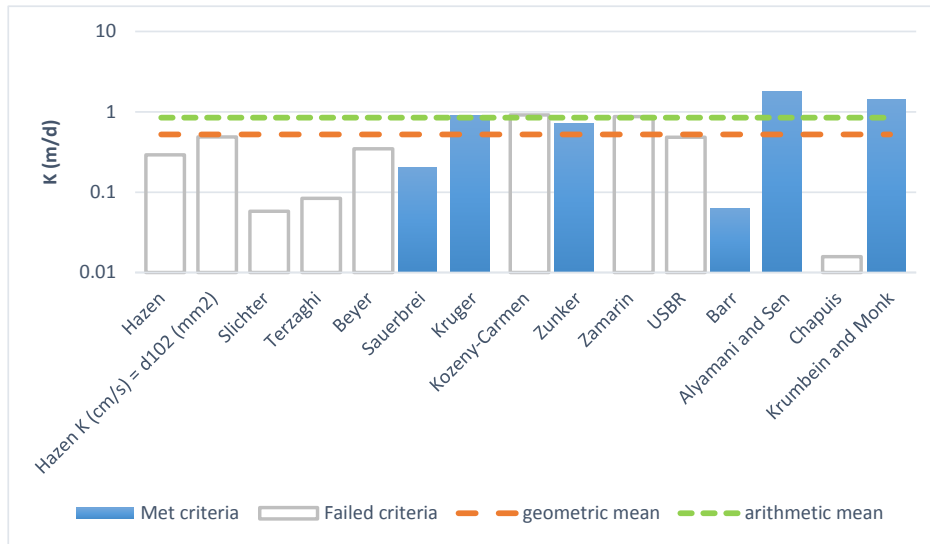
Mass Sample (g):

100

T (oC)

20

Poorly sorted gravelly sand low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	3.36E-04	3.36E-06	0.29
Hazen K (cm/s) = d ₁₀ (mm)	5.64E-04	5.64E-06	0.49
Slichter	6.69E-05	6.69E-07	0.06
Terzaghi	9.73E-05	9.73E-07	0.08
Beyer	4.01E-04	4.01E-06	0.35
Sauerbrei	2.35E-04	2.35E-06	0.20
Kruger	1.03E-03	1.03E-05	0.89
Kozeny-Carmen	1.05E-03	1.05E-05	0.91
Zunker	8.18E-04	8.18E-06	0.71
Zamarin	1.01E-03	1.01E-05	0.87
USBR	5.57E-04	5.57E-06	0.48
Barr	7.24E-05	7.24E-07	0.06
Alyamani and Sen	2.09E-03	2.09E-05	1.80
Chapuis	1.83E-05	1.83E-07	0.02
Krumbein and Monk	1.63E-03	1.63E-05	1.41
geometric mean	6.05E-04	6.05E-06	0.52
arithmetic mean	9.80E-04	9.80E-06	0.85
min	7.24E-05	7.24E-07	0.063
max	2.09E-03	2.09E-05	1.80



K from Grain Size Analysis Report

Date: 2019-02-18

Sample Name:

TR-30-18-5-10_TR-30-18-20-70

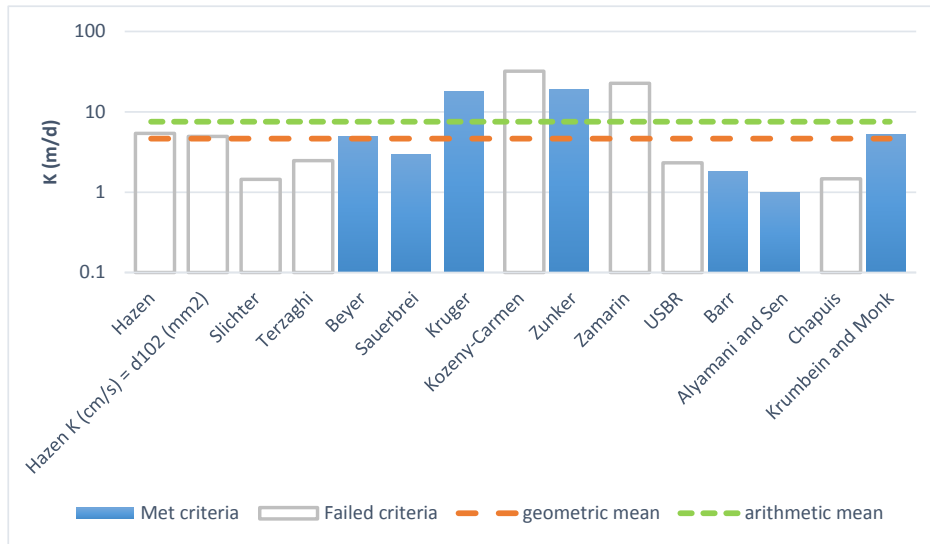
Mass Sample (g):

100

T (oC)

20

Poorly sorted gravelly sand low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	6.22E-03	6.22E-05	5.38
Hazen K (cm/s) = d ₁₀ (mm)	5.73E-03	5.73E-05	4.95
Slichter	1.68E-03	1.68E-05	1.45
Terzaghi	2.85E-03	2.85E-05	2.46
Beyer	5.74E-03	5.74E-05	4.96
Sauerbrei	3.38E-03	3.38E-05	2.92
Kruger	2.09E-02	2.09E-04	18.05
Kozeny-Carmen	3.70E-02	3.70E-04	31.96
Zunker	2.18E-02	2.18E-04	18.84
Zamarin	2.61E-02	2.61E-04	22.58
USBR	2.69E-03	2.69E-05	2.32
Barr	2.12E-03	2.12E-05	1.83
Alyamani and Sen	1.15E-03	1.15E-05	0.99
Chapuis	1.69E-03	1.69E-05	1.46
Krumbein and Monk	5.98E-03	5.98E-05	5.16
geometric mean	5.37E-03	5.37E-05	4.64
arithmetic mean	8.72E-03	8.72E-05	7.53
min	1.15E-03	1.15E-05	0.990
max	2.18E-02	2.18E-04	18.84

ANNEXE

C ESSAIS DE PERMÉABILITÉ

ESSAI DE PERMÉABILITÉ

Projet : Bloom Essai : 1
No : 121-18900-00 Type d'essai : «Slug» en descente
Client : Cliff

Identification de l'essai

Puits-numéro essai : BH-01-12
Date de l'essai : 18-09-2012
Niveau d'eau Statique pr sol 0.39 m

Paramètres de l'essai

Méthode de Bouwer Rice (1976)

Rayon du tubage $R_c = 0.0254$ m
Rayon du forage $R_w = 0.048$ m
Longueur de la crépine $d = 1.52$ m

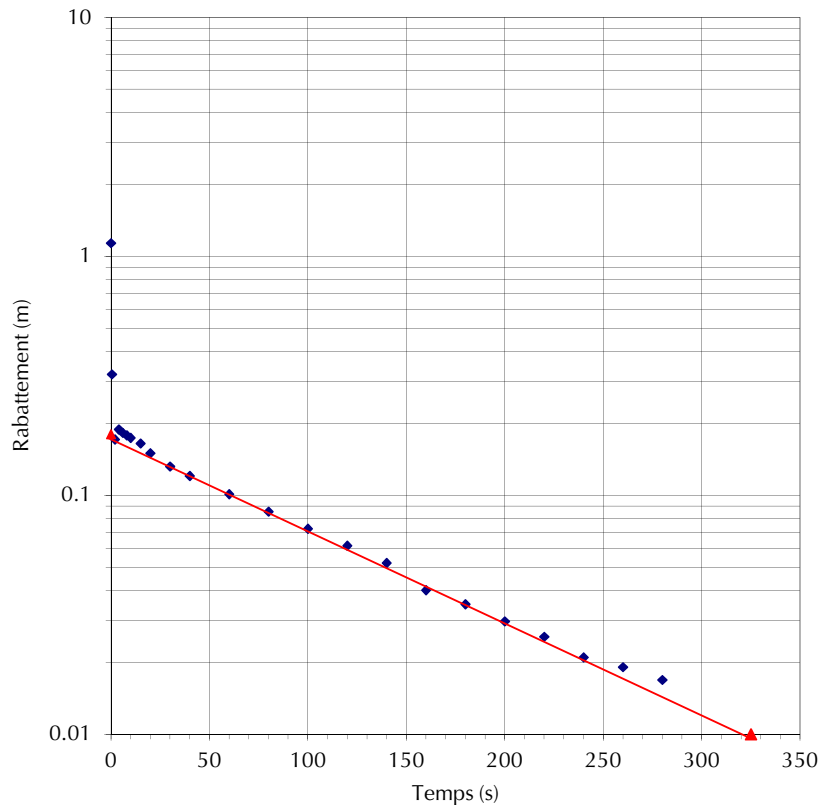
Longueur de l'aquifer et la base de la crépine $b = 2.05$ m
Épaisseur de l'aquifère $D = 2.05$ m
Porosité du gravier $n = 0.300$
Rayon équivalent* $R_c' = 0.0338$ m

A = 2.52 $d/R_w = 31.75$
B = 0.40 $b/R_w = 42.76$
C = 2.00

Résultats de l'essai

Charge initiale : $H_i = 0.39$ m

Temps s	profondeur d'eau pr sol (m)	Dh m
0	-0.750	1.136
0.5	0.065	0.321
1	0.406	-0.020
2	0.215	0.171
4	0.197	0.189
6	0.203	0.183
8	0.208	0.178
10	0.212	0.174
15	0.221	0.165
20	0.236	0.150
30	0.254	0.132
40	0.265	0.121
60	0.285	0.101
80	0.301	0.085
100	0.314	0.072
120	0.324	0.062
140	0.334	0.052
160	0.346	0.040
180	0.351	0.035
200	0.356	0.030
220	0.360	0.026
240	0.365	0.021
260	0.367	0.019
280	0.369	0.017

Graphique de la variation de la charge hydraulique en fonction du temps

Choix des points pour le calcul de la pente

	Temps	Charge
Point 1	$t_1 = 325$	$H_1 = 0.010$

 $H_o = 0.18$ m

Calcul de la conductivité hydraulique (Bouwer and Rice, 1976)

Position niveau statique: au dessus de la crépine

if $L_w < H$ (partially penetrating well)

A = 2.52
B = 0.40
 $\ln(R_e/R_w) = \text{\#NOMBRE!}$
Si $L_w = H$ (fully penetrating well)

C = 2.00
 $\ln(R_e/R_w) = 2.81$

$$K = \frac{R_c'^2 \ln\left(\frac{R_e}{R_w}\right)}{2dt} \ln \frac{H_o}{H_t}$$

 $\ln(R_e/R_w) = 2.81$
K = 5.29E-06 m/s

Remarques :

Effectué par : Gilles Baribeau

Calculé par : Daniel Lemaire

Révisé par : Andréanne Hamel

ESSAI DE PERMÉABILITÉ

Projet : Bloom Essai : 1
No : 121-18900-00 Type d'essai : «Slug» en remontée
Client : Cliff

Identification de l'essai

Puits-numéro essai : BH-01-12
Date de l'essai : 18-09-2012
Niveau d'eau Statique pr sol 0.39 m

Paramètres de l'essai

Méthode de Bouwer Rice (1976)

Rayon du tubage $R_c = 0.0254$ m
Rayon du forage $R_w = 0.048$ m
Longueur de la crépine $d = 1.52$ m
Longueur de l'aquifer et la base de la crépine $b = 2.05$ m
Épaisseur de l'aquifère $D = 2.05$ m
Porosité du gravier $n = 0.300$
Rayon équivalent* $R_c' = 0.0338$ m

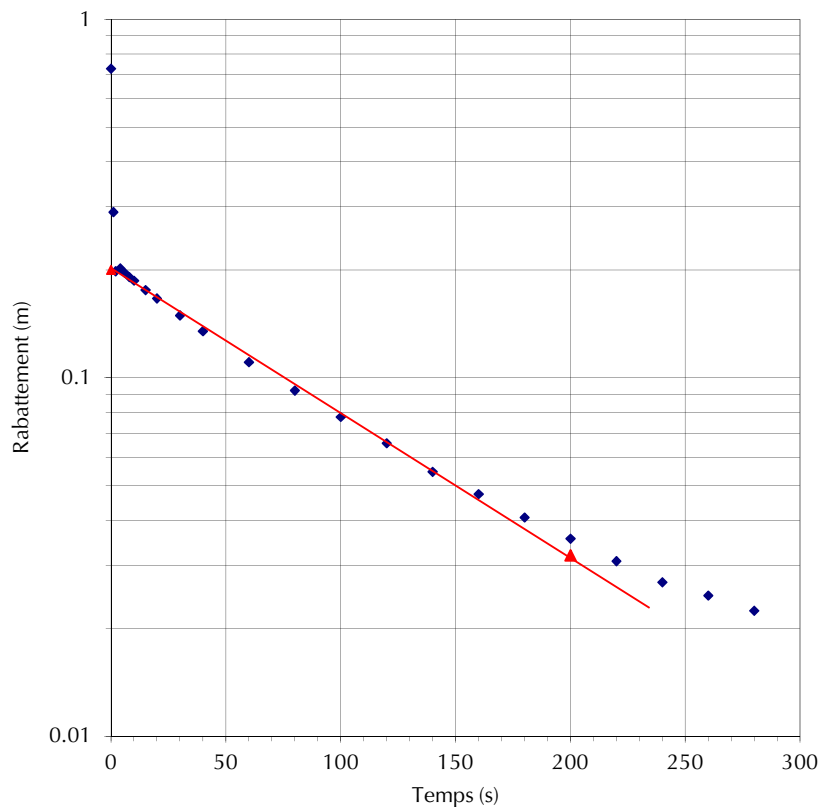
A = 2.52 $d/R_w = 31.75$
B = 0.40 $b/R_w = 42.76$
C = 2.00

Résultats de l'essai

Charge initiale : $H_i = 0.39$ m

Temps s	profondeur d'eau pr sol (m)	Dh m
0	1.115	0.729
0.5	0.300	-0.086
1	0.676	0.290
2	0.584	0.198
4	0.588	0.202
6	0.582	0.196
8	0.577	0.191
10	0.573	0.187
15	0.562	0.176
20	0.553	0.167
30	0.535	0.149
40	0.521	0.135
60	0.497	0.111
80	0.478	0.092
100	0.464	0.078
120	0.452	0.066
140	0.441	0.055
160	0.433	0.047
180	0.427	0.041
200	0.422	0.036
220	0.417	0.031
240	0.413	0.027
260	0.411	0.025
280	0.408	0.022

Graphique de la variation de la charge hydraulique en fonction du temps



Choix des points pour le calcul de la pente

	Temps	Charge
Point 1	$t_1 = 200$	$H_1 = 0.032$

$H_o = 0.2$ m

Calcul de la conductivité hydraulique (Bouwer and Rice, 1976)

Position niveau statique: au dessus de la crépine

if $L_w < H$ (partially penetrating well)

A = 2.52
B = 0.40
 $\ln(R_e/R_w) = \#NOMBRE!$

Si $L_w = H$ (fully penetrating well)

C = 2.00
 $\ln(R_e/R_w) = 2.81$

$$K = \frac{R_c'^2 \ln\left(\frac{R_e}{R_w}\right)}{2dt} \ln \frac{H_o}{H_t}$$

$\ln(R_e/R_w) = 2.81$

K = 5.45E-06 m/s

Remarques :

Effectué par : Gilles Baribeau

Calculé par : Daniel Lemaire

Révisé par : Andréanne Hamel

ESSAI DE PERMÉABILITÉ

Projet : Bloom Essai : 2
No : 121-18900-00 Type d'essai : «Slug» en descente
Client : Cliff

Identification de l'essai

Puits-numéro essai : BH-01-12
Date de l'essai : 18-09-2012
Niveau d'eau Statique pr sol : 0.39 m

Paramètres de l'essai

Méthode de Bouwer Rice (1976)

Rayon du tubage $R_c = 0.0254$ m
Rayon du forage $R_w = 0.048$ m
Longueur de la crépine $d = 1.52$ m
Longueur de l'aquifère et la base de la crépine $b = 2.05$ m
Épaisseur de l'aquifère $D = 2.05$ m
Porosité du gravier $n = 0.300$
Rayon équivalent* $R_c' = 0.0338$ m

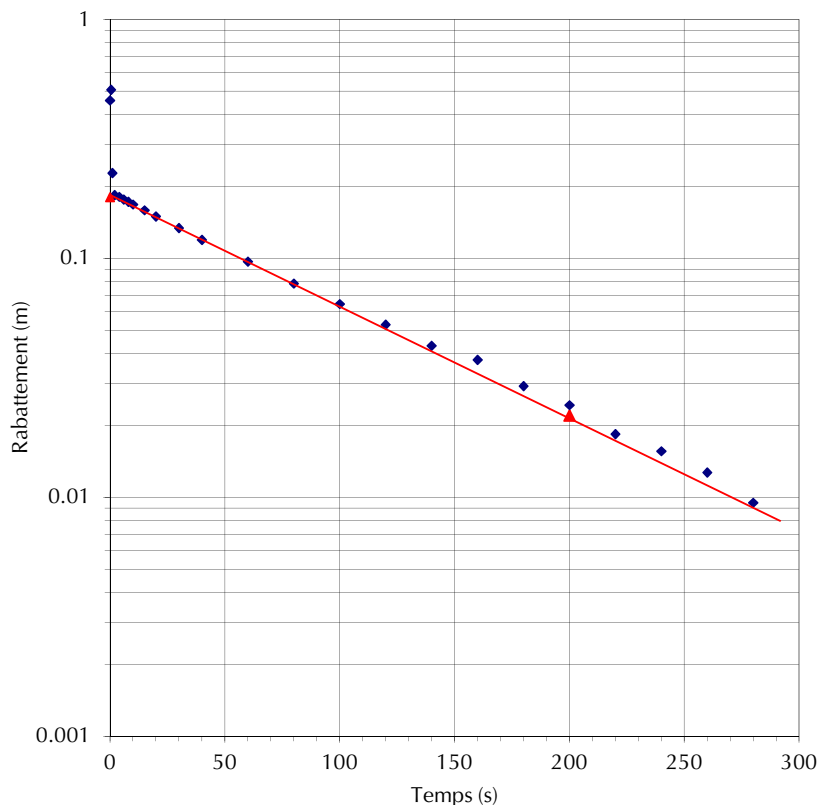
A = 2.52 $d/R_w = 31.75$
B = 0.40 $b/R_w = 42.76$
C = 2.00

Résultats de l'essai

Charge initiale : $H_i = 0.39$ m

Temps s	profondeur d'eau pr sol (m)	Dh m
0	-0.072	0.458
0.5	-0.122	0.508
1	0.158	0.228
2	0.202	0.184
4	0.205	0.181
6	0.210	0.176
8	0.214	0.172
10	0.218	0.168
15	0.227	0.159
20	0.236	0.150
30	0.252	0.134
40	0.266	0.120
60	0.289	0.097
80	0.308	0.078
100	0.322	0.064
120	0.333	0.053
140	0.343	0.043
160	0.348	0.038
180	0.357	0.029
200	0.362	0.024
220	0.368	0.018
240	0.370	0.016
260	0.373	0.013
280	0.376	0.010

Graphique de la variation de la charge hydraulique en fonction du temps



Choix des points pour le calcul de la pente

	Temps	Charge
Point 1	t_1 200	H_1 0.022

$H_0 = 0.18$ m

Calcul de la conductivité hydraulique (Bouwer and Rice, 1976)

Position niveau statique: au dessus de la crépine

if $L_w < H$ (partially penetrating well)

A = 2.52
B = 0.40
 $\ln(R_e/R_w) = \text{\#NOMBRE!}$

Si $L_w = H$ (fully penetrating well)

C = 2.00
 $\ln(R_e/R_w) = 2.81$

$$K = \frac{R_c'^2 \ln\left(\frac{R_e}{R_w}\right)}{2dt} \ln \frac{H_0}{H_t}$$

$\ln(R_e/R_w) = 2.81$

K = 6.25E-06 m/s

Remarques :

Effectué par : Gilles Baribeau

Calculé par : Daniel Lemaire

Révisé par : Andréanne Hamel

ESSAI DE PERMÉABILITÉ

Projet : Bloom Essai : 2
No : 121-18900-00 Type d'essai : «Slug» en remontée
Client : Cliff

Identification de l'essai

Puits-numéro essai : BH-01-12
Date de l'essai : 18-09-2012
Niveau d'eau Statique pr sol : 0.39 m

Paramètres de l'essai

Méthode de Bouwer Rice (1976)

Rayon du tubage $R_c = 0.0254$ m
Rayon du forage $R_w = 0.048$ m
Longueur de la crépine $d = 1.52$ m
Longueur de l'aquifer et la base de la crépine $b = 2.05$ m
Épaisseur de l'aquifère $D = 2.05$ m
Porosité du gravier $n = 0.300$
Rayon équivalent* $R_c' = 0.0338$ m

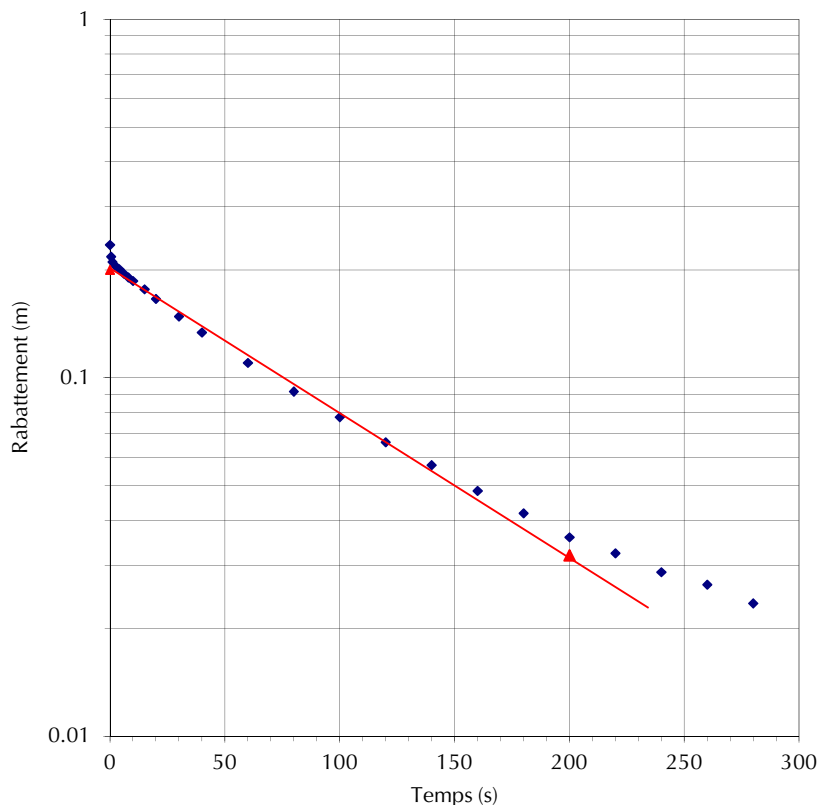
A = 2.52 $d/R_w = 31.75$
B = 0.40 $b/R_w = 42.76$
C = 2.00

Résultats de l'essai

Charge initiale : $H_i = 0.39$ m

Temps s	profondeur d'eau pr sol (m)	Dh m
0	0.621	0.235
0.5	0.604	0.218
1	0.597	0.211
2	0.592	0.206
4	0.587	0.201
6	0.581	0.195
8	0.577	0.191
10	0.572	0.186
15	0.563	0.177
20	0.552	0.166
30	0.534	0.148
40	0.520	0.134
60	0.496	0.110
80	0.478	0.092
100	0.464	0.078
120	0.452	0.066
140	0.443	0.057
160	0.434	0.048
180	0.428	0.042
200	0.422	0.036
220	0.418	0.032
240	0.415	0.029
260	0.413	0.027
280	0.410	0.024

Graphique de la variation de la charge hydraulique en fonction du temps



Choix des points pour le calcul de la pente

	Temps	Charge
Point 1	t_1 200	H_1 0.032

$H_o = 0.2$ m

Calcul de la conductivité hydraulique (Bouwer and Rice, 1976)

Position niveau statique: au dessus de la crépine

if $L_w < H$ (partially penetrating well)

A = 2.52
B = 0.40
 $\ln(R_e/R_w) = \#NOMBRE!$

Si $L_w = H$ (fully penetrating well)

C = 2.00
 $\ln(R_e/R_w) = 2.81$

$$K = \frac{R_c'^2 \ln\left(\frac{R_e}{R_w}\right)}{2dt} \ln \frac{H_o}{H_t}$$

$\ln(R_e/R_w) = 2.81$

K = 5.45E-06 m/s

Remarques :

Effectué par : Gilles Baribeau

Calculé par : Daniel Lemaire

Révisé par : Andréanne Hamel

ESSAI DE PERMÉABILITÉ

Projet : Bloom Essai : 1
No : 121-18900-00 Type d'essai : «Slug» en descente
Client : Cliff

Identification de l'essai

Puits-numéro essai : BH-02-12
Date de l'essai : 18-09-2012
Niveau d'eau Statique pr sol : 0.91 m

Paramètres de l'essai

Méthode de Bouwer Rice (1976)

Rayon du tubage $R_c = 0.0254$ m
Rayon du forage $R_w = 0.048$ m
Longueur de la crépine $d = 7.62$ m
Longueur de l'aquifer et la base de la crépine $b = 10.22$ m
Épaisseur de l'aquifère $D = 10.22$ m
Porosité du gravier $n = 0.300$
Rayon équivalent* $R_c' = 0.0338$ m

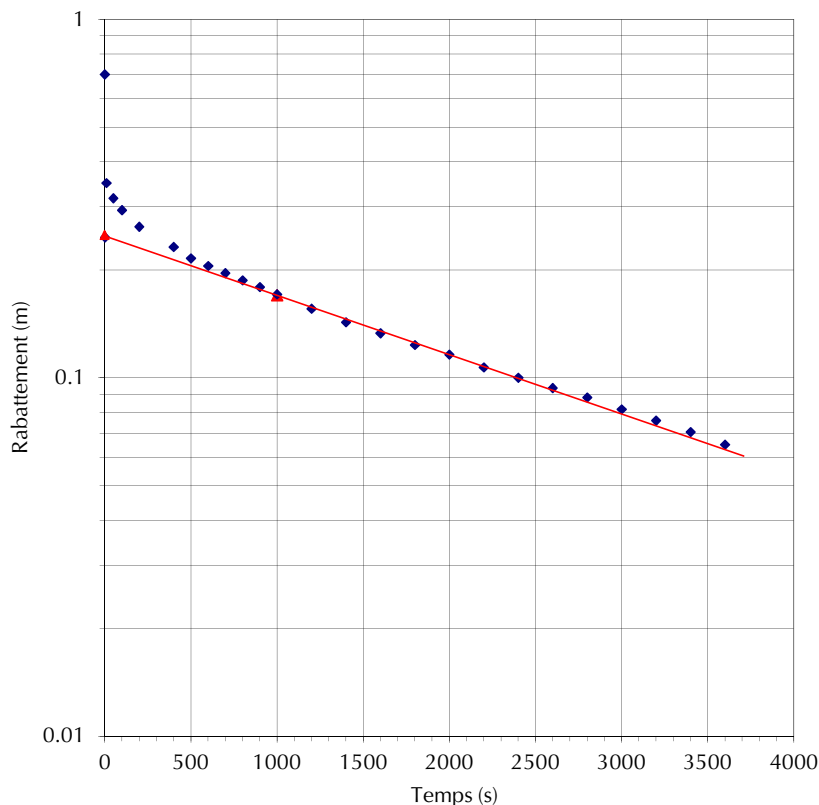
A = 5.41 $d/R_w = 158.75$
B = 0.99 $b/R_w = 212.88$
C = 5.83

Résultats de l'essai

Charge initiale : $H_i = 0.91$ m

Temps s	profondeur d'eau pr sol (m)	Dh m
0	0.205	0.702
1	0.660	0.247
10	0.557	0.350
50	0.590	0.317
100	0.613	0.294
200	0.643	0.264
400	0.675	0.232
500	0.692	0.216
600	0.702	0.205
700	0.711	0.196
800	0.720	0.187
900	0.728	0.179
1000	0.736	0.171
1200	0.751	0.156
1400	0.764	0.143
1600	0.774	0.133
1800	0.784	0.124
2000	0.791	0.116
2200	0.800	0.107
2400	0.807	0.100
2600	0.813	0.094
2800	0.819	0.088
3000	0.825	0.082
3200	0.831	0.076
3400	0.836	0.071
3600	0.842	0.065

Graphique de la variation de la charge hydraulique en fonction du temps



Choix des points pour le calcul de la pente

	Temps	Charge
Point 1	$t_1 = 1000$	$H_1 = 0.170$

$H_o = 0.25$ m

Calcul de la conductivité hydraulique (Bouwer and Rice, 1976)

Position niveau statique: au dessus de la crépine

if $L_w < H$ (partially penetrating well)

A = 5.41
B = 0.99
 $\ln(R_e/R_w) = \#NOMBRE!$

Si $L_w = H$ (fully penetrating well)

C = 5.83
 $\ln(R_e/R_w) = 4.13$

$$K = \frac{R_c'^2 \ln\left(\frac{R_e}{R_w}\right)}{2dt} \ln \frac{H_o}{H_t}$$

$\ln(R_e/R_w) = 4.13$

K = 6.75E-08 m/s

Remarques :

Effectué par : Gilles Baribeau

Calculé par : Daniel Lemaire

Révisé par : Andréanne Hamel

ESSAI DE PERMÉABILITÉ

Projet : Bloom Essai : 1
No : 121-18900-00 Type d'essai : «Slug» en remontée
Client : Cliff

Identification de l'essai

Puits-numéro essai : BH-02-12
Date de l'essai : 18-09-2012
Niveau d'eau Statique pr sol : 0.91 m

Paramètres de l'essai

Méthode de Bouwer Rice (1976)

Rayon du tubage $R_c = 0.0254$ m
Rayon du forage $R_w = 0.048$ m
Longueur de la crépine $d = 7.62$ m
Longueur de l'aquifer et la base de la crépine $b = 10.22$ m
Épaisseur de l'aquifère $D = 10.22$ m
Porosité du gravier $n = 0.300$
Rayon équivalent* $R_c' = 0.0338$ m

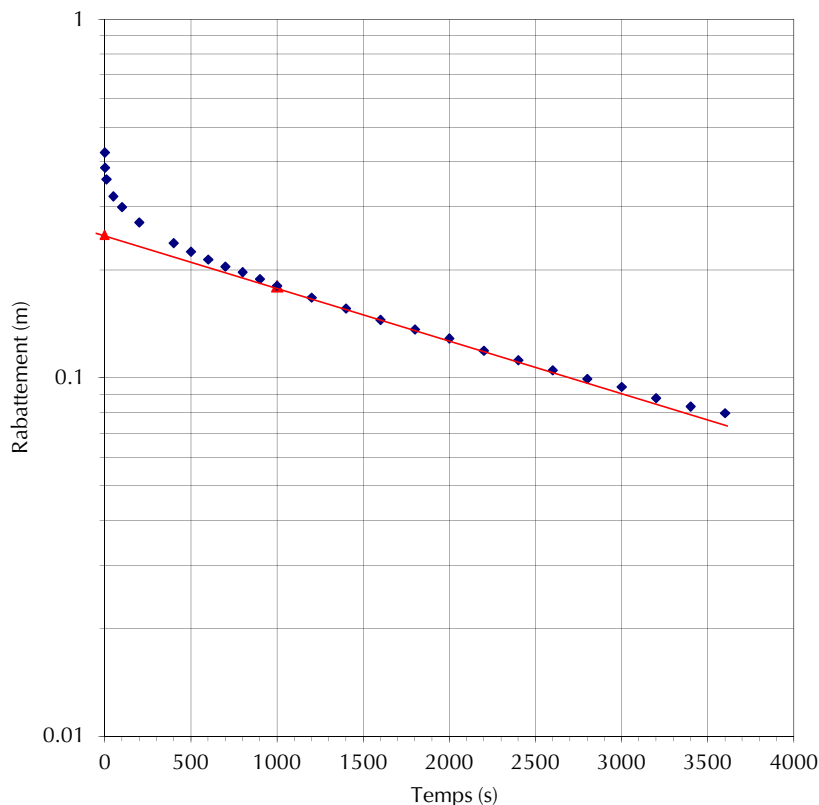
A = 5.41 $d/R_w = 158.75$
B = 0.99 $b/R_w = 212.88$
C = 5.83

Résultats de l'essai

Charge initiale : $H_i = 0.91$ m

Temps s	profondeur d'eau pr sol (m)	Dh m
0	1.332	0.425
1	1.293	0.386
10	1.265	0.358
50	1.228	0.321
100	1.207	0.300
200	1.178	0.271
400	1.145	0.238
500	1.132	0.225
600	1.121	0.214
700	1.111	0.204
800	1.104	0.197
900	1.096	0.189
1000	1.088	0.181
1200	1.075	0.168
1400	1.063	0.156
1600	1.052	0.145
1800	1.044	0.137
2000	1.036	0.129
2200	1.026	0.119
2400	1.019	0.112
2600	1.012	0.105
2800	1.006	0.099
3000	1.001	0.094
3200	0.995	0.088
3400	0.990	0.083
3600	0.987	0.080

Graphique de la variation de la charge hydraulique en fonction du temps



Choix des points pour le calcul de la pente

	Temps	Charge
Point 1	$t_1 = 1000$	$H_1 = 0.180$

$H_o = 0.25$ m

Calcul de la conductivité hydraulique (Bouwer and Rice, 1976)

Position niveau statique: au dessus de la crépine

if $L_w < H$ (partially penetrating well)

A = 5.41
B = 0.99
 $\ln(R_e/R_w) = \#NOMBRE!$

Si $L_w = H$ (fully penetrating well)

C = 5.83
 $\ln(R_e/R_w) = 4.13$

$$K = \frac{R_c'^2 \ln\left(\frac{R_e}{R_w}\right)}{2dt} \ln \frac{H_o}{H_t}$$

$\ln(R_e/R_w) = 4.13$

K = 5.75E-08 m/s

Remarques :

Effectué par : Gilles Baribeau

Calculé par : Daniel Lemaire

Révisé par : Andréanne Hamel

ESSAI DE PERMÉABILITÉ

Projet : Bloom Essai : 1
No : 121-18900-00 Type d'essai : «Slug» en descente
Client : Cliff

Identification de l'essai

Puits-numéro essai : BH-03-12
Date de l'essai : 20-09-2012
Niveau d'eau Statique pr sol : 1.32 m

Paramètres de l'essai

Méthode de Bouwer Rice (1976)

Rayon du tubage $R_c = 0.0254$ m
Rayon du forage $R_w = 0.048$ m
Longueur de la crépine $d = 3.05$ m
Longueur de l'aquifère et la base de la crépine $b = 11.18$ m
Épaisseur de l'aquifère $D = 11.18$ m
Porosité du gravier $n = 0.300$
Rayon équivalent* $R'_c = 0.0338$ m

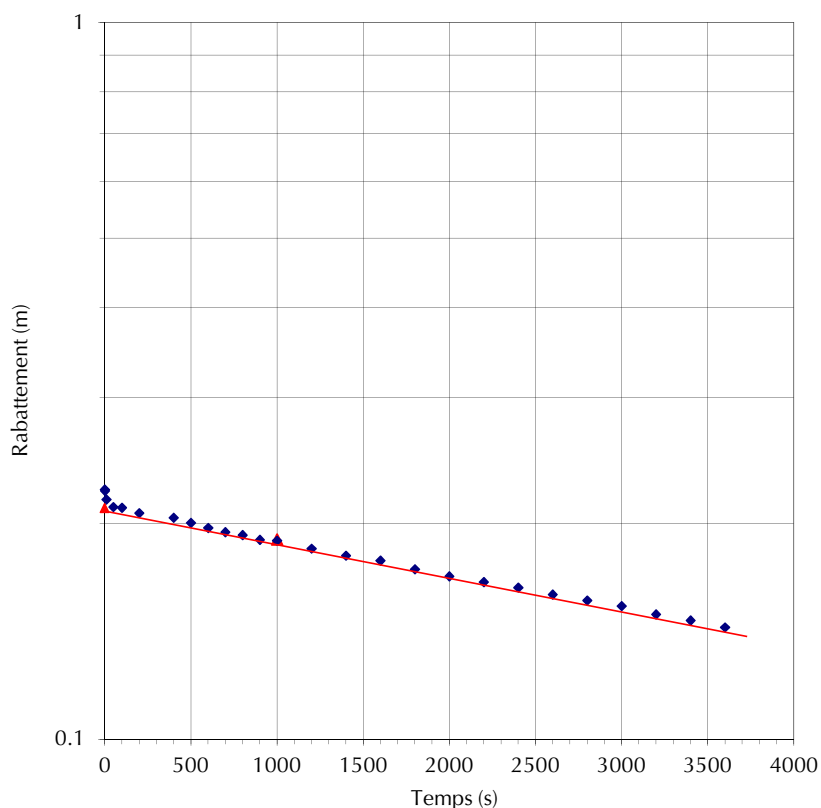
A = 3.41 $d/R_w = 63.50$
B = 0.55 $b/R_w = 232.95$
C = 3.11

Résultats de l'essai

Charge initiale : $H_i = 1.32$ m

Temps s	profondeur d'eau pr sol (m)	Dh m
0	1.092	0.223
1	1.093	0.222
10	1.099	0.216
50	1.104	0.211
100	1.105	0.210
200	1.108	0.207
400	1.111	0.204
500	1.115	0.200
600	1.118	0.197
700	1.121	0.195
800	1.122	0.193
900	1.125	0.190
1000	1.126	0.189
1200	1.131	0.185
1400	1.135	0.180
1600	1.138	0.178
1800	1.142	0.173
2000	1.146	0.169
2200	1.149	0.166
2400	1.152	0.163
2600	1.156	0.159
2800	1.159	0.156
3000	1.162	0.153
3200	1.166	0.149
3400	1.169	0.147
3600	1.172	0.143

Graphique de la variation de la charge hydraulique en fonction du temps



Choix des points pour le calcul de la pente

	Temps	Charge
Point 1	$t_1 = 1000$	$H_1 = 0.190$

$H_o = 0.21$ m

Calcul de la conductivité hydraulique (Bouwer and Rice, 1976)

Position niveau statique: au dessus de la crépine

if $L_w < H$ (partially penetrating well)

A = 3.41
B = 0.55
 $\ln(R_e/R_w) = \#NOMBRE!$

Si $L_w = H$ (fully penetrating well)

C = 3.11
 $\ln(R_e/R_w) = 3.99$

$$K = \frac{R'^2 \ln\left(\frac{R_e}{R_w}\right)}{2dt} \ln \frac{H_o}{H_t}$$

$\ln(R_e/R_w) = 3.99$

K = 4.22E-08 m/s

Remarques :

Effectué par : Gilles Baribeau

Calculé par : Daniel Lemaire

Révisé par : Andréanne Hamel

ESSAI DE PERMÉABILITÉ

Projet : Bloom Essai : 1
No : 121-18900-00 Type d'essai : «Slug» en remontée
Client : Cliff

Identification de l'essai

Puits-numéro essai : BH-03-12
Date de l'essai : 20-09-2012
Niveau d'eau Statique pr sol : 1.32 m

Paramètres de l'essai

Méthode de Bouwer Rice (1976)

Rayon du tubage $R_c = 0.0254$ m
Rayon du forage $R_w = 0.048$ m
Longueur de la crépine $d = 3.05$ m
Longueur de l'aquifer et la base de la crépine $b = 11.18$ m
Épaisseur de l'aquifère $D = 11.18$ m
Porosité du gravier $n = 0.300$
Rayon équivalent* $R'_c = 0.0338$ m

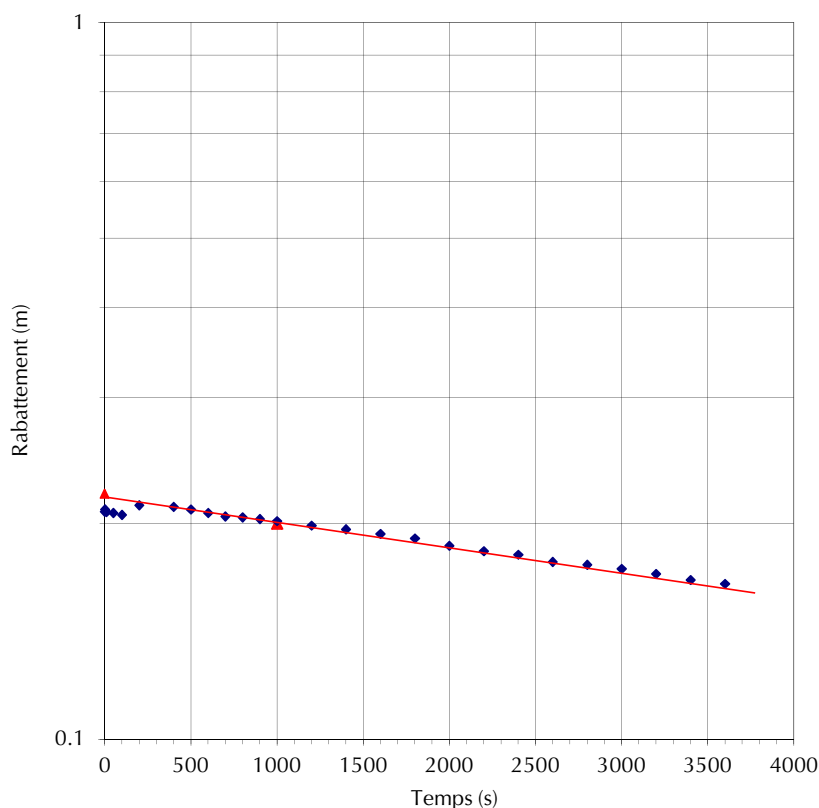
A = 3.41 $d/R_w = 63.50$
B = 0.55 $b/R_w = 232.95$
C = 3.11

Résultats de l'essai

Charge initiale : $H_i = 1.32$ m

Temps s	profondeur d'eau pr sol (m)	Dh m
0	1.523	0.208
1	1.524	0.209
10	1.523	0.208
50	1.522	0.207
100	1.521	0.206
200	1.527	0.212
400	1.526	0.211
500	1.524	0.209
600	1.522	0.207
700	1.520	0.205
800	1.519	0.204
900	1.518	0.203
1000	1.517	0.202
1200	1.514	0.199
1400	1.511	0.196
1600	1.508	0.193
1800	1.506	0.191
2000	1.501	0.186
2200	1.498	0.183
2400	1.496	0.181
2600	1.492	0.177
2800	1.490	0.175
3000	1.488	0.173
3200	1.485	0.170
3400	1.482	0.167
3600	1.480	0.165

Graphique de la variation de la charge hydraulique en fonction du temps



Choix des points pour le calcul de la pente

	Temps	Charge
Point 1	$t_1 = 1000$	$H_1 = 0.200$

$H_o = 0.22$ m

Calcul de la conductivité hydraulique (Bouwer and Rice, 1976)

Position niveau statique: au dessus de la crépine

if $L_w < H$ (partially penetrating well)

A = 3.41
B = 0.55
 $\ln(R_e/R_w) = \text{\#NOMBRE!}$

Si $L_w = H$ (fully penetrating well)

C = 3.11
 $\ln(R_e/R_w) = 3.99$

$$K = \frac{R'_c{}^2 \ln\left(\frac{R_e}{R_w}\right)}{2dt} \ln \frac{H_o}{H_t}$$

$\ln(R_e/R_w) = 3.99$

$K = 4.02E-08$ m/s

Remarques :

Effectué par : Gilles Baribeau

Calculé par : Daniel Lemaire

Révisé par : Andréanne Hamel

ESSAI DE PERMÉABILITÉ

Projet : Bloom Essai : 1
No : 121-18900-00 Type d'essai : «Slug» en descente
Client : Cliff

Identification de l'essai

Puits-numéro essai : BH-04-12
Date de l'essai : 20-09-2012
Niveau d'eau Statique pr sol : 0.73 m

Paramètres de l'essai

Méthode de Bouwer Rice (1976)

Rayon du tubage $R_c = 0.0254$ m
Rayon du forage $R_w = 0.048$ m
Longueur de la crépine $d = 3.05$ m
Longueur de l'aquifer et la base de la crépine $b = 6.89$ m
Épaisseur de l'aquifère $D = 6.89$ m
Porosité du gravier $n = 0.300$
Rayon équivalent* $R_c' = 0.0338$ m

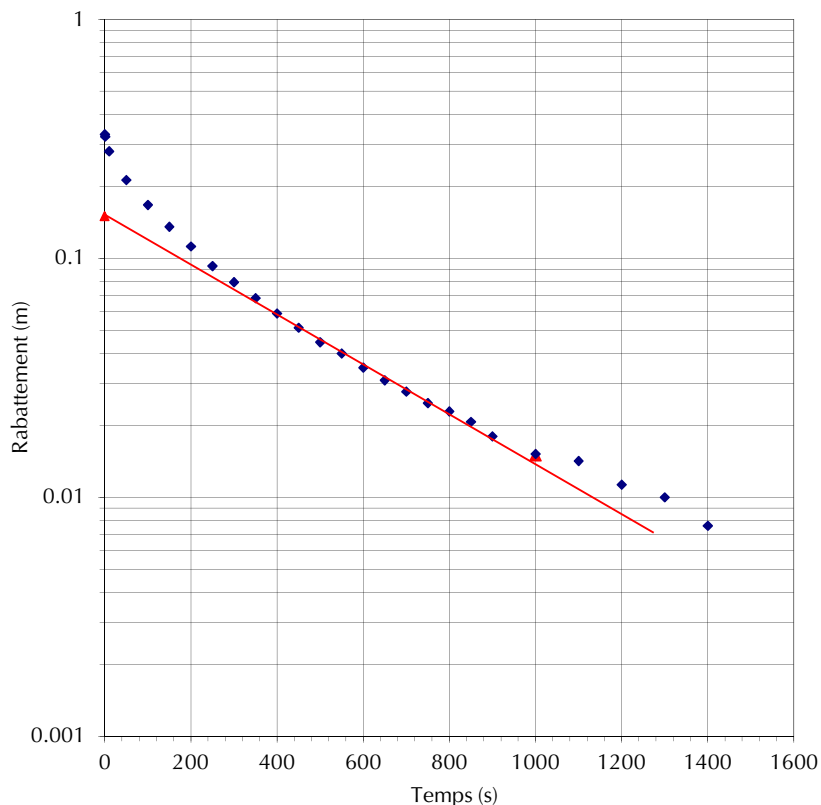
A = 3.41 $d/R_w = 63.50$
B = 0.55 $b/R_w = 143.54$
C = 3.11

Résultats de l'essai

Charge initiale : $H_i = 0.73$ m

Temps s	profondeur d'eau pr sol (m)	Dh m
0	0.400	0.330
1	0.407	0.323
10	0.449	0.281
50	0.517	0.213
100	0.563	0.167
150	0.594	0.136
200	0.618	0.112
250	0.637	0.093
300	0.651	0.080
350	0.662	0.068
400	0.671	0.059
450	0.679	0.051
500	0.685	0.045
550	0.690	0.040
600	0.695	0.035
650	0.699	0.031
700	0.702	0.028
750	0.705	0.025
800	0.707	0.023
850	0.709	0.021
900	0.712	0.018
1000	0.715	0.015
1100	0.716	0.014
1200	0.719	0.011
1300	0.720	0.010
1400	0.722	0.008

Graphique de la variation de la charge hydraulique en fonction du temps



Choix des points pour le calcul de la pente

	Temps	Charge
Point 1	$t_1 = 1000$	$H_1 = 0.015$

$H_o = 0.15$ m

Calcul de la conductivité hydraulique (Bouwer and Rice, 1976)

Position niveau statique: au dessus de la crépine

if $L_w < H$ (partially penetrating well)

A = 3.41
B = 0.55
 $\ln(R_e/R_w) = \#NOMBRE!$

Si $L_w = H$ (fully penetrating well)

C = 3.11
 $\ln(R_e/R_w) = 3.70$

$$K = \frac{R_c'^2 \ln\left(\frac{R_e}{R_w}\right)}{2dt} \ln \frac{H_o}{H_t}$$

$\ln(R_e/R_w) = 3.70$

K = 9.01E-07 m/s

Remarques :

Effectué par : Gilles Baribeau

Calculé par : Daniel Lemaire

Révisé par : Andréanne Hamel

ESSAI DE PERMÉABILITÉ

Projet : Bloom Essai : 1
No : 121-18900-00 Type d'essai : «Slug» en remontée
Client : Cliff

Identification de l'essai

Puits-numéro essai : BH-04-12
Date de l'essai : 20-09-2012
Niveau d'eau Statique pr sol : 0.73 m

Paramètres de l'essai

Méthode de Bouwer Rice (1976)

Rayon du tubage $R_c = 0.0254$ m
Rayon du forage $R_w = 0.048$ m
Longueur de la crépine $d = 3.05$ m
Longueur de l'aquifer et la base de la crépine $b = 6.89$ m
Épaisseur de l'aquifère $D = 6.89$ m
Porosité du gravier $n = 0.300$
Rayon équivalent* $R_c' = 0.0338$ m

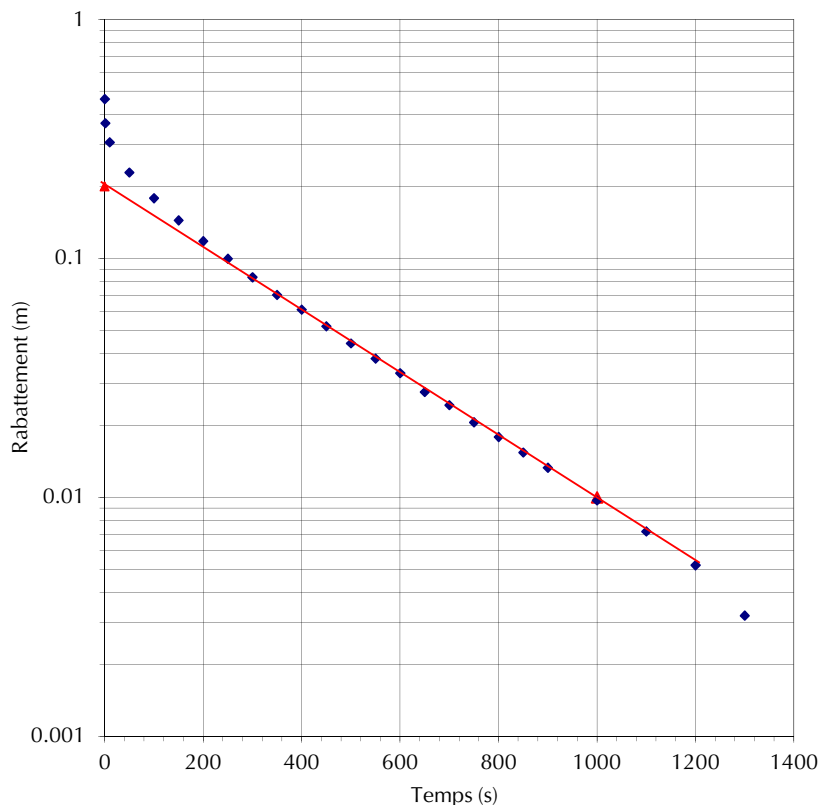
A = 3.41 $d/R_w = 63.50$
B = 0.55 $b/R_w = 143.54$
C = 3.11

Résultats de l'essai

Charge initiale : $H_i = 0.73$ m

Temps s	profondeur d'eau pr sol (m)	Dh m
0	1.194	0.464
1	1.098	0.368
10	1.036	0.306
50	0.959	0.229
100	0.909	0.179
150	0.874	0.144
200	0.848	0.118
250	0.830	0.100
300	0.813	0.083
350	0.800	0.070
400	0.791	0.061
450	0.782	0.052
500	0.774	0.044
550	0.768	0.038
600	0.763	0.033
650	0.758	0.028
700	0.754	0.024
750	0.751	0.021
800	0.748	0.018
850	0.745	0.015
900	0.743	0.013
1000	0.740	0.010
1100	0.737	0.007
1200	0.735	0.005
1300	0.733	0.003

Graphique de la variation de la charge hydraulique en fonction du temps



Choix des points pour le calcul de la pente

	Temps	Charge
Point 1	$t_1 = 1000$	$H_1 = 0.010$

$H_o = 0.2$ m

Calcul de la conductivité hydraulique (Bouwer and Rice, 1976)

Position niveau statique: au dessus de la crépine

if $L_w < H$ (partially penetrating well)

A = 3.41
B = 0.55
 $\ln(R_e/R_w) = \#NOMBRE!$

Si $L_w = H$ (fully penetrating well)

C = 3.11
 $\ln(R_e/R_w) = 3.70$

$$K = \frac{R_c'^2 \ln\left(\frac{R_e}{R_w}\right)}{2dt} \ln \frac{H_o}{H_t}$$

$\ln(R_e/R_w) = 3.70$

K = 1.17E-06 m/s

Remarques :

Effectué par : Gilles Baribeau

Calculé par : Daniel Lemaire

Révisé par : Andréanne Hamel

ESSAI DE PERMÉABILITÉ

Projet : Bloom Essai : 2
No : 121-18900-00 Type d'essai : «Slug» en descente
Client : Cliff

Identification de l'essai

Puits-numéro essai : BH-04-12
Date de l'essai : 20-09-2012
Niveau d'eau Statique pr sol 0.73 m

Paramètres de l'essai

Méthode de Bouwer Rice (1976)

Rayon du tubage $R_c = 0.0254$ m
Rayon du forage $R_w = 0.048$ m
Longueur de la crépine $d = 3.05$ m

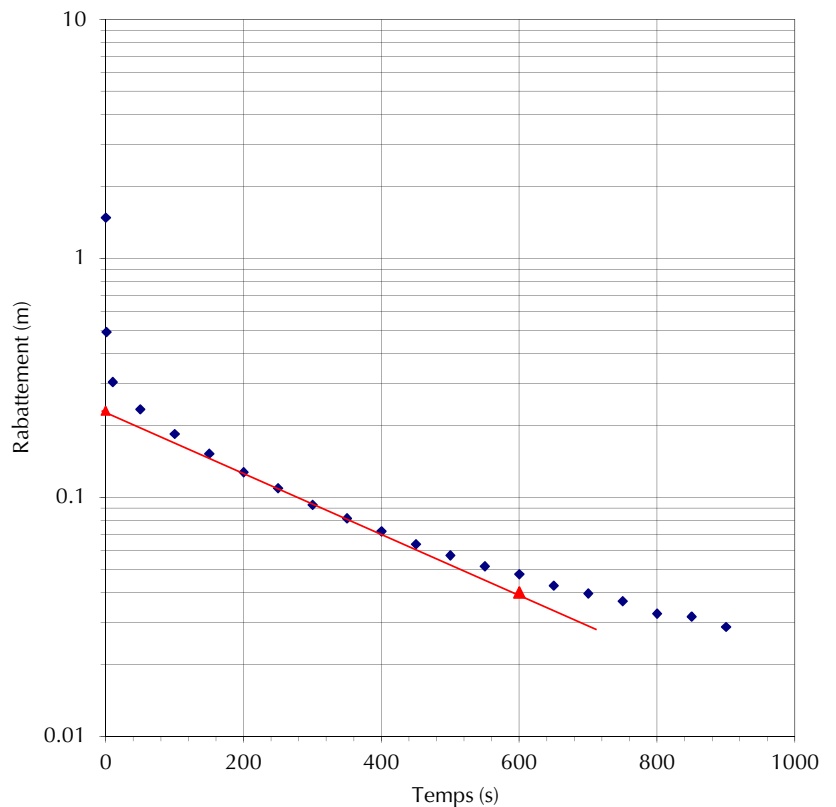
Longueur de l'aquifer et la base de la crépine $b = 6.89$ m
Épaisseur de l'aquifère $D = 6.89$ m
Porosité du gravier $n = 0.300$
Rayon équivalent* $R_c' = 0.0338$ m

A = 3.41 $d/R_w = 63.50$
B = 0.55 $b/R_w = 143.54$
C = 3.11

Résultats de l'essai

Charge initiale : $H_i = 0.73$ m

Temps s	profondeur d'eau pr sol (m)	Dh m
0	-0.751	1.481
1	0.238	0.492
10	0.426	0.304
50	0.496	0.234
100	0.546	0.184
150	0.578	0.152
200	0.603	0.128
250	0.621	0.109
300	0.637	0.093
350	0.648	0.082
400	0.658	0.072
450	0.666	0.064
500	0.673	0.057
550	0.679	0.051
600	0.682	0.048
650	0.687	0.043
700	0.690	0.040
750	0.693	0.037
800	0.697	0.033
850	0.698	0.032
900	0.701	0.029

Graphique de la variation de la charge hydraulique en fonction du temps

Choix des points pour le calcul de la pente

	Temps	Charge
Point 1	$t_1 = 600$	$H_1 = 0.040$

$H_0 = 0.23$ m

Calcul de la conductivité hydraulique (Bouwer and Rice, 1976)

Position niveau statique: au dessus de la crépine

if $L_w < H$ (partially penetrating well)

A = 3.41
B = 0.55
 $\ln(R_e/R_w) = \text{\#NOMBRE!}$
Si $L_w = H$ (fully penetrating well)

C = 3.11
 $\ln(R_e/R_w) = 3.70$

$$K = \frac{R_c'^2 \ln\left(\frac{R_e}{R_w}\right)}{2dt} \ln \frac{H_0}{H_t}$$

 $\ln(R_e/R_w) = 3.70$
K = 1.14E-06 m/s

Remarques :

Effectué par : Gilles Baribeau

Calculé par : Daniel Lemaire

Révisé par : Andréanne Hamel

ESSAI DE PERMÉABILITÉ

Projet : Bloom Essai : 2
No : 121-18900-00 Type d'essai : «Slug» en remontée
Client : Cliff

Identification de l'essai

Puits-numéro essai : BH-04-12
Date de l'essai : 20-09-2012
Niveau d'eau Statique pr sol : 0.73 m

Paramètres de l'essai

Méthode de Bouwer Rice (1976)

Rayon du tubage $R_c = 0.0254$ m
Rayon du forage $R_w = 0.048$ m
Longueur de la crépine $d = 3.05$ m
Longueur de l'aquifère et la base de la crépine $b = 6.89$ m
Épaisseur de l'aquifère $D = 6.89$ m
Porosité du gravier $n = 0.300$
Rayon équivalent* $R_c' = 0.0338$ m

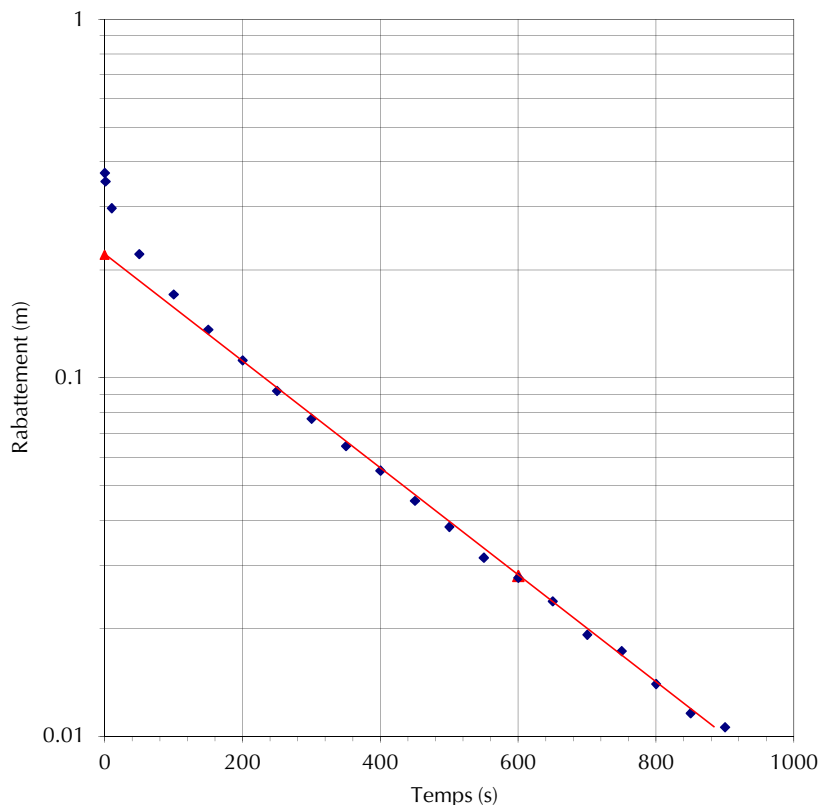
A = 3.41 $d/R_w = 63.50$
B = 0.55 $b/R_w = 143.54$
C = 3.11

Résultats de l'essai

Charge initiale : $H_i = 0.73$ m

Temps s	profondeur d'eau pr sol (m)	Dh m
0	1.103	0.373
1	1.083	0.353
10	1.027	0.297
50	0.952	0.222
100	0.901	0.171
150	0.866	0.136
200	0.842	0.112
250	0.822	0.092
300	0.807	0.077
350	0.795	0.064
400	0.785	0.055
450	0.775	0.045
500	0.768	0.038
550	0.761	0.031
600	0.758	0.028
650	0.754	0.024
700	0.749	0.019
750	0.747	0.017
800	0.744	0.014
850	0.742	0.012
900	0.741	0.011

Graphique de la variation de la charge hydraulique en fonction du temps



Choix des points pour le calcul de la pente

	Temps	Charge
Point 1	$t_1 = 600$	$H_1 = 0.028$

$H_0 = 0.22$ m

Calcul de la conductivité hydraulique (Bouwer and Rice, 1976)

Position niveau statique: au dessus de la crépine

if $L_w < H$ (partially penetrating well)

A = 3.41
B = 0.55
 $\ln(R_e/R_w) = \#NOMBRE!$

Si $L_w = H$ (fully penetrating well)

C = 3.11
 $\ln(R_e/R_w) = 3.70$

$$K = \frac{R_c'^2 \ln\left(\frac{R_e}{R_w}\right)}{2dt} \ln \frac{H_0}{H_t}$$

$\ln(R_e/R_w) = 3.70$ $K = 1.34E-06$ m/s

Remarques :

Effectué par : Gilles Baribeau

Calculé par : Daniel Lemaire

Révisé par : Andréanne Hamel

ESSAI DE PERMÉABILITÉ

Projet : Bloom Essai : 1
No : 121-18900-00 Type d'essai : «Slug» en remontée
Client : Cliff

Identification de l'essai

Puits-numéro essai : BH-05-12
Date de l'essai : 19-09-2012
Niveau d'eau Statique pr sol 0.75 m

Paramètres de l'essai

Méthode de Bouwer Rice (1976)

Rayon du tubage $R_c = 0.0254$ m
Rayon du forage $R_w = 0.048$ m
Longueur de la crépine $d = 1.07$ m
Longueur de l'aquifère et la base de la crépine $b = 0.78$ m
Épaisseur de l'aquifère $D = 0.78$ m
Porosité du gravier $n = 0.300$
Rayon équivalent* $R_c' = 0.0338$ m

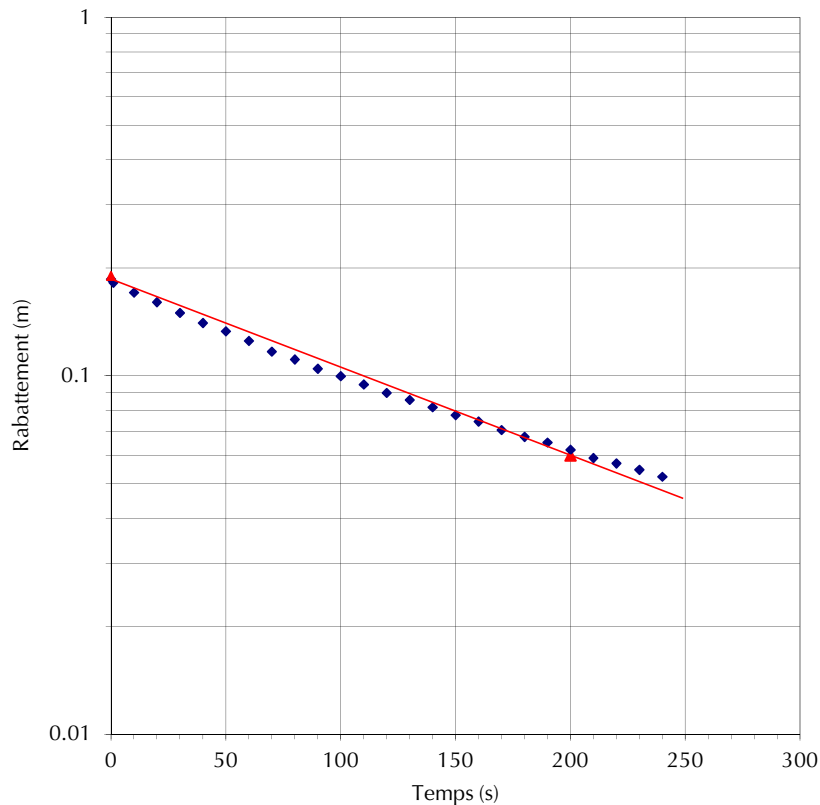
A = 2.22 $d/R_w = 22.23$
B = 0.35 $b/R_w = 16.17$
C = 1.65

Résultats de l'essai

Charge initiale : $H_i = 0.75$ m

Temps s	profondeur d'eau pr sol (m)	Dh m
0	0.934	0.186
1	0.930	0.182
10	0.919	0.171
20	0.908	0.160
30	0.898	0.150
40	0.888	0.140
50	0.881	0.133
60	0.873	0.125
70	0.865	0.117
80	0.859	0.111
90	0.853	0.105
100	0.848	0.100
110	0.843	0.095
120	0.838	0.090
130	0.834	0.086
140	0.830	0.082
150	0.826	0.078
160	0.823	0.075
170	0.819	0.071
180	0.816	0.068
190	0.813	0.065
200	0.810	0.062
210	0.807	0.059
220	0.805	0.057
230	0.803	0.055
240	0.800	0.052

Graphique de la variation de la charge hydraulique en fonction du temps



Choix des points pour le calcul de la pente

	Temps	Charge
Point 1	$t_1 = 200$	$H_1 = 0.060$

$H_0 = 0.19$ m

Calcul de la conductivité hydraulique (Bouwer and Rice, 1976)

Position niveau statique: en dessous de la crépine

if $L_w < H$ (partially penetrating well)

A = 2.22
B = 0.35
 $\ln(R_e/R_w) = \#NOMBRE!$

Si $L_w = H$ (fully penetrating well)

C = 1.65
 $\ln(R_e/R_w) = 2.13$

$$K = \frac{R_c'^2 \ln\left(\frac{R_e}{R_w}\right)}{2dt} \ln \frac{H_0}{H_t}$$

$\ln(R_e/R_w) = 2.13$

K = 6.57E-06 m/s

Remarques :

Effectué par : Gilles Baribeau

Calculé par : Daniel Lemaire

Révisé par : Andréanne Hamel

ESSAI DE PERMÉABILITÉ

Projet : Bloom Essai : 2
No : 121-18900-00 Type d'essai : «Slug» en remontée
Client : Cliff

Identification de l'essai

Puits-numéro essai : BH-05-12
Date de l'essai : 19-09-2012
Niveau d'eau Statique pr sol 0.75 m

Paramètres de l'essai

Méthode de Bouwer Rice (1976)

Rayon du tubage $R_c = 0.0254$ m
Rayon du forage $R_w = 0.048$ m
Longueur de la crépine $d = 1.07$ m
Longueur de l'aquifer et la base de la crépine $b = 0.78$ m
Épaisseur de l'aquifère $D = 0.78$ m
Porosité du gravier $n = 0.300$
Rayon équivalent* $R_c' = 0.0338$ m

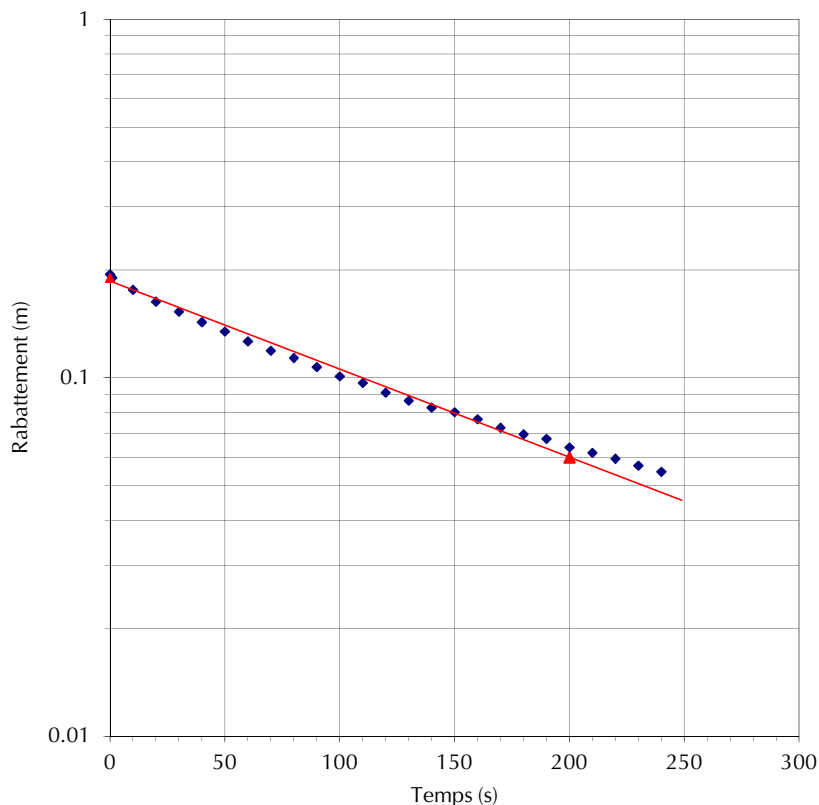
A = 2.22 $d/R_w = 22.23$
B = 0.35 $b/R_w = 16.17$
C = 1.65

Résultats de l'essai

Charge initiale : $H_i = 0.75$ m

Temps s	profondeur d'eau pr sol (m)	Dh m
0	0.943	0.195
1	0.938	0.190
10	0.924	0.176
20	0.911	0.163
30	0.901	0.153
40	0.891	0.143
50	0.883	0.135
60	0.874	0.126
70	0.867	0.119
80	0.862	0.114
90	0.855	0.107
100	0.849	0.101
110	0.845	0.097
120	0.839	0.091
130	0.834	0.086
140	0.831	0.083
150	0.828	0.080
160	0.825	0.077
170	0.821	0.073
180	0.818	0.070
190	0.816	0.068
200	0.812	0.064
210	0.810	0.062
220	0.808	0.059
230	0.805	0.057
240	0.803	0.055

Graphique de la variation de la charge hydraulique en fonction du temps



Choix des points pour le calcul de la pente

	Temps	Charge
Point 1	$t_1 = 200$	$H_1 = 0.060$

$H_0 = 0.19$ m

Calcul de la conductivité hydraulique (Bouwer and Rice, 1976)

Position niveau statique: en dessous de la crépine

if $L_w < H$ (partially penetrating well)

A = 2.22
B = 0.35
 $\ln(R_e/R_w) = \#NOMBRE!$

Si $L_w = H$ (fully penetrating well)

C = 1.65
 $\ln(R_e/R_w) = 2.13$

$$K = \frac{R_c'^2 \ln\left(\frac{R_e}{R_w}\right)}{2dt} \ln \frac{H_0}{H_t}$$

$\ln(R_e/R_w) = 2.13$

K = 6.57E-06 m/s

Remarques :

Effectué par : Gilles Baribeau

Calculé par : Daniel Lemaire

Révisé par : Andréanne Hamel

ESSAI DE PERMÉABILITÉ

Projet : Bloom Essai : 1
No : 121-18900-00 Type d'essai : «Slug» en descente
Client : Cliff

Identification de l'essai

Puits-numéro essai : BH-06-12
Date de l'essai : 19-09-2012
Niveau d'eau Statique pr sol : 0.59 m

Paramètres de l'essai

Méthode de Bouwer Rice (1976)

Rayon du tubage $R_c = 0.0254$ m
Rayon du forage $R_w = 0.048$ m
Longueur de la crépine $d = 4.57$ m
Longueur de l'aquifer et la base de la crépine $b = 7.34$ m
Épaisseur de l'aquifère $D = 7.34$ m
Porosité du gravier $n = 0.300$
Rayon équivalent* $R_c' = 0.0338$ m

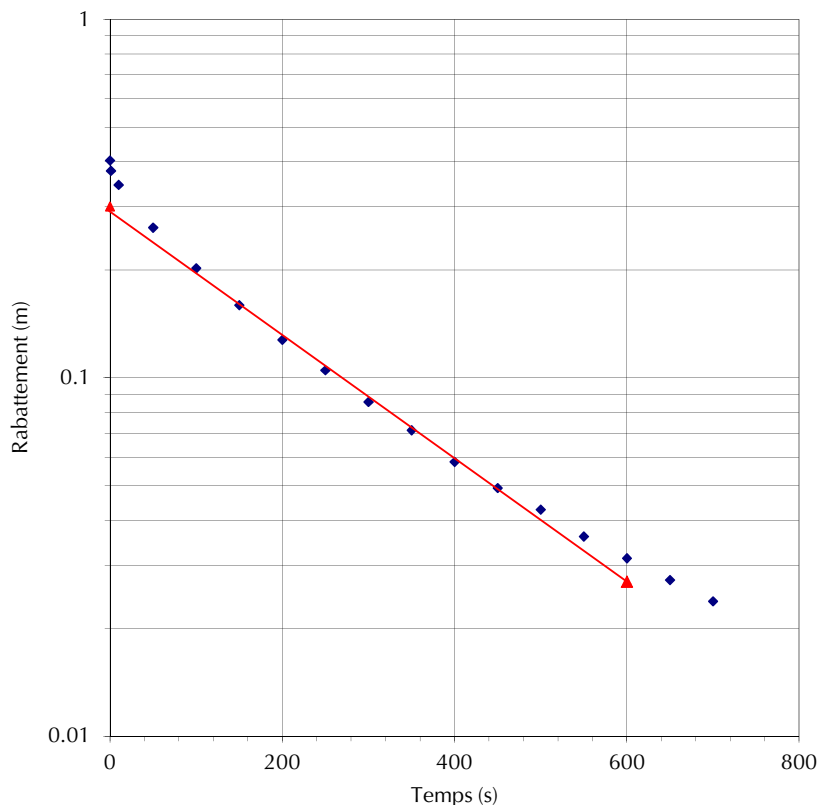
A = 4.19 $d/R_w = 95.25$
B = 0.70 $b/R_w = 152.91$
C = 4.11

Résultats de l'essai

Charge initiale : $H_i = 0.59$ m

Temps s	profondeur d'eau pr sol (m)	Dh m
0	0.181	0.404
1	0.207	0.378
10	0.240	0.345
50	0.323	0.262
100	0.383	0.202
150	0.426	0.160
200	0.457	0.128
250	0.480	0.105
300	0.499	0.086
350	0.514	0.071
400	0.527	0.058
450	0.536	0.049
500	0.542	0.043
550	0.549	0.036
600	0.554	0.031
650	0.558	0.027
700	0.561	0.024

Graphique de la variation de la charge hydraulique en fonction du temps



Choix des points pour le calcul de la pente

	Temps	Charge
Point 1	$t_1 = 600$	$H_1 = 0.027$

$H_0 = 0.3$ m

Calcul de la conductivité hydraulique (Bouwer and Rice, 1976)

Position niveau statique: au dessus de la crépine

if $L_w < H$ (partially penetrating well)

A = 4.19
B = 0.70
 $\ln(R_e/R_w) = \#NOMBRE!$

Si $L_w = H$ (fully penetrating well)

C = 4.11
 $\ln(R_e/R_w) = 3.82$

$$K = \frac{R_c'^2 \ln\left(\frac{R_e}{R_w}\right)}{2dt} \ln \frac{H_0}{H_t}$$

$\ln(R_e/R_w) = 3.82$

K = 1.08E-06 m/s

Remarques :

Effectué par : Gilles Baribeau

Calculé par : Daniel Lemaire

Révisé par : Andréanne Hamel

Identification de l'essai

Puits-numéro essai : BH-06-12
Date de l'essai : 19-09-2012
Niveau d'eau Statique pr sol : 0.59 m

Paramètres de l'essai

Méthode de Bouwer Rice (1976)

Rayon du tubage $R_c = 0.0254$ m
Rayon du forage $R_w = 0.048$ m
Longueur de la crépine $d = 4.57$ m
Longueur de l'aquifère et la base de la crépine $b = 7.34$ m
Épaisseur de l'aquifère $D = 7.34$ m
Porosité du gravier $n = 0.300$
Rayon équivalent* $R_c' = 0.0338$ m

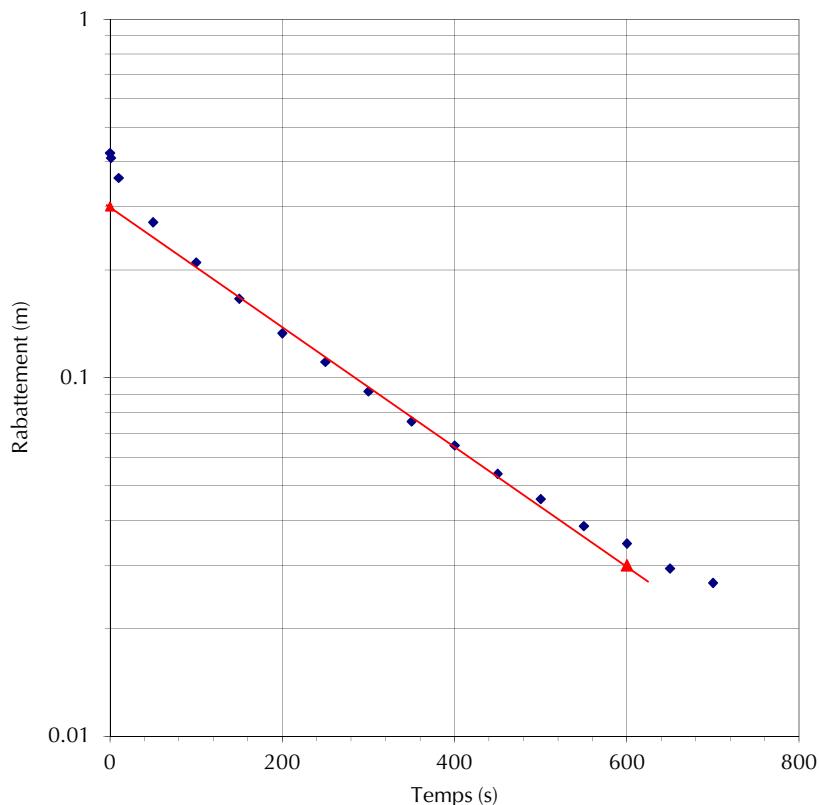
A = 4.19 $d/R_w = 95.25$
B = 0.70 $b/R_w = 152.91$
C = 4.11

Résultats de l'essai

Charge initiale : $H_i = 0.59$ m

Temps s	profondeur d'eau pr sol (m)	Dh m
0	1.009	0.424
1	0.996	0.411
10	0.946	0.361
50	0.857	0.272
100	0.795	0.210
150	0.751	0.166
200	0.718	0.133
250	0.696	0.111
300	0.677	0.092
350	0.661	0.076
400	0.650	0.065
450	0.639	0.054
500	0.631	0.046
550	0.624	0.039
600	0.620	0.035
650	0.614	0.029
700	0.612	0.027

Graphique de la variation de la charge hydraulique en fonction du temps



Choix des points pour le calcul de la pente

	Temps	Charge
Point 1	$t_1 = 600$	$H_1 = 0.030$

$H_0 = 0.3$ m

Calcul de la conductivité hydraulique (Bouwer and Rice, 1976)

Position niveau statique: au dessus de la crépine

if $L_w < H$ (partially penetrating well)

A = 4.19
B = 0.70
 $\ln(R_e/R_w) = \text{\#NOMBRE!}$

Si $L_w = H$ (fully penetrating well)

C = 4.11
 $\ln(R_e/R_w) = 3.82$

$$K = \frac{R_c'^2 \ln\left(\frac{R_e}{R_w}\right)}{2dt} \ln \frac{H_0}{H_t}$$

$\ln(R_e/R_w) = 3.82$

K = 1.03E-06 m/s

Remarques :

Effectué par : Gilles Baribeau

Calculé par : Daniel Lemaire

Révisé par : Andréanne Hamel

ESSAI DE PERMÉABILITÉ

Projet : Bloom Essai : 1
No : 121-18900-00 Type d'essai : «Slug» en descente
Client : Cliff

Identification de l'essai

Puits-numéro essai : BH-07-12
Date de l'essai : 19-09-2012
Niveau d'eau Statique pr sol : 0.49 m

Paramètres de l'essai

Méthode de Bouwer Rice (1976)

Rayon du tubage $R_c = 0.0254$ m
Rayon du forage $R_w = 0.048$ m
Longueur de la crépine $d = 1.47$ m
Longueur de l'aquifer et la base de la crépine $b = 2.36$ m
Épaisseur de l'aquifère $D = 2.36$ m
Porosité du gravier $n = 0.300$
Rayon équivalent* $R_c' = 0.0338$ m

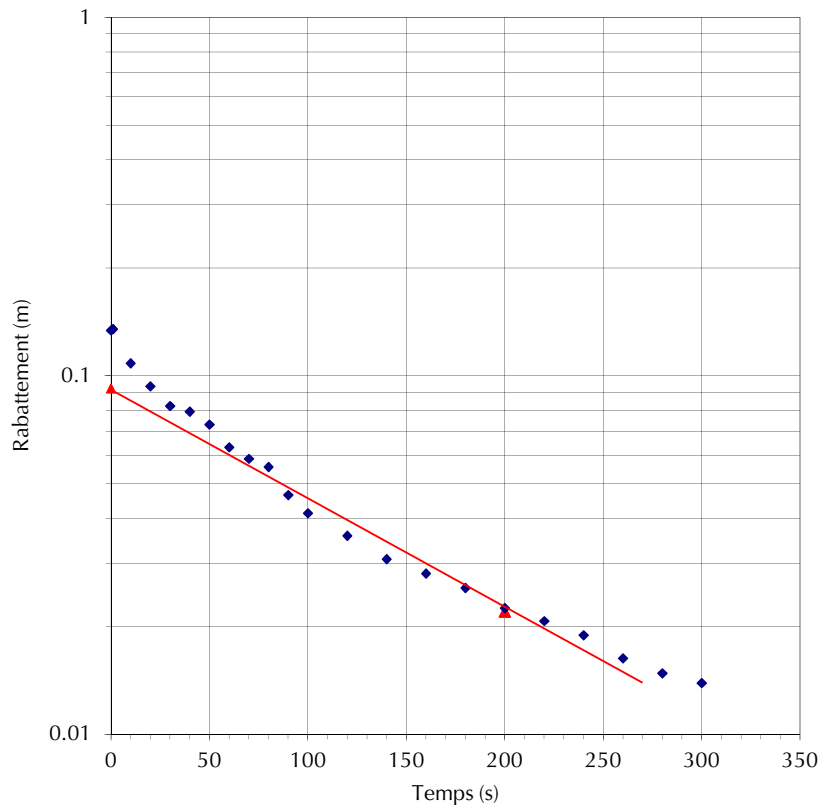
A = 2.48 $d/R_w = 30.69$
B = 0.39 $b/R_w = 49.14$
C = 1.96

Résultats de l'essai

Charge initiale : $H_i = 0.49$ m

Temps s	profondeur d'eau pr sol (m)	Dh m
0	0.352	0.134
1	0.351	0.135
10	0.378	0.108
20	0.393	0.093
30	0.404	0.082
40	0.407	0.079
50	0.413	0.073
60	0.423	0.063
70	0.427	0.059
80	0.430	0.056
90	0.440	0.047
100	0.445	0.041
120	0.450	0.036
140	0.455	0.031
160	0.458	0.028
180	0.460	0.026
200	0.464	0.022
220	0.465	0.021
240	0.467	0.019
260	0.470	0.016
280	0.471	0.015
300	0.472	0.014

Graphique de la variation de la charge hydraulique en fonction du temps



Choix des points pour le calcul de la pente

	Temps	Charge
Point 1	$t_1 = 200$	$H_1 = 0.022$

$H_0 = 0.092$ m

Calcul de la conductivité hydraulique (Bouwer and Rice, 1976)

Position niveau statique: au dessus de la crépine

if $L_w < H$ (partially penetrating well)

A = 2.48
B = 0.39
 $\ln(R_e/R_w) = \text{\#NOMBRE!}$

Si $L_w = H$ (fully penetrating well)

C = 1.96
 $\ln(R_e/R_w) = 2.89$

$$K = \frac{R_c'^2 \ln\left(\frac{R_e}{R_w}\right)}{2dt} \ln \frac{H_0}{H_t}$$

$\ln(R_e/R_w) = 2.89$

K = 4.52E-06 m/s

Remarques :

Effectué par : Gilles Baribeau

Calculé par : Daniel Lemaire

Révisé par : Andréanne Hamel

ESSAI DE PERMÉABILITÉ

Projet : Bloom Essai : 1
No : 121-18900-00 Type d'essai : «Slug» en descente
Client : Cliff

Identification de l'essai

Puits-numéro essai : BH-08-12
Date de l'essai : 19-09-2012
Niveau d'eau Statique pr sol : 0.44 m

Paramètres de l'essai

Méthode de Bouwer Rice (1976)

Rayon du tubage $R_c = 0.0254$ m
Rayon du forage $R_w = 0.048$ m
Longueur de la crépine $d = 4.42$ m
Longueur de l'aquifer et la base de la crépine $b = 5.96$ m
Épaisseur de l'aquifère $D = 5.96$ m
Porosité du gravier $n = 0.300$
Rayon équivalent* $R_c' = 0.0338$ m

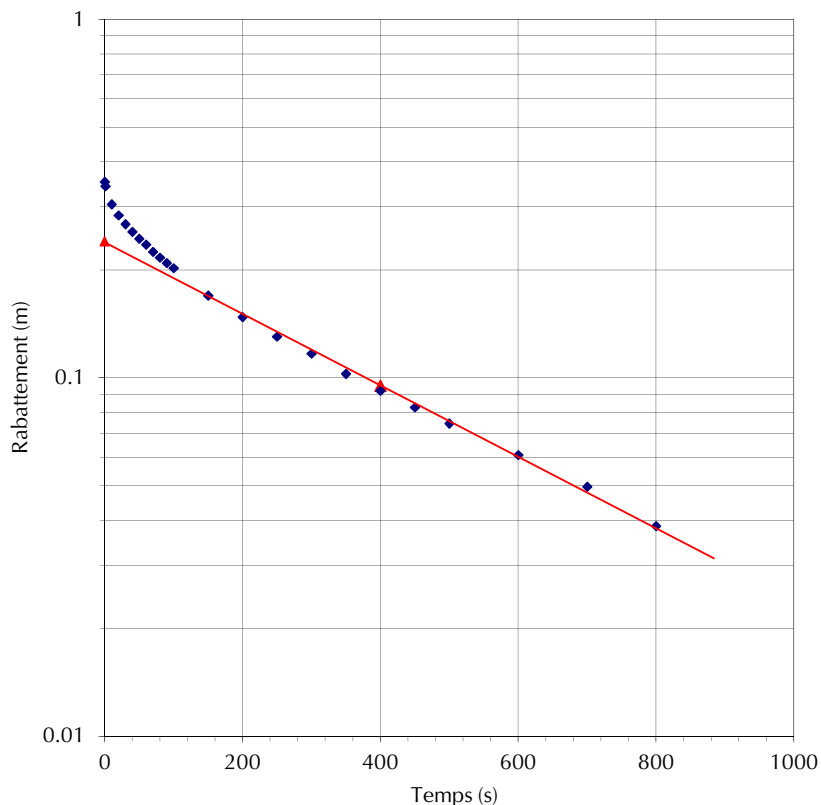
A = 4.11 $d/R_w = 92.08$
B = 0.69 $b/R_w = 124.16$
C = 4.01

Résultats de l'essai

Charge initiale : $H_i = 0.44$ m

Temps s	profondeur d'eau pr sol (m)	Dh m
0	0.089	0.352
1	0.098	0.343
10	0.136	0.305
20	0.157	0.284
30	0.173	0.268
40	0.185	0.256
50	0.197	0.244
60	0.206	0.235
70	0.216	0.225
80	0.225	0.216
90	0.232	0.209
100	0.239	0.202
150	0.271	0.170
200	0.293	0.148
250	0.311	0.130
300	0.324	0.117
350	0.338	0.103
400	0.349	0.092
450	0.358	0.083
500	0.366	0.075
600	0.380	0.061
700	0.391	0.050
800	0.402	0.039

Graphique de la variation de la charge hydraulique en fonction du temps



Choix des points pour le calcul de la pente

	Temps	Charge
Point 1	$t_1 = 400$	$H_1 = 0.095$

$H_o = 0.24$ m

Calcul de la conductivité hydraulique (Bouwer and Rice, 1976)

Position niveau statique: au dessus de la crépine

if $L_w < H$ (partially penetrating well)

A = 4.11
B = 0.69
 $\ln(R_e/R_w) = \#NOMBRE!$

Si $L_w = H$ (fully penetrating well)

C = 4.01
 $\ln(R_e/R_w) = 3.68$

$$K = \frac{R_c'^2 \ln\left(\frac{R_e}{R_w}\right)}{2dt} \ln \frac{H_o}{H_t}$$

$\ln(R_e/R_w) = 3.68$

K = 6.22E-07 m/s

Remarques :

Effectué par : Gilles Baribeau

Calculé par : Daniel Lemaire

Révisé par : Andréanne Hamel

ESSAI DE PERMÉABILITÉ

Projet : Bloom Essai : 1
No : 121-18900-00 Type d'essai : «Slug» en remontée
Client : Cliff

Identification de l'essai

Puits-numéro essai : BH-08-12
Date de l'essai : 19-09-2012
Niveau d'eau Statique pr sol : 0.44 m

Paramètres de l'essai

Méthode de Bouwer Rice (1976)

Rayon du tubage $R_c = 0.0254$ m
Rayon du forage $R_w = 0.048$ m
Longueur de la crépine $d = 4.42$ m
Longueur de l'aquifère et la base de la crépine $b = 5.96$ m
Épaisseur de l'aquifère $D = 5.96$ m
Porosité du gravier $n = 0.300$
Rayon équivalent* $R_c' = 0.0338$ m

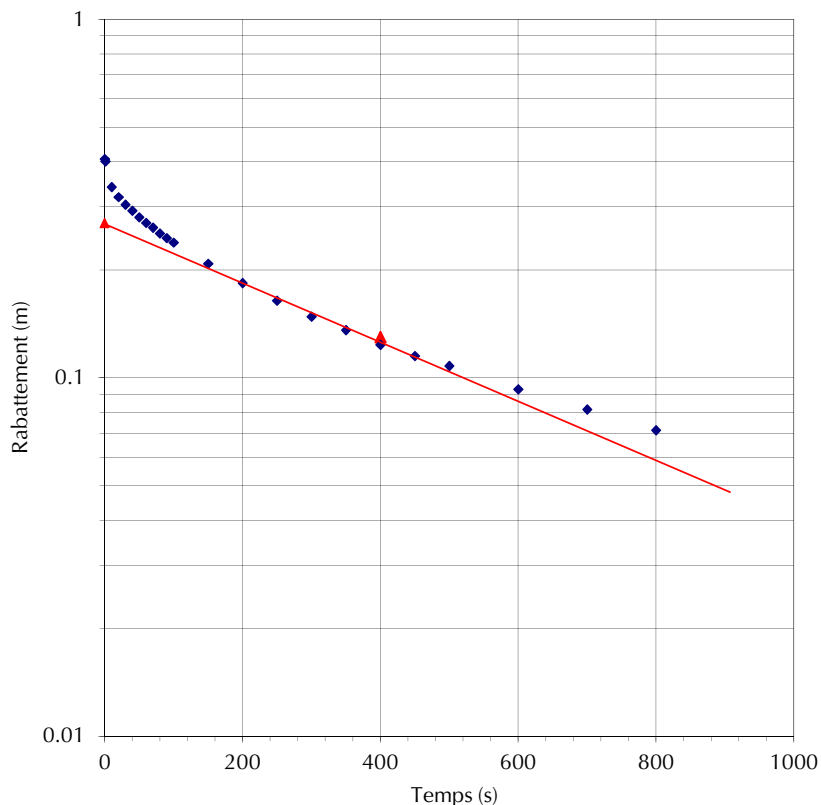
A = 4.11 $d/R_w = 92.08$
B = 0.69 $b/R_w = 124.16$
C = 4.01

Résultats de l'essai

Charge initiale : $H_i = 0.44$ m

Temps s	profondeur d'eau pr sol (m)	Dh m
0	0.849	0.408
1	0.842	0.401
10	0.782	0.341
20	0.760	0.319
30	0.745	0.304
40	0.733	0.292
50	0.722	0.281
60	0.712	0.271
70	0.704	0.263
80	0.694	0.253
90	0.687	0.246
100	0.679	0.238
150	0.649	0.208
200	0.625	0.184
250	0.605	0.164
300	0.589	0.148
350	0.577	0.136
400	0.565	0.124
450	0.556	0.115
500	0.549	0.108
600	0.534	0.093
700	0.523	0.082
800	0.512	0.071

Graphique de la variation de la charge hydraulique en fonction du temps



Choix des points pour le calcul de la pente

	Temps	Charge
Point 1	$t_1 = 400$	$H_1 = 0.130$

$H_o = 0.27$ m

Calcul de la conductivité hydraulique (Bouwer and Rice, 1976)

Position niveau statique: au dessus de la crépine

if $L_w < H$ (partially penetrating well)

A = 4.11
B = 0.69
 $\ln(R_e/R_w) = \#NOMBRE!$

Si $L_w = H$ (fully penetrating well)

C = 4.01
 $\ln(R_e/R_w) = 3.68$

$$K = \frac{R_c'^2 \ln\left(\frac{R_e}{R_w}\right)}{2dt} \ln \frac{H_o}{H_t}$$

$\ln(R_e/R_w) = 3.68$

$K = 4.91E-07$ m/s

Remarques :

Effectué par : Gilles Baribeau

Calculé par : Daniel Lemaire

Révisé par : Andréanne Hamel

ESSAI DE PERMÉABILITÉ

Projet : Bloom Essai : 1
No : 121-18900-00 Type d'essai : «Slug» en descente
Client : Cliff

Identification de l'essai

Puits-numéro essai : BH-09-12
Date de l'essai : 19-09-2012
Niveau d'eau Statique pr sol : 0.37 m

Paramètres de l'essai

Méthode de Bouwer Rice (1976)

Rayon du tubage $R_c = 0.0254$ m
Rayon du forage $R_w = 0.048$ m
Longueur de la crépine $d = 3.66$ m
Longueur de l'aquifer et la base de la crépine $b = 10.00$ m
Épaisseur de l'aquifère $D = 10.00$ m
Porosité du gravier $n = 0.300$
Rayon équivalent* $R_c' = 0.0338$ m

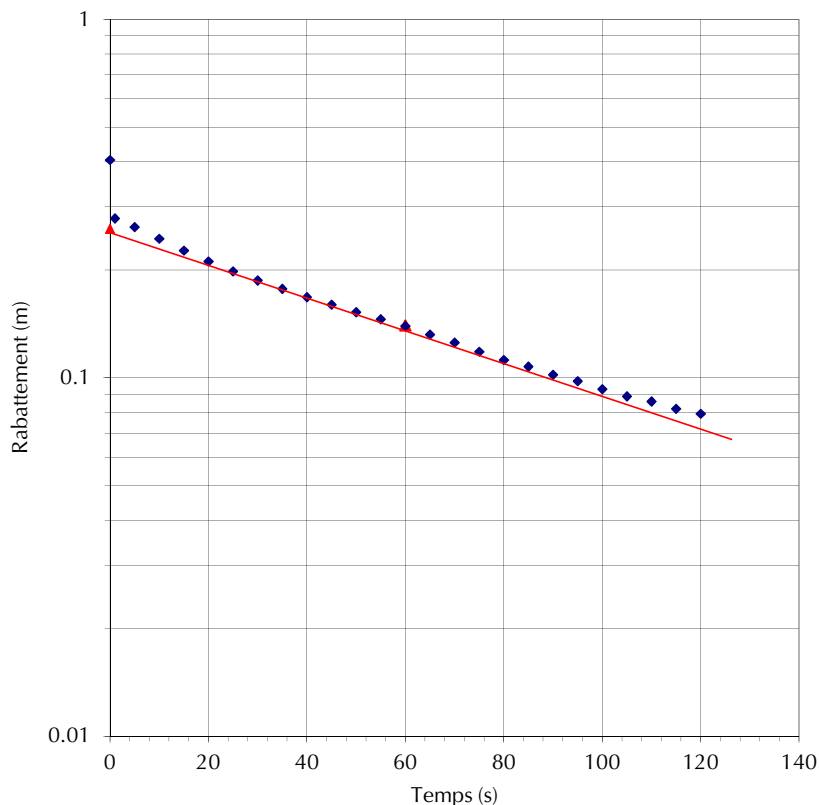
A = 3.74 $d/R_w = 76.20$
B = 0.61 $b/R_w = 208.23$
C = 3.52

Résultats de l'essai

Charge initiale : $H_i = 0.37$ m

Temps s	profondeur d'eau pr sol (m)	Dh m
0	-0.037	0.405
1	0.090	0.278
5	0.105	0.263
10	0.124	0.244
15	0.142	0.227
20	0.157	0.211
25	0.170	0.198
30	0.181	0.187
35	0.191	0.177
40	0.200	0.168
45	0.208	0.160
50	0.216	0.153
55	0.222	0.146
60	0.229	0.139
65	0.236	0.132
70	0.243	0.125
75	0.250	0.118
80	0.256	0.112
85	0.261	0.108
90	0.266	0.102
95	0.270	0.098
100	0.275	0.093
105	0.279	0.089
110	0.282	0.086
115	0.286	0.082
120	0.289	0.079

Graphique de la variation de la charge hydraulique en fonction du temps



Choix des points pour le calcul de la pente

	Temps	Charge
Point 1	$t_1 = 60$	$H_1 = 0.140$

$H_0 = 0.26$ m

Calcul de la conductivité hydraulique (Bouwer and Rice, 1976)

Position niveau statique: au dessus de la crépine

if $L_w < H$ (partially penetrating well)

A = 3.74
B = 0.61
 $\ln(R_e/R_w) = \#NOMBRE!$

Si $L_w = H$ (fully penetrating well)

C = 3.52
 $\ln(R_e/R_w) = 3.96$

$$K = \frac{R_c'^2 \ln\left(\frac{R_e}{R_w}\right)}{2dt} \ln \frac{H_0}{H_t}$$

$\ln(R_e/R_w) = 3.96$

K = 3.61E-06 m/s

Remarques :

Effectué par : Gilles Baribeau

Calculé par : Daniel Lemaire

Révisé par : Andréanne Hamel

ESSAI DE PERMÉABILITÉ

Projet : Bloom Essai : 1
No : 121-18900-00 Type d'essai : «Slug» en remontée
Client : Cliff

Identification de l'essai

Puits-numéro essai : BH-09-12
Date de l'essai : 19-09-2012
Niveau d'eau Statique pr sol : 0.37 m

Paramètres de l'essai

Méthode de Bouwer Rice (1976)

Rayon du tubage $R_c = 0.0254$ m
Rayon du forage $R_w = 0.048$ m
Longueur de la crépine $d = 3.66$ m

Longueur de l'aquifer et la base de la crépine $b = 10.00$ m
Épaisseur de l'aquifère $D = 10.00$ m
Porosité du gravier $n = 0.300$
Rayon équivalent* $R_c' = 0.0338$ m

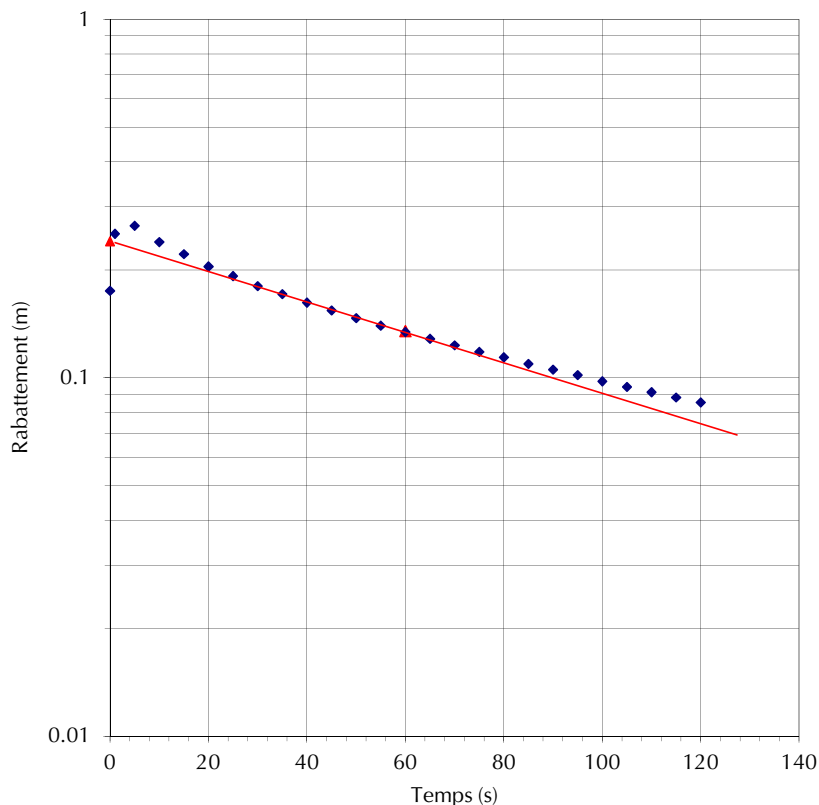
A = 3.74 $d/R_w = 76.20$
B = 0.61 $b/R_w = 208.23$
C = 3.52

Résultats de l'essai

Charge initiale : $H_i = 0.37$ m

Temps s	profondeur d'eau pr sol (m)	Dh m
0	0.543	0.175
1	0.620	0.252
5	0.634	0.266
10	0.607	0.239
15	0.590	0.222
20	0.573	0.205
25	0.560	0.192
30	0.548	0.180
35	0.539	0.171
40	0.530	0.162
45	0.522	0.154
50	0.515	0.147
55	0.508	0.140
60	0.502	0.134
65	0.497	0.129
70	0.491	0.123
75	0.486	0.118
80	0.482	0.114
85	0.477	0.109
90	0.473	0.105
95	0.470	0.102
100	0.466	0.098
105	0.462	0.094
110	0.459	0.091
115	0.456	0.088
120	0.453	0.085

Graphique de la variation de la charge hydraulique en fonction du temps



Choix des points pour le calcul de la pente

	Temps	Charge
Point 1	$t_1 = 60$	$H_1 = 0.135$

$H_0 = 0.24$ m

Calcul de la conductivité hydraulique (Bouwer and Rice, 1976)

Position niveau statique: au dessus de la crépine

if $L_w < H$ (partially penetrating well)

A = 3.74
B = 0.61
 $\ln(R_e/R_w) = \#NOMBRE!$

Si $L_w = H$ (fully penetrating well)

C = 3.52
 $\ln(R_e/R_w) = 3.96$

$$K = \frac{R_c'^2 \ln\left(\frac{R_e}{R_w}\right)}{2dt} \ln \frac{H_0}{H_t}$$

$\ln(R_e/R_w) = 3.96$

K = 3.35E-06 m/s

Remarques :

Effectué par : Gilles Baribeau

Calculé par : Daniel Lemaire

Révisé par : Andréanne Hamel

ESSAI DE PERMÉABILITÉ

Projet : Bloom Essai : 2
No : 121-18900-00 Type d'essai : «Slug» en descente
Client : Cliff

Identification de l'essai

Puits-numéro essai : BH-09-12
Date de l'essai : 19-09-2012
Niveau d'eau Statique pr sol : 0.37 m

Paramètres de l'essai

Méthode de Bouwer Rice (1976)

Rayon du tubage $R_c = 0.0254$ m
Rayon du forage $R_w = 0.048$ m
Longueur de la crépine $d = 3.66$ m
Longueur de l'aquifère et la base de la crépine $b = 10.00$ m
Épaisseur de l'aquifère $D = 10.00$ m
Porosité du gravier $n = 0.300$
Rayon équivalent* $R_c' = 0.0338$ m

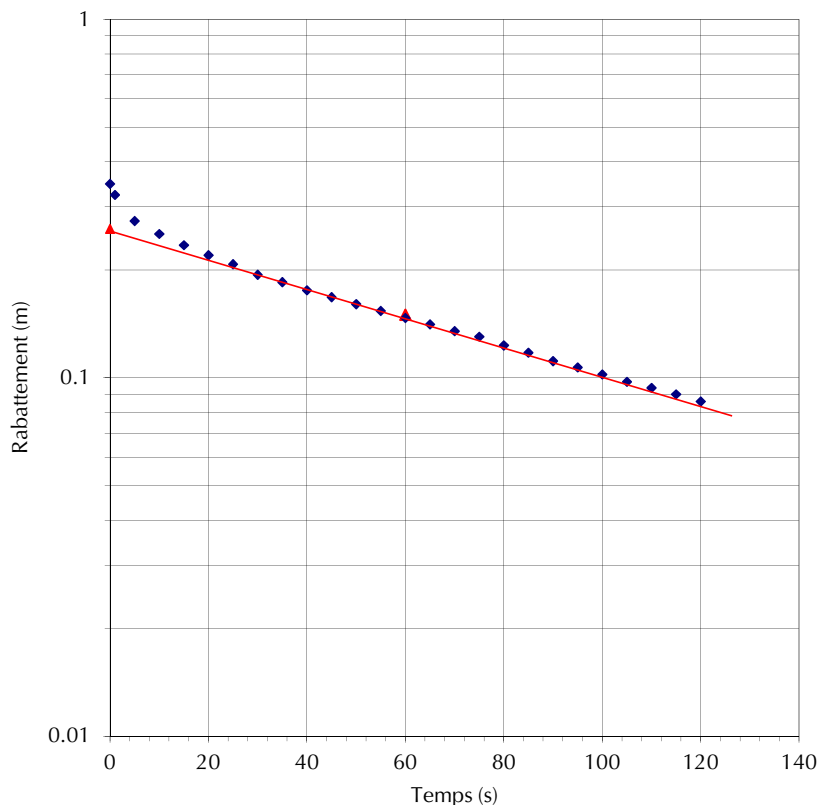
A = 3.74 $d/R_w = 76.20$
B = 0.61 $b/R_w = 208.23$
C = 3.52

Résultats de l'essai

Charge initiale : $H_i = 0.37$ m

Temps s	profondeur d'eau pr sol (m)	Dh m
0	0.020	0.348
1	0.044	0.324
5	0.094	0.274
10	0.116	0.252
15	0.134	0.234
20	0.148	0.220
25	0.161	0.208
30	0.174	0.194
35	0.183	0.185
40	0.193	0.176
45	0.200	0.168
50	0.207	0.161
55	0.214	0.154
60	0.221	0.147
65	0.227	0.141
70	0.233	0.135
75	0.238	0.130
80	0.245	0.123
85	0.250	0.118
90	0.257	0.111
95	0.261	0.107
100	0.266	0.102
105	0.271	0.098
110	0.274	0.094
115	0.278	0.090
120	0.282	0.086

Graphique de la variation de la charge hydraulique en fonction du temps



Choix des points pour le calcul de la pente

	Temps	Charge
Point 1	$t_1 = 60$	$H_1 = 0.150$

$H_o = 0.26$ m

Calcul de la conductivité hydraulique (Bouwer and Rice, 1976)

Position niveau statique: au dessus de la crépine

if $L_w < H$ (partially penetrating well)

A = 3.74
B = 0.61
 $\ln(R_e/R_w) = \text{\#NOMBRE!}$

Si $L_w = H$ (fully penetrating well)

C = 3.52
 $\ln(R_e/R_w) = 3.96$

$$K = \frac{R_c'^2 \ln\left(\frac{R_e}{R_w}\right)}{2dt} \ln \frac{H_o}{H_t}$$

$\ln(R_e/R_w) = 3.96$

K = 3.21E-06 m/s

Remarques :

Effectué par : Gilles Baribeau

Calculé par : Daniel Lemaire

Révisé par : Andréanne Hamel

ESSAI DE PERMÉABILITÉ

Projet : Bloom Essai : 2
No : 121-18900-00 Type d'essai : «Slug» en remontée
Client : Cliff

Identification de l'essai

Puits-numéro essai : BH-09-12
Date de l'essai : 19-09-2012
Niveau d'eau Statique pr sol : 0.37 m

Paramètres de l'essai

Méthode de Bouwer Rice (1976)

Rayon du tubage $R_c = 0.0254$ m
Rayon du forage $R_w = 0.048$ m
Longueur de la crépine $d = 3.66$ m
Longueur de l'aquifer et la base de la crépine $b = 10.00$ m
Épaisseur de l'aquifère $D = 10.00$ m
Porosité du gravier $n = 0.300$
Rayon équivalent* $R_c' = 0.0338$ m

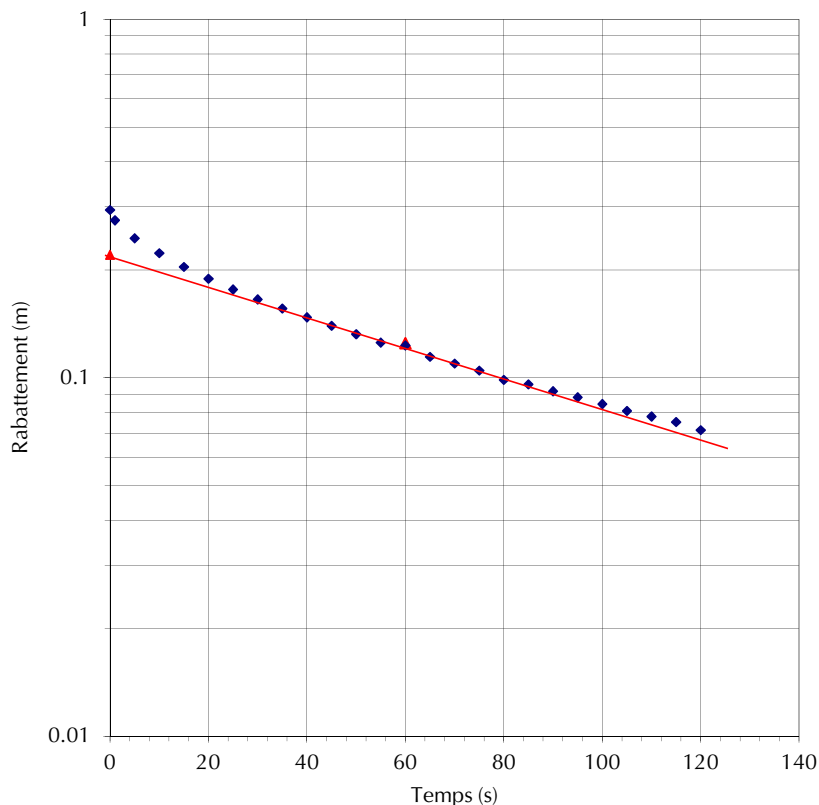
A = 3.74 $d/R_w = 76.20$
B = 0.61 $b/R_w = 208.23$
C = 3.52

Résultats de l'essai

Charge initiale : $H_i = 0.37$ m

Temps s	profondeur d'eau pr sol (m)	Dh m
0	0.662	0.294
1	0.643	0.275
5	0.613	0.245
10	0.591	0.223
15	0.572	0.204
20	0.557	0.189
25	0.545	0.177
30	0.534	0.166
35	0.524	0.156
40	0.516	0.148
45	0.508	0.140
50	0.500	0.132
55	0.493	0.125
60	0.491	0.123
65	0.483	0.115
70	0.478	0.110
75	0.473	0.105
80	0.467	0.099
85	0.464	0.096
90	0.460	0.092
95	0.456	0.088
100	0.453	0.085
105	0.449	0.081
110	0.446	0.078
115	0.443	0.075
120	0.440	0.072

Graphique de la variation de la charge hydraulique en fonction du temps



Choix des points pour le calcul de la pente

	Temps	Charge
Point 1	$t_1 = 60$	$H_1 = 0.125$

$H_0 = 0.22$ m

Calcul de la conductivité hydraulique (Bouwer and Rice, 1976)

Position niveau statique: au dessus de la crépine

if $L_w < H$ (partially penetrating well)

A = 3.74
B = 0.61
 $\ln(R_e/R_w) = \#NOMBRE!$

Si $L_w = H$ (fully penetrating well)

C = 3.52
 $\ln(R_e/R_w) = 3.96$

$$K = \frac{R_c'^2 \ln\left(\frac{R_e}{R_w}\right)}{2dt} \ln \frac{H_0}{H_t}$$

$\ln(R_e/R_w) = 3.96$

K = 3.29E-06 m/s

Remarques :

Effectué par : Gilles Baribeau

Calculé par : Daniel Lemaire

Révisé par : Andréanne Hamel

ESSAI DE PERMÉABILITÉ

Projet : Bloom Essai : 1
No : 121-18900-00 Type d'essai : «Slug» en descente
Client : Cliff

Identification de l'essai

Puits-numéro essai : BH-10-12
Date de l'essai : 19-09-2012
Niveau d'eau Statique pr sol : 1.14 m

Paramètres de l'essai

Méthode de Bouwer Rice (1976)

Rayon du tubage $R_c = 0.0254$ m
Rayon du forage $R_w = 0.048$ m
Longueur de la crépine $d = 4.11$ m
Longueur de l'aquifère et la base de la crépine $b = 4.20$ m
Épaisseur de l'aquifère $D = 4.20$ m
Porosité du gravier $n = 0.300$
Rayon équivalent* $R_c' = 0.0338$ m

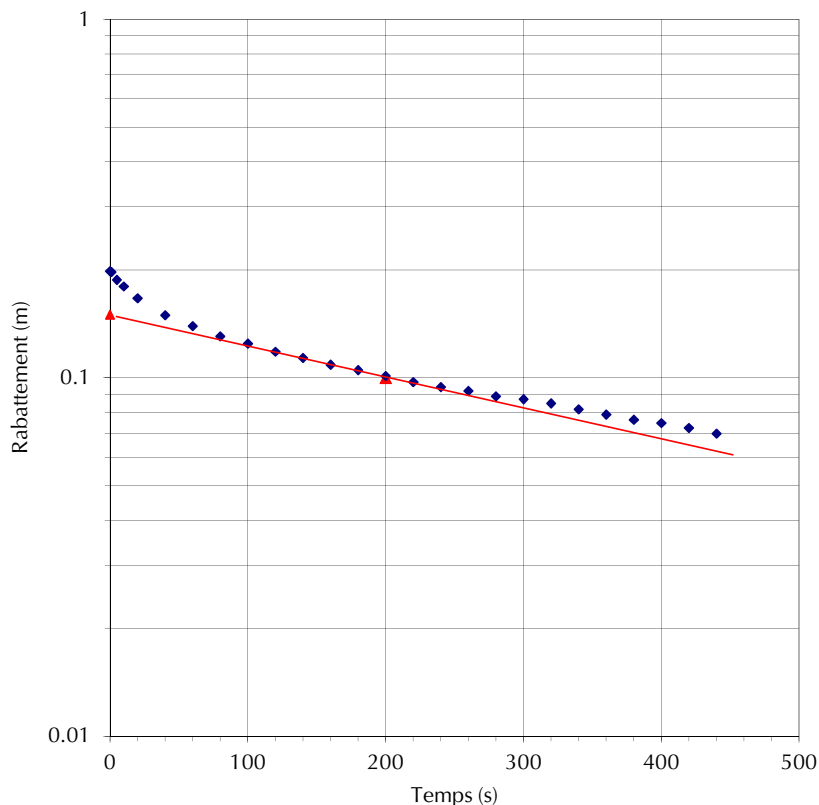
A = 3.97 $d/R_w = 85.73$
B = 0.66 $b/R_w = 87.40$
C = 3.82

Résultats de l'essai

Charge initiale : $H_i = 1.14$ m

Temps s	profondeur d'eau pr sol (m)	Dh m
0	0.941	0.198
1	0.942	0.197
5	0.951	0.188
10	0.959	0.180
20	0.972	0.167
40	0.989	0.150
60	1.000	0.140
80	1.008	0.131
100	1.014	0.125
120	1.021	0.118
140	1.025	0.114
160	1.030	0.109
180	1.034	0.105
200	1.038	0.101
220	1.042	0.097
240	1.045	0.094
260	1.047	0.092
280	1.050	0.089
300	1.052	0.087
320	1.054	0.085
340	1.057	0.082
360	1.060	0.079
380	1.063	0.076
400	1.064	0.075
420	1.067	0.073
440	1.069	0.070

Graphique de la variation de la charge hydraulique en fonction du temps



Choix des points pour le calcul de la pente

	Temps	Charge
Point 1	$t_1 = 200$	$H_1 = 0.100$

$H_o = 0.15$ m

Calcul de la conductivité hydraulique (Bouwer and Rice, 1976)

Position niveau statique: au dessus de la crépine

if $L_w < H$ (partially penetrating well)

A = 3.97
B = 0.66
 $\ln(R_e/R_w) = \#NOMBRE!$

Si $L_w = H$ (fully penetrating well)

C = 3.82
 $\ln(R_e/R_w) = 3.44$

$$K = \frac{R_c'^2 \ln\left(\frac{R_e}{R_w}\right)}{2dt} \ln \frac{H_o}{H_t}$$

$\ln(R_e/R_w) = 3.44$

K = 5.47E-07 m/s

Remarques :

Effectué par : Gilles Baribeau

Calculé par : Daniel Lemaire

Révisé par : Andréanne Hamel

ESSAI DE PERMÉABILITÉ

Projet : Bloom Essai : 1
No : 121-18900-00 Type d'essai : «Slug» en remontée
Client : Cliff

Identification de l'essai

Puits-numéro essai : BH-10-12
Date de l'essai : 19-09-2012
Niveau d'eau Statique pr sol : 1.14 m

Paramètres de l'essai

Méthode de Bouwer Rice (1976)

Rayon du tubage $R_c = 0.0254$ m
Rayon du forage $R_w = 0.048$ m
Longueur de la crépine $d = 4.11$ m
Longueur de l'aquifer et la base de la crépine $b = 4.20$ m
Épaisseur de l'aquifère $D = 4.20$ m
Porosité du gravier $n = 0.300$
Rayon équivalent* $R_c' = 0.0338$ m

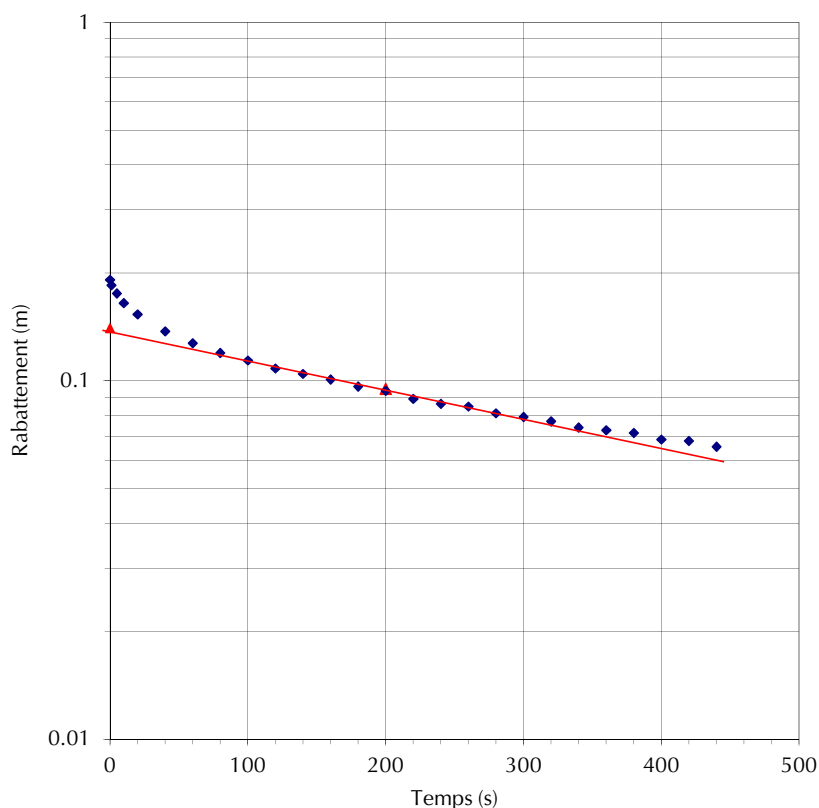
A = 3.97 $d/R_w = 85.73$
B = 0.66 $b/R_w = 87.40$
C = 3.82

Résultats de l'essai

Charge initiale : $H_i = 1.14$ m

Temps s	profondeur d'eau pr sol (m)	Dh m
0	1.330	0.191
1	1.324	0.185
5	1.314	0.175
10	1.304	0.165
20	1.292	0.153
40	1.277	0.137
60	1.266	0.127
80	1.259	0.120
100	1.253	0.114
120	1.247	0.108
140	1.244	0.105
160	1.240	0.101
180	1.235	0.096
200	1.233	0.094
220	1.228	0.089
240	1.225	0.086
260	1.224	0.085
280	1.220	0.081
300	1.218	0.079
320	1.216	0.077
340	1.213	0.074
360	1.212	0.073
380	1.211	0.072
400	1.208	0.069
420	1.207	0.068
440	1.205	0.066

Graphique de la variation de la charge hydraulique en fonction du temps



Choix des points pour le calcul de la pente

	Temps	Charge
Point 1	$t_1 = 200$	$H_1 = 0.095$

$H_o = 0.14$ m

Calcul de la conductivité hydraulique (Bouwer and Rice, 1976)

Position niveau statique: au dessus de la crépine

if $L_w < H$ (partially penetrating well)

A = 3.97
B = 0.66
 $\ln(R_e/R_w) = \#NOMBRE!$

Si $L_w = H$ (fully penetrating well)

C = 3.82
 $\ln(R_e/R_w) = 3.44$

$$K = \frac{R_c'^2 \ln\left(\frac{R_e}{R_w}\right)}{2dt} \ln \frac{H_o}{H_t}$$

$\ln(R_e/R_w) = 3.44$

K = 5.23E-07 m/s

Remarques :

Effectué par : Gilles Baribeau

Calculé par : Daniel Lemaire

Révisé par : Andréanne Hamel



Projet : Bloom Essai : 1
No : 121-18900-00 Type d'essai : «Slug» en descente
Client : Cliff

Puits-numéro essai :	F12
Date de l'essai :	18-09-2012
Niveau d'eau Statique pr sol	-0.004 m

Rayon du tubage	$R_c = \frac{0.0254}{m}$
Rayon du forage	$R_w = \frac{0.048}{m}$
Longueur de la crépine	$d = \frac{3.02}{m}$
Longueur de l'aquifère et la base de la crépine	$b = \frac{3.80}{m}$
Épaisseur de l'aquifère	$D = \frac{3.80}{m}$
Porosité du gravier	$n = \frac{0.300}{m}$
Rayon équivalent*	$R_c' = \frac{0.0338}{m}$

A =	3.40	d/Rw =	62.92
B =	0.55	b/Rw =	79.15
C =	3.09		

Charge initiale :	$H_i =$	-0.004 m
-------------------	---------	----------

[illegible]

Figure 1 is a semi-logarithmic plot showing the relationship between Rabattement (m) on the y-axis and Temps (s) on the x-axis. The y-axis is logarithmic, ranging from 0.01 to 1. The x-axis is linear, ranging from 0 to 200. Data points are represented by blue diamonds, and a red line indicates a linear fit to the data. A red triangle marks the point at 100s and approximately 0.04m.

Temps (s)	Rabattement (m)
0	0.09
10	0.08
20	0.075
40	0.065
60	0.055
80	0.05
100	0.04
120	0.035
140	0.03
160	0.025

	Temps		Charge		
Point 1	t ₁	100	H ₁	0.040	Ho= 0.09 m

$$K = \frac{R_c'^2 \ln\left(\frac{Re}{R_w}\right)}{2dt} \ln \frac{H_0}{H_i}$$

$\ln(Re/Rw)=$ 3.33 **K = 2.88E-06 m/s**

Effectué par : Gilles Baribeau

Calculé par : Daniel Lemaire

Révisé par : Andréanne Hamel

ESSAI DE PERMÉABILITÉ

Projet : Bloom Essai : 1
No : 121-18900-00 Type d'essai : «Slug» en remontée
Client : Cliff

Identification de l'essai

Puits-numéro essai : F12
Date de l'essai : 18-09-2012
Niveau d'eau Statique pr sol : -0.004 m

Paramètres de l'essai

Méthode de Bouwer Rice (1976)

Rayon du tubage $R_c = 0.0254$ m
Rayon du forage $R_w = 0.048$ m
Longueur de la crépine $d = 3.02$ m
Longueur de l'aquifère et la base de la crépine $b = 3.80$ m
Épaisseur de l'aquifère $D = 3.80$ m
Porosité du gravier $n = 0.300$
Rayon équivalent* $R_c' = 0.0338$ m

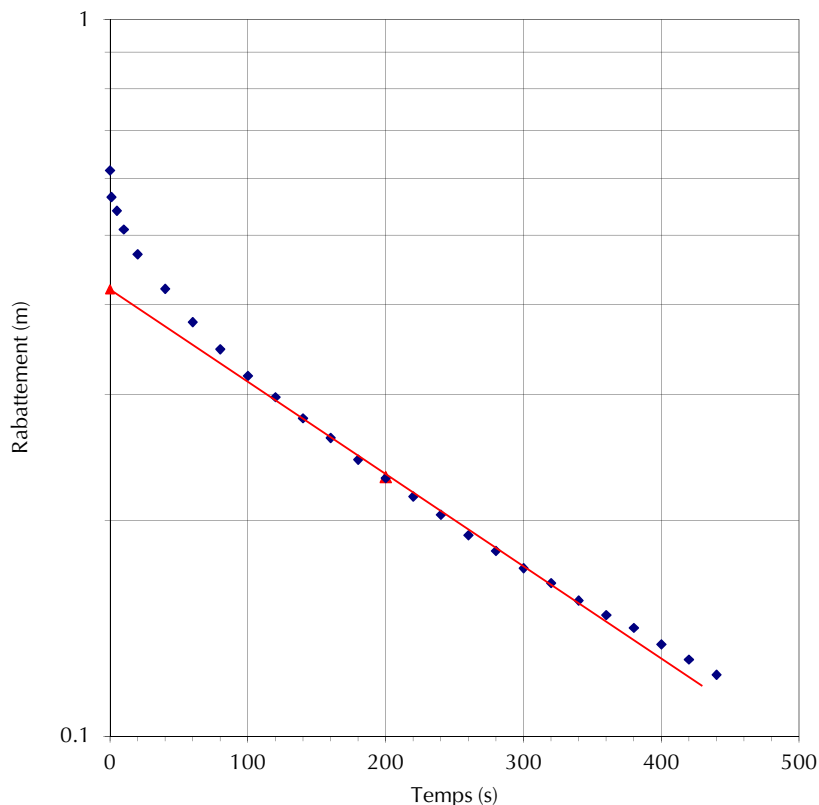
A = 3.40 $d/R_w = 62.92$
B = 0.55 $b/R_w = 79.15$
C = 3.09

Résultats de l'essai

Charge initiale : $H_i = -0.004$ m

Temps s	profondeur d'eau pr sol (m)	Dh m
0	0.612	0.616
1	0.561	0.565
5	0.537	0.541
10	0.505	0.509
20	0.466	0.470
40	0.417	0.421
60	0.374	0.378
80	0.343	0.347
100	0.314	0.318
120	0.293	0.297
140	0.274	0.278
160	0.257	0.261
180	0.239	0.243
200	0.225	0.229
220	0.212	0.216
240	0.200	0.204
260	0.187	0.191
280	0.177	0.181
300	0.168	0.172
320	0.160	0.164
340	0.151	0.155
360	0.144	0.148
380	0.138	0.142
400	0.130	0.134
420	0.124	0.128
440	0.118	0.122

Graphique de la variation de la charge hydraulique en fonction du temps



Choix des points pour le calcul de la pente

	Temps	Charge
Point 1	t_1	H_1
	200	0.230

$H_0 = 0.42$ m

Calcul de la conductivité hydraulique (Bouwer and Rice, 1976)

Position niveau statique: au dessus de la crépine

if $L_w < H$ (partially penetrating well)

A = 3.40
B = 0.55
 $\ln(R_e/R_w) = \text{\#NOMBRE!}$

Si $L_w = H$ (fully penetrating well)

C = 3.09
 $\ln(R_e/R_w) = 3.33$

$$K = \frac{R_c'^2 \ln\left(\frac{R_e}{R_w}\right)}{2dt} \ln \frac{H_0}{H_t}$$

$\ln(R_e/R_w) = 3.33$

K = 1.07E-06 m/s

Remarques :

Effectué par : Gilles Baribeau

Calculé par : Daniel Lemaire

Révisé par : Andréanne Hamel



ESSAI DE PERMÉABILITÉ

Projet : , Évaluation des conditions hydrogéologiques, Site des haldes temporaires, Mine de fer du Lac Bloom, Fermont (Qc)
 No : 141-22153-00
 Client : Cliffs-SEC Mine de fer du Lac Bloom

Identification de l'essai

Puits : PO41S
 Numéro essai : Essai 2
 Date de l'essai : 10-10-2014
 Niveau d'eau Statique pr tubage 1,13 m
 Hauteur du tubage pr au sol 0,85 m
 Niveau d'eau statique (Ws) pr au sol 0,280 m
 Élévation du sol 766,51 m
 Pression d'eau (P) Sonde (niveau statique) 13,180 m
 Élévation piézométrique 766,23 m

Paramètres de l'essai

Méthode de Bouwer Rice (1976)

Rayon du tubage $R_c = 0,0255$ m
 Rayon du forage $R_w = 0,050$ m
 Longueur de la crépine $L = 4,110$ m
 Longueur du toit de l'aquifère à la base de la crépine $b = 4,17$ m
 Fond du puits (p/r margelle) $FD = 5,30$ m
 Épaisseur de l'aquifère $D = 4,88$ m
 Porosité du sable silice $n = 0,300$ m
 Rayon équivalent* $R_c' = 0,035$ m

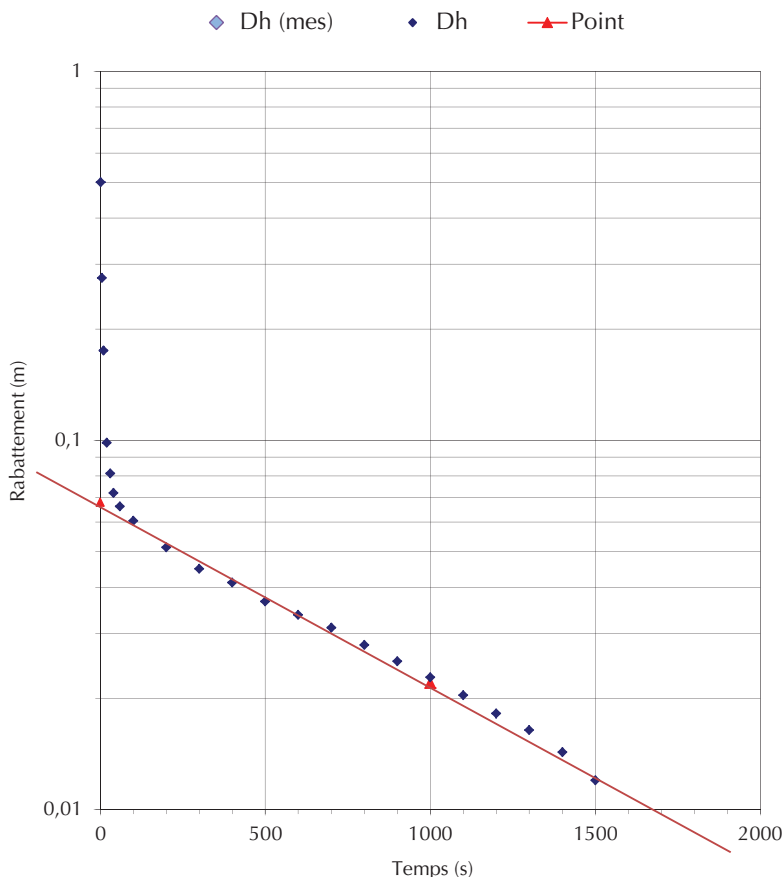
$A = 3,88$ $d/R_w = 82,20$
 $B = 0,64$ $b/R_w = 83,40$
 $C = 3,71$

Résultats de l'essai

Temps s	P m	h m	Dh m	W m	W(mes) ¹ m	Dh (mes) m
0	13,180	766,227	0,000	0,280	0,28	0,000
1	12,680	765,727	0,500	0,780		
5	12,9044	765,951	0,276	0,556		
10	13,0049	766,052	0,175	0,455		
20	13,0815	766,129	0,098	0,378		
30	13,0987	766,146	0,081	0,361		
40	13,108	766,155	0,072	0,352		
60	13,1138	766,161	0,066	0,346		
100	13,1194	766,166	0,061	0,341		
200	13,1287	766,176	0,051	0,331		
300	13,1351	766,182	0,045	0,325		
400	13,139	766,186	0,041	0,321		
500	13,143	766,190	0,037	0,317		
600	13,146	766,193	0,034	0,314		
700	13,149	766,196	0,031	0,311		
800	13,152	766,199	0,028	0,308		
900	13,155	766,202	0,025	0,305		
1000	13,1572	766,204	0,023	0,303		
1100	13,1596	766,207	0,020	0,300		
1200	13,1618	766,209	0,018	0,298		
1300	13,1636	766,211	0,016	0,296		
1400	13,1657	766,213	0,014	0,294		
1500	13,1680	766,215	0,012	0,292		
1700	13,1722	766,219	0,008	0,288		
1900	13,17	766,222	0,005	0,285		

¹ mes : Valeurs mesurées manuellement

Graphique de la variation de la charge hydraulique en fonction du temps



Choix des points pour le calcul de la pente

Point	Temps t_1	Charge H_1
	1000	0,022

H_0 0,068 m

Calcul de la conductivité hydraulique (Bouwer and Rice, 1976)

élévation L m 766,167 élévation Hi m 765,727
 si $L < D$ (crépine intercepte partiellement l'aquifère)
 si $L > D$ (crépine intercepte complètement l'aquifère)
 $A = 3,88$ $C = 3,71$
 $B = 0,64$ $\ln (Re/R_w) = 3,40$
 $\ln (Re/R_w) = 3,16$

$$K = \frac{R_c'^2 \ln \left(\frac{Re}{R_w} \right)}{2 dt} \ln \frac{H_0}{H_t}$$

$\ln (Re/R_w) = 3,16$ $K = 5,23E-07$ m/s

Remarques :

Effectué par : Dominic Paiement-Lamothe

Calculé par : Andréanne Hamel



ESSAI DE PERMÉABILITÉ

Projet : , Évaluation des conditions hydrogéologiques, Site des haldes temporaires, Mine de fer du Lac Bloom, Fermont (Qc)
 No : 141-22153-00
 Client : Cliffs-SEC Mine de fer du Lac Bloom

Identification de l'essai

Puits : PO41S
 Numéro essai : Essai 1
 Date de l'essai : 10-10-2014
 Niveau d'eau Statique pr tubage 1,13 m
 Hauteur du tubage pr au sol 0,85 m
 Niveau d'eau statique (Ws) pr au sol 0,280 m
 Élévation du sol 766,51 m
 Pression d'eau (P) Sonde (niveau statique) 13,200 m
 Élévation piézométrique 766,23 m

Paramètres de l'essai

Méthode de Bouwer Rice (1976)

Rayon du tubage $R_c = 0,0255$ m
 Rayon du forage $R_w = 0,050$ m
 Longueur de la crépine $L = 4,110$ m
 Longueur du toit de l'aquifère à la base de la crépine $b = 4,17$ m
 Fond du puits (p/r margelle) $FD = 5,30$ m
 Épaisseur de l'aquifère $D = 4,88$ m
 Porosité du sable silice $n = 0,300$ m
 Rayon équivalent* $R_c' = 0,035$ m

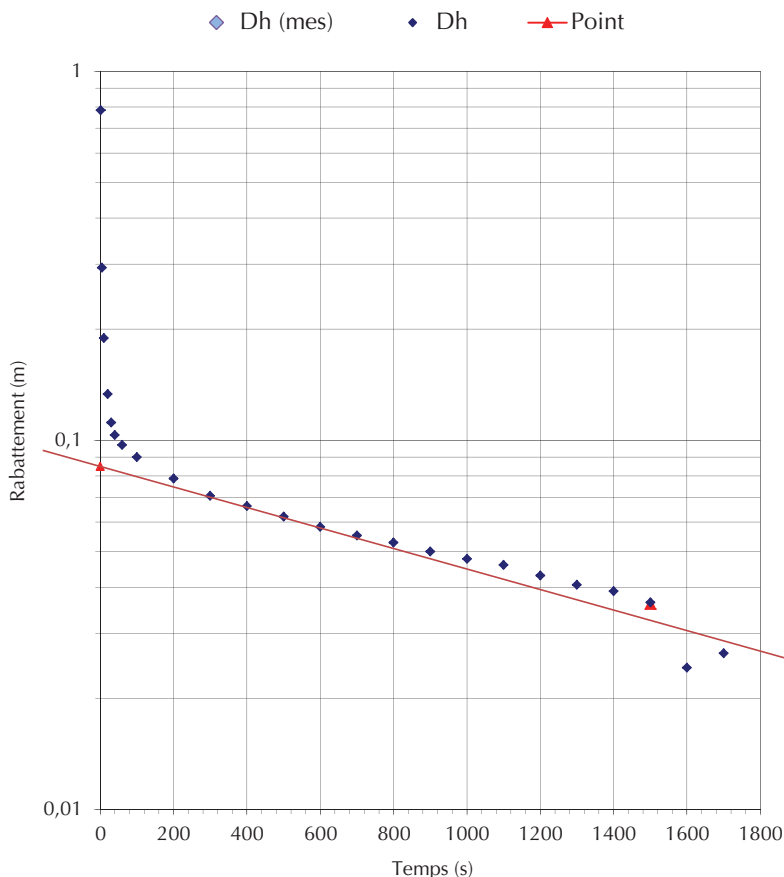
$A = 3,88$ $d/R_w = 82,20$
 $B = 0,64$ $b/R_w = 83,40$
 $C = 3,71$

Résultats de l'essai

Temps s	P m	h m	Dh m	W m	W(mes ¹) m	Dh (mes) m
0	13,200	766,227	0,000	0,280	0,28	0,000
1	12,416	765,443	0,784	1,064		
5	12,9062	765,933	0,294	0,574		
10	13,0109	766,038	0,189	0,469		
20	13,0666	766,094	0,133	0,413		
30	13,0883	766,115	0,112	0,392		
40	13,0966	766,124	0,103	0,383		
60	13,1029	766,130	0,097	0,377		
100	13,11	766,137	0,090	0,370		
200	13,1212	766,148	0,079	0,359		
300	13,1292	766,156	0,071	0,351		
400	13,134	766,161	0,066	0,346		
500	13,138	766,165	0,062	0,342		
600	13,142	766,169	0,058	0,338		
700	13,145	766,172	0,055	0,335		
800	13,147	766,174	0,053	0,333		
900	13,150	766,177	0,050	0,330		
1000	13,1523	766,179	0,048	0,328		
1100	13,1540	766,181	0,046	0,326		
1200	13,1570	766,184	0,043	0,323		
1300	13,1594	766,186	0,041	0,321		
1400	13,1610	766,188	0,039	0,319		
1500	13,1636	766,191	0,036	0,316		
1600	13,1758	766,203	0,024	0,304		
1700	13,17	766,201	0,027	0,307		

¹ mes : Valeurs mesurées manuellement

Graphique de la variation de la charge hydraulique en fonction du temps



Choix des points pour le calcul de la pente

Point	Temps t_1	Charge H_1	Ho 0,085 m
	1500	0,036	

Calcul de la conductivité hydraulique (Bouwer and Rice, 1976)

élévation L m 766,167 élévation Hi m 765,443
 si $L < D$ (crépine intercepte partiellement l'aquifère)
 si $L > D$ (crépine intercepte complètement l'aquifère)
 $A = 3,88$ $C = 3,71$
 $B = 0,64$ $\ln (Re/R_w) = 3,40$
 $\ln (Re/R_w) = 3,16$

$$K = \frac{R_c'^2 \ln \left(\frac{Re}{R_w} \right)}{2 dt} \ln \frac{H_0}{H_t}$$

$\ln (Re/R_w) = 3,16$ $K = 2,65E-07$ m/s

Remarques :

Effectué par : Dominic Paiement-Lamothe

Calculé par : Andréanne Hamel



ESSAI DE PERMÉABILITÉ

Projet : , Évaluation des conditions hydrogéologiques, Site des haldes temporaires, Mine de fer du Lac Bloom, Fermont (Qc)
 No : 141-22153-00
 Client : Cliffs-SEC Mine de fer du Lac Bloom

Identification de l'essai

Puits : PO41R
 Numéro essai : Essai 2
 Date de l'essai : 10-10-2014
 Niveau d'eau Statique pr tubage 1,71 m
 Hauteur du tubage pr au sol 0,69 m
 Niveau d'eau statique (Ws) pr au sol 1,020 m
 Élévation du sol 766,38 m
 Pression d'eau (P) Sonde (niveau statique) 17,407 m
 Élévation piézométrique 765,36 m

Paramètres de l'essai

Méthode de Bouwer Rice (1976)

Rayon du tubage $R_c = 0,0190$ m
 Rayon du forage $R_w = 0,038$ m
 Longueur de la crépine $L = 16,764$ m
 Longueur du toit de l'aquifère à la base de la crépine $b = 22,84$ m
 Fond du puits (p/r margelle) $FD = 24,55$ m
 Épaisseur de l'aquifère $D = 30,00$ m
 Porosité du sable silice $n = 0,300$ m
 Rayon équivalent* $R_c' = 0,026$ m

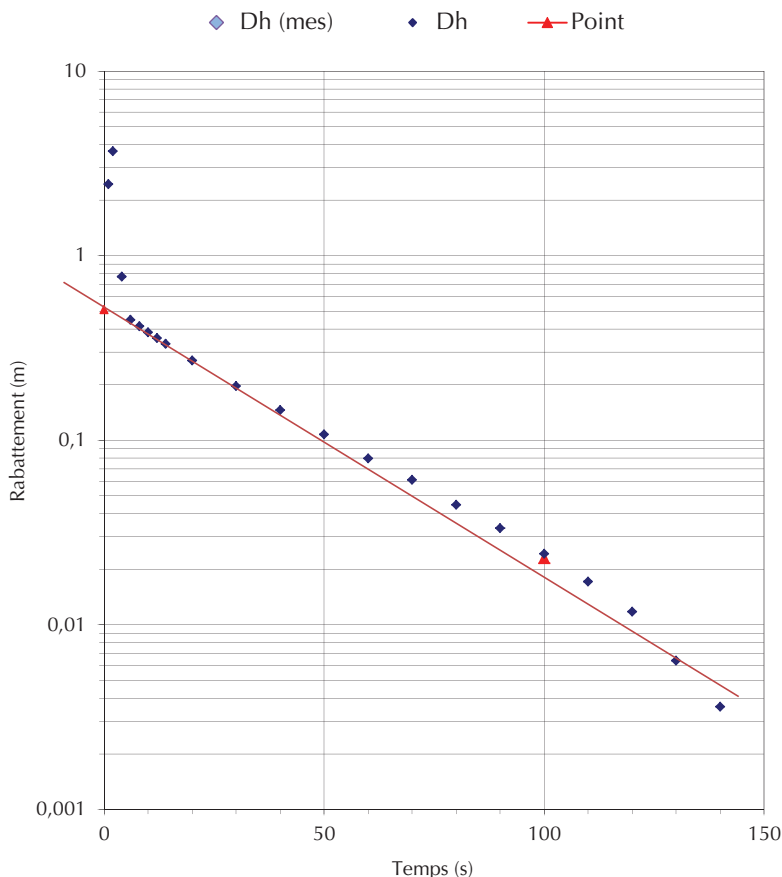
$A = 7,88$ $d/R_w = 447,04$
 $B = 1,99$ $b/R_w = 609,07$
 $C = 10,23$

Résultats de l'essai

Temps s	P m	h m	Dh m	W m	W(mes) ¹ m	Dh (mes) m
0	17,407	765,361	0,000	1,020	1,02	0,000
1	14,967	762,921	2,440	3,460		
2	13,7252	761,679	3,682	4,702		
4	16,6363	764,590	0,771	1,791		
6	16,9568	764,911	0,450	1,470		
8	16,9912	764,945	0,416	1,436		
10	17,0216	764,976	0,385	1,405		
12	17,049	765,003	0,358	1,378		
14	17,0734	765,027	0,334	1,354		
20	17,1362	765,090	0,271	1,291		
30	17,21	765,164	0,197	1,217		
40	17,261	765,215	0,146	1,166		
50	17,299	765,253	0,108	1,128		
60	17,327	765,281	0,080	1,100		
70	17,346	765,300	0,061	1,081		
80	17,362	765,316	0,045	1,065		
90	17,374	765,328	0,033	1,053		
100	17,3827	765,337	0,024	1,044		
110	17,3898	765,344	0,017	1,037		
120	17,3952	765,349	0,012	1,032		
130	17,4006	765,355	0,006	1,026		
140	17,4034	765,357	0,004	1,024		

¹ mes : Valeurs mesurées manuellement

Graphique de la variation de la charge hydraulique en fonction du temps



Choix des points pour le calcul de la pente

Point	Temps t_1	Charge H_1	Ho 0,51 m
	100	0,023	

Calcul de la conductivité hydraulique (Bouwer and Rice, 1976)

élévation L m 759,285 élévation Hi m 762,921
 si $L < D$ (crépine intercepte partiellement l'aquifère)
 si $L \geq D$ (crépine intercepte complètement l'aquifère)
 $A = 7,88$ $C = 10,23$
 $B = 1,99$ $\ln (Re/R_w) = 5,14$
 $\ln (Re/R_w) = 4,70$

$$K = \frac{R_c'^2 \ln \left(\frac{Re}{R_w} \right)}{2 dt} \ln \frac{H_0}{H_t}$$

$\ln (Re/R_w) = 4,70$ $K = 1,57E-06$ m/s

Remarques :

Effectué par : Dominic Paiement-Lamothe

Calculé par : Andréanne Hamel



ESSAI DE PERMÉABILITÉ

Projet : , Évaluation des conditions hydrogéologiques, Site des haldes temporaires, Mine de fer du Lac Bloom, Fermont (Qc)

No : 141-22153-00

Client : Cliffs-SEC Mine de fer du Lac Bloom

Identification de l'essai

Puits : PO41R
Numéro essai : Essai 1
Date de l'essai : 10-10-2014
Niveau d'eau Statique pr tubage 1,71 m
Hauteur du tubage pr au sol 0,69 m
Niveau d'eau statique (Ws) pr au sol 1,020 m
Élévation du sol 766,38 m
Pression d'eau (P) Sonde (niveau statique) 17,437 m
Élévation piézométrique 765,36 m

Paramètres de l'essai

Méthode de Bouwer Rice (1976)

Rayon du tubage $R_c = 0,0190$ m
Rayon du forage $R_w = 0,038$ m
Longueur de la crépine $L = 16,764$ m
Longueur du toit de l'aquifère à la base de la crépine $b = 22,84$ m
Fond du puits (p/r margelle) $FD = 24,55$ m
Épaisseur de l'aquifère $D = 30,00$ m
Porosité du sable silice $n = 0,300$ m
Rayon équivalent* $R_c' = 0,026$ m

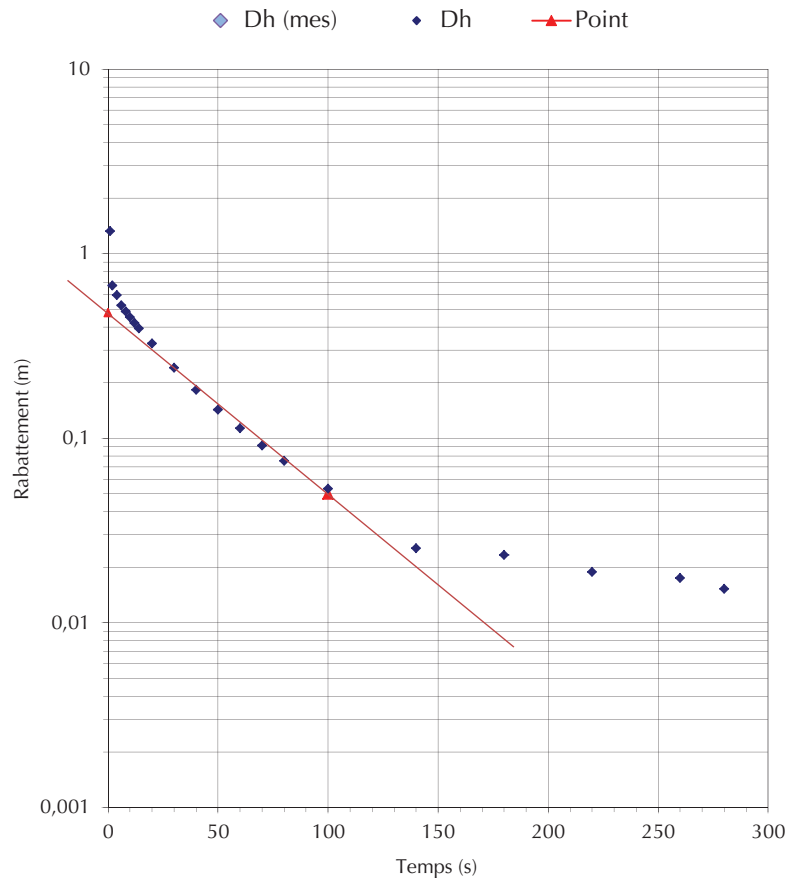
$A = 7,88$ $d/R_w = 447,04$
 $B = 1,99$ $b/R_w = 609,07$
 $C = 10,23$

Résultats de l'essai

Temps s	P m	h m	Dh m	W m	W(mes ¹) m	Dh (mes) m
0	17,437	765,361	0,000	1,020	1,02	0,000
1	16,113	764,037	1,324	2,344		
2	16,7651	764,689	0,672	1,692		
4	16,8399	764,764	0,597	1,617		
6	16,9111	764,835	0,526	1,546		
8	16,9502	764,874	0,487	1,507		
10	16,9848	764,909	0,452	1,472		
12	17,015	764,939	0,422	1,442		
14	17,0426	764,967	0,394	1,414		
20	17,1108	765,035	0,326	1,346		
30	17,1957	765,120	0,241	1,261		
40	17,254	765,178	0,183	1,203		
50	17,294	765,218	0,143	1,163		
60	17,324	765,248	0,114	1,134		
70	17,345	765,269	0,092	1,112		
80	17,361	765,285	0,076	1,096		
100	17,384	765,308	0,053	1,073		
140	17,4116	765,336	0,025	1,045		
180	17,4137	765,338	0,023	1,043		
220	17,4181	765,342	0,019	1,039		
260	17,4195	765,344	0,018	1,038		
280	17,4217	765,346	0,015	1,035		

¹ mes : Valeurs mesurées manuellement

Graphique de la variation de la charge hydraulique en fonction du temps



Choix des points pour le calcul de la pente

Point	Temps		Charge		Ho	m
	t ₁		H ₁			
	100		0,050		0,48	

Calcul de la conductivité hydraulique (Bouwer and Rice, 1976)

élévation L	m	759,285	élévation Hi	m	764,037
si $L < D$ (crépine intercepte partiellement l'aquifère)			si $L > D$ (crépine intercepte complètement l'aquifère)		
A	=	7,88	C	=	10,23
B	=	1,99	ln (Re/Rw)	=	5,14
ln (Re/Rw)	=	4,70			

$$K = \frac{R_c'^2 \ln \left(\frac{Re}{R_w} \right)}{2 dt} \ln \frac{H_0}{H_t}$$

ln(Re/Rw) = 4,70 $K = 1,15E-06$ m/s

Remarques :

Effectué par : Dominic Paiement-Lamothe

Calculé par : Andréanne Hamel

ANNEXE

11

MÉTHODOLOGIE POUR DÉTERMINER LA VALEUR ÉCOLOGIQUE DES MILIEUX HUMIDES

RAPPORT N° : RD1-00012-00

VALEUR ÉCOLOGIQUE DES MILIEUX HUMIDES DE LA CÔTE-NORD MÉTHODOLOGIE DE CALCUL

Version 2.0





VALEUR ÉCOLOGIQUE DES MILIEUX HUMIDES DE LA CÔTE-NORD MÉTHODOLOGIE DE CALCUL

VERSION 2.0

PROJET N° : RD1-00012-00
DATE : DÉCEMBRE 2017

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

TÉLÉPHONE : +1 418-589-8911
TÉLÉCOPIEUR : +1 418-589-2339
WSP.COM

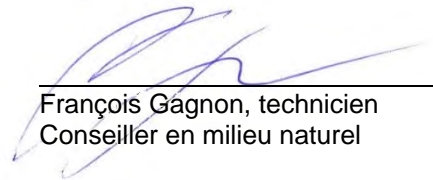
SIGNATURES

PRÉPARÉ PAR

A blue ink signature, appearing to be 'JP', written over a horizontal line.

Jean-François Poulin, biologiste M. Sc.
Chef d'équipe adjoint - Environnement

RÉVISÉ PAR

A blue ink signature, appearing to be 'FG', written over a horizontal line.

François Gagnon, technicien
Conseiller en milieu naturel

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Jean-François Poulin	Chargé de projet, biologiste M. Sc.
Émilie D'Astous	Biologiste M. Sc.
Jean Deshayé	Botaniste M. Sc.
François Gagnon	Conseiller en milieu naturel
Martine Leclair	Cartographie et analyses géomatiques
Nancy Imbeault	Secrétariat et édition

Référence à citer :

WSP. 2017. *Valeur écologique des milieux humides de la Côte-Nord, Méthodologie de calcul – version 2.0.* Rapport produit pour WSP. 48 p. et annexes.

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION.....	1
2	CARACTÉRISTIQUES DES MILIEUX HUMIDES DE LA CÔTE-NORD	3
2.1	Répartition spatiale	3
2.1.1	Intrants	3
2.1.2	Classification des milieux humides.....	5
2.1.3	Résultats	11
3	CALCUL DE LA VALEUR ÉCOLOGIQUE... 21	
3.1	Dimension spatiale des milieux naturels.....	21
3.1.1	Superficie	21
3.1.2	Connectivité	22
3.2	Caractère exceptionnel.....	22
3.2.1	Présence d'espèces menacées, vulnérables ou susceptibles d'être désignées ainsi.....	23
3.2.2	Rareté relative	23
3.2.3	Richesse floristique	29
3.3	Intégrité du milieu.....	32
3.3.1	Pérennité du milieu humide	32
3.3.2	Intégrité du milieu adjacent	33
3.3.3	Fragmentation	33
3.3.4	Espèces exotiques envahissantes	33
3.4	Fonctions abiotiques	34
3.4.1	Fonctions hydrologiques	34
3.4.2	Fonctions biogéochimiques	36
3.5	Milieu hydrique	37
3.5.1	Position dans le réseau hydrique	37
3.5.2	Présence et nature d'un lien hydrique	38
4	CALCUL DE LA VALEUR ÉCOLOGIQUE... 39	
4.1	Pondération des comptes	39
4.2	Pondération des comptes auxiliaires.....	39
4.3	Pondération des indicateurs	39
4.4	Calcul	41
	RÉFÉRENCES	47

TABLEAUX

TABLEAU 1.	COUVERTURE DES SOURCES DE DONNÉES PAR ENSEMBLE PHYSIOGRAPHIQUE	7
TABLEAU 2.	PROPORTION (%) DES TYPES DE MILIEUX HUMIDES PAR ENSEMBLE PHYSIOGRAPHIQUE.....	13
TABLEAU 3.	SUPERFICIE MOYENNE (HA) DES TYPES DE MILIEUX HUMIDES PAR ENSEMBLE PHYSIOGRAPHIQUE.....	17
TABLEAU 4.	CLASSIFICATION DE LA RARETÉ DES MILIEUX HUMIDES POUR LES DIFFÉRENTS ENSEMBLES PHYSIOGRAPHIQUES	25
TABLEAU 5.	RICHESSSE TOTALE DES ESPÈCES FLORISTIQUES OBLIGÉES DES MILIEUX HUMIDES	29
TABLEAU 6.	CLASSES DE RARETÉ DES ESPÈCES OBLIGÉES DES MILIEUX HUMIDES DANS LES ÉTANGS	30
TABLEAU 7.	CLASSES DE RARETÉ DES ESPÈCES OBLIGÉES DES MILIEUX HUMIDES DANS LES MARAIS	30
TABLEAU 8.	CLASSES DE RARETÉ DES ESPÈCES OBLIGÉES DES MILIEUX HUMIDES DANS LES MARÉCAGES ARBORÉS	31
TABLEAU 9.	CLASSES DE RARETÉ DES ESPÈCES OBLIGÉES DES MILIEUX HUMIDES DANS LES MARÉCAGES ARBUSTIFS.....	31
TABLEAU 10.	CLASSES DE RARETÉ DES ESPÈCES OBLIGÉES DES MILIEUX HUMIDES DANS LES TOURBIÈRES	32
TABLEAU 11.	VALEUR DES CRITÈRES DES FONCTIONS ABIOTIQUES PAR TYPE DE MILIEU HUMIDE...	34
TABLEAU 12.	PONDÉRATION DES COMPTES, COMPTES AUXILIAIRES ET INDICATEURS PERMETTANT LE CALCUL DE LA VALEUR ÉCOLOGIQUE	40
TABLEAU 13.	EXEMPLE DE CALCUL DU POINTAGE DE MÉRITE DES COMPTES ET COMPTES AUXILIAIRES.....	43
TABLEAU 14.	EXEMPLE DU CALCUL DE LA VALEUR ÉCOLOGIQUE	45
TABLEAU 15.	VALEURS ÉCOLOGIQUES MINIMALES ET MAXIMALES THÉORIQUES PAR TYPE DE MILIEU HUMIDE POUR LA CÔTE-NORD.....	45

FIGURES

FIGURE 1.	ZONE CARTOGRAPHIÉE DANS LE CADRE DU PIEN (MFFP 2015)	4
-----------	---	---

ANNEXES

A	STATUT HYDRIQUE DES ESPÈCES FLORISTIQUES RÉPERTORIÉES DANS LA BASE DE DONNÉES DE WSP
B	LISTE DES ESPÈCES EXOTIQUES ET ENVAHISSANTES

1 INTRODUCTION

Le calcul de la valeur écologique des milieux humides est une étape requise lorsque des projets empiètent sur ce type de milieux. Bien qu'il n'existe pas de méthode de calcul standardisée, Joly *et al.* (2008) et Bazoge *et al.* (2014) fournissent les bases des critères permettant de les évaluer. La plupart des travaux associés à la valeur écologique des milieux humides ont eu lieu dans le Québec méridional et donc, dans un contexte où les assemblages de plantes indicatrices ainsi que le paysage environnant ne sont pas transposables entièrement aux régions plus nordiques.

Le contexte nord-côtier, et à plus large échelle celui de la forêt boréale et des autres écosystèmes plus nordiques, se distingue de ce que l'on retrouve en zone méridionale au niveau des éléments suivants :

- pression de développement anthropique moindre;
- connectivité des milieux humides plus importante, notamment en raison du réseau hydrographique bien développé;
- superficie moyenne et proportion du territoire occupée par les milieux humides souvent plus grande en raison des caractéristiques physiographiques et hydrographiques du territoire et de la plus faible présence du phénomène de raréfaction lié au développement anthropique;
- cortège d'espèces facultatives et obligées des milieux humides différent.

En conséquence, les méthodes de calcul de la valeur écologique des milieux humides existantes, lorsqu'appliquées telles quelles, ont tendance à surévaluer la valeur des milieux en raison de l'importance donnée aux critères de superficie, de connectivité et d'intégrité. WSP a donc adapté la méthodologie de calcul afin que celle-ci soit plus flexible pour s'adapter aux différents contextes régionaux rencontrés.

Ce document présente donc les étapes ayant mené à l'élaboration de la méthodologie de calcul de la valeur écologique des milieux humides ainsi que la procédure pour l'appliquer. La méthodologie est inspirée et adaptée de travaux effectués précédemment dans la région de Baie-Comeau (WSP 2016) et, dans un processus d'amélioration continue, sera mise à jour régulièrement pour tenir compte des réalités observées au terrain et des commentaires reçus. Cette version 2.0 tient d'ailleurs compte de commentaires émis à la suite de l'analyse de dossiers traités à l'aide de la version 1.0 de la méthodologie de calcul.

2 CARACTÉRISTIQUES DES MILIEUX HUMIDES DE LA CÔTE-NORD

Une analyse à grande échelle a été réalisée pour étudier la répartition spatiale des milieux humides. Dans ce cadre, les limites ont été fixées aux régions naturelles qui sont incluses en tout ou en partie dans la région de la Côte-Nord. La richesse floristique des milieux humides est également présentée.

2.1 RÉPARTITION SPATIALE

La fréquence et la superficie des différents types de milieux humides sont notamment influencées par la physiographie du territoire. Ainsi, le cadre écologique de référence est utilisé comme base comparative pour le territoire de la Côte-Nord. Cette approche de comparaison a notamment été utilisée dans le cadre de l'analyse de carence écorégionale afin d'identifier les carences de représentativité du réseau d'aires protégées (MDDEFP 2012). Les niveaux des régions naturelles et des ensembles physiographiques ont été utilisés dans le cadre de la présente étude.

2.1.1 INTRANTS

Les intrants utilisés pour faire l'analyse de répartition spatiale des milieux humides sont les suivants :

- Le cadre écologique de référence (régions naturelles et ensembles physiographiques touchant à la Côte-Nord) (MDDEFP 2013) :
 - Région naturelle : unités territoriales de grande superficie (10^4 km²) située à l'intérieur d'une province naturelle, révélée par une configuration particulière du relief, issue de structures géologiques régionales ou d'événements quaternaires majeurs.
 - Ensemble physiographique : unités territoriales de 10^3 km² situées à l'intérieur d'une région naturelle, révélée par une configuration particulière du relief, correspondant généralement à une structure géologique ou à un événement quaternaire particulier.
- Classification des milieux humides et d'eau profonde pour le territoire de la forêt boréale (BORÉAL) développée par Canards Illimités (couverture identique à la cartographie écoforestière du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs [MFFP]).
- Données du projet d'inventaire écoforestier du Québec nordique (PIEN) localisées entre le 50° et le 53° parallèle sur le territoire de la Côte-Nord (figure 1).

Pour les secteurs au nord du 53° parallèle, il aurait été possible d'utiliser les données sur les milieux humides de la base CANVEC (échelle 1 : 50 000). Cependant, en raison de l'absence de détail quant au type de milieu humide présent et du biais vers les milieux de grande superficie (les petits milieux ne sont pas détectés), ceux-ci n'ont pas été inclus.

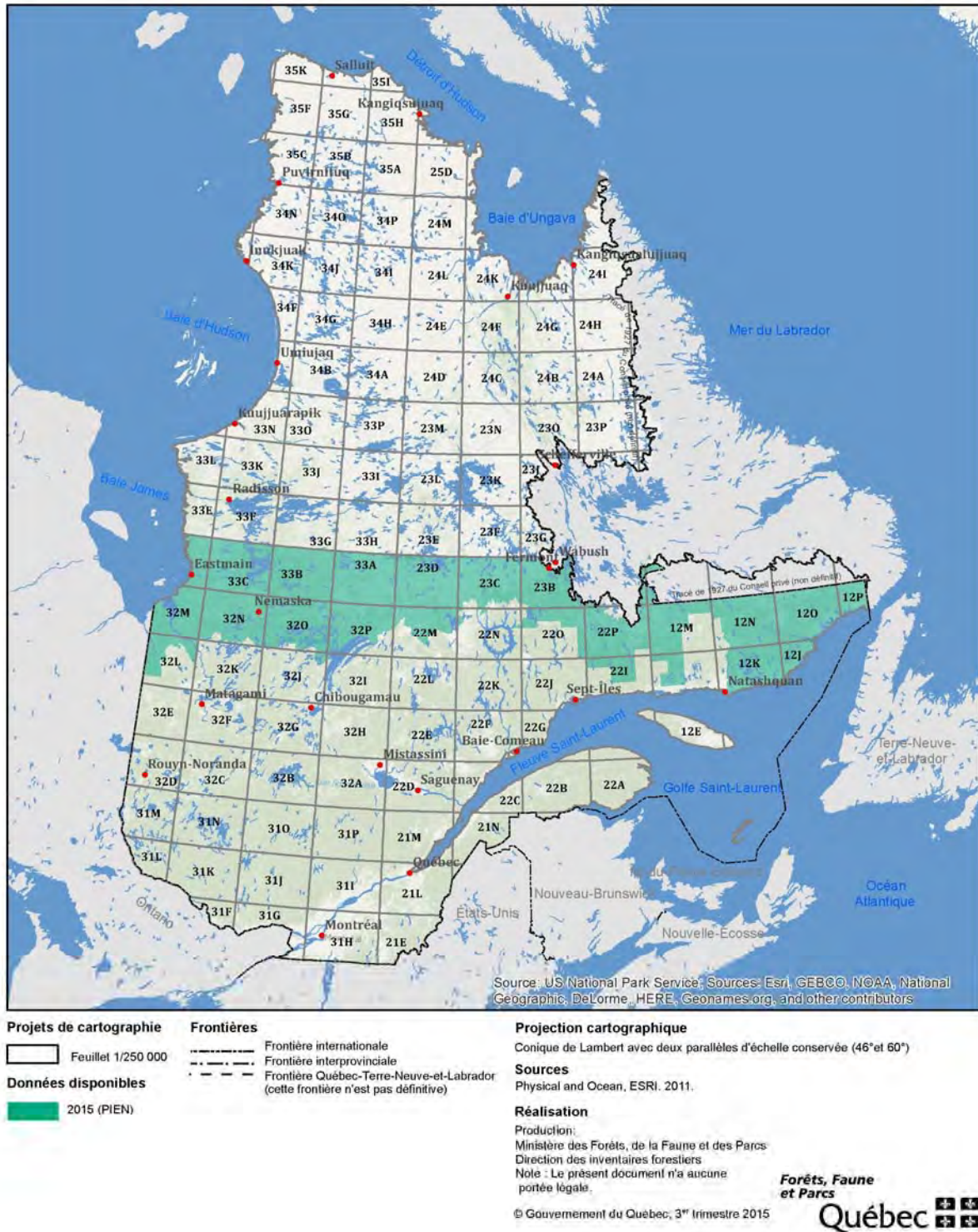


Figure 1. Zone cartographiée dans le cadre du PIEN (MFFP 2015)

2.1.2 CLASSIFICATION DES MILIEUX HUMIDES

BORÉAL (CANARDS ILLIMITÉS)

Les données issues de l'analyse des milieux humides pour le territoire de la forêt boréale peuvent être regroupées en cinq catégories, soit :

- les étangs ou eaux peu profondes;
- les marécages arbustifs;
- les marécages arborés (riches ou pauvres);
- les tourbières boisées;
- les tourbières (sans distinction du critère minérotrophe ou ombrotrophe).

PIEN

Les données du PIEN sont déjà en partie classifiées pour les milieux humides non boisés. Les catégories sont les suivantes :

- les marais et marécages arbustifs;
- les tourbières minérotrophes riveraines;
- les tourbières minérotrophes structurées;
- les tourbières minérotrophes uniformes;
- les tourbières ombrotrophes à mares;
- les tourbières ombrotrophes ridées;
- les tourbières ombrotrophes structurées;
- les tourbières ombrotrophes uniformes;
- les milieux humides non classifiés.

Afin d'intégrer également les milieux humides boisés dans les analyses, une sélection de polygones a été effectuée pour les peuplements ayant un drainage hydrique. Lorsque le dépôt de surface était organique, ces polygones ont été nommés tourbière ombrotrophe boisée. Parmi les autres polygones au drainage hydrique, ceux dont le dépôt de surface était un till indifférencié (mince à épais) ou un dépôt proglaciaire ont été classifiés comme marécage arboré. Cette classification a été déterminée en se basant sur la méthodologie développée par Ménard *et al.* (2006) qui se base notamment sur les types écologiques de la carte écoforestière et qui a été utilisée pour développer la couche d'information BORÉAL. Le type écologique est une combinaison de la végétation potentielle pour une station donnée et d'indicateurs du milieu physique comme le dépôt de surface et le drainage.

REGROUPEMENT DES CATÉGORIES DE MILIEUX HUMIDES

Les deux sources de données, soit BORÉAL et le PIEN, offrent des niveaux de précision et de classification différents en ce qui a trait à la caractérisation des milieux humides. L'information provenant de Canards Illimités permet de différencier les étangs, mais pas le type de tourbière. À l'inverse, le PIEN permet d'obtenir une bonne caractérisation des tourbières selon leur structure (uniforme, structurée, à mares, ridée), mais ne permet pas de connaître la répartition des étangs. Les classes suivantes ont été retenues :

- étang (uniquement pour le territoire couvert par BORÉAL);

- marais (uniquement disponible via une photo-interprétation fine des milieux humides);
- marécage arbustif;
- marécage arboré;
- tourbière;
- tourbière boisée.

Étang

Ce type de milieu humide se caractérise par un niveau d'eau en étiage inférieur à 2 m et par une présence de plantes aquatiques flottantes, submergées ou émergentes d'une proportion égale ou supérieure à 25 %. Les étangs temporaires (mares vernaies ou étangs forestiers) sont caractérisés par une profondeur d'eau inférieure à 1 m et sont isolés. Ils sont alimentés en eau par les précipitations, l'eau de fonte des neiges ou par la nappe phréatique. De plus, ils retiennent l'eau stagnante au printemps et s'assèchent en saison estivale. Ils sont aussi caractérisés par une absence de poisson et par la présence d'espèces fauniques adaptées aux cycles récurrents d'inondation et de sécheresse. C'est le cas notamment de certaines espèces de grenouilles et de salamandres.

Marais

Les marais sont dominés par une végétation herbacée (émergente, graminéoïde ou latifoliée) et par un sol minéral ou organique. Les arbres et arbustes, lorsque présents, couvrent moins de 25 % de la superficie du milieu humide. Ils sont généralement rattachés aux zones fluviales, riveraines et lacustres et le niveau d'eau varie selon les marées, les inondations et l'évapotranspiration. Les marais peuvent être inondés de façon permanente, semi-permanente ou temporaire. Cette classe de milieu humide n'est actuellement pas disponible via les données de répartition (BORÉAL et PIEN), notamment en raison de la faible superficie qu'occupent généralement ces milieux et de leur nature plutôt ponctuelle.

Marécage

Les marécages se caractérisent par une végétation ligneuse, arbustive ou arborescente supérieure à 25 % et par un mauvais ou très mauvais drainage. Les marécages riverains sont caractérisés par des inondations saisonnières ou par une nappe phréatique élevée et par une circulation d'eau enrichie de minéraux dissous. En ce qui a trait aux marécages isolés, ils sont alimentés par les eaux de ruissellement ou par des résurgences de la nappe phréatique.

Tourbière

La création de tourbières s'effectue lorsque la production de matière organique a prévalu sur sa décomposition. Elles sont caractérisées par un sol mal ou très mal drainé et par une nappe d'eau souterraine située au même niveau que le sol ou près de sa surface. Elles peuvent être de type ombrotrophe (bog) ou minérotrophe (fen) et ouvertes ou boisées.

Le tableau 1 présente les superficies couvertes par les deux sources d'informations sur les milieux humides utilisées. On y indique également la proportion de l'ensemble physiographique pour laquelle les informations sont disponibles.

Tableau 1. Couverture des sources de données par ensemble physiographique

Région naturelle	Ensemble physiographique	Superficie couverte (km²) ¹		Superficie totale (km²)	Proportion (%) ²
		SIEF	PIEN		
Buttons du réservoir de Caniapiscau	Basses collines du lac Gamart		1 275,4	5 401,0	23,6
	Basses collines du lac Opiscotéo		1 119,9	5 698,0	19,7
	Buttes du lac Montviel			9 605,3	0,0
	Buttons du lac Longrais			6 191,6	0,0
	Monticules du lac Rossignol			7 601,5	0,0
	Réservoir de Caniapiscau			7 961,7	0,0
Collines de la moyenne Saint-Augustin	Buttes du lac Guernesé		2 232,0	2 861,8	78,0
	Buttes du lac De l’île au Castor		2 871,9	2 906,4	98,8
	Buttes du lac Ferru		4 149,9	4 149,9	100,0
	Buttes du lac Robertson		2 470,6	2 627,4	94,0
Petit Mécatina	Buttes côtières du Petit Mécatina		3 004,6	3 063,1	98,1
	Buttes de la rivière Étamamiou		1 604,0	1 636,1	98,0
	Buttes du lac Musquaro		2 545,4	2 545,4	100,0
	Buttes du lac Noirclair		4 689,3	4 689,3	100,0
Collines du lac Péribonka	Basses collines de la rivière Manouane	3 922,7		3 922,7	100,0
	Basses collines de la rivière Mistassini	7 578,9		7 578,9	100,0
	Basses collines du lac Alex	8 478,8		8 478,8	100,0
	Basses collines du lac Dufrene	5 187,2		5 187,2	100,0
	Basses collines du lac Péribonka	6 410,3		6 410,3	100,0
	Buttes du lac Damville	4 195,7		4 195,7	100,0
Collines du lac Watshishou	Basses collines du lac Arthur	2 505,5	513,4	3 018,9	100,0
	Buttes du lac de la Robe Noire	2 266,3		2 266,3	100,0
	Buttes du lac Kegashka	3 117,4	1 040,2	4 157,6	100,0
	Buttes du lac Piashti	969,7	580,6	1 550,3	100,0
	Plaine côtière de Natashquan	744,8	841,6	1 592,4	99,6
Cuvette du réservoir Manicouagan	Basses collines de Gagnon	5 578,2	6 564,9	12 368,7	98,2
	Basses collines du réservoir Manicouagan	3 547,0		3 547,0	100,0
	Buttes du lac Atticoupi		2 801,2	3 769,6	74,3
	Buttes du lac Plétipi	7 913,7	278,6	8 654,9	94,7
	Buttes du petit lac Manicouagan	186,2	11 192,2	11 387,3	99,9
	Monticules du lac Vallard		4 891,3	5 473,0	89,4
Graben du Saguenay	Fjord du Saguenay	3 006,5		3 006,5	100,0
	Plaine du lac Saint-Jean	7 052,6		7 052,6	100,0
Île d’Anticosti	Basses terres orientales anticostiennes	1 748,5		1 748,5	100,0
	Basses-terres occidentales anticostiennes	1 626,7		1 631,7	99,7
	Plateau (cuesta) centre-sud anticostien	1 917,9		1 917,9	100,0
	Plateau centre-nord anticostien	2 601,2		2 629,0	98,9
Massif de la Manouanis	Basses collines du lac Manouanis	6 628,4		8 243,4	80,4
Massif du lac Magpie	Basses collines du lac Eudistes	3 603,7	3 550,1	7 153,8	100,0
	Basses collines du lac Magpie	716,0	2 535,5	3 251,5	100,0
	Basses collines du lac Manitou	3 005,4	2 177,3	5 182,7	100,0
	Basses collines du lac Saumur	718,7	1 190,6	1 909,3	100,0
	Buttes du lac Teuaikan	140,0	2 868,0	3 007,9	100,0
	Massif du lac Charpeney	927,7	2 359,0	3 286,6	100,0
	Massif du lac Verrier		2 060,6	2 185,7	94,3
	Moyennes collines du lac Diane		2 957,5	2 957,5	100,0
	Plaine côtière de Havre-Saint-Pierre	1 355,8	17,5	1 373,4	100,0
Mont Otish	Basses collines du lac aux Deux-Décharges	271,9	102,4	2 970,5	12,6
	Basses collines du lac Mantouchiche			1 745,4	0,0
	Les Monts Otish			2 387,9	0,0
	Monticule du lac Tichégami	972,7		4 126,7	23,6
	Monticules du lac Pluto	270,5		3 143,9	8,6
Monts Valin	Basses collines de la rivière du Sault-aux-Cochons	4 279,7		4 279,7	100,0
	Basses collines du lac du Sault-aux-Cochons	2 251,3		2 251,3	100,0
	Basses collines du lac des Perches	2 825,2		2 825,2	100,0
	Basses collines du lac Rouvray	1 711,2		1 711,2	100,0
	Basses collines du lac Tremblay	4 916,4		4 916,4	100,0
Plaine du lac Joseph	Monticules du lac Ménistouc		1 176,7	1 219,4	96,5
Plateau de la haute Saint-Augustin	Buttes du lac Aticonipi		1 022,9	4 102,4	24,9
	Monticules de la rivière Joir			3 861,2	0,0
	Monticules de la rivière Saint-Paule			1 094,9	0,0
	Plaine bosselée de la rivière Beaver		99,6	766,5	13,0
	Plaines tourbeuses à la tête de la rivière Saint-Paul			1 641,4	0,0
Plateau de la Manicouagan	Basses collines de la rivière Manicouagan et des Outardes	7 414,6		7 414,6	100,0
	Basses collines de la rivière Toulhoustouc	4 836,5		4 836,5	100,0
	Basses collines du réservoir Outardes quatre et Manic trois	7 276,8		7 276,8	100,0
	Basses collines du réservoir Pipmuacan	6 032,9		6 032,9	100,0
	Hautes collines du lac Fortin	4 920,1		4 920,1	100,0
Plateau de la Sainte-Marguerite	Basse collines du lac Grandmesnil	4 961,2		4 961,2	100,0
	Basses collines de la rivière de la Trinité	4 172,2		4 172,2	100,0
	Basses collines des rivières Sainte-Marguerite et Moisie	6 080,1	53,6	6 133,7	100,0
	Basses collines du lac Marceau	3 917,6	2 682,4	6 600,0	100,0
	Hautes collines de la rivière Pentecôte	3 676,7		3 676,7	100,0
	Mont Groulx	2 164,2	916,5	3 080,7	100,0

Tableau 1. Couverture des sources de données par ensemble physiographique (suite)

Région naturelle	Ensemble physiographique	Superficie couverte (km²) ¹		Superficie totale (km²)	Proportion (%) ²
		SIEF	PIEN		
Plateau des lacs Brûlé - Fournier	Basses collines du lac Bright Sand		862,6	1 174,4	73,5
	Buttes du lac Drouard			325,0	0,0
	Buttes du lac Fleur-de-May		3 564,1	4 537,7	78,5
	Buttes du lac Long		694,5	1 802,7	38,5
	Monticules à la tête de la rivière Petit Mécatina		4,6	2 103,3	0,2
	Monticules du lac Brulé		3 432,7	4 399,4	78,0
	Monticules du lac De Morbihan		1 281,2	4 357,4	29,4
Plateau du Petit Mécatina	Basses collines de la rivière Mistanipisipou	2 878,3	1 339,7	4 222,2	99,9
	Basses collines du lac Briend	1 448,4	3 997,5	5 445,9	100,0
	Basses collines du lac Gaffaret	3,2	2 644,5	6 326,4	41,9
	Buttes du lac Jonchée		5 757,8	5 757,8	100,0
	Buttes du lac Le Breton		2 766,4	7 902,7	35,0
	Massif du lac Briçonnet		2 491,8	2 491,8	100,0

¹ Les cases en bleu correspondent à l'absence de couverture (données sur les milieux humides).

² Les cases en gris correspondent aux ensembles physiographiques pour lesquels aucune donnée n'est utilisable pour évaluer la superficie moyenne et la proportion du territoire occupée par les milieux humides.

Tel que décrit précédemment, la base de données du PIEN ne permet pas de distinguer les étangs alors que pour les marécages arbustifs et arborés, on retrouve seulement les milieux de plus grande superficie. Ainsi, aucun résultat de superficie pour les étangs et les marécages de tous types n'est présenté pour les ensembles physiographiques qui sont uniquement couverts par le PIEN. Pour ceux où les deux sources de données sont présentes, les superficies utilisées réfèrent uniquement à ce qui est couvert par le SIEF.

2.1.3 RÉSULTATS

Le tableau 2 présente la proportion des milieux humides sur le territoire de la Côte-Nord pour les ensembles physiographiques pour lesquels des données étaient disponibles. Il est possible de constater que les tourbières et les tourbières boisées sont les types de milieux les plus représentés sur le territoire en termes de couverture du territoire. Certaines régions naturelles comme l'île d'Anticosti, la Plaine du lac Joseph et les Collines du lac Watshishou ont entre 10 et 20 % de leur territoire couvert par des tourbières.

La superficie moyenne des milieux humides est plus grande pour les tourbières boisées, les marécages arborés et les tourbières (tableau 3). Mentionnons toutefois qu'il y a plus de variations dans la superficie moyenne des tourbières entre les régions naturelles que pour les autres types de milieux humides, passant de 3,07 ha à 122,38 ha.

La répartition des milieux humides dans les différents ensembles physiographiques de la Côte-Nord indique que la prévalence de certains types de milieux humides est inégale sur le territoire. En effet, les ensembles physiographiques représentent des secteurs où la topographie et les dépôts de surface sont similaires. Il s'agit notamment de facteurs qui influencent la répartition des milieux humides. De plus, dans les secteurs où les milieux humides sont plus nombreux, ils ont généralement tendance à être de plus grande superficie. Le cadre écologique de référence semble donc être un bon outil pour déceler les variations dans la répartition des milieux humides.

Tableau 2. Proportion (%) des types de milieux humides par ensemble physiographique

Région naturelle	Ensemble physiographique	Étang	Marécage arboré	Marécage arbustif	Tourbière	Tourbière boisée
Buttons du réservoir de Caniapiscau	Basses collines du lac Gamart				0,27	0,91
	Basses collines du lac Opiscotéo				0,06	3,27
	Buttes du lac Montviel					
	Buttons du lac Longrais					
	Monticules du lac Rossignol					
	Réservoir de Caniapiscau					
Collines de la moyenne Saint-Augustin	Buttes du lac Guernesé				0,02	0,00
	Buttes du lac De l’île au Castor				0,25	0,00
	Buttes du lac Ferru				0,08	1,14
	Buttes du lac Robertson				0,20	0,01
Collines de Mécatina	Buttes côtières du Petit Mécatina				7,44	0,00
	Buttes de la rivière Étamamiou				7,87	0,00
	Buttes du lac Musquaro				0,17	0,37
	Buttes du lac Noirclair				0,42	1,42
Collines du lac Péribonka	Basses collines de la rivière Manouane	0,12	0,27	0,33	2,39	0,47
	Basses collines de la rivière Mistassini	0,02	0,97	0,38	1,97	1,07
	Basses collines du lac Alex	0,10	0,34	0,59	2,14	0,79
	Basses collines du lac Dufrene	0,07	0,33	1,10	1,79	0,51
	Basses collines du lac Péribonca	0,03	0,23	0,36	2,21	0,50
	Buttes du lac Damville	0,44	0,61	1,47	4,45	0,97
Collines du lac Watshishou	Basses collines du lac Arthur	0,01	0,15	0,17	5,10	1,08
	Buttes du lac de la Robe Noire	0,02	0,12	0,07	4,16	0,64
	Buttes du lac Kegashka	0,04	0,69	0,28	5,81	0,64
	Buttes du lac Piashti	0,02	0,56	0,12	5,70	0,69
	Plaine côtière de Natashquan	0,01	0,86	1,06	36,69	1,05
Cuvette du réservoir Manicouagan	Basses collines de Gagnon	0,01	0,39	0,06	4,57	3,05
	Basses collines du réservoir Manicouagan	0,02	0,08	0,15	2,75	0,20
	Buttes du lac Atticoupi				1,55	1,72
	Buttes du lac Plétiipi	0,01	0,31	0,16	5,47	1,39
	Buttes du petit lac Manicouagan	0,02	0,09	0,22	1,90	6,57
	Monticules du lac Vallard				2,37	8,69
Graben du Saguenay	Fjord du Saguenay	0,26	0,57	0,68	0,59	0,15
	Plaine du lac Saint-Jean	0,11	0,65	1,02	9,10	1,70
Île d’Anticosti	Basses terres orientales anticostiennes	0,00	5,71	0,00	53,33	0,01
	Basses-terres occidentales anticostiennes	0,01	6,86	0,25	12,95	0,02
	Plateau (cuesta) centre-sud anticostien	0,01	2,00	0,01	12,48	0,03
	Plateau centre-nord anticostien	0,06	3,42	0,00	15,48	0,00
Massif de la Manouanis	Basses collines du lac Manouanis	0,03	0,88	0,12	3,39	0,86
Massif du lac Magpie	Basses collines du lac Eudistes	0,01	0,56	0,28	1,57	0,40
	Basses collines du lac Magpie	0,03	0,15	0,08	1,01	1,41
	Basses collines du lac Manitou	0,01	0,18	0,17	2,08	0,22
	Basses collines du lac Saumur	0,00	0,00	0,08	1,46	0,46
	Buttes du lac Teuaikan	0,00	0,00	0,00	0,15	2,36
	Massif du lac Charpeney	0,01	0,02	0,04	0,74	0,46
	Massif du lac Verrier				0,14	4,11
	Moyennes collines du lac Diane				0,21	0,32
	Plaine côtière de Havre-Saint-Pierre	0,05	0,39	1,31	33,90	1,22
Mont Otish	Basses collines du lac aux Deux-Décharges	0,00	0,00	0,06	0,59	0,27
	Basses collines du lac Mantouchiche					
	Les Monts Otish					
	Monticule du lac Tichégami	0,01	0,41	0,03	1,98	0,39
	Monticules du lac Pluto	0,03	0,00	0,00	0,50	0,38
Monts Valin	Basses collines de la rivière du Sault-aux-Cochons	0,28	0,61	1,01	1,95	0,24
	Basses collines du lac du Sault-aux-Cochons	0,11	0,44	0,22	1,64	0,34
	Basses collines du lac des Perches	0,32	0,65	1,54	2,73	0,25
	Basses collines du lac Rouvray	0,02	0,31	0,24	2,45	1,19
	Basses collines du lac Tremblay	0,02	0,54	0,42	0,93	0,68
Plaine du lac Joseph	Monticules du lac Ménistouc				10,23	13,23
Plateau de la haute Saint-Augustin	Buttes du lac Aticonipi				1,54	5,25
	Monticules de la rivière Joir					
	Monticules de la rivière Saint-Paule					
	Plaine bosselée de la rivière Beaver				5,74	0,00
	Plaines tourbeuses à la tête de la rivière Saint-Paul					

Tableau 2. Proportion (%) des types de milieux humides par ensemble physiographique (suite)

Région naturelle	Ensemble physiographique	Étang	Marécage arboré	Marécage arbustif	Tourbière	Tourbière boisée
Plateau de la Manicouagan	Basses collines de la rivière Manicouagan et des Outardes	0,17	0,62	0,70	2,95	0,68
	Basses collines de la rivière Toulhoustouc	0,03	0,26	0,15	1,47	0,44
	Basses collines du réservoir Outardes quatre et Manic trois	0,03	0,42	0,11	1,67	0,49
	Basses collines du réservoir Pipmuacan	0,05	0,54	0,29	1,68	0,21
	Hautes collines du lac Fortin	0,06	0,52	0,12	1,78	1,72
Plateau de la Sainte-Marguerite	Basse collines du lac Grandmesnil	0,01	0,79	0,18	2,39	1,15
	Basses collines de la rivière de la Trinité	0,05	0,56	0,83	6,69	0,80
	Basses collines des rivières Sainte-Marguerite et Moisie	0,01	0,34	0,29	2,18	0,42
	Basses collines du lac Marceau	0,01	0,22	0,10	1,61	0,74
	Hautes collines de la rivière Pentecôte	0,06	0,06	0,01	2,82	0,27
	Mont Groulx	0,04	0,43	0,20	2,24	0,56
Plateau des lacs Brûlé - Fournier	Basses collines du lac Bright Sand				1,80	1,22
	Buttes du lac Drouard					
	Buttes du lac Fleur-de-May				4,16	1,83
	Buttes du lac Long				0,02	2,46
	Monticules à la tête de la rivière Petit Mécatina					
	Monticules du lac Brulé				0,24	3,38
	Monticules du lac De Morbihan				0,00	0,02
Plateau du Petit Mécatina	Basses collines de la rivière Mistanipisipou	0,00	0,03	0,13	2,69	2,10
	Basses collines du lac Briend	0,04	0,84	0,28	1,35	1,69
	Basses collines du lac Gaffaret				1,38	4,91
	Buttes du lac Jonchée				0,76	2,85
	Buttes du lac Le Breton				0,79	5,43
	Massif du lac Briçonnet				0,10	2,50

Les cases en gris correspondent aux ensembles physiographiques pour lesquels aucune donnée n'est utilisable pour évaluer la superficie moyenne et la proportion du territoire occupée par les milieux humides.

Tableau 3. Superficie moyenne (ha) des types de milieux humides par ensemble physiographique

Région naturelle	Ensemble physiographique	Étang	Marécage arboré	Marécage arbustif	Tourbière	Tourbière boisée
Buttons du réservoir de Caniapiscau	Basses collines du lac Gamart				38,59	15,06
	Basses collines du lac Opiscotéo				20,59	14,79
Collines de la moyenne Saint-Augustin	Buttes du lac Guernesé				17,53	
	Buttes du lac De l'île au Castor				31,76	
	Buttes du lac Ferru				15,18	14,54
	Buttes du lac Robertson				17,07	11,78
Collines de Mécatina	Buttes de la rivière Étamamiou				56,33	
	Buttes du lac Musquaro				15,00	10,70
	Buttes du lac Noirclair				27,54	15,25
	Buttes côtière du Petit Mécatina				70,26	
Collines du lac Péribonka	Basses collines de la rivière Manouane	1,96	8,84	5,54	6,15	10,15
	Basses collines de la rivière Mistassini	2,36	10,80	4,87	4,04	10,13
	Basses collines du lac Alex	2,56	11,70	5,80	5,64	10,87
	Basses collines du lac Dufrene	2,69	12,79	6,38	4,56	9,79
	Basses collines du lac Péribonca	1,79	9,33	5,37	4,74	9,45
	Buttes du lac Damville	3,21	12,65	7,17	7,60	10,75
Collines du lac Watshishou	Basses collines du lac Arthur	9,39	11,57	3,20	4,88	11,95
	Buttes du lac de la Robe Noire	1,76	11,53	4,87	4,89	10,77
	Buttes du lac Kegashka	3,77	13,43	5,66	7,88	13,26
	Buttes du lac Piashti	0,88	10,21	3,09	7,48	13,68
	Plaine côtière de Natashquan	1,52	10,61	7,26	59,46	11,07
Cuvette du réservoir Manicouagan	Basses collines de Gagnon	4,39	14,50	6,01	13,02	20,28
	Basses collines du réservoir Manicouagan	2,49	10,67	5,19	5,41	11,16
	Buttes du lac Atticoupi				34,72	22,48
	Buttes du lac Plétipi	2,41	8,81	5,80	8,00	10,63
	Buttes du petit lac Manicouagan	3,69	5,39	5,18	24,85	22,46
	Monticules du lac Vallard				44,82	20,95
Graben du Saguenay	Fjord du Saguenay	3,66	11,05	6,64	3,92	11,96
	Plaine du lac Saint-Jean	4,56	16,59	11,03	46,78	16,27
Île d'Anticosti	Basses terres orientales anticostiennes	1,36	13,37	2,94	122,38	19,27
	Basses-terres occidentales anticostiennes	1,89	19,55	8,29	12,73	9,99
	Plateau (cuesta) centre-sud anticostien	1,45	12,28	6,91	13,29	12,25
	Plateau centre-nord anticostien	3,29	14,18		15,36	4,49
Massif de la Manouanis	Basses collines du lac Manouanis	1,75	9,98	3,85	4,89	11,68
Massif du lac Magpie	Basses collines du lac Eudistes	1,79	10,16	4,95	4,39	10,75
	Basses collines du lac Magpie	2,16	8,88	3,10	5,45	14,54
	Basses collines du lac Manitou	1,10	13,24	4,11	5,45	10,81
	Basses collines du lac Saumur			1,75	3,73	9,58
	Buttes du lac Teuaikan				4,43	10,76
	Massif du lac Charpeney	1,52	7,57	2,72	4,08	10,58
	Massif du lac Verrier				10,79	13,19
	Moyennes collines du lac Diane				16,48	14,79
	Plaine côtière de Havre-Saint-Pierre	2,82	11,28	9,22	40,52	13,82
Mont Otish	Basses collines du lac aux Deux-Décharges			5,33	6,13	12,46
	Monticule du lac Tichégami	2,15	14,36	3,31	8,66	7,38
	Monticules du lac Pluto	1,20			4,36	7,99
Monts Valin	Basses collines de la rivière du Sault-aux-Cochons	2,73	8,64	5,36	4,94	8,46
	Basses collines du lac du Sault-aux-Cochons	2,20	7,37	3,61	3,07	6,36
	Basses collines du lac des Perches	2,58	10,21	5,94	5,36	8,30
	Basses collines du lac Rouvray	1,67	8,06	3,70	3,36	9,48
	Basses collines du lac Tremblay	1,85	9,72	4,11	3,11	10,40
Plaine du lac Joseph	Monticules du lac Ménistouc				54,21	24,25
Plateau de la haute Saint-Augustin	Buttes du du lac Aticonipi				33,61	23,97
	Plaine bosselée de la rivière Beaver				30,07	
Plateau de la Manicouagan	Basses collines de la rivière Manicouagan et des Outardes	2,91	11,56	6,60	8,35	12,67
	Basses collines de la rivière Toulhoustouc	2,78	12,62	4,68	3,68	9,49
	Basses collines du réservoir Outardes quatre et Manic trois	1,85	11,41	4,30	3,73	8,04
	Basses collines du réservoir Pipmuacan	1,95	10,28	5,15	3,93	8,28
	Hautes collines du lac Fortin	2,34	12,64	3,93	3,42	10,54
Plateau de la Sainte-Marguerite	Basse collines du lac Grandmesnil	1,03	12,60	5,62	4,59	11,66
	Basses collines de la rivière de la Trinité	4,18	10,13	6,85	13,82	11,65
	Basses collines des rivières Sainte-Marguerite et Moisie	2,32	9,17	4,50	3,87	10,75
	Basses collines du lac Marceau	1,15	10,70	3,89	4,56	11,17
	Mont Groulx	1,72	9,21	1,77	4,81	10,80
	Hautes collines de la rivière Pentecôte	1,98	11,49	4,06	4,54	11,03

Tableau 3. Superficie moyenne (ha) des types de milieux humides par ensemble physiographique (suite)

Région naturelle	Ensemble physiographique	Étang	Marécage arboré	Marécage arbustif	Tourbière	Tourbière boisée
Plateau des lacs Brûlé - Fournier	Basses collines du lac Bright Sand				24,21	21,46
	Buttes du lac Fleur-de-May				37,34	29,82
	Buttes du lac Long				15,64	10,44
	Monticules du lac Brulé				20,60	19,12
	Monticules du lac De Morbihan				15,60	13,38
	Monticules à la tête de la rivière Petit Mécatina					9,92
Plateau du Petit Mécatina	Basses collines de la rivière Mistanipisipou	3,07	9,68	2,46	4,91	9,66
	Basses collines du lac Briend	4,89	14,53	6,09	8,34	12,82
	Basses collines du lac Gaffaret			3,13	54,61	14,97
	Buttes du lac Jonchée				22,40	13,62
	Buttes du lac Le Breton				29,39	21,40
	Massif du lac Briçonnet				10,51	13,90

Les cases en gris correspondent aux ensembles physiographiques pour lesquels aucune donnée n'est utilisable pour évaluer la superficie moyenne et la proportion du territoire occupée par les milieux humides.

3 CALCUL DE LA VALEUR ÉCOLOGIQUE

Afin d'évaluer la valeur écologique des milieux humides, une sélection d'indicateurs a été choisie et regroupée au sein de comptes. Les comptes et les indicateurs ont été établis à l'aide des documents suivants ainsi que de l'expérience de l'équipe de WSP dans diverses études floristiques sur le territoire de la Côte-Nord et dans la forêt boréale :

- JOLY, M., S. Primeau, M. Sager et A. Bazoge. 2008. *Guide d'élaboration d'un plan de conservation des milieux humides. Première édition*. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du patrimoine écologique et des parcs. 68 p.
- HANSON, A., L. Swanson, D. Ewing, G. Grabas, S. Meyer, L. Ross, M. Watmough et J. Kirkby. 2008. *Aperçu des méthodes d'évaluation des fonctions écologiques des terres humides*. Service canadien de la faune, Série de Rapports techniques n° 497, région de l'Atlantique. 70 p.

Les regroupements de critères fournis par Joly *et al.* (2008) ont été utilisés à titre de comptes dans le cadre de la présente analyse. Les indicateurs sont également inspirés de Joly *et al.* (2008) et Hanson *et al.* (2008), mais les valeurs ont, par contre, été adaptées pour le contexte régional de la Côte-Nord.

3.1 DIMENSION SPATIALE DES MILIEUX NATURELS

Selon Joly *et al.* (2008), on retrouve trois grands critères qui se réfèrent à la dimension spatiale des milieux humides, soit la superficie, la connectivité et la forme.

Ces trois critères vont fluctuer en fonction du type de milieu humide ainsi que de sa localisation sur le territoire. Par exemple, les marécages arbustifs auront plus tendance à être de forme linéaire, car ils sont très souvent associés aux cours d'eau. Les sections suivantes décrivent comment les critères ont été établis à partir des données disponibles.

3.1.1 SUPERFICIE

SUPERFICIE

Tel que mentionné à la section 2.1.3, la superficie des milieux humides varie selon le type de milieu ainsi que par sa localisation géographique. À l'instar des travaux effectués par le Conseil régional de l'environnement du Centre-du-Québec (CRECQ 2012) en collaboration avec le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), le niveau 3 du cadre écologique de référence du Québec, soit l'ensemble physiographique, a été retenu afin d'étudier la répartition des classes de superficie pour chacun des types de milieux humides. L'étendue des valeurs de superficie par type de milieu humide a par la suite été analysée avec une analyse de groupement (*cluster analysis*) de manière à former 10 classes de superficie. Cette analyse permet de minimiser la variance à l'intérieur de chaque classe et de maximiser la variance entre celles-ci de façon similaire à la méthode des bris naturels proposée par Joly *et al.* (2008). L'analyse est donc réalisée à l'aide du logiciel Systat 13 pour les ensembles physiographiques pour lesquels les données sont disponibles.

Dans le cas des étangs, des marécages arborés et des marécages arbustifs, la couverture des données est déficiente pour plusieurs ensembles physiographiques. Ainsi, pour les projets situés dans des ensembles physiographiques dont les données sont manquantes, la classification des superficies est effectuée à l'échelle de la région naturelle.

Dans le calcul de la valeur écologique, le classement correspond au pointage (1 à 10) attribué au milieu humide en fonction de sa superficie. Le pointage est attribué de façon croissante en fonction de la superficie. Ainsi, plus la superficie est grande, plus le pointage est élevé. Cela permet de prioriser les grands milieux, qui sont aussi généralement moins fréquents. Cette classification des superficies doit donc être effectuée indépendamment pour chaque ensemble physiographique.

3.1.2 CONNECTIVITÉ

Les milieux humides peuvent à la fois se retrouver en situation isolée ou être adjacents à d'autres milieux humides formant ainsi des complexes. La dimension et la diversité de ces complexes ajouteront à la valeur des milieux qui les composent. Les complexes sont définis comme étant un groupement de milieux humides qui sont en contact direct les uns avec les autres ou qui sont situés à moins de 30 m d'un autre milieu humide (MDDELCC 2015).

SUPERFICIE DU COMPLEXE

Dans certains ensembles physiographiques, les conditions physiques comme la topographie et les dépôts de surface font en sorte que la prévalence de milieux humides connectés les uns aux autres sera plus grande. C'est notamment le cas à l'île d'Anticosti où on retrouve de grands complexes de tourbières auxquels se juxtaposent d'autres types de milieux humides. Cependant, en région plus montagneuse, les milieux humides seront moins fréquemment connectés en grand complexe et s'articuleront surtout autour des cours d'eau.

Afin de quantifier la connectivité des milieux humides, une analyse de groupement est effectuée pour les ensembles physiographiques en suivant la même méthodologie que pour la superficie du complexe. Les milieux humides isolés obtiennent le pointage de zéro alors que ceux qui sont interconnectés reçoivent la valeur de leur classement selon une échelle de 1 à 10. Les classes où les complexes sont les plus vastes reçoivent les pointages les plus élevés.

DIVERSITÉ DES TYPES DE MILIEUX HUMIDES

Les complexes de milieux humides peuvent être composés de différents types de milieux. Plus un complexe sera diversifié en termes de types de milieux humides, plus celui-ci pourra remplir diverses fonctions écologiques, notamment en ce qui concerne les habitats pour la faune et la flore. Ainsi, le pointage attribué aux milieux humides correspondra au nombre de types de milieux humides (1 à 6) présents dans le complexe (voir section 2.1.2 pour la liste).

NOMBRE DE MILIEUX HUMIDES PAR COMPLEXE

Le nombre de milieux humides individuels composant un complexe est un bon indice de l'hétérogénéité de l'habitat et influence par le fait même la valeur écologique. Une analyse de groupement (dix classes) est réalisée à l'échelle de l'ensemble physiographique. Plus un complexe est composé par un grand nombre de milieux humides, plus le pointage obtenu par les milieux qui le composent sera élevé.

3.2 CARACTÈRE EXCEPTIONNEL

Les critères permettant de déterminer le caractère exceptionnel d'un milieu humide visent à différencier les habitats qui sont rares ou qui sont composés d'un assemblage d'espèces peu communes. Les critères retenus sont :

- la présence d'espèces menacées, vulnérables ou susceptibles d'être désignées ainsi (EMV);
- la rareté relative d'un type de milieu humide.

3.2.1 PRÉSENCE D'ESPÈCES MENACÉES, VULNÉRABLES OU SUSCEPTIBLES D'ÊTRE DÉSIGNÉES AINSI

La présence d'EMV dans un milieu humide confère automatiquement une grande valeur écologique à celui-ci. Ces espèces sont, par définition, rares sur le territoire et nécessitent souvent des conditions particulières du milieu pour s'implanter.

Ce critère permet d'attribuer de 0 à 25 points au milieu humide en fonction de la présence d'EMV, du statut de l'EMV, du nombre d'EMV observées et de la taille de la population trouvée tel que décrit ci-dessous.

- Si absence = 0 point
- Si présence :
 - a. *Statut de l'espèce (2,5 à 10 points) :*
 - espèce vulnérable à la récolte commerciale = 2,5 points
 - espèce susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable = 5 points
 - espèce menacée ou vulnérable = 10 points
 - b. *Nombre d'espèces observées (2,5 à 10 points) :*
 - 1 espèce = 2,5 points
 - 2 espèces = 5 points
 - 3 espèces ou plus = 10 points
 - c. *Taille ou étendue de la population observée. Ce critère est évalué selon les spécifications pour les occurrences au Québec (CDPNQ 2008) (2 à 5 points) :*
 - population de cote A = 5 points
 - population de cote B = 4 points
 - population de cote C = 3 points
 - population de cote D = 2 points

En présence de plusieurs EMV, le pointage de l'espèce ayant eu la cote maximale sera conservé pour chaque critère.

3.2.2 RARETÉ RELATIVE

La rareté relative fait référence à la répartition des types de milieux humides sur un territoire donné, en comparaison avec d'autres secteurs. Pour obtenir cette donnée, la proportion du territoire couvert par chacun des types de milieux humides a été compilée pour chaque ensemble physiographique de la Côte-Nord pour lesquels des données étaient disponibles. Des analyses de groupement ont été effectuées spécifiquement pour chaque type de milieu humide dans le but d'obtenir 10 classes par ensemble physiographique avec des proportions de milieux humides similaires. Ainsi, les ensembles physiographiques avec les proportions les plus faibles pour un type de milieu donné auront une cote plus élevée en termes de rareté.

Considérant qu'aucune donnée cartographique sur la répartition des marais n'est disponible et en tenant compte de la nature ponctuelle de ce type de milieu ainsi que des faibles superficies généralement occupées, le pointage maximal (10 points) leur est attribué. Le tableau 4 présente le résultat de la classification des ensembles physiographiques pour chaque type de milieu humide. Pour les secteurs où la couverture des étangs et des marécages (arbusitifs et arborescents) est déficiente, il est proposé d'utiliser la valeur attribuée à l'ensemble physiographique le plus près, si les données sont disponibles. Autrement, la proportion présente dans la région naturelle pourra être utilisée et les classes présentées au tableau 4 pourront être appliquées.

Tableau 4. Classification de la rareté des milieux humides pour les différents ensembles physiographiques

Type de milieu	Proportion du territoire (%)		Rang	Ensemble physiographique
	Minimum	Maximum		
Étang	0,000	0,012	10	Basses collines du lac Saumur; Buttes du lac Teuaikan; Basses collines du lac aux Deux-Décharges; Basses collines de la rivière Mistanipisipou; Basses terres orientales anticostiennes; Plateau (cuesta) centre-sud anticostien; Basses collines du lac Arthur; Buttes du lac Plétipi; Basses collines des rivières Sainte-Marguerite et Moisie; Basses collines du lac Manitou; Plaine côtière de Natashquan; Monticule du lac Tichégami; Basses collines du lac Eudistes; Basse collines du lac Grandmesnil; Basses-terres occidentales anticostiennes; Basses collines du lac Marceau; Massif du lac Charpeney; Basses collines de Gagnon.
	0,018	0,028	9	Buttes du lac Piashti; Buttes du lac de la Robe Noire; Basses collines du lac Tremblay; Basses collines du réservoir Manicouagan; Buttes du petit lac Manicouagan; Basses collines de la rivière Mistassini; Basses collines du lac Rouvray; Basses collines du lac Manouanis; Basses collines du lac Péribonca; Monticules du lac Pluto; Basses collines du lac Magpie; Basses collines de la rivière Toulououstouc.
	0,034	0,048	8	Basses collines du réservoir Outardes quatre et Manic trois; Buttes du lac Kegashka; Basses collines du lac Briend; Mont Groulx; Plaine côtière de Havre-Saint-Pierre.
	0,050	0,062	7	Basses collines du réservoir Pipmuacan; Basses collines de la rivière de la Trinité; Plateau centre-nord anticostien; Hautes collines du lac Fortin; Hautes collines de la rivière Pentecôte.
	0,075	0,075	6	Basses collines du lac Dufrene
	0,103	0,121	5	Basses collines du lac Alex; Basses collines du lac du Sault-aux-Cochons; Plaine du lac Saint-Jean; Basses collines de la rivière Manouane.
	0,166	0,166	4	Basses collines de la rivière Manicouagan et des Outardes.
	0,259	0,285	3	Fjord du Saguenay; Basses collines de la rivière du Sault-aux-Cochons.
	0,320	0,320	2	Basses collines du lac des Perches.
	0,443	0,443	1	Buttes du lac Damville.
Marécage arborescent	0,000	0,087	10	Basses collines du lac Saumur; Buttes du lac Teuaikan; Basses collines du lac aux Deux-Décharges; Monticules du lac Pluto; Massif du lac Charpeney; Basses collines de la rivière Mistanipisipou; Hautes collines de la rivière Pentecôte; Basses collines du réservoir Manicouagan; Buttes du petit lac Manicouagan.
	0,122	0,266	9	Buttes du lac de la Robe Noire; Basses collines du lac Magpie; Basses collines du lac Arthur; Basses collines du lac Manitou; Basses collines du lac Marceau; Basses collines du lac Péribonca; Basses collines de la rivière Toulououstouc; Basses collines de la rivière Manouane.
	0,306	0,442	8	Basses collines du lac Rouvray; Buttes du lac Plétipi; Basses collines du lac Dufrene; Basses collines du lac Alex; Basses collines des rivières Sainte-Marguerite et Moisie; Plaine côtière de Havre-Saint-Pierre; Basses collines de Gagnon; Monticule du lac Tichégami; Basses collines du réservoir Outardes quatre et Manic trois; Mont Groulx; Basses collines du lac du Sault-aux-Cochons.
	0,524	0,690	7	Hautes collines du lac Fortin; Basses collines du réservoir Pipmuacan; Basses collines du lac Tremblay; Buttes du lac Piashti; Basses collines de la rivière de la Trinité; Basses collines du lac Eudistes; Fjord du Saguenay; Basses collines de la rivière du Sault-aux-Cochons; Buttes du lac Damville; Basses collines de la rivière Manicouagan et des Outardes; Plaine du lac Saint-Jean; Basses collines du lac des Perches; Buttes du lac Kegashka.
	0,792	0,883	6	Basse collines du lac Grandmesnil; Basses collines du lac Briend; Plaine côtière de Natashquan; Basses collines du lac Manouanis.
	0,969	0,969	5	Basses collines de la rivière Mistassini.
	1,998	1,998	4	Plateau (cuesta) centre-sud anticostien.
	3,423	3,423	3	Plateau centre-nord anticostien.
	5,705	5,705	2	Basses terres orientales anticostiennes.
	6,862	6,862	1	Basses-terres occidentales anticostiennes.
Marécage arbustif	0,000	0,080	10	Buttes du lac Teuaikan; Monticules du lac Pluto; Plateau centre-nord anticostien; Basses terres orientales anticostiennes; Hautes collines de la rivière Pentecôte; Plateau (cuesta) centre-sud anticostien; Monticule du lac Tichégami; Massif du lac Charpeney; Basses collines du lac aux Deux-Décharges; Basses collines de Gagnon; Buttes du lac de la Robe Noire; Basses collines du lac Magpie; Basses collines du lac Saumur.
	0,096	0,197	9	Basses collines du lac Marceau; Basses collines du réservoir Outardes quatre et Manic trois; Buttes du lac Piashti; Basses collines du lac Manouanis; Hautes collines du lac Fortin; Basses collines de la rivière Mistanipisipou; Basses collines de la rivière Toulououstouc; Basses collines du réservoir Manicouagan; Buttes du lac Plétipi; Basses collines du lac Manitou; Basses collines du lac Arthur; Basse collines du lac Grandmesnil; Mont Groulx.
	0,218	0,290	8	Basses collines du lac du Sault-aux-Cochons; Buttes du petit lac Manicouagan; Basses collines du lac Rouvray; Basses-terres occidentales anticostiennes; Basses collines du lac Eudistes; Basses collines du lac Briend; Buttes du lac Kegashka; Basses collines des rivières Sainte-Marguerite et Moisie; Basses collines du réservoir Pipmuacan.
	0,332	0,416	7	Basses collines de la rivière Manouane; Basses collines du lac Péribonca; Basses collines de la rivière Mistassini; Basses collines du lac Tremblay.
	0,592	0,592	6	Basses collines du lac Alex.
	0,678	0,703	5	Fjord du Saguenay; Basses collines de la rivière Manicouagan et des Outardes.
	0,825	0,825	4	Basses collines de la rivière de la Trinité.
	1,006	1,096	3	Basses collines de la rivière du Sault-aux-Cochons; Plaine du lac Saint-Jean; Plaine côtière de Natashquan; Basses collines du lac Dufrene.
	1,306	1,306	2	Plaine côtière de Havre-Saint-Pierre.
	1,474	1,537	1	Buttes du lac Damville; Basses collines du lac des Perches.

Tableau 4. Classification de la rareté des milieux humides pour les différents ensembles physiographiques (suite)

Type de milieu	Proportion du territoire (%)		Rang	Ensemble physiographique
	Minimum	Maximum		
Tourbière	0,000	1,013	10	Monticules du lac De Morbihan; Buttes du lac Guernesé; Buttes du lac Long; Basses collines du lac Opiscotéo; Buttes du lac Ferru; Massif du lac Briçonnet; Massif du lac Verrier; Buttes du lac Teuaikan; Buttes du lac Musquaro; Buttes du lac Robertson; Moyennes collines du lac Diane; Monticules du lac Brulé; Buttes du lac De l’île au Castor; Basses collines du lac Gamart; Buttes du lac Noirclair; Monticules du lac Pluto; Fjord du Saguenay; Basses collines du lac aux Deux-Décharges; Massif du lac Charpeney; Buttes du lac Jonchée; Buttes du lac Le Breton; Basses collines du lac Tremblay; Basses collines du lac Magpie.
	1,351	3,386	9	Basses collines du lac Briend; Basses collines du lac Gaffaret; Basses collines du lac Saumur; Basses collines de la rivière Toulnoustouc; Buttes du lac Aticonipi; Buttes du lac Atticoupi; Basses collines du lac Eudistes; Basses collines du lac Marceau; Basses collines du lac du Sault-aux-Cochons; Basses collines du réservoir Outardes quatre et Manic trois; Basses collines du réservoir Pipmuacan; Hautes collines du lac Fortin; Basses collines du lac Dufrene; Basses collines du lac Bright Sand; Buttes du petit lac Manicouagan; Basses collines de la rivière du Sault-aux-Cochons; Basses collines de la rivière Mistassini; Monticule du lac Tichégami; Basses collines du lac Manitou; Basses collines du lac Alex; Basses collines des rivières Sainte-Marguerite et Moisie; Basses collines du lac Péribonca; Mont Groulx; Monticules du lac Vallard; Basses collines de la rivière Manouane; Basse collines du lac Grandmesnil; Basses collines du lac Rouvray; Basses collines de la rivière Mistanipisipou; Basses collines du lac des Perches; Basses collines du réservoir Manicouagan; Hautes collines de la rivière Pentecôte; Basses collines de la rivière Manicouagan et des Outardes; Basses collines du lac Manouanis.
	4,159	5,810	8	Buttes du lac Fleur-de-May; Buttes du lac de la Robe Noire; Buttes du lac Damville; Basses collines de Gagnon; Basses collines du lac Arthur; Buttes du lac Plétipi; Buttes du lac Piashti; Plaine bosselée de la rivière Beaver; Buttes du lac Kegashka.
	6,693	7,867	7	Basses collines de la rivière de la Trinité; Buttes côtière du Petit Mécatina; Buttes de la rivière Étamamiou.
	9,100	10,227	6	Plaine du lac Saint-Jean; Monticules du lac Ménistouc.
	12,477	12,954	5	Plateau (cuesta) centre-sud anticostien; Basses-terres occidentales anticostiennes.
	15,479	15,479	4	Plateau centre-nord anticostien.
	33,899	33,899	3	Plaine côtière de Havre-Saint-Pierre.
	36,693	36,693	2	Plaine côtière de Natashquan.
	53,331	53,331	1	Basses terres orientales anticostiennes.
Tourbière boisée	0,000	0,555	10	Buttes du lac Guernesé; Buttes du lac De l’île au Castor; Plaine bosselée de la rivière Beaver; Buttes côtière du Petit Mécatina; Buttes de la rivière Étamamiou; Plateau centre-nord anticostien; Buttes du lac Robertson; Basses terres orientales anticostiennes; Monticules du lac De Morbihan; Basses-terres occidentales anticostiennes; Plateau (cuesta) centre-sud anticostien; Fjord du Saguenay; Basses collines du réservoir Manicouagan; Basses collines du réservoir Pipmuacan; Basses collines du lac Manitou; Basses collines de la rivière du Sault-aux-Cochons; Basses collines du lac des Perches; Basses collines du lac aux Deux-Décharges; Hautes collines de la rivière Pentecôte; Moyennes collines du lac Diane; Basses collines du lac du Sault-aux-Cochons; Buttes du lac Musquaro; Monticules du lac Pluto; Monticule du lac Tichégami; Basses collines du lac Eudistes; Basses collines des rivières Sainte-Marguerite et Moisie Basses collines de la rivière Toulnoustouc; Basses collines du lac Saumur; Massif du lac Charpeney; Basses collines de la rivière Manouane; Basses collines du réservoir Outardes quatre et Manic trois; Basses collines du lac Péribonca; Basses collines du lac Dufrene; Mont Groulx.
	0,641	1,219	9	Buttes du lac Kegashka; Buttes du lac de la Robe Noire; Basses collines de la rivière Manicouagan et des Outardes; Basses collines du lac Tremblay; Buttes du lac Piashti; Basses collines du lac Marceau; Basses collines du lac Alex; Basses collines de la rivière de la Trinité; Basses collines du lac Manouanis; Basses collines du lac Gamart; Buttes du lac Damville; Plaine côtière de Natashquan; Basses collines de la rivière Mistassini; Basses collines du lac Arthur; Buttes du lac Ferru; Basse collines du lac Grandmesnil; Basses collines du lac Rouvray; Plaine côtière de Havre-Saint-Pierre; Basses collines du lac Bright Sand.
	1,391	1,832	8	Buttes du lac Plétipi; Basses collines du lac Magpie; Buttes du lac Noirclair; Basses collines du lac Briend; Plaine du lac Saint-Jean; Buttes du lac Atticoupi; Hautes collines du lac Fortin; Buttes du lac Fleur-de-May.
	2,103	2,504	7	Basses collines de la rivière Mistanipisipou; Buttes du lac Teuaikan; Buttes du lac Long; Massif du lac Briçonnet.
	2,850	3,378	6	Buttes du lac Jonchée; Basses collines de Gagnon; Basses collines du lac Opiscotéo; Monticules du lac Brulé.
	4,110	4,110	5	Massif du lac Verrier.
	4,908	5,431	4	Basses collines du lac Gaffaret; Buttes du lac Aticonipi; Buttes du lac Le Breton.
	6,569	6,569	3	Buttes du petit lac Manicouagan.
	8,685	8,685	2	Monticules du lac Vallard.
	13,232	13,232	1	Monticules du lac Ménistouc.

3.2.3 RICHESSE FLORISTIQUE

CRITÈRES D'ÉVALUATION DE LA RICHESSE

Les espèces floristiques obligées des milieux humides ont été retenues comme critère d'analyse de la richesse floristique puisque ces espèces sont intrinsèquement liées à la présence du milieu en question et qu'on ne les retrouve généralement pas en milieu terrestre. La liste des plantes obligées est tirée de Bazoge *et al.* (2014). Cette liste a été bâtie pour le Québec méridional et on note que certaines espèces, sur le territoire de la Côte-Nord notamment, ne sont pas strictement associées aux milieux humides (ex. le rhododendron du Groenland). Cependant, dans le cadre de cette analyse la liste a été considérée comme telle et quelques ajouts d'espèces ont été effectués dans le cas de plantes qui ne se retrouvent pas dans le Québec méridional (annexe A). Les marécages arbustifs et les tourbières minérotrophes sont les milieux qui renferment la plus grande diversité d'espèces au global comparativement aux marécages arborés et aux étangs (tableau 5).

Tableau 5. Richesse totale des espèces floristiques obligées des milieux humides

Type de milieu	Nombre de parcelles	Richesse totale
Étang	89	69
Marais	73	91
Marécage arboré	22	34
Marécage arbustif	228	131
Tourbière minérotrophe	204	119
Tourbière ombrotrophe	253	96

Pour chaque type de milieu, une analyse de groupement a été effectuée à partir de la fréquence d'occurrence des espèces obligées afin de regrouper les espèces en dix classes, de la plus commune (1) à la plus rare (5). Il a été convenu d'analyser la richesse floristique des tourbières sans égard au type (minérotrophe vs ombrotrophe, boisé vs non boisé) puisque les tourbières sont souvent un amalgame avec des portions ombrotrophes et d'autres minérotrophes. En conséquence, une tourbière ombrotrophe typique sera composée d'espèces plus communes comparativement à certaines tourbières minérotrophes qui peuvent contenir certaines espèces de *Carex* plus rares.

Les tableaux 6 à 10 présentent les groupements d'espèces pour les différents types de milieux rencontrés. La sommation des cotes des espèces individuelles permet d'obtenir le pointage du milieu humide en termes de richesse floristique. Pour effectuer ce calcul, il est nécessaire d'avoir en main des données d'inventaire floristique. Cependant, lorsque de telles données ne sont pas disponibles, il est possible d'obtenir une valeur de richesse pondérée en multipliant l'occurrence d'une espèce par la valeur de la classe de rareté. La richesse floristique moyenne des plantes obligées des milieux humides est donc la suivante :

- étang : 14,46
- marais : 21,73
- marécage arbustif : 22,82
- marécage arboré : 12,95
- tourbière : 40,20

Tableau 6. Classes de rareté des espèces obligées des milieux humides dans les étangs

Classement	Occurrence		Espèces
	Min.	Max.	
1	0,45	0,45	<i>Sparganium angustifolium</i>
2	0,32	0,32	<i>Nuphar variegata</i>
3	0,15	0,21	<i>Sparganium hyperboreum</i> ; <i>Potamogeton alpinus</i> ; <i>Eleocharis acicularis</i> ; <i>Hippuris vulgaris</i> ; <i>Potamogeton epihydrus</i> ; <i>Utricularia vulgaris</i> subsp. <i>macrorrhiza</i> ; <i>Scirpus atrocinctus</i> ; <i>Utricularia intermedia</i>
4	0,06	0,12	<i>Juncus brevicaudatus</i> ; <i>Callitriche palustris</i> ; <i>Isoetes echinospora</i> ; <i>Eleocharis palustris</i> ; <i>Carex rostrata</i> ; <i>Equisetum fluviatile</i> ; <i>Eriocaulon aquaticum</i> ; <i>Utricularia minor</i> ; <i>Chamaedaphne calyculata</i> ; <i>Glyceria canadensis</i> var. <i>canadensis</i> ; <i>Sparganium fluctuans</i>
5	0,01	0,05	<i>Carex limosa</i> ; <i>Glyceria borealis</i> ; <i>Juncus subtilis</i> ; <i>Sagittaria cuneata</i> ; <i>Subularia aquatic</i> ; <i>Torreyochloa pallida</i> var. <i>fernaldii</i> ; <i>Typha latifolia</i> ; <i>Carex aquatilis</i> var. <i>aquatilis</i> ; <i>Carex canescens</i> subsp. <i>canescens</i> ; <i>Lobelia dortmanna</i> ; <i>Menyanthes trifoliata</i> ; <i>Myrica gale</i> ; <i>Myriophyllum farwellii</i> ; <i>Potamogeton oakesianus</i> ; <i>Ranunculus flammula</i> var. <i>reptans</i> ; <i>Sparganium emersum</i> ; <i>Calla palustris</i> ; <i>Carex lenticularis</i> var. <i>lenticularis</i> ; <i>Glyceria striata</i> ; <i>Hypericum mutilum</i> subsp. <i>boreale</i> ; <i>Iris versicolor</i> ; <i>Lysimachia terrestris</i> ; <i>Nuphar microphylla</i> ; <i>Potamogeton confervoides</i> ; <i>Potamogeton perfoliatus</i> ; <i>Ranunculus aquatilis</i> var. <i>diffusus</i> ; <i>Schoenoplectus subterminalis</i> ; <i>Cardamine pensylvanica</i> ; <i>Carex cryptolepis</i> ; <i>Carex trisperma</i> ; <i>Carex vesicaria</i> ; <i>Comarum palustre</i> ; <i>Dulichium arundinaceum</i> var. <i>arundinaceum</i> ; <i>Epilobium ciliatum</i> subsp. <i>ciliatum</i> var. <i>glandulosum</i> ; <i>Eriophorum virginicum</i> ; <i>Glyceria grandis</i> var. <i>grandis</i> ; <i>Hypericum ellipticum</i> ; <i>Myriophyllum tenellum</i> ; <i>Persicaria amphibia</i> var. <i>stipulacea</i> ; <i>Potamogeton gramineus</i> ; <i>Potamogeton pusillus</i> subsp. <i>tenuissimus</i> ; <i>Rhynchospora alba</i> ; <i>Salix pellita</i> ; <i>Scheuchzeria palustris</i> ; <i>Scirpus microcarpus</i> ; <i>Trichophorum alpinum</i> ; <i>Utricularia cornuta</i> ; <i>Utricularia geminisca</i>

Tableau 7. Classes de rareté des espèces obligées des milieux humides dans les marais

Classement	Occurrence		Espèces
	Min.	Max.	
1	0,32	0,37	<i>Scirpus atrocinctus</i> ; <i>Juncus brevicaudatus</i> ; <i>Viola macloskeyi</i>
2	0,26	0,29	<i>Carex canescens</i> subsp. <i>canescens</i> ; <i>Rhododendron groenlandicum</i> ; <i>Carex lenticularis</i> var. <i>lenticularis</i> ; <i>Kalmia polifolia</i>
3	0,18	0,22	<i>Carex rostrata</i> ; <i>Chamaedaphne calyculata</i> ; <i>Carex vesicaria</i> ; <i>Glyceria canadensis</i> var. <i>canadensis</i> ; <i>Myrica gale</i>
4	0,07	0,14	<i>Carex trisperma</i> ; <i>Salix pellita</i> ; <i>Carex oligosperma</i> ; <i>Lycopus uniflorus</i> ; <i>Lysimachia terrestris</i> ; <i>Maianthemum trifolium</i> ; <i>Epilobium palustre</i> ; <i>Equisetum fluviatile</i> ; <i>Iris versicolor</i> ; <i>Eleocharis acicularis</i> ; <i>Eurybia radula</i> ; <i>Ranunculus flammula</i> var. <i>reptans</i> ; <i>Scirpus microcarpus</i> ; <i>Vaccinium oxycoccus</i> ; <i>Lycopodiella inundata</i> ; <i>Carex arcta</i> ; <i>Eleocharis palustris</i> ; <i>Sparganium angustifolium</i>
5	0,01	0,05	<i>Callitriche palustris</i> ; <i>Comarum palustre</i> ; <i>Drosera rotundifolia</i> ; <i>Hypericum mutilum</i> subsp. <i>boreale</i> ; <i>Juncus subtilis</i> ; <i>Typha latifolia</i> ; <i>Veronica scutellata</i> ; <i>Carex aquatilis</i> ; <i>Carex echinata</i> ; <i>Carex pauciflora</i> ; <i>Isoetes echinospora</i> ; <i>Lobelia dortmanna</i> ; <i>Scutellaria galericulata</i> var. <i>pubescens</i> ; <i>Utricularia vulgaris</i> subsp. <i>macrorrhiza</i> ; <i>Carex disperma</i> ; <i>Carex leptalea</i> ; <i>Carex limosa</i> ; <i>Chelone glabra</i> ; <i>Drosera intermedia</i> ; <i>Eriocaulon aquaticum</i> ; <i>Eriophorum brachyantherum</i> ; <i>Eriophorum tenellum</i> ; <i>Eriophorum virginicum</i> ; <i>Gentiana linearis</i> ; <i>Glyceria borealis</i> ; <i>Glyceria grandis</i> var. <i>grandis</i> ; <i>Nuphar variegata</i> ; <i>Ribes triste</i> ; <i>Schoenoplectus tabernaemontani</i> ; <i>Sparganium hyperboreum</i> ; <i>Trichophorum cespitosum</i> ; <i>Utricularia intermedia</i> ; <i>Andromeda polifolia</i> var. <i>latifolia</i> ; <i>Arethusa bulbosa</i> ; <i>Betula pumila</i> var. <i>pumila</i> ; <i>Calla palustris</i> ; <i>Cardamine pratensis</i> ; <i>Carex crawfordii</i> ; <i>Carex flava</i> ; <i>Carex lasiocarpa</i> ; <i>Carex michauxiana</i> ; <i>Carex viridula</i> subsp. <i>viridula</i> ; <i>Chrysosplenium americanum</i> ; <i>Eriophorum russeolum</i> subsp. <i>russeolum</i> ; <i>Eriophorum vaginatum</i> subsp. <i>spissum</i> ; <i>Galium palustre</i> ; <i>Glyceria striata</i> ; <i>Hippuris vulgaris</i> ; <i>Hypericum ellipticum</i> ; <i>Juncus pelocarpus</i> ; <i>Littorella americana</i> ; <i>Menyanthes trifoliata</i> ; <i>Muhlenbergia uniflora</i> ; <i>Myriophyllum farwellii</i> ; <i>Potamogeton gramineus</i> ; <i>Ranunculus pensylvanicus</i> ; <i>Rhynchospora fusca</i> ; <i>Sagittaria cuneata</i> ; <i>Scheuchzeria palustris</i> ; <i>Scirpus cyperinus</i> ; <i>Sparganium emersum</i> ; <i>Thelypteris palustris</i> var. <i>pubescens</i> ; <i>Trichophorum alpinum</i> ; <i>Typha angustifolia</i>

Tableau 8. Classes de rareté des espèces obligées des milieux humides dans les marécages arborés

Classement	Occurrence		Espèces
	Min.	Max.	
1	0,45	0,45	<i>Carex trisperma</i> ; <i>Maianthemum trifolium</i> ; <i>Rhododendron groenlandicum</i>
2	0,27	0,27	<i>Viola macloskeyi</i>
3	0,18	0,18	<i>Carex canescens</i> subsp. <i>canescens</i> ; <i>Carex vaginata</i> ; <i>Chamaedaphne calyculata</i> ; <i>Myrica gale</i> ; <i>Ribes triste</i>
4	0,13	0,14	<i>Carex leptalea</i> ; <i>Iris versicolor</i> ; <i>Trichophorum alpinum</i> ; <i>Vaccinium oxycoccus</i>
5	0,05	0,09	<i>Carex tenuiflora</i> ; <i>Eurybia radula</i> ; <i>Kalmia polifolia</i> ; <i>Solidago uliginosa</i> ; <i>Trichophorum cespitosum</i> ; <i>Andromeda polifolia</i> var. <i>latifolia</i> ; <i>Carex buxbaumii</i> ; <i>Carex cryptolepis</i> ; <i>Carex disperma</i> ; <i>Carex oligosperma</i> ; <i>Carex pauciflora</i> ; <i>Carex rostrata</i> ; <i>Eriophorum viridicarinarum</i> ; <i>Geum rivale</i> ; <i>Glyceria striata</i> ; <i>Lysimachia terrestris</i> ; <i>Pinguicula vulgaris</i> ; <i>Salix arctophila</i> ; <i>Salix pedicellaris</i> ; <i>Scirpus atrocinctus</i> ; <i>Stellaria borealis</i> subsp. <i>borealis</i> ; <i>Thelypteris palustris</i> var. <i>pubescens</i>

Tableau 9. Classes de rareté des espèces obligées des milieux humides dans les marécages arbustifs

Classement	Occurrence		Espèces
	Min.	Max.	
1	0,59	0,59	<i>Myrica gale</i>
2	0,27	0,34	<i>Rhododendron groenlandicum</i> ; <i>Chamaedaphne calyculata</i>
3	0,17	0,25	<i>Viola macloskeyi</i> ; <i>Iris versicolor</i> ; <i>Carex trisperma</i> ; <i>Scirpus atrocinctus</i> ; <i>Kalmia polifolia</i> ; <i>Salix pellita</i> ; <i>Glyceria canadensis</i> var. <i>canadensis</i> ; <i>Maianthemum trifolium</i> ; <i>Carex canescens</i> subsp. <i>canescens</i> ; <i>Juncus brevicaudatus</i>
4	0,07	0,11	<i>Scirpus microcarpus</i> ; <i>Vaccinium oxycoccus</i> ; <i>Carex rostrata</i> ; <i>Carex vaginata</i> ; <i>Lycopus uniflorus</i> ; <i>Carex lenticularis</i> var. <i>lenticularis</i> ; <i>Ribes triste</i> ; <i>Carex oligosperma</i> ; <i>Carex vesicaria</i> ; <i>Eurybia radula</i> ; <i>Glyceria striata</i> ; <i>Carex leptalea</i> ; <i>Andromeda polifolia</i> var. <i>latifolia</i> ; <i>Comarum palustre</i> ; <i>Drosera rotundifolia</i> ; <i>Epilobium palustre</i> ; <i>Trichophorum cespitosum</i> ; <i>Lysimachia terrestris</i> ; <i>Salix pedicellaris</i>
5	0,004	0,06	<i>Hippuris vulgaris</i> ; <i>Solidago uliginosa</i> ; <i>Callitriche palustris</i> ; <i>Carex disperma</i> ; <i>Equisetum fluviatile</i> ; <i>Carex aquatilis</i> var. <i>aquatilis</i> ; <i>Sparganium angustifolium</i> ; <i>Carex pauciflora</i> ; <i>Geum rivale</i> ; <i>Salix arctophila</i> ; <i>Betula pumila</i> var. <i>pumila</i> ; <i>Calla palustris</i> ; <i>Carex echinata</i> ; <i>Nuphar variegata</i> ; <i>Trichophorum alpinum</i> ; <i>Betula pumila</i> var. <i>glandulifera</i> ; <i>Gentiana linearis</i> ; <i>Carex gynocrates</i> ; <i>Carex utriculata</i> ; <i>Eleocharis acicularis</i> ; <i>Eriophorum russeolum</i> subsp. <i>russeolum</i> ; <i>Lycopodiella inundata</i> ; <i>Parnassia palustris</i> ; <i>Scutellaria galericulata</i> var. <i>pubescens</i> ; <i>Thelypteris palustris</i> var. <i>pubescens</i> ; <i>Carex buxbaumii</i> ; <i>Carex tenuiflora</i> ; <i>Pinguicula vulgaris</i> ; <i>Typha latifolia</i> ; <i>Utricularia vulgaris</i> subsp. <i>macrorrhiza</i> ; <i>Carex magellanica</i> ; <i>Cicuta maculata</i> ; <i>Eriophorum angustifolium</i> subsp. <i>angustifolium</i> ; <i>Eriophorum viridicarinarum</i> ; <i>Glyceria borealis</i> ; <i>Potamogeton alpinus</i> ; <i>Potamogeton gramineus</i> ; <i>Ranunculus aquatilis</i> var. <i>diffusus</i> ; <i>Ranunculus flammula</i> var. <i>reptans</i> ; <i>Sparganium emersum</i> ; <i>Utricularia intermedia</i> ; <i>Veronica scutellata</i> ; <i>Carex aquatilis</i> ; <i>Carex arctica</i> ; <i>Carex exilis</i> ; <i>Carex limosa</i> ; <i>Carex paleacea</i> ; <i>Eriophorum tenellum</i> ; <i>Galium labradoricum</i> ; <i>Menyanthes trifoliata</i> ; <i>Potamogeton richardsonii</i> ; <i>Sarracenia purpurea</i> subsp. <i>purpurea</i> ; <i>Sparganium hyperboreum</i> ; <i>Spartina pectinate</i> ; <i>Triglochin maritima</i> ; <i>Carex lasiocarpa</i> ; <i>Carex michauxiana</i> ; <i>Carex trichocarpa</i> ; <i>Eriophorum vaginatum</i> subsp. <i>spissum</i> ; <i>Eriophorum virginicum</i> ; <i>Galium asprellum</i> ; <i>Glyceria grandis</i> var. <i>grandis</i> ; <i>Hypericum ellipticum</i> ; <i>Myriophyllum sibiricum</i> ; <i>Oclemena nemoralis</i> ; <i>Potamogeton epihydrus</i> ; <i>Rumex occidentalis</i> ; <i>Scheuchzeria palustris</i> ; <i>Schoenoplectus subterminalis</i> ; <i>Scutellaria lateriflora</i> ; <i>Sparganium fluctuans</i> ; <i>Stellaria borealis</i> subsp. <i>borealis</i> ; <i>Arethusa bulbosa</i> ; <i>Callitriche hermaphrodita</i> ; <i>Cardamine pensylvanica</i> ; <i>Carex chordorrhiza</i> ; <i>Carex interior</i> ; <i>Carex livida</i> ; <i>Drosera anglica</i> ; <i>Drosera intermedia</i> ; <i>Eleocharis palustris</i> ; <i>Epilobium ciliatum</i> subsp. <i>ciliatum</i> var. <i>glandulosum</i> ; <i>Epilobium hornemannii</i> subsp. <i>hornemannii</i> ; <i>Eriocaulon aquaticum</i> ; <i>Eriophorum brachyantherum</i> ; <i>Galium tinctorium</i> ; <i>Glyceria melicaria</i> ; <i>Isoetes echinospora</i> ; <i>Isoetes lacustris</i> ; <i>Juncus nodosus</i> ; <i>Juncus stygius</i> subsp. <i>americanus</i> ; <i>Juncus subtilis</i> ; <i>Lobelia dortmanna</i> ; <i>Muhlenbergia uniflora</i> ; <i>Myriophyllum</i> sp.; <i>Najas flexilis</i> ; <i>Persicaria sagittata</i> ; <i>Potamogeton amplifolius</i> ; <i>Potamogeton natans</i> ; <i>Sagittaria latifolia</i> ; <i>Sium suave</i> ; <i>Stellaria alsine</i> ; <i>Vaccinium macrocarpon</i>

Tableau 10. Classes de rareté des espèces obligées des milieux humides dans les tourbières

Classement	Occurrence		Espèces
	Min.	Max.	
1	0,672	0,764	<i>Kalmia polifolia</i> ; <i>Chamaedaphne calyculata</i> ; <i>Rhododendron groenlandicum</i>
2	0,536	0,639	<i>Maianthemum trifolium</i> ; <i>Vaccinium oxycoccos</i> ; <i>Andromeda polifolia</i> var. <i>latifolia</i> ; <i>Trichophorum cespitosum</i>
3	0,293	0,462	<i>Carex oligosperma</i> ; <i>Drosera rotundifolia</i> ; <i>Carex limosa</i> ; <i>Carex pauciflora</i> ; <i>Myrica gale</i> ; <i>Menyanthes trifoliata</i> ; <i>Eurybia radula</i>
4	0,109	0,265	<i>Eriophorum vaginatum</i> subsp. <i>spissum</i> ; <i>Sarracenia purpurea</i> subsp. <i>Purpurea</i> ; <i>Carex trisperma</i> ; <i>Carex exilis</i> ; <i>Solidago uliginosa</i> ; <i>Carex rostrata</i> ; <i>Trichophorum alpinum</i> ; <i>Scheuchzeria palustris</i> ; <i>Salix pedicularis</i> ; <i>Carex canescens</i> subsp. <i>canescens</i> ; <i>Carex livida</i> ; <i>Eriophorum russeolum</i> subsp. <i>russeolum</i> ; <i>Juncus stygius</i> subsp. <i>americanus</i> ; <i>Nuphar variegata</i> ; <i>Eriophorum viridicarinarum</i> ; <i>Juncus brevicaudatus</i> .
5	0,002	0,096	<i>Equisetum fluviatile</i> ; <i>Epilobium palustre</i> ; <i>Drosera anglica</i> ; <i>Carex vaginata</i> ; <i>Rhynchospora alba</i> ; <i>Betula pumila</i> var. <i>pumila</i> ; <i>Eriophorum virginicum</i> ; <i>Viola macloskeyi</i> ; <i>Betula michauxii</i> ; <i>Scirpus atrocinctus</i> ; <i>Eriophorum angustifolium</i> subsp. <i>angustifolium</i> ; <i>Utricularia cornuta</i> ; <i>Sparganium hyperboreum</i> ; <i>Drosera intermedia</i> ; <i>Muhlenbergia uniflora</i> ; <i>Salix arctophila</i> ; <i>Eriophorum tenellum</i> ; <i>Carex utriculata</i> ; <i>Carex leptalea</i> ; <i>Carex tenuiflora</i> ; <i>Utricularia intermedia</i> ; <i>Glyceria canadensis</i> var. <i>canadensis</i> ; <i>Carex gynocrates</i> ; <i>Carex chordorrhiza</i> ; <i>Carex vesicaria</i> ; <i>Carex aquatilis</i> var. <i>aquatilis</i> ; <i>Comarum palustre</i> ; <i>Geum rivale</i> ; <i>Triglochin maritima</i> ; <i>Vaccinium macrocarpon</i> ; <i>Carex michauxiana</i> ; <i>Iris versicolor</i> ; <i>Carex echinata</i> ; <i>Carex lasiocarpai</i> ; <i>Glyceria striata</i> ; <i>Hippuris vulgaris</i> ; <i>Carex disperma</i> ; <i>Utricularia vulgaris</i> subsp. <i>macrorrhiza</i> ; <i>Carex magellanica</i> ; <i>Oclemena nemoralis</i> ; <i>Sparganium angustifolium</i> ; <i>Scirpus microcarpus</i> ; <i>Utricularia geminiscapa</i> ; <i>Carex lenticularis</i> var. <i>lenticularis</i> ; <i>Eriophorum gracile</i> subsp. <i>gracile</i> ; <i>Utricularia minor</i> ; <i>Eleocharis acicularis</i> ; <i>Lycopodiella inundata</i> ; <i>Salix pellita</i> ; <i>Carex interior</i> ; <i>Eriocaulon aquaticum</i> ; <i>Galium labradoricum</i> ; <i>Calla palustris</i> ; <i>Callitriche palustris</i> ; <i>Carex buxbaumii</i> ; <i>Arethusa bulbosa</i> ; <i>Carex aquatilis</i> ; <i>Cirsium muticum</i> ; <i>Eriophorum scheuchzeri</i> subsp. <i>scheuchzeri</i> ; <i>Potamogeton gramineus</i> ; <i>Schoenoplectus subterminalis</i> ; <i>Betula pumila</i> var. <i>glandulifera</i> ; <i>Eriophorum brachyantherum</i> ; <i>Gentiana linearis</i> ; <i>Glyceria borealis</i> ; <i>Juncus pelocarpus</i> ; <i>Lycopus uniflorus</i> ; <i>Pinguicula vulgaris</i> ; <i>Sparganium emersum</i> ; <i>Stellaria borealis</i> subsp. <i>borealis</i> ; <i>Carex cryptolepis</i> ; <i>Carex diandra</i> ; <i>Potamogeton alpinus</i> ; <i>Potamogeton epihydrus</i> ; <i>Ribes triste</i> ; <i>Typha latifolia</i> ; <i>Carex viridula</i> subsp. <i>viridula</i> ; <i>Epilobium hornemannii</i> subsp. <i>hornemannii</i> ; <i>Juncus canadensis</i> ; <i>Nuphar microphylla</i> ; <i>Pogonia ophioglossoides</i> ; <i>Potamogeton confervoides</i> ; <i>Ranunculus flammula</i> var. <i>reptans</i> ; <i>Torreyochloa pallida</i> var. <i>fernaldii</i> ; <i>Xyris montana</i> ; <i>Carex aquatilis</i> x <i>stricta</i> ; <i>Carex bebbii</i> ; <i>Carex trichocarpa</i> ; <i>Dulichium arundinaceum</i> var. <i>arundinaceum</i> ; <i>Eleocharis elliptica</i> ; <i>Eleocharis palustris</i> ; <i>Eleocharis quinqueflora</i> ; <i>Epilobium leptophyllum</i> ; <i>Galium tinctorium</i> ; <i>Glyceria grandis</i> var. <i>grandis</i> ; <i>Isoetes echinospora</i> ; <i>Juncus articulatus</i> ; <i>Juncus subtilis</i> ; <i>Lobelia dortmanna</i> ; <i>Lysimachia terrestris</i> ; <i>Myriophyllum</i> sp.; <i>Najas flexilis</i> ; <i>Neottia bifolia</i> ; <i>Persicaria hydropiper</i> ; <i>Platanthera blephariglottis</i> var. <i>blephariglottis</i> ; <i>Potamogeton pusillus</i> subsp. <i>tenuissimus</i> ; <i>Ranunculus hyperboreus</i> ; <i>Sagittaria cuneata</i> ; <i>Scirpus cyperinus</i> ; <i>Stuckenia</i> sp.; <i>Thelypteris palustris</i> var. <i>pubescens</i> ; <i>Utricularia ochroleuca</i> .

3.3 INTÉGRITÉ DU MILIEU

3.3.1 PÉRENNITÉ DU MILIEU HUMIDE

La présence du castor, bien que naturelle, influence l'intégrité des milieux humides, notamment parce que les barrages ne sont pas pérennes. Effectivement, les communautés végétales associées aux étangs de castors récents ne sont pas très élaborées. L'étang créé peut aussi influencer les communautés végétales des milieux humides qui se font ennoyées. Finalement, suite à l'abandon d'un barrage et à sa rupture, le marais qui recolonise le fond de l'étang est principalement composé d'espèces pionnières et est peu diversifié.

Pour ces raisons, la présence d'ouvrages de castors indique que le milieu humide sera dynamique sur une période de temps restreinte, ce qui amène des changements importants au niveau de la composition floristique. Ainsi, la présence du castor est considérée en soustrayant 5 points.

3.3.2 INTÉGRITÉ DU MILIEU ADJACENT

Ce critère permet d'évaluer les éléments adjacents qui peuvent potentiellement nuire au développement ou à la pérennité du milieu évalué. La proportion des milieux naturel, anthropique et agricole est évaluée sur une distance de 50 m autour du milieu humide. Le pointage attribué, sur dix, correspond à la proportion de milieux naturels dans une bande de 50 m en périphérie du milieu humide. Ainsi, un milieu humide entouré à 100 % de milieux naturels obtiendra le pointage maximal de 10.

3.3.3 FRAGMENTATION

Ce critère considère la fragmentation, soit la division du milieu humide d'origine en plusieurs parcelles. Elle est évaluée en considérant le nombre de parcelles issues du milieu humide initial, la taille relative de chacune de ces parcelles et la taille de la plus grande parcelle en fonction des critères ci-dessous :

- aucune fragmentation = 0 point
- peu de parcelles dont la plus grande représente plus de 75 % de la superficie initiale du milieu humide = -2,5 points
- peu de parcelles dont la plus grande représente entre 50 et 75 % de la superficie initiale du milieu humide = -5 points
- plusieurs parcelles dont la plus grande représente entre 25 et 50 % de la superficie initiale du milieu humide = -7,5 points
- plusieurs parcelles dont la plus grande représente moins de 25 % de la superficie initiale du milieu humide = -10 points

3.3.4 ESPÈCES EXOTIQUES ENVAHISSANTES

La présence d'espèces végétales exotiques envahissantes (EEE) peut nuire grandement à la qualité d'un milieu humide et à son utilisation par la faune et la flore. La présence et l'abondance de ces espèces sont prises en considération dans ce critère :

- Si absence = 0 point
- Si présence :
 - a. *Le pourcentage du nombre d'espèces envahissantes par rapport au nombre total d'espèces recensées :*
 - Moins de 10 % = -2,5 points
 - Entre 10 et 25 % = -5 points
 - Entre 25 et 50 % = -7,5 points
 - Plus de 50 % = -10 points
 - b. *Le pourcentage de recouvrement des espèces envahissantes par rapport au recouvrement total du milieu naturel :*
 - Moins de 10 % = -2,5 points
 - Entre 10 et 25 % = -5 points
 - Entre 25 et 50 % = -7,5 points

— Plus de 50 % = -10 points

Ce critère est uniquement applicable lorsque des inventaires terrains sont réalisés. En l'absence de données, il est considéré qu'aucune EEE n'est présente et le pointage de 0 lui est donc attribué. La liste des EEE est présentée à l'annexe B.

3.4 FONCTIONS ABIOTIQUES

Tous les milieux humides ont des fonctions hydrologiques, biogéochimiques et d'habitat (Hanson *et al.* 2008). Selon le cas, ces fonctions pourront avoir un rendement faible (1), moyen (2) ou élevé (3). Le tableau 11 présente les critères retenus et les valeurs attribuées pour chaque type de milieu humide.

Tableau 11. Valeur des critères des fonctions abiotiques par type de milieu humide

Milieu humide	Étang	Marais	Marécage arbustif	Marécage arboré	Tourbière minérotrophe	Tourbière ombrotrophe
Fonctions hydrologiques						
Régulation du débit	10	0	10	5	5	0
Capacité de rétention	10	5	5	5	10	10
Recharge de l'aquifère	5	0	0	0	5	0
Protection contre l'érosion	2,5 à 5	5 à 10	5 à 10	5 à 10	2,5 à 10	2,5 à 10
Total	27,5-32,5	10-15	20-25	15-20	22,5-30	12,5-20
Cote	Élevée	Faible	Moyenne	Moyenne	Moyenne - élevée	Faible - moyenne
Fonctions biogéochimiques						
Amélioration de la qualité de l'eau	10	10	10	10	10	0
Exportation des nutriments	0	5	5	10	10	0
Séquestration du carbone	0	10	5	10	10	10
Total	10	25	20	30	30	10
Cote	Faible	Élevée	Moyenne	Élevée	Élevée	Faible

3.4.1 FONCTIONS HYDROLOGIQUES

Les principales fonctions hydrologiques sont la régulation des débits, la recharge des aquifères et la protection contre l'érosion. Ces fonctions sont les mêmes que celles proposées par Smith *et al.* (1995) et reprises par Hanson *et al.* (2008).

RÉGULATION DU DÉBIT

Les étangs et les marécages obtiennent la meilleure cote en termes de régulation du débit. Les étangs, qu'ils soient naturels ou créés par le castor, peuvent agir comme tampon lors des crues. Les marécages arbustifs peuvent également ralentir les débits via la plaine inondable qu'ils contiennent. Les tourbières minérotrophes ont une capacité moyenne à réguler les débits puisque l'eau y circule lentement. Cependant, ce type de milieu humide est rarement au cœur du réseau hydrique comme le sont les marécages arbustifs et les étangs. Les marécages arborés ont une cote moyenne. Leur drainage est souvent mauvais, mais la texture du dépôt de surface est grossière, permettant de retenir l'eau. Finalement, les marais et les tourbières ombrotrophes ont une capacité faible à réguler les débits. Les tourbières ombrotrophes sont, en règle générale, isolées du réseau hydrique. Elles peuvent donc réguler les débits uniquement de façon indirecte en captant les précipitations qui ne pourront pas transiter vers l'aval du bassin versant. Les marais, de par leur superficie très faible, la texture fine du substrat et leur mauvais drainage, ont un faible pouvoir de rétention.

Les pointages retenus sont les suivants :

- étangs et marécages arbustifs = 10 points
- marécage arboré et tourbière minérotrophe = 5 points
- tourbière ombrotrophe et marais = 0 point

CAPACITÉ DE RÉTENTION

Ce critère évalue la capacité d'un milieu à retenir ou à emmagasiner l'eau. Il requière normalement d'avoir des données recueillies au terrain en évaluant la texture des sols et leur perméabilité exprimée en qualité du drainage. Ainsi, pour un site donné, plus la texture des sols sera grossière et perméable, moins il aura la capacité de retenir ou d'emmagasiner l'eau. Lorsque des relevés au terrain sont effectués, la classification suivante est appliquée :

- texture grossière à moyenne et drainage rapide (0 à 3) = 0 point
- texture moyenne à fine et drainage modéré (4) = 5 points
- texture fine à très fine avec mauvais drainage ou tourbe (5 et 6) = 10 points

Cependant, lorsqu'aucune donnée d'inventaire n'est disponible, comme dans le cas de la présente étude, il est possible d'utiliser le classement suivant qui représente la capacité de rétention moyenne par type de milieu :

- marais, marécage arbustif et marécage arborescent = 5 points
- étang, tourbières minérotrophe et ombrotrophe = 10 points

Il faut cependant mentionner que le sol des marécages arbustifs peut parfois avoir une texture grossière et un drainage rapide.

RECHARGE DE L'AQUIFÈRE

La fonction de recharge de l'aquifère correspond à la capacité d'un milieu humide à favoriser le transit de l'eau de surface vers la nappe phréatique sous-jacente. Les étangs, les marécages arborés et les tourbières minérotrophes ont été considérés comme ayant une capacité moyenne à recharger les aquifères (5 points) puisque ces milieux permettent à l'eau de transiter tranquillement vers l'aval du bassin versant. Les marécages arbustifs ont un potentiel plus limité, car l'eau y circule plus rapidement alors que dans les tourbières ombrotrophes, l'eau de surface est captive de la tourbière (0 point).

PROTECTION CONTRE L'ÉROSION ET POTENTIEL DE SÉDIMENTATION

Ce critère évalue la capacité d'un milieu à résister à l'érosion. Cette capacité permet de prévenir la détérioration de divers milieux humides ou cours d'eau, de leurs berges ou des plaines inondables. Un milieu présente une bonne capacité de stabilisation lorsqu'il est bien colonisé par la végétation.

- Milieu sans végétation = 0 point
- Pour les autres milieux :
 - Étang : rendement potentiel moyen, sauf dans le cas d'un étang isolé. La végétation submergée des eaux peu profondes estuarienne, lacustre et riveraine peut contribuer à dissiper et à atténuer l'énergie de l'eau et des vagues avant que l'eau ne pénètre dans les réseaux adjacents des milieux humides émergents = 5 points. Dans le cas d'un étang isolé = 2,5 points.
 - Marais : rendement potentiel élevé, sauf pour les marais isolés. Les marais intertidaux et riverains attenants à un chenal, à une plaine d'inondation, à un lac ou à une rivière sont particulièrement

importants pour capter les sédiments et favoriser leur dépôt (formation de sol), dissiper l'énergie de l'eau et des vagues et maintenir la cohésion du littoral = 10 points. Dans le cas d'un marais isolé = 5 points.

- Marécage : rendement potentiel élevé, sauf pour les marécages isolés. Les marécages intertidaux et riverains attenants à un chenal, à une plaine d'inondation, à un lac ou à une rivière sont particulièrement importants pour capter les sédiments et favoriser leur dépôt (formation de sol), dissiper l'énergie de l'eau et des vagues et maintenir la cohésion du littoral = 10 points. Dans le cas d'un marécage isolé = 5 points.
- Tourbière minérotrophe : rendement variable. Les fens se trouvent généralement dans des milieux de faible énergie où les risques d'érosion ne sont pas préoccupants = 2,5 points. Ils pourraient toutefois être situés en position riveraine et jouer un rôle de protection contre l'érosion des berges. Dans le cas d'un fen riverain = 10 points.
- Tourbière ombrotrophe : rendement généralement faible, sauf dans les zones littorales. Les bogs se trouvent généralement dans des milieux de faible énergie où les risques d'érosion ne sont pas préoccupants = 2,5 points. Dans le cas d'un bog en zone littorale = 10 points.

SYNTHÈSE

La compilation des valeurs des trois critères décrivant les fonctions hydrologiques des milieux humides démontre que :

- les étangs et certaines tourbières minérotrophes (en position riveraine) ont une valeur élevée;
- les marécages (arbustifs et arborés) et les tourbières minérotrophes isolées ont une valeur moyenne;
- les marais et les tourbières ombrotrophes ont une valeur faible.

Le tableau 19 présente le sommaire des pointages attribués aux fonctions abiotiques. Le niveau de précision de la cartographie des milieux humides de la MRC de Manicouagan ne permet pas de distinguer les tourbières minérotrophes des tourbières ombrotrophes. Cependant, tel que mentionné précédemment, la région est surtout dominée par des tourbières ombrotrophes (Payette et Rochefort 2001).

3.4.2 FONCTIONS BIOGÉOCHIMIQUES

Du point de vue des fonctions biogéochimiques, les principales sont la filtration de l'eau (amélioration), l'exportation de nutriments et la séquestration du carbone.

AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU

L'ensemble des types de milieux humides, à l'exception des tourbières ombrotrophes, a un potentiel élevé en matière d'amélioration de la qualité de l'eau. En effet, les milieux humides filtrent l'eau et les plantes qui sont présentes captent les nutriments comme le phosphore et l'azote ou certains contaminants. Les tourbières ombrotrophes contribuent peu à améliorer la qualité de l'eau, car ce sont des milieux qui agissent comme une cuvette retenant l'eau et ayant peu d'échanges avec le réseau hydrique. Les pointages suivants sont attribués :

- étang, marais, marécage arbustif, marécage arboré et tourbière minérotrophe = 10 points
- tourbière ombrotrophe = 0 point

EXPORTATION DES NUTRIMENTS

L'exportation de nutriments et de carbone organique vers les milieux aquatiques en aval lors de précipitations ou de crues peut favoriser l'accroissement de la productivité primaire. Les tourbières minérotrophes et les

marécages arborés obtiennent la cote la plus élevée. Les tourbières ombrotrophes représentent une source élevée de carbone, mais elle n'est pas accessible au réseau hydrique. Le classement suivant a été attribué :

- tourbière minérotrophe et marécage arboré = 10 points
- marais et marécage arbustif = 5 points
- étang et tourbière ombrotrophe = 0 point

CAPACITÉ DE SÉQUESTRATION DU CARBONE

À la suite de la photosynthèse, une partie du CO₂ atmosphérique est fixée par les plantes et incorporée dans le sol sous forme de matière organique. Certains milieux humides ont une meilleure propension à séquestrer le carbone, c'est le cas notamment des tourbières et des marais. Les milieux humides les plus performants sont les fens et, à un moindre degré, les marais. Les fens sont en effet sensiblement plus efficaces que les bogs dans la séquestration du carbone (Moore 2001). Les tourbières peuvent emmagasiner le carbone en autant qu'il n'y ait pas d'abaissement de la nappe phréatique, par exemple par le drainage. Dans le cas contraire, le processus s'inverse et il y a alors libération de carbone. Cette précision a son importance parce que la séquestration du carbone par les tourbières reste globalement faible (de 2 à 5 g de C/m²-j) lorsqu'on la compare à celle d'autres écosystèmes comme une forêt ou une prairie (de 20 à 25 g de C/m²-j). Par contre, les étangs se révèlent peu efficaces. Le pointage qui suit a été déterminé pour la capacité de séquestration du carbone :

- marais, marécage arboré, tourbière minérotrophe et tourbière ombrotrophe = 10 points
- marécage arbustif = 5 points
- étang = 0 point

SYNTHÈSE

La compilation des valeurs des trois critères décrivant les fonctions hydrologiques des milieux humides démontre que :

- les marais, les marécages arborés et les tourbières minérotrophes ont une valeur élevée;
- les marécages arbustifs ont une valeur moyenne;
- les étangs et les tourbières ombrotrophes obtiennent une valeur faible

Au même titre que pour les fonctions hydrologiques, la valeur de la classe des tourbières ombrotrophes est attribuée pour la zone d'étude.

3.5 MILIEU HYDRIQUE

3.5.1 POSITION DANS LE RÉSEAU HYDRIQUE

Le rôle et la fonction première d'un milieu humide varient selon sa position dans le réseau hydrographique d'un bassin versant ou, à une toute autre échelle, à l'intérieur d'un site à l'étude. Ce critère vise donc à déterminer si un milieu humide possède des connexions avec d'autres milieux humides et si ces milieux se situent en amont ou en aval de celui-ci. Plus un milieu humide sera situé en aval d'un bassin versant ou d'un site à l'étude, plus il devra réguler, en quantité et en qualité, les eaux qu'il reçoit de l'amont.

Ce critère permet de distinguer les milieux humides qui sont en lien direct avec un cours d'eau. La position du milieu dans le bassin versant ou à l'intérieur du site à l'étude est déterminée selon l'ordre de Strahler. Plus la valeur est élevée, plus le cours d'eau est d'importance et est alimenté par plusieurs autres cours d'eau. Cette

ordination donne une bonne indication de la position dans le bassin versant puisque les valeurs élevées se retrouvent essentiellement à l'aval du bassin versant. Le pointage est attribué selon les critères suivants :

- isolé = 0 point
- lien hydrologique = 5 points
 - pointage supplémentaire attribué en fonction de l'ordre de Strahler.

3.5.2 PRÉSENCE ET NATURE D'UN LIEN HYDRIQUE

Ce critère permet de valoriser la connectivité entre les milieux humides. Un lien de surface direct (cours d'eau) et de bonne qualité (naturel) est hautement valorisé tandis qu'un lien indirect (milieu humide faisant partie d'un complexe ayant une connexion avec un cours d'eau) de faible qualité (anthropique, fossé de drainage) est moins valorisé. La liste suivante présente les combinaisons de critères permettant de quantifier l'impact de la présence d'un lien hydrique, allant de 0 à 25 points :

- lien hydrologique de surface :
 - absence = 0 point
 - présence = 5 points
- nature du lien :
 - direct = 5 points
 - indirect = 2,5 points
- débit :
 - permanent = 5 points
 - intermittent = 2,5 points
- lit :
 - naturel = 5 points
 - anthropique = 2,5 points

4 CALCUL DE LA VALEUR ÉCOLOGIQUE

Les comptes et les indicateurs sont résumés dans le tableau 12. Un système d'attribution de pointage et de pondération a été appliqué en se basant sur la méthodologie employée par Environnement Canada (2013) qui permet de discriminer des variantes entre elles. Ce calcul permet d'attribuer plus ou moins de poids aux indicateurs, comptes auxiliaires et comptes dans l'objectif d'éviter de surestimer l'importance des facteurs non discriminants.

4.1 PONDÉRATION DES COMPTES

Ainsi, les cinq comptes ont été classés en fonction de leur capacité à discriminer un milieu humide donné par rapport à un autre ainsi qu'en fonction de leur apport à la valeur écologique. Le compte relatif au caractère exceptionnel du milieu humide obtient la pondération la plus élevée (tableau 12) suivi par la dimension spatiale. Ces deux comptes comprennent des indicateurs qui discriminent le plus les milieux humides entre eux au niveau de l'unicité, de la richesse, de la superficie et de l'interconnexion avec d'autres habitats humides. Le compte se rapportant au milieu hydrique obtient une pondération moyenne, car les indicateurs permettent de bonifier les fonctions que remplit un milieu humide. Finalement, les comptes traitant de la perturbation et de l'intégrité ainsi que des fonctions abiotiques ont obtenu la pondération la plus faible. En effet, sur la Côte-Nord, la proportion des milieux humides qui sont perturbés est très faible et donc peu discriminante. Au niveau des fonctions abiotiques, les pointages sont attribués principalement en fonction des grandes classes de milieux humides. Par exemple, au sein des étangs, le pointage sera sensiblement identique. Ces facteurs ont donc un faible pouvoir de discrimination des milieux humides.

4.2 PONDÉRATION DES COMPTES AUXILIAIRES

Deux comptes auxiliaires ont été créés pour les fonctions abiotiques afin de diviser les indicateurs en catégories, soit :

- fonctions hydrologiques;
- fonctions biogéochimiques.

Les fonctions hydrologiques ont obtenu une pondération supérieure aux fonctions biogéochimiques qui sont plus de nature théorique.

4.3 PONDÉRATION DES INDICATEURS

L'ensemble des indicateurs des comptes et comptes auxiliaires se voit attribuer une pondération (variant de 1 à 3). Plus la pondération est élevée, plus l'indicateur contribue de façon importante à la valeur écologique d'un milieu humide (tableau 12).

Tableau 12. Pondération des comptes, comptes auxiliaires et indicateurs permettant le calcul de la valeur écologique

Compte	Pondération	Compte auxiliaire	Pondération	Indicateur	Pointage	Pondération
Dimension spatiale	4	s.o.	N/A	Superficie	1-10	3
				Superficie du complexe	1-10	2
				Diversité des types de milieux humides	1-6	3
				Nombre de milieux par complexe	1-10	2
Caractère exceptionnel	5	s.o.	N/A	Présence d'EMV	0-25	3
				Rareté relative	1-10	2
				Richesse floristique	1-variable ¹	2
Perturbation et intégrité	2	s.o.	N/A	Pérennité	-5-0	1
				Intégrité du milieu adjacent	0-10	1
				Fragmentation	-10-0	2
				Espèces exotiques envahissantes	-20-0	3
Fonctions abiotiques	1	Fonctions hydrologiques	2	Régulation du débit	0-10	2
				Capacité de rétention d'eau	0-10	2
				Recharge de l'aquifère	0-10	1
				Protection contre l'érosion	0-10	3
		Fonctions biogéochimiques	1	Amélioration de la qualité de l'eau	0-10	3
				Exportation de nutriments	0-10	1
				Séquestration de carbone	0-10	1
Milieu hydrique	3	s.o.	N/A	Position dans le réseau	0-variable ²	2
				Présence et nature du lien hydrique	0-25	2

¹ La limite supérieure du pointage dépend du nombre d'espèces présentes ainsi que de leur cote de rareté. Lorsque des données d'inventaire floristique sont disponibles, le pointage est différent pour chaque milieu humide.

² La limite supérieure dépend du positionnement du cours d'eau dans le bassin versant.

4.4 CALCUL

Une valeur écologique a été calculée pour chaque milieu humide présent sur le territoire à l'étude. Les étapes menant au calcul de la valeur écologique sont les suivantes :

- le pointage est multiplié par la pondération attribuée à l'indicateur pour obtenir le pointage de mérite;
- au sein d'un compte, ou d'un compte auxiliaire, la sommation des pointages de mérite est effectuée;
- cette sommation est divisée par la somme de la pondération des indicateurs ce qui permet d'obtenir le pointage de mérite du compte (ou du compte auxiliaire);
- les pointages des comptes sont multipliés par leur pondération respective et ensuite la somme est effectuée pour obtenir le pointage de mérite total;
- le pointage de mérite total est ensuite divisé par la somme des pondérations des comptes pour obtenir la valeur écologique.

Les tableaux 13 et 14 présentent deux exemples de calculs de la valeur écologique, soit une tourbière boisée et un étang qui font partie du même complexe de milieux humides. La tourbière boisée obtient une valeur écologique plus élevée (6,2) que l'étang (4,4) (tableau 14).

Tableau 13. Exemple de calcul du pointage de mérite des comptes et comptes auxiliaires

Comptes et indicateurs	Pondération du compte	Pondération de l'indicateur	Tourbière boisée (1449)		Étang (1448)	
			Valeur	Pointage de mérite	Valeur	Pointage de mérite
1) Dimension spatiale des milieux naturels	4					
A) Superficie		3	6	18	2	6
B) Connectivité						
a) Superficie du complexe		2	2	4	2	4
b) Diversité des types de milieux		3	2	6	2	6
c) Nombre de milieux		2	1	2	1	2
Somme des pointages de mérite				30		18
Somme des facteurs de pondération		10				
Pointage de mérite du compte				3,0		1,8
2) Caractère exceptionnel	5					
A) Présence d'EMV		3	0	0	0	0
B) Rareté relative régionale		2	9	18	5	10
C) Cote richesse/rareté		2	20,3	40,6	14,5	28,9
Somme des pointages de mérite				58,6		38,9
Somme des facteurs de pondération		7				
Pointage de mérite du compte				8,4		5,6
3) Perturbation et intégrité du milieu	2					
A) Cote de pérennité du MH		1	0	0	0	0
B) Intégrité du milieu adjacent		1	10	10	10	10
C) Fragmentation		2	0	0	0	0
D) Présence d'EEE		3	0	0	0	0
Somme des pointages de mérite				10		10
Somme des facteurs de pondération		7				
Pointage de mérite du compte				1,4		1,4
4) Fonctions abiotiques	1					
A) Fonctions hydrologiques	2					
a) Régulation du débit		2	0	0	10	20
b) Capacité de rétention d'eau		2	10	20	10	20
c) Recharge de l'aquifère		1	0	0	5	5
d) Protection contre l'érosion		3	2,5	7,5	2,5	7,5
Somme des pointages de mérite				27,5		52,5
Somme des facteurs de pondération		8				
Pointage de mérite du compte auxiliaire				3,4		6,6
B) Fonctions biogéochimiques	1					
a) Amélioration de la qualité de l'eau		3	0	0	10	30
b) Exportation de nutriments		1	0	0	0	0
c) Séquestration de carbone		1	10	10	0	0
Somme des pointages de mérite				10		30
Somme des facteurs de pondération		5				
Pointage de mérite du compte auxiliaire				2,0		6,0
5) Milieu hydrique	3					
A) Position dans le réseau hydrique		2	5	10	0	0
B) Présence et nature du lien hydrique		2	17,5	35	15	30
Somme des pointages de mérite				45		30
Somme des facteurs de pondération		4				
Pointage de mérite du compte				11,3		7,5

Tableau 14. Exemple du calcul de la valeur écologique

Comptes et indicateurs	Pondération du compte	Tourbière boisée (1449)		Étang (1448)	
		Valeur du compte/compte auxiliaire	Pointage de mérite	Valeur du compte/compte auxiliaire	Pointage de mérite
1) Dimension spatiale des milieux naturels	4	3	12	1,8	7,2
2) Caractère exceptionnel	5	8,4	41,8	5,6	27,8
3) Perturbation et intégrité du milieu	2	1,4	2,8	1,4	2,8
4) Fonctions abiotiques					
A) Fonctions hydrologiques	2	3,4	6,9	6,6	13,1
B) Fonctions biogéochimiques	1	2,0	2,0	6,0	6,0
Pointage de mérite du compte auxiliaire			8,9		19,1
Somme des facteurs de pondération	3				
Pointage de mérite du compte			3,0		6,4
	1	3,0	3,0	6,4	6,4
5) Milieu hydrique	3	11,3	33,75	7,5	22,5
Pointage de mérite total			93,35		66,7
Somme des facteurs de pondération	15				
Valeur écologique			6,2		4,4

Afin de pouvoir évaluer l'importance de la valeur écologique, un calcul théorique a été effectué en considérant les pointages les plus faibles et les plus élevés. En raison de la faible présence de milieux perturbés sur la Côte-Nord, le pointage minimal a été calculé à la fois avec des perturbations maximales ainsi que sans aucune perturbation (tableau 15). Les valeurs extrêmes théoriques varient de 0,49 à 18,25.

Tableau 15. Valeurs écologiques minimales et maximales théoriques par type de milieu humide pour la Côte-Nord

Type	Minimale		Maximale
	Avec perturbation	Sans perturbation	
Étang	-0,98	0,79	14,07
Marais	-1,16	0,63	13,83
Marécage arbustif	-1,04	0,72	16,85
Marécage arboré	-0,99	0,78	13,44
Tourbière ombrotrophe	-1,28	0,49	15,26
Tourbière minérotrophe	-0,88	0,89	18,25
Tourbière boisée	-1,14	0,63	14,66

Les valeurs négatives présentées au tableau 15 sont dues à des milieux très perturbés, ce qui fait en sorte que le cumul des pointages négatifs est plus grand que celui des autres comptes.

Le classement suivant a été effectué suite à l'application de la méthodologie de calcul pour un projet dans la région de Fermont. Ces classes permettent donc d'avoir une distribution qui tend plus vers la normale que ce qui avait été originellement proposé dans WSP (2016) et qui ne comprenait pas de données terrain pour les milieux humides évalués :

- très faible = < 4
- faible = 4-7

- moyenne = 7-9
- élevée = 9-11
- très élevée = ≥ 11

L'établissement des classes de valeur écologique doit être refait pour chaque projet pour lesquels des données floristiques ont été recueillies, afin de refléter plus adéquatement la plage des valeurs rencontrées. Lorsque suffisamment de relevés auront été complétés pour les milieux humides de la Côte-Nord, une classification générale unique pourra être définie.

RÉFÉRENCES

- BAZOGE, A., D. Lachance et C. Villeneuve. 2014. *Identification et délimitation des milieux humides du Québec méridional*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction de l'écologie et de la conservation et Direction des politiques de l'eau. 64 p. + annexes.
- CENTRE DE DONNÉES SUR LE PATRIMOINE NATUREL DU QUÉBEC (CDPNQ). 2008. *Fiches signalétiques des plantes vasculaires menacées ou vulnérables*. En ligne : <http://www.cdpnq.gouv.qc.ca/produits.htm>
- CONSEIL RÉGIONAL DE L'ENVIRONNEMENT DU CENTRE-DU-QUÉBEC (CRECQ). 2012. *Méthodologie de priorisation des milieux humides du Centre-du-Québec*. Document présenté à la Commission régionale sur les ressources naturelles et le territoire (CRRNT) dans le cadre du Plan régional de développement intégré des ressources et du territoire (PRDIRT). 26 p. et annexes.
- ENVIRONNEMENT CANADA. 2013. *Guide sur l'évaluation des solutions de rechange pour l'entreposage des déchets miniers*. 46 p. et annexes.
- HANSON, A., L. Swanson, D. Ewing, G. Grabas, S. Meyer, L. Ross, M. Watmough et J. Kirkby. 2008. *Aperçu des méthodes d'évaluation des fonctions écologiques des terres humides*. Service canadien de la faune, Série de Rapports techniques n° 497, région de l'Atlantique. 70 p.
- JOLY, M., S. Primeau, M. Sager et A. Bazoge. 2008. *Guide d'élaboration d'un plan de conservation des milieux humides. Première édition*. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du patrimoine écologique et des parcs. 68 p.
- MÉNARD, S., M. Darveau, L. Imbeau et L. V. Lemelin. 2006. *Méthode de classification des milieux humides du Québec boréal à partir de la carte écoforestière du 3e inventaire décennal*. Québec, Canards Illimités Canada.
- MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS DU QUÉBEC (MFFP). 2015. *Cartographie du projet d'inventaire écoforestier nordique (PIEN)*. Site Internet : <https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/Donnees-PIEN.pdf>
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS DU QUÉBEC (MDDEFP). 2012. *Portrait du réseau d'aires protégées au Québec – Analyse de carence écorégionale. Côte-Nord. Version 2.0*. Document de travail.
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS DU QUÉBEC (MDDEFP). 2013. *Guide d'utilisation du Cadre écologique de référence du Québec (CERQ)*. Direction du patrimoine écologique et des parcs. 10 p. et annexes.
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC). 2015. *Identification et délimitation des milieux hydriques et riverains*. 6 p. et annexes.
- MOORE, T.R. 2001. *Les processus biogéochimiques liés au carbone*. Pages 183- 197 In S. Payette et L. Rochefort (sous la direction de), *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*. Les Presses de l'Université Laval, Québec. 691 p.
- PAYETTE, S. et L. Rochefort (sous la direction de). 2001. *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*. Les Presses de l'Université Laval. 621 p.

- SMITH, R.D., A. Ammann, C. Bartoldus et M.M. Brinson. 1995. *An Approach for Assessing Wetland Functions Using Hydrogeomorphic Classification, Reference Wetlands, and Functional Indices*. Wetlands Research Program Technical Report WRP-DE-9. US Army Corps of Engineers, Washington, DC, 71 p. + annexes.
- WSP. 2016. *Caractérisation de la valeur écologique des milieux humides pour la région de la Côte-Nord*. Rapport produit pour la Société d'expansion de Baie-Comeau. 45 p. + annexes.

ANNEXES

A STATUT HYDRIQUE DES ESPÈCES FLORISTIQUES RÉPERTORIÉES DANS LA BASE DE DONNÉES DE WSP

Annexe A. Statut hydrique des espèces floristiques répertoriées dans la base de données de WSP

Espèce	Statut hydrique¹	Statut trophique²	Préférence pour les tourbières³	Désignation⁴
<i>Abies balsamea</i>	NI			-
<i>Acer negundo</i>	NI			-
<i>Acer nigrum</i>	NI			V
<i>Acer pensylvanicum</i>	NI			-
<i>Acer rubrum</i>	FACH	MP	FNP	-
<i>Acer saccharinum</i>	OBL			-
<i>Acer saccharum</i>	NI			-
<i>Acer spicatum</i>	NI			-
<i>Achillea millefolium</i>	NI			-
<i>Achillea millefolium</i> var. <i>borealis</i>	NI			
<i>Achillea borealis</i> var. <i>borealis</i>	NI			
<i>Acorus americanus</i>	OBL			-
<i>Acorus calamus</i>	OBL			-
<i>Actaea pachypoda</i>	NI			-
<i>Actaea rubra</i>	NI			-
<i>Actaea rubra</i> subsp. <i>rubra</i>	NI			
<i>Actaea rubra</i> subsp. <i>rubra</i> f. <i>neglecta</i>	NI			
<i>Actaea</i> sp.	NI			-
<i>Adiantum pedatum</i>	NI			V
<i>Agalinis paupercula</i>	FACH			-
<i>Agalinis tenuifolia</i>	FACH			-
<i>Ageratina altissima</i> var. <i>altissima</i>	NI			-
<i>Agoseris aurantiaca</i> var. <i>aurantiaca</i>	NI			
<i>Agrimonia striata</i>				
<i>Agrostis capillaris</i>				
<i>Agrostis hyemalis</i>				
<i>Agrostis mertensii</i>				
<i>Agrostis scabra</i>				
<i>Agrostis stolonifera</i>	FACH			-
<i>Alchemilla filicaulis</i> subsp. <i>filicaulis</i>				
<i>Alisma gramineum</i>	OBL			-
<i>Alisma triviale</i>	OBL			-
<i>Allium tricoccum</i>	NI			V
<i>Alnus incana</i> subsp. <i>rugosa</i>	FACH	MP	FNP	-
<i>Alnus serrulata</i>	FACH			S
<i>Alnus viridis</i> subsp. <i>crispa</i>	NI			-
<i>Alopecurus aequalis</i>	OBL			-
<i>Alopecurus geniculatus</i>	FACH			-
<i>Althaea officinalis</i>	FACH			-
<i>Amaranthus tuberculatus</i>	FACH			-
<i>Amelanchier bartramiana</i>	NI	MP	FNP	
<i>Amelanchier interior</i>				

Espèce	Statut hydrique ¹	Statut trophique ²	Préférence pour les tourbières ³	Désignation ⁴
<i>Amelanchier laevis</i>	NI			
<i>Amelanchier sp.</i>	NI			-
<i>Amerorchis rotundifolia</i>	OBL			S
<i>Anaphalis margaritacea</i>	NI			-
<i>Andromeda glaucophylla</i>	OBL	O	P	-
<i>Andromeda polifolia</i>	OBL	MP	P	
<i>Andromeda polifolia</i> var. <i>latifolia</i>	OBL			-
<i>Andromeda xjamesiana</i>		MP	P	
<i>Andropogon gerardii</i>	FACH			-
<i>Anemone acutiloba</i>	NI			
<i>Anemone canadensis</i>	NI			
<i>Anemone parviflora</i>				
<i>Angelica atropurpurea</i>	OBL			-
<i>Antennaria sp.</i>				
<i>Antennaria neglecta</i>				
<i>Anthoxanthum nitens</i> subsp. <i>nitens</i>	FACH			-
<i>Apios americana</i>	FACH			-
<i>Apocynum androsaemifolium</i>	NI			-
<i>Aralia hispida</i>	NI			-
<i>Aralia nudicaulis</i>	NI			-
<i>Aralia racemosa</i>	NI			-
<i>Arceuthobium pusillum</i>		O	P	
<i>Arctopoa eminens</i>				
<i>Arctostaphylos uva-ursi</i>	NI			-
<i>Arenaria sp.</i>				
<i>Arethusa bulbosa</i>	OBL	O	P	-
<i>Argentina anserina</i>	FACH			-
<i>Arisaema dracontium</i>	FACH			M
<i>Arisaema triphyllum</i> subsp. <i>stewardsonii</i>	FACH			-
<i>Arisaema triphyllum</i> subsp. <i>triphyllum</i>	FACH			-
<i>Aronia melanocarpa</i>	FACH	MP	P	-
<i>Aronia x prumifolia</i>		MP	P	
<i>Asarum canadense</i>	NI			V
<i>Asclepias incarnata</i>	OBL			-
<i>Asclepias syriaca</i>	NI			-
<i>Aster radula</i>		MI	P	
<i>Aster sp.</i>				
<i>Athyrium filix-femina</i>	NI			-
<i>Athyrium filix-femina</i> var. <i>angustum</i>	NI			
<i>Atocion armeria</i>				
<i>Atriplex glabriuscula</i>				
<i>Atriplex patula</i>	FACH			-
<i>Atriplex prostrata</i>				

Espèce	Statut hydrique ¹	Statut trophique ²	Préférence pour les tourbières ³	Désignation ⁴
<i>Avenella flexuosa</i>				
<i>Barbarea orthoceras</i>	FACH			-
<i>Barbarea vulgaris</i>				
<i>Bartonia virginica</i>	FACH		P	S
<i>Beckmannia syzigachne</i>	OBL			-
<i>Betula alleghaniensis</i>	NI			-
<i>Betula cordifolia</i>				
<i>Betula glandulosa</i>	FACH			-
<i>Betula michauxii</i>		MP	P	
<i>Betula minor</i>				
<i>Betula papyrifera</i>	NI			-
<i>Betula populifolia</i>	NI	MP	FNP	-
<i>Betula pumila</i>	OBL	MP	P	-
<i>Betula pumila</i> var. <i>glandulifera</i>				
<i>Betula pumila</i> var. <i>pumila</i>	OBL			
<i>Betula</i> sp.	NI			
<i>Betula x raymundii</i>			P	
<i>Bidens beckii</i>	OBL			-
<i>Bidens cernua</i>	OBL			-
<i>Bidens comosa</i>	FACH			-
<i>Bidens connata</i>	OBL			-
<i>Bidens discoidea</i>	OBL			-
<i>Bidens eatonii</i>	OBL			S
<i>Bidens frondosa</i>	FACH			-
<i>Bidens heterodoxa</i>	OBL			S
<i>Bidens hyperborea</i>	OBL			-
<i>Bidens tripartita</i>	FACH			-
<i>Bistorta vivipara</i>				
<i>Blysmopsis rufa</i>	OBL			-
<i>Boehmeria cylindrica</i>	FACH			-
<i>Bolboschoenus fluviatilis</i>	OBL			-
<i>Bolboschoenus maritimus</i>				
<i>Bolboschoenus maritimus</i> subsp. <i>paludosus</i>	OBL			-
<i>Botrychium lanceolatum</i>	FACH			-
<i>Botrychium lunaria</i>				
<i>Botrychium virginianum</i>	NI			-
<i>Brasenia schreberi</i>	OBL			-
<i>Bromus ciliatus</i>	FACH			-
<i>Bromus latiglumis</i>	FACH			-
<i>Butomus umbellatus</i>	OBL			-
<i>Calamagrostis canadensis</i>	FACH	MP	FNP	-
<i>Calamagrostis canadensis</i> var. <i>canadensis</i>	FACH			

Espèce	Statut hydrique ¹	Statut trophique ²	Préférence pour les tourbières ³	Désignation ⁴
<i>Calamagrostis canadensis</i> var. <i>langsdoeffii</i>				
<i>Calamagrostis inexpansa</i>	FACH			-
<i>Calamagrostis neglecta</i>	FACH			-
<i>Calamagrostis stricta</i>				
<i>Calamagrostis stricta</i> subsp. <i>inexpansa</i>	FACH			-
<i>Calamagrostis stricta</i> subsp. <i>stricta</i>	FACH			-
<i>Calla palustris</i>	OBL			-
<i>Callitriche anceps</i>	OBL			-
<i>Callitriche hermaphroditica</i>	OBL			-
<i>Callitriche heterophylla</i>	OBL			-
<i>Callitriche palustris</i>	OBL			-
<i>Callitriche</i> sp.	OBL			
<i>Callitriche stagnalis</i>	OBL			-
<i>Calopogon pulchellus</i>		O	P	
<i>Calopogon tuberosus</i>	OBL	O	P	-
<i>Caltha palustris</i>	OBL			-
<i>Calypso bulbosa</i>		MR	P	
<i>Calypso bulbosa</i> var. <i>americana</i>	FACH			S
<i>Campanula aparinoides</i>	OBL			-
<i>Campanula gieseckeana</i>				
<i>Campanula rotundifolia</i>				
<i>Cardamine bulbosa</i>	OBL			S
<i>Cardamine diphylla</i>	NI			V
<i>Cardamine nymanii</i>				
<i>Cardamine pensylvanica</i>	OBL			-
<i>Cardamine pratensis</i>	OBL			-
<i>Carex xlimula</i>	FACH			
<i>Carex acuta</i>	FACH			
<i>Carex adelostoma</i>	FACH		P	
<i>Carex alopecoidea</i>	FACH			-
<i>Carex aquatilis</i>	OBL	MP	P	-
<i>Carex aquatilis</i> × <i>stricta</i>	OBL			
<i>Carex aquatilis</i> var. <i>aquatilis</i>	OBL			
<i>Carex arcta</i>	OBL			-
<i>Carex arctata</i>	FACH			
<i>Carex atherodes</i>	OBL			S
<i>Carex atlantica</i> subsp. <i>capillacea</i>	OBL			S
<i>Carex atratiformis</i>	FACH			-
<i>Carex atrofusca</i>	FACH			
<i>Carex aurea</i>	FACH			-
<i>Carex baileyi</i>	FACH			S
<i>Carex bebbii</i>	OBL			-
<i>Carex bigelowii</i>	FACH			-

Espèce	Statut hydrique ¹	Statut trophique ²	Préférence pour les tourbières ³	Désignation ⁴
<i>Carex bigelowii</i> subsp. <i>bigelowii</i>	FACH			
<i>Carex bromoides</i>	FACH			-
<i>Carex brunnescens</i>	FACH			-
<i>Carex brunnescens</i> subsp. <i>brunnescens</i>	FACH			
<i>Carex brunnescens</i> subsp. <i>sphaerostachya</i>	FACH			
<i>Carex buxbaumii</i>	OBL			-
<i>Carex canescens</i>	OBL	MP	FNP	-
<i>Carex canescens</i> subsp. <i>canescens</i>	OBL			
<i>Carex capillaris</i>	FACH			-
<i>Carex capitata</i>	FACH			
<i>Carex castanea</i>	FACH			-
<i>Carex cephalantha</i>	FACH		P	
<i>Carex chordorrhiza</i>	OBL	MI	P	-
<i>Carex comosa</i>	OBL			-
<i>Carex concinna</i>	FACH			
<i>Carex crawei</i>	FACH			-
<i>Carex crawfordii</i>	FACH			
<i>Carex crinita</i>	FACH			-
<i>Carex crinita</i> var. <i>crinita</i>	FACH			
<i>Carex cristatella</i>	FACH			-
<i>Carex cryptolepis</i>	OBL			-
<i>Carex deflexa</i>	FACH			
<i>Carex deflexa</i> var. <i>deflexa</i>	FACH			
<i>Carex diandra</i>	OBL	MR	P	-
<i>Carex disperma</i>	OBL			-
<i>Carex echinata</i>	OBL			-
<i>Carex echinata</i> subsp. <i>echinata</i>	FACH	MP	P	
<i>Carex exilis</i>	OBL	MP	P	-
<i>Carex flava</i>	OBL			-
<i>Carex folliculata</i>	FACH			S
<i>Carex garberi</i>	FACH			-
<i>Carex granularis</i>	FACH			-
<i>Carex grayi</i>	FACH			-
<i>Carex gynandra</i>	FACH			-
<i>Carex gynocrates</i>	OBL	MR	P	-
<i>Carex haydenii</i>	OBL			-
<i>Carex heleonastes</i>	OBL			-
<i>Carex hormathodes</i>	OBL			-
<i>Carex hostiana</i>	FACH	MR	P	
<i>Carex hystericina</i>	OBL			-
<i>Carex interior</i>	OBL			-
<i>Carex intumescens</i>	FACH			-

Espèce	Statut hydrique ¹	Statut trophique ²	Préférence pour les tourbières ³	Désignation ⁴
<i>Carex lacustris</i>	OBL			-
<i>Carex lasiocarpa</i>	OBL			-
<i>Carex lasiocarpa</i> subsp. <i>americana</i>	FACH	MR	P	
<i>Carex lenticularis</i>	OBL			-
<i>Carex lenticularis</i> var. <i>lenticularis</i>	OBL			
<i>Carex lepidocarpa</i>	OBL			-
<i>Carex leptalea</i>	OBL	MR	P	-
<i>Carex leptoneria</i>	FACH			
<i>Carex limosa</i>	OBL	O	P	-
<i>Carex livida</i>	OBL	MI	P	-
<i>Carex lupuliformis</i>	OBL			M
<i>Carex lupulina</i>	OBL			-
<i>Carex lurida</i>	OBL			-
<i>Carex mackenziei</i>	OBL			-
<i>Carex magellanica</i>	OBL			-
<i>Carex magellanica</i> subsp. <i>irrigua</i>	FACH	MP	P	
<i>Carex media</i>	FACH			
<i>Carex michauxiana</i>	OBL	MP	P	-
<i>Carex nigra</i>	FACH			-
<i>Carex oligosperma</i>	OBL	MP	P	-
<i>Carex oligosperma</i> x <i>rostrata</i>	FACH		P	
<i>Carex paleacea</i>	OBL			-
<i>Carex pauciflora</i>	OBL	O	P	-
<i>Carex pellita</i>	OBL			-
<i>Carex pensylvanica</i>	FACH			
<i>Carex prairea</i>	FACH		P	S
<i>Carex prasina</i>	OBL			-
<i>Carex projecta</i>	FACH			-
<i>Carex pseudocyperus</i>	OBL		P	-
<i>Carex rariflora</i>	FACH	MP	P	
<i>Carex recta</i>	OBL			-
<i>Carex retrorsa</i>	OBL			-
<i>Carex rostrata</i>	OBL	MI	P	-
<i>Carex rotundata</i>	FACH	MP	P	
<i>Carex salina</i>	OBL			-
<i>Carex sartwellii</i>	OBL			S
<i>Carex saxatilis</i>	FACH			-
<i>Carex scabrata</i>	OBL			-
<i>Carex scirpoidea</i> subsp. <i>scirpoidea</i>	FACH			
<i>Carex scoparia</i>	FACH			-
<i>Carex</i> sp.	FACH			
<i>Carex sterilis</i>	OBL			-
<i>Carex stipata</i>	FACH			-

Espèce	Statut hydrique ¹	Statut trophique ²	Préférence pour les tourbières ³	Désignation ⁴
<i>Carex stipata</i> var. <i>stipata</i>	FACH			
<i>Carex stricta</i>	OBL	MP	P	-
<i>Carex stylosa</i>	FACH			
<i>Carex subspathacea</i>	OBL			-
<i>Carex sychnocephala</i>	FACH			S
<i>Carex tenuiflora</i>	OBL	MR	P	-
<i>Carex torta</i>	OBL			-
<i>Carex tribuloides</i>	FACH			-
<i>Carex trichina</i>	FACH		P	
<i>Carex trichocarpa</i>	OBL			S
<i>Carex trisperma</i>	OBL	O	P	-
<i>Carex tuckermanii</i>	OBL			-
<i>Carex typhina</i>	OBL			S
<i>Carex utriculata</i>	OBL			-
<i>Carex vaginata</i>	OBL	MR	P	-
<i>Carex vesicaria</i>	OBL			-
<i>Carex viridula</i>	OBL			-
<i>Carex viridula</i> subsp. <i>brachyrrhyncha</i> var. <i>elator</i>	OBL			-
<i>Carex viridula</i> subsp. <i>viridula</i>	OBL			
<i>Carex viridula</i> subsp. <i>viridula</i> var. <i>viridula</i>	OBL			-
<i>Carex vulpinoidea</i>	FACH			-
<i>Carex wiegandii</i>	OBL	MP	P	-
<i>Carex williamsii</i>	FACH	MP	P	
<i>Carex x cpmnectens</i>	FACH	O	P	
<i>Carex x firmior</i>	FACH	MP	P	
<i>Carex x trichina</i>	FACH		P	
<i>Carpinus caroliniana</i>	NI			-
<i>Carya cordiformis</i>	NI			-
<i>Carya ovata</i> var. <i>ovata</i>	NI			S
<i>Castilleja pallida</i>				
<i>Castilleja septentrionalis</i>				
<i>Catabrosa aquatica</i>	OBL			-
<i>Caulophyllum thalictroides</i>	NI			-
<i>Celtis occidentalis</i>	NI			-
<i>Cephalanthus occidentalis</i>	OBL			-
<i>Cerastium arvense</i> subsp. <i>strictum</i>	NI			
<i>Cerastium fontanum</i> subsp. <i>vulgare</i>				
<i>Ceratophyllum demersum</i>	OBL			-
<i>Ceratophyllum echinatum</i>	OBL			-
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	OBL	O	P	-
<i>Chamerion angustifolium</i>	NI			-
<i>Chamerion angustifolium</i> subsp. <i>angustifolium</i>	NI			

Espèce	Statut hydrique ¹	Statut trophique ²	Préférence pour les tourbières ³	Désignation ⁴
<i>Chamerion latifolium</i>	NI			
<i>Chelone glabra</i>	OBL			-
<i>Chicots</i>	NI			
<i>Chimaphila umbellata</i>	NI			-
<i>Chrysosplenium americanum</i>	OBL			-
<i>Cicuta bulbifera</i>	OBL			-
<i>Cicuta maculata</i>	OBL			-
<i>Cinna arundinacea</i>	FACH			-
<i>Cinna latifolia</i>	FACH			-
<i>Circaea alpina</i>	FACH			-
<i>Circaea canadensis</i> subsp. <i>canadensis</i>				
<i>Circaea lutetiana</i>	NI			-
<i>Cirsium arvense</i>	NI			
<i>Cirsium muticum</i>	OBL			-
<i>Cirsium vulgare</i>				
<i>Cirsium</i> sp.	NI			-
<i>Cladium mariscoides</i>	OBL	MI	P	-
<i>Claytonia caroliniana</i>	NI			-
<i>Clematis virginiana</i>				
<i>Clintonia borealis</i>	NI			-
<i>Comandra umbellata</i> subsp. <i>umbellata</i>	NI			
<i>Comarum palustre</i>	OBL	MI	P	-
<i>Comptonia peregrina</i>	NI			-
<i>Conioselinum chinense</i>	FACH			-
<i>Coptidium lapponicum</i>				
<i>Coptis trifolia</i>	NI			-
<i>Corallorhiza maculata</i>	NI			-
<i>Corallorhiza striata</i> var. <i>striata</i>				
<i>Corallorhiza trifida</i>				
<i>Cornus alternifolia</i>	NI			-
<i>Cornus amomum</i>	FACH			-
<i>Cornus canadensis</i>	NI			-
<i>Cornus sericea</i>	FACH			-
<i>Cornus stolonifera</i>	FACH			-
<i>Corylus cornuta</i>	NI			-
<i>Corylus cornuta</i> subsp. <i>cornuta</i>	NI			
<i>Crassula aquatica</i>	OBL			
<i>Crataegus</i> sp.	NI			-
<i>Cuscuta gronovii</i>	FACH			
<i>Cyperus bipartitus</i>	FACH			
<i>Cyperus dentatus</i>	FACH			
<i>Cyperus diandrus</i>	FACH			
<i>Cyperus esculentus</i>	FACH			

Espèce	Statut hydrique ¹	Statut trophique ²	Préférence pour les tourbières ³	Désignation ⁴
<i>Cyperus odoratus</i>	OBL			
<i>Cyperus squarrosus</i>	FACH			
<i>Cyperus strigosus</i>	FACH			
<i>Cypripedium acaule</i>	NI	O	FNP	-
<i>Cypripedium parviflorum</i>	NI			-
<i>Cypripedium reginae</i>	FACH			S
<i>Cystopteris bulbifera</i>	NI			-
<i>Cystopteris fragilis</i>				
<i>Cystopteris montana</i>				
<i>Dactylorhiza viridis</i>				
<i>Dalibarda repens</i>	NI			-
<i>Danthonia intermedia</i>				
<i>Danthonia intermedia</i> subsp. <i>intermedia</i>				
<i>Danthonia spicata</i>				
<i>Dasiphora fruticosa</i>	FACH			-
<i>Decodon verticillatus</i>	OBL			-
<i>Dennstaedtia punctilobula</i>	NI			-
<i>Deparia acrostichoides</i>	NI			-
<i>Deschampsia cespitosa</i>	FACH			-
<i>Deschampsia cespitosa</i> subsp. <i>cespitosa</i>	FACH			
<i>Deschampsie pourpre</i>				
<i>Dicentra canadensis</i>	NI			-
<i>Dicentra cucullaria</i>	NI			-
<i>Dicentra</i> sp.	NI			-
<i>Dicranum polysetum</i>	NI			
<i>Dicranum</i> sp.	NI			-
<i>Dicranum undulatum</i>	NI			
<i>Diervilla lonicera</i>	NI			-
<i>Diphasiastrum complanatum</i>	NI			-
<i>Diphasiastrum digitatum</i>	NI			-
<i>Diphasiastrum sitchense</i>	NI			
<i>Diphasiastrum tristachyum</i>	NI			-
<i>Dirca palustris</i>	NI			-
<i>Doellingeria umbellata</i>	FACH			-
<i>Doellingeria umbellata</i> var. <i>umbellata</i>	FACH			
<i>Doellingeria umbellata</i> var. <i>pubens</i>				
<i>Drosera anglica</i>	OBL	MP	P	-
<i>Drosera intermedia</i>	OBL	O	P	-
<i>Drosera linearis</i>	OBL	MI	P	S
<i>Drosera rotundifolia</i>	OBL	O	P	-
<i>Drosera</i> sp.	NI			-
<i>Drosera x linglica</i>			P	

Espèce	Statut hydrique ¹	Statut trophique ²	Préférence pour les tourbières ³	Désignation ⁴
<i>Drosera x obovata</i>		MP	P	
<i>Dryopteris xbootii</i>				
<i>Dryopteris campyloptera</i>				
<i>Dryopteris carthusiana</i>	NI			-
<i>Dryopteris clintoniana</i>	FACH			-
<i>Dryopteris cristata</i>	FACH	MI	P	-
<i>Dryopteris expansa</i>				
<i>Dryopteris fragrans</i>				
<i>Dryopteris goldiana</i>	NI			-
<i>Dryopteris intermedia</i>				
<i>Dryopteris marginalis</i>	NI			-
<i>Dulichium arundinaceum</i>	OBL	MI	P	-
<i>Dulichium arundinaceum</i> var. <i>arundinaceum</i>	OBL			
<i>Echinochloa muricata</i>	FACH			-
<i>Echinochloa walteri</i>	FACH			S
<i>Elatine minima</i>	OBL			-
<i>Elatine triandra</i>	OBL			-
<i>Eleocharis acicularis</i>	OBL			-
<i>Eleocharis aestuum</i>	OBL			S
<i>Eleocharis compressa</i> var. <i>compressa</i>	FACH			S
<i>Eleocharis diandra</i>	FACH			S
<i>Eleocharis elliptica</i>				
<i>Eleocharis flavescens</i> var. <i>olivacea</i>	OBL			-
<i>Eleocharis intermedia</i>	FACH			-
<i>Eleocharis obtusa</i>	OBL			-
<i>Eleocharis ovata</i>	OBL			-
<i>Eleocharis palustris</i>	OBL			-
<i>Eleocharis parvula</i>	OBL			-
<i>Eleocharis pauciflora</i>	OBL			-
<i>Eleocharis quinqueflora</i>	OBL			-
<i>Eleocharis robbinsii</i>	OBL			S
<i>Eleocharis smallii</i>		MI	P	
<i>Eleocharis tenuis</i>	OBL			-
<i>Eleocharis uniglumis</i>	FACH			
<i>Eleocharis x macounii</i>	OBL			-
<i>Eleocharis sp.</i>	FACH			
<i>Elodea canadensis</i>	OBL			-
<i>Elodea nuttallii</i>	OBL			-
<i>Elymus repens</i>				
<i>Elymus riparius</i>	FACH			-
<i>Elymus trachycaulus</i>	NI			
<i>Elymus trachycaulus</i> subsp. <i>trachycaulus</i>	NI			
<i>Elymus virginicus</i>	FACH			-

Espèce	Statut hydrique ¹	Statut trophique ²	Préférence pour les tourbières ³	Désignation ⁴
<i>Empetrum nigrum</i>	NI	O	P	-
<i>Empetrum nigrum</i> subsp. <i>nigrum</i>	NI			
<i>Epifagus virginiana</i>	NI			-
<i>Epigaea repens</i>	NI			-
<i>Epilobium anagallidifolium</i>				
<i>Epilobium ciliatum</i>	FACH			
<i>Epilobium ciliatum</i> subsp. <i>ciliatum</i>	FACH			-
<i>Epilobium ciliatum</i> subsp. <i>ciliatum</i> var. <i>ciliatum</i>	FACH			
<i>Epilobium ciliatum</i> subsp. <i>ciliatum</i> var. <i>ecomosum</i>	OBL			S
<i>Epilobium ciliatum</i> subsp. <i>glandulosum</i>	NI			
<i>Epilobium coloratum</i>	OBL			
<i>Epilobium hirsutum</i>	FACH			
<i>Epilobium hornemannii</i> subsp. <i>hornemannii</i>	OBL			
<i>Epilobium lactiflorum</i>				
<i>Epilobium leptophyllum</i>	OBL		P	
<i>Epilobium palustre</i>	OBL			-
<i>Epilobium</i> sp.	NI			
<i>Epilobium strictum</i>	OBL	MR	P	
<i>Epipactis helleborine</i>	NI			-
<i>Equisetum arvense</i>	NI			-
<i>Equisetum fluviatile</i>	OBL			-
<i>Equisetum palustre</i>	FACH			-
<i>Equisetum pratense</i>	FACH			-
<i>Equisetum</i> sp.	NI			-
<i>Equisetum sylvaticum</i>	FACH			-
<i>Equisetum variegatum</i>	FACH			-
<i>Equisetum variegatum</i> subsp. <i>variegatum</i>	FACH			
<i>Equisetum x litorale</i>	OBL			-
<i>Eragrostis frankii</i>	FACH			-
<i>Eragrostis hypnoides</i>	OBL			-
<i>Erigeron acris</i> var. <i>kamtschaticus</i>				
<i>Erigeron hyssopifolius</i>	FACH			-
<i>Erigeron philadelphicus</i> var. <i>provancheri</i>	FACH			M
<i>Eriocaulon aquaticum</i>	OBL			-
<i>Eriocaulon parkeri</i>	OBL			M
<i>Eriophorum angustifolium</i>	OBL	MP	P	
<i>Eriophorum angustifolium</i> subsp. <i>angustifolium</i>	OBL			-
<i>Eriophorum brachyantherum</i>				
<i>Eriophorum chamissonis</i>		O	P	
<i>Eriophorum gracile</i>	OBL	MP	P	-
<i>Eriophorum gracile</i> subsp. <i>gracile</i>	OBL			

Espèce	Statut hydrique ¹	Statut trophique ²	Préférence pour les tourbières ³	Désignation ⁴
<i>Eriophorum russeolum</i>		O	P	
<i>Eriophorum russeolum</i> subsp. <i>russeolum</i>				
<i>Eriophorum russeolum</i> var. <i>albidum</i>		O	P	
<i>Eriophorum scheuchzeri</i> subsp. <i>scheuchzeri</i>				
<i>Eriophorum</i> sp.	NI			-
<i>Eriophorum tenellum</i>	OBL	MP	P	-
<i>Eriophorum vaginatum</i>				
<i>Eriophorum vaginatum</i> subsp. <i>spissum</i>	OBL	O	P	-
<i>Eriophorum vaginatum</i> subsp. <i>spissum</i> var. <i>erubescens</i>		O	P	
<i>Eriophorum virginicum</i>	OBL	O	P	-
<i>Eriophorum viridicarinatum</i>	OBL	MI	P	-
<i>Erythronium americanum</i>	NI			-
<i>Eupatorium perfoliatum</i>	FACH			-
<i>Euphrasia randii</i>	FACH			-
<i>Euphrasia</i> sp.				
<i>Eurybia macrophylla</i>	NI			-
<i>Eurybia radula</i>	OBL	MI	P	-
<i>Euthamia graminifolia</i>				
<i>Eutrochium maculatum</i>	FACH			-
<i>Eutrochium maculatum</i> var. <i>maculatum</i>	FACH			
<i>Fagus grandifolia</i>	NI			-
<i>Fallopia cilinodis</i>	NI			-
<i>Fallopia convolvulus</i>				
<i>Festuca prolifera</i> var. <i>lasiolepis</i>				
<i>Festuca rubra</i>				
<i>Festuca</i> sp.				
<i>Filipendula rubra</i>	FACH			-
<i>Fimbristylis autumnalis</i>	OBL			S
<i>Fontinalis</i> sp.				
<i>Fragaria</i> sp.	NI			-
<i>Fragaria vesca</i> subsp. <i>americana</i>	NI			
<i>Fragaria virginiana</i>	NI			
<i>Fragaria virginiana</i> subsp. <i>virginiana</i>	NI			
<i>Fragaria virginiana</i> subsp. <i>glauca</i>	NI			
<i>Fraisier</i> sp.	NI			
<i>Framboisier</i> sp.	NI			
<i>Fraxinus americana</i>	NI			-
<i>Fraxinus nigra</i>	FACH			-
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	FACH			-
<i>Galearis rotundifolia</i>	OBL			S
<i>Galeopsis tetrahit</i>				
<i>Galium asprellum</i>	OBL			-
<i>Galium labradoricum</i>	OBL	MP	FNP	-

Espèce	Statut hydrique ¹	Statut trophique ²	Préférence pour les tourbières ³	Désignation ⁴
<i>Galium obtusum</i>	FACH			-
<i>Galium palustre</i>	FACH	MP	FNP	-
<i>Galium sp.</i>	NI			-
<i>Galium tinctorium</i>	OBL			-
<i>Galium trifidum</i>	FACH			-
<i>Galium trifidum</i> subsp. <i>trifidum</i>	FACH			
<i>Galium triflorum</i>	NI			-
<i>Gaultheria hispidula</i>	NI			-
<i>Gaultheria procumbens</i>	NI			-
<i>Gaylussacia bigeloviana</i>	OBL			M
<i>Gaylussacia baccata</i>	NI	O	FNP	-
<i>Gaylussacia dumosa</i>		O	P	
<i>Gentiana andrewsii</i>	FACH			-
<i>Gentiana clausa</i>	FACH			S
<i>Gentiana linearis</i>	OBL	MP	P	-
<i>Gentianopsis crinita</i>	FACH			S
<i>Gentianopsis virgata</i> subsp. <i>macounii</i>	OBL			M
<i>Gentianopsis virgata</i> subsp. <i>victorinii</i>	OBL			M
<i>Geocaulon lividum</i>	NI	O	FNP	-
<i>Geranium sp.</i>	NI			-
<i>Geum aleppicum</i>				
<i>Geum laciniatum</i>	FACH			-
<i>Geum macrophyllum</i>	FACH			-
<i>Geum rivale</i>	OBL			-
<i>Glaux maritima</i>	OBL			-
<i>Glyceria borealis</i>	OBL			-
<i>Glyceria canadensis</i>	OBL			-
<i>Glyceria canadensis</i> var. <i>canadensis</i>	OBL			
<i>Glyceria fluitans</i>	OBL			-
<i>Glyceria grandis</i>	OBL			-
<i>Glyceria grandis</i> var. <i>grandis</i>	OBL			
<i>Glyceria maxima</i>	OBL			-
<i>Glyceria melicaria</i>	OBL			-
<i>Glyceria septentrionalis</i>	OBL			-
<i>Glyceria sp.</i>	OBL			
<i>Glyceria striata</i>	OBL			-
<i>Gnaphalium uliginosum</i>	FACH			-
<i>Goodyera repens</i>	NI			-
<i>Goodyera sp.</i>	NI			-
<i>Gramineae sp.</i>	NI			-
<i>Gratiola aurea</i>	OBL			S
<i>Gratiola neglecta</i>	OBL			-

Espèce	Statut hydrique ¹	Statut trophique ²	Préférence pour les tourbières ³	Désignation ⁴
<i>Gymnocarpium dryopteris</i>	NI			-
<i>Gymnocarpium robertianum</i>				
<i>Halerpestes cymbalaria</i>				
<i>Hedysarum alpinum</i>				
<i>Helenium autumnale</i>	FACH			-
<i>Heracleum maximum</i>	NI			-
<i>Heteranthera dubia</i>	OBL			-
<i>Hieracium paniculatum</i>				
<i>Hieracium robinsonii</i>	FACH			S
<i>Hieracium sp.</i>	NI			-
<i>Hieracium umbellatum</i>				
<i>Hieracium vulgatum</i>				
<i>Hierochloa odorata</i>	FACH			-
<i>Hippuris vulgaris</i>	OBL			-
<i>Honckenya peploides</i>				
<i>Hordeum jubatum</i>				
<i>Huperzia appressa</i>				
<i>Huperzia lucidula</i>	NI			-
<i>Huperzia selago</i>				
<i>Hydrocharis morsus-ranae</i>	OBL			-
<i>Hydrocotyle americana</i>	OBL			-
<i>Hypericum boreale</i>	OBL			-
<i>Hypericum canadense</i>	FACH			-
<i>Hypericum ellipticum</i>	OBL			-
<i>Hypericum fraseri</i>				
<i>Hypericum kalmianum</i>	FACH			S
<i>Hypericum majus</i>	FACH			-
<i>Hypericum mutilum</i>	FACH			-
<i>Hypericum mutilum</i> subsp. <i>boreale</i>				
<i>Hypericum virginicum</i>				
<i>Hypopitys monotropa</i>	NI			-
<i>Ilex mucronata</i>	FACH	MP	P	-
<i>Ilex verticillata</i>	FACH		P	-
<i>Impatiens capensis</i>	FACH			-
<i>Impatiens pallida</i>	FACH			-
<i>Impatiens sp.</i>	NI			-
<i>Iris hookeri</i>	NI			-
<i>Iris pseudacorus</i>	OBL			-
<i>Iris versicolor</i>	OBL			-
<i>Iris virginica</i> var. <i>shrevei</i>	OBL			S
<i>Isoetes echinospora</i>	OBL			-
<i>Isoetes lacustris</i>	OBL			-
<i>Isoetes riparia</i>	OBL			-

Espèce	Statut hydrique ¹	Statut trophique ²	Préférence pour les tourbières ³	Désignation ⁴
<i>Isoetes</i> sp.	OBL			
<i>Isoetes tuckermanii</i>	OBL			S
<i>Juglans cinerea</i>	NI			S
<i>Juncus acuminatus</i>	OBL			M
<i>Juncus alpinoarticulatus</i>	OBL			-
<i>Juncus arcticus</i> subsp. <i>balticus</i>	FACH			-
<i>Juncus articulatus</i>	OBL			-
<i>Juncus balticus</i>	FACH			
<i>Juncus balticus</i> subsp. <i>littoralis</i>	FACH			
<i>Juncus biglumis</i>	FACH			
<i>Juncus brachycephalus</i>	OBL			-
<i>Juncus brevicaudatus</i>	OBL			-
<i>Juncus bufonius</i>	FACH			-
<i>Juncus canadensis</i>	OBL			-
<i>Juncus castaneus</i>	FACH			
<i>Juncus compressus</i>	FACH			-
<i>Juncus dudleyi</i>	FACH			-
<i>Juncus effusus</i>	FACH			-
<i>Juncus filiformis</i>	FACH	MP	FNP	-
<i>Juncus gerardii</i>	OBL			-
<i>Juncus longistylis</i>	FACH			S
<i>Juncus nodosus</i>	OBL			-
<i>Juncus pelocarpus</i>	OBL			-
<i>Juncus</i> sp.	NI			
<i>Juncus stygius</i>	OBL	MP	P	-
<i>Juncus stygius</i> subsp. <i>americanus</i>	OBL			
<i>Juncus subtilis</i>	OBL			-
<i>Juncus tenuis</i>	NI			
<i>Juncus torreyi</i>	FACH			-
<i>Juncus triglumis</i>	FACH			
<i>Juncus triglumis</i> subsp. <i>albescens</i>	FACH			
<i>Juncus vaseyi</i>	FACH			-
<i>Juniperus communis</i>	NI			-
<i>Juniperus communis</i> var. <i>depressa</i>	NI			
<i>Juniperus horizontalis</i>	NI			-
<i>Juniperus</i> sp.	NI			-
<i>Juniperus virginiana</i> var. <i>virginiana</i>	NI			S
<i>Justicia americana</i>	OBL			M
<i>Kalmia angustifolia</i>	NI	O	FNP	-
<i>Kalmia angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i>	NI			
<i>Kalmia polifolia</i>	OBL	O	P	-
<i>lactuca biennis</i>				

Espèce	Statut hydrique ¹	Statut trophique ²	Préférence pour les tourbières ³	Désignation ⁴
<i>Laportea canadensis</i>	FACH			-
<i>Larix decidua</i>	NI			-
<i>Larix laricina</i>	FACH	O	FNP	-
<i>Larix leptolepis</i>	NI			-
<i>Lathyrus japonicus</i>				
<i>Lathyrus palustris</i>	FACH			-
<i>Ledum groenlandicum</i>		O	FNP	
<i>Leersia oryzoides</i>	OBL			-
<i>Leersia virginica</i>	FACH			-
<i>Lemna minor</i>	OBL			-
<i>Lemna trisulca</i>	OBL			-
<i>Leucanthemum vulgare</i>	NI			-
<i>Leymus arenarius</i>				
<i>Leymus mollis</i>				
<i>Ligusticum scoticum</i>				
<i>Lilium canadense</i>	FACH			V
<i>Limonium carolinianum</i>	OBL			-
<i>Limosella australis</i>	OBL			-
<i>Lindernia dubia</i>	OBL			-
<i>Linnaea borealis</i>	NI			-
<i>Linnaea borealis</i> subsp. <i>borealis</i>	NI			
<i>Linnaea borealis</i> subsp. <i>longiflora</i>	NI			
<i>Liparis loeselii</i>	FACH			-
<i>Lipocarpha micrantha</i>	OBL			S
<i>Liseron</i> sp.				
<i>Listera auriculata</i>	FACH			-
<i>Listera australis</i>	OBL	MP	P	M
<i>Listera convallarioides</i>	FACH			-
<i>Listera cordata</i>	FACH			-
<i>Littorella americana</i>				
<i>Littorella uniflora</i>	OBL			-
<i>Littorella uniflora</i> var. <i>americana</i>	OBL			-
<i>Lobelia cardinalis</i>	OBL			-
<i>Lobelia dortmanna</i>	OBL			-
<i>Lobelia kalmii</i>	OBL			-
<i>Lonicera canadensis</i>	NI			-
<i>Lonicera hirsuta</i>	NI			-
<i>Lonicera oblongifolia</i>	OBL			-
<i>Lonicera villosa</i>	NI	MP	P	-
<i>Ludwigia palustris</i>	OBL			-
<i>Luzula parviflora</i> subsp. <i>melanocarpa</i>				
<i>Luzula parviflora</i> subsp. <i>parviflora</i>				
<i>Lycopodiella inundata</i>	OBL			-

Espèce	Statut hydrique ¹	Statut trophique ²	Préférence pour les tourbières ³	Désignation ⁴
<i>Lycopodium annotinum</i>	NI			-
<i>Lycopodium clavatum</i>	NI			-
<i>Lycopodium lagopus</i>				
<i>Lycopodium obscurum</i>	NI			-
<i>Lycopodium</i> sp.	NI			
<i>Lycopus americanus</i> var. <i>americanus</i>	OBL			-
<i>Lycopus americanus</i> var. <i>laurentianus</i>	OBL			S
<i>Lycopus asper</i>	OBL			S
<i>Lycopus europaeus</i>	OBL			-
<i>Lycopus uniflorus</i>	OBL			-
<i>Lycopus virginicus</i>	OBL			S
<i>Lysimachia borealis</i>				
<i>Lysimachia ciliata</i>	FACH			-
<i>Lysimachia hybrida</i>	OBL			S
<i>Lysimachia maritima</i>	OBL			-
<i>Lysimachia nummularia</i>	FACH			-
<i>Lysimachia terrestris</i>	OBL			-
<i>Lysimachia thyrsoflora</i>	OBL			-
<i>Lythrum salicaria</i>	FACH			-
<i>Maianthemum canadense</i>	NI			-
<i>Maianthemum canadense</i> subsp. <i>canadense</i>	NI			
<i>Maianthemum racemosum</i> subsp. <i>racemosum</i>	NI			-
<i>Maianthemum stellatum</i>	FACH			-
<i>Maianthemum trifolium</i>	OBL	MP	P	-
<i>Malaxis monophyllos</i> var. <i>brachypoda</i>	FACH			-
<i>Malaxis unifolia</i>				
<i>Malus</i> sp.	NI			-
<i>Matteuccia struthiopteris</i>	FACH			V
<i>Matteuccia struthiopteris</i> var. <i>pennsylvanica</i>				
<i>Medeola virginiana</i>	NI			-
<i>Melampyrum lineare</i>	NI			-
<i>Mentha arvensis</i>	FACH			-
<i>Mentha canadensis</i>				
<i>Mentha spicata</i>	FACH			-
<i>Menyanthes trifoliata</i>	OBL	MP	P	-
<i>Mertensia maritima</i>	FACH			-
<i>Mertensia paniculata</i>	NI			-
<i>Mimulus glabratus</i> var. <i>jamesii</i>	OBL			M
<i>Mimulus moschatus</i>	OBL			-
<i>Mimulus ringens</i>	OBL			-
<i>Mitchella repens</i>	NI			-
<i>Mitella diphylla</i>	NI			-

Espèce	Statut hydrique ¹	Statut trophique ²	Préférence pour les tourbières ³	Désignation ⁴
<i>Mitella nuda</i>	FACH			-
<i>Moehringia lateriflora</i>				
<i>Moehringia macrophylla</i>				
<i>Moneses uniflora</i>	NI			-
<i>Monotropa uniflora</i>	NI			-
<i>Montia fontana</i>	FACH			-
<i>Montia lamprosperma</i>	FACH			-
<i>Muhlenbergia glomerata</i>	FACH			-
<i>Muhlenbergia mexicana</i>	FACH			-
<i>Muhlenbergia richardsonis</i>	FACH			S
<i>Muhlenbergia sylvatica</i>	FACH			S
<i>Muhlenbergia uniflora</i>	OBL			-
<i>Myosotis laxa</i>	FACH			-
<i>Myosotis scorpioides</i>	OBL			-
<i>Myrica gale</i>	OBL	MP	FNP	-
<i>Myriophyllum sp.</i>	OBL			
<i>Myriophyllum alterniflorum</i>	OBL			-
<i>Myriophyllum farwellii</i>	OBL			-
<i>Myriophyllum heterophyllum</i>	OBL			S
<i>Myriophyllum humile</i>	OBL			S
<i>Myriophyllum sibiricum</i>	OBL			-
<i>Myriophyllum spicatum</i>	OBL			-
<i>Myriophyllum tenellum</i>	OBL			-
<i>Myriophyllum verticillatum</i>	OBL			-
<i>Nabalus altissimus</i>				
<i>Najas flexilis</i>	OBL			-
<i>Najas guadalupensis</i>	OBL			S
<i>Najas guadalupensis</i> subsp. <i>olivacea</i>	OBL			S
<i>Neottia auriculata</i>				
<i>Neottia bifolia</i>				
<i>Neottia cordata</i>				
<i>Nuphar microphylla</i>	OBL		P	-
<i>Nuphar rubrodisca</i>	OBL	O	FNP	-
<i>Nuphar variegata</i>	OBL	O	FNP	-
<i>Nymphaea leibergii</i>	OBL			-
<i>Nymphaea odorata</i>	OBL			-
<i>Nymphoides cordata</i>	OBL			-
<i>Oclemena acuminata</i>	NI			-
<i>Oclemena nemoralis</i>	OBL	MP	P	-
<i>Oenothera biennis</i>				
<i>Onoclea sensibilis</i>	FACH			
<i>Ophioglossum pusillum</i>	FACH			S
<i>Orchis rotundifolia</i>		MR	P	

Espèce	Statut hydrique ¹	Statut trophique ²	Préférence pour les tourbières ³	Désignation ⁴
<i>Oreojuncus trifidus</i>	NI			
<i>Orthilia secunda</i>	NI			-
<i>Osmorhiza claytonii</i>	NI			-
<i>Osmunda cinnamomea</i>	FACH			-
<i>Osmunda claytoniana</i>	NI			-
<i>Osmunda regalis</i>	FACH			-
<i>Osmunda regalis</i> var. <i>spectabilis</i>				
<i>Osmundastrum cinnamomeum</i>				
<i>Ostrya virginiana</i>	NI			-
<i>Oxalis montana</i>	NI			-
<i>Oxalis stricta</i>	NI			-
<i>Packera aurea</i>	FACH			-
<i>Packera indecora</i>	FACH			-
<i>Packera schweinitziana</i>	FACH			-
<i>Packera</i> sp.				
<i>Panicum dichotomiflorum</i>	FACH			-
<i>Parnassia glauca</i>	OBL			-
<i>Parnassia kotzebuei</i>	FACH			-
<i>Parnassia palustris</i>	OBL			-
<i>Parthenocissus inserta</i>	NI			-
<i>Pedicularis groenlandica</i>				
<i>Peltandra virginica</i>	OBL			S
<i>Penthorum sedoides</i>	OBL			-
<i>Persicaria amphibia</i>	OBL			-
<i>Persicaria amphibia</i> var. <i>stipulacea</i>				
<i>Persicaria arifolia</i>	OBL			-
<i>Persicaria careyi</i>	FACH			S
<i>Persicaria hydropiper</i>	OBL			-
<i>Persicaria hydropiperoides</i>	OBL			S
<i>Persicaria lapathifolia</i>	FACH			-
<i>Persicaria lapathifolia</i>				
<i>Persicaria maculosa</i>	FACH			-
<i>Persicaria pensylvanica</i>	FACH			-
<i>Persicaria punctata</i>	OBL			-
<i>Persicaria robustior</i>	OBL			S
<i>Persicaria sagittata</i>	OBL			-
<i>Petasites frigidus</i>	FACH			-
<i>Petasites frigidus</i> var. <i>palmatius</i>	FACH			-
<i>Phalaris arundinacea</i>	FACH			-
<i>Phegopteris connectilis</i>	NI			-
<i>Phleum alpinum</i>				
<i>Phlox maculata</i>	FACH			-

Espèce	Statut hydrique ¹	Statut trophique ²	Préférence pour les tourbières ³	Désignation ⁴
<i>Phragmites australis</i>	FACH			-
<i>Physocarpus opulifolius</i>	FACH			-
<i>Physostegia virginiana</i> subsp. <i>virginiana</i>	OBL			S
<i>Picea abies</i>	NI	O	FNP	-
<i>Picea glauca</i>	NI			-
<i>Picea mariana</i>	FACH			-
<i>Picea rubens</i>	NI			-
<i>Pilea fontana</i>	FACH			-
<i>Pilea pumila</i>	FACH			-
<i>Pilosella aurantiaca</i>				
<i>Pilosella caespitosa</i>				
<i>Pilosella officinarum</i>				
<i>Pinguicula villosa</i>		MP	P	
<i>Pinguicula vulgaris</i>	OBL			-
<i>Pinus banksiana</i>	NI			-
<i>Pinus resinosa</i>	NI			-
<i>Pinus rigida</i>	NI			M
<i>Pinus strobus</i>	NI			-
<i>Pinus sylvestris</i>	NI			-
<i>Piptatheropsis canadensis</i>				
<i>Piptatheropsis</i> sp.				
<i>Plantago major</i>	NI			-
<i>Plantago maritima</i>	FACH			-
<i>Platanthera aquilonis</i>	FACH			-
<i>Platanthera blephariglottis</i>		O	P	
<i>Platanthera blephariglottis</i> var. <i>blephariglottis</i>	OBL			-
<i>Platanthera clavellata</i>	FACH	MI	P	-
<i>Platanthera dilatata</i>	FACH	MI	P	-
<i>Platanthera dilatata</i> var. <i>dilatata</i>	FACH			
<i>Platanthera flava</i> var. <i>herbiola</i>	FACH			S
<i>Platanthera grandiflora</i>	FACH			-
<i>Platanthera huronensis</i>	FACH			-
<i>Platanthera hyperborea</i>		MI	P	
<i>Platanthera lacera</i>	FACH			-
<i>Platanthera obtusata</i>	FACH			-
<i>Platanthera orbiculata</i>	NI			-
<i>Platanthera psycodes</i>	FACH			-
<i>Platanthera</i> sp.	NI			-
<i>Platanthera x media</i>		MI	P	
<i>Poa alsodes</i>	FACH			-
<i>Poa annua</i>				
<i>Poa glauca</i> subsp. <i>glauca</i>				
<i>Poa palustris</i>	FACH			-

Espèce	Statut hydrique ¹	Statut trophique ²	Préférence pour les tourbières ³	Désignation ⁴
<i>Poa pratensis</i>				
<i>Poa pratensis</i> subsp. <i>alpigena</i>	FACH			-
<i>Poa pratensis</i> subsp. <i>angustifolia</i>				
<i>Poa</i> sp.				
<i>Poa trivialis</i>	FACH			-
<i>Podostemum ceratophyllum</i>	OBL			S
<i>Pogonia ophioglossoides</i>	OBL		P	-
<i>Polanisia dodecandra</i> subsp. <i>dodecandra</i>	FACH			S
<i>Polemonium vanbruntiae</i>	FACH			M
<i>Polygonatum pubescens</i>	NI			-
<i>Polygonum</i> sp.	NI			-
<i>Polypodium virginianum</i>	NI			-
<i>Polystichum acrostichoides</i>	NI			-
<i>Polystichum braunii</i>	NI			-
<i>Pontederia cordata</i>	OBL			-
<i>Populus balsamifera</i>	FACH			-
<i>Populus deltoides</i>	FACH			-
<i>Populus grandidentata</i>	NI			-
<i>Populus</i> sp.	NI			-
<i>Populus tremuloides</i>	NI			-
<i>Potamogeton alpinus</i>	OBL			
<i>Potamogeton amplifolius</i>	OBL			
<i>Potamogeton confervoides</i>	OBL			
<i>Potamogeton epihydrus</i>	OBL			-
<i>Potamogeton foliosus</i>	OBL			-
<i>Potamogeton friesii</i>	OBL			-
<i>Potamogeton gramineus</i>	OBL			-
<i>Potamogeton illinoensis</i>	OBL			S
<i>Potamogeton natans</i>	OBL			-
<i>Potamogeton nodosus</i>	OBL			-
<i>Potamogeton oakesianus</i>	OBL			-
<i>Potamogeton obtusifolius</i>	OBL			-
<i>Potamogeton perfoliatus</i>	OBL			-
<i>Potamogeton praelongus</i>	OBL			-
<i>Potamogeton pusillus</i>	OBL			
<i>Potamogeton pusillus</i> subsp. <i>gemmaiparus</i>	OBL			S
<i>Potamogeton pusillus</i> subsp. <i>pusillus</i>	OBL			-
<i>Potamogeton pusillus</i> subsp. <i>tenuissimus</i>	OBL			-
<i>Potamogeton richardsonii</i>	OBL			-
<i>Potamogeton robbinsii</i>	OBL			-
<i>Potamogeton</i> sp.	OBL			
<i>Potamogeton spirillus</i>	OBL			-

Espèce	Statut hydrique ¹	Statut trophique ²	Préférence pour les tourbières ³	Désignation ⁴
<i>Potamogeton strictifolius</i>	OBL			-
<i>Potamogeton vaseyi</i>	OBL			S
<i>Potamogeton zosteriformis</i>	OBL			-
<i>Potentilla anserina</i>	FACH			
<i>Potentilla anserina</i> subsp. <i>anserina</i>	FACH			-
<i>Potentilla fruticosa</i>		MI	FNP	
<i>Potentilla norvegica</i>	NI			-
<i>Potentilla palustris</i>	OBL			-
<i>Potentilla pensylvanica</i>				
<i>Potentilla recta</i>	NI			-
<i>Potentilla simplex</i>	NI			-
<i>Prenanthes racemosa</i>	FACH			-
<i>Prenanthes</i> sp.	NI			-
<i>Primula mistassinica</i>	FACH			-
<i>Primula</i> sp.				
<i>Primula stricta</i>				
<i>Proserpinaca palustris</i>	OBL			S
<i>Prunella vulgaris</i>	NI			-
<i>Prunus pensylvanica</i>	NI			-
<i>Prunus serotina</i>	NI			-
<i>Prunus virginiana</i>	NI			-
<i>Prunus virginiana</i> var. <i>virginiana</i>	NI			
<i>Pteridium aquilinum</i>	NI			
<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i>	NI			-
<i>Puccinellia lucida</i>	OBL			-
<i>Puccinellia maritima</i>	OBL			-
<i>Puccinellia pumila</i>	FACH			-
<i>Puccinellia tenella</i> subsp. <i>langeana</i>				
<i>Pyrola asarifolia</i>	NI			-
<i>Pyrola chlorantha</i>	NI			
<i>Pyrola elliptica</i>	NI			-
<i>Pyrola minor</i>	NI			
<i>Pyrola</i> sp.	NI			-
<i>Quercus alba</i>	NI			-
<i>Quercus bicolor</i>	FACH			S
<i>Quercus macrocarpa</i>	NI			-
<i>Quercus rubra</i>	NI			-
<i>Ranunculus abortivus</i>	FACH			-
<i>Ranunculus acris</i>	NI			-
<i>Ranunculus aquatilis</i>	OBL			
<i>Ranunculus aquatilis</i> var. <i>diffusus</i>	OBL			-
<i>Ranunculus cymbalaria</i>	OBL			-
<i>Ranunculus flabellaris</i>	OBL			S

Espèce	Statut hydrique ¹	Statut trophique ²	Préférence pour les tourbières ³	Désignation ⁴
<i>Ranunculus flammula</i>	FACH			-
<i>Ranunculus flammula</i> var. <i>reptans</i>				
<i>Ranunculus gmelinii</i>	FACH			-
<i>Ranunculus hispidus</i>	OBL			-
<i>Ranunculus hyperboreus</i>				
<i>Ranunculus lapponicus</i>	OBL	MP	P	-
<i>Ranunculus macounii</i>	OBL			-
<i>Ranunculus pallasii</i>		MP	P	
<i>Ranunculus pensylvanicus</i>	OBL			-
<i>Ranunculus sceleratus</i>	OBL			-
<i>Ranunculus</i> sp.	NI			-
<i>Ranunculus x spitzbergensis</i>		MP	P	
<i>Rhamnus alnifolia</i>	OBL	MR	P	-
<i>Rhamnus cathartica</i>	NI			-
<i>Rhinanthus minor</i> subsp. <i>groenlandicus</i>				
<i>Rhododendron canadense</i>	FACH	O	P	-
<i>Rhododendron groenlandicum</i>	OBL			-
<i>Rhus typhina</i>	NI			-
<i>Rhynchospora alba</i>	OBL	O	P	-
<i>Rhynchospora capillacea</i>	OBL			S
<i>Rhynchospora capitellata</i>	FACH			S
<i>Rhynchospora fusca</i>	OBL		P	-
<i>Ribes americanum</i>	FACH			-
<i>Ribes cynosbati</i>	NI			-
<i>Ribes glandulosum</i>	FACH			-
<i>Ribes hirtellum</i>	NI			-
<i>Ribes lacustre</i>	FACH			-
<i>Ribes triste</i>	OBL			-
<i>Rorippa amphibia</i>	OBL			-
<i>Rorippa aquatica</i>	OBL			S
<i>Rorippa islandica</i>				
<i>Rorippa nasturtium-aquaticum</i>	OBL			-
<i>Rorippa palustris</i>	FACH			-
<i>Rorippa sylvestris</i>	FACH			-
<i>Rorippa</i> sp.				
<i>Rosa acicularis</i>	NI			-
<i>Rosa nitida</i>	FACH	MI	P	-
<i>Rosa palustris</i>	OBL			-
<i>Rosa acicularis</i> subsp. <i>sayi</i>				
<i>Rubus xparacaulis</i>				
<i>Rubus allegheniensis</i>	NI			-
<i>Rubus arcticus</i> subsp. <i>acaulis</i>		MI	P	

Espèce	Statut hydrique ¹	Statut trophique ²	Préférence pour les tourbières ³	Désignation ⁴
<i>Rubus chamaemorus</i>	FACH	MI	P	-
<i>Rubus hispidus</i>	FACH			-
<i>Rubus idaeus</i>	NI			-
<i>Rubus idaeus</i> subsp. <i>strigosus</i>				
<i>Rubus occidentalis</i>	NI			-
<i>Rubus odoratus</i>	NI			-
<i>Rubus pubescens</i>	FACH			-
<i>Rubus setosus</i>	FACH			-
<i>Rudbeckia laciniata</i>	FACH			-
<i>Rumex acetosa</i>				
<i>Rumex britannica</i>	OBL			-
<i>Rumex crispus</i>				
<i>Rumex fueginus</i>	FACH			-
<i>Rumex occidentalis</i>	OBL			-
<i>Rumex orbiculatus</i>	OBL			-
<i>Rumex pallidus</i>	FACH			-
<i>Rumex</i> sp.	NI			-
<i>Rumex triangulivalvis</i>	FACH			-
<i>Rumex verticillatus</i>	OBL			-
<i>Ruppia maritima</i>	OBL			-
<i>Sagina nodosa</i>	FACH			-
<i>Sagina procumbens</i>	FACH			-
<i>Sagittaria cuneata</i>	OBL			-
<i>Sagittaria graminea</i>	OBL			-
<i>Sagittaria latifolia</i>	OBL			-
<i>Sagittaria montevidensis</i> subsp. <i>spongiosa</i>	OBL			M
<i>Sagittaria rigida</i>	OBL			-
<i>Salicornia depressa</i>	OBL			-
<i>Salicornia maritima</i>	OBL			-
<i>Salix alba</i>	FACH			-
<i>Salix amygdaloides</i>	FACH			-
<i>Salix arctophila</i>		MR	P	
<i>Salix argyrocarpa</i>				
<i>Salix ballii</i>				
<i>Salix bebbiana</i>	FACH			-
<i>Salix cordata</i>	FACH			-
<i>Salix discolor</i>	FACH			-
<i>Salix eriocephala</i>	FACH			-
<i>Salix exigua</i>	FACH			-
<i>Salix glauca</i> var. <i>cordifolia</i>				
<i>Salix humilis</i>				
<i>Salix humilis</i> var. <i>humilis</i>				
<i>Salix interior</i>	FACH			-

Espèce	Statut hydrique ¹	Statut trophique ²	Préférence pour les tourbières ³	Désignation ⁴
<i>Salix lucida</i>	FACH			-
<i>Salix myricoides</i>				
<i>Salix nigra</i>	OBL			-
<i>Salix pedicellaris</i>	OBL	MR	P	-
<i>Salix pellita</i>	OBL			-
<i>Salix petiolaris</i>	OBL			-
<i>Salix planifolia</i>				
<i>Salix pyrifolia</i>	FACH			-
<i>Salix sericea</i>	OBL			-
<i>Salix serissima</i>	OBL			-
<i>Salix sp.</i>	NI			-
<i>Salix vestita</i>				
<i>Salix x fragilis</i>	FACH			-
<i>Salix x rubens</i>	FACH			-
<i>Sambucus canadensis</i>	FACH			-
<i>Sambucus racemosa</i> subsp. <i>pubens</i>	NI			-
<i>Sambucus racemosa</i> subsp. <i>pubens</i> var. <i>pubens</i>	NI			
<i>Samolus floribundus</i>	OBL			S
<i>Samolus parviflorus</i>	OBL			S
<i>Sanguinaria canadensis</i>	NI			V
<i>Sanguisorba canadensis</i>	FACH			-
<i>Sapin baumier</i>				
<i>Sarracenia purpurea</i>	OBL	O	P	-
<i>Sarracenia purpurea</i> subsp. <i>purpurea</i>	OBL	O	P	
<i>Saururus cernuus</i>	OBL			M
<i>Saxifraga paniculata</i> subsp. <i>neogaea</i>				
<i>Sceptridium multifidum</i>				
<i>Scheuchzeria palustris</i>	OBL	O	P	-
<i>Schizachne purpurascens</i>				
<i>Schizachne purpurascens</i> subsp. <i>purpurascens</i>				
<i>Schoenoplectus acutus</i>	OBL			-
<i>Schoenoplectus heterochaetus</i>	OBL			S
<i>Schoenoplectus pungens</i>	OBL			-
<i>Schoenoplectus purshianus</i> var. <i>purshianus</i>	OBL			M
<i>Schoenoplectus smithii</i>	OBL			-
<i>Schoenoplectus subterminalis</i>	OBL	O	P	-
<i>Schoenoplectus tabernaemontani</i>	OBL			-
<i>Schoenoplectus torreyi</i>	OBL			-
<i>Scirpe sp.</i>				
<i>Scirpus atrocinctus</i>	OBL			-
<i>Scirpus atrovirens</i>	FACH			-
<i>Scirpus cespitosus</i>		O	P	

Espèce	Statut hydrique ¹	Statut trophique ²	Préférence pour les tourbières ³	Désignation ⁴
<i>Scirpus cyperinus</i>	OBL			-
<i>Scirpus cyperinus</i>				
<i>Scirpus hattorianus</i>	FACH			-
<i>Scirpus microcarpus</i>	OBL			-
<i>Scirpus pedicellatus</i>	OBL			-
<i>Scirpus pendulus</i>	FACH			-
<i>Scutellaria galericulata</i>				
<i>Scutellaria galericulata</i> var. <i>pubescens</i>	OBL			-
<i>Scutellaria lateriflora</i>	OBL			-
<i>Selaginella eclipses</i>	FACH			S
<i>Selaginella selaginoides</i>	FACH	MI	P	-
<i>Senecio</i> sp.	NI			-
<i>Shepherdia canadensis</i>	NI			-
<i>Sibbaldia tridentata</i>				
<i>Sicyos angulatus</i>	FACH			-
<i>Sisyrinchium angustifolium</i>	FACH			S
<i>Sium suave</i>	OBL			-
<i>Solanum dulcamara</i>				
<i>Solidago canadensis</i>				
<i>Solidago canadensis</i> var. <i>canadensis</i>				
<i>Solidago flexicaulis</i>	NI			-
<i>Solidago gigantea</i>	FACH			-
<i>Solidago hispida</i>	NI			-
<i>Solidago juncea</i>				
<i>Solidago macrophylla</i>	NI			-
<i>Solidago multiradiata</i>				
<i>Solidago oligo</i>				
<i>Solidago rugosa</i>	NI			-
<i>Solidago rugosa</i> subsp. <i>rugosa</i> var. <i>rugosa</i>	NI			
<i>Solidago rugosa</i> subsp. <i>rugosa</i>	NI			
<i>Solidago sempervirens</i>	FACH			-
<i>Solidago</i> sp.	NI			-
<i>Solidago uliginosa</i>	OBL	MI	P	-
<i>Sonchus arvensis</i>				
<i>Sonchus arvensis</i> subsp. <i>uliginosus</i>				
<i>Sonchus asper</i>				
<i>Sonchus</i> sp.	NI			-
<i>Sorbus americana</i>	NI			-
<i>Sorbus decora</i>	NI			-
<i>Sparganium americanum</i>	OBL			-
<i>Sparganium androcladum</i>	OBL			S
<i>Sparganium angustifolium</i>	OBL			-
<i>Sparganium emersum</i>	OBL			-

Espèce	Statut hydrique ¹	Statut trophique ²	Préférence pour les tourbières ³	Désignation ⁴
<i>Sparganium eurycarpum</i>	OBL			-
<i>Sparganium fluctuans</i>	OBL			-
<i>Sparganium glomeratum</i>	OBL			S
<i>Sparganium hyperboreum</i>	OBL	MP	P	-
<i>Sparganium minimum</i>	OBL			-
<i>Sparganium natans</i>	OBL			-
<i>Sparganium sp.</i>	OBL			
<i>Spartina alterniflora</i>	OBL			-
<i>Spartina patens</i>	OBL			-
<i>Spartina pectinata</i>	OBL			-
<i>Spergularia canadensis</i>	OBL			-
<i>Spergularia salina</i>	OBL			-
<i>Sphagnum sp.</i>	FACH			-
<i>Sphenopholis intermedia</i>	FACH			-
<i>Spiraea alba</i> var. <i>alba</i>	FACH			-
<i>Spiraea alba</i> var. <i>latifolia</i>	FACH			-
<i>Spiraea latifolia</i>	FACH			
<i>Spiraea tomentosa</i>	FACH			-
<i>Spiranthes cernua</i>	FACH			-
<i>Spiranthes lucida</i>	OBL			S
<i>Spiranthes romanzoffiana</i>	FACH			-
<i>Spirodela polyrhiza</i>	OBL			-
<i>Stachys hispida</i>	OBL			-
<i>Stachys palustris</i>	OBL			-
<i>Stachys tenuifolia</i>	OBL			-
<i>Stellaria alsine</i>	OBL			S
<i>Stellaria borealis</i>	OBL			-
<i>Stellaria borealis</i> subsp. <i>borealis</i>	OBL			
<i>Stellaria humifusa</i>				
<i>Stellaria longifolia</i>				
<i>Stellaria sp.</i>	NI			-
<i>Stereocaulon paschale</i>	NI			-
<i>Stereocaulon sp.</i>	NI			
<i>Streptopus amplexifolius</i>	NI			-
<i>Streptopus lanceolatus</i> var. <i>lanceolatus</i>	NI			-
<i>Strophostyles helvola</i>	FACH			S
<i>Stuckenia filiformis</i>	OBL			-
<i>Stuckenia pectinata</i>	OBL			-
<i>Stuckenia sp.</i>				
<i>Stuckenia vaginata</i>	OBL			-
<i>Suaeda calceoliformis</i>	OBL			-
<i>Suaeda maritima</i>	OBL			-

Espèce	Statut hydrique ¹	Statut trophique ²	Préférence pour les tourbières ³	Désignation ⁴
<i>Subularia aquatica</i>	OBL			-
<i>Symphyotrichum anticostense</i>	FACH			M
<i>Symphyotrichum boreale</i>	OBL			-
<i>Symphyotrichum lanceolatum</i>	FACH			-
<i>Symphyotrichum laurentianum</i>	FACH			M
<i>Symphyotrichum novi-belgii</i>	FACH			-
<i>Symphyotrichum puniceum</i>				
<i>Symphyotrichum puniceum</i> var. <i>puniceum</i>	FACH			-
<i>Symphyotrichum robynsonianum</i>	FACH			S
<i>Symphyotrichum tradescantii</i>	FACH			-
<i>Symplocarpus foetidus</i>	OBL			-
<i>Taraxacum lapponicum</i>				
<i>Taraxacum latilobum</i>				
<i>Taraxacum officinale</i>	NI			-
<i>Taraxacum palustre</i>	FACH			-
<i>Taraxacum</i> sp.				
<i>Taxus canadensis</i>	NI			-
<i>Tephroseris palustris</i>	FACH			-
<i>Teucrium canadense</i>	FACH			-
<i>Thalictrum dioicum</i>	NI			-
<i>Thalictrum pubescens</i>	FACH			-
<i>Thelypteris noveboracensis</i>	NI			-
<i>Thelypteris palustris</i>	OBL			-
<i>Thelypteris palustris</i> var. <i>pubescens</i>	OBL			
<i>Thelypteris simulata</i>	OBL		P	M
<i>Thuja occidentalis</i>	FACH			-
<i>Tiarella cordifolia</i>	NI			-
<i>Tilia americana</i>	NI			-
<i>Tillaea aquatica</i>	OBL			-
<i>Tofieldia pusilla</i>				
<i>Torreyochloa pallida</i>				
<i>Torreyochloa pallida</i> var. <i>fernaldii</i>	OBL			-
<i>Torreyochloa pallida</i> var. <i>pallida</i>	OBL			S
<i>Toxicodendron radicans</i>	NI			-
<i>Toxicodendron vernix</i>	OBL		P	S
<i>Trapa natans</i>	OBL			-
<i>Triadenum fraseri</i>	OBL			-
<i>Triadenum virginicum</i>	OBL			S
<i>Triantha glutinosa</i>	FACH			-
<i>Trichophorum alpinum</i>	OBL	MI	P	-
<i>Trichophorum cespitosum</i>	OBL	O	P	-
<i>Trichophorum clintonii</i>	OBL			S
<i>Trientalis borealis</i>	NI			-

Espèce	Statut hydrique ¹	Statut trophique ²	Préférence pour les tourbières ³	Désignation ⁴
<i>Trifolium</i> sp.	NI			-
<i>Triglochin gaspensis</i>	OBL			-
<i>Triglochin maritima</i>	OBL	MR	P	-
<i>Triglochin palustris</i>	OBL			-
<i>Triglochin</i> sp.				
<i>Trillium cernuum</i>	NI			-
<i>Trillium erectum</i>	NI			-
<i>Trillium grandiflorum</i>	NI			V
<i>Trillium undulatum</i>	NI			-
<i>Trisetum melicoides</i>	FACH			-
<i>Trisetum spicatum</i>				
<i>Tsuga canadensis</i>	NI			-
<i>Tussilago farfara</i>				
<i>Typha angustifolia</i>	OBL			-
<i>Typha latifolia</i>	OBL			-
<i>Typha</i> x <i>glauc</i> a	OBL			-
<i>Ulmus americana</i>	FACH			-
<i>Ulmus rubra</i>	NI			-
<i>Ulmus thomasii</i>	NI			M
<i>Umbilicaria</i> sp.				
<i>Urtica dioica</i>	FACH			-
<i>Urtica dioica</i> subsp. <i>gracilis</i>				
<i>Utricularia cornuta</i>	OBL	O	P	-
<i>Utricularia geminiscapa</i>	OBL	O	P	S
<i>Utricularia gibba</i>	OBL			S
<i>Utricularia intermedia</i>	OBL	MP	P	-
<i>Utricularia macrorhiza</i>	OBL			-
<i>Utricularia minor</i>	OBL	MP	P	-
<i>Utricularia ochroleuca</i>	OBL	MP	P	-
<i>Utricularia purpurea</i>	OBL			-
<i>Utricularia resupinata</i>	OBL			S
<i>Utricularia vulgaris</i>				
<i>Utricularia vulgaris</i> subsp. <i>macrorhiza</i>	OBL			
<i>Uvularia grandiflora</i>	NI			V
<i>Uvularia sessilifolia</i>	NI			-
<i>Vaccinium angustifolium</i>	NI	O	FNP	-
<i>Vaccinium boreale</i>				
<i>Vaccinium caespitosum</i>	NI			-
<i>Vaccinium corymbosum</i>	FACH	O	P	-
<i>Vaccinium macrocarpon</i>	OBL	O	P	-
<i>Vaccinium myrtilloides</i>	NI	O	FNP	-
<i>Vaccinium oxycocc</i> os	OBL	O	P	-

Espèce	Statut hydrique ¹	Statut trophique ²	Préférence pour les tourbières ³	Désignation ⁴
<i>Vaccinium uliginosum</i>	NI			-
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	NI			-
<i>Vahlodea atropurpurea</i>				
<i>Valeriana dioica</i>				
<i>Valeriana dioica</i> subsp. <i>sylvatica</i>				
<i>Valeriana uliginosa</i>	OBL	MI	P	V
<i>Vallisneria americana</i>	OBL			-
<i>Veratrum viride</i>	FACH			-
<i>Veratrum viride</i> var. <i>viride</i>	FACH			
<i>Verbena hastata</i>	FACH			-
<i>Veronica americana</i>	OBL			-
<i>Veronica anagallis-aquatica</i>	OBL			S
<i>Veronica beccabunga</i>	OBL			-
<i>Veronica officinalis</i>	NI			-
<i>Veronica scutellata</i>	OBL			
<i>Veronica wormskjoldii</i>				
<i>Viburnum edule</i>	FACH			-
<i>Viburnum lantanoïdes</i>	NI			-
<i>Viburnum nudum</i> var. <i>cassinoides</i>	FACH	MP	P	-
<i>Viburnum opulus</i> subsp. <i>trilobum</i> var. <i>americanum</i>	FACH			-
<i>Viburnum opulus</i> subsp. <i>trilobum</i>	FACH			
<i>Viburnum recognitum</i>	FACH			S
<i>Vicia cracca</i>	NI			-
<i>Viola affinis</i>	FACH			S
<i>Viola blanda</i>	FACH			-
<i>Viola canadensis</i>	NI			-
<i>Viola cucullata</i>	FACH			-
<i>Viola labradorica</i>	NI			
<i>Viola lanceolata</i>	OBL			-
<i>Viola macloskeyi</i>	OBL	MP	FNP	-
<i>Viola nephrophylla</i>	FACH			-
<i>Viola palustris</i>	FACH			-
<i>Viola pubescens</i> var. <i>pubescens</i>	NI			-
<i>Viola renifolia</i>				
<i>Viola</i> sp.	NI			-
<i>Vitis riparia</i>	FACH			-
<i>Waldsteinia fragarioides</i> subsp. <i>fragarioides</i>	NI			-
<i>Wolffia borealis</i>	OBL			S
<i>Wolffia columbiana</i>	OBL			-
<i>Woodsia alpina</i>	NI			
<i>Woodsia ilvensis</i>	NI			
<i>Woodwardia virginica</i>	OBL		P	S
<i>Xyris montana</i>	OBL	MI	P	-

Espèce	Statut hydrique ¹	Statut trophique ²	Préférence pour les tourbières ³	Désignation ⁴
<i>Zannichellia palustris</i>	OBL			-
<i>Zizania aquatica</i>	OBL			S
<i>Zizania palustris</i>	OBL			-
<i>Zostera marina</i>	OBL			-

¹ Modifié de Bazoge et al. (2014); NI : non indicatrices; FACH : facultative des milieux humides; OBL : obligée des milieux humides

² Statut trophique (selon Payette et Rochefort 2001); M : minérotrophe; O : ombrotrophe; I : intermédiaire; P : pauvre

³ Préférences pour les tourbières (selon Payette et Rochefort 2001); P : préférentiel; FNP : fréquent mais non préférentiel

⁴ Désignation : S : susceptible; M : Menacée; V : vulnérable

ANNEXES

B LISTE DES ESPÈCES EXOTIQUES ET ENVAHISSANTES

Annexe B. Liste des espèces exotiques et envahissantes

Catégorie	Nom latin	Nom français
Espèces présentes au Québec	<i>Acer negundo</i>	érable à Giguère
	<i>Acer platanoides</i>	érable de Norvège
	<i>Aegopodium podagraria</i>	égopode podagraire
	<i>Alliaria petiolata</i>	alliaire officinale
	<i>Angelica sylvestris</i>	angélique sauvage
	<i>Anthriscus sylvestris</i>	anthrisque des bois
	<i>Bromus inermis</i>	brome inerme
	<i>Butomus umbellatus</i>	butome à ombelle
	<i>Cardamine pratensis</i>	cardamine des prés
	<i>Celastrus orbiculatus</i>	célastre asiatique
	<i>Cynanchum louiseae</i>	dompte-venin noir
	<i>Cynanchum rossicum</i>	dompte-venin de Russie
	<i>Eriochloa villosa</i>	éριοchloé velue
	<i>Euphorbia esula</i>	euphorbe ésule
	<i>Fallopia japonica</i> var. <i>japonica</i>	renouée du Japon
	<i>Fallopia sachalinensis</i>	renouée de Sakhaline
	<i>Fallopia xbohemica</i>	renouée de Bohème
	<i>Frangula alnus</i>	nerprun bourdaine
	<i>Galium mollugo</i>	gaillet mollugine
	<i>Glyceria maxima</i>	glycérie aquatique
	<i>Helianthus tuberosus</i>	topinambour
	<i>Heracleum mantegazzianum</i>	berce du Caucase
	<i>Hesperis matronalis</i>	julienne des dames
	<i>Hydrocharis morsusrae</i>	hydrocharide grenouillette
	<i>Impatiens glandulifera</i>	impatiente glanduleuse
	<i>Iris pseudacorus</i>	iris faux-acore
	<i>Lysimachia nummularia</i>	lysimaque nummulaire
	<i>Lythrum salicaria</i>	salicaire commune
	<i>Miscanthus sacchariflorus</i>	miscanthus commun
	<i>Myosotis scorpioides</i>	myosotis scorpioïde
	<i>Myriophyllum spicatum</i>	myriophylle à épi
	<i>Nasturtium officinale</i>	cresson de fontaine
	<i>Nymphoides peltata</i>	faux-nymphéa pelté
	<i>Pastinaca sativa</i>	panais sauvage
	<i>Petasites japonicus</i>	pétasite du Japon
	<i>Phalaris arundinacea</i>	alpiste roseau
	<i>Phragmites australis</i> subsp. <i>australis</i>	roseau commun
	<i>Potamogeton crispus</i>	potamot crépu
	<i>Rhamnus cathartica</i>	nerprun cathartique
	<i>Rorippa amphibia</i>	rorippe amphibie
	<i>Saponaria officinalis</i>	saponaire officinale
	<i>Trapa natans</i>	châtaigne d'eau
	<i>Vinca minor</i>	petite pervenche

Catégorie	Nom latin	Nom français
Espèces aux portes du Québec	<i>Cabomba caroliniana</i>	cabomba de Caroline
	<i>Egeria densa</i>	élodée dense
	<i>Eichhornia crassipes</i>	Jacinthe d'eau
	<i>Hydrilla verticillata</i>	hydrille verticillé
	<i>Myriophyllum aquaticum</i>	myriophylle aquatique
	<i>Najas minor</i>	petite naïade
	<i>Pistia stratiotes</i>	laitue d'eau
	<i>Pueraria montana</i>	kudzu
	<i>Salvinia spp.</i>	-
	<i>Stratiotes aloides</i>	aloès d'eau
	<i>Tamarix ramosissima</i>	tamaris

ANNEXE

12

PROGRAMME DE
COMPENSATION POUR
L'HABITAT DU POISSON

MINÉRAI DE FER QUÉBEC

PROGRAMME DE COMPENSATION POUR L'HABITAT DU POISSON EN VERTU DU REMMMD

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

RÉF. WSP : 181-03709-01

DATE : MAI 2019





MINERAI DE FER QUÉBEC

PROGRAMME DE COMPENSATION POUR L'HABITAT DU POISSON EN VERTU DU REMMMD

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

RÉF. WSP : 181-03709-01
DATE : MAI 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

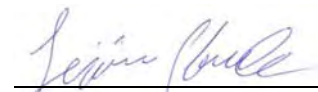
SIGNATURES

PRÉPARÉ PAR



Tommy Larouche, biologiste M. Sc.

RÉVISÉ PAR



Jérôme Plourde, biologiste M. Sc.



Michel La Haye, ichtyologiste M. Sc

Le présent rapport a été préparé par WSP pour le compte de Minéral 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'entière 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

MINÉRAI 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.
Révision	Luc Lamontagne, biologiste B. Sc. Louis Belzile, biologiste M. Sc. Alain Chabot, directeur de projet Environnement
Coordination et rédaction	Jérôme Plourde, biologiste M. Sc.
Rédaction et travaux de terrain	Tommy Larouche, biologiste M. Sc.
Collaboration	Michel Dolbec, ingénieur François Groux, ingénieur Patrick Béland, ingénieur Pierre-Olivier Maltais, ingénieur Serge Laforce, ingénieur Christine Martineau, biologiste M. Sc. Gino Beauchamp, géomorphologue M. Sc. Alexandra Bouchard-Tremblay, ingénieure Alexandre Audet-Bouchard, ingénieur Patrick Audet, technicien dessinateur
Travaux de terrain	Stéphane Geissel, technicien de la faune Nicolas Rathé, technicien de la faune Julien Tremblay, technicien de la faune Benoit Chabot, technicien relevé hydraulique Alexandre Paradis, technicien en hydrométrie
Cartographie	Martine Leclair, technicienne en cartographie Valérie Venne, technicienne en cartographie Félix-Antoine Audet, géomaticien M. Sc.
Infographie	Alain Lemay, cartographe
Secrétariat	Nancy Imbeault

NATION INNUE MATIMEKUSH-LAC JOHN

Consultant indépendant et réviseur externe	Michel La Haye, ichtyologiste M. Sc.
Gardien du Territoire	Conrad André
Utilisateur traditionnel du Territoire	André Ambroise
Conseillers	Noël André Pako Vachon
Chef	Tshani Ambroise

Référence à citer :

WSP. 2019. *Programme de compensation pour l'habitat du poisson en vertu du REMMMD - Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles à la mine de fer du lac Bloom*. Rapport produit pour Minerais de fer Québec. 133 p. et annexes.

AVANT-PROPOS

Le présent document constitue le plan de compensation conceptuel élaboré afin de contrebalancer la perte d'habitat du poisson résultant du projet d'augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles à la mine de fer du lac Bloom. Il s'agit ici de la première version du plan compensatoire qui sera ultimement présenté à la ministre d'Environnement et Changements climatique Canada (ECCC) afin d'obtenir l'approbation d'utiliser certains lacs et cours d'eau en tant que dépôt de résidus miniers.

Ce rapport constitue une première approche auprès des autorités fédérales et ne représente donc pas la version définitive du plan de compensation. Ce document doit plutôt être considéré comme un document de travail permettant d'orienter les discussions entre les différents intervenants au projet (propriétaire de la mine, WSP, instances gouvernementales fédérales et provinciales, communautés autochtones). À ce stade-ci, l'objectif du rapport est de présenter les différents projets de compensation avec un niveau de détail permettant leur analyse tout en offrant également la flexibilité nécessaire pour faire évoluer les concepts préliminaires vers des concepts finaux. Certains projets sont issus d'une problématique documentée depuis plusieurs années, alors que pour d'autres projets, les études ont débuté plus récemment. Les concepts sont donc préliminaires et seront améliorés autant par la réalisation de campagnes d'échantillonnage additionnelles que par l'intégration des connaissances des intervenants impliqués.

L'élaboration du présent document s'appuie sur une démarche innovante en termes de partenariat autochtone. En effet, la Nation innue de Matimekush-Lac John (NIMLJ) a été impliquée dès le début des travaux pour la sélection des sites de compensation potentiels. Celle-ci est située dans la région de la Côte-Nord à proximité de la ville de Schefferville qui fait partie du même bassin versant que la majeure partie des habitats touchés par le projet. En raison de l'exploitation minière intensive qui a eu lieu dans le passé et du contexte socioéconomique, le territoire près de Schefferville présente de nombreux habitats du poisson pouvant être améliorés. La démarche utilisée pour l'implication de la NIMLJ dans le plan de compensation revêt d'une grande originalité. Minerai de fer Québec, par l'entremise d'un consultant indépendant, a présenté aux membres de la NIMLJ les exigences réglementaires fédérales et provinciales concernant la réalisation de projets de compensation. Ensuite, les membres ont été invités à proposer des projets potentiels en fonction de leurs priorités de restauration locales. En parallèle, le plan de compensation a été élaboré par WSP puis présenté et complètement révisé par la NIMLJ afin de s'assurer que les projets cadrent avec les attentes de la NIMLJ. La suite des travaux sur le terrain ainsi que la conception des aménagements seront réalisées sous la forme d'un partenariat entre les membres de la communauté, M. Michel La Haye (consultant indépendant), WSP et Minerai de fer Québec. À notre connaissance, cette approche en partenariat est unique au Québec.

La communauté innue de Uashat mak Mani-Utenam (ITUM) a quant à elle été consultée durant le processus d'élaboration de ce plan compensatoire. Cette approche a permis à MFQ d'être informée sur des projets potentiels que la communauté ITUM souhaiterait voir se réaliser. Ceci a également donné l'occasion de lui présenter les pistes de compensation identifiées par l'équipe de réalisation du projet et ainsi recueillir les commentaires d'ITUM sur ces pistes afin d'ajuster l'approche proposée, le cas échéant.



TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION.....	1
2	ESTIMATION DES PERTES D'HABITATS.....	5
3	RECHERCHE DE SITES DE COMPENSATION.....	13
3.1	Analyse de la documentation disponible	13
3.2	Implication des communautés autochtones	13
3.3	Présélection de sites de compensation.....	14
3.4	Validation sur le terrain	17
3.4.1	Première campagne : Baie-Comeau et les environs	17
3.4.2	Deuxième campagne : Fermont et les environs	17
3.4.3	Troisième campagne : Pourvoirie Essipit.....	18
3.4.4	Quatrième campagne : Sites proposés par la Sépaq	18
4	MÉTHODE D'ÉVALUATION DES GAINS.....	23
4.1	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	23
4.2	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats.....	24
4.3	Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel	24
5	PROJETS POTENTIELS	29
5.1	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	29
5.2	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats.....	33
5.3	Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel	41
5.4	Sites retenus	45
6	PROJET N° 1 - AMÉNAGEMENTS MULTISPÉCIFIQUES DANS LE RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE COMPRIS ENTRE LES LACS DAVIAULT ET CARHEIL.....	47
6.1	Description du projet	47
6.1.1	Objectifs.....	48
6.1.2	Description du site	48
6.1.3	Aménagements proposés	56
6.1.4	Gain d'habitat	73
6.2	Programme de suivi	75

6.3	Échéancier	76
7	PROJET N° 2 – RÉFECTION DE PONCEAUX INFRANCHISSABLES DANS LA RÉGION DE SCHEFFERVILLE.....	77
7.1	Description du projet	77
7.1.1	Description du site	77
7.1.2	Objectifs.....	83
7.1.3	Aménagements proposés	83
7.1.4	Gain d'habitat	86
7.2	Programme de suivi	87
7.3	Échéancier	87
8	PROJET N° 3 - REHAUSSEMENT DU LAC À LA LOUTRE ET INSTALLATION D'UNE PASSE MIGRATOIRE	89
8.1	Description du projet	89
8.1.1	Description du site	93
8.1.2	Objectifs.....	96
8.1.3	Aménagements proposés	96
8.1.4	Gain d'habitat	97
8.2	Programme de suivi	98
8.3	Échéancier	99
9	PROJET N° 4 – REHAUSSEMENT DES NIVEAUX D'EAU AUX LACS DES PETITS ESCOUMINS ET ELLEN	101
9.1	Description du projet	101
9.1.1	Description du site	103
9.1.2	Objectifs.....	109
9.1.3	Aménagements proposés	109
9.1.4	Gain d'habitat	111
9.2	Programme de suivi	111
9.3	Échéancier	112
10	PROJET N° 5 – AMÉLIORATION DE LA MONTAISON DU SAUMON ATLANTIQUE SUR LA RIVIÈRE NABISIPI.....	113
10.1	Description du projet	113
10.1.1	Description du site	113
10.1.2	Objectifs.....	118
10.1.3	Aménagements proposés	118
10.1.4	Gain d'habitat	120

10.2	Programme de suivi	121
10.3	Échéancier	121
11	SOMMAIRE DES PERTES ET GAINS D'HABITAT	123
12	COÛT DE MISE EN ŒUVRE.....	125
13	CONCLUSION	127
	RÉFÉRENCES	129

TABLEAUX

TABLEAU 2-1.	ESTIMATION DES PERTES D'HABITATS DU POISSON ET DES ESPÈCES AFFECTÉES PAR LES RÉSIDUS MINIER DANS LE SECTEUR DU PARC À RÉSIDUS	5
TABLEAU 2-2.	ESTIMATION DES PERTES D'HABITATS DU POISSON ET DES ESPÈCES AFFECTÉES PAR LES RÉSIDUS MINIER DANS LE SECTEUR DE LA HALDE À STÉRILES.....	7
TABLEAU 3-1.	INTERVENANTS CONTACTÉS DANS LE CADRE DES RECHERCHES DE SITES DE COMPENSATION.....	15
TABLEAU 4-1.	MÉTHODE DE CALCUL UTILISÉE POUR ÉVALUER LE GAIN D'HABITAT POUR UN PROJET VISANT L'AMÉLIORATION DE LA FRANCHISSABILITÉ D'UN OBSTACLE NATUREL OU ARTIFICIEL	25
TABLEAU 4-2.	CLÉ HABITAT-ESPÈCE POUR LE CALCUL DE L'HABITAT PRÉFÉRENTIEL DANS LES COURS D'EAU	27
TABLEAU 5-1.	ÉVALUATION DU SITE AU BARRAGE ANTRIM (N° 88)	29
TABLEAU 5-2.	ÉVALUATION DU SITE AU LAC VARIN (N° 91).....	30
TABLEAU 5-3.	ÉVALUATION DU SITE AU LAC PASCAL (N° 93)	30
TABLEAU 5-4.	ÉVALUATION DU SITE AU LAC NICABAU (N° 102)	31
TABLEAU 5-5.	ÉVALUATION DES SITES À LA POURVOIRIE ESSIPIT (N°s 114, 115, 116, 117 ET 129)	31
TABLEAU 5-6.	ÉVALUATION DU SITE AU LAC DES PETITS ESCOUMINS (N° 118).....	32
TABLEAU 5-7.	ÉVALUATION DU SITE AU LAC SAVANE (N° 125)	32
TABLEAU 5-8.	ÉVALUATION DU SITE AU LAC POLETTE (N° 127)	33
TABLEAU 5-9.	ÉVALUATION DU SITE AU LAC INUKSHUK (N° 4)	33
TABLEAU 5-10.	ÉVALUATION DES SITES DANS LE RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE DU LAC LA COSA (N°s 5, 7, 8, 11 ET 17).....	34
TABLEAU 5-11.	ÉVALUATION DU SITE AU LAC DENAULT (N° 9)	34
TABLEAU 5-12.	ÉVALUATION DU SITE AU LAC PEARCE (N° 20)	35
TABLEAU 5-13.	ÉVALUATION DU SITE AU TRIBUTAIRE DU LAC DAVIAULT (N° 29) ET DANS L'ÉMISSAIRE DU LAC DAVIAULT (N° 37)	35

TABLEAU 5-14.	ÉVALUATION DU SITE AU LAC DAVIAULT (N° 33)	36
TABLEAU 5-15.	ÉVALUATION DU SITE DANS L'ÉMISSAIRE DU LAC DAIGLE (N° 34)	36
TABLEAU 5-16.	ÉVALUATION DU SITE DANS LE SECTEUR DE LA « MINE DES CHINOIS » (N° 36)	37
TABLEAU 5-17.	ÉVALUATION DU SITE AU LAC EN CROISSANT (N° 38)	37
TABLEAU 5-18.	ÉVALUATION DU SITE AU LAC MOIRÉ (N° 39)	38
TABLEAU 5-19.	ÉVALUATION DU SITE DANS L'ÉMISSAIRE DU LAC DES HUARDS (N° 41)	38
TABLEAU 5-20.	ÉVALUATION DU SITE AU LAC DES HUARDS (N° 43)	39
TABLEAU 5-21.	ÉVALUATION DU SITE DANS L'ÉMISSAIRE DU LAC LOW BALL (N° 63)	39
TABLEAU 5-22.	ÉVALUATION DU SITE AU LAC CARHEIL (N° 71)	40
TABLEAU 5-23.	ÉVALUATION DES SITES DANS LES TRIBUTAIRES DU LAC À LA LOUTRE (N°S 86 ET 94)	40
TABLEAU 5-24.	ÉVALUATION DU SITE AU LAC LAMBERT (N° 131)	41
TABLEAU 5-25.	ÉVALUATION DES SITES AUX PONCEAUX PI01 À PI08 (N°S 2, 6, 12, 13, 16, 18, 19 ET 24)	42
TABLEAU 5-26.	ÉVALUATION DU SITE AU PONCEAU PO-01 (N° 44)	42
TABLEAU 5-27.	ÉVALUATION DU SITE AU PONCEAU PO-06 (N° 51)	43
TABLEAU 5-28.	ÉVALUATION DU SITE SUR LA RIVIÈRE NABISIPI (N° 77)	43
TABLEAU 5-29.	ÉVALUATION DU SITE SUR LA RIVIÈRE AGUANUS (N° 78)	44
TABLEAU 5-30.	ÉVALUATION DU SITE AU LAC À LA LOUTRE (N° 92)	44
TABLEAU 5-31.	ÉVALUATION DU SITE SUR LA RIVIÈRE AMÉDÉE (N° 108)	45
TABLEAU 5-32.	SITES RETENUS PROPOSÉS EN GUISE DE COMPENSATION DE L'HABITAT DU POISSON	46
TABLEAU 6-1.	SYNTHÈSE DES AMÉNAGEMENTS HALIEUTIQUES PROPOSÉS EN COURS D'EAU À FERMONT	74
TABLEAU 6-2.	SYNTHÈSE DES AMÉNAGEMENTS HALIEUTIQUES PROPOSÉS EN LAC À FERMONT	75

TABLEAU 6-3.	ÉCHÉANCIER PRÉLIMINAIRE POUR LE PROJET D'AMÉNAGEMENTS MULTISPÉCIFIQUES DANS LE RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE COMPRIS ENTRE LES LACS DAVIAULT ET CARHEIL.....	76
TABLEAU 7-1.	DESCRIPTION DES PONCEAUX INFRANCHISSABLES PROPOSÉS PAR LA NIMLJ DANS LA RÉGION DE SCHEFFERVILLE.....	78
TABLEAU 7-2.	ÉCHÉANCIER PRÉLIMINAIRE POUR LE PROJET À SCHEFFERVILLE	87
TABLEAU 8-1.	DESCRIPTION DES HABITATS RIVERAINS HOMOGÈNES AUTOUR DU LAC À LA LOUTRE	93
TABLEAU 8-2.	CARACTÉRISTIQUES DES FRAYÈRES POTENTIELLES ET CONFIRMÉES RETROUVÉES À PROXIMITÉ DU LAC À LA LOUTRE	94
TABLEAU 8-3.	MÉTHODE DE CALCUL UTILISÉE POUR ÉVALUER LE GAIN D'HABITAT INDIRECT POUR L'AMÉNAGEMENT D'UNE PASSE MIGRATOIRE AU BARRAGE DU LAC À LA LOUTRE	98
TABLEAU 8-4.	ÉCHÉANCIER PRÉLIMINAIRE DU PROJET DE COMPENSATION AU LAC À LA LOUTRE	100
TABLEAU 9-1.	DONNÉES HALIEUTIQUES SUR LES PLANS D'EAU SOUMIS À L'EFFET DES BARRAGES DU LAC DES PETITS ESCOUMINS.....	104
TABLEAU 9-2.	ÉCHÉANCIER PRÉLIMINAIRE DU PROJET DE COMPENSATION AUX LACS DES PETITS ESCOUMINS ET ELLEN	112
TABLEAU 10-1.	ÉCHÉANCIER PRÉLIMINAIRE DU PROJET DE COMPENSATION AU PK 39,2 DE LA RIVIÈRE NABISIPI	121
TABLEAU 11-1.	SYNTHÈSE DES GAINS POUR CHACUN DES PROJETS PROPOSÉS.....	124
TABLEAU 12-1.	ESTIMATION DES COÛTS POUR LES DIFFÉRENTS PROJETS PROPOSÉS DANS LE CADRE DU PRÉSENT PROGRAMME DE COMPENSATION	126

CARTES

CARTE 1-1.	LOCALISATION DE LA MINE DE FER DU LAC BLOOM.....	3
CARTE 2-1.	LOCALISATION DES PERTES D'HABITAT DU POISSON EN VERTU DU REMMMD DANS LE SECTEUR PROJETÉ DU PARC À RÉSIDUS (VARIANTE P-3).....	9
CARTE 2-2.	LOCALISATION DES PERTES D'HABITAT DU POISSON EN VERTU DU REMMMD DANS LE SECTEUR PROJETÉ DE LA HALDE À STÉRILES (VARIANTE H-1).....	11
CARTE 3-1.	SITES POTENTIELS ÉVALUÉS SUR L'ENSEMBLE DU QUÉBEC DANS LE CADRE DE L'ÉLABORATION DU PLAN DE COMPENSATION.....	19
CARTE 3-2.	SITES POTENTIELS ÉVALUÉS À PROXIMITÉ DE LA MINE DE FER DU LAC BLOOM DANS LE CADRE DE L'ÉLABORATION DU PLAN DE COMPENSATION.....	21
CARTE 6-1.	LOCALISATION DES RELEVÉS EFFECTUÉS DANS LE SECTEUR DU LAC DAVIAULT	49
CARTE 6-2.	LOCALISATION DES RELEVÉS EFFECTUÉS DANS LE SECTEUR DU LAC DES HUARDS	51
CARTE 6-3.	LOCALISATION DES RELEVÉS EFFECTUÉS DANS LE SECTEUR DU LAC CARHEIL	53
CARTE 6-4.	AMÉNAGEMENTS PROPOSÉS AU LAC DAVIAULT	57
CARTE 6-5.	AMÉNAGEMENTS PROPOSÉS DANS LE TRIBUTAIRE DU LAC DAVIAULT.....	61
CARTE 6-6.	AMÉNAGEMENTS PROPOSÉS DANS L'ÉMISSAIRE DU LAC DAVIAULT.....	65
CARTE 6-7.	AMÉNAGEMENTS PROPOSÉS DANS L'AMONT DE L'ÉMISSAIRE DU LAC DES HUARDS.....	67
CARTE 6-8.	AMÉNAGEMENTS PROPOSÉS DANS L'AVAL DE L'ÉMISSAIRE DU LAC DES HUARDS.....	69
CARTE 6-9.	AMÉNAGEMENTS PROPOSÉS AU LAC CARHEIL	71
CARTE 7-1.	LOCALISATION DES PONCEAUX INFRANCHISSABLES DANS LA RÉGION DE SCHEFFERVILLE.....	81
CARTE 8-1.	LOCALISATION DES RELEVÉS EFFECTUÉS AU LAC À LA LOUTRE	91

CARTE 9-1.	LOCALISATION DU PROJET ET DES RELEVÉS EFFECTUÉS SUR LES LACS DES PETITS ESCOUMINS, CENT DIX PIASTRE ET DU CHIEN	105
CARTE 9-2.	LOCALISATION DU PROJET AU LAC ELLEN.....	107
CARTE 10-1.	LOCALISATION DE L'AMÉNAGEMENT PROPOSÉ À LA CHUTE DU PK 39,2 DE LA RIVIÈRE NABISIPI	115

ANNEXES

- A** PROGRAMME DE COMPENSATION RÉALISÉ DANS LE CADRE DE LA PREMIÈRE PHASE DE LA MINE DU LAC BLOOM
- B** LISTE DE TOUS LES SITES ÉVALUÉS POUR L'ÉLABORATION DU PLAN DE COMPENSATION
- C** CRITÈRES UTILISÉS POUR LA CARACTÉRISATION DES HABITATS DE REPRODUCTION
- D** PROFILS PHYSICOCIMIQUES ET ANALYSE DE LA CONCENTRATION EN PHOSPHORE ET EN AZOTE DES SÉDIMENTS ET DE L'EAU DE SURFACE
- E** PLAN DE TRAVAIL POUR LES INVENTAIRES À RÉALISER EN 2019

1 INTRODUCTION

Minerai de fer Québec (MFQ) est propriétaire de la mine du lac Bloom, située à environ 13 km au nord-ouest de Fermont (carte 1-1). MFQ exploite la mine du lac Bloom depuis février 2018, avec une production annuelle de 7,5 millions de tonnes (Mt) de concentré de fer. Elle détient déjà les autorisations pour augmenter la production à 16 Mt et mettre en opération un nouveau concentrateur, activités prévues en 2021.

Dans le cadre de la planification de ce projet, MFQ a récemment effectué une révision de son plan minier à long terme en prenant en considération les réserves disponibles et les conditions du marché. La poursuite des opérations de la mine s'appuie, entre autres, sur l'accroissement des réserves exploitables et sur l'extension déjà autorisée de la fosse. La capacité d'entreposage des résidus et des stériles miniers autour des installations existantes de MFQ doit donc être augmentée pour supporter l'augmentation de la production minière au lac Bloom. Considérant les nombreuses contraintes limitant les variantes envisageables, il est prévu que la déposition de ces rejets autour des infrastructures minières existantes empiète dans des eaux où vivent des poissons (WSP 2018a).

La nature du territoire à l'étude et les contraintes imposées par les milieux naturel et humain font en sorte qu'il est impossible d'éviter un empiètement des infrastructures minières sur un ou plusieurs cours et plans d'eau naturels abritant des populations de poissons. Par conséquent, l'annexe 2 du Règlement sur les effluents des mines de métaux et des mines de diamants (REMMMD) devra être modifiée afin de désigner ces cours et plans d'eau en tant que dépôts de résidus miniers. Une étude visant à présenter et évaluer les différentes variantes pour l'entreposage des résidus a été déposée le 1^{er} décembre 2018 conformément au *Guide sur l'évaluation des solutions de rechange pour l'entreposage des déchets miniers* (ECCC 2016) avec comme objectif de cibler le choix le plus approprié sur les plans environnemental, technique, économique et socioéconomique.

Entré en vigueur en 2002 et mis à jour en 2018, le REMMMD a notamment été élaboré en application de l'article 36 de la Loi sur les pêches pour réglementer les dépôts des effluents miniers, des stériles et des résidus dans des plans d'eau naturels où vivent des poissons. Administré par Environnement et Changement climatique Canada (ECCC), ce règlement s'applique tant aux nouvelles mines qu'aux mines existantes. En vertu de l'article 27.1 du REMMMD, MFQ doit élaborer et mettre en œuvre un plan pour compenser la perte de l'habitat du poisson engendrée par l'ajout de lacs et de rivières à l'annexe 2 du REMMMD. Ces pertes représentent les habitats du poisson situés dans l'empreinte projetée du parc à résidus et de la halde à stériles.

Afin de bien orienter les recherches vers des sites de compensation qui correspondent à l'envergure des pertes d'habitat, des discussions préliminaires ont été tenues en juin 2018 avec le ministère des Pêches et des Océans du Canada (MPO). Des rencontres de travail et des discussions ont également été tenues avec certaines communautés autochtones, dont la Nation innue Matimekush-Lac John (NIMLJ). Des campagnes de terrain ont été menées à l'été 2018 dans le secteur de Fermont, mais également ailleurs au Québec dans le but de trouver des avenues de compensation permettant de couvrir l'ensemble des pertes d'habitat du poisson. Le type de projet évalué inclut notamment :

- La réfection de barrage et le rehaussement du niveau d'eau historique afin d'augmenter la superficie d'habitat disponible pour le poisson.
- La construction d'ouvrages de retenue afin de créer ou rehausser un plan d'eau et ainsi procurer un nouvel habitat pour le poisson.
- La restauration d'habitats dégradés par la réalisation d'aménagements pour le poisson et son habitat.
- L'amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel permettant de donner à certaines espèces de poissons un accès à de nouveaux habitats.

Ce document présente le programme conceptuel de compensation proposé pour compenser les pertes d'habitat en vertu du REMMMD. Il présente, dans un premier temps, l'estimation des pertes d'habitats associées au projet d'expansion ainsi que la démarche menant à la sélection des sites potentiels qui a été en partie menée en collaboration avec la NIMLJ et dans laquelle la communauté ITUM a également déjà été impliquée. L'ensemble des sites de compensation évalué est par la suite brièvement dévoilé. La méthode d'évaluation du gain d'habitat est ensuite décrite pour chaque type de projet. Pour les projets retenus pour la compensation, la description du site, les interventions proposées, les suivis environnementaux et un échéancier sont présentés de manière préliminaire. Un estimé du coût de mise en œuvre du plan de compensation complète le rapport.

2 ESTIMATION DES PERTES D'HABITATS

Les pertes d'habitats du poisson engendrées par l'agrandissement de la capacité d'entreposage des résidus et des stériles miniers ont été évaluées conformément à l'analyse des solutions de rechange afin de déterminer la variante la plus appropriée sur les plans environnemental, technique et socioéconomique (WSP 2018a). Le tableau 2-1 présente la superficie des lacs et des cours d'eau visés par la modification de l'annexe 2 du REMMMD, de même que les espèces dominantes qu'on y trouve. Le bilan des pertes d'habitats du poisson touchés directement par le dépôt de résidus miniers atteint 155,6 ha (WSP 2019). Les cartes 2-1 et 2-2 montrent l'emplacement des lacs et des cours d'eau affectés par le projet d'agrandissement dans le contexte actuel des infrastructures minières.

Dans le secteur du parc à résidus, les habitats touchés représentent plus de 95 % du total des pertes d'habitats prévus (tableau 2-1). Ces plans d'eau et leurs cours d'eau associés abritent pour la plupart des communautés de poissons dominées par le grand brochet et le grand corégone. Les lacs E, F et H totalisent 127,8 ha. Ces plans d'eau présentent des rendements de pêche relativement faibles (WSP 2019). D'autre part, les lacs E2, E3, F2, G' totalisent 19,6 ha. Ces petits plans d'eau se sont avérés très peu productifs où seulement quelques poissons ont été récoltés lors des inventaires. Les cours d'eau représentent quant à eux 1,3 ha d'habitat du poisson empiété par l'entreposage de résidus miniers.

Dans le secteur de la halde à stériles, les habitats du poisson touchés abritent plutôt une communauté de poissons dominée par l'omble de fontaine (tableau 2-2). Le lac K constitue le principal plan d'eau touché par le projet avec une superficie de 5,0 ha. Celui-ci a présenté des rendements d'omble de fontaine relativement élevés (WSP 2019). Les cours d'eau représentent quant à eux 1,2 ha d'habitat du poisson empiété par l'entreposage de stériles miniers.

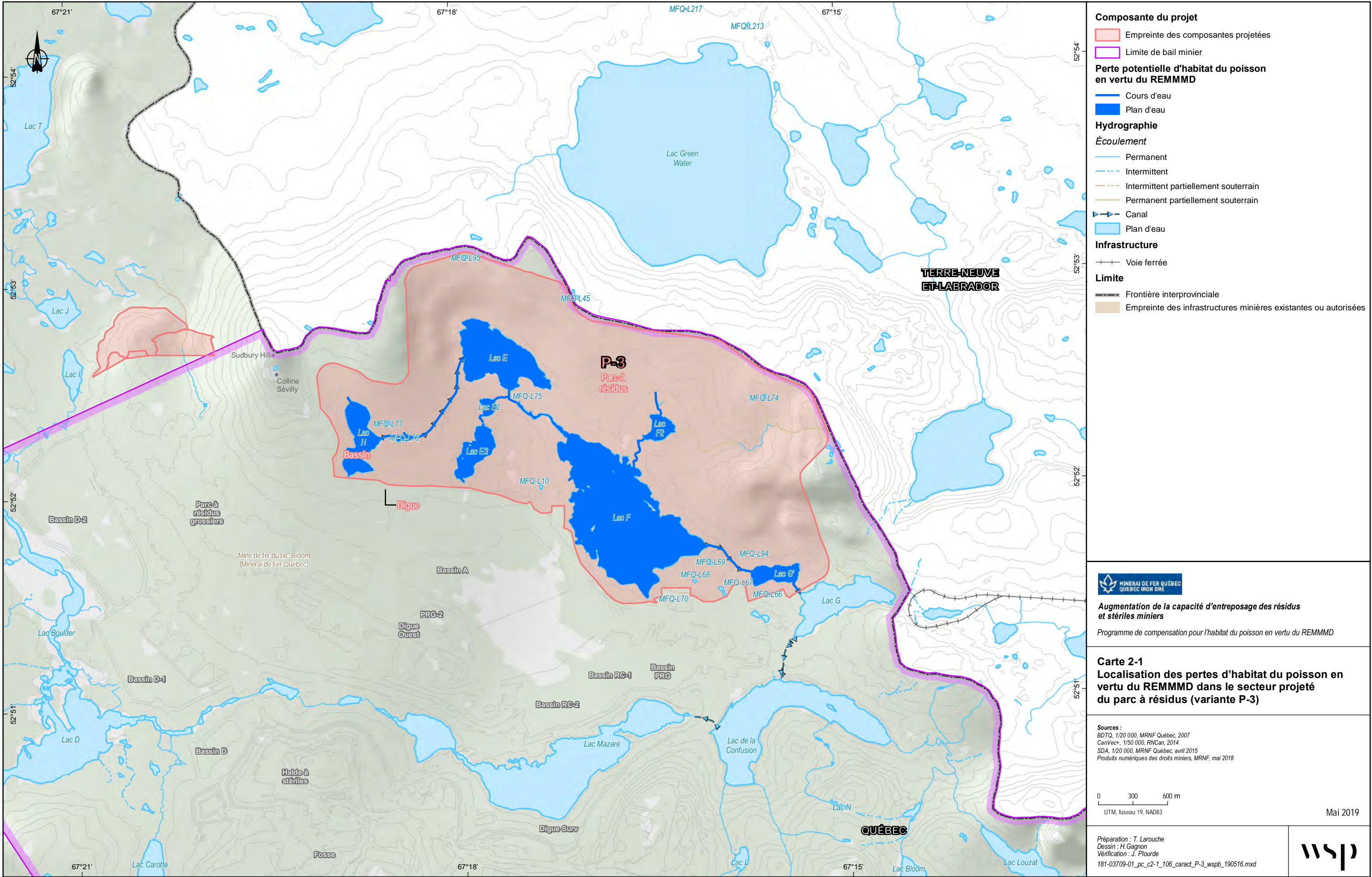
Tableau 2-1. Estimation des pertes d'habitats du poisson et des espèces affectées par les résidus miniers dans le secteur du parc à résidus

Habitat du poisson	Superficie (ha)	Espèce dominante	Autre espèce de poisson	Remarque
Lac E	27,4	Grand corégone	Grand brochet Mulet de lac Meunier noir	Le lac E est situé au nord des installations de la mine et reçoit les eaux du lac H depuis 2012 par un canal aménagé (H'-E). La caractérisation a été effectuée en 2006, mais comme il a subi peu d'effet depuis l'implantation de la mine, on peut croire qu'il comporte toujours des frayères potentielles pour le grand brochet et le grand corégone. Les rendements des pêches expérimentales réalisées en 2014 étaient relativement faibles avec un total de 14,2 captures/nuit-filet.
Lac E2	1,6	Grand brochet	-	Le lac E2 correspond à un étang d'une profondeur maximale de 0,95 m. Il reçoit l'eau du lac E3 et s'écoule vers le lac E. Le faible nombre de captures (seulement trois individus) témoigne de la faible productivité de ce plan d'eau. De nombreux herbiers sont présents sur son pourtour, dont de vastes fens riverains présentant un bon potentiel de reproduction pour le grand brochet et quelques herbiers de nénuphars.

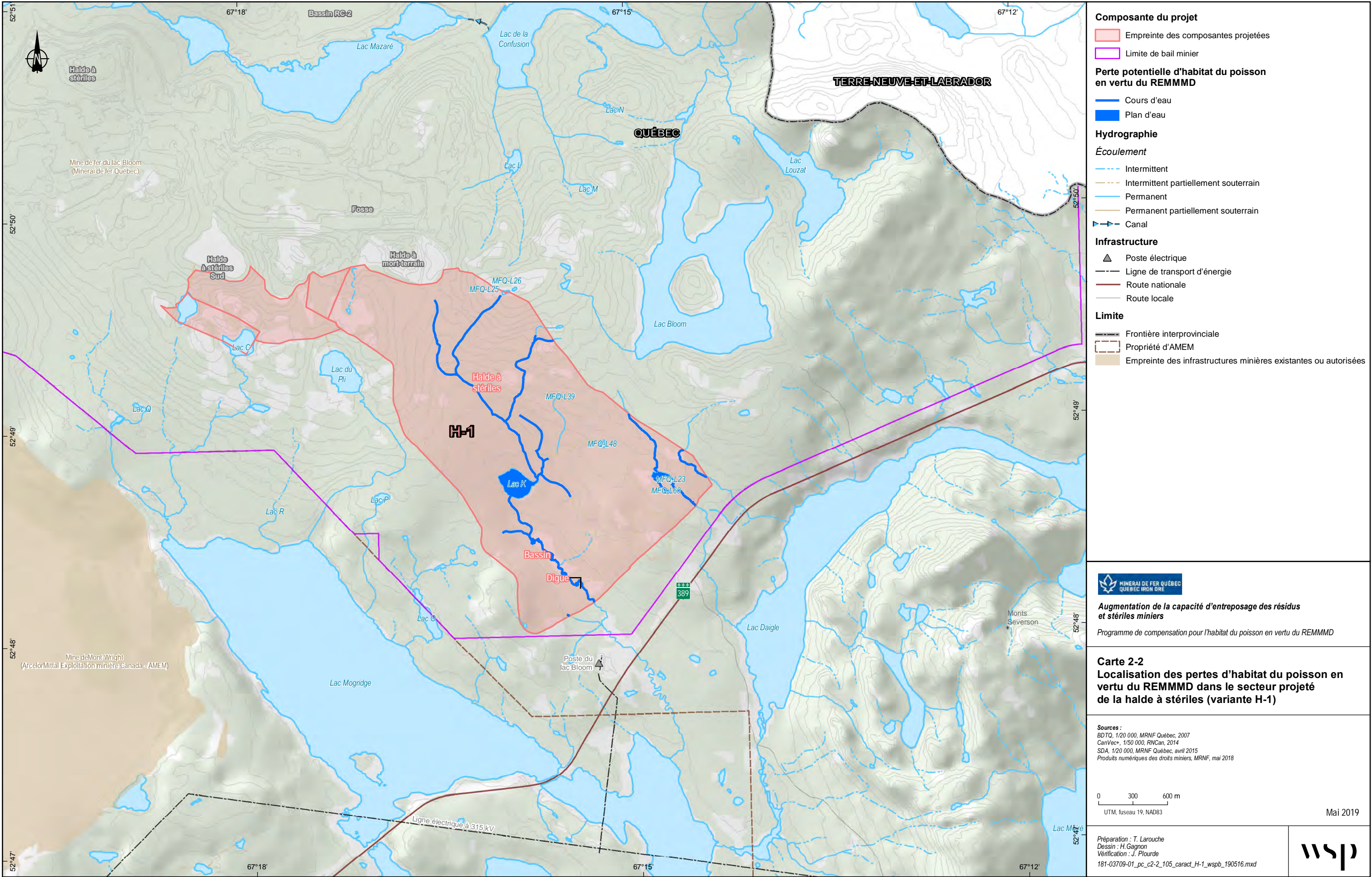
Habitat du poisson	Superficie (ha)	Espèce dominante	Autre espèce de poisson	Remarque
Lac E3	8,5	Grand brochet	-	Le lac E3 présente une profondeur maximale de 7,2 m. Seulement trois grands brochets ont été capturés en 2012 pour un effort de deux filets et de quatre bourolles à raison d'une nuit de pêche. Un herbier de nénuphars est présent dans la partie sud du lac le long de sa rive ouest.
Lac F	88,8	Grand corégone Grand brochet	Meunier noir Mulet de lac	Le lac F est situé au nord-est du parc à résidus et lors de la construction des installations minières, son émissaire a été relocalisé. Ce lac s'écoule donc désormais vers le lac G' par le canal F-G'. Il présente une profondeur maximale de 13 m. La caractérisation de l'habitat a été effectuée en 2006. On y retrouvait plusieurs frayères potentielles pour le grand brochet et le grand corégone. Les rendements des pêches expérimentales réalisées en 2006 étaient relativement faibles avec seulement 10,9 captures par nuit-filet.
Lac F2	3,8	-	Meunier noir Mulet de lac Lotte	Le lac F2 correspond à un étang d'une profondeur maximale de 0,80 m. Il reçoit l'eau de deux petits cours d'eau et s'écoule vers le lac F. La campagne de pêche effectuée au cours de l'été 2012 a permis la capture d'un meunier noir, d'une lotte et de deux mulets de lac. Le lac F2 est caractérisé par la présence d'un vaste herbier aquatique et par la présence de fens riverains qui offrent un potentiel de fraie pour le grand brochet.
Lac G'	5,7	-	Grand corégone Grand brochet Meunier rouge Meunier noir Mulet de lac Ménomini rond	Le lac G' s'écoule dans le lac G et il est situé au nord de l'usine. Il affiche une profondeur maximale de 1,4 m. Une profondeur maximale aussi faible peut limiter la production du plan d'eau pour le poisson, notamment en période hivernale. Ses rives sont entourées d'herbiers aquatiques qui constituent de bonnes aires d'alimentation et d'alevinage. Aucun poisson n'a été capturé lors des pêches expérimentales réalisées en 2012.
Lac H	11,6	Grand brochet		Depuis 2012, le lac H s'écoule vers le lac E par le canal H'-E. Il affiche une profondeur maximale de 3,2 m. Le faible nombre de captures (seulement trois individus) témoigne de la faible productivité de ce plan d'eau. Aucun herbier aquatique ni frayère potentielle n'a été observé lors de la caractérisation en 2012.
Autres cours d'eau	1,3	Grand corégone Grand brochet	Meunier noir Meunier rouge Mulet de lac Lotte	Les autres cours d'eau constituent majoritairement les émissaires des plans d'eau décrits précédemment. Certaines portions lenticques traversent des milieux humides. Les canaux H'-E et F'-G représentent des canaux aménagés entre 2010 et 2012 afin de dériver l'écoulement des eaux.
Sous-total	148,7			

Tableau 2-2. Estimation des pertes d'habitats du poisson et des espèces affectées par les résidus miniers dans le secteur de la halde à stériles

Habitat du poisson	Superficie (ha)	Espèce dominante	Autre espèce de poisson	Remarque
Lac K	5,0	Omble de fontaine	Meunier rouge Lotte Ménomini rond	Le lac K s'écoule vers le sud, soit vers le lac Mogridge. Il présente une profondeur maximale de 5,4 m. Un herbier aquatique a été observé dans ce plan d'eau, mais aucune frayère potentielle n'y a été répertoriée. Le rendement des pêches expérimentales réalisées en 2012 s'élevait à 39,5 captures/nuit-filet.
L23	0,6	Omble de fontaine	-	Lors des travaux d'inventaires réalisés en 2018, la présence d'omble de fontaine a été confirmée dans le plan d'eau L23 par la pêche à la ligne. Au total, 11 ombles de fontaine ont été capturés.
L60	0,1	Omble de fontaine	-	Il n'y a aucun obstacle infranchissable dans l'émissaire du lac L60 qui rejoint le lac L23 et pour cette raison, il est présumé que l'omble de fontaine peut fréquenter ce plan d'eau.
Autres cours d'eau	1,2	Omble de fontaine	-	Les principaux cours d'eau constituent le tributaire principal du lac K et son émissaire. Le tributaire principal compte plusieurs petits affluents secondaires dont certains constituent un habitat pour le poisson. L'émissaire du lac K offre un bon potentiel d'habitat pour le poisson. Plusieurs frayères potentielles ont été observées dans ces cours d'eau.
Sous-total	6,9			



La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.



La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.

3 RECHERCHE DE SITES DE COMPENSATION

3.1 ANALYSE DE LA DOCUMENTATION DISPONIBLE

L'une des premières étapes réalisées dans le cadre des recherches de sites potentiels a consisté en une revue de la littérature des projets de compensation ayant été acceptés ou présentés au MPO dans le cadre de la *Politique d'investissement en matière de productivité des pêches* (MPO 2013) afin de cibler des types de projets potentiels. Brièvement, l'industrie pétrochimique, l'exploitation des ressources minérales et les infrastructures routières sont les secteurs d'activités ayant les besoins de compensation les plus importants. La restauration et l'aménagement de cours d'eau sont de loin le type de projet le plus souvent réalisé (Roche Ltée, groupe-conseil 2011; Taseko Mines Limited 2012; EcoMetrix Incorporated 2014). Parmi les autres projets plus novateurs, on retrouve la création de lacs et de cours d'eau (Teck Resources Limited 2017), l'installation de récifs artificiels (WSP 2016a), l'aménagement de plaines d'inondation (Lafond 2011), le rehaussement du niveau de plans d'eau (MTQ 2008; Royal Nickel Corporation 2016) et la contribution à la recherche scientifique (Plamer Environmental Consulting Group 2014).

3.2 IMPLICATION DES COMMUNAUTÉS AUTOCHTONES

Des premiers efforts ont été accordés à la recherche de sites de compensation dans la région de Schefferville, car celle-ci est située partiellement dans le même bassin versant que le site touché. Ce secteur offre également la possibilité d'inclure les principaux utilisateurs de ce territoire, soit les Innus de la NIMLJ. Enfin, cette région possède de nombreux habitats dégradés en raison de l'exploitation minière intensive qui a eu lieu dans le passé. Il importe de préciser que la mine fait partie du bassin versant la rivière Caniapiscau, mais que depuis 1981, une partie de l'écoulement de ce bassin a été dérivée vers La Grande Rivière.

L'une des particularités du projet concerne la démarche utilisée pour la recherche de sites potentiels et l'élaboration des concepts de compensation. À cet effet, MFQ a directement attribué à la NIMLJ le mandat de réaliser des mesures compensatoires sur leur territoire. Pour les aider dans ce mandat, la NIMLJ a fait appel à M. Michel La Haye, un ichthyologiste ayant cumulé plusieurs années d'expérience relativement à la caractérisation des communautés de poissons, l'évaluation des impacts et pour la mise en œuvre de mesures d'atténuation, de compensation et d'aménagement faunique. Tout d'abord, les principes directeurs de la *Politique d'investissement en matière de productivité des pêches* du MPO (2013) et les *Lignes directrices pour la conservation des habitats fauniques* du MFFP (2015) ont été présentés aux membres de la NIMLJ en visant en particulier l'implication des plus importants utilisateurs du milieu. Cela a permis d'expliquer le contexte réglementaire auquel les membres devaient se référer pour proposer des sites de compensation potentiels. Ensuite, les priorités de restauration locale ont été identifiées par la NIMLJ et se résument comme suit :

- Présence de plusieurs ponceaux infranchissables dans la région qui bloquent des routes de migration importantes pour le poisson. Plusieurs ponceaux sont mal conçus ou endommagés, la hauteur de chute est trop haute et ils sont mal protégés, ce qui occasionne des problèmes d'affaissement.
- Restauration de sites miniers, car plusieurs de ceux-ci ont été abandonnés sans qu'aucun effort de restauration n'ait été réalisé dans le passé.
- Faible population de poisson dans certains lacs due à la présence de diverses sources de pollution (eaux usées, eaux rouges, hydrocarbures). Certains lacs ont également été trop pêchés.
- Présence de plusieurs haldes à résidus qui contribuent à la dégradation des milieux aquatiques. Certaines empiètent directement dans les lacs. Plusieurs sources d'eau rouge ont été observées dans le secteur,

principalement lors de la fonte des neiges au printemps et en période de fortes précipitations. Avant que débute l'exploitation des gisements de fer, il n'y avait pas de résidus rouges dans la région de Schefferville comme c'est actuellement le cas.

- Respect et application des lois; même encore aujourd'hui il est difficile de faire appliquer les lois sur l'environnement dans cette région isolée par rapport à l'exploitation des ressources minières, des obligations de restauration et à la conservation de la faune.

La Première Nation des innus Essipit et la Nation Innu Takuaikan Uashat mak Mani-utenam (ITUM) ont également été consultées dans la recherche des pistes de compensation. Cette démarche visait à recueillir leur opinion sur les pistes de compensation, à comprendre et à ajuster l'approche, le cas échéant. Un résumé de leurs propositions est présenté au chapitre 5.

3.3 PRÉSÉLECTION DE SITES DE COMPENSATION

Cette étape a consisté à présélectionner un certain nombre de sites considérés comme propices à des interventions. Pour ce faire, différents intervenants issus du secteur municipal, des territoires structurés, des organismes communautaires et des instances gouvernementales ont été consultés afin d'identifier des sites de compensation potentiels. Une priorité a été accordée aux projets pouvant être réalisés dans la région de la Côte-Nord (préférentiellement à proximité de la zone touchée, ou à tout le moins dans le même bassin versant). Ils devaient offrir la possibilité de collaborer avec les intervenants locaux (communautés autochtones, associations de pêcheurs, territoires structurés) et devaient bénéficier aux espèces de poissons typiquement rencontrées dans les lacs du Nord québécois (omble de fontaine, touladi, grand corégone et grand brochet). Une autre région, celle de Schefferville, a été considérée pour le choix de certains sites avec l'implication de la NIMLJ dès le début de la conception des projets. Les projets devaient également être en mesure de fournir un gain substantiel en termes de qualité et de quantité au niveau de l'habitat du poisson. Le tableau 3-1 dresse une liste des intervenants contactés dans le cadre des recherches, ainsi qu'une brève description des projets proposés.

Par la suite, il importait de considérer l'ensemble des travaux de compensation ayant été effectués depuis le début du développement de la mine du lac Bloom. Cela a permis, d'une part, d'éliminer les projets (ou les sites) ayant été considérés et jugés non réalisables et, d'autre part, de possiblement reprendre les projets n'ayant pas dépassé l'étape de l'analyse pour différentes raisons, mais qui présentaient encore un potentiel de compensation intéressant. Cette analyse de l'historique des sites de compensation ayant déjà été considérée a permis d'orienter les efforts de recherche, et ce, particulièrement pour la région de Fermont où plusieurs études ont été menées par le passé.

Les premières exigences officielles de compensation de l'habitat du poisson relatives au projet minier du lac Bloom ont été émises en 2008 par le MPO en vertu de la Loi sur les pêches. Ces exigences visaient à contrebalancer les pertes anticipées par la construction et par l'exploitation du projet minier. En résumé, dès la réception de l'autorisation en 2008 jusqu'en 2015, la réalisation du projet de mine de fer du lac Bloom a entraîné la modification permanente de 10 620 m² et la destruction de 36,6 ha d'habitat du poisson. Ainsi, ces dommages sérieux ont dû être contrebalancés par la réalisation d'un programme de compensation réparti en trois volets qui est présenté à l'annexe A. L'élaboration de ce plan de compensation a nécessité d'importants efforts pour la recherche de sites d'intervention propices. Au final, plusieurs aménagements ont été réalisés à proximité de la ville de Fermont. Par ailleurs, des efforts similaires ont été faits dans le cadre d'autres projets miniers, dont le projet minier du Mont-Wright, lequel est voisin du site minier du lac Bloom. Les nombreuses campagnes de terrain réalisées dans ce secteur ont aussi permis de constater que les habitats fauniques sont généralement intacts et qu'il y a peu de plans d'eau dégradés, hormis ceux ayant été touchés par les activités minières actuellement en cours. Par conséquent, la région de Fermont offre peu de possibilités pour la mise en place de nouveaux aménagements compensatoires.

Tableau 3-1. Intervenants contactés dans le cadre des recherches de sites de compensation

Intervenant	Personne-ressource	Proposition
MRC de Caniapiscau	Myriam Desjardins-Malenfant	Lacs Daviault et Carheil, cours d'eau à proximité de Fermont, secteur d'une ancienne mine, plans d'eau sur le chemin du Comstock à proximité de la mine du Mont-Wright
MRC de Manicouagan	Ossama Khaddour	Pas de proposition
MRC de Sept-Rivières	Philippe Gagnon	Problématique au niveau des ponceaux
Ville de Fermont	Jimmy Morneau	Aménagement de cours d'eau près de la ville de Fermont
Regroupement des gestionnaires de ZEC de la Côte-Nord	Julie Tremblay	Divers projets d'aménagement de cours d'eau
Regroupement des pourvoiries Essipit	Guillaume Moreau	Certains lacs problématiques en raison de faible niveau d'eau
Réserve faunique de Port-Cartier–Sept-Îles (Sépaq)	Dany Bacon	Problématique de pH au lac Carlos, érosion dans la rivière McDonald
Réserve faunique des Laurentides (Sépaq)	Sylvain Boucher	Pas de proposition
ZEC Matimek	Jean-Philippe Chauvin	Pas de proposition
ZEC Nordique - ZEC Escoumins	Benoît Farçy	Érosion d'un ancien dépotoir au nord de Les Escoumins, chute infranchissable dans la rivière des Escoumins
ZEC Varin	Sylvain Gagnon Michel Lepage	Problème de faible niveau d'eau au lac Varin
Association chasse et pêche nordique	Benoît Farçy	Faible niveau d'eau aux réservoirs Polette et De Pons
Association des propriétaires de chalets du lac à la Loutre et du lac Pascal	Daniel Boulay Michel Bourque	Fluctuation du niveau de l'eau au barrage du lac à la Loutre
Uashat mak Mani Utenam	André Michel	Restauration des habitats aquatiques du lac Lambert et aménagement d'une rampe de mise à l'eau dans l'estuaire de la rivière Moisie
Matimekush-Lac John	Michel La Haye	Plusieurs sites dans la région de Schefferville : huit ponceaux infranchissables (lac sans nom n° 1, lac sans nom n° 2, lac La Tesserie, tributaire du lac La Cosa), ensemencement de poissons, restauration d'habitats dégradés (lacs Pearce, La Cosa et Denault)
Conseil régional de l'Environnement de la Côte-Nord	Marie-Michelle Morneau	Pas de proposition
Fédération québécoise des chasseurs et des pêcheurs	Gilles Couture	Correction de ponceaux infranchissables et aménagements de frayères pour l'omble de fontaine dans deux secteurs situés à proximité de Port-Cartier

Intervenant	Personne-ressource	Proposition
Organisme de bassin versant Manicouagan	Normand Bissonnette	Démolition du barrage de la rivière Antrim, barrage du lac Thérèse
Organisme de bassin versant Duplessis	Ghassen Ibrahim	Problème de cyanobactérie aux lacs Daviault, des Huards et Carheil
Centre d'expertise hydrique du Québec	Bruno Chouinard	Pas de proposition
Ministère des Forêts de la Faune et des Parcs (MFFP)	Demande d'information	Pas de proposition
MFFP - Direction de la gestion de la faune de la Côte-Nord	Stéphane Guérin	Pas de proposition
MFFP - Direction générale	Véronique Leclerc Jean-Nicolas Bujold	Pas de proposition
Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles	André Robitaille	Compensation sur des barrages en mauvais état
Pêches et Océans Canada - Direction régionale des écosystèmes	Simon Trépanier	Accès au babillard de compensation; pas de proposition
Société des établissements de plein air du Québec (Sépaq)	Amélie Gilbert	Reconstruction de barrages en mauvais état (lacs Bonhomme et Polette) et complètement détruits (lacs Savane et Nicabau)
Pêcheur de Fermont	Mathieu Bond	Baisse du succès de pêche dans les lacs en Croissant, Daviault et Carheil
Pêcheur de Fermont	Maxime Moisan	Problématique d'habitat du touladi dans les lacs Daviault et Carheil
Pêcheur de Fermont	Charles Bouchard	Faible succès de pêche pour le touladi au lac Carheil
Programme de mise en valeur des habitats du saumon atlantique de la Côte-Nord	Normand Traversy	Aménagement de passes migratoires pour les chutes infranchissables sur les rivières Nabisipi et Aguanus

En somme, cette démarche a permis de constater que d'autres sites à l'extérieur de la région de la Côte-Nord devaient être évalués pour atteindre les 155,6 ha d'habitat à compenser dans le cadre du présent projet. Ceux-ci ont été proposés par les intervenants présentés dans le tableau 3-1 ou suggérés par les spécialistes de WSP. Les projets sélectionnés aux fins de validation au terrain seront décrits dans la prochaine section.

La carte 3-1 présente l'ensemble des sites évalués dans le cadre des recherches de sites de compensation tel que précédemment discuté. La carte 3-2 présente plus en détail l'ensemble des 47 sites évalués dans la région de Fermont. Les sites ont été regroupés à l'intérieur de trois catégories afin de mieux représenter la diversité des projets, mais aussi pour faciliter l'organisation des prochaines sections du plan de compensation. Comme l'indique la dispersion des sites sur la carte, les recherches ont été menées sur l'ensemble du territoire québécois. Ce sont 131 sites qui ont été présélectionnés au total (annexe B). Une première analyse a d'abord été effectuée chez WSP en utilisant les outils disponibles comme la photo-interprétation, les données existantes non publiées et les informations contenues dans divers rapports. Par la suite, lorsqu'un site se démarquait au niveau de la superficie potentielle attribuable au gain d'habitat, celui-ci était retenu pour l'étape ultérieure. Un total de 37 sites a ainsi été retenu pour être validé plus en détail à l'occasion de quatre campagnes sur le terrain. Certains autres sites seront plutôt validés sur le terrain en 2019.

3.4 VALIDATION SUR LE TERRAIN

À la suite de l'analyse de la documentation disponible et des sites potentiels proposés par les intervenants, quatre campagnes de terrain ont été réalisées. Ces inventaires visaient à obtenir davantage d'informations afin d'élaborer un concept et valider la faisabilité d'un projet sur les 37 sites jugés les plus prometteurs parmi les sites présélectionnés. Ces quatre campagnes ont été réalisées aux fins de la recherche et de la validation de sites. D'autres campagnes d'échantillonnage ayant été réalisées pour approfondir les projets sélectionnés sont décrites plus en détail dans les sections spécifiques à chaque projet retenu (chapitres 6 à 9).

3.4.1 PREMIÈRE CAMPAGNE : BAIE-COMEAU ET LES ENVIRONS

Les sites proposés par la ZEC Varin, l'Association des propriétaires de chalets du lac à la Loutre et du lac Pascal et l'Organisme de bassin versant Manicouagan ont orienté la première campagne de terrain dans les environs de Baie-Comeau. Celle-ci s'est déroulée du 5 au 10 août 2018 avec comme objectif d'évaluer l'état de certains barrages dégradés. Ainsi, des mesures d'élévation du niveau de l'eau et des débits ont été réalisées, l'état du barrage a été évalué et l'habitat du poisson a été caractérisé en amont et en aval des ouvrages (physicochimie, granulométrie du substrat, présence d'obstacle infranchissable, qualité de l'habitat, etc.). Ces données ont d'abord permis d'évaluer la faisabilité d'effectuer un projet de compensation puis, par la suite, d'estimer la superficie des gains d'habitat du poisson que pourrait engendrer une réfection des infrastructures.

3.4.2 DEUXIÈME CAMPAGNE : FERMONT ET LES ENVIRONS

Du 11 au 19 août 2018, une seconde campagne de terrain a été menée dans la région de Fermont afin de visiter les sites proposés par la Municipalité régionale de comté (MRC) de Caniapiscau, la Ville de Fermont et l'Organisme de bassin versant Duplessis. De plus, selon les pêcheurs interrogés dans ce secteur, le succès de pêche et la masse moyenne des poissons auraient diminué au fil des années.

L'objectif principal de cette campagne était d'évaluer l'état de santé de certains lacs et cours d'eau situés à proximité de la ville aux prises avec des problèmes d'eutrophisation, d'apparition de fleurs d'eau de cyanobactéries et de faible rendement des pêches. La qualité de l'eau a été évaluée à l'aide de mesures physicochimiques de base (oxygène dissous, température, conductivité et pH) et d'analyses en laboratoire pour déterminer la concentration en phosphore et en azote dans l'eau et les sédiments. Une caractérisation de l'habitat du poisson a également été réalisée afin d'évaluer sommairement l'abondance et la qualité des

habitats de reproduction pour les espèces d'intérêt. La pertinence de réaliser des aménagements fauniques pour le poisson a donc été évaluée pour plusieurs sites dans la perspective d'augmenter le rendement des pêches.

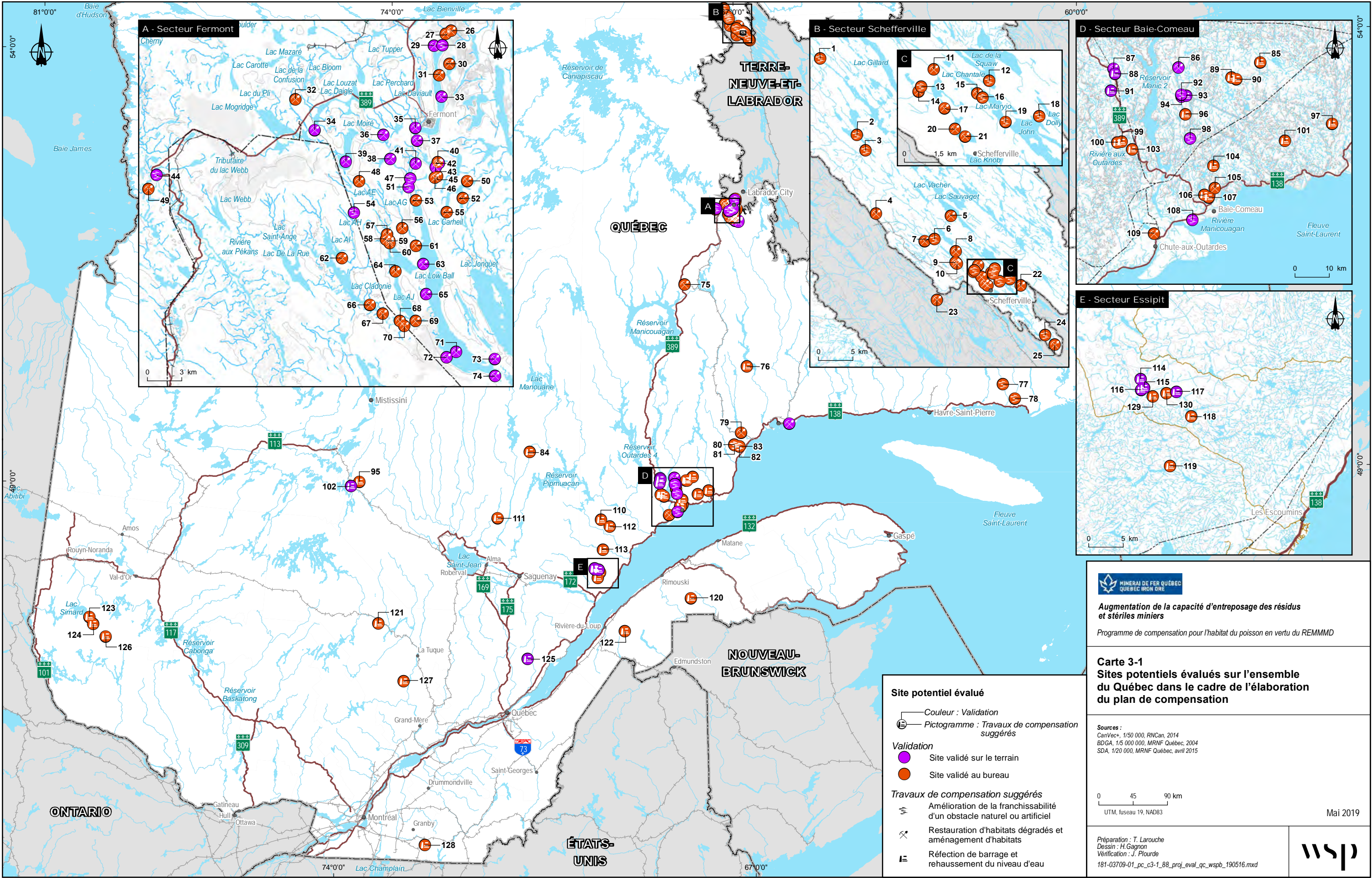
3.4.3 TROISIÈME CAMPAGNE : POURVOIRIE ESSIPIT

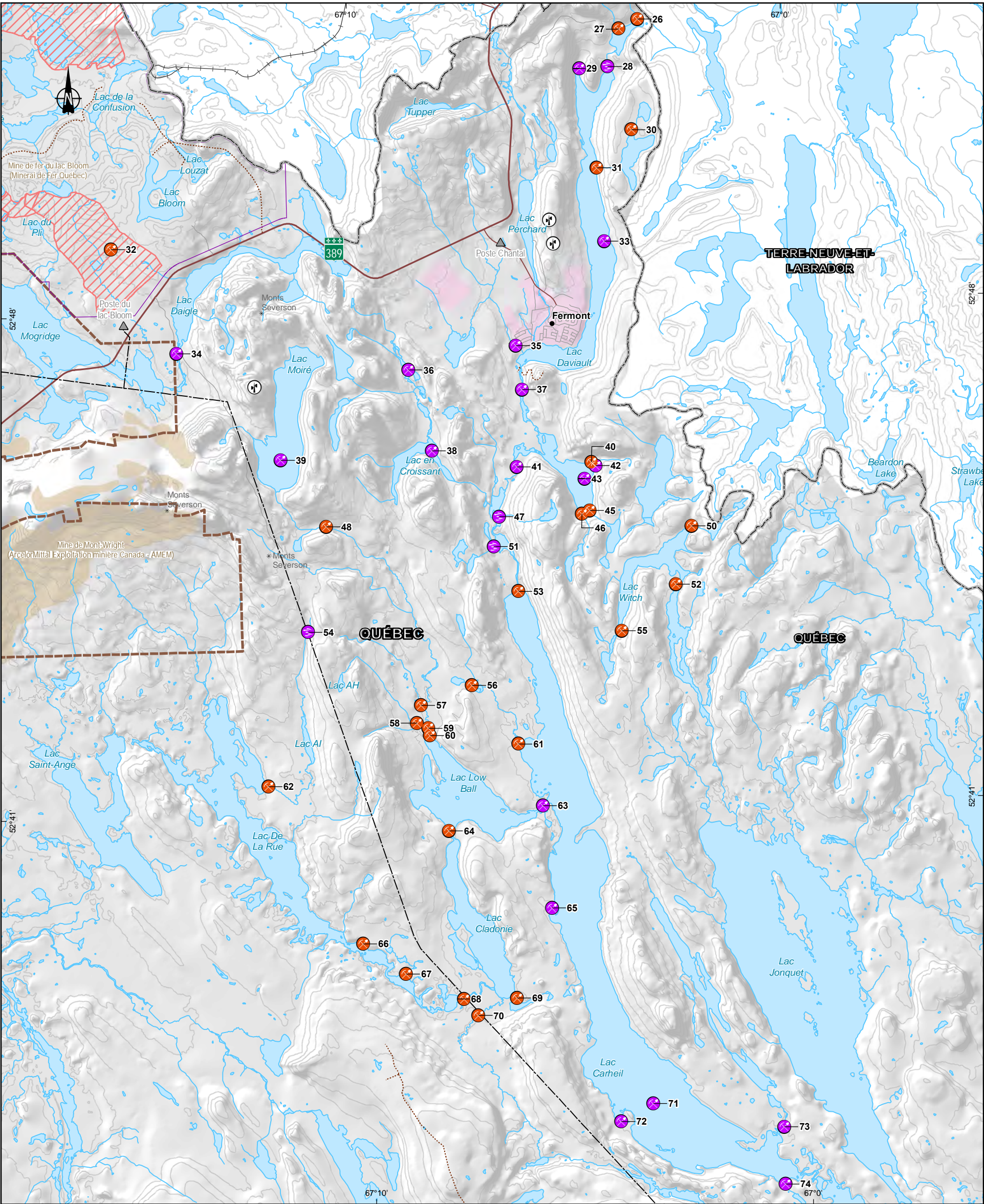
À la suite de la proposition du Conseil de la Première Nation des Innus Essipit, des barrages présentant un état avancé de détérioration ont été inspectés dans le nord de la municipalité de Les Escoumins. Ces barrages, qui entraînaient tous une diminution du niveau de l'eau de leur réservoir, ont été visités le 5 octobre 2018. Comme pour les barrages visités durant la première campagne effectuée à Baie-Comeau et les environs, diverses mesures d'élévation ont été réalisées à l'aide d'équipement approprié (GPS de haute précision). Une caractérisation sommaire de l'habitat du poisson a également été effectuée pour chacun des sites.

3.4.4 QUATRIÈME CAMPAGNE : SITES PROPOSÉS PAR LA SÉPAQ

Une quatrième et dernière campagne de terrain a été réalisée le 30 octobre et le 1^{er} novembre 2018 pour visiter deux sites potentiels dans les réserves fauniques des Laurentides et Ashuapmushan à la suite de la suggestion de la Société des établissements de plein air du Québec (Sépaq). Le premier site est l'ancien lac Savane, situé à 25 km à l'ouest de Baie-Saint-Paul, qui a été asséché à la suite du démantèlement complet du barrage en 2006. Le second site est le lac Nicabau, situé quant à lui au nord-ouest de Saint-Félicien, qui a été en grande partie exondé après le retrait complet du barrage. Les modifications majeures apportées à ces deux plans d'eau ont entraîné une diminution importante de la productivité en poisson.

La visite des sites visait à déterminer la faisabilité d'y reconstruire des ouvrages de retenue afin de rétablir les niveaux d'eau historiques et ainsi ramener les potentiels halieutiques initiaux. Pour ce faire, divers relevés de l'emplacement des anciens barrages, de la ligne de rivage (eau du jour), de la ligne naturelle des hautes eaux (LNHE) et de débits ont été effectués. La nature du substrat a également été décrite.





Site potentiel évalué

- Couleur : Validation
Pictogramme : Travaux de compensation suggérés

Validation

- Site validé sur le terrain
Site validé au bureau

Travaux de compensation suggérés

- Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel
Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats

Mineral de fer Québec (MFQ)

- Emprise des composantes
Limite de bail minier

Infrastructure

- Poste électrique
Tour de télécommunication
Ligne de transport d'énergie
Route nationale
Route régionale
Route locale
Voie ferrée
Chemin d'accès

Limite

- Frontière interprovinciale
Fermont - périmètre urbanisé
Propriété d'AMEM
Emprise des infrastructures minières existantes ou autorisées



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Programme de compensation pour l'habitat du poisson en vertu du REMMD

Carte 3-2

Sites potentiels évalués à proximité de la mine de fer du lac Bloom dans le cadre de l'élaboration du plan de compensation

Sources :
BDTQ, 1/20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1/50 000, RNCAN, 2014
SDA, 1/20 000, MRNF Québec, avril 2015
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018

0 1 000 2 000 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Mai 2019

Préparation : T. Larouche
Dessin : H. Gagnon
Vérification : J. Plourde
181-03709-01_pc_c3-2_89_proj_site_mine_wspb_190516.mxd



4 MÉTHODE D'ÉVALUATION DES GAINS

L'un des quatre principes directeurs de la *Politique d'investissement en matière de productivité des pêches* (MPO 2013) est que « les bénéfices découlant des mesures compensatoires doivent contrebalancer les impacts du projet ». Ce principe implique qu'il doit y avoir une équivalence entre les impacts d'un projet (pertes) et les bénéfices du plan de compensation (gains). Ce principe fait également la distinction entre deux grandes formes de compensation, soit la « compensation du même type » et la « compensation avec une approche différente ». La première forme implique que l'habitat perdu est remplacé par un habitat du même type, de la même taille, de la même qualité et qui tient compte des mesures de contingence pour l'incertitude. Selon cette approche, l'équivalence entre les pertes et les gains est réalisée à l'aide d'un calcul direct. L'autre forme de compensation, qui inclut notamment la restauration d'habitats ou la création d'habitats différents de celui impacté, implique un calcul généralement plus compliqué faisant intervenir le concept de productivité.

Dans le contexte du présent projet, où une destruction complète d'habitat du poisson est inévitable, les méthodes de calcul d'équivalence privilégiées par le MPO dans Bradford et collab. (2016) et plus largement dans la revue de la littérature de Christensen-Dalsgaard et collab. (2014) ne sont pas applicables. Certains des calculs s'appliquent seulement aux projets entraînant des pertes partielles, soit au niveau d'une ou de plusieurs fonctions spécifiques à l'écosystème impacté ou par rapport à la capacité de support de l'habitat. Les autres calculs proposés, qui visent à comparer l'abondance ou la production de poisson entre l'habitat impacté et celui compensé, nécessitent l'acquisition d'un jeu de données important et très difficile à obtenir. Contrairement aux données se rapportant à l'habitat impacté qui sont acquises durant la phase d'avant-projet, celles sur l'habitat compensé doivent généralement être prédites à l'aide de points de référence régionaux. Or, ces données de référence sont rarement disponibles, et ce, particulièrement pour les régions éloignées comme celle de Fermont.

Afin de surmonter les difficultés liées à l'utilisation de calculs complexes et possiblement imprécis, différentes méthodes basées sur la superficie ont été préférées dans le cadre du présent plan de compensation. Les prochaines sections expliquent la démarche suivie afin d'évaluer les gains d'habitat obtenus pour chaque type de projet.

4.1 RÉFECTION DE BARRAGE ET REHAUSSEMENT DU NIVEAU D'EAU

La réfection de barrage ou la construction d'un nouvel ouvrage vise à récupérer l'habitat riverain du poisson qui a été perdu en raison de divers problèmes associés à des barrages dégradés ou détruits. Pour ce type de projet, l'équation simplifiée du calcul d'équivalence a été utilisée, car il s'agit essentiellement d'une forme de création d'habitats selon les définitions des types de mesures de compensation retrouvées dans la *Politique d'investissement en matière de productivité des pêches* (MPO 2013).

Ainsi, le gain en habitat du poisson considéré pour ce type de projet correspond à la zone ennoyée d'un plan d'eau. Celle-ci inclut la zone exondée provoquée par un problème au niveau d'un barrage, et dans le cas d'un rehaussement du niveau de l'eau, la nouvelle portion de rive ennoyée.

La méthode de calcul utilisée pour le calcul des gains consiste à définir l'élévation du niveau d'eau réel du lac. Ensuite, la nouvelle élévation qu'aura le niveau du lac après la réfection du barrage est déterminée. La superficie de rive comprise entre ces deux élévations est par la suite calculée en utilisant les données bathymétriques et les relevés LIDAR à l'aide d'un logiciel de géomatique (ArcGIS). Les élévations de la bathymétrie et celles des relevés LIDAR ont été fusionnées pour obtenir un modèle d'élévation numérique uniforme qui permet de calculer précisément les surfaces riveraines ennoyées et exondées.

La superficie réelle des rives inondées a été directement considérée comme un gain d'habitat du poisson puisqu'elle est située dans la zone 0-5 m du plan d'eau, qui est considéré comme l'un des habitats les plus productifs pour plusieurs espèces (Bradbury et collab. 2001).

4.2 RESTAURATION D'HABITATS DÉGRADÉS ET AMÉNAGEMENT D'HABITATS

Pour ce type de projet, le calcul des gains correspond à la superficie de l'habitat aménagé qui inclut l'aire d'influence des aménagements dans le plan d'eau ou le cours d'eau. Tel que mentionné précédemment, l'utilisation de la superficie a été préférée aux calculs de productivité piscicole des habitats aménagés, qui sont d'une grande complexité. Ce type de projet fait partie de la catégorie « Restauration et amélioration de l'habitat » selon les définitions des types de mesures de compensation retrouvées dans la *Politique d'investissement en matière de productivité des pêches* (MPO 2013).

Les superficies occupées par les aménagements prévus ont été évaluées à partir des relevés effectués sur le terrain. Ainsi, une frayère aménagée sur une superficie de 10 m sur 2 m représente un gain direct de 20 m². L'utilisation du calcul direct n'est toutefois pas représentative du gain effectif apporté à l'ensemble de l'habitat du poisson. Selon cette approche, la mise en place de déflecteur, de seuil ou le nettoyage d'un site n'apporterait qu'un très faible gain en termes de superficie. En réalité, de telles modifications réalisées dans un habitat dégradé ou de faible qualité améliorent forcément la qualité de l'eau, la disponibilité des abris et l'accessibilité au littoral. En utilisant le calcul direct pour évaluer les gains, la réalisation de ce type d'aménagements est moins pertinente, car il serait impossible que les gains calculés sous cette forme puissent contribuer à contrebalancer les pertes totales du projet qui dépassent 155 ha. Cette forme de compensation serait écartée alors qu'elle est plutôt privilégiée par la *Politique d'investissement en matière de productivité des pêches* (MPO 2013) et de manière plus générale, par son importance sur le plan écologique. L'approche utilisée a plutôt été de cibler des aménagements qui auraient un impact positif important sur la valeur écologique du milieu aménagé.

La superficie d'influence permet d'intégrer l'ensemble de l'habitat du poisson qui est potentiellement favorisé par la réalisation d'aménagements. Par exemple, considérons une section de cours d'eau qui est aménagée en ajoutant une série de seuils avec alternance de frayères et d'abris. Ainsi, c'est toute la section aménagée qui profite à la production de poisson : l'augmentation de la qualité de l'eau et du substrat favorise le dépôt et la survie des œufs, l'ajout d'abris et de seuils contribue à la création et à l'amélioration d'aires d'alevinage et le nettoyage augmente la connectivité.

En somme, la superficie d'influence représente un portrait plus représentatif du gain obtenu à la suite de la réalisation d'un aménagement en incluant cette portion de l'habitat qui est plus difficile à comptabiliser. La méthode détaillée utilisée pour chaque projet de ce type est expliquée dans leur section spécifique (voir chapitre 6).

4.3 AMÉLIORATION DE LA FRANCHISSABILITÉ D'UN OBSTACLE NATUREL OU ARTIFICIEL

Ce type de projet fait partie de la catégorie « Restauration et amélioration de l'habitat » selon les définitions des types de mesures de compensation retrouvées dans la *Politique d'investissement en matière de productivité des pêches* (MPO 2013). Il vise l'amélioration de la connectivité entre les habitats, un mécanisme essentiel à la régulation et au maintien de l'abondance des populations de poissons. Les bénéfices apportés par ce type de projet sont importants pour plusieurs aspects dans le cycle de vie des poissons comme la persistance des populations à long terme et l'augmentation du flux génique. La quantification de ces bénéfices, ou le calcul des gains dans le présent contexte de compensation, est cependant difficile à

mesurer et à comparer avec les impacts engendrés par le projet. Une méthode de calcul a donc été élaborée sur la base de notre expertise en considérant qu'elle devait exprimer l'augmentation de la valeur écologique associée à la compensation, être comparable aux impacts du projet qui sont mesurés en superficie, tout en étant représentative des particularités locales du site. La formule présentée au tableau 4-1 et schématisée à la figure 4-1 a donc été développée afin d'obtenir une estimation quantitative des gains résultant de travaux visant l'amélioration de la connectivité, comme la construction d'une passe migratoire, la correction d'un ponton infranchissable ou l'amélioration du franchissement d'un obstacle difficile.

Tableau 4-1. Méthode de calcul utilisée pour évaluer le gain d'habitat pour un projet visant l'amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel

Paramètre	Source des données
Superficie des aires de reproduction inaccessibles	Superficie des frayères mesurées sur le terrain
÷	
Superficie totale des aires de reproduction dans le plan d'eau, y compris les tributaires accessibles et inaccessibles	Superficie des frayères mesurées sur le terrain
X	
Différence entre l'indice de franchissabilité finale (suite aux modifications) et initiale pour l'obstacle	Calculé à partir du protocole d'Informations sur la continuité écologique de Baudoin et collab. (2014)
X	
Superficie d'habitat préférentiel rendue disponible par les travaux	Indice de qualité d'habitat de Bradbury et collab. (2001) en lac et clé habitat-espèce en rivière
=	
Gain en habitat	Superficie ajustée (ha)

L'habitat de reproduction pour l'espèce ciblée par les aménagements a été utilisé comme indicateur de la valeur écologique avant et après les travaux. Il s'agit de l'un des éléments les plus sensibles et les plus importants pour que les poissons puissent compléter leur cycle de vie. Le rétablissement ou la création de nouveaux accès à des sites de reproduction naturels pour une population de poisson représente donc un gain certain en termes d'habitat essentiel disponible.

La caractérisation des frayères doit être effectuée en fonction des exigences propres à chacune des espèces de poissons d'intérêt. Pour l'omble de fontaine par exemple, la superficie des frayères potentielles a été calculée en fonction de la répartition du substrat propice (gravier) et des vitesses d'écoulement optimales. De plus, lorsque possible, l'utilisation des frayères a été confirmée par l'observation d'indices comme la présence de nids, d'œufs ou d'adultes pré-fraie.

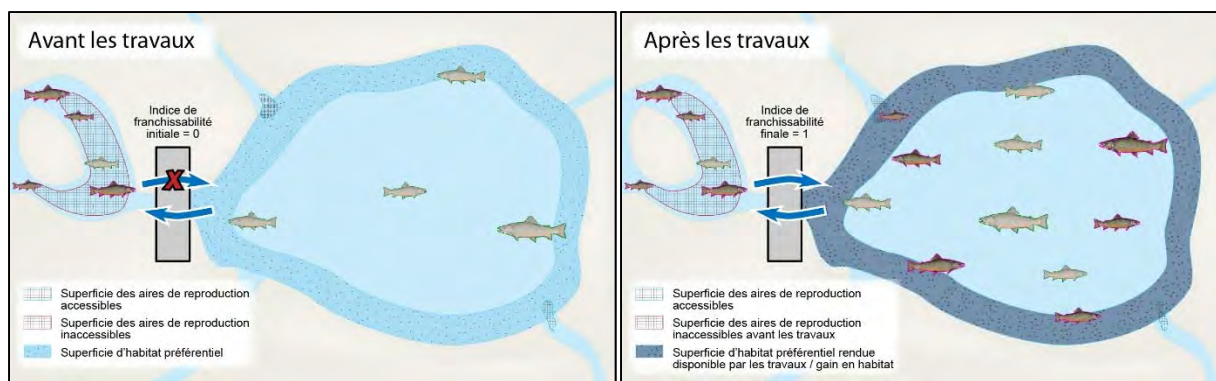


Figure 4-1. Schématisation de la méthode pour le calcul du gain d'habitat

Les indices de franchissabilité des obstacles ont été évalués à partir du protocole de Baudoin et collab. (2014) intitulé « *Évaluer le franchissement des obstacles par les poissons - principes et méthodes* ». Il propose une méthodologie d'évaluation standardisée pour diagnostiquer de manière simple et objective la capacité de franchissement des principaux types d'obstacles physiques à l'écoulement par les espèces communes des cours d'eau de France. Ce diagnostic repose sur la confrontation des caractéristiques géométriques et hydrauliques des obstacles avec les capacités physiques de nage et de saut des espèces de poissons considérées. Bien que l'on retrouve plusieurs de ces espèces sur le territoire québécois (ex. grand brochet, lotte, saumon atlantique), c'est la truite brune (*Salmo trutta*), l'équivalent européen de l'omble de fontaine, qui est utilisée dans le protocole. En effet, la truite brune présente des traits comportementaux et des capacités natatoires similaires à l'omble de fontaine (Castro-Santos et collab. 2013). Par souci d'uniformité avec les autres méthodes développées dans le monde, la capacité de franchissement des obstacles dans le protocole de Baudoin et collab. (2014) est définie selon quatre classes (0, 0,33, 0,66, 1). Il importe de considérer que ces classes ne constituent pas des taux de franchissement absolus, mais plutôt des degrés de franchissement. Des taux absolus peuvent être obtenus à l'aide de plusieurs modèles (ex. Peake et collab. 1997; Furniss et collab. 2008; Castro-Santos et collab. 2013), mais ceux-ci s'appliquent généralement à une seule espèce et ils sont excessivement difficiles à appliquer sur le terrain. L'objectif du protocole ici utilisé est de permettre de déterminer l'impact d'un obstacle sur la circulation des poissons à partir de critères simples et de moyens matériels faciles à mettre en œuvre.

La superficie d'habitat préférentiel de chacune des espèces a été calculée à partir d'une méthode propre à celle-ci. En lac, la méthode de Bradbury et collab. (2001) a été utilisée. Brièvement, elle consiste à distinguer la zone littorale de la zone profonde à partir de la profondeur du disque de Secchi et de la bathymétrie. Par la suite, chacune des deux zones est segmentée en fonction de la granulométrie du substrat et de la végétation aquatique pour former différents types d'habitats. La superficie de chacun de ces types d'habitats est multipliée par un indice de la qualité de l'habitat propre à l'espèce et au stade de vie afin d'obtenir une mesure relative de productivité d'habitat. Pour l'omble de fontaine par exemple, afin de simplifier l'évaluation, la méthode de calcul proposée utilise seulement la zone 0-5 m du lac puisqu'elle s'avère optimale pour la majorité des catégories d'habitats (profondeur, substrat et végétation aquatique) chez les adultes et les juvéniles d'après Bradbury et collab. (2001).

En rivière, la superficie d'habitat préférentiel a été calculée à l'aide d'une clé établie à partir des données recueillies dans la littérature et au terrain dans le cadre du projet hydroélectrique de la rivière Rupert (tableau 4-2). La clé permet de quantifier les types d'habitats présents dans un cours d'eau et ses affluents pour chacune des espèces en accordant une fonction (reproduction, alimentation) à chaque segment de cours d'eau. La superficie d'habitat préférentielle d'un segment pour une espèce donnée est comptabilisée lorsqu'un faciès d'écoulement est associé à une fonction. Par exemple, l'habitat préférentiel de l'omble de fontaine correspond à la superficie des segments seuil, rapide et chenal dans un cours d'eau.

Tableau 4-2. Clé habitat-espèce pour le calcul de l'habitat préférentiel dans les cours d'eau

Faciès d'écoulement	Substrat	Reproduction	Alimentation
Cascade, chute	B ^x , R, B	--	--
Rapide (Ra1, Ra2)	B, C, G, B ^x , R	COCL	CACA, COBA, COCL, COPL, LOLO, RHCA, SAFO
Seuil (Se1, Se2, Se3)	G, B, C, V, S	COPL, CACA, CACO, LOLO, RHCA, SAFO	CACO, LOLO
Chenal (Ch1, Ch2, Ch3)	G, C, V, S, B	CACA, CACO, COBA, COCL, COPL, ESLU, LOLO	ESLU, SAFO
Bassin ¹ (Ba1, Ba2)	V, S, C, G, B	COBA, COCL, COPL, ESLU	CACO, COBA, ESLU, LOLO

¹ Le bassin 1 correspond généralement à la zone de transition entre une zone de rapides et une zone d'écoulement lent (chenal, bassin 2 ou un lac).

Légende : CATO : meuniers noir et rouge; CORE : grand corégone et ménomini rond; CYPR : cyprinidés; COBA : chabot tacheté; COCL : grand corégone; COPL : méné de lac; ESLU : grand brochet; LOLO : lotte; RHCA : naseux des rapides; SAFO : omble de fontaine; SANA : touladi

5 PROJETS POTENTIELS

Cette section présente les projets potentiels ayant fait l'objet d'une analyse plus approfondie pour chacun des types de compensation. Le numéro de chacun des projets correspond à la localisation des sites potentiels présentée aux cartes 3-1 et 3-2. Le contexte constitue la raison pour laquelle des améliorations de l'habitat ont initialement été proposées ou jugées pertinentes. Une visite des sites a généralement été nécessaire pour documenter la problématique ainsi que pour élaborer des mesures correctrices pouvant améliorer l'habitat du poisson. En conclusion, les raisons qui ont mené soit à la poursuite du projet ou à son exclusion sont formulées.

5.1 RÉFECTION DE BARRAGE ET REHAUSSEMENT DU NIVEAU D'EAU

Le rehaussement du niveau d'un plan d'eau est l'un des types de projets qui a été considéré puisqu'on compte des milliers de barrages au Québec et que plusieurs d'entre eux sont dans un état dégradé et leur niveau d'exploitation a été réduit pour des raisons de sécurité. Dans plusieurs cas, les sommes d'argent requises pour une remise en état ne sont pas disponibles, car elles sont trop élevées pour les intervenants concernés (ministère, association locale, etc.). Or, les barrages où les niveaux de gestion sont abaissés occasionnent souvent des pertes d'habitat en amont dans la zone exondée ou en aval (sédimentation ou perte de régularisation du débit).

Douze (12) sites ont été examinés dans cette catégorie. Ceux-ci sont présentés dans les tableaux 5-1 à 5-8. La plupart des sites n'ont pas été retenus en raison de contraintes administratives liées à la future propriété du barrage ou en raison d'un faible gain potentiel. Deux sites ont été retenus en raison d'un gain potentiel élevé, soit le lac des Petits Escoumins et le lac Ellen.

Tableau 5-1. Évaluation du site au barrage Antrim (n° 88)

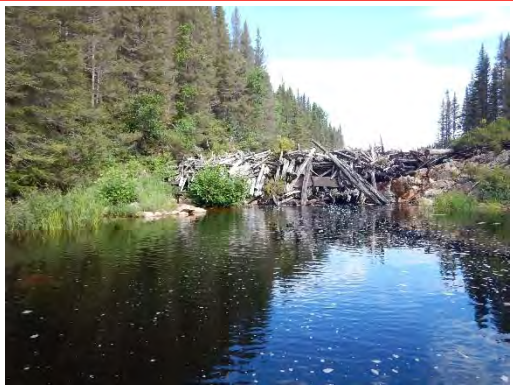
Site n° 88 Barrage Antrim (Côte-Nord)		
Latitude :	49° 34' 46.20" N	
Longitude :	68° 33' 05.90" O	
Contexte :	Barrage très détérioré entraînant des risques importants pour la sécurité de la route 389 en cas de rupture. Le barrage a été démantelé à la fin de 2018.	
Aménagement proposé :	Reconstruction du barrage qui entraînera la conservation du réservoir de 7,5 ha. Gain d'habitat non évalué, mais jugé faible puisqu'il s'agit d'une rivière.	
Conclusion :	Site non retenu, car la reconstruction procurerait un gain d'habitat jugé faible.	

Tableau 5-2. Évaluation du site au lac Varin (n° 91)


Site n° 91 Lac Varin (Côte-Nord)		
Latitude :	49° 30' 54.25" N	
Longitude :	68° 34' 18.07" O	
Contexte :	Détérioration avancée du barrage entraînant une diminution du niveau de l'eau du lac d'environ 50 cm par rapport à la LNHE.	
Aménagement proposé :	Reconstruction d'un ouvrage de retenue de l'eau avec passe migratoire. Gain d'habitat du poisson calculé à 5 ha.	
Conclusion :	Site non retenu, car il y a plusieurs contraintes administratives (ex. propriété foncière) et le barrage est difficile d'accès.	

Tableau 5-3. Évaluation du site au lac Pascal (n° 93)


Site n° 93 Lac Pascal (Côte-Nord)		
Latitude :	49° 31' 11.72" N	
Longitude :	68° 15' 55.99" O	
Contexte :	Niveau d'eau abaissé d'environ 1 m à la suite de la disparition du barrage à l'exutoire du lac.	
Aménagement proposé :	Aménagement d'un seuil avec déversoir à crête fixe à l'exutoire du lac. Gain d'habitat du poisson évalué à 4,6 ha.	
Conclusion :	Site non retenu, car l'accès au site est trop difficile et la propriété du futur barrage est problématique.	

Tableau 5-4. Évaluation du site au lac Nicabau (n° 102)


Site n° 102 Lac Nicabau (réserve faunique Ashuapmushuan)		
Latitude :	49° 23' 12.82" N	
Longitude :	74° 08' 01.11" O	
Contexte :	Niveau du lac abaissé à la suite du retrait du barrage vers la fin des années 1990. Baisse du rendement de la pêche au doré jaune de 40 %.	
Aménagement proposé :	Reconstruction d'ouvrages passifs en amont de l'ancien barrage. Gain d'habitat estimé à plus de 217 ha (calculé par rapport au débit d'étiage).	
Conclusion :	Site non retenu, car la quantité et la qualité des habitats créés à la suite de la construction du barrage sont incertaines. Les gains sont principalement associés à la période d'étiage, car le niveau du lac augmente considérablement durant les crues.	

Tableau 5-5. Évaluation des sites à la pourvoirie Essipit (nos 114, 115, 116, 117 et 129)


Sites n ^{os} 114, 115, 116, 117 et 129 Lacs Maigre, Petit lac Claire, Cormier, Lemieux, Ellen (Côte-Nord)		
Latitude :	48° 31' 06.54" N	
Longitude :	69° 43' 25.36" O	
Contexte :	Proposition de la Première Nation des Innus Essipit. Barrages dégradés entraînant des pertes du niveau de l'eau des lacs. Ces ouvrages peuvent aussi limiter la migration des poissons.	
Aménagement proposé :	Reconstruction du barrage du lac Ellen et aménagement de passes migratoires. Gain d'habitat riverain estimé à 50,9 ha.	
Conclusion :	Lac Ellen retenu, car le gain en habitat du poisson est important et le site est une priorité pour la Pourvoirie Club Claire qui est située dans les limites du Nitassinan de la Première Nation des Innus Essipit.	

Tableau 5-6. Évaluation du site au lac des Petits Escoumins (n° 118)


Site n° 118 Lac des Petits Escoumins (Côte-Nord)		
Latitude :	48° 29' 02.71" N	
Longitude :	69° 37' 27.76" O	
Contexte :	L'une des principales priorités de la Première Nation des Innus Essipit. Présence de deux anciens barrages forestiers n'assurant plus le maintien des conditions d'habitat pour l'omble de fontaine.	
Aménagement proposé :	Remplacer les barrages par un barrage en enrochement et un barrage en béton munis d'un déversoir à crête fixe. Réalisation de divers aménagements (frayère-seuil) pour l'omble de fontaine. Gain évalué à 13,8 ha.	
Conclusion :	Site retenu, car la réfection des barrages est une priorité pour la pourvoirie du Domaine du lac Bernier qui est située dans les limites du Nitassinan de la Première Nation des Innus Essipit.	

Tableau 5-7. Évaluation du site au lac Savane (n° 125)

Site n° 125 Lac Savane (réserve faunique des Laurentides)		
Latitude :	47° 26' 58.87" N	
Longitude :	70° 52' 18.91" O	
Contexte :	Barrage démantelé en 2006 entraînant une importante perte d'habitat du poisson de même qu'une diminution du rendement de pêche dans le secteur.	
Aménagement proposé :	Construction d'une digue et d'un déversoir à crête fixe en amont de l'emplacement de l'ancien barrage. Gain estimé à 180 ha.	
Conclusion :	Site non retenu, car la propriété du nouveau barrage est problématique.	

Tableau 5-8. Évaluation du site au lac Polette (n° 127)


Site n° 127 Lac Polette (réserve faunique du Saint-Maurice)		
Latitude :	47° 08' 4.81" N	
Longitude :	73° 00' 1.56" O	
Contexte :	Présence de nombreuses brèches dans le barrage n'assurant plus l'étanchéité de la structure. Lac stratégique de la réserve faunique du Saint-Maurice.	
Aménagement proposé :	Reconstruction du barrage et aménagement d'une passe migratoire. Discussion en cours entre la Sépaq et le MPO pour faire reconnaître la superficie complète du lac (250 ha) en gain.	
Conclusion :	Site non retenu, car il y a une incertitude sur la reconnaissance du gain en habitat du poisson.	

5.2 RESTAURATION D'HABITATS DÉGRADÉS ET AMÉNAGEMENT D'HABITATS

Plusieurs sites potentiels ont été considérés et visités pour ce type de compensation, car cette forme permet la restauration ou l'amélioration d'habitat en mauvais état ou peu productif découlant souvent des activités anthropiques. Même si les projets sont généralement de plus faible envergure, les opportunités de compensation sont nombreuses et permettent aux populations locales de bénéficier des améliorations apportées à l'habitat du poisson.

Vingt-deux (22) sites ont été examinés dans cette catégorie. Ceux-ci sont présentés dans les tableaux 5-9 à 5-24. La plupart des sites n'ont pas été retenus en raison d'un faible gain potentiel. Cinq sites répartis entre les lacs Daviault et Carheil ont été retenus en raison de nombreuses possibilités d'amélioration générant un gain potentiel élevé et de leur proximité avec la mine de fer du lac Bloom.

Tableau 5-9. Évaluation du site au lac Inukshuk (n° 4)

Site n° 4 Lac Inukshuk (Schefferville)		
Latitude :	54° 54' 12.88" N	
Longitude :	67° 04' 14.14" O	
Contexte :	Les milieux aquatiques situés à proximité de la ville de Schefferville ont été lourdement impactés par l'industrie minière causant une réduction de la productivité piscicole de plusieurs lacs.	
Aménagement proposé :	Ensemencement d'un lac sans poisson afin de soutenir les activités de pêche autochtone. Aménagement de frayères et d'aire d'alevinage en parallèle. Gain en habitat équivalent à la superficie du lac.	
Conclusion :	Site non retenu, car le projet n'est pas prioritaire pour les communautés autochtones locales.	

Source : AMEC (2009)

Tableau 5-10. Évaluation des sites dans le réseau hydrographique du lac La Cosa (n^{os} 5, 7, 8, 11 et 17)


Site n^{os} 5, 7, 8, 11 et 17 Réseau hydrographique du lac La Cosa (Schefferville)		
Latitude :	54° 52' 10.16" N	
Longitude :	66° 54' 55.96" O	
Contexte :	L'une des principales priorités de la NIMLJ. Présence de plusieurs sources de pollution, dont la présence d'eau rouge et d'hydrocarbures provenant des activités se déroulant le long de la rue de la Gare.	
Aménagement proposé :	Limiter les sources de pollution (meilleure gestion de l'entreposage des équipements industriels) et aménager des infrastructures naturelles (ex. risbermes et marais filtrant).	Source : Groupe Hémisphère (2011)
Conclusion :	Non retenu, car les sources sont difficiles à circonscrire, les moyens de restauration sont limités et complexes et le gain en habitat du poisson est incertain.	

Tableau 5-11. Évaluation du site au lac Denault (n^o 9)


Site n^o 9 Lac Denault (Schefferville)		
Latitude :	54° 50' 14.13" N	
Longitude :	66° 53' 36.98" O	
Contexte :	L'une des principales préoccupations de la NIMLJ. Ancienne halde à résidus qui empiète dans une portion du lac contribuant à générer des eaux rouges.	
Aménagement proposé :	Stabilisation au pied de la halde à l'aide d'enrochement et aménagement d'un fossé collecteur et d'un bassin de rétention des eaux pour traiter les eaux rouges.	Photo: MIFP
Conclusion :	Site non retenu, car les coûts de mise en œuvre sont très élevés et le gain en habitat du poisson est incertain. Des inventaires seront réalisés en 2019 afin d'évaluer les possibilités d'aménagement.	

Tableau 5-12. Évaluation du site au lac Pearce (n° 20)


Site n° 20 Lac Pearce (Schefferville)		
Latitude :	54° 48' 18.30" N	
Longitude :	66° 49' 23.63" O	
Contexte :	L'une des principales préoccupations de la NIMLJ. Le lac Pearce reçoit actuellement les eaux usées de la ville de Schefferville. La conduite d'eaux usées qui traverse le lac Pearce a été sectionnée créant ainsi une problématique potentielle au niveau de la qualité de l'eau. La population de touladi semble affectée.	
Aménagement proposé :	Décontamination du substrat et reconstruction de la conduite. Mise aux normes de l'usine d'épuration des eaux usées.	
Conclusion :	Site non retenu en raison du manque de connaissances sur la problématique réelle. Des inventaires seront réalisés en 2019 afin d'évaluer la qualité des eaux et des sédiments et ainsi proposer des pistes de solutions.	

Tableau 5-13. Évaluation du site au tributaire du lac Daviault (n° 29) et dans l'émissaire du lac Daviault (n° 37)


Sites n ^{os} 29 et 37 Tributaire et émissaire du lac Daviault (Fermont)		
Latitude :	52° 46' 58.95" N	
Longitude :	67° 06' 10.91" O	
Contexte :	Habitat partiellement dégradé par le rejet des eaux usées de la ville. En 2010, d'importantes modifications ont été réalisées afin de réduire la charge en nutriment de l'effluent.	
Aménagement proposé :	Aménagement et amélioration des habitats de reproduction (frayère, seuil, abris, qualité de l'eau) pour l'omble de fontaine sur plusieurs kilomètres. Superficie d'influence évaluée à 15,1 ha.	
Conclusion :	Sites retenus, car il y a plusieurs possibilités d'amélioration de l'habitat. Ils sont facilement accessibles à la population de Fermont, ils sont situés à proximité de la mine du lac Bloom et on retrouve une grande disponibilité de matériaux.	

Tableau 5-14. Évaluation du site au lac Daviault (n° 33)


Site n° 33 Lac Daviault (Fermont)		
Latitude :	52° 48' 52.21" N	
Longitude :	67° 04' 12.15" O	
Contexte :	Faible succès de pêche et réduction de la masse moyenne des touladis selon les pêcheurs. Lors de la visite du lac, peu de frayères potentielles ont été observées.	
Aménagement proposé :	Agrandissement d'une frayère potentielle déjà existante pour la reproduction du touladi ainsi que pour d'autres espèces de poissons-fourrages. Superficie d'influence évaluée à 8,8 ha.	
Conclusion :	Site retenu, car il est facilement accessible à la population de Fermont et se situe à proximité de la mine du lac Bloom.	

Tableau 5-15. Évaluation du site dans l'émissaire du lac Daigle (n° 34)


Site n° 34 Émissaire du lac Daigle (Fermont)		
Latitude :	52° 47' 27.20" N	
Longitude :	67° 14' 06.67" O	
Contexte :	Site localisé près des mines de Mont-Wright et du lac Bloom présentant un bon potentiel d'amélioration de l'habitat.	
Aménagement proposé :	Bonification des habitats de reproduction de l'omble de fontaine par l'ajout de frayères, de seuils et d'aires d'alevinage. Gain en habitat faible.	
Conclusion :	Site non retenu, car le gain en habitat du poisson est négligeable dans le cadre du présent plan de compensation.	

Tableau 5-16. Évaluation du site dans le secteur de la « mine des Chinois » (n° 36)


Site n° 36 Secteur de la « mine des Chinois » (Fermont)		
Latitude :	52° 47' 08.87" N	
Longitude :	67° 08' 47.13" O	
Contexte :	Site proposé par la Ville de Fermont où des travaux d'exploration minière ont déjà été réalisés dans le passé.	
Aménagement proposé :	Correction de quelques ponceaux infranchissables.	
Conclusion :	Site non retenu, car il présente un faible potentiel au niveau de la qualité de l'habitat. Le gain d'habitat en termes de superficie est négligeable.	

Tableau 5-17. Évaluation du site au lac en Croissant (n° 38)


Site n° 38 Lac en Croissant et ses tributaires (Fermont)		
Latitude :	52° 46' 0.74" N	
Longitude :	67° 8' 17.66" O	
Contexte :	Population de poisson en déclin résultant de la pression de pêche élevée selon les pêcheurs interrogés.	
Aménagement proposé :	Documentation de la problématique et amélioration des habitats de reproduction.	
Conclusion :	Site non retenu, car l'accès est difficile.	

Tableau 5-18. Évaluation du site au lac Moiré (n° 39)


Site n° 39 Lac Moiré (Fermont)		
Latitude :	52° 45' 56.05" N	
Longitude :	67° 11' 46.30" O	
Contexte :	Lac situé près de la mine de Mont-Wright. Recrutement du touladi possiblement insuffisant et faible masse moyenne.	
Aménagement proposé :	Retrait de plusieurs anciens barils d'huile de la rive et amélioration des habitats de reproduction. Gain en habitat faible.	
Conclusion :	Site non retenu, car une importante frayère potentielle à touladi a été découverte lors de la caractérisation du lac. De plus, des aménagements pour l'omble de fontaine ont déjà été réalisés à l'émissaire.	

Tableau 5-19. Évaluation du site dans l'émissaire du lac des Huards (n° 41)

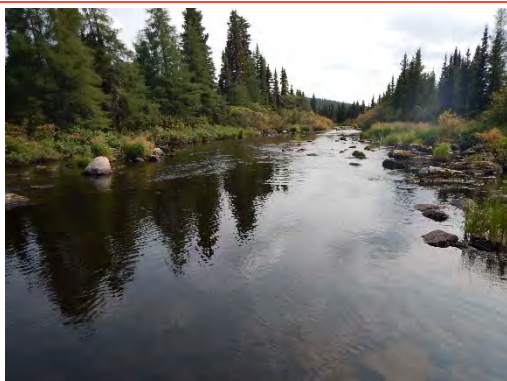
Site n° 41 Émissaire du lac des Huards (Fermont)		
Latitude :	52° 45' 45.53" N	
Longitude :	67° 06' 21.33" O	
Contexte :	Habitat partiellement dégradé par le rejet des eaux usées de la ville. En 2010, d'importantes modifications ont été réalisées afin de réduire la charge en nutriment de l'effluent.	
Aménagement proposé :	Aménagement et amélioration des habitats (frayère, seuil, abris, déflecteurs, qualité de l'eau) pour plusieurs espèces de poissons. Superficie d'influence évaluée à 13,8 ha.	
Conclusion :	Site retenu, car le potentiel de restauration est élevé. Il est facilement accessible à la population de Fermont et est situé à proximité de la mine du lac Bloom.	

Tableau 5-20. Évaluation du site au lac des Huards (n° 43)

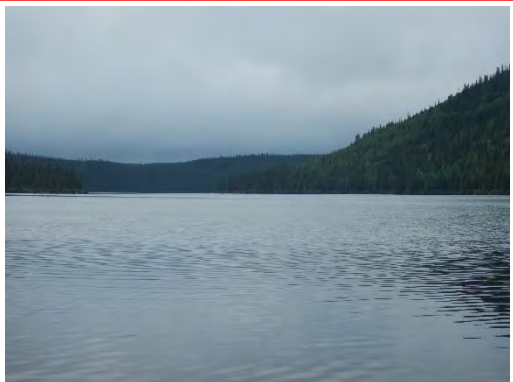
Site n° 43 Lac des Huards (Fermont)		
Latitude :	52° 45' 34.15" N	
Longitude :	67° 04' 48.15" O	
Contexte :	Processus d'eutrophisation en cours (apparition récurrente d'efflorescences de cyanobactérie, faible concentration d'oxygène dissous et concentration élevée en phosphore dans les sédiments).	
Aménagement proposé :	Mesures complémentaires comptant pour 10 % (16 ha) du plan de compensation par la réalisation d'un projet d'acquisition de connaissances afin de trouver des solutions pour enrayer le processus d'eutrophisation.	
Conclusion :	Site non retenu, car l'atteinte des objectifs de restauration est incertaine.	

Tableau 5-21. Évaluation du site dans l'émissaire du lac Low Ball (n° 63)

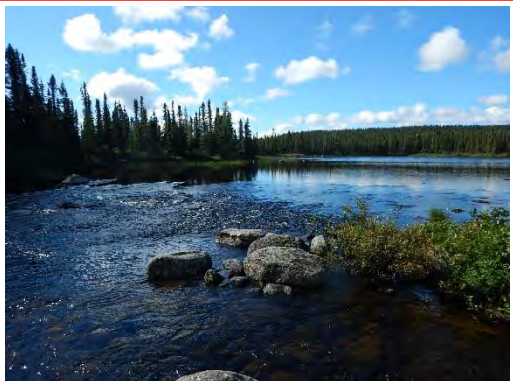
Site n° 63 Émissaire du lac Low Ball (Fermont)		
Latitude :	52° 41' 01.78" N	
Longitude :	67° 05' 57.52" O	
Contexte :	Situé en aval de la mine du Mont-Wright dans le même bassin versant que le site minier.	
Aménagement proposé :	Construction de deux frayères pour l'omble de fontaine.	
Conclusion :	Site non retenu, car il est difficile d'accès et le gain d'habitat est faible au niveau de la superficie.	

Tableau 5-22. Évaluation du site au lac Carheil (n° 71)

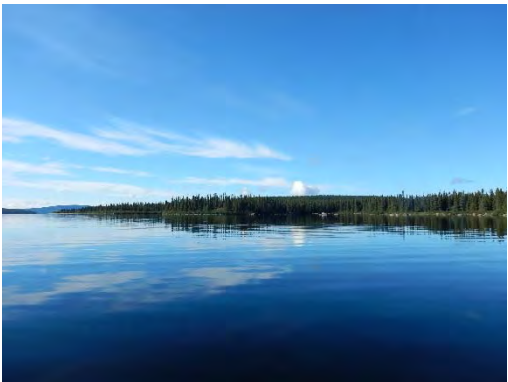
Site n° 71 Lac Carheil (Fermont)		
Latitude :	52° 3' 28.48" N	
Longitude :	67° 02' 38.99" O	
Contexte :	Apparition récurrente d'efflorescences de cyanobactéries selon l'Organisme de bassin versant Duplessis. Faible productivité du touladi d'après les pêcheurs interrogés.	
Aménagement proposé :	Aménagement d'une frayère multi-espèces (touladi et poissons-fourrages) sur un haut-fond du lac. Retrait de gros pneus dans la baie de mise à l'eau. Superficie d'influence évaluée à 5,0 ha.	
Conclusion :	Site retenu, car peu de frayères potentielles ont été observées lors de la caractérisation du lac. Il est facilement accessible à la population de Fermont et est situé à proximité de la mine du lac Bloom.	

Tableau 5-23. Évaluation des sites dans les tributaires du lac à la Loutre (nos 86 et 94)


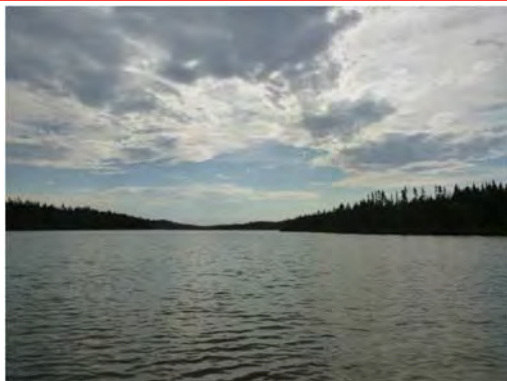
Site nos 86 et 94 Tributaires du lac à la Loutre (Baie-Comeau)		
Latitude :	49° 35' 20.62" N	
Longitude :	68° 17' 48.91" O	
Contexte :	Le niveau d'eau du lac à la Loutre, qui est régi par un barrage, est soumis à des fluctuations saisonnières qui peuvent affecter la productivité des frayères.	
Aménagement proposé :	Agrandissement de frayères existantes et installation de seuils afin de stabiliser les fluctuations du niveau de l'eau. Gain en habitat faible.	
Conclusion :	Site non retenu, car la construction d'une passe migratoire au barrage a été jugée préférable en raison de la présence d'une importante frayère à omble de fontaine observée en aval du barrage.	

Tableau 5-24. Évaluation du site au lac Lambert (n° 131)

Site n° 131 Lac Lambert (Maliotenam)		
Latitude :	50° 12' 10.74" N	
Longitude :	66° 10' 31.45" O	
Contexte :	L'une des principales priorités de la nation innue ITUM. L'abondance de la population d'omble de fontaine aurait diminué au cours des dernières décennies.	
Aménagement proposé :	Amélioration des habitats dans le lac (excavation de fosses, installation d'équipement pour favoriser l'oxygénation de l'eau) et aménagement de seuils et de déflecteurs dans l'émissaire.	
Conclusion :	Site non retenu, car le lac présente des conditions non propices (eutrophisation en cours, faible profondeur, substrat uniforme) au maintien d'une population d'omble de fontaine exploitée par la pêche sportive.	

5.3 AMÉLIORATION DE LA FRANCHISSABILITÉ D'UN OBSTACLE NATUREL OU ARTIFICIEL

Ce type de projet a été retenu pour sa grande importance sur le plan écologique. Il est largement reconnu que la connectivité est l'un des processus les plus importants dans la régulation et le maintien de l'abondance des populations de poissons, mais aussi pour tous les types d'organismes vivants (Levin 1974; Hanski et Gaggiotti 2004). Or, la connectivité entre les habitats est actuellement très fragmentée et il existe d'innombrables sites propices pour apporter des correctifs dans le territoire québécois (ponceau, barrage, etc.).

Quatorze (14) sites ont été examinés dans cette catégorie. Ceux-ci sont présentés dans les tableaux 5-25 à 5-31. La plupart des sites n'ont pas été retenus en raison d'un faible gain potentiel. Huit (8) sites dans le secteur de Schefferville ont été retenus en raison de la priorité de restauration accordée par la communauté autochtone. Le site sur la rivière Nabisipi a également été retenu en raison de la pertinence de ce projet pour le saumon atlantique.

Tableau 5-25. Évaluation des sites aux ponceaux PI01 à PI08 (n^{os} 2, 6, 12, 13, 16, 18, 19 et 24)


Site n^{os} 2, 6, 12, 13, 16, 18, 19 et 24 Ponceaux infranchissables (Schefferville)		
Latitude :	54° 49' 32.52" N (plusieurs sites)	
Longitude :	66° 51' 05.42" O	
Contexte :	L'une des principales priorités de la NIMLJ. Plusieurs ponceaux en mauvais état et infranchissables empêchant la migration des poissons entre les lacs et vers les sites de reproduction en rivière.	
Aménagement proposé :	Installation de dispositifs de franchissement en aval ou dans le ponceau, remplacement de l'infrastructure et aménagement de sites de reproduction. Gain non évalué.	
Conclusion :	Sites retenus, car c'est l'une des principales priorités de la NIMLJ. Le rétablissement de la connectivité est très important pour la persistance de l'abondance des populations de poissons qui comprennent plusieurs espèces de salmonidés.	

Tableau 5-26. Évaluation du site au ponceau PO-01 (n^o 44)


Site n^o 44 Ponceau infranchissable PO-01 (Fermont)		
Latitude :	52° 45' 30.64" N	
Longitude :	67° 26' 28.08" O	
Contexte :	Ponceau infranchissable sur la route 389 empêchant la migration des poissons vers l'amont. Des alevins d'omble de fontaine ont été observés à la sortie du ponceau.	
Aménagement proposé :	Rendre le ponceau franchissable par l'aménagement d'une série de bassins successifs. Gain en habitat faible.	
Conclusion :	Site non retenu, car le gain en habitat du poisson est négligeable dans le cadre du présent plan de compensation.	

Tableau 5-27. Évaluation du site au ponceau PO-06 (n° 51)


Site n° 51 Ponceau infranchissable PO-06 (Fermont)		
Latitude :	52° 44' 39.46" N	
Longitude :	67° 06' 55.71" O	
Contexte :	Ponceau en mauvais état et infranchissable empêchant la migration des poissons du tributaire du lac Carheil vers un lac.	
Aménagement proposé :	Correction des zones en érosion et aménagement d'une série de bassins successifs. Gain en habitat faible.	
Conclusion :	Site non retenu, car les travaux de correction seraient trop importants par rapport à la faible qualité de l'habitat du cours d'eau en amont de l'obstacle.	

Tableau 5-28. Évaluation du site sur la rivière Nabisipi (n° 77)

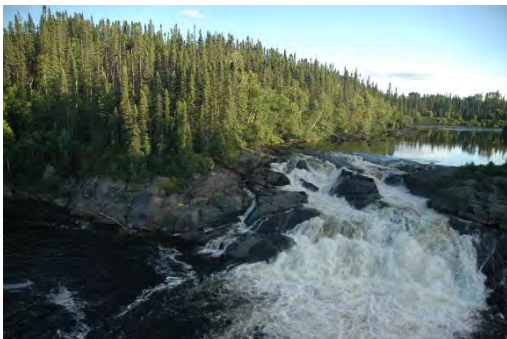
Site n° 77 Rivière Nabisipi (Côte-Nord)		
Latitude :	50° 30' 10.59" N	
Longitude :	62° 12' 51.55" O	
Contexte :	Présence d'une chute infranchissable avec réserve au point kilométrique (PK) 39,2 limitant le nombre de géniteurs ou la qualité de ceux-ci (retard de migration, braconnage, blessure et mortalité).	
Aménagement proposé :	Mise en place d'une passe migratoire à bassins déversant le long de la rive droite de la chute. Gain évalué à 2 392 saumons, soit 73,5 % du potentiel de production totale de la rivière.	
Conclusion :	Site retenu, car l'aménagement de la chute facilitera l'accès au saumon atlantique à 75 km supplémentaires d'habitats de qualité. Site prioritaire pour la Nation innue de Nutashkuan.	

Tableau 5-29. Évaluation du site sur la rivière Aguanus (n° 78)

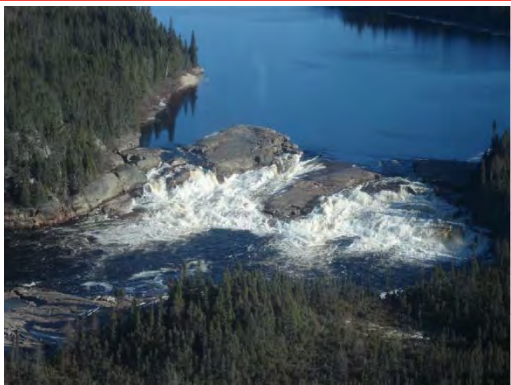
Site n° 78 Rivière Aguanus (Côte-Nord)		
Latitude :	50° 19' 14.97" N	
Longitude :	62° 01' 08.76" O	
Contexte :	Présence de deux chutes infranchissables avec réserve aux PK 16,0 et 34,7 limitant l'accès au saumon d'un secteur très productif en termes de potentiel salmonicole.	
Aménagement proposé :	Mise en place de deux passes migratoires à bassins successifs afin de faciliter le passage des saumons dans ces chutes. Gain évalué à 4 077 géniteurs, soit 81 % du potentiel de production totale de la rivière.	
Conclusion :	Site non retenu, car le coût de réalisation est élevé et la reconnaissance du gain est incertaine. Il s'agit de la colonisation d'un nouvel habitat pour le saumon.	

Tableau 5-30. Évaluation du site au lac à la Loutre (n° 92)


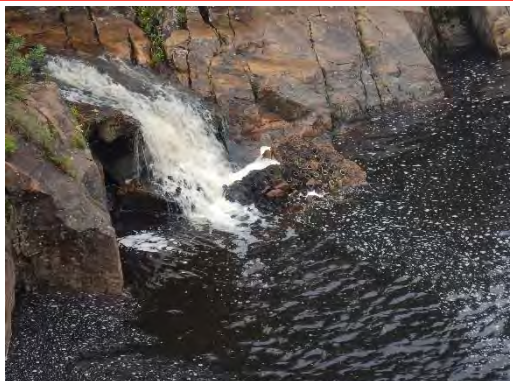
Site n° 92 Lac à la Loutre (Baie-Comeau)		
Latitude :	49° 31' 23.14" N	
Longitude :	68° 17' 06.61" O	
Contexte :	Le barrage à l'émissaire du lac restreint l'accès des ombles de fontaine à une importante frayère située en aval et empêche leur retour vers le lac à la Loutre. Le niveau d'eau du lac a été abaissé.	
Aménagement proposé :	Réfection du barrage et construction d'une passe migratoire. Gain direct et indirect évalué à 76 ha.	
Conclusion :	Site retenu, car il y a une opportunité d'implanter une passe migratoire à poisson en même temps que la réalisation de travaux de réfection nécessaires au maintien du barrage.	

Tableau 5-31. Évaluation du site sur la rivière Amédée (n° 108)

Site n° 108 Rivière Amédée (Baie-Comeau)		
Latitude :	49° 11' 43.65" N	
Longitude :	68° 14' 44.10" O	
Contexte :	Passe migratoire à anguille en mauvais état, notamment en ce qui concerne son entrée qui n'est plus fonctionnelle.	
Aménagement proposé :	Réfection de l'entrée de la passe migratoire ainsi que le relief du fond de la glissade pour faciliter le passage des poissons. Gain non évalué.	
Conclusion :	Site non retenu, car l'aménagement ne favoriserait aucune des espèces impactées par le projet. De plus, le gain est incertain, car l'anguille monte à travers le barrage.	

5.4 SITES RETENUS

Plusieurs projets ont été présentés au cours d'une rencontre tenue le 23 janvier 2019 à laquelle prenaient part plusieurs spécialistes du MFFP ainsi que du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). Au cours de cette rencontre, les différents intervenants ont été invités à soumettre leurs commentaires et questionnements afin de bonifier le présent plan de compensation. Les ministères impliqués procèdent actuellement à l'analyse préliminaire des différents projets. Il est important de mentionner que le choix des projets retenus s'est également basé sur les *Lignes directrices pour la conservation des habitats fauniques* du MFFP (2015). Ce document vient préciser l'approche à préconiser pour la compensation d'habitat faunique en vertu de la Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune.

Parmi l'ensemble des sites évalués, cinq projets, comprenant 17 sites, sont finalement retenus dans le présent plan de compensation (tableau 5-32). La sélection de plusieurs projets (et comportant plusieurs sites) permet de diversifier les actions et de varier les types de mesures de compensation tels que définis dans la *Politique d'investissement en matière de productivité des pêches* (MPO 2013). Tous les projets proposés sont décrits en détail dans un chapitre distinct (chapitres 6 à 10).

Tableau 5-32. Sites retenus proposés en guise de compensation de l'habitat du poisson

N° site	Projet proposé	Type de projet	Type de mesures de compensation selon la Politique¹
29, 33, 37, 41 et 71	Aménagements multispécifiques dans le réseau hydrographique compris entre le lac Daviault et le lac Carheil	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	Restauration et amélioration de l'habitat
2, 6, 12, 13, 16, 18, 19 et 24	Réfection de ponceaux infranchissables dans la région de Schefferville	Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	Restauration et amélioration de l'habitat
92	Rehaussement du lac à la Loutre et installation d'une passe migratoire	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel	Création d'habitats Restauration et amélioration de l'habitat
118 et 129	Rehaussement des niveaux d'eau aux lacs des Petits Escoumins et Ellen	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel	Création d'habitats Restauration et amélioration de l'habitat
77	Amélioration de la montaison du saumon atlantique sur la rivière Nabisipi	Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel	Restauration et amélioration de l'habitat

¹ Types de mesures de compensation selon la Politique d'investissement en matière de productivité des pêches (MPO 2013).

6 PROJET N° 1 - AMÉNAGEMENTS MULTISPÉCIFIQUES DANS LE RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE COMPRIS ENTRE LES LACS DAVIAULT ET CARHEIL

6.1 DESCRIPTION DU PROJET

Le projet proposé dans ce chapitre est majoritairement situé à l'intérieur des limites de la ville de Fermont. Il consiste en une série d'aménagements en lac et en rivière répartis à l'intérieur du réseau hydrographique compris entre les lacs Daviault et Carheil. Ce territoire est localisé dans le bassin versant du lac Carheil, qui a une superficie de 328 km², étant lui-même inclus dans le bassin versant de la rivière Moisie (OBV Duplessis 2015).

Fondée en 1974, cette ville mono-industrielle minière est située dans la Fosse du Labrador qui est connue pour ses importants gisements de fer. C'est d'ailleurs pour l'exploitation du minerai de fer de Mont-Wright que la Compagnie minière Québec Cartier entreprend la construction de la ville (CLD Caniapiscou 2015). En quelques années, il fallut aménager toutes les infrastructures nécessaires au bon fonctionnement de la ville, dont les canalisations d'égouts sanitaires et pluviaux, les aqueducs et l'usine d'épuration. Jusqu'en 2010, les eaux usées de la ville ont été traitées par la rétention des matières solides à l'intérieur de bassins de décantation. Les eaux usées ainsi traitées étaient par la suite rejetées au début de l'émissaire du lac Daviault qui alimente le lac des Huards quelques kilomètres en aval. En 2010, d'importantes améliorations ont été réalisées à la station d'épuration des eaux usées par l'ajout de trois nouveaux étangs aérés et d'un système de déphosphatation chimique afin de réduire à 0,8 mg/L la charge en phosphore de l'effluent rejeté dans le milieu aquatique (OBV Duplessis 2015).

Ces modifications à la station d'épuration surviennent dans un contexte où, entre 2005 et 2011, des épisodes de proliférations importantes et récurrentes de cyanobactéries ont été observés dans les lacs des Huards et Carheil (MDDELCC 2018; OBV Duplessis 2011, 2015). Comme l'apparition de cyanobactéries est souvent indicatrice de la dégradation de la qualité de l'eau (Smol 2008), l'état de santé des lacs s'est avéré préoccupant pour la population et la ville de Fermont. L'OBV Duplessis a par la suite mené deux campagnes d'échantillonnage en 2008 et 2009 et a conclu que les concentrations en phosphore dépassaient le seuil de qualité de l'eau défini pour la région (OBV Duplessis 2011, 2015). Dans le cadre de la recherche de sites de compensation, l'OBV Duplessis a fortement suggéré de considérer le réseau des lacs Daviault, des Huards et Carheil. Il importe également de rappeler que certains pêcheurs locaux avaient mentionné que les populations de touladis dans ces plans d'eau étaient devenues peu abondantes, une information compatible avec la baisse de la qualité de l'eau observée. Il a été démontré qu'une augmentation de la production primaire d'un lac entraîne une plus grande consommation de l'oxygène dissous par les décomposeurs qui a pour effet de réduire le volume d'eau dans lequel peut vivre le touladi (Evans et collab. 1991).

Dans la prochaine section les objectifs du projet sont identifiés. Une description détaillée du site sera effectuée en y présentant les principales observations effectuées sur le terrain. Ces résultats permettront de mieux définir la problématique sur chacun des sites inventoriés. La méthodologie utilisée pour l'élaboration des aménagements est aussi brièvement présentée. La méthode d'évaluation des gains est par la suite expliquée, après quoi le programme de suivi et l'échéancier du projet sont présentés.

6.1.1 OBJECTIFS

L'objectif principal de ce projet de compensation est de contrebalancer une partie des pertes d'habitat du poisson causées par le projet minier en réalisant différentes interventions pour améliorer les habitats situés à proximité du site touché. Les objectifs spécifiques sont :

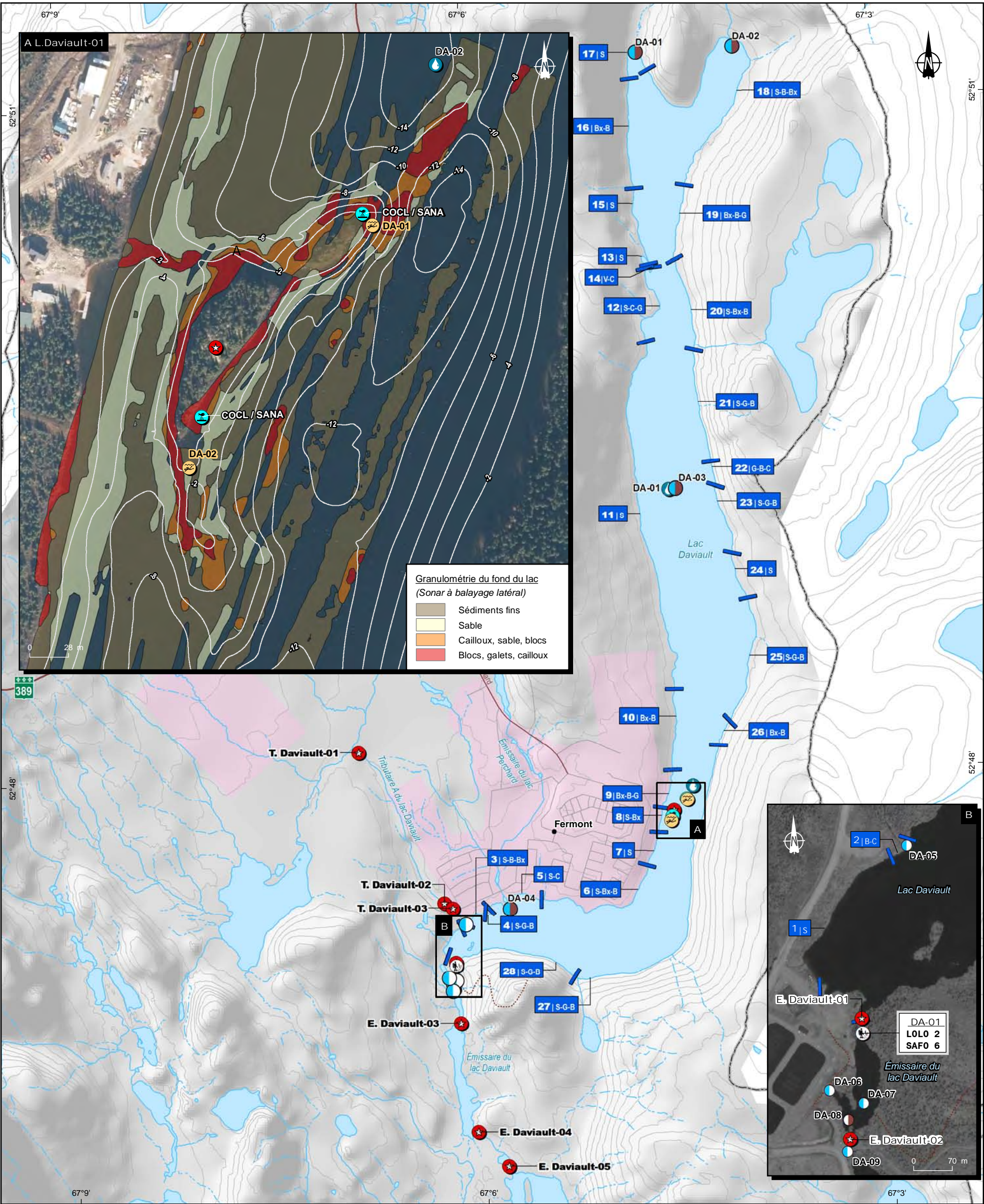
- Réaliser divers types d'aménagements fauniques dans un secteur d'intérêt pour la population de Fermont et où il y a une problématique connue.
- Réaliser ces aménagements dans des habitats similaires à ceux ayant été impactés pour favoriser les mêmes espèces.
- Améliorer la qualité des habitats essentiels pour plusieurs espèces de poissons afin d'augmenter le rendement des pêches et, ultimement, le succès de pêche des plans d'eau améliorés.
- Réaliser des interventions stables et durables afin qu'elles puissent bénéficier à long terme à la communauté de poissons.
- Adopter une approche favorisant la biodiversité (inclusion de plusieurs espèces de poissons, d'oiseaux, de végétaux, de l'herpétofaune, etc.) pour que les interventions proposées puissent être bénéfiques à l'échelle de l'écosystème.

6.1.2 DESCRIPTION DU SITE

Pour la planification de la campagne de terrain, une analyse des données existantes a d'abord été réalisée afin d'identifier précisément les sites à visiter et de bien définir les relevés à y faire. À cet effet, des photographies aériennes ont été examinées, l'hydrographie a été étudiée et une demande d'accès à l'information a été acheminée au MFFP afin d'obtenir les données sur la communauté de poissons des lacs d'intérêt (espèce, pêche expérimentale, abondance, etc.).

Le lac Daviault, qui constitue les limites de la ville de Fermont à l'est et au sud, mesure 9,2 km de longueur sur environ 0,5 km de largeur, pour une superficie d'environ 440 ha (carte 6-1). Il se déverse dans le lac des Huards via un émissaire dont la longueur est d'environ 2 km. Le lac des Huards a une forme irrégulière et une superficie de plus de 100 ha (carte 6-2). Il se déverse à son tour dans le lac Carheil, via un émissaire de 5 km de longueur. Le lac Carheil est le plus grand plan d'eau du réseau hydrographique considéré. De forme allongée, il mesure approximativement 18 km de longueur et possède une superficie de 1 983 ha (carte 6-3). Les trois plans d'eau sont tous facilement accessibles à partir de la ville de Fermont en empruntant la rue Duchesneau qui se prolonge en chemin forestier.

Selon les informations transmises par le MFFP, le lac Daviault abriterait les espèces de poissons suivantes : meuniers noir et rouge, naseux des rapides, méné de lac, omble de fontaine, lotte et ménomini rond. Au lac Carheil, seule la présence du touladi aurait été confirmée. De plus, des inventaires réalisés en 2013 dans le cadre du projet d'amélioration de la route 389 (MTQ 2015) ont permis de constater que le chabot sp., le grand brochet, le grand corégone et le mulot perlé étaient également présents dans le bassin versant du lac Carheil. En l'absence d'obstacle infranchissable, il a été considéré que cette communauté était probablement présente dans les trois plans d'eau à l'étude. Aucune donnée quantitative n'a été fournie par la demande d'information adressée au MFFP.



Caractérisation

- Site de caractérisation pour proposition d'aménagement
- Plongée en apnée pour la recherche d'oeuf

Pêche

- PEF Nom de la station de pêche
- COBA 2 Nombre de captures
- Espèce

Engin de pêche

- Pêche électrique

Frayère

- SAFO Espèce
- Frayère potentielle

Espèce

- COCL Grand corégone
- LOLO Lotte
- SAFO Omble de fontaine
- SANA Touladi

Granulométrie des berges

- Limite des segments
- SO1 | MO Substrat
- Numéro du segment

Substrat

- R Roc
- Bx Gros bloc (> 500 mm)
- G Galet (80 à 250 mm)
- C Caillou (40 à 80 mm)
- V Gravier (5 à 40 mm)
- S Sable (0,125 à 5 mm)
- L Limon (< 0,125 mm)
- MO Matière organique

Station d'échantillonnage

Analyse du phosphore et de l'azote

- Échantillonnage de l'eau
- Échantillonnage de l'eau et des sédiments
- Échantillonnage des sédiments

Physicochimie

- Station de mesure de la physicochimie

Relevé bathymétrique

- Isobathe (2 m)

Hydrographie

- Intermittent
- Permanent
- Plan d'eau

Infrastructure

- Poste électrique
- Route nationale
- Route régionale
- Route locale
- Chemin d'accès

Limite

- Frontière interprovinciale

Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Programme de compensation pour l'habitat du poisson en vertu du REMMD

Carte 6-1 Localisation des relevés effectués dans le secteur du lac Daviault

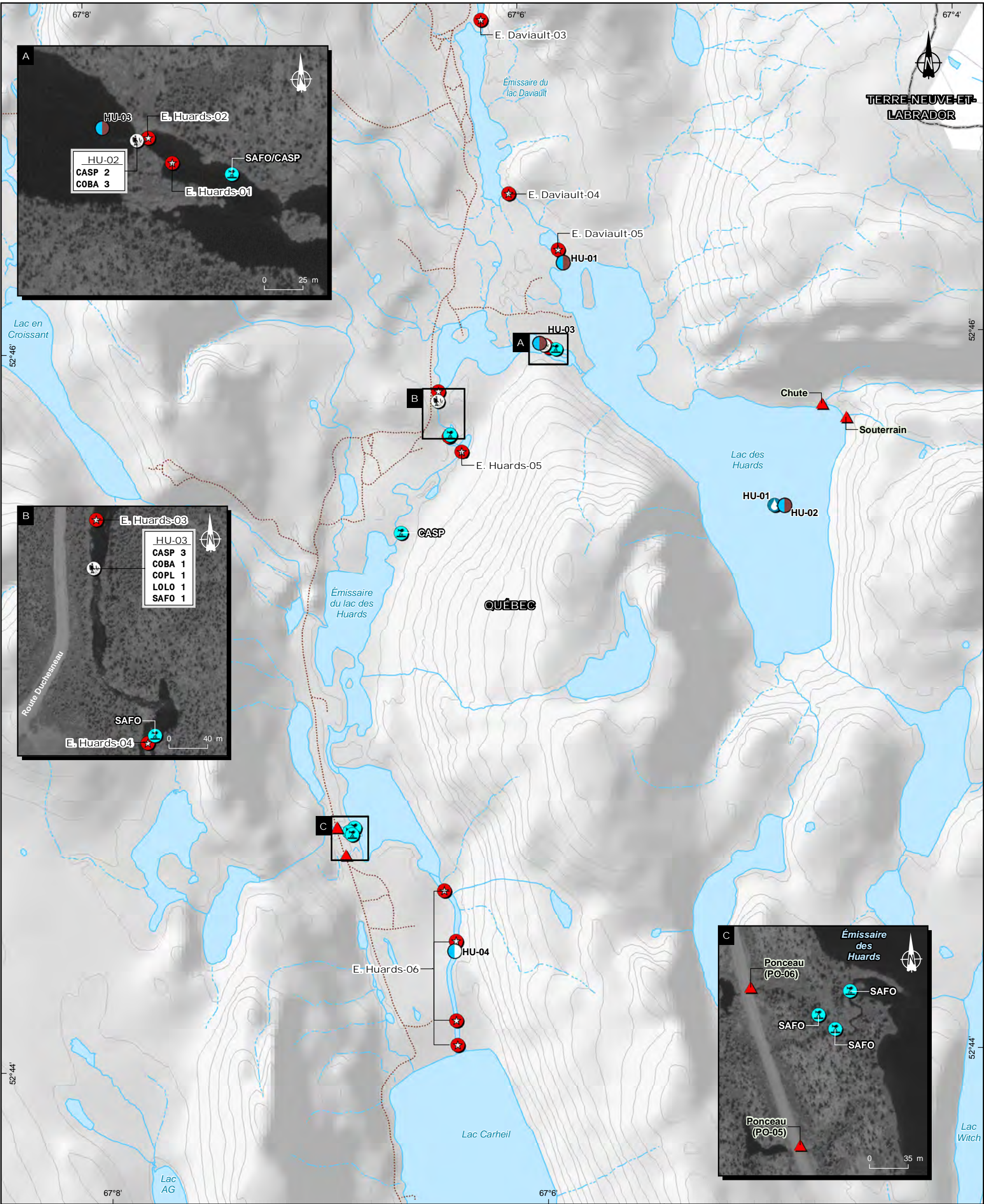
Sources :
BDTQ, 1/20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1/50 000, RNCAN, 2014
SDA, 1/20 000, MRNF Québec, avril 2015
Produits numériques des droits miniers, MRNF, mai 2018

0 320 640 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Mai 2019

Préparation : T. Larouche
Dessin : H. Gagnon
Vérification : J. Plourde
181-03709-01_pc_c6-1_90_rel_dav_wspb_190516.mxd

wsp



Caractérisation

Site de caractérisation pour proposition d'aménagement

Pêche

PEF Nom de la station de pêche
COBA 2 Nombre de captures
Espèce

Engin de pêche

Pêche électrique

Frayère

SAFO Espèce

Frayère potentielle

Espèce

CASP Meunier sp.
COBA Chabot tacheté
COCL Grand corégone
COPL Méné de lac
LOLO Lotte
SAFO Omble de fontaine
SANA Touladi

Obstacle à la migration du poisson

Obstacle infranchissable

Station d'échantillonnage

Analyse du phosphore et de l'azote

Échantillonnage de l'eau
Échantillonnage de l'eau et des sédiments

Physicochimie

Station de mesure de la physicochimie

Hydrographie

Intermittent
Permanent
Plan d'eau

Infrastructure

Chemin d'accès

Limite

Frontière interprovinciale



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Programme de compensation pour l'habitat du poisson en vertu du REMMD

Carte 6-2
Localisation des relevés effectués dans le secteur du lac des Huards

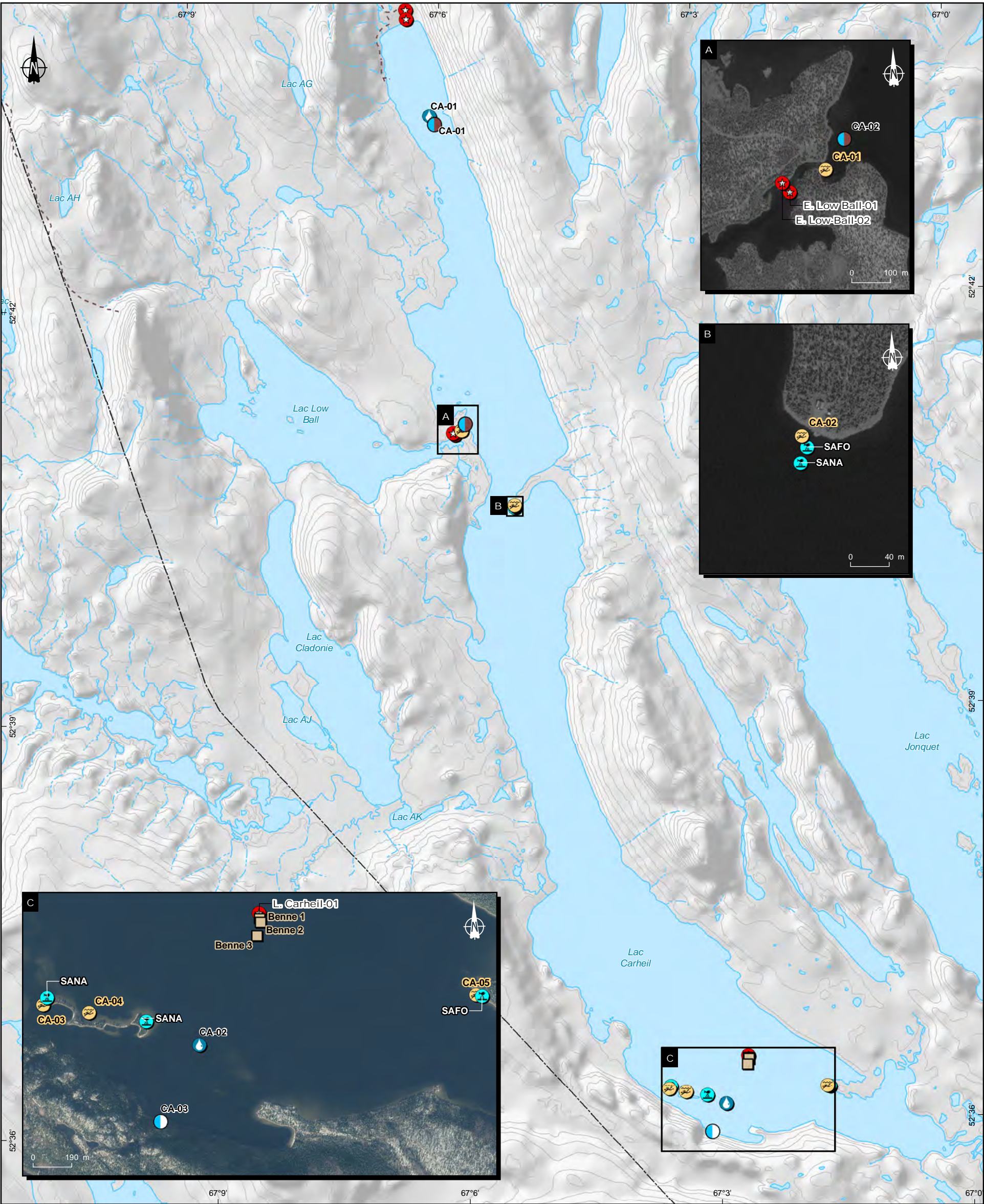
Sources :
BDTQ, 1/20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1/50 000, RNCAN, 2014
SDA, 1/20 000, MRNF Québec, avril 2015
Imagerie : Basemap, ESRI, 2018

0 200 400 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Mai 2019

Préparation : T. Larouche
Dessin : H. Gagnon
Vérification : J. Plourde
181-03709-01_pc_c6-2_91_rel_huards_wspb_190516.mxd





Caractérisation

- Site de caractérisation pour proposition d'aménagement
- Plongée en apnée pour la recherche d'oeuf

Frayère

- SAFO — Espèce
- SANA — Frayère potentielle

Espèce

- SAFO — Omble de fontaine
- SANA — Touladi

Station d'échantillonnage

Analyse du phosphore et de l'azote

- Échantillonnage de l'eau
- Échantillonnage de l'eau et des sédiments

Physicochimie

- Station de mesure de la physicochimie

Substrat

- Coup de benne

Hydrographie

- Intermittent
- Permanent
- Plan d'eau

Infrastructure

- Ligne de transport d'énergie
- Chemin



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Programme de compensation pour l'habitat du poisson en vertu du REMMD

Carte 6-3
Localisation des relevés effectués dans le secteur du lac Carheil

Sources :
BDTQ, 1/20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1/50 000, RNCan, 2014
SDA, 1/20 000, MRNF Québec, avril 2015
Imagerie : Basemap, ESRI, 2018

0 520 1 040 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Mai 2019

Préparation : T. Larouche
Dessin : H. Gagnon
Vérification : J. Plourde
181-03709-01_pc_c6-3_92_rei_carheil_wspb_190516.mxd



Plusieurs sites ont été visités une première fois entre le 11 et le 19 août 2018 afin de documenter la problématique et pour examiner le potentiel d'y effectuer des aménagements pouvant s'inscrire dans le projet de compensation de MFQ. Une deuxième campagne de terrain a par la suite été menée du 25 au 29 septembre 2018 afin de caractériser plus précisément certains sites présentant les meilleures options d'aménagement. L'ensemble des relevés effectués est présenté sur les cartes 6-1 à 6-3. Lors de la première campagne, une caractérisation du littoral des lacs Daviault et Carheil a été réalisée afin de localiser les zones propices pour la reproduction du touladi, de l'omble de fontaine, du grand corégone et du grand brochet. Les critères de qualité des habitats utilisés par chacune des espèces sont présentés à l'annexe C. En plus des profils physicochimiques, des échantillons d'eau de surface et de sédiments ont été récoltés à plusieurs endroits pour mesurer la concentration en phosphore et en azote du milieu aquatique (annexe D).

Les profils d'oxygène dissous présentés à l'annexe D sont respectivement de type clinograde pour les lacs Daviault et des Huards et orthograde pour le lac Carheil. La courbe clinograde signifie que la concentration en oxygène dissous diminue en fonction de la profondeur et inversement, la courbe orthograde représente une augmentation de l'oxygène le long du profil (Wetzel 1983). Celle du lac Daviault affiche une légère diminution de l'oxygène, mais elle n'apparaît cependant pas associée à un processus d'eutrophisation, d'autant plus que la concentration minimale en oxygène dissous n'atteint que 7,5 mg/L (figure D1, annexe D). Pour le lac des Huards, la situation apparaît plus problématique, car le profil d'oxygène est clairement clinograde : l'oxygène dissous diminue au début de la thermocline pour atteindre, dès 5 m de profondeur, des valeurs très faibles, insuffisantes pour la croissance des jeunes touladis (figure D2, annexe D; Evans 2005). La courbe orthograde du lac Carheil est quant à elle typiquement associée aux lacs oligotrophes caractérisés par une faible productivité primaire (figure D3, annexe D; Wetzel 1983).

Les analyses en nutriments présentées aux figures D4 et D5 (annexe D) permettent de préciser l'état trophique des lacs à l'étude. Pour la majorité des sites d'échantillonnage, l'eau de surface présentait des concentrations en nutriment sous la limite de détection. Des dépassements de la concentration en phosphore total par rapport au seuil de protection de la vie aquatique, fixé à 0,03 mg/L par le MDDEFP (2013), sont toutefois observés dans des échantillons prélevés au centre du lac des Huards (HU-02), dans l'émissaire du lac des Huards (HU-03) et sur la rive sud à l'extrémité sud-est du lac Carheil (CA-03). Les échantillons d'eau de surface des deux derniers sites ont été prélevés en raison de la présence d'une pellicule poudreuse de couleur rouge brique - orange à la surface de l'eau. D'après le *Guide d'identification des fleurs d'eau de cyanobactéries* de Blais (2008), il s'agirait de fleurs d'eau d'euglènes, un type d'organisme unicellulaire du groupe des protistes souvent présent dans les eaux riches en nutriments. Une identification en laboratoire est cependant nécessaire pour confirmer l'espèce. En ce qui concerne les sédiments, on retrouve un portrait similaire à celui de l'eau de surface dans la mesure où la grande majorité des sites affichent une faible concentration en nutriments. Il n'existe toutefois pas de critères de qualité relatifs à la teneur en azote et en phosphore des sédiments au Québec (MDDELCC et ECCC 2016). À titre comparatif, la concentration naturelle en phosphore des sédiments préindustriels (avant 1920) prélevés dans le fleuve Saint-Laurent se situe à 960 mg/kg (EC et MDDEP 2007). Sur cette base, le site situé en aval de l'effluent de l'ancien point de rejet de la station d'épuration de la ville (DA-08), de même que celui au point le plus profond du lac des Huards, présentent tous les deux d'importantes concentrations en phosphore ou en azote. Ces résultats supportent l'hypothèse de l'OBV Duplessis (2015) selon laquelle les nutriments pourraient être séquestrés dans les sédiments puis relargués durant les brassages printanier et automnal.

Les données récoltées à l'été 2018 sur les lacs Daviault et Carheil ne suggèrent pas qu'un processus d'eutrophisation est présentement en cours dans ces plans d'eau. La concentration d'oxygène dissous et la transparence de l'eau sont élevées pour l'ensemble de la colonne d'eau (annexe D). Les échantillons de sédiments et d'eau de surface ne présentent pas de signe d'enrichissement en particulier. Ce constat rejoint d'ailleurs celui de la plus récente étude pour le lac Carheil (Jacques 2018). Le portrait réalisé au lac des Huards suggère que les sédiments pourraient être enrichis, mais il est peu probable que cela ait un impact sur la qualité de l'eau de surface qui transite dans l'émissaire du lac. Lors de la visite des sites, les habitats en rivière ne montraient pas de signe de dégradation évident. Ainsi, la qualité de l'eau et celle des habitats en général apparaît satisfaisante pour la réalisation des aménagements proposés.

Une deuxième campagne de terrain a été réalisée dans ce secteur afin de caractériser les sites pouvant être améliorés pour la faune aquatique. En lac, les sites ayant été jugés propices à la reproduction des poissons ont été caractérisés au moyen d'observations en plongée de surface (apnée). Celles-ci ont été réalisées durant la période de reproduction du touladi et du grand corégone, car l'un des objectifs était de vérifier la présence d'œufs ou d'autres indices d'utilisation des sites par ces espèces. Les plongées ont eu lieu le 25 septembre 2018 au lac Daviault et le 29 septembre 2018 au lac Carheil. La qualité du substrat (grosseur, porosité, propreté) a également été déterminée par la même occasion. La plongée a été réalisée à un site au lac Daviault et à cinq sites au lac Carheil (cartes 6-1 et 6-3). Même si plusieurs poissons, notamment la lotte et le chabot, ont été observés en plongée, seuls trois œufs (espèce indéterminée) ont été découverts dans le lac Carheil au site CA-02. La température de l'eau de chacun des lacs variait entre 8,7 et 8,5 °C, des valeurs situées dans l'optimum de température pour la reproduction le touladi et le grand corégone (annexe C). L'utilisation de ces sites de reproduction n'a donc pu être confirmée pour ces espèces. Une cartographie du substrat a également été réalisée sur ces sites à l'aide d'un sonar à balayage latéral.

En rivière, 16 sites ont été caractérisés avec l'objectif de concevoir des aménagements pour améliorer l'habitat du poisson (cartes 6-1 et 6-2). Pour ce faire, des données sur la vitesse d'écoulement, la profondeur, la granulométrie du substrat, la pente du lit, le recouvrement des bandes riveraines, l'accessibilité, la disponibilité des matériaux et la communauté de poissons ont été recueillies. La description des aménagements proposés pour 14 des 16 sites est présentée dans la section qui suit les objectifs du projet. Les deux sites à l'émissaire du lac Low Ball (E. Low Ball-01 et E. Low Ball-02) se sont avérés moins intéressants en termes de potentiel d'aménagement et n'ont donc pas été retenus.

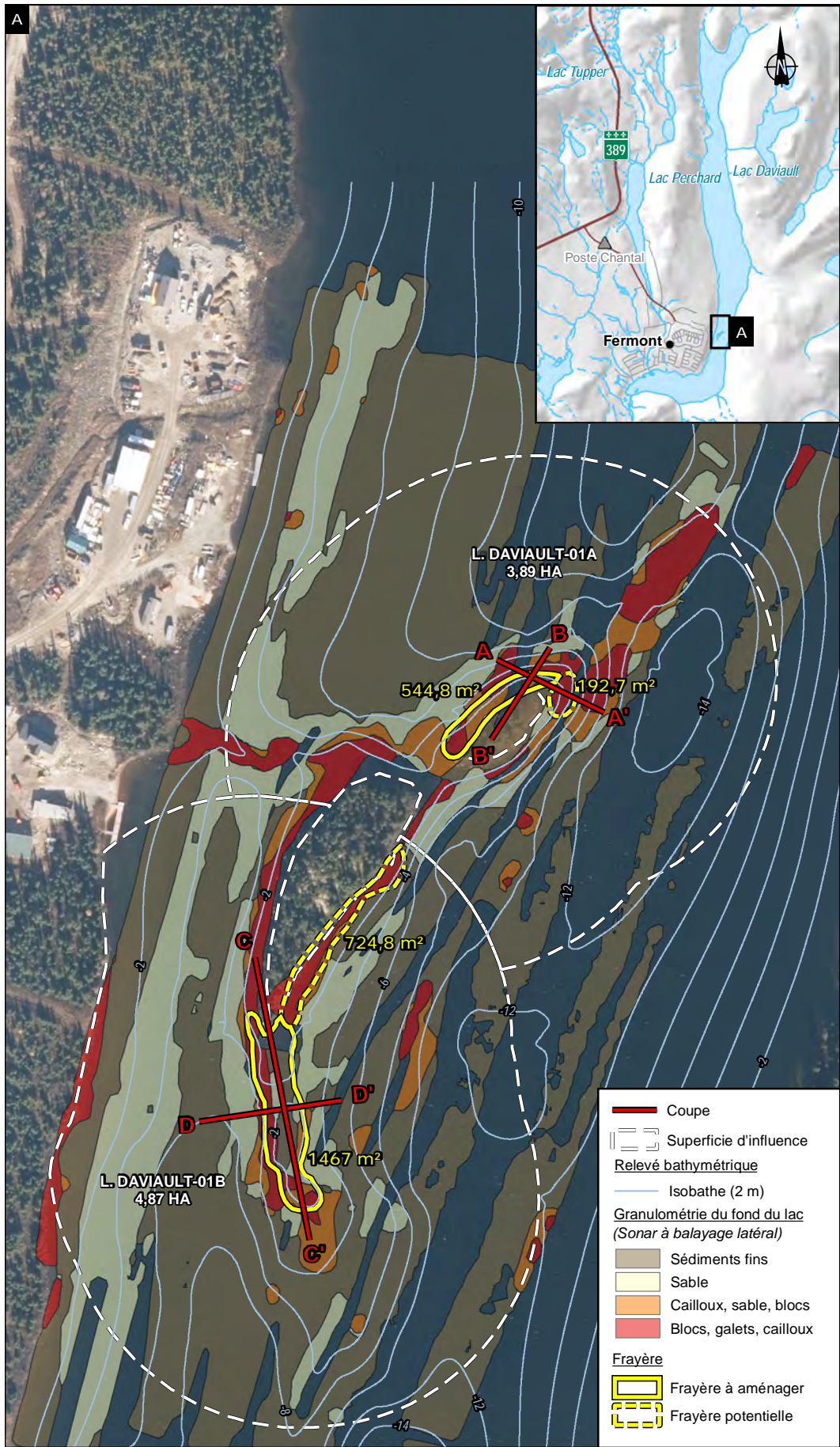
6.1.3 AMÉNAGEMENTS PROPOSÉS

Des inventaires supplémentaires seront réalisés en 2019 afin de documenter davantage la problématique dans le réseau hydrographique du lac Daviault et du lac Carheil (utilisation des frayères, structure de la communauté, structure de taille de la population d'omble de fontaine et de touladi, etc.). Un plan de travail pour les inventaires à réaliser est présenté à l'annexe E. Les aménagements proposés dans les prochaines sections demeurent à une étape conceptuelle et pourront être modifiés en fonction des résultats obtenus lors des caractérisations additionnelles à réaliser. La proposition de projets évoluera et sera bonifiée au fil des discussions à venir avec les spécialistes du MFFP et du MPO.

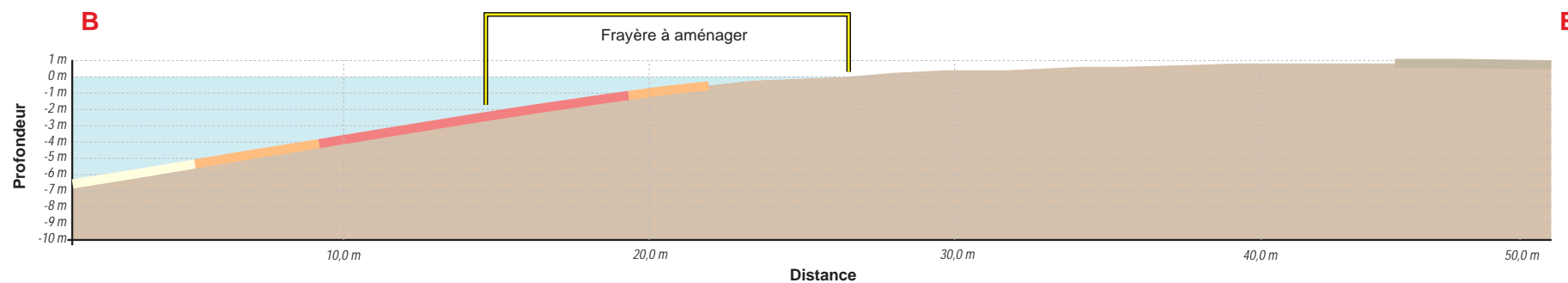
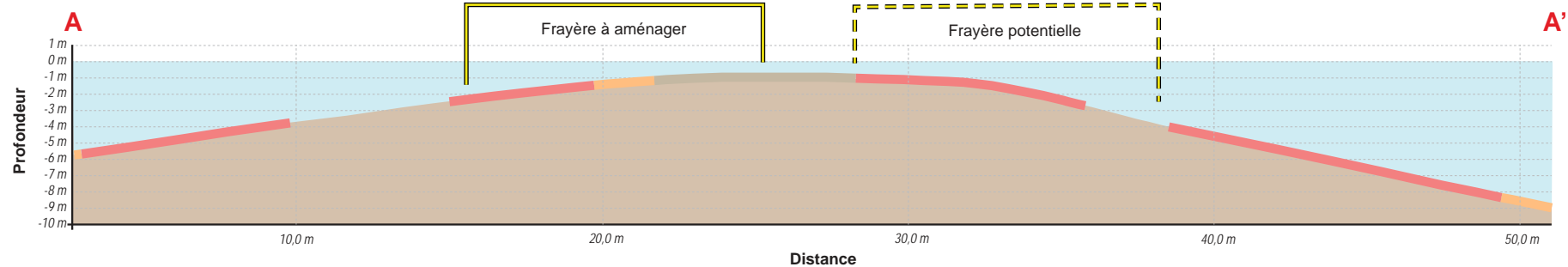
L'ensemble du concept proposé vise à améliorer l'habitat de plusieurs espèces de poissons à l'intérieur du réseau hydrographique compris entre les lacs Daviault et Carheil. Certains aménagements, plus classiques, sont destinés à améliorer l'habitat de reproduction des espèces se reproduisant en rivière, en particulier l'omble de fontaine. Les autres types d'aménagements, élaborés selon une approche plus novatrice, ont été conçus afin de répondre à différents types de fonctions biologiques, et ce, pour le plus grand nombre d'espèces possible. Au total, le projet propose la réalisation de 20 aménagements.

LAC DAVIAULT

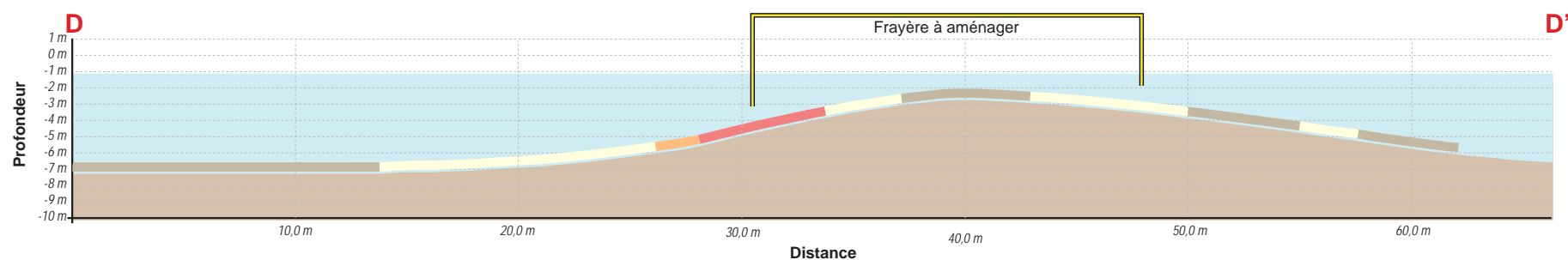
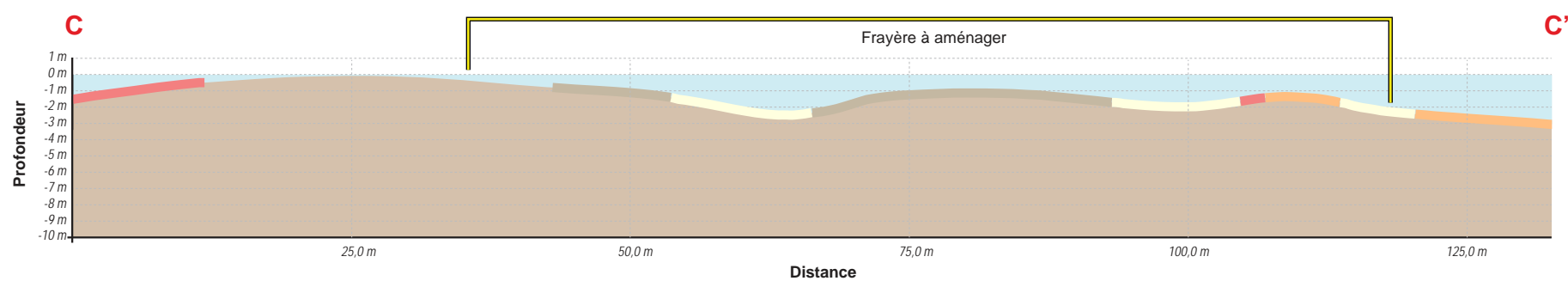
Les recherches pour localiser les principaux habitats de reproduction au lac Daviault ont permis de constater qu'il y avait peu de zones propices pour la reproduction des poissons en lac. En fait, un seul secteur (nommé L. Daviault-01) situé à proximité des deux îles en face de la ville de Fermont présentait les critères recherchés (annexe C) pour les principales espèces frayant en lac, soit le touladi et le grand corégone (carte 6-4). Dans ce secteur, deux frayères potentielles pour ces deux espèces ont été identifiées : la première étant située à l'extrémité nord-est de la petite île (L. Daviault-01A) et la seconde longe la rive est de la plus grande île (L. Daviault-01B). Même si certains autres secteurs situés à proximité présentaient un substrat propice, leur exposition au vent n'était pas adéquate pour le nettoyer convenablement puisqu'il était recouvert d'une fine couche de périphyton. Outre ces critères, les frayères potentielles sont situées à quelques dizaines de mètres de plusieurs fosses, une composante importante pour la sélection des sites de fraie par le touladi (cartes 6-1 et 6-4).



L. Daviault-01A



L. Daviault-01B



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus
et stériles miniers
Programme de compensation pour l'habitat du poisson en vertu du REMMD

Carte 6-4 Aménagements proposés au lac Daviault

Préparation : T. Larouche
Dessin : V. Venne
Vérification : J. Plourde
181-03709-01_pc_c6-4_93_amen_dav_wspb_190312.ai

Mai 2019



Le projet d'aménagement proposé pour le lac Daviault consiste à agrandir ces deux frayères potentielles pour le touladi et le grand corégone (carte 6-4). La présence de ces deux espèces sur un même lieu de reproduction est possible puisqu'elles possèdent des exigences comparables en termes de sélection de ces habitats, de même qu'au niveau de leur cycle de vie. Toutes deux déposent leurs œufs à l'automne en eau peu profonde sur les rives ou les hauts-fonds rocaillieux des lacs. Les œufs se logent par la suite à travers les interstices du substrat et éclosent au printemps suivant dès la fonte des glaces (Scott et Crossman 1974; Auer 1982).

Il est proposé d'augmenter de 544 m² la superficie de la frayère potentielle L. Daviault-01A et de 1 467 m² celle de la frayère potentielle L. Daviault-01B. Une fois les aménagements complétés, la superficie de L. Daviault-01A passera donc de 193 m² à 737 m² et celle de Daviault-01B de 725 m² à 2 192 m².

L'agrandissement des frayères se fera en ajoutant un substrat de fraie composé de blocs, de galets et de cailloux naturels de taille variant entre 100 et 300 mm. Le périmètre de la surface aménagée ne devrait pas dépasser l'isobathe de 3 m afin que l'action des vagues puisse nettoyer le substrat et fournir de l'oxygène aux œufs. À l'aide d'inventaires d'œufs réalisés sur des frayères naturelles à touladi, il a été déterminé que la plage de profondeur acceptable est comprise entre 0,5 et 3 m et que la plage optimale se situe entre 1 et 1,5 m (Environnement Illimité 2013a). La profondeur visée doit être suffisante pour éviter le gel du substrat et, conséquemment, des œufs déposés à l'automne. Il est proposé de déposer une seule couche de substrat de fraie d'une épaisseur de 500 mm directement sur le fond du lac, car à ces endroits, le substrat naturel du lac est stable et composé de sable durci, de cailloux, de galets et de blocs. L'ensemble du concept proposé pourrait être modifié suite aux résultats des inventaires à réaliser en 2019 sur l'utilisation des frayères potentielles.

Pour augmenter les chances de succès quant à l'utilisation des frayères aménagées, notamment pour le touladi, il est proposé d'ensemencer des œufs sur ces frayères. L'ensemencement de juvéniles et le transfert d'adultes sont également d'autres techniques qui permettent d'augmenter l'abondance d'une population, mais comme le touladi présente un comportement de « homing » (retour du géniteur sur son site de fraie natal), seule l'incubation d'œufs peut permettre d'accroître l'utilisation d'une frayère par les géniteurs issus des générations suivantes. Au Québec, plusieurs frayères à touladi ont été aménagées et divers types d'ensemencement ont été effectués, que ce soit dans le réservoir de la Péribonka (Environnement Illimité 2013b), dans le réservoir du complexe Eastmain (Consortium Waska-GENIVAR 2017) ou encore dans celui de la rivière Romaine (Environnement Illimité 2013a). Même si les suivis ont montré que ces aménagements tardent à démontrer leur efficacité, de nombreux efforts ont été consentis à la recherche et au développement pour la mise en place d'un programme d'incubation d'œufs. Contrairement à ces aménagements, ceux proposés dans les lacs Daviault et Carheil seront réalisés dans des lacs où les conditions ne seront pas perturbées, comme c'est le cas lors de la mise en eau des réservoirs où l'érosion et la sédimentation menacent l'intégrité des habitats. Un programme d'ensemencement d'œufs sera donc élaboré en considérant les expériences antérieures, mais aussi à partir de méthodes spécifiquement adaptées au concept d'aménagement ici présenté. Voici les principaux éléments qui seront définis lors de la conception de la méthodologie :

- La méthode d'incubation des œufs : déposition directement sur le substrat ou utilisation de boîtes d'incubation de type « tapis » ou « gaufre ».
- La source des œufs : pisciculture ou prélèvement de gamètes issues de la population locale des lacs aménagés ou d'autres populations de lacs situés à proximité.
- L'intensité des ensemencements (nombre d'œufs à incuber en fonction du succès d'éclosion).
- Marquage des œufs à incuber (ex. à l'oxytétracycline) afin de pouvoir identifier les poissons issus des ensemencements.
- La mise en incubation d'œufs de grand corégone en parallèle à ceux du touladi (projet de recherche et développement).

Ainsi, un protocole détaillé expliquant comment ces mesures seront mises en place sera élaboré lorsque les détails de l'aménagement seront définis et que le concept aura été accepté.

En plus de bénéficier à plusieurs espèces de poissons (touladi, grand corégone), ces aménagements permettront ultimement d'augmenter la qualité de la pêche, que ce soit au niveau du succès de pêche ou de la masse moyenne des captures. Le secteur est également très fréquenté par la population locale : on y retrouve notamment la plage municipale, des sentiers pédestres et une rampe de mise à l'eau. Plusieurs activités nautiques sont également pratiquées sur le lac. Pour intégrer une composante sociale et éducative au projet, il est prévu d'installer des panneaux d'interprétation à différents endroits dans la ville afin de présenter les aménagements et expliquer la raison d'être du projet. Dans cette optique, une participation citoyenne et autochtone serait souhaitée pour les séances de consultation ainsi que pour l'entretien des sites après la réalisation des aménagements.

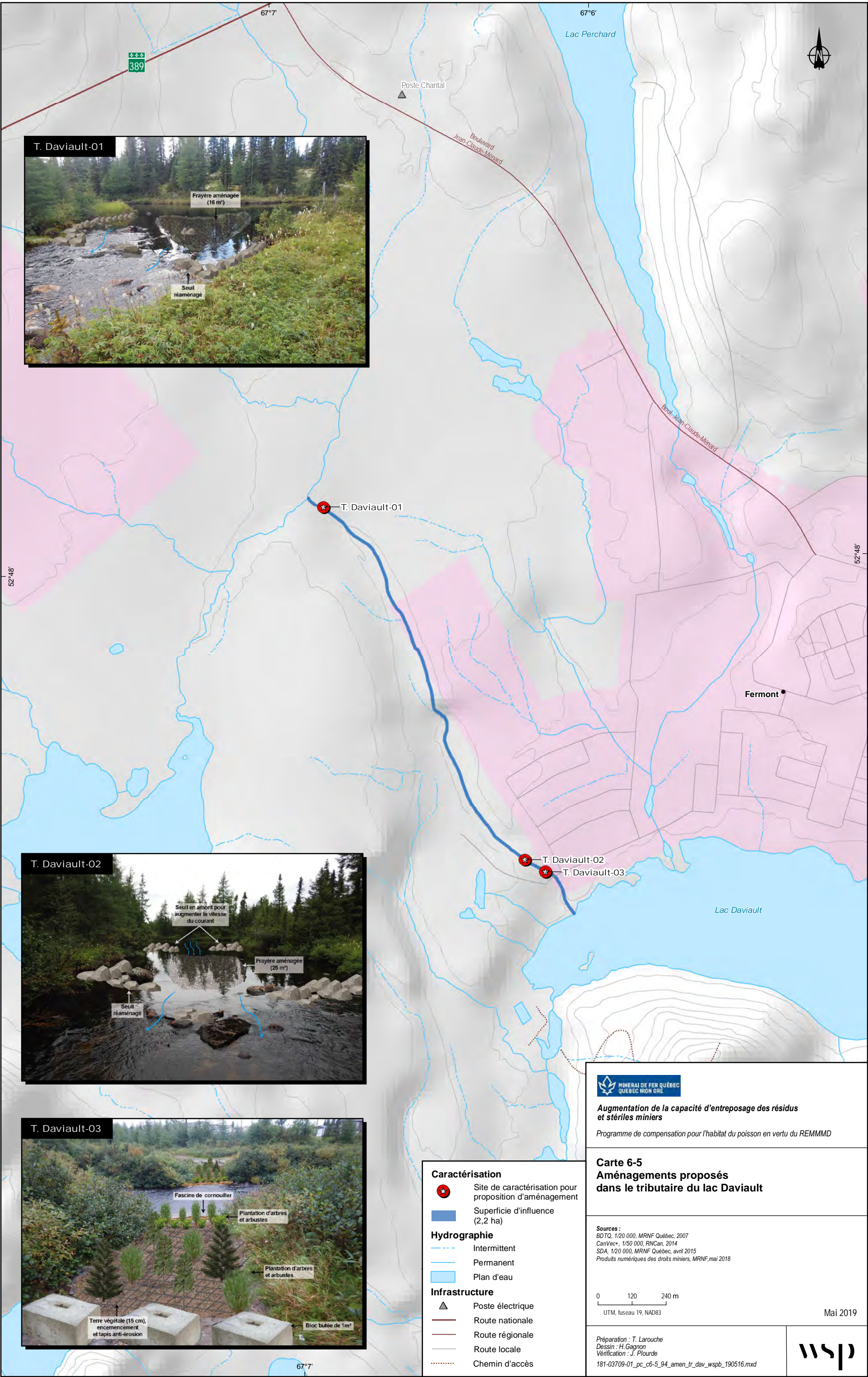
TRIBUTAIRE DU LAC DAVIAULT

Ces aménagements concernent la mise en place de deux frayères-seuils pour l'omble de fontaine ainsi que la restauration d'une section de bande riveraine utilisée par les véhicules tout-terrain pour traverser directement dans le cours d'eau (carte 6-5). Les frayères et les seuils seront aménagés aux sites T. Daviault-01 et T. Daviault-02 tandis que les travaux de restauration de la bande riveraine sont prévus au site T. Daviault-03.

À quelques détails près, les frayères et les seuils seront construits en utilisant la même technique. Celle-ci est décrite dans les paragraphes qui suivent et elle est basée sur les *Recommandations pour la planification et la conception d'aménagements d'habitats pour l'omble de fontaine (Salvelinus fontinalis)* du MPO (Fleury et Boula 2012). Les mesures suivantes seront notamment mises de l'avant :

- Aucune membrane géotextile ne sera utilisée pour l'aménagement des frayères.
- Le lit du cours d'eau sera excavé sur 15 à 30 cm de profondeur afin d'y insérer le substrat de fraie.
- L'épaisseur du gravier mis en place sera entre 15 et 30 cm.
- Aucun matériau dynamité ne sera utilisé pour l'aménagement de frayère.
- Le gravier sera rond et d'origine fluviale avec un diamètre variant entre 10 et 60 mm.
- La superficie de l'aménagement de la frayère se limitera à la zone sans accumulation de sédiments fins ou de matières organiques.

Les seuils en enrochement seront mis en place soit en amont ou en aval de la frayère selon les conditions d'écoulement à chacun des sites. Ces seuils serviront à ajuster les vitesses et à garantir un niveau d'eau adéquat sur les frayères. Ils permettront aussi d'améliorer l'habitat faunique en augmentant la quantité d'oxygène dissous en aval, de même qu'en créant des abris. L'enrochement utilisé pour construire chacun des seuils sera d'une dimension variant entre 200 et 500 mm afin de résister aux crues. Les seuils seront construits manuellement ou à l'aide de machinerie appropriée (ex. pelle mécanique) de manière à former une matrice compacte de pierre. La largeur de l'échancrure du seuil correspondra à environ 20 à 30 % de la largeur du cours d'eau. En aval, une fosse d'une longueur d'environ 0,75 m ayant une profondeur minimale de 0,3 m sera aménagée. L'enrochement de cette fosse sera nécessaire afin d'éviter l'affouillement et l'instabilité de l'aménagement. Enfin, un enrochement de protection des berges sera réalisé sur chacune des rives de part et d'autre du seuil.



Des abris et une simulation du couvert forestier (voir exemple sur la carte 6-6 au site E. Daviault-01) seront ajoutés aux sites où la couverture végétale n'offre pas suffisamment d'ombrage et de protection.

Au site T. Daviault-03, l'accès aux véhicules tout-terrain sera bloqué en installant des blocs de béton (butées) de 1 m³. La bande riveraine sera par la suite remise à l'état naturel en ajoutant de la terre végétale, en installant un tapis anti-érosion et en revégétalisant la surface à l'aide de plantes herbacées, d'arbustes et d'arbres indigènes. Il est également prévu d'installer des panneaux d'interprétation pour expliquer la nature du projet et ainsi éviter le contournement des blocs butées par les conducteurs récalcitrants.

ÉMISSAIRES DES LACS DAVIAULT ET DES HUARDS

Il est proposé d'aménager cinq aires de reproduction dans l'émissaire du lac Daviault aux sites E. Daviault-01 à E. Daviault-05 (carte 6-6) et à quatre autres sites (E. Huards-01 à E. Huards-04) dans l'émissaire du lac des Huards (carte 6-7). De plus, au site E. Huards-05, la pente du cours d'eau est assez importante et les vitesses d'écoulement générées sont élevées (vitesse min.-max. : 0,47-1,60 m/s; profondeur min.-max. : 0,10-0,43 m). La mise en place de seuils à bassins successifs permettra de diminuer les vitesses d'écoulement et de faciliter la libre circulation du poisson. Les sites ont été rigoureusement sélectionnés en fonction de leur potentiel d'aménagement. L'ensemble du concept proposé pourrait être modifié suite aux résultats des inventaires à réaliser en 2019.

Bien que les aménagements de frayères-seuils aient tous leur spécificité, la méthode de construction générale précédemment décrite est applicable à l'ensemble de ces sites. Par contre, comme il s'agit d'un cours d'eau relativement important, la taille des seuils et le calibre des enrochements seront de plus grande taille. Cet aspect sera considéré lors de la conception des plans et devis.

Au site E. Huards-06, il est proposé d'installer quatre paires de déflecteurs afin d'hétérogénéiser une portion lentique de cours d'eau offrant peu d'habitats diversifiés au poisson (carte 6-8). Ces structures offriront des abris rocheux, augmenteront la vitesse d'écoulement et l'oxygénation de l'eau et procureront des zones de repos et des aires d'alimentation pour plusieurs espèces de poissons (grand brochet, touladi, grand corégone et omble de fontaine). Le concept de base pour un déflecteur est le suivant :

- Leur hauteur sera déterminée selon la profondeur de la rive attenante.
- La base parallèle à la rive sera approximativement d'une longueur de 10 m sur 7 m de largeur (perpendiculaire à la rive) et finissant en pointe arrondie de 2 m de large. Ces dimensions correspondent à une superficie de 42 m².
- La forme sur le dessus sera en pente descendante vers le centre du chenal. Les côtés et la forme générale seront arrondis.
- La surface émergée du déflecteur sera végétalisée avec des plantes indigènes (ex. carex, aulne, saule).
- Des troncs d'arbres seront immergés et ancrés à travers l'enrochement de chaque côté du déflecteur pour créer des abris et former éventuellement des herbiers aquatiques.
- Des nichoirs pour la sauvagine seront installés sur les déflecteurs afin de maximiser l'utilisation des structures par la faune.
- Un espace suffisamment large entre les déflecteurs droit et gauche sera laissé afin de permettre la libre circulation des bateaux.

La surface émergée des déflecteurs favorisera l'accessibilité du plan d'eau aux pêcheurs sportifs et à la population locale, un avantage important puisque le site est situé dans un secteur très fréquenté par la population de Fermont. On y retrouve notamment une imposante plage, des sentiers pédestres et une rampe de mise à l'eau à proximité. Comme au lac Daviault, la composante sociale sera valorisée en encourageant la population locale

et autochtone à participer aux séances de consultation et à l'entretien des sites. De plus, il est prévu d'installer des panneaux d'interprétation pour présenter les aménagements et expliquer la raison d'être de ce volet.

LAC CARHEIL

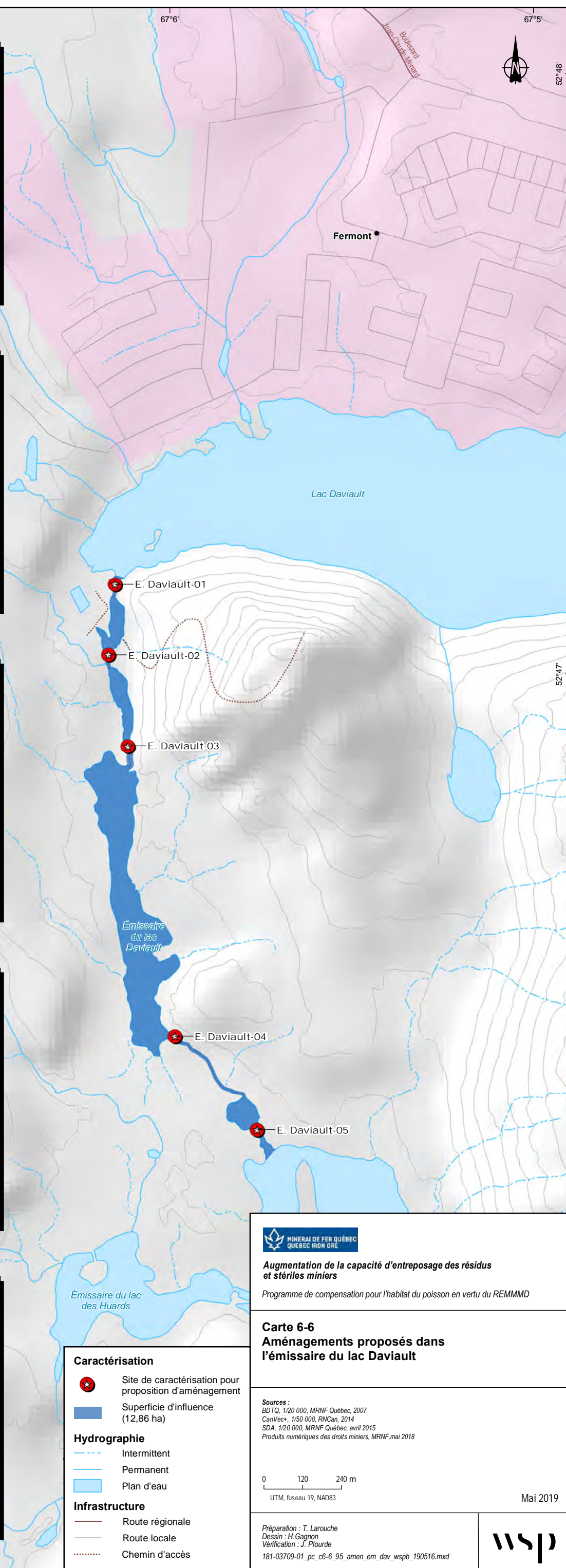
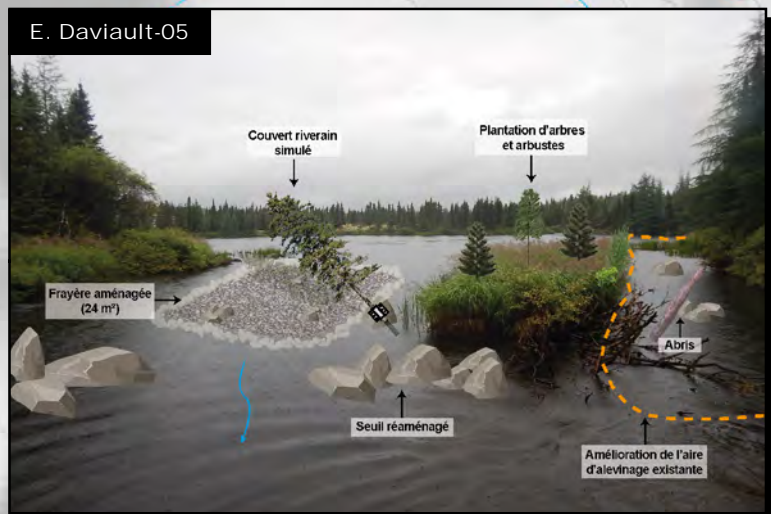
Le dernier aménagement proposé (L. Carheil-01) du projet pour le secteur Fermont consiste à mettre en place une frayère multi-espèces sur un haut-fond du lac Carheil (carte 6-9). Le haut-fond est situé à l'extrémité sud du lac où des frayères potentielles pour le touladi et le grand corégone ont été observées lors des campagnes d'échantillonnage de 2018 (carte 6-3). Le secteur est effectivement propice à la reproduction du touladi en raison de la présence de plusieurs des critères recherchés par cette espèce; une imposante fosse de près de 50 m de profondeur sépare les frayères potentielles du site d'aménagement prévu et ce dernier est très exposé aux vents dominants du nord-ouest. Les échantillons prélevés à l'aide de la benne et les relevés de caméras sous-marines montrent que le substrat à cet endroit est composé de sable durci avec des galets et des blocs dispersés. De plus, il est exempt de matière organique, car l'action des vagues ne permet pas l'accumulation de particules fines, un critère important pour la sélection du site.

Comparable à l'agrandissement des frayères potentielles au lac Daviault, le concept prévoit de recouvrir le haut-fond de substrat de fraie composé de blocs, de galets et de cailloux naturels de taille variant entre 100 et 300 mm. L'ajout du substrat débiterait à partir de l'isobathe le moins profond, soit celui situé à 4 m, et s'étalerait jusqu'à une profondeur de 1 m. Ces travaux permettraient de créer un aménagement d'une superficie de 1 793 m².

Ce concept inclut une partie émergée au centre de la frayère qui formera un îlot artificiel (carte 6-9). Bien que cette île soit un habitat faunique terrestre, il contribuera à la mise en place de conditions propices à la faune aquatique. Cet îlot permettra aux vagues de se briser sur la partie émergée de l'enrochement, ce qui permettra de nettoyer et d'oxygéner la frayère située au pied de l'enrochement. L'îlot permettra également de maintenir une pente continue dans la frayère aménagée. Même si les détails de conception ne sont pas encore développés, l'îlot prendrait la forme d'un « C » où la baie ainsi créée serait à l'abri des vents. Cette baie présenterait des conditions hydrauliques moins dynamiques et serait aménagée pour favoriser la reproduction des poissons-fourrages, une ressource alimentaire importante pour la majorité des espèces sportives. Un herbier serait aménagé dans cette baie afin de procurer une diversification de l'habitat et favoriser la présence des poissons-fourrages. Cette baie procurerait également une zone de sédimentation, venant ainsi diversifier l'habitat de ce haut-fond.

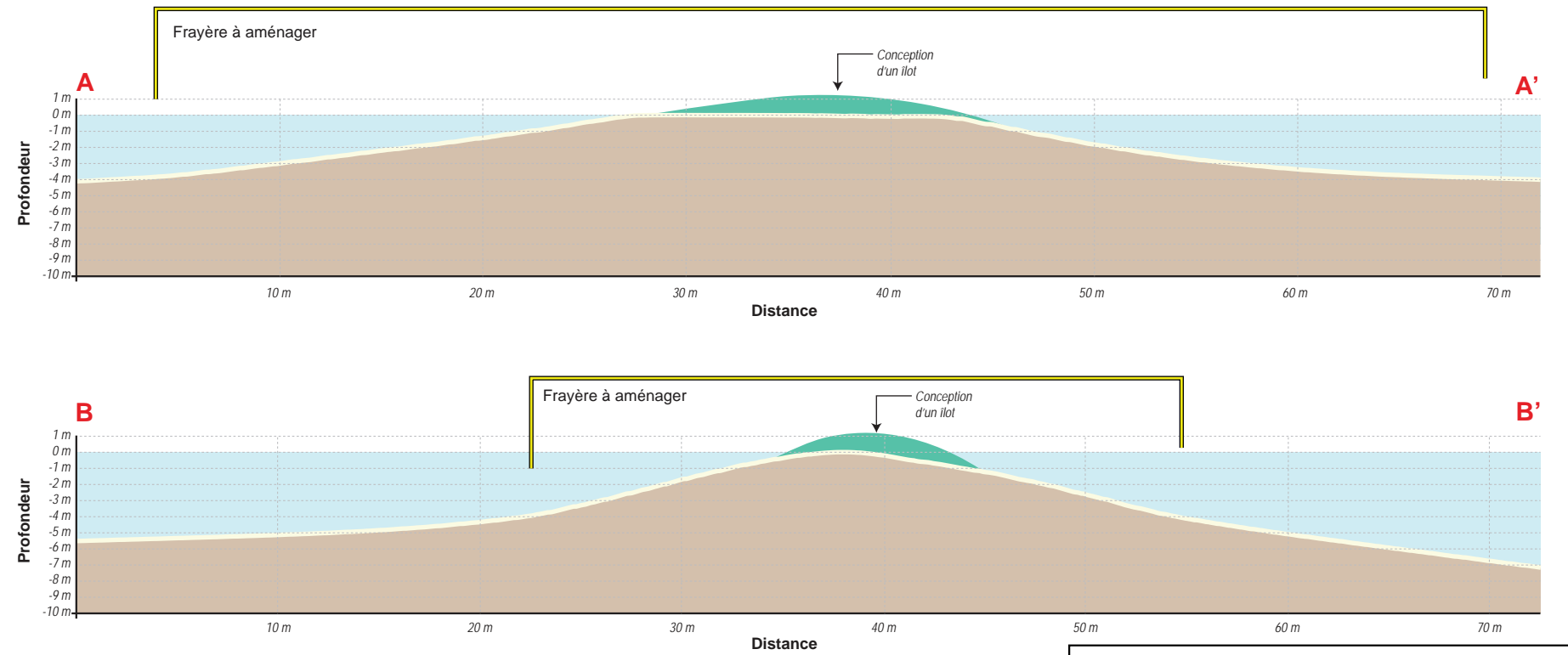
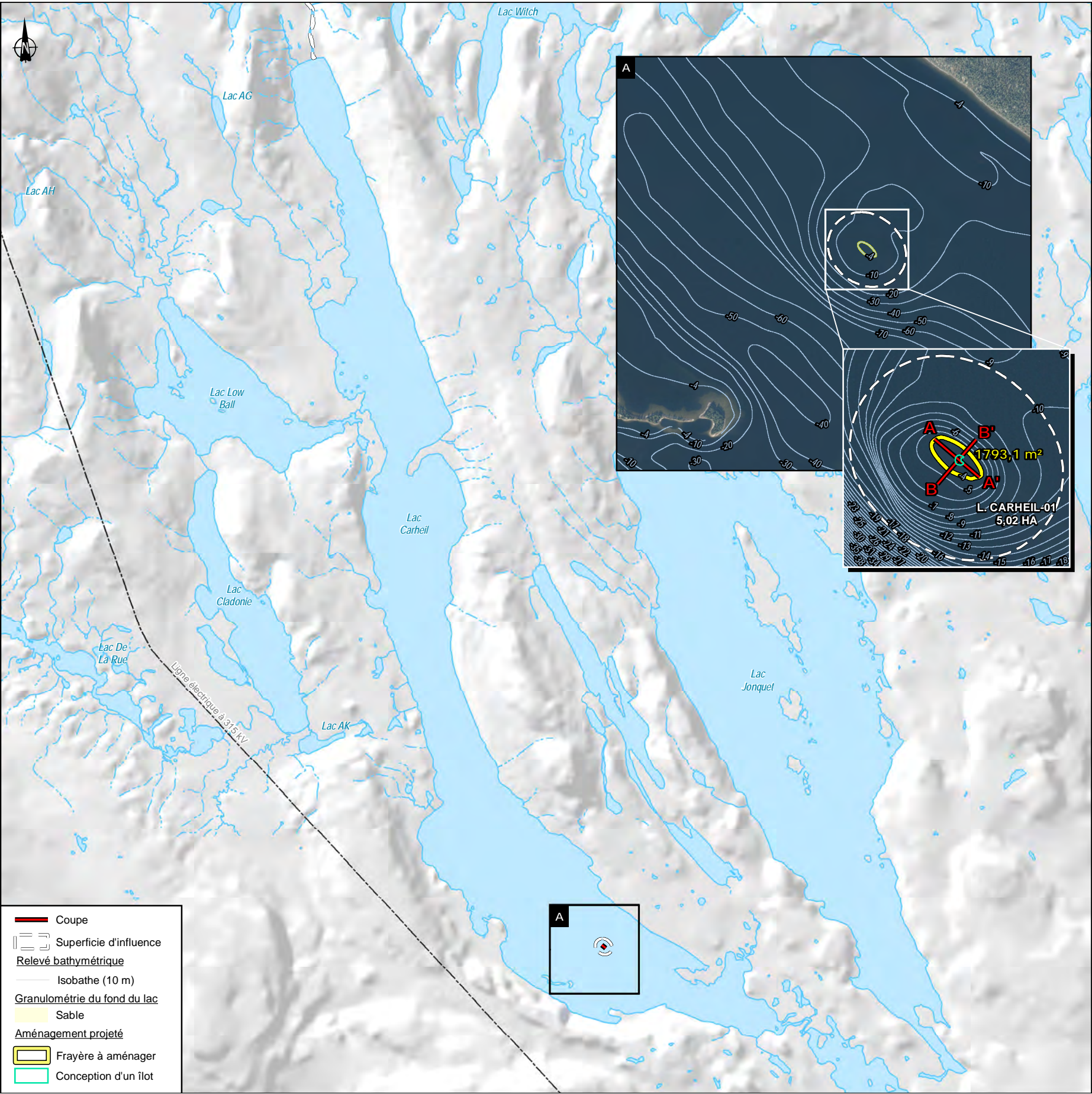
Selon le même principe que l'aménagement des déflecteurs dans l'émissaire du lac des Huards, la surface de l'îlot sera végétalisée avec des espèces adaptées aux conditions littorales. Cela permettra de créer un écosystème à part entière qui pourra être utilisé par d'autres espèces fauniques comme les oiseaux. De plus, la végétation offrira un couvert forestier au-dessus des habitats ainsi créés. Il serait par la suite possible d'intégrer des nichoirs pour la sauvagine et des arbres ou arbustes fruitiers pour attirer d'autres espèces aviaires.

Pour augmenter le succès d'utilisation par le touladi et le grand corégone, un programme d'ensemencement et d'incubation d'œufs sera également mis en place en utilisant la même méthode que celle décrite précédemment pour le lac Daviault. L'ensemble du concept proposé pourrait être modifié suite aux résultats des inventaires à réaliser en 2019 sur l'utilisation des frayères potentielles.









Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Programme de compensation pour l'habitat du poisson en vertu du REMMD

Carte 6-9
Aménagements proposés au lac Carheil

Préparation : T. Larouche
Dessin : V. Venne
Vérification : J. Plourde
181-03709-01_pc_c6-9_amen_carheil_wspb_190312.ai

Mai 2019



6.1.4 GAIN D'HABITAT

Tel que discuté dans la section 4.2 *Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats*, la superficie d'influence représente un portrait plus représentatif du gain obtenu suite à un aménagement. Les aménagements proposés dans le secteur de Fermont seront diversifiés et permettront d'améliorer l'écosystème lié par une succession de cours d'eau et de lacs à partir du lac Daviault jusqu'au lac Carheil ainsi qu'en aval dans le bassin versant. Le projet doit être considéré dans son ensemble comme à l'image de notre compréhension actuelle de la dynamique des populations de poissons. C'est-à-dire qu'au sein d'un écosystème, les échanges entre les populations locales (à l'échelle d'un lac par exemple) sont essentiels au maintien de l'abondance des espèces en fournissant un équilibre entre les processus de mortalité et de naissance (Hanski 1998). Ce concept théorique, lorsqu'appliqué en nature, est connu sous le terme de connectivité et fait référence au degré avec lequel une production locale peut réguler l'abondance d'une autre population séparée géographiquement (Warner et Cowen 2002). Chez les poissons, les principaux mécanismes de dispersion sont la migration active et la dispersion passive. Cette dernière survient principalement lors des jeunes stades de vie, car leur capacité natatoire limitée ne leur permet pas de résister entièrement aux processus physiques des courants (Fortier et Leggett 1982; Pavlov 1994).

Ainsi, sur le plan biologique, les aménagements sont susceptibles d'améliorer les habitats de l'ensemble des plans d'eau aménagés. Cela représente une distance linéaire de plus de 25 km et une superficie d'environ 2 500 ha qui seront couverts par les aménagements. Ce réseau ne comporte aucun obstacle à la migration des poissons, ce qui signifie que les habitats sont entièrement connectés, du moins sur le plan hydrologique. Selon certains pêcheurs interrogés, durant la période printanière lorsque la température de l'eau est basse, des touladis se retrouveraient dans le cours d'eau entre les lacs Daviault et Carheil. Cette observation supporte que ces deux lacs soient non seulement physiquement connectés, mais qu'il y aurait effectivement des échanges d'individus entre les populations locales. Un flux d'individus de l'amont vers l'aval est également supposé lors de la dispersion passive des jeunes stades de vie. L'aménagement des frayères en cours d'eau contribuera à amplifier ce mécanisme de régulation de l'abondance.

Sur le plan pratique, il demeure que l'évaluation des pertes et des mesures utilisées pour contrebalancer les impacts d'un projet doit non seulement être chiffrable, mais comparable. C'est dans l'optique d'arrimer ces contraintes pratiques aux mécanismes se rapportant à la dynamique des populations que la superficie d'influence a été élaborée comme méthode de calcul des gains d'habitat du poisson. Pour calculer le gain d'habitats pour ce projet en particulier, la méthode suivante a été employée.

POUR LES AMÉNAGEMENTS EN COURS D'EAU

En cours d'eau, la superficie des gains dans un secteur a été calculée à partir du premier jusqu'au dernier aménagement en considérant l'influence qu'auront les modifications sur les habitats en aval. Par exemple, les portions de cours d'eau ressemblant à des lacs situés en aval des sites E. Daviault-03, E. Huards-01 et E. Huards-02 ont été inclus dans la superficie d'influence, car ils seront forcément utilisés pour l'alevinage des larves produites sur les frayères aménagées (carte 6-7). Pour être inclus, les aménagements devaient aussi être raisonnablement proches entre eux d'un point de vue biologique. Les habitats dont la connectivité avec les aménagements s'avérait moins évidente n'ont pas été inclus dans la superficie d'influence. C'est le cas de la portion de cours d'eau comprise entre les sites E. Huards-05 et E. Huards-06, car celle-ci comporte un rapide important suivi d'une section anastomosée et des habitats peu favorables au transport passif des larves. De plus, la distance entre ces deux aménagements est élevée (≈ 3 km).

Parmi les espèces les plus susceptibles d'utiliser les aménagements pour la reproduction en rivière, on retrouve l'omble de fontaine, le grand corégone, le ménomini rond, les meuniers et le naseux des rapides. Lorsque les alevins d'omble de fontaine sont pourvus d'un sac vitellin, ils demeurent enfouis dans le gravier des nids jusqu'à la résorption de leur réserve énergétique, au moment où ils ont une longueur d'environ 18 mm. Les jeunes commencent à nager librement à partir d'une longueur de 38 mm (Scott et Crossman 1974; Auer 1982).

Il existe donc une période où la faible capacité natale des jeunes contribue à leur dérive vers les habitats en aval. À quelques différences près, les larves des autres espèces sont inévitablement transportées, plus ou moins passivement, par le courant de la rivière jusqu'à l'atteinte d'une zone de rétention favorable pour l'alimentation des jeunes stades de vie, communément appelée aire d'alevinage. Tout aussi importante pour la dispersion des poissons, la migration active des individus entre les lacs Carheil et Daviault est également supposée, considérant l'absence d'obstacle dans le lien hydrique entre les deux plans d'eau. Pour des espèces mobiles comme le grand corégone, l'omble de fontaine et le touladi, les distances couvertes par les superficies d'influence sont jugées relativement faibles et conservatrices.

Le tableau 6-1 dresse un bilan des aménagements et présente les superficies d'influence proposées en fonction des variables biologiques et physiques propres aux habitats. Les superficies d'influence considérées sont également affichées sur les cartes présentant les aménagements proposés (cartes 6-5 à 6-8).

Tableau 6-1. Synthèse des aménagements halieutiques proposés en cours d'eau à Fermont

Nom du site	Type et nombre d'aménagements	Superficie d'influence (ha)	Remarque
Tributaire du lac Daviault	Frayère-seuil (2) et restauration de bande riveraine (1)	2,2	<ul style="list-style-type: none"> - Faible distance entre les aménagements - Dérive larvaire entre le premier et le dernier aménagement
Émissaire du lac Daviault	Frayère-seuil (5)	12,9	<ul style="list-style-type: none"> - Dérive larvaire des frayères jusqu'aux aires d'alevinage situées en aval - Migration active des individus, notamment ceux situés dans les aires d'alimentation, vers l'amont dans les frayères aménagées
Émissaire du lac des Huards	Frayère-seuil (4), seuils à bassins successifs (1) et déflecteur double (4)	13,8	<ul style="list-style-type: none"> - Dérive larvaire dans l'aire d'alevinage située en aval des frayères E. Huard-01 et -02 - Grande section de cours d'eau non incluse dans la superficie d'influence - Faible distance entre les aménagements (où les déflecteurs) - Augmentation de la qualité de l'eau
Ensemble du projet (cours d'eau)		28,9	

POUR LES AMÉNAGEMENTS EN LAC

Une frayère aménagée en lac apporte aussi des bénéfices au niveau de la population de poisson, qui ne peuvent être quantifiés en termes de superficie. Considérer la superficie entière du lac surestimerait les gains, tandis que considérer uniquement la superficie de la frayère aménagée les sous-estimerait. La valeur du gain se situe entre ces deux estimations. Comme la dispersion des larves dans les lacs peut s'effectuer avec plus ou moins d'orientation et sans restriction d'espace, la méthode de calcul proposée pour la superficie d'influence en rivière a été utilisée. Celle-ci a été ajustée en tenant compte d'une dispersion autour des aménagements à réaliser.

Afin de chiffrer le gain d'habitat, il est proposé d'utiliser une zone tampon de 100 m autour des aménagements de frayères en lac. Cette zone tampon est réaliste considérant que la capacité de dispersion des jeunes stades de vie pour plusieurs des espèces de poissons peut être élevée en lac (Dettmers et collab. 2005; Reisser et collab. 2014). Par exemple, bien que l'habitat d'alevinage du touladi soit peu connu, les alevins se déplaceraient vers les zones profondes durant la saison estivale afin de réduire la prédation (Environnement Illimité 2013a). Dans

une revue de la littérature, Evans et collab. (1991) mentionnent que les touladis juvéniles occupent des habitats compris entre 27 et 50 m de profondeur. Chez le grand corégone, lorsque les larves émergent du substrat de fraie, elles forment des agglomérations en eaux peu profondes le long des rives escarpées qui peuvent être transportées sur de longues distances par les courants de surface. Elles se dirigent ensuite vers les profondeurs au début de l'été (Scott et Crossman 1974). D'après ces données, la superficie d'influence proposée de 100 m s'avère largement réaliste. Ainsi, les gains d'habitat en lac sont évalués à 9,4 ha (tableau 6-2).

Tableau 6-2. Synthèse des aménagements halieutiques proposés en lac à Fermont

Nom du site	Type et nombre d'aménagements	Portion incluse dans le calcul	Superficie d'influence (ha)	Superficie du lac (ha)
Lac Daviault	Frayère en lac (2)	Frayères et zone tampon de 100 m autour de chacune d'elles	8,8	440
Lac Carheil	Frayère en lac (1)	Frayères et zone tampon de 100 m autour d'elle (excluant la zone exondée)	5,0	2 000
Ensemble du projet (lac)			13,8	2 440

En somme, en utilisant l'approche « superficie d'influence », l'ensemble des 20 aménagements proposés représenterait un gain équivalent à 28,9 ha en cours d'eau et 13,8 ha en lac pour un total de 42,7 ha d'habitat du poisson (tableaux 6-1 et 6-2). En considérant l'ampleur des aménagements proposés et la superficie des plans d'eau associés à ces aménagements, cette superficie apparaît réaliste. Au total, c'est 4 139 m² de frayères qui seront aménagés, sans compter toutes les autres interventions ne visant pas spécifiquement la reproduction des poissons, mais tout aussi bénéfiques pour soutenir la productivité des milieux aquatiques.

6.2 PROGRAMME DE SUIVI

Un programme de suivi sera réalisé afin de vérifier l'efficacité du plan de compensation et de s'assurer que les objectifs ont été atteints. Advenant le cas où le projet n'atteint pas les objectifs en matière de gain d'habitat, les correctifs nécessaires seront apportés. Le suivi pour les aménagements en rivière s'étalera sur une période de 5 ans et débutera à l'année 1 pour se poursuivre aux années 3 et 5. Le programme inclura un suivi de la communauté ichtyologique par des pêches expérimentales ainsi qu'un suivi des aménagements (stabilité, intégrité et efficacité) qui regroupera notamment les informations suivantes :

- L'état de référence des aménagements sera établi à la suite des travaux de construction.
- Une description de l'état général des aménagements (signe d'instabilité, d'érosion, ensablement, affouillement, etc.) et une caractérisation des frayères aménagées (superficie, profondeur de l'eau, granulométrie, colmatage, etc.).
- L'utilisation par la faune ichtyenne, notamment l'omble de fontaine, sera évaluée par des observations visuelles d'individus reproducteurs au moment de la fraie, par des pêches effectuées à l'aide d'un appareil de pêche à l'électricité, ou par des engins non invasifs tels que des verveux et des filets de dérive.

Pour les frayères en lac, l'intégrité physique et l'utilisation par le poisson, en particulier pour le touladi et le grand corégone, devront également être vérifiées à l'occasion d'un suivi, dont voici les grandes lignes :

- Le suivi de l'intégrité devra permettre de vérifier la stabilité des caractéristiques physiques (profondeur, substrat, propreté, etc.) des frayères pour déterminer si elles sont demeurées adéquates pour la reproduction

des espèces visées. Ce suivi sera réalisé sur une période de 5 ans, soit en l'an 1, 3 et 5 suivant l'année de réalisation des travaux.

- Sans s'y limiter, le suivi de l'utilisation des frayères comprendra une évaluation de la présence de géniteurs, d'œufs ou de jeunes stades de vie (ex. mesurée à l'aide de la dérive larvaire). Ce suivi sera réalisé sur une période de 10 ans, soit en l'an 1, 3, 5, 7 et 10 suivant l'année de réalisation des travaux.
- Un suivi des conditions physicochimiques du lac sera réalisé durant la période de stratification thermique pendant une période de 5 ans, soit en l'an 1, 3 et 5 suivant l'année de réalisation des travaux.

Un programme de suivi détaillé sera présenté au MPO une fois que les concepts finaux des aménagements auront été approuvés.

6.3 ÉCHÉANCIER

Un échéancier préliminaire de projet est présenté au tableau 6-3. Les premiers travaux consisteront à aménager les frayères-seuils en rivière. Ces travaux seront réalisés à l'an 0. L'aménagement du haut-fond du lac Carheil et l'agrandissement des frayères potentielles au lac Daviault seront également réalisés au cours de l'année 0. Par la suite, les suivis débiteront à partir de l'an 1 et se poursuivront sur différentes années tel que présenté dans le tableau 6-3.

Tableau 6-3. Échéancier préliminaire pour le projet d'aménagements multispécifiques dans le réseau hydrographique compris entre les lacs Daviault et Carheil

Activité	An 0	An 1	An 2	An 3	An 4	An 5	An 6	An 7	An 8	An 9	An 10
Réalisation des aménagements en rivière											
Suivi de l'intégrité et de l'utilisation											
Réalisation des aménagements au lac Carheil											
Réalisation de l'aménagement au lac Daviault											
Suivi de l'intégrité											
Suivi de l'utilisation											
Suivi physicochimique											

7 PROJET N° 2 – RÉFECTION DE PONCEAUX INFRANCHISSABLES DANS LA RÉGION DE SCHEFFERVILLE

7.1 DESCRIPTION DU PROJET

Cette section traite spécifiquement du projet ayant été défini en collaboration avec la NIMLJ. Leur territoire inclut une partie de la ville de Schefferville (Matimekush) et une autre portion qui est située au nord du lac John. Ce territoire se situe dans la région de la Côte-Nord et est bordé à l'est, au sud et à l'ouest par la frontière du Labrador. Outre la NIMLJ, la région de Schefferville inclut un second territoire autochtone, soit celui de la nation naskapie de Kawawachikamach qui est situé à l'extérieur des limites de la ville. Celui-ci est aussi scindé en deux sections dont l'une se retrouve à environ 24 km au nord des limites de la municipalité de Schefferville et la seconde se situe au nord du 55° parallèle (carte 7-1).

La ville s'étant développée autour du secteur minier, le territoire situé à proximité de Schefferville possède plusieurs secteurs lourdement impactés par l'industrie minière qui s'est développée durant la deuxième moitié du 20^e siècle. On y retrouve également plusieurs plans d'eau sur le territoire qui génèrent une activité économique non négligeable. Les lacs et rivières étant peu fréquentés, le poisson y est généralement très abondant. Le grand brochet, l'omble chevalier, l'omble de fontaine, la ouananiche et le touladi sont les espèces qui peuvent être pêchées. Cependant, l'accessibilité aux plans d'eau est généralement difficile. Du côté de la frontière du Québec, l'ensemble des plans d'eau du secteur se retrouve dans le bassin versant de la rivière Koksoak, dont la portion amont a été dérivée partiellement vers le bassin de la Grande Rivière dans le cadre de l'aménagement des ouvrages hydroélectriques de la Baie James. Ce secteur présente donc un grand intérêt pour y réaliser un projet de compensation puisqu'il fait partiellement partie du même bassin versant que celui de la mine du lac Bloom.

Pour la recherche de sites de compensation potentiels, la première étape réalisée fut la présentation du contexte réglementaire entourant les projets de compensation aux membres de la communauté de la NIMLJ par M. Michel La Haye, ichtyologiste mandaté par MFQ. Cette occasion a aussi permis d'expliquer le projet d'agrandissement du parc à résidus de la mine de fer du lac Bloom et de démontrer la volonté de MFQ à ce que la communauté soit activement impliquée dans le présent plan de compensation. À la suite de cette séance d'information, les membres ont été invités à parcourir leur territoire et discuter entre eux pour définir leurs préoccupations face aux enjeux environnementaux identifiés.

Les priorités de restauration des communautés locales concernent la présence de plusieurs ponceaux infranchissables qui bloquent la migration des poissons et limitent l'accès aux territoires de chasse et de pêche. La restauration des anciens sites miniers (site n° 9; carte 3-1) et la présence de diverses sources de pollution diffuse (sites n°s 5, 7, 8, 11, 17, 20; carte 3-1) sont également des enjeux environnementaux fondamentaux. À la suite de discussion avec les membres de la NIMLJ, la réfection de ponceaux infranchissables s'est révélée le projet le plus réaliste. Par ailleurs, des inventaires seront réalisés en 2019 afin de documenter davantage les problématiques soulevées par la NIMLJ sur le territoire de Schefferville (annexe E). Il est possible que d'autres projets potentiels ressortent de cet exercice.

7.1.1 DESCRIPTION DU SITE

Outre les observations réalisées par la NIMLJ, aucun inventaire spécifique n'a encore été réalisé sur le terrain en lien avec ces projets particuliers. Il importe toutefois de spécifier que les utilisateurs (chasseurs, pêcheurs,

anciens) possèdent une grande connaissance du territoire, ce qui a permis de décrire les sites suffisamment pour leur analyse. De plus, l'utilisation d'images satellites, de photos aériennes et d'une littérature relativement abondante a permis de compléter la documentation des projets ici présentés. Mentionnons qu'en 2013 et 2017, des pêches expérimentales ont été réalisées dans les lacs Pearce et Knob situés à proximité de la ville de Schefferville (Roche 2013; WSP 2018b; WSP 2018c). Les espèces suivantes ont été capturées : meunier rouge, meunier noir, grand corégone, méné de lac, grand brochet, ménomini rond, omble de fontaine, lotte, épinoche à trois épines et touladi.

Tel qu'illustré sur la carte 7-1 et au tableau 7-1, il y a au moins huit ponceaux infranchissables qui fragmentent l'habitat du poisson. Cela empêche les poissons des lacs d'effectuer leur migration dans les cours d'eau pour atteindre leur site de reproduction. Cette situation est particulièrement problématique, car les communautés de poissons sont majoritairement constituées de salmonidés (omble de fontaine, omble chevalier, grand corégone). Cela contribue à diminuer le recrutement qui, combiné à la pression de pêche, affecte l'abondance des poissons de plusieurs lacs et limite les possibilités de rétablissement des habitats détériorés.

Tableau 7-1. Description des ponceaux infranchissables proposés par la NIMLJ dans la région de Schefferville

Numéro du site	Localisation et plan d'eau associé	Description
PI01	Émissaire du lac La Tesserie	Sépare le lac La Tesserie (194 ha) d'un lac sans nom (125 ha)
PI02	Tributaire du lac La Cosa	Ponceau situé à 1,5 km du lac La Cosa et limite l'accès à un vaste réseau hydrographique
PI03	Émissaire d'un lac sans nom	Ponceau affaissé séparant un lac sans nom (6,5 ha) du lac Juin (44 ha)
PI04	Tributaire du lac Squaw lake	Sépare un lac sans nom (10 ha) au lac Squaw lake (513 ha)
PI05	Émissaire d'un lac sans nom	Hauteur de chute trop haute pour la migration des poissons du lac Maryjo (41 ha) vers un lac sans nom (15 ha)
PI06	Tributaire du lac Maryjo	Hauteur de chute de 0,6 m qui sépare le lac John du lac Maryjo
PI07	Émissaire du lac John	Hauteur de chute de 0,6 m et faible abondance des poissons dans le lac Dolly (62 ha) situé en amont
PI08	Émissaire du lac Houston	Hauteur de chute de 0,5 m et faible abondance des poissons dans le lac Houston (60 ha)

La dégradation des infrastructures routières et leur manque d'entretien affectent d'une part la faune aquatique en apportant une quantité non négligeable de sédiments sur les zones propices à la reproduction et en limitant leur accessibilité. D'autre part, cela affecte les communautés locales en limitant la pratique des activités traditionnelles. Certains territoires ne sont plus accessibles en raison de la présence de ponceaux impraticables et ils compromettent la sécurité des usagers.

Des inventaires sur le terrain, principalement des pêches expérimentales, ainsi qu'une caractérisation des habitats de poissons et des ponceaux devront être réalisés durant la saison estivale et durant la période de fraie des salmonidés. Ces données permettront de mieux détailler les impacts des ponceaux infranchissables sur les communautés de poissons avoisinantes et de cibler avec plus de précision les interventions à effectuer. Ces pêches fourniront également des données en état de référence qui permettront de suivre l'évolution des communautés et populations de poissons suite aux interventions. Ces inventaires seront réalisés en collaboration étroite entre la NIMLJ et WSP. Selon la disponibilité et l'expérience des membres de la NIMLJ qui participeront aux études, des formations techniques pourront être dispensées si cela s'avérait nécessaire à la bonne conduite et au succès des travaux de terrain et de l'analyse des résultats.

Les données et les activités requises pour mener à terme le projet sont les suivantes :

- Procéder à une campagne de terrain afin de :
 - Caractériser le ponceau faisant office d'obstacle à la migration des poissons (hauteur de chute, présence de fosses, pente, etc.).
 - Évaluer les paramètres hydrauliques importants (débits, crues, LNHE) pour une conception des ouvrages stables et pérennes.
 - Caractériser l'habitat du poisson en accordant une importance aux fonctions d'habitats essentielles (frayère, aire d'alevinage, etc.) et à la présence d'obstacle naturel.
 - Réaliser des pêches expérimentales à l'aide d'engins non létaux afin de déterminer la communauté de poissons et évaluer l'abondance des espèces en amont et en aval des obstacles infranchissables (plans et cours d'eau).
 - Évaluer le potentiel d'aménagement de frayère ou d'amélioration de l'habitat dans le plan d'eau ciblé et ses cours d'eau associés.
- Produire l'énoncé d'envergure des aménagements pour les sites retenus :
 - Définir précisément les méthodes de travail.
 - Préparer les bordereaux de quantité.
 - Faire l'estimation détaillée des coûts.
 - Produire les schémas finaux des aménagements.
 - Élaborer les plans et devis pour construction.

7.1.2 OBJECTIFS

Le but de ce projet est de réaliser des améliorations pour la faune aquatique dans la région de Schefferville en lien avec les priorités de restauration de la NIMLJ. Les objectifs secondaires sont :

- Sélectionner des habitats du poisson à restaurer ou à améliorer en fonction des besoins des communautés locales.
- Améliorer des habitats essentiels au maintien de l'abondance des populations de poissons, en particulier pour les espèces exploitées par les communautés locales.
- Intégrer les membres de la NIMLJ dans toutes les étapes du projet, c'est-à-dire de la sélection des sites potentiels jusqu'à la réalisation des suivis après les travaux.
- Former des responsables issus des Premières Nations et leur fournir du soutien pour mener à terme d'autres projets au bénéfice de la faune aquatique. La formation contribuera à soutenir les activités du bureau de surveillance et la protection du territoire nouvellement implanté.
- En plus de la réfection des ponceaux, aménager des habitats essentiels pour l'omble de fontaine (sites de reproduction, aires d'alevinage) en cours d'eau.
- Augmenter la connectivité entre les habitats dans le but de permettre une régulation autosuffisante de l'abondance entre les communautés de poissons locales.
- Permettre le rétablissement des populations de poissons jugées précaires localement.

7.1.3 AMÉNAGEMENTS PROPOSÉS

Des inventaires supplémentaires seront réalisés en 2019 afin de documenter davantage la problématique de libre circulation du poisson dans les ponceaux infranchissables. Un plan de travail pour les inventaires à réaliser est présenté à l'annexe E. Les aménagements proposés dans les prochaines sections demeurent à une étape conceptuelle et pourront être modifiés en fonction des résultats obtenus lors des caractérisations additionnelles à réaliser. La proposition de projets évoluera et sera bonifiée au fil des discussions à venir avec les spécialistes du MFFP et du MPO.

Le projet ici présenté consiste à rétablir la libre circulation du poisson en procédant à la réfection de ponceaux infranchissables. De plus, il a été identifié que l'une des causes potentielles du déclin de l'abondance des populations de certains lacs pourrait être associée à l'isolement des zones de reproduction et la fragmentation des habitats. Il est donc également proposé d'apporter d'autres types d'améliorations pour augmenter la connectivité entre les habitats, comme le démantèlement d'embâcles et le nettoyage de cours d'eau.

RÉFECTION DE PONCEAU INFRANCHISSABLE

L'étape initiale, qui consistait à trouver des sites de compensation potentiels, a permis d'identifier la présence de huit ponceaux infranchissables (carte 7-1; tableau 7-1). Les principaux problèmes observés sont la hauteur de chute à la sortie qui est trop élevée (entre 0,5 et 1 m) et l'affaissement des tuyaux provoqué par un manque de protection (remblai insuffisant) et d'entretien.

La caractérisation de l'habitat du poisson permettra d'évaluer la qualité et les fonctions des habitats en amont de l'obstacle infranchissable et celle-ci devra être jugée suffisante pour que la réfection du ponceau soit effectuée. L'aménagement devra permettre la libre circulation des principales espèces qui composent la communauté, en particulier celle des salmonidés, un groupe de poissons très important pour la NIMLJ¹. Un

¹ Selon la communauté NIMLJ, Matimekush signifie « petite truite » ce qui témoigne de l'importance de ce groupe de poissons.

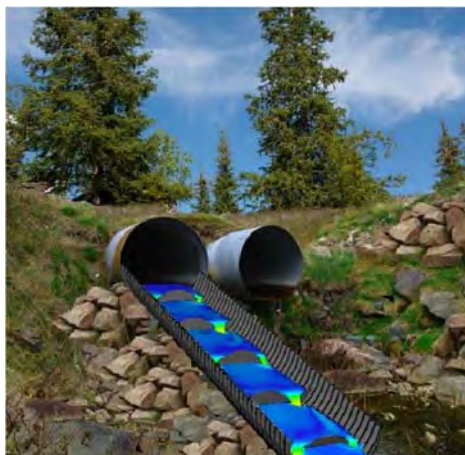
maximum de trois sites nécessitant une réfection de ponceau seront retenus dans le cadre du présent projet de compensation. Dépendamment de la nature des obstacles, les principaux types d'intervention envisagés sont présentés ci-dessous.

Aménagement en aval du ponceau

Ce type de dispositif s'applique à un ponceau qui possède une hauteur de chute trop élevée à la sortie ou une profondeur d'eau trop faible. Il consiste à aménager plusieurs seuils successifs en enrochement ou en béton à l'aval du ponceau afin de rehausser le niveau d'eau du bassin situé immédiatement en aval du ponceau (photo 1). Une autre option envisagée serait d'installer des déflecteurs préfabriqués à la sortie du ponceau afin de créer des petites cascades (photo 1). La portion amont du cours d'eau serait ainsi rendue accessible sous toutes conditions hydrauliques. Ce type d'aménagement peut être réalisé s'il n'est pas possible de restaurer la libre circulation du poisson par un remplacement du ponceau (ex. à la traverse d'une voie ferrée, en présence de roc ou d'un fort dénivelé naturel).



Source : Pêches et Océans Canada. 2015. *Guidelines for the design of fish passage for culverts in Nova Scotia. Fisheries Protection Program, Maritimes Region.* 95 p.

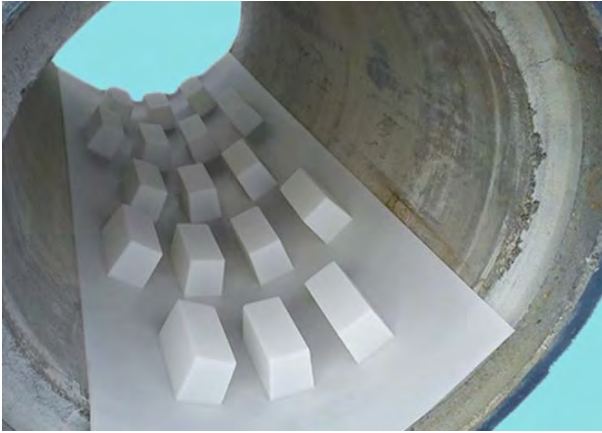


Source : www.fishculvert.com

Photo 1. Exemples d'aménagements pouvant être réalisés en aval de ponceau infranchissable afin de restaurer la libre circulation des poissons

Aménagement dans le ponceau

Cet aménagement est utilisé pour diminuer la vitesse de l'eau lorsque la pente à l'intérieur du ponceau est trop élevée ou pour augmenter la profondeur de l'eau. Il s'agit ici d'ajouter des déflecteurs dans le ponceau afin de créer des petites retenues d'eau et ainsi faciliter le passage du poisson dans le ponceau. Il existe plusieurs types de déflecteurs, comme ceux préfabriqués pouvant être directement installés dans un ponceau existant (photo 2). Il est également possible d'intégrer des déflecteurs en enrochement et de reconstruire le lit du cours d'eau à l'intérieur du ponceau afin de reproduire l'habitat naturel du poisson et ainsi favoriser leur passage (photo 2).



Source : <http://www.rotationalplastics.co.nz>



Source : <http://reperteau.info>

Photo 2. Exemples d'aménagements pouvant être réalisés à l'intérieur de ponceau infranchissable afin de faciliter la libre circulation des poissons

Remplacement de ponceau

Lorsque l'ajout de ces dispositifs n'est pas possible ou si le ponceau est en mauvais état, le remplacement du ponceau doit être envisagé. Il existe une multitude de techniques pour l'installation de ponceau permettant le passage des poissons. La photo 3 montre un tuyau en tôle ondulée (TTO) à contour ouvert qui permet d'utiliser le lit naturel du cours d'eau. Il existe aussi des tuyaux en tôle ondulée avec des déversoirs intégrés pour les cours d'eau avec une forte pente (photo 3).



Source : <http://www.cspi.ca>



Source : <http://centreduponceau.ca>

Photo 3. Exemples de ponceau conçu pour assurer la libre circulation des poissons

Les relevés sur le terrain prévus en 2019 permettront de définir les infrastructures les mieux adaptées à chacune des situations. Les plans et devis (forme, type, dimension, matériaux, etc.) des ponceaux à réparer seront par la suite élaborés en ingénierie à la suite de l'analyse des données récoltées. Enfin, les lignes directrices pour les traversées de cours d'eau au Québec seront suivies lors du remplacement ou de l'installation d'un ponceau (MPO 2016).

AMÉLIORATION D'HABITAT

La présence d'embâcle ou d'accumulation trop importante de débris ligneux dans les cours d'eau peut également nuire à la migration des poissons. Il est aussi possible que certains des ponceaux problématiques proposés par les membres de NIMLJ soient obstrués par la présence de débris divers (branches, troncs, roches, sédiments, etc.). Des travaux de nettoyage peuvent donc être requis pour assurer la libre circulation des poissons.

Dans ce cas, les aménagements seront réalisés conformément aux recommandations de Fleury et Boula (2012). Les lignes directrices de ce document seront appliquées lors de la réalisation des aménagements, notamment :

- La quantité de débris ligneux à retirer se limitera aux éléments qui nuisent aux déplacements des poissons.
- Le retrait des débris ligneux morts se limitera aux matériaux qui ne sont pas ancrés dans la rive ou le lit du cours d'eau.
- Tous les débris retirés seront disposés à l'extérieur de la LNHE de sorte à éviter qu'ils ne soient ramenés dans le cours d'eau ou qu'ils ne soient utilisés par le castor.

AMÉNAGEMENT DE SITES DE REPRODUCTION

En cas d'observation d'un problème de recrutement dans les plans d'eau, une caractérisation détaillée du plan d'eau et des cours d'eau liés au ponceau sera réalisée afin de déterminer les meilleurs sites potentiels pour l'aménagement de site de reproduction. Les plus grands utilisateurs de ces milieux seront mis à contribution afin de localiser les sites de fraie et déterminer si des aménagements sont opportuns. Les frayères proposées viseront les conditions optimales pour l'omble de fontaine. Le succès d'un aménagement d'habitat et son utilisation subséquente par les populations ciblées reposent sur une planification et une conception de qualité. Pour cette raison, l'aménagement des frayères sera effectué en respectant, dans la mesure du possible, les *Recommandations pour la planification et la conception d'aménagements d'habitats pour l'omble de fontaine (Salvelinus fontinalis)* du MPO (Fleury et Boula 2012). Les mesures suivantes seront notamment mises de l'avant :

- Aucune membrane géotextile ne sera utilisée pour l'aménagement des frayères.
- Le lit du cours d'eau sera excavé sur 15 à 30 cm de profondeur afin d'y insérer le substrat de fraie.
- L'épaisseur du gravier mis en place sera entre 15 et 30 cm.
- Aucun matériau dynamité ne sera utilisé pour l'aménagement de frayère.
- Le gravier sera rond et d'origine fluviale avec un diamètre variant entre 1 et 6 cm.
- La superficie de l'aménagement de la frayère se limitera à la zone sans accumulation de sédiments fins ou de matières organiques.

7.1.4 GAIN D'HABITAT

Tel que spécifié à la section 4.3 *Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel*, le gain en habitat du poisson se définit par plusieurs critères mis en relation, soit la différence entre l'indice de franchissabilité finale et initiale pour l'obstacle, la superficie des frayères accessibles et inaccessibles et la superficie d'habitat préférentiel pour l'espèce ciblée. Le rétablissement de la libre circulation dans les ponceaux infranchissables vise l'amélioration de la connectivité entre les habitats, un mécanisme essentiel à la régulation et au maintien de l'abondance des populations de poissons. À cet effet, le territoire de Schefferville compte de nombreux lacs en bonne santé, dont le lac Knob (WSP 2018c), qui peuvent contribuer à soutenir ceux dont les effectifs sont plus faibles. Ces aménagements pourront bonifier particulièrement les espèces d'intérêt dont font partie l'omble de fontaine, l'omble chevalier, le grand corégone et le touladi. La nouvelle

connectivité des habitats se traduit soit par une nouvelle portion de cours d'eau accessible, de plan d'eau accessible ou soit par une combinaison des deux.

Actuellement, le calcul ne peut être réalisé, mais le projet retenu aura comme objectif d'obtenir un gain d'habitat entre 5 et 10 ha pour une ou plusieurs espèces d'intérêt pour les communautés locales.

7.2 PROGRAMME DE SUIVI

Un programme de suivi sera mis en œuvre afin de vérifier l'efficacité de ce volet du plan de compensation et pour s'assurer que les objectifs ont été atteints. Advenant le cas où le projet n'atteint pas les objectifs en matière de gain d'habitat, les correctifs nécessaires seront apportés. Comme les autres activités de ce projet, les suivis seront réalisés en collaboration avec les membres de la NIMLJ. L'état de référence des aménagements sera établi préalablement aux travaux de construction. Les caractéristiques physiques des aménagements et les conditions de libre passage du poisson seront évaluées en considérant les paramètres suivants :

- Description de l'état général des aménagements (signe d'instabilité, d'érosion, ensablement, affouillement, etc.).
- État de la bande riveraine et des talus d'enrochement.
- Photographies (vue amont, vue aval, vue des rives, etc.) pour comparaison avec l'état de référence.
- Description et mesure de la structure aménagée :
 - Superficie mouillée dans le ponceau.
 - Substrat du lit reconstitué.
 - Étanchéité du lit reconstitué (présence d'infiltrations).
 - Hauteur de chute.
 - Type de jet à la sortie du ponceau, si présent.
 - Profondeur d'eau aux extrémités amont et aval.
 - Vitesse du courant dans le ponceau.
 - Description de la fosse aval (profondeur, vitesse du courant).

Ces mesures seront prises à nouveau lors des suivis aux fins de comparaison. L'efficacité des aménagements sera également évaluée par des observations visuelles et des pêches effectuées à l'aide d'un appareil de pêche à l'électricité ou de verveux. Les résultats seront présentés sous forme d'un rapport après chaque suivi.

7.3 ÉCHÉANCIER

Un échéancier préliminaire de projet est présenté au tableau 7-2. Les travaux de réfection des ponceaux sélectionnés seront réalisés à l'an 0. Par la suite, les suivis débiteront à partir de l'an 1 et se poursuivront aux années 3 et 5.

Tableau 7-2. Échéancier préliminaire pour le projet à Schefferville

Activité	An 0	An 1	An 2	An 3	An 4	An 5
Réfection des ponceaux et travaux de nettoyage						
Suivis						

8 PROJET N° 3 - REHAUSSEMENT DU LAC À LA LOUTRE ET INSTALLATION D'UNE PASSE MIGRATOIRE

8.1 DESCRIPTION DU PROJET

Le lac à la Loutre est situé à 35 km au nord de Baie-Comeau et il est accessible via la route 389 et le chemin de la Rivière-aux-Anglais (carte 8-1). Depuis 1959, le niveau du lac est régulé par la présence d'un barrage avec un système d'ouverture constitué de poutrelles en bois. À l'époque, le barrage servait à créer un réservoir pour alimenter la papeterie de Baie-Comeau en eau de procédé. Il est actuellement utilisé aux fins récréatives au bénéfice des riverains qui utilisent le plan d'eau pour la navigation et la pêche sportive.

À la suite d'une crue exceptionnelle survenue en 2008, l'enrochement de stabilisation de la partie centrale du barrage a été emporté par l'eau qui passait alors par-dessus l'ouvrage, entraînant des dommages structuraux permanents (photo 4). Au printemps 2018, une autre crue importante a provoqué des inondations en aval, forçant l'évacuation des 75 villégiateurs. Un pont situé à moins de 200 m en aval du barrage a d'ailleurs été lourdement endommagé lors de cet événement. Selon la dernière évaluation de la sécurité de l'ouvrage, il a été démontré que la capacité d'évacuation actuelle est insuffisante pour assurer l'évacuation de la crue de sécurité sans débordement. De plus, le barrage nécessite des travaux de confortement, notamment en ce qui concerne l'étanchéification du remblai en rive gauche et le renforcement de la partie centrale du barrage endommagé en 2008.

En plus des problèmes structuraux, la gestion du niveau d'eau était assurée par les villégiateurs jusqu'à l'automne 2018. Même à l'époque où le barrage était utilisé pour alimenter la papeterie, il n'y avait pas de réel plan de gestion du niveau de l'eau, celui-ci étant assuré par certains résidents employés de l'usine. L'objectif était alors de maintenir un niveau constant dans le lac. À l'automne, quatre poutrelles étaient retirées jusqu'au printemps suivant, dès que le chemin d'accès permettait de remettre les poutrelles en place.

Le barrage est aujourd'hui la propriété du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN). Afin de se conformer aux exigences de la Loi sur la sécurité des barrages, le MERN a retiré presque toutes les poutrelles du barrage à la fin de l'automne 2018 pour assurer l'évacuation sécuritaire de l'eau lors des fortes crues. Cette situation est appelée à persister jusqu'à ce que des travaux de confortement soient réalisés.

Conséquemment, le retrait des poutrelles a entraîné une diminution du niveau de l'eau du réservoir d'environ 1 m, provoquant du même coup l'exondation d'une grande superficie d'habitat riverain (photo 5). Les frayères en lac ainsi que celles situées à la sortie des cours d'eau risquent fort probablement d'être affectées par ce faible niveau de l'eau. Sur le plan récréotouristique, la navigation, l'esthétique du plan d'eau et la qualité de la pêche seront aussi inévitablement impactées.

Dans son état actuel, le barrage constitue un obstacle infranchissable pour tout poisson puisqu'il crée une chute verticale d'une hauteur minimale de 1 m (photo 6). Une fosse d'appel pouvant atteindre une profondeur de 50 cm est présente à l'aval, mais on y retrouve un substrat dominé par des gros blocs qui limitent la formation d'un véritable bassin. En amont, le tirant d'eau sur le coursier (surface bétonnée) est de faible profondeur (5 cm) et il n'y a pas de fosse d'appel. Lorsque les poutrelles sont présentes, une seconde chute verticale est créée. Pour chaque poutrelle ajoutée, l'obstacle gagne en hauteur 0,15 m. En situation estivale, l'obstacle peut donc atteindre une hauteur entre 1,75 et 1,90 m. Il est improbable que le barrage devienne franchissable en période de crue lorsque les poutrelles sont retirées, car les vitesses d'écoulement qui transitent dans les déversoirs sont très élevées (débit moyen de 7,91 m³/s en période de crue contre 1,4 m³/s en saison estivale).

Par ailleurs, le retrait de l'ensemble des poutrelles à l'automne n'est pas une situation souhaitable pour le maintien des activités de reproduction. Le MERN prévoit conserver un niveau d'eau élevé et stable, une situation qui contribuera à conserver le caractère infranchissable de l'ouvrage.

Dans cette section, il sera question de présenter un projet permettant de rehausser le niveau de l'eau et d'y intégrer une passe migratoire pour l'omble de fontaine. Cette dernière est jugée d'une grande pertinence en raison de la présence d'une frayère confirmée exceptionnelle située en aval du barrage qui constitue un obstacle totalement infranchissable au poisson. Dans les prochains paragraphes, les résultats des visites sur le terrain seront décrits, en particulier pour les habitats de reproduction, le concept d'aménagement au barrage sera présenté de même que les gains d'habitat du poisson anticipés.



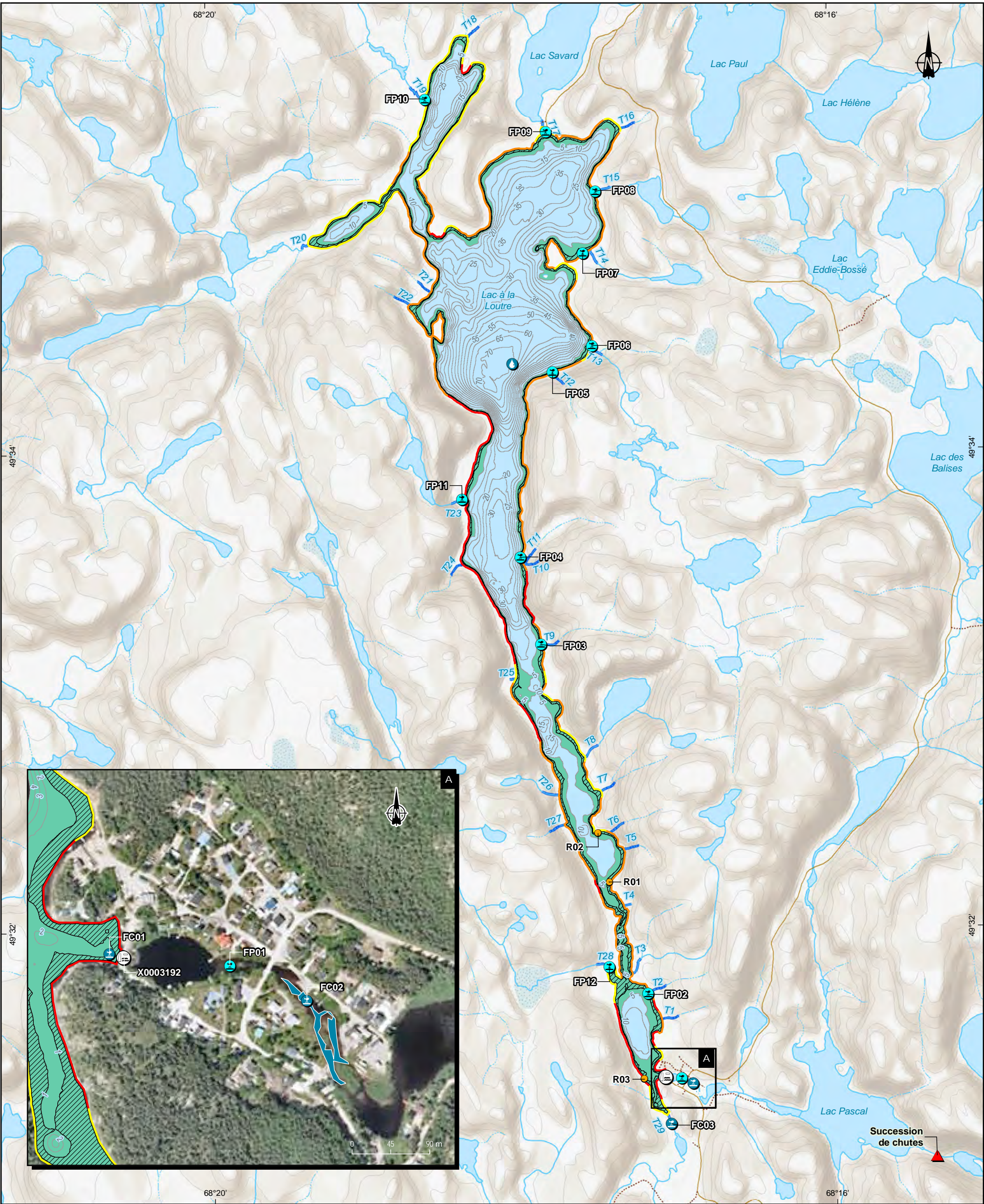
Photo 4. Vue générale du barrage du lac à la Loutre. L'engrochement de la partie centrale a été emporté par la crue de 2008



Photo 5. Niveau d'eau abaissé de 1 m à la suite du retrait des poutrelles



Photo 6. Chute dans le déversoir qui crée un obstacle infranchissable pour le poisson



Caractérisation

- Rive caractérisée (R01)
- Frayère potentielle (FP01)
- Frayère confirmée (FC01)
- Cours d'eau caractérisé (T1)
- Frayère confirmée (1 319,02 m²)

Granulométrie des berges

- Substrat fin
- Substrat grossier
- Roche mère

Obstacle à la migration du poisson

- ▲ Obstacle infranchissable

Station d'échantillonnage

Physicochimie

- Station de mesure de la physicochimie

Relevé bathymétrique

- Isobathes (5 m)
- Zone 0 - 5 m (853 830,78 m²)

Gain d'habitat du poisson

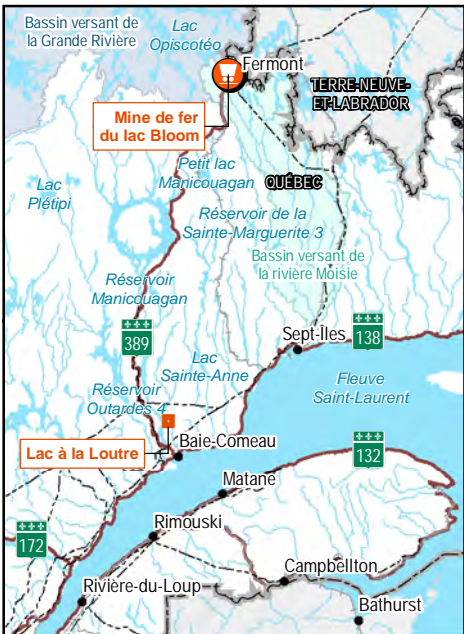
- Zone 0-1 m (285 440,38 m²)

Hydrographie

- Cours d'eau permanent
- Cours d'eau intermittent
- Plan d'eau

Infrastructure

- Barrage
- Route locale
- Chemin d'accès



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Programme de compensation pour l'habitat du poisson en vertu du REMMD

**Carte 8-1
Localisation des relevés effectués
au lac à la Loutre**

Sources :
BDTO, 1/20 000, MRNF Québec, 2007
SDA, 1/20 000, MRNF Québec, avril 2015
CEHQ, 1/50 000, MDDEP, 2018
CanVec+, 1/50 000, RNC, 2014
BDGA, 1/1 000 000, MRN Québec, 2002
MERN, AQRéseau+, réseau routier, 2018
Photo aérienne: MRNF, résolution 30 cm, 2013

0 300 600 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Mai 2019

Préparation : T. Larouche
Dessin : H. Gagnon
Vérification : J. Plourde
181-03709-01_pc_c8-1_132_rel_loutre_wspb_190516.mxd






8.1.1 DESCRIPTION DU SITE

D'une superficie de 351 ha, le lac à la Loutre est situé en tête du bassin versant de la rivière aux Anglais qui draine un territoire d'une superficie de 445 km². L'émissaire du lac à la Loutre se jette dans le lac Pascal. En aval de ce plan d'eau, on retrouve une succession de chutes naturelles totalisant une hauteur d'environ 4 m qui constituent un obstacle infranchissable pour le poisson. Après avoir parcouru près de 65 km dans les forêts de la Côte-Nord, l'eau se jette dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent à environ 4 km au nord-est de Baie-Comeau. La rivière abrite une population de saumon atlantique qualifiée de patrimoniale, c'est-à-dire qu'elle n'a jamais eu recours à l'ensemencement, un fait plutôt rare parmi les populations de saumon québécoises (Thibault 2007).

À la suite d'une suggestion par des membres de l'Association des propriétaires de chalets du lac à la Loutre et du lac Pascal, ce site a été retenu pour valider la pertinence d'effectuer un projet de compensation. Ainsi, une première campagne terrain a été réalisée du 6 au 8 août 2018 dans le but de documenter la problématique et de caractériser l'habitat du poisson. À cette occasion, les poutrelles n'avaient pas encore été retirées des deux déversoirs et le niveau d'eau du lac était encore relativement élevé.

La caractérisation des rives du lac à la Loutre a permis de reconnaître trois grands types d'habitats riverains homogènes, soit les rives rocheuses, les rives composées de substrat grossier et celles avec un substrat fin. La description des habitats homogènes est présentée au tableau 8-1 et leur répartition autour du lac est illustrée sur la carte 8-1.

Tableau 8-1. Description des habitats riverains homogènes autour du lac à la Loutre

Élément du milieu	Rive rocheuse	Rive de substrat grossier	Rive de substrat fin
Proportion (%)	19,6	54,7	25,7
Pente	Verticale à forte (jusqu'à 100 %)	Forte à modérée (15 % en moyenne)	Modéré à faible (7 % en moyenne)
Granulométrie	Falaise constituée de roche-mère et de gros blocs	Dominance de galets, de cailloux et de blocs	Dominance de sable et de gravier
Herbier	Inexistant	Rare à moyennement abondant	Moyennement à fortement abondant
			

La caractérisation de l'émissaire du lac à la Loutre a quant à elle permis de constater la présence d'une importante zone de reproduction potentielle pour l'omble de fontaine en aval du barrage (carte 8-1). En plus de retrouver les bonnes conditions physicochimiques (granulométrie, vitesse d'écoulement, profondeur, oxygène) pour la reproduction de l'omble de fontaine, une grande quantité d'alevins et de géniteurs de cette espèce a été observée. L'idée d'intégrer une passe migratoire au barrage, en parallèle aux travaux de réfection devant être effectués, est alors survenue.

Une deuxième campagne de terrain a été menée du 1^{er} au 3 octobre 2018 afin de caractériser plus précisément les habitats de reproduction de l'omble de fontaine dans le lac, ses tributaires et son émissaire. La carte 8-1 montre l'ensemble des relevés effectués dans le secteur du lac à la Loutre. Plusieurs frayères potentielles et confirmées ont été observées dans le lac et les tributaires, dont celles en aval du barrage (tableau 8-2).

Tableau 8-2. Caractéristiques des frayères potentielles et confirmées retrouvées à proximité du lac à la Loutre

Identification des frayères ¹	Description ²	Emplacement p/r au barrage	Superficie (m ²)
FP01	Située en aval du barrage; Substrat (% granulométrie) : 40C-35S-25V	Aval	60
FP02	Fraie seulement possible à l'exutoire dans le lac; Substrat (% granulométrie) : 80S-20V	Amont	4
FP03	Obstacle infranchissable à 5 m; Substrat (granulométrie) : G-C-B-V	Amont	2
FP04	Obstacle infranchissable à 10 m; Substrat (granulométrie) : V-C-S-G-B	Amont	5
FP05	Obstacle infranchissable à 3 m; Fraie seulement possible à l'exutoire dans le lac; Substrat (granulométrie) : V-S	Amont	20
FP06	Obstacle infranchissable à 80 m; Fraie possible en lac et en cours d'eau	Amont	7
FP07	Fraie seulement possible à l'exutoire dans le lac; Substrat (granulométrie) : B-R-G-C-V	Amont	2
FP08	Obstacle infranchissable à 10 m; Présence d'abris	Amont	4
FP09	Obstacle franchissable avec réserve à 50 m; Substrat (granulométrie) : G-C-B-V	Amont	60 ³
FP10	Répartie en plusieurs sites; Succession de chenal-méandre-seuil : Substrat (granulométrie) : S-V	Amont	16
FP11	Obstacle infranchissable à 4 m; Fraie en lac et en cours d'eau	Amont	20
FP12	Chute infranchissable à 130 m; Substrat (granulométrie) : B-G-Bx-R-V-S	Amont	8
FC01	Située en amont du déversoir droit du barrage; Observation de nids, de géniteurs et d'œufs; Substrat (granulométrie) : V-S	Amont	15
FC02	Situé en aval du barrage; Observation de nids, de géniteurs et d'œufs; Substrat (granulométrie) : V-S-C	Aval	1 322
FC03	Observation de nids et de géniteurs répartis sur plusieurs sites	Amont	8
Sous-total	Frayère en amont du barrage		171
Sous-total	Frayère en aval du barrage		1 382
TOTAL			1 553

¹ FP : frayère potentielle; FC : frayère confirmée

² Granulométrie du substrat : S : Sable; V : Gravier; C : Cailloux; G : Galets; B : Blocs; Bx : Gros blocs; R : Roc

³ Superficie estimée suite aux inventaires.

Malgré la présence de plusieurs frayères potentielles, le réel potentiel de reproduction de l'omble de fontaine dans le lac à la Loutre est relativement faible comparativement à celui dans l'émissaire en aval du barrage. Les frayères retrouvées en aval du barrage présentent une superficie plus importante que celle retrouvée en amont. De plus, la qualité de la frayère FC02 est considérée exceptionnelle contrairement aux autres frayères retrouvées en amont.

Les frayères FC01 et FC02 ont été caractérisées en plongée en apnée le 3 octobre 2018. À ce moment, la fraie avait clairement débuté puisque plusieurs géniteurs en action ont alors été observés. La FC01 est située directement en amont du barrage, si bien que les poutrelles jouent un rôle de retenue pour le gravier et les œufs. En amont du déversoir droit, une portion de 15 m² est disponible pour le dépôt des œufs; le reste n'étant pas utilisable, car le substrat n'est pas assez épais (variant entre 0 et 25 cm). Les ombles ont nettoyé le substrat jusqu'à la membrane de béton injecté (glacis) à plusieurs endroits (photo 7). À la frayère FC02, plusieurs géniteurs, alevins, œufs et nids ont été observés et le substrat, principalement constitué de gravier, est propice sur une superficie atteignant 1 322 m² (photo 8). Les truites réussissaient à déraciner les plantes aquatiques des herbiers en procédant au balayage du substrat. Les paramètres physiques étaient en général optimaux : substrat propre constitué à 55 % de gravier, 30 % de sable et 15 % de cailloux, profondeur du gravier d'environ 25 cm, profondeur de l'eau en moyenne de 37 cm et vitesse moyenne de 0,5 m/s.

Lors d'une visite ponctuelle réalisée le 6 novembre 2018, la majorité des poutrelles avaient été retirées, sauf la dernière du bas afin d'empêcher les sédiments du réservoir d'être emportés dans l'émissaire. Considérant que six poutrelles d'une hauteur de 15 cm ont été retirées, il est possible d'évaluer la diminution du niveau de l'eau théorique à au moins 90 cm. Il est certain que cette situation entraîne une perte d'habitat riverain en plus de menacer l'intégrité des frayères souvent situées en lac à l'exutoire des cours d'eau (tableau 8-2). En raison de l'état dégradé du barrage, cette opération est toutefois nécessaire pour assurer la sécurité de l'ouvrage lors d'épisode de crue, et ce, même durant la saison estivale où des crues soudaines pourraient survenir. Le niveau d'eau ne pourra être rétabli qu'après la réalisation des travaux de réfection.



Photo 7. Ombles de fontaine regroupés au-dessus d'un nid à la frayère FC01. Le glacis du barrage se retrouve en haut à gauche



Photo 8. Ombles de fontaine se maintenant dans le courant à la frayère FC02

Des inventaires supplémentaires seront réalisés en 2019 afin de documenter davantage l'utilisation de la frayère en aval du barrage (décompte de nids, alevins, géniteurs) ainsi que la population d'omble de fontaine au lac à la Loutre (structure de la communauté, structure de taille de la population d'omble de fontaine, etc.). Un plan de travail pour les inventaires à réaliser est présenté à l'annexe E.

8.1.2 OBJECTIFS

L'objectif des mesures compensatoires vise à rehausser le niveau d'eau dans le lac à la Loutre pour récupérer l'habitat du poisson perdu par l'exondation des rives. Une passe migratoire sera également installée à l'occasion des travaux de réfection du barrage. Pour arriver à ce résultat, les éléments suivants devront être atteints :

- Permettre de résoudre une problématique locale ayant une grande importance pour la faune aquatique et, conséquemment, au soutien des activités récréotouristiques.
- Appliquer des mesures compensatoires qui permettront d'obtenir un délai de réponse rapide, notamment au niveau des objectifs de restauration de l'habitat, mais aussi par rapport aux gains en productivité.
- Minimiser l'incertitude quant aux résultats attendus en réalisant des améliorations qui permettront d'obtenir des gains directs d'habitat du poisson.
- Concevoir un concept d'aménagement qui permettra de maintenir le niveau de l'eau stable.
- Comme le lac à la Loutre est situé en tête de bassin versant, établir un plan de gestion du niveau de l'eau qui profitera aux utilisateurs et aux populations de poissons dans l'aval du bassin versant (frayère, saumon, villégiateurs).
- Augmenter la connectivité entre les habitats dans le but de permettre une régulation autosuffisante de l'abondance entre les populations locales.

8.1.3 AMÉNAGEMENTS PROPOSÉS

L'aménagement suggéré consiste à effectuer les travaux de réfection nécessaires pour renforcer la structure du barrage afin de permettre de rehausser le niveau du réservoir. En parallèle, il est aussi prévu d'intégrer une passe migratoire qui permettra au poisson, particulièrement à l'omble de fontaine, de franchir l'obstacle qui est présentement totalement infranchissable. Des discussions avec le MERN, propriétaire du barrage, ont déjà été entamées pour leur présenter le projet et pour en savoir davantage quant à la nature des prochains travaux à réaliser. Afin de rendre l'ouvrage sécuritaire le plus rapidement possible, des travaux de consolidation devront être réalisés en urgence dès le printemps 2019. D'autres travaux plus complets devront ultérieurement être effectués pour apporter des correctifs permanents. Dans ce contexte, il a été convenu de séparer le projet en deux phases, soit la première pour réaliser les travaux temporaires afin de sécuriser l'ouvrage dès l'été 2019 et la seconde dans laquelle la passe migratoire pourrait être intégrée en même temps que les modifications permanentes pour rendre l'ouvrage pleinement opérationnel. Même si la première phase est importante pour la poursuite du projet, les délais de réalisation sont trop courts pour que celle-ci puisse être intégrée au présent plan de compensation.

PHASE 1 : SÉCURISATION DU BARRAGE

Les travaux temporaires visent à rendre le barrage sécuritaire et fonctionnel pour les usagers du plan d'eau sans pour autant régler le problème principal qui est la capacité d'évacuation insuffisante de l'eau. De façon préliminaire, la partie centrale endommagée en 2008 par la forte crue sera rechargée avec de l'enrochement de gros calibre. Par la suite, le remblai en rive gauche sera étanchéifié par l'ajout d'une membrane et de matériaux granulaires appropriés. Le système d'ouverture des déversoirs constitué de poutrelles de bois sera conservé, mais sera modifié pour faciliter le retrait et l'ajout de poutrelles pour ajuster le niveau de l'eau en fonction des précipitations. Ce mode de gestion, dit actif, n'est toutefois pas souhaitable à long terme pour plusieurs raisons : il doit être opéré en temps réel en fonction des prévisions de précipitations, il nécessite d'être entretenu régulièrement, il engendre une fluctuation du niveau de l'eau dans le réservoir et il ne contribue pas à augmenter la capacité d'évacuation du barrage. C'est pourquoi ce système d'ouverture sera converti en ouvrage permettant une gestion passive dans le cadre de la deuxième phase.

PHASE 2 : RÉFECTION DU BARRAGE ET AMÉNAGEMENT DE LA PASSE MIGRATOIRE

Bien que les détails des travaux à réaliser dans la deuxième phase ne soient pas encore définis, ils permettront d'apporter des correctifs permanents à la structure en vue de convertir le système d'ouverture constitué de poutrelles en bois en déversoir à crête fixe. La cote d'élévation à déterminer pour la réfection de la structure devra tenir compte non seulement de l'aspect sécurité, mais également des besoins des usagers du lac à la Loutre et de la population d'omble de fontaine en amont et en aval. Selon les informations actuelles, le rehaussement d'environ 1 m est envisageable et constitue le rétablissement du niveau d'eau tel qu'il était à l'été 2018. Cet aménagement permettra d'augmenter la capacité d'évacuation de l'ouvrage, de maintenir un niveau d'eau constant dans le réservoir et de se libérer des contraintes liées à la gestion de l'ouvrage. Le déversoir prévu facilitera également l'intégration et l'opération de la passe migratoire.

Parmi plusieurs options étudiées, deux concepts de passe migratoire ont été retenus. Le premier consiste à aménager une rivière de contournement en rive gauche afin de relier les biefs amont et aval par un chenal. La passe « naturelle » en rive vise à reproduire les caractéristiques d'un cours d'eau naturel à forte pente. Des blocs d'enrochement et des bassins seront plus ou moins régulièrement répartis pour dissiper l'énergie, réduire les vitesses d'écoulement, augmenter les tirants d'eau et pour fournir des zones de repos aux poissons. Ce type d'ouvrage s'intègre bien au paysage et facilite les activités de suivi et d'entretien, mais il nécessite de construire un nouvel ouvrage indépendant des travaux à effectuer au barrage.

Le second concept propose d'intégrer une passe migratoire à bassins successifs dans la partie centrale du barrage afin de diviser la hauteur à franchir en plusieurs petites chutes formant une série de bassins. Selon le type de dispositifs, le passage d'un bassin à l'autre peut s'effectuer en sautant par-dessus les chutes (jet plongeant), en nageant à travers des orifices situés dans la cloison séparant les bassins ou par des fentes ou échancrures entre les bassins. Ce concept présente l'inconvénient d'être plus exigeant au niveau de l'entretien et des suivis. Par contre, il permettra d'augmenter la capacité d'évacuation du barrage et aura une meilleure attractivité pour les poissons que le concept précédent. Dans les deux cas, les concepts respecteront *Les lignes directrices pour la conception de réfection de barrages de retenue au Québec* (MPO 2004).

Les plans et devis pour la première phase des travaux sont actuellement à l'étape de conception par une équipe d'ingénierie. Advenant que la proposition de ce projet comme mesure de compensation soit acceptée, la planification de la deuxième phase pourra débuter et les concepts de passe migratoire seront développés plus en détail.

8.1.4 GAIN D'HABITAT

D'entrée de jeu, il importe de spécifier que deux types de gains d'habitat du poisson ont été considérés pour ce projet, soit les gains directs et ceux indirects. Les gains directs correspondent à la superficie des rives inondées attribuable au rehaussement du niveau de l'eau. Les gains indirects se rapportent à l'augmentation de la population des poissons dans le lac à la Loutre associée à l'installation de la passe migratoire. La méthode de calcul utilisée pour chacun des types de gains est présentée dans les prochains paragraphes.

GAIN DIRECT

Tel que spécifié à la section 4.1 *Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau*, le gain en habitat du poisson considéré pour ce type de projet correspond à la zone exondée du plan d'eau jusqu'à la cote d'élévation qu'aura le futur ouvrage de retenue. Pour le lac à la Loutre, l'élévation minimale du niveau d'eau lorsque les poutrelles avaient été retirées était de 288,40 m par rapport à 289,35 m lors de la levée bathymétrique, soit près de 1 m d'écart. Lorsque cette différence du niveau de l'eau est transposée sur la surface des rives, on obtient une superficie de 28,5 ha qui correspond à l'habitat riverain exondé provoqué par le retrait des poutrelles. Cette superficie correspond à la zone 0-1 m relevée en octobre 2018 (carte 8-1).

GAIN INDIRECT

La méthode de calcul utilisée pour ce type de gain est expliquée dans la section 4.3 *Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel*. En utilisant ce calcul, l'aménagement de passe migratoire pour permettre au poisson de franchir le barrage procurerait un gain indirect de 76 ha (tableau 8-3). Cette superficie est élevée en raison de la présence d'une immense frayère qui est inaccessible pour le recrutement de la population du lac. De plus, le fait que le barrage soit un obstacle à la migration totalement infranchissable et que le lac soit d'une grande superficie sont des facteurs qui contribuent à augmenter la valeur du gain.

Tableau 8-3. Méthode de calcul utilisée pour évaluer le gain d'habitat indirect pour l'aménagement d'une passe migratoire au barrage du lac à la Loutre

Paramètre	Valeurs pour l'omble de fontaine
Superficie des aires de reproduction inaccessibles (m ²)	1 382
÷	
Superficie totale des aires de reproduction dans le plan d'eau, y compris les tributaires accessibles et inaccessibles (m ²)	1 553
X	
Différence entre l'indice de franchissabilité finale (suite aux modifications) et initiale pour l'obstacle. Calculé à partir de Baudoin et collab. (2014)	1 – 0 = 1
X	
Superficie d'habitat préférentiel (ha) rendue disponible par les travaux (Indice de qualité d'habitat de Bradbury et collab. [2001])	85,4
=	
Gain en habitat (ha)	76,0

Ensemble, le rehaussement du niveau de l'eau et l'aménagement d'une passe migratoire fourniront un gain en habitat du poisson équivalent à 76 ha. Cependant, pour éviter que les gains indirects se superposent à ceux directement obtenus par l'inondation des rives (c'est-à-dire qu'une portion de la rive soit calculée deux fois), les deux types de gains n'ont pas été cumulés. La superficie de 28,5 ha de gain direct a donc été retranchée à la superficie de gain indirect, ce qui diminue la contribution de ces derniers. L'aménagement de la passe migratoire apporte donc un gain d'habitat du poisson indirect de 47,5 ha pour un total de 76,0 ha en incluant le gain direct lié au rehaussement du plan d'eau.

8.2 PROGRAMME DE SUIVI

Un programme de suivi sera réalisé afin de s'assurer de l'intégrité des structures aménagées et pour vérifier leur efficacité pour la faune aquatique. Ces suivis seront réalisés aux années 1, 3 et 5 suivant l'année de réalisation des travaux.

Le suivi de l'intégrité structural permettra de valider que les ouvrages respectent les plans tels que construits. En collaboration avec l'équipe d'ingénierie, le barrage et la passe migratoire seront évalués selon les différents critères :

- Conformité des matériaux granulaires (quantité, calibre, compactage, etc.).
- Hauteur, largeur et épaisseur des différentes composantes du barrage.

- Capacité d'évacuation, débit, régime hydrique.
- Dimensionnement de la passe migratoire (hauteur de chute, profondeur, largeur, longueur des bassins, profondeur de la fosse d'appel).
- Stabilité physique.

Pour le volet concernant le rehaussement du niveau de l'eau, l'efficacité sera déterminée sur la base du niveau d'eau du lac à la Loutre. Il est attendu qu'à la suite de la construction du seuil déversant (phase 2), le niveau du lac soit stable et qu'il atteigne la cote déterminée. Ces mesures de niveau seront réalisées à plusieurs stations préalablement définies sur le lac. La stabilité des rives (érosion) sera également évaluée à l'occasion de ce suivi.

En plus de l'évaluation des principaux paramètres physiques (dimensions, hauteur de chute), l'efficacité de la passe migratoire sera également vérifiée. Pour qu'il puisse être considéré efficace, le dispositif doit être attractif et fonctionnel. À cet effet, le comportement hydraulique de la passe ainsi que son utilisation par le poisson seront évalués sur la base des critères suivants :

- Conditions hydrauliques à l'intérieur du dispositif : débit et type d'écoulement, vitesse du courant, charge sur les seuils, variations saisonnières.
- Conditions hydrauliques près de l'entrée : débit d'alimentation, géométrie du lit et conditions hydrauliques à proximité (écoulements provenant du barrage, zones de recirculation).
- Franchissement par les poissons : observation visuelle d'individus en montaison, système de comptage automatisé IchtyoSTM, capture-marquage-recapture.

Un suivi sera également réalisé sur la frayère FC02 retrouvée en aval du barrage afin d'évaluer les modifications sur l'utilisation de celle-ci. Un décompte de nids, d'alevins et de géniteurs permettra une comparaison avec l'état de référence réalisée préalablement à la construction de la passe migratoire. De plus, un suivi sera réalisé dans le lac à la Loutre afin de documenter le changement dans l'abondance et la structure de la population d'omble de fontaine. Ce suivi pourrait s'effectuer en impliquant des pêcheurs bénévoles locaux ou en réalisant des pêches normalisées.

Advenant le cas où le projet n'atteint pas les objectifs en matière de gain d'habitat, les correctifs nécessaires seront apportés.

8.3 ÉCHÉANCIER

Un échéancier préliminaire de projet est présenté au tableau 8-4. Il est prévu que les premiers travaux soient réalisés à l'été 2019. Ces travaux consisteront à consolider la structure actuelle du barrage. Compte tenu de l'urgence d'agir, cette étape ne peut pas être incluse dans le projet de compensation, même si elle permettra de maintenir un niveau d'eau temporaire dans le réservoir. Pour la compréhension globale du projet, il a été convenu que ces travaux seront réalisés à l'an 0. La deuxième phase des travaux pourrait débuter dès que le projet est accepté par le MPO. Nous estimons le délai pour que le projet traverse le processus réglementaire d'autorisation à environ 2 ans. La phase 2 pourrait donc débuter à l'an 2 suivant la réalisation des travaux temporaires. Les suivis débuteront à partir de l'an 3 et se poursuivront sur deux années subséquentes, tel que présenté dans le tableau 8-4.

Tableau 8-4. Échéancier préliminaire du projet de compensation au lac à la Loutre

Activité	An 0	An 1	An 2	An 3	An 4	An 5	An 6	An 7
Phase 1 : Sécurisation du barrage								
Phase 2 : Réfection du barrage								
Phase 2 : Aménagement de la passe migratoire								
Suivis								

9 PROJET N° 4 – REHAUSSEMENT DES NIVEAUX D'EAU AUX LACS DES PETITS ESCOUMINS ET ELLEN

9.1 DESCRIPTION DU PROJET

Les lacs des Petits Escoumins et Ellen sont situés dans la région de la Haute-Côte-Nord, plus précisément dans le territoire non organisé (TNO) du Lac-au-Brochet à respectivement 23 et 29 km au nord-ouest de la municipalité de Les Escoumins. Ces plans d'eau sont interconnectés dans un même réseau hydrographique qui inclut en tête le lac des Trois Roches, le lac Maigre, le lac Cormier suivi du lac Ellen et du lac Montgrain. Ce dernier se jette ensuite dans le lac du Chien, le lac Cent Dix Piastres et le lac des Petits Escoumins. La rivière des Escoumins et la rivière des Petits Escoumins se retrouvent complètement en aval de ce réseau.

Le lac des Petits Escoumins (anciennement appelé lac Bernier) est situé à l'intérieur des limites de la pourvoirie du Domaine du lac Bernier. Le lac Ellen est quant à lui situé dans les limites de la pourvoirie Club Claire. Ces deux pourvoiries à droit exclusif sont gérées par la communauté innue d'Essipit. Le projet est situé dans les limites du Nitassinan de la Première Nation des Innus Essipit tel que défini dans l'entente de principe d'ordre général.

Le lac des Petits Escoumins présente un niveau d'eau rehaussé d'environ 2 m en raison de la présence des deux anciens barrages construits vers 1948. Ces deux barrages sont des vestiges des infrastructures en lien avec les activités de drave de bois sur la rivière des Escoumins. La retenue d'eau des barrages influence le niveau du lac des Petits Escoumins, mais aussi ceux des lacs Cent Dix Piastres et du Chien situés en amont. Ces trois lacs deviennent ainsi rassemblés en un seul plan d'eau continu. Les barrages sont aujourd'hui la propriété de la Pourvoirie du Domaine du lac Bernier.

Le barrage à l'émissaire sud-ouest du lac (X0003130) est situé à même le site d'hébergement de la pourvoirie. Cette infrastructure comprend un pont qui permet d'accéder aux bâtiments de services situés de part et d'autre du barrage. Ce barrage est considéré de « forte contenance », avec une capacité de retenue estimée à 4 875 000 m³ (hauteur de retenue 2,6 m), et se déverse dans la rivière des Escoumins. Il est composé de contreforts de bois (caissons) et de béton (photo 9). La hauteur du barrage est de 3,3 m et la superficie du réservoir est évaluée à 243 ha.

Le second barrage à l'émissaire nord-est (X0003131) est accessible par un chemin forestier le reliant au site d'hébergement et de services de la pourvoirie aménagée en 2016 et 2017. Ce barrage est également considéré de « forte contenance », avec une capacité de retenue estimée de 3 562 500 m³ (hauteur de retenue 1,9 m), et se déverse dans la rivière des Petits Escoumins. Il est composé de caissons de palplanches en acier remplis de pierres (photo 10). La hauteur du barrage est de 2,5 m.



Photo 9. Barrage à l'émissaire sud-ouest (X0003130)



Photo 10. Barrage à l'émissaire nord-est (X0003131)

En juillet 1996, une forte crue a causé une importante brèche dans la digue du barrage de l'émissaire nord-est. Cet affaissement a entraîné une chute du niveau d'eau du lac d'environ 1,7 m par rapport à la LNHE avant la rupture. Suite à cet événement, les deux barrages ont fait l'objet de travaux de restauration mineurs afin de rétablir le niveau d'eau du lac. Ces barrages demeurent cependant dans des conditions critiques pour soutenir une crue importante. Une étude a démontré que la capacité actuelle d'évacuation des deux barrages est insuffisante pour répondre à une crue selon un niveau de récurrence de plus de 20 ans, et ce, en considérant une ouverture complète des pertuis (enlèvement des poutrelles) et un niveau d'eau à la hauteur maximale des digues latérales (WSP 2016b). Selon l'article 21 du Règlement sur la sécurité des barrages, la récurrence de la crue de sécurité des barrages est établie à 100 ans.

L'élimination ou la rupture des barrages causerait un rabaissement permanent du niveau d'eau du lac des Petits Escoumins et des plans d'eau associés. Ceci aurait des impacts significatifs sur les populations d'ombles de fontaine peuplant ce plan d'eau et les lacs en amont. Ces effets porteraient notamment sur la réduction de la surface de production alimentaire (profondeur de 0 à 6 m) et l'inaccessibilité à la majorité des abris et substrats propices à la fraie de cette espèce. Les opérations de la pourvoirie du Domaine du lac Bernier seraient aussi grandement compromises par la réduction du potentiel halieutique, la détérioration de l'encadrement visuel et la difficulté d'accès au plan d'eau par la zone exondée. De plus, la rivière des Escoumins supporte une population de saumon atlantique mise en valeur par la Corporation de gestion de la rivière à saumons des Escoumins dans le cadre d'activités de pêche récréative. La rupture du barrage sud-ouest pourrait causer des impacts jugés importants sur les habitats de saumons de cette dernière (érosion des berges, transport de sédiments, colmatage des frayères, modification des aires d'alevinage).

Actuellement, les barrages ne sont plus étanches, ce qui cause une diminution du niveau d'eau d'environ 0,6 m par rapport à la LNHE. Ceci a comme conséquence de provoquer l'exondation d'habitat riverain utilisé autrefois par le poisson. Les frayères en lac ainsi que celles situées à la sortie des cours d'eau risquent également d'être affectées par ce faible niveau de l'eau. Dans leur état actuel, les barrages du lac des Petits Escoumins nuisent à la libre circulation des poissons. Sur le plan récréotouristique, la navigation, l'esthétique du plan d'eau et la qualité de la pêche sont aussi inévitablement impactées. Le Conseil de la Nation des Innus Essipit souhaiterait réaliser la réfection de ces deux barrages afin de consolider les ouvrages et la retenue d'eau.

C'est dans ce contexte qu'une demande de certificat d'autorisation en vertu de l'article 22 de la Loi sur la qualité de l'environnement et une demande d'autorisation en vertu de l'article 128,7 de la Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune ont été déposées respectivement au MELCC et au MFFP en

mars 2018. Par contre, les gestionnaires n'ont actuellement pas le financement nécessaire pour réaliser ce projet. Cette situation laisse donc les barrages dans une situation précaire, un niveau d'eau abaissé d'environ 0,6 m et une quantité d'habitats riverains inaccessibles pour le poisson.

Par ailleurs, contrairement au lac des Petits Escoumins, le lac Ellen n'a présentement plus d'ouvrage hydraulique qui permet la régularisation de son niveau d'eau. Selon les cartes hydrographiques datant de 1958 du ministère des Ressources hydrauliques, un barrage était présent à l'émissaire du lac situé au nord-ouest. Depuis le retrait du barrage, le niveau d'eau du lac s'est considérablement abaissé et a créé des zones exondées en rive. On estime l'abaissement à environ 1 m. Ceci s'est traduit par des pertes d'habitats productifs notamment pour l'omble de fontaine, une situation similaire au lac des Petits Escoumins.

Le Conseil de la Nation des Innus Essipit souhaiterait également réaliser l'aménagement d'un barrage afin de rehausser le niveau d'eau du lac Ellen. Par contre, tout comme le projet au lac des Petits Escoumins, les gestionnaires n'ont actuellement pas le financement nécessaire pour réaliser ce projet. Cette situation laisse donc un niveau d'eau abaissé d'environ 1 m et plusieurs dizaines d'hectares d'habitats riverains inaccessibles pour le poisson.

Dans les prochaines sections, il sera question de présenter un projet permettant de rehausser le niveau de l'eau pour les lacs des Petits Escoumins et Ellen. Ainsi, une description plus spécifique du site sera réalisée, le concept d'aménagement au barrage sera présenté de même que les gains d'habitat du poisson anticipés.

9.1.1 DESCRIPTION DU SITE

LAC DES PETITS ESCOUMINS

Le lac des Petits Escoumins, incluant les lacs Cent Dix Piastres et du Chien, couvre une superficie de près de 250 ha soumis à l'effet de rehaussement des barrages. Le lac des Petits Escoumins présente des fosses pouvant atteindre plus de 24 m de profondeur alors que les lacs Cent Dix Piastres et du Chien atteignent des profondeurs maximales entre 12 et 14 m (carte 9-1). Les sections de chenal entre chacun des lacs sont peu profondes et la navigation y est actuellement difficile. La surface entre les isobathes de 0 à 2 m représente à elle seule environ 24 % de la superficie du plan d'eau. La surface productive du lac comprise entre les isobathes de 0 à 6 m représente 56 % de la surface totale du plan d'eau. Parmi l'ensemble des plans d'eau présents sur le site de la pourvoirie, le lac des Petits Escoumins représente le plus populaire pour la pêche sportive.

Les lacs soumis à l'influence des barrages du lac des Petits Escoumins offrent un potentiel théorique de récolte estimé à 5 700 ombles de fontaine d'un poids moyen de 95 grammes (tableau 9-1). En considérant un succès de pêche moyen de 6 captures par jour de pêche, ce potentiel permet d'offrir 1 157 jours de pêche. De 2009 à 2017 inclusivement, la pourvoirie du Domaine du lac Bernier a exploité ce potentiel à environ 73 % en effectuant en moyenne un effort de pêche de 658 jours de pêche par an.

Tableau 9-1. Données halieutiques sur les plans d'eau soumis à l'effet des barrages du lac des Petits Escoumins

Plan d'eau	Objectif de récolte (quota) pour la saison 2017				Récolte moyenne de 2009 à 2017 inclusivement				
	Nombre d'ombles de fontaine	Poids moyen (g)	Jours de pêche (jour-pers.)	Succès (capt./jour pêche)	Nombre d'ombles de fontaine	Poids moyen (g)	Jours de pêche (jour-pers.)	Succès (capt./jour pêche)	% exploitation
Lac du Chien	700	91	443	4	410	90	55	8	59
Lac des Petits Escoumins ¹	5 000	99	714	7	3746	102	603	6	75
Total	5 700	95	1 157	6	4 156	101	658	6	73

Note : Les données du lac des Petits Escoumins incluent celles du lac Cent Dix Piastres.

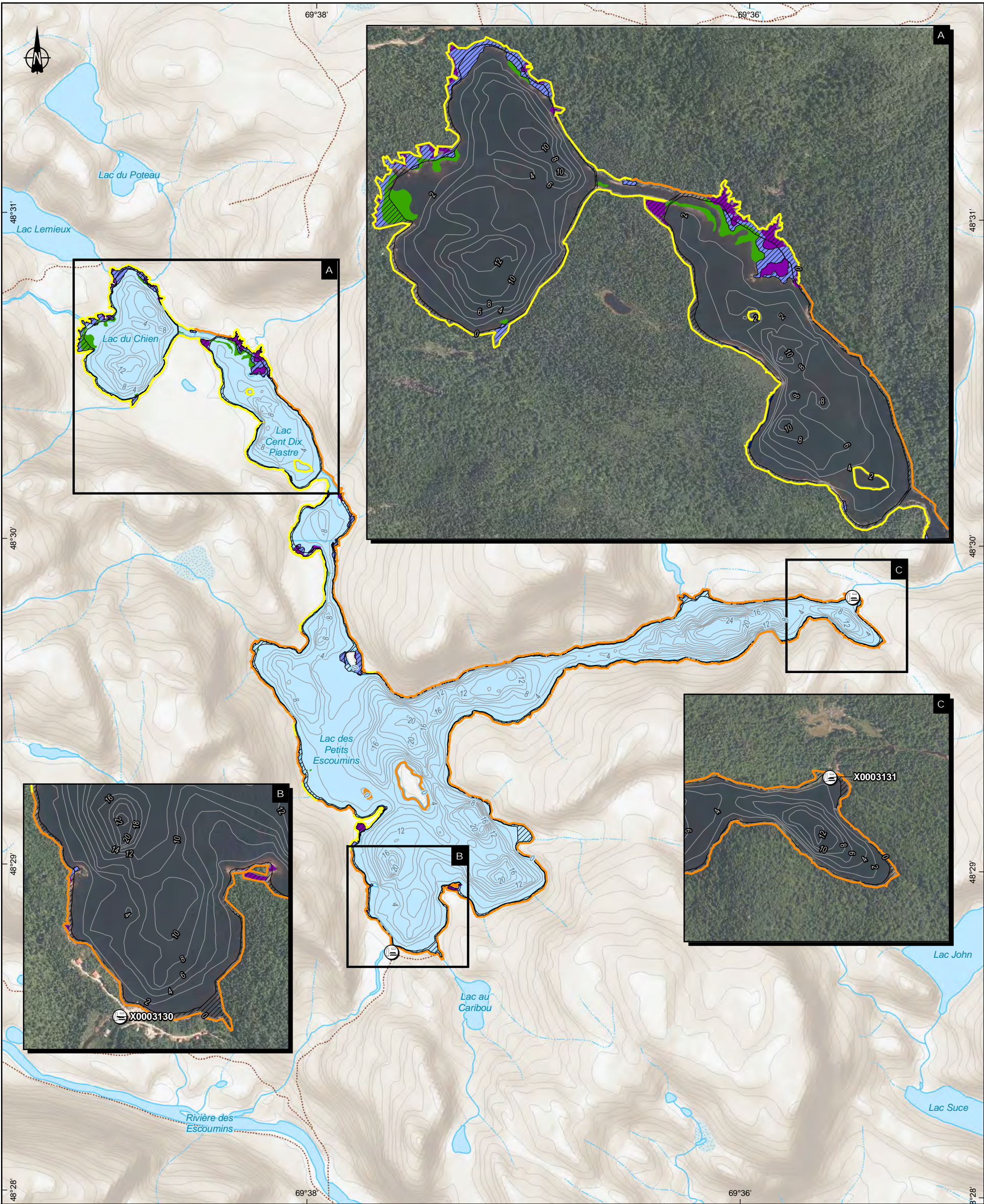
L'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*) est présente à l'intérieur du lac des Petits Escoumins. Celle-ci provient de la rivière des Petits Escoumins située au sud-est du lac du même nom. En raison de la précarité de cette espèce, la Pourvoirie du Domaine du lac Bernier interdit le prélèvement de l'anguille d'Amérique afin de contribuer à l'accroissement de la population. Bien qu'il y ait rarement des prises accidentelles, la pourvoirie applique une politique de remise à l'eau obligatoire auprès de sa clientèle de pêcheurs.

Dans le cadre du processus d'autorisation environnementale (WSP 2018d), une caractérisation stéréoscopique du substrat réalisée en 2018 avait permis de segmenter les rives en quatre types de substrat. Le substrat dominant observé dans le secteur d'étude est un till (substrat grossier), représentant 66 % de la zone d'étude (carte 9-1). Le till est un diamicton, qui se définit comme un mélange hétérogranulométrique pouvant contenir une proportion de blocs et de sable. L'épaisseur du till est relativement faible (inférieure à 2 m) dans la partie est du lac des Petits Escoumins, alors qu'il est plus épais (supérieure à 2 m) dans sa partie ouest et sud-ouest. Sous l'effet des vagues, le till est délavé au niveau des rives et est appauvri en matières fines. On y retrouve donc une plus forte concentration en pierres et en blocs. Le second substrat en importance est un sable d'origine fluvioglaciaire (substrat fin), représentant 32 % de la zone d'étude. L'épaisseur du sable est supérieure à 2 m et se concentre généralement autour des lacs du Chien et Cent Dix Piastres ainsi que dans la zone nord-ouest du lac des Petits Escoumins. Le dépôt catégorisé « rive tourbeuse » (substrat fin) ne représente que 2 % de la zone inventoriée.

À la suite de discussion avec le Conseil de la Nation des Innus Essipit, ce site a été retenu pour valider la pertinence d'effectuer un projet de compensation. Une visite sur le terrain a permis de prendre des relevés au lac des Petits Escoumins afin de déterminer la possibilité de rehausser le niveau d'eau à une cote supérieure à celle prévue par le projet de réfection actuellement en processus d'autorisation environnementale. Le projet actuel prévoit donc un rehaussement de 0,3 m par rapport à la situation actuelle, mais le niveau demeurera inférieur de 0,3 m à la LNHE pour des raisons techniques.

LAC ELLEN

Le lac Ellen occupe une superficie en eau de 14,5 ha. Une zone couvrant environ 30,5 ha d'habitat partiellement, voire totalement exondé, est présente au sud du plan d'eau (carte 9-2). Le tributaire principal, soit l'émissaire du lac Cormier, ainsi qu'un tributaire secondaire s'écoulent de manière plus ou moins définie dans cette zone avant de rejoindre le lac Ellen. En aval, l'émissaire du lac Ellen rejoint le lac Montgrain.



Caractérisation

Granulométrie des berges

- Substrat fin
- Substrat grossier

Relevé bathymétrique

- Isobathes (2 m)

Milieux humides

- Herbier aquatique
- Marais
- Marécage arbustif
- Tourbière ombrotrophe ouverte

Gain d'habitat pour le poisson (137 758,91 m²)

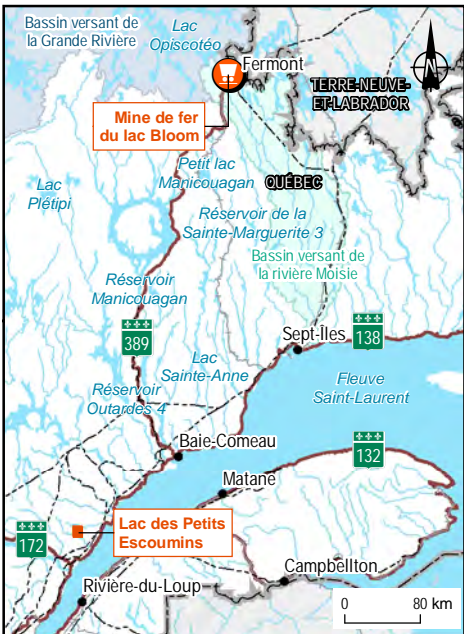
- Marais (15 687,67 m²)
- Zone 0-30 cm (122 071,24 m²)

Hydrographie

- Cours d'eau permanent
- Cours d'eau intermittent
- Plan d'eau

Infrastructure

- Barrage
- Chemin d'accès



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Programme de compensation pour l'habitat du poisson en vertu du REMMD

Carte 9-1
Localisation du projet et des relevés effectués sur les lacs des Petits Escoumins, Cent Dix Piastre et du Chien

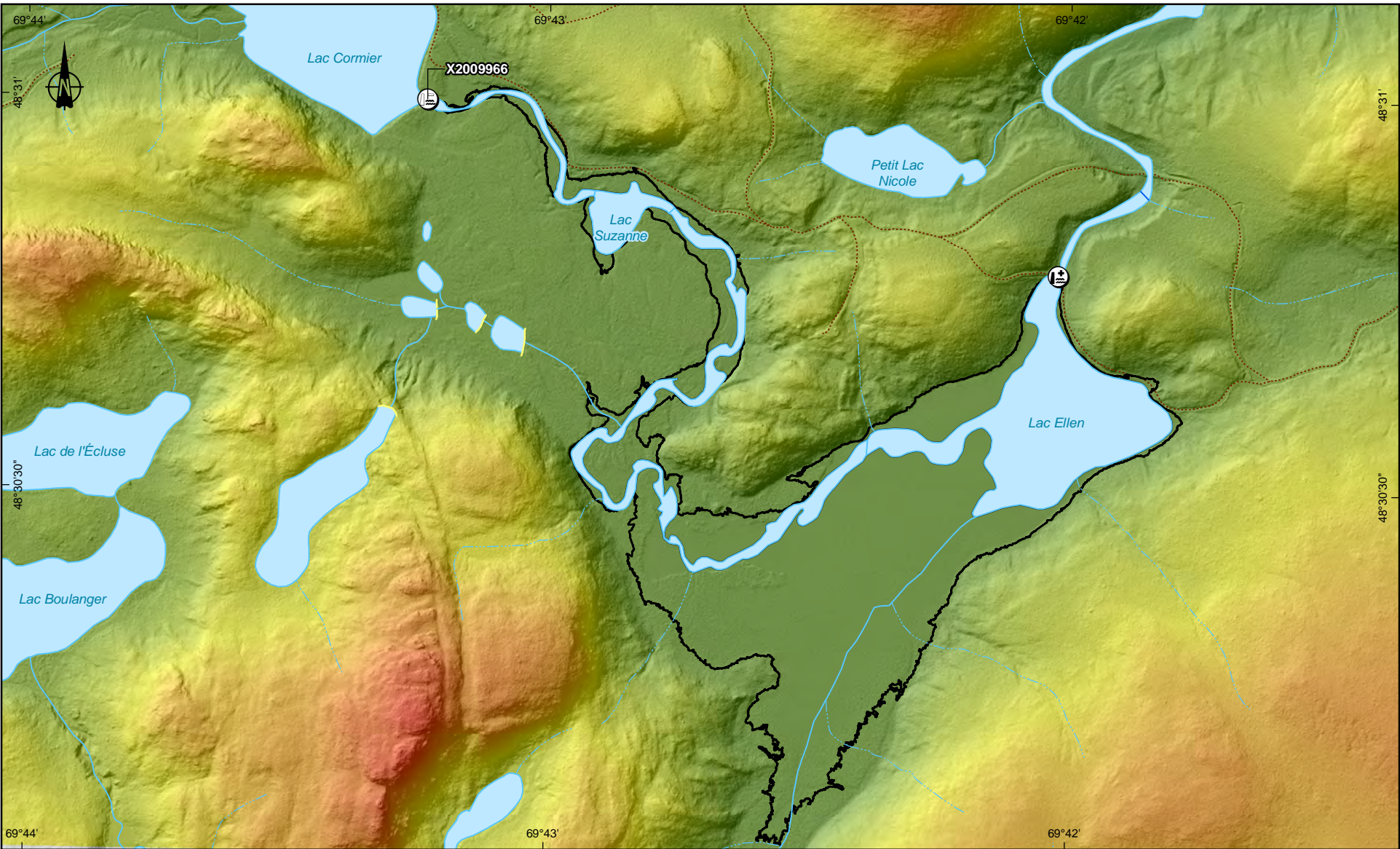
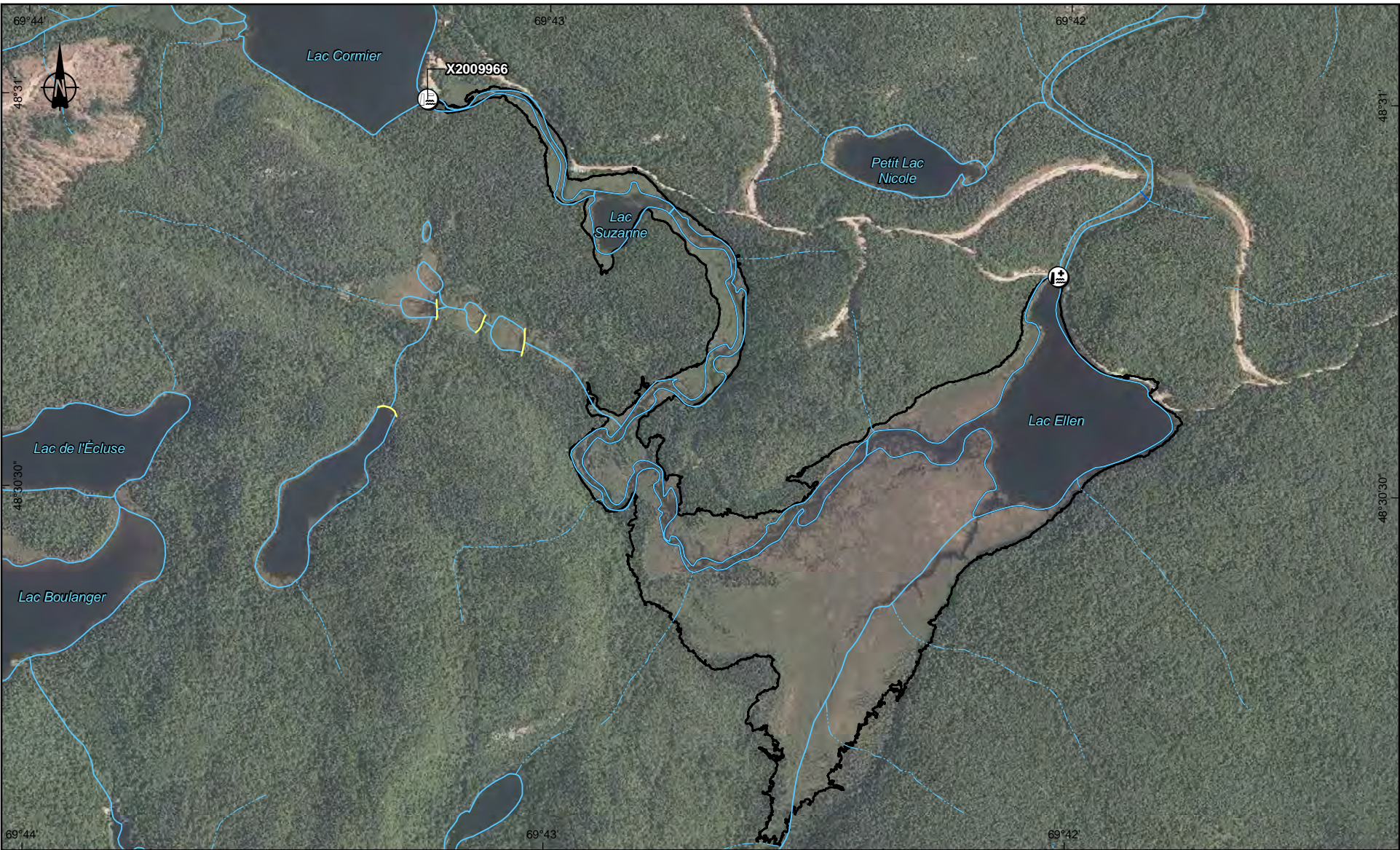
Sources :
BDTQ, 1/20 000, MRNF Québec, 2007
SDA, 1/20 000, MRNF Québec, avril 2015
CEHQ, 1/50 000, MDDEP, 2018
CanVec+, 1/50 000, RNCAN, 2014
BDGA, 1/1 000 000, MRN Québec, 2002
MERN, AQRéseau+, réseau routier, 2018

0 220 440 m
UTM, fuseau 19, NAD83


Mai 2019

Préparation : T. Larouche
Dessin : H. Gagnon
Vérification : J. Plourde
181-03709-01_pc_c9-1_133_rel_escoumins_wspl_190516.mxd













Caractérisation

 Gain d'habitat du poisson (508 775,43 m²)

Hydrographie

-  Barrage de castor
-  Cours d'eau permanent
-  Cours d'eau intermittent
-  Rapide
-  Plan d'eau

Infrastructure

-  Barrage
-  Barrage projeté
-  Chemin d'accès



Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Programme de compensation pour l'habitat du poisson en vertu du REMMD

Carte 9-2
Localisation du projet au lac Ellen

Sources :
BDTO, 1/20 000, MRNF Québec, 2007
SDA, 1/20 000, MRNF Québec, avril 2015
CEHQ, 1/50 000, MDDEP, 2018
CanVec+, 1/50 000, RNCAN, 2014
BDGA, 1/1 000 000, MRN Québec, 2002
MERN, AQRéseau+, réseau routier, 2018

0 130 260 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Mai 2019

Préparation : T. Larouche
Dessin : H. Gagnon
Vérification : J. Plourde
181-03709-01_pc_c9-2_134_rel_ellen_wspb_190516.mxd



Le lac Ellen contribue indirectement à la production par la dévalaison d'omble de fontaine vers le lac des Petits Escoumins. En 2015, 1 234 ombles de fontaine ont été récoltés au lac Ellen avec un succès de 7 ombles de fontaine par jour de pêche. La moyenne sur 10 ans (2006-2015) est de 1 661 ombles de fontaine récoltés, ce qui le place au second rang derrière le lac des Petits Escoumins au niveau de la récolte totale.

Le Conseil de la Nation des Innus Essipit a démontré un intérêt afin d'aménager un barrage à l'émissaire du lac Ellen. Ce dernier a été retenu pour y réaliser un projet de compensation, mais aucun inventaire n'y a été réalisé puisque la période n'était pas propice (hiver). En 2019, des relevés additionnels et une caractérisation du milieu naturel seront réalisés afin de documenter davantage le lac Ellen. Un plan de travail pour les inventaires à réaliser est présenté à l'annexe E.

9.1.2 OBJECTIFS

L'objectif des mesures compensatoires vise à rehausser le niveau d'eau dans le lac des Petits Escoumins et dans le lac Ellen pour récupérer l'habitat du poisson perdu par l'exondation des rives. Pour ce faire, la réfection des deux barrages sur le lac des Petits Escoumins sera réalisée. Un barrage sera également aménagé au lac Ellen. Pour chacun de ces ouvrages, un seuil déversant assurant la libre circulation du poisson sera aménagé. En somme, les éléments suivants devront être atteints :

- Permettre de résoudre une problématique locale ayant une grande importance pour la faune aquatique et, conséquemment, au soutien des activités récréotouristiques.
- Appliquer des mesures compensatoires qui permettront d'obtenir un délai de réponse rapide, notamment au niveau des objectifs de restauration de l'habitat, mais aussi par rapport aux gains en productivité.
- Minimiser l'incertitude quant aux résultats attendus en réalisant des améliorations qui permettront d'obtenir des gains directs d'habitat du poisson.
- Concevoir un concept d'aménagement qui permettra de maintenir le niveau de l'eau stable au lac des Petits Escoumins et près de la LNHE (cote arbitraire de 100,17 m).
- Concevoir un concept d'aménagement qui permettra de maintenir le niveau de l'eau stable au lac Ellen et près de la LNHE (rehaussement envisagé de 1,0 m).
- Récupérer l'habitat riverain actuellement exondé afin d'augmenter la quantité d'habitats disponibles pour l'omble de fontaine.
- Augmenter la connectivité entre les habitats dans le but de permettre une régulation autosuffisante de l'abondance entre les populations locales des lacs Ellen et des Petits Escoumins.

9.1.3 AMÉNAGEMENTS PROPOSÉS

LAC DES PETITS ESCOUMINS

Le projet vise *a priori* le maintien et le développement des habitats pour l'omble de fontaine dans les lacs du bassin versant du lac des Petits Escoumins. Le projet porte sur le remplacement de deux anciens barrages forestiers par un barrage en enrochement et un barrage en béton munis de déversoir à crête fixe assurant la stabilité du milieu aquatique, la libre circulation du poisson, tout en minimisant leurs impacts visuels et environnementaux. Les principaux avantages de ce concept de restauration sont les suivants :

- Élimination des opérations pour gérer les niveaux d'eau saisonniers.
- Aucun travail d'entretien périodique.
- Stabilisation des niveaux d'eau et des conditions d'habitat de l'omble de fontaine.

Le pont en mauvais état situé à l'emplacement actuel du barrage sud-ouest (X0003130) devra être reconstruit pour notamment augmenter la capacité d'évacuation du barrage et préserver l'accès au chalet situé sur la rive nord du barrage. Un déversoir ayant une configuration en « U » viendra s'appuyer sur les culées du pont. Le calibre des enrochements à cet endroit devra être suffisant pour résister aux vitesses d'écoulement et ainsi protéger le lit du cours d'eau au pied aval de ce déversoir. Considérant la hauteur du déversoir et les conditions hydrauliques pouvant prévaloir à cet endroit, des pierres possédant un diamètre entre 600 et 800 mm sont jugées adéquates.

Concernant le barrage situé à l'exutoire nord-est (X0003131), l'établissement de la largeur du déversoir sera effectué afin que les enrochements soient de taille suffisante pour assurer leur stabilité pour la crue de sécurité. L'établissement de la largeur des déversoirs sera également effectué afin que la crête des digues des barrages futurs soit similaire à la crête des barrages en place. La hauteur du barrage projeté sera de 3,5 m. Le déversoir sera composé d'un écran d'étanchéité constitué de planches de contreplaqué sur lesquelles sera fixée une géomembrane étanche. Un enrochement sera disposé en aval et les écoulements transiteront par-dessus. Afin d'assurer la stabilité de l'enrochement à mettre en place, une pente aval de 1V : 8H avec un enrochement 300-500 mm (D₅₀ de 400 mm) sur une épaisseur de 800 mm sera requise.

Puisque les deux barrages du lac des Petits Escoumins sont de « forte contenance », la restauration de ceux-ci est assujettie à la Loi sur la sécurité des barrages et son règlement d'application, le Règlement sur la sécurité des barrages (RSB). Dans ce contexte, les deux barrages doivent être en mesure d'évacuer de façon sécuritaire la crue de sécurité, laquelle est associée au niveau des conséquences en cas de rupture. Ce niveau est déterminé selon les caractéristiques du territoire qui serait affecté par la rupture, localisé, sauf exception, en aval du barrage. Considérant que les niveaux des conséquences des barrages du lac des Petits Escoumins sont estimés à « minimal », la récurrence de la crue de sécurité est établie à 1 : 100 ans, conformément à l'article 21 du RSB.

Les barrages situés aux exutoires du lac des Petits Escoumins (X0003130 et X0003131) auront pour principale vocation le maintien d'un plan d'eau à usage faunique et récréotouristique. À la suite de la restauration de ces barrages, les seuls ouvrages d'évacuation des barrages seront un déversoir en enrochement à crête fixe et aucune gestion des eaux ne pourra y être effectuée. Les barrages ne comporteront qu'un déversoir fixe en enrochement et ceux-ci posséderont une largeur totale 45,0 m (5,0 m pour le barrage X0003130 et 40 m pour le barrage X0003131). Par ailleurs, le niveau d'eau minimal du lac des Petits Escoumins souhaité par le propriétaire des barrages a été établi à 100,17 m (niveau arbitraire local qui représente un rehaussement de 0,3 m par rapport à la situation actuelle). Par conséquent, la crête des déversoirs est établie à ce niveau.

Le nouveau concept de barrage prévoit des déversoirs qui permettront la libre circulation du poisson de part et d'autre des deux barrages, et ce, même en condition d'étiage estival. De plus, pour éviter que des poissons soient piégés dans les interstices entre les pierres constituant le barrage nord-est, il est prévu de procéder à leur remplissage avec des matériaux granulaires compactés par arrosage.

LAC ELLEN

Le projet proposé au lac Ellen s'inspire d'un projet réalisé en 2009 dans la réserve faunique des Laurentides, soit le rehaussement du lac Beloeil (Groupe Conseil Nutshimit 2010). À l'époque, l'analyse de plusieurs sites de compensation avait amené le ministère des Transports du Québec (MTQ) et ses partenaires (MPO, ministère des Ressources naturelles et de la Faune [MRNF maintenant MFFP] et ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs [MDDEP maintenant MELCC]) à choisir le projet du rehaussement du lac Beloeil comme projet principal du programme de compensation de l'habitat du poisson dans le cadre du projet d'amélioration de la route 175 entre Québec et Saguenay. Avant la mise en place des ouvrages, la superficie du lac Beloeil était évaluée à 48 ha et celle du Petit lac Beloeil à 2,5 ha. Le projet de compensation a consisté à la création d'un seuil contrôle muni d'un déversoir (Martel et collab. 2008). Le rehaussement total de 1,5 m du niveau du lac Beloeil suite à la construction du barrage a entraîné une augmentation de la superficie de ce dernier de près de 20,7 ha. Le lac atteint aujourd'hui une superficie totale de 68,5 ha.

Le projet au lac Ellen vise un objectif similaire que celui réalisé au lac Beloeil en construisant un ouvrage de retenue qui permettra de rehausser le niveau d'eau estival actuel de 1,0 m. Sommairement, un barrage muni d'un pont sera aménagé à l'emplacement actuel du chemin. L'ouvrage sera muni d'un déversoir à crête fixe aménagé avec une faible pente favorisant la libre circulation du poisson en tout temps. Cette retenue d'eau permettrait de rehausser le niveau d'eau au lac Ellen jusqu'à son tributaire principal vers le lac Cormier. Les principes généraux d'aménagement sont similaires à ceux édictés précédemment pour le barrage nord-est (X0003131). Un concept plus détaillé sera élaboré suite aux inventaires à réaliser en 2019.

9.1.4 GAIN D'HABITAT

Tel que spécifié à la section 4.1 *Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau*, le gain en habitat du poisson considéré pour ce type de projet correspond à la zone exondée d'un plan d'eau jusqu'à la cote d'élévation qu'aura l'ouvrage de retenue.

Pour le lac des Petits Escoumins, la carte bathymétrique disponible permettait d'obtenir la LNHE en prenant l'élévation 0 m. En utilisant le rehaussement de 0,3 m prévu par le projet, l'analyse cartographique a permis de déterminer la superficie couverte par la zone 0-0,3 m. Cette superficie est évaluée à 12,2 ha. La photo-interprétation a également permis de faire ressortir certains autres types d'habitats riverains tels que les herbiers aquatiques, les marais, les marécages arbustifs et les tourbières ouvertes. Parmi ces habitats, seul le marais représente un nouvel habitat potentiel pour le poisson une fois qu'il sera inondé. En effet, le rehaussement de 30 cm permettra d'inonder de manière permanente les marais riverains et ces nouveaux habitats seront rendus disponibles pour l'alimentation et l'alevinage des jeunes poissons. D'une superficie évaluée à 1,6 ha, les marais riverains ont également été inclus dans le calcul des gains d'habitat pour le poisson. Le gain direct d'habitat du poisson est donc évalué à 13,8 ha pour le lac des Petits Escoumins, le lac du Chien et le lac Cent Dix Piastre.

Pour le lac Ellen, aucune carte bathymétrique n'est disponible. Par contre, un modèle d'élévation numérique issu du LIDAR est disponible. Ce modèle numérique a été utilisé afin d'obtenir l'élévation actuelle du plan d'eau. Cette élévation a ensuite été utilisée afin de simuler un rehaussement de 100 cm par rapport au niveau d'eau actuel et ainsi déterminer la nouvelle zone inondée. Le gain direct d'habitat du poisson pour le lac Ellen est évalué à 50,9 ha.

9.2 PROGRAMME DE SUIVI

Un programme de suivi sera réalisé afin de s'assurer de l'intégrité des structures aménagées et pour vérifier leur efficacité pour la faune aquatique. Ces suivis seront réalisés aux années 1, 3 et 5 suivant l'année de réalisation des travaux.

Le suivi de l'intégrité structural permettra de valider que les aménagements respectent les plans tels que construits. En collaboration avec l'équipe d'ingénierie, le barrage et le déversoir seront évalués selon différents critères :

- Conformité des matériaux granulaires (quantité, calibre, compactage, etc.).
- Hauteur, largeur et épaisseur des différentes composantes du barrage.
- Capacité d'évacuation, débit, régime hydrique.
- Hauteur de chute, profondeur et dimension des bassins, profondeur de la fosse d'appel.
- Stabilité physique.

Pour le volet concernant le rehaussement du niveau de l'eau, l'efficacité sera déterminée sur la base du niveau d'eau estival. Des relevés bathymétriques seront réalisés sur les lacs des Petits Escoumins, du Chien, Cent Dix Piastres et Ellen afin de s'assurer de l'atteinte des objectifs en termes de superficie d'habitat. La stabilité des rives (érosion) sera également évaluée à l'occasion de ce suivi.

L'utilisation des zones ennoyées par le rehaussement du plan d'eau sera évaluée à l'aide de pêches expérimentales non létales (seine de rivage, filet-trappe Alaska). Les statistiques de pêche comptabilisées par les pourvoiries d'Essipit seront également utilisées afin de dresser un portrait de la récolte.

Advenant le cas où le projet n'atteint pas les objectifs en matière de gain d'habitat, les correctifs nécessaires seront apportés.

9.3 ÉCHÉANCIER

Un échéancier préliminaire de projet est présenté au tableau 9-2. La construction des trois barrages pourrait débuter dès que les mesures compensatoires de la présente proposition sont acceptées par le MPO. Les suivis débuteront à partir de l'an 1 et se poursuivront sur différentes années tel que présenté dans le tableau 9-2.

Tableau 9-2. Échéancier préliminaire du projet de compensation aux lacs des Petits Escoumins et Ellen

Activité	An 0	An 1	An 2	An 3	An 4	An 5
Réfection des barrages au lacs des Petits Escoumins						
Aménagement du barrage au lac Ellen						
Suivis						

10 PROJET N° 5 – AMÉLIORATION DE LA MONTAISON DU SAUMON ATLANTIQUE SUR LA RIVIÈRE NABISIPI

10.1 DESCRIPTION DU PROJET

Ce projet concerne un aménagement visant la libre circulation pour le saumon atlantique à la chute du PK 39,2 de la rivière Nabisipi qui est située dans la région de la Côte-Nord à 35 km à l'ouest de la municipalité de Natashquan (carte 10-1). Le projet a été déposé en 2012 par le Conseil de la Première Nation des Innus de Nutashkuan dans le cadre du programme de mise en valeur des habitats de la Côte-Nord administré par la Fédération québécoise pour le saumon atlantique (FQSA). Ce programme vise, via une aide financière, à appuyer les communautés locales et les organismes gestionnaires de rivières à saumon à réaliser des activités pour mettre en valeur la ressource saumon.

La chute au PK 39,2 constitue un obstacle majeur à la migration des saumons qui cherchent à atteindre les habitats en amont, qualifiés d'excellents en termes de capacité de production. La chute, n'étant pas totalement infranchissable, peut être franchie par le saumon seulement sous certaines conditions hydrologiques, notamment en période d'étiage. Ceci a pour effet de limiter la quantité de géniteurs accédant à cette portion importante de rivière et de réduire la qualité des reproducteurs en provoquant des retards de migration, des blessures ou de la mortalité.

C'est donc dans ce contexte que le Conseil de la Première Nation des Innus de Nutashkuan a présenté une demande de financement à la FQSA pour réaliser une passe migratoire afin de permettre au saumon de franchir plus facilement la chute. Afin de compléter l'évaluation du projet, le comité directeur du programme a demandé d'obtenir des éléments d'informations additionnels. Regroupées à l'intérieur des rapports de GENIVAR (2012) et de WSP (2014), celles-ci permettent notamment d'évaluer le potentiel de production salmonicole de la rivière, de documenter le caractère franchissable de la chute et d'élaborer un concept d'aménagement. Les résultats de ces travaux seront présentés dans les prochains paragraphes.

En 2018, la FQSA a octroyé un nouveau mandat à WSP afin d'analyser divers scénarios en regard du coût et de l'efficacité des concepts proposés pour l'aménagement de la passe migratoire. Le mandat inclut également l'élaboration de nouveaux plans et devis pour le concept retenu.

10.1.1 DESCRIPTION DU SITE

Le bassin versant de la rivière Nabisipi couvre 1 521 km², une superficie qui est calculée à partir de la confluence avec la rivière Michaud située à 3 km en aval de la chute du PK 39,2 (carte 10-1). La rivière Nabisipi constitue une rivière à saumon dont les droits exclusifs d'exploitation gérés par la Pourvoirie Domaine de Raymond couvrent les deux premiers kilomètres. Le reste de la rivière est situé en territoire libre.

Sur le cours de la rivière Nabisipi, trois obstacles principaux pour la libre circulation du saumon sont présents, soit les chutes de la mer au PK 2,5, les rapides du grand portage entre les PK 6,1 et 12,6 ainsi que la chute du PK 39,2 (aussi appelé la Grande chute ou la troisième chute). Selon le constat du MLCP, il serait surprenant que les chutes de la mer puissent limiter la montaison (MLCP 1990). En réalité, il ne s'agit pas d'une seule chute, mais plutôt de trois chutes distinctes. La présence de l'ancien canal principal de la passe migratoire

construite au début des années 1960 est de nature à faciliter le passage des saumons. Celle-ci est actuellement considérée franchissable. D'autre part, les rapides du grand portage se composent d'une longue succession de cascades et de rapides de forte vélocité. Selon le MLCP, il est probable que les saumons en montaison aient à attendre un niveau d'eau favorable avant de parvenir à franchir ce secteur et ainsi poursuivre leur migration (MLCP 1990). Ce tronçon présente des sections considérées franchissables et franchissables avec réserve.

Concernant la Grande chute au PK 39,2, elle représente un obstacle majeur à la montaison des géniteurs (photo 11). Dans la fiche signalétique de la rivière Nabisipi (Gilles Shooner 1984), les auteurs classent la chute du PK 39,2 (segment homogène n° 32) comme infranchissable avec réserve et précisent clairement que la rétention créée par cette chute limite le potentiel de production de cette rivière. Dans son rapport d'échantillonnage, un biologiste du Ministère (MLCP 1987), conclut que le saumon atlantique éprouve particulièrement des difficultés pour franchir la troisième chute (PK 39,2) sur la rivière Nabisipi. Un second rapport de visite d'un technicien du Ministère (MLCP 1990) soumet l'hypothèse que la sélectivité de cette chute en fonction de certaines conditions hydrauliques peut représenter un facteur limitant la productivité de cette rivière et même compromettre certaines années. Plusieurs intervenants constatent aussi que durant la période de la fin août et septembre, de nombreux saumons s'amoncellent au pied de cet obstacle et tentent désespérément de le franchir. À ce propos, mentionnons que le 4 août 1960, un employé de la station Nabisipi a observé au moins une soixantaine de saumons qui ont tenté sans succès de franchir la chute. Plus récemment, lors de travaux de terrain sur cette chute, l'équipe Environnement de WSP a observé au moins une dizaine de tentatives de montaison de cette chute par des géniteurs. Chacune de ces tentatives a échoué. Par ailleurs, des observations de saumons ont été réalisées tard à l'automne. Des œufs s'écoulant de la paroi abdominale de certains géniteurs ont également été observés lorsqu'ils se faisaient projeter sur le roc suite à leur échec de montaison.



Photo 11. Chute du PK 39,2 sur la rivière Nabisipi

Le débit médian pendant la période de montaison se situe autour de 30 m³/s alors que le débit d'étiage peut atteindre 8 m³/s durant cette période (WSP 2014). Ce débit peut rendre encore plus difficile la migration des géniteurs en amont de cette chute. Il est probable que la majorité des saumons qui franchissent cette chute le font lorsque le débit est plus bas en période d'étiage. Les observations réalisées par l'équipe Environnement de WSP et les informations qui précèdent permettent de confirmer que la chute du PK 39,2 de la rivière Nabisipi est infranchissable avec réserve.



WS |

La chute du PK 39,2 présente une hauteur totale de 8,5 m et comprend trois sections (amont, intermédiaire et aval). La section amont présente un courant laminaire d'environ 25 m de largeur sur une profondeur estimée visuellement entre 1,0 et 1,5 m (photo 12). En aval de ce ciré, un petit rapide d'environ 0,6 m de hauteur mène à la tête d'une cascade de 1,9 m de hauteur. À l'extrême droite, une faible partie des eaux s'écoule dans un chenal naturel dans le roc. Si des débits plus élevés y transitaient, la section amont du chenal secondaire pourrait être franchissable par le saumon. Au centre droit, deux bassins de faible profondeur sont séparés par une chute d'environ 1,5 m. Du côté gauche, un seul bassin est présent. Il est environ 1 m plus élevé que le bassin le plus en aval du côté droit (photo 13). Dans la section aval, les eaux s'écoulent dans deux veines relativement diffuses des côtés gauche et droit avec un fort gradient sur le roc. La pente est d'environ 100 %. La hauteur de chute est de 5 m du côté droit, alors qu'elle est d'environ 6 m du côté gauche (photo 14). Lors d'une visite réalisée les 30 et 31 août 2012, les eaux étaient très aérées et n'offraient que très peu de support aux saumons qui ont tenté de franchir la chute.



Photo 12. Section amont de la chute du PK 39,2



Photo 13. Section intermédiaire de la chute du PK 39,2



Photo 14. Section aval de la chute du PK 39,2

Seulement 26,5 % du potentiel de production, pour les secteurs accessibles de la rivière Nabisipi, provient des habitats en aval de la chute du PK 39,2 (GENIVAR 2012). Ce potentiel de production annuel de géniteurs est estimé à 639 saumons avec un potentiel de récolte de 400 saumons. L'ensemble du tronçon de rivière situé entre les rapides du grand portage et la chute du PK 39,2 présente peu de sites propices à la fraie et à l'élevage de tacons. Le faciès de type chenal ainsi que la granulométrie dominée par le sable sont uniformes sur ce tronçon. En considérant que la chute est franchissable par quelques individus, l'estimation réalisée par

GENIVAR (2012) démontre que la zone accessible au saumon sur la rivière Nabisipi et ses tributaires représente un potentiel théorique de l'ordre de 2 300 saumons adultes. Ce potentiel est réparti à 73,5 % dans la portion du bassin versant en amont de la chute du PK 39,2. Le potentiel de production en amont de cette chute correspond à une récolte potentielle de 1 040 saumons par an.

Il est très probable que la population de saumon de la rivière Nabisipi soit largement suffisante pour coloniser l'ensemble des habitats disponibles en aval de la chute du PK 39,2. Les habitats sur cette portion de la rivière sont généralement de moins bonne qualité que ceux en amont de la chute du PK 39,2. Ceci peut expliquer en partie pourquoi plusieurs intervenants ont observé des saumons qui tentaient désespérément de la gravir pour aller se reproduire en amont.

Plus de 70 % du potentiel de production salmonicole du cours d'eau est localisé en amont de la chute du PK 39,2, celle-ci bloquant théoriquement l'accès à 75 km supplémentaires d'habitats de qualité. L'aménagement de la chute permettrait donc au saumon d'obtenir un gain d'habitat de 90 % par rapport à la surface totale de la rivière Nabisipi (Gilles Schooner 1984).

10.1.2 OBJECTIFS

L'objectif des mesures compensatoires vise à assurer sous toute condition le franchissement de l'obstacle par le saumon atlantique à la chute du PK 39,2 et ainsi lui permettre d'accéder à un habitat de grande qualité. Pour ce faire, un aménagement sera réalisé en rive droite de la chute. Les objectifs spécifiques pour ce projet proposé sont les suivants :

- Permettre de résoudre une problématique locale ayant une grande importance pour la faune aquatique et, conséquemment, au soutien des activités récréotouristiques dans la région de la Côte-Nord.
- Favoriser l'augmentation de la productivité et ainsi favoriser le rétablissement d'une espèce à statut précaire, soit le saumon atlantique en facilitant l'accès et l'utilisation d'habitats de bonne qualité aux géniteurs.
- Augmenter la connectivité entre les habitats dans le but de permettre aux géniteurs d'accéder à des aires de reproduction naturelle et de grande qualité.
- Augmenter la qualité des reproducteurs en limitant les retards de migration et les blessures associés aux tentatives de franchissement de l'obstacle et réduire le risque de braconnage dans la rivière Nabisipi.
- Favoriser la participation des membres de la communauté innue de Nutashkuan.

10.1.3 AMÉNAGEMENTS PROPOSÉS

Afin de faciliter la montaison du saumon au-delà de la chute du PK 39,2 de la rivière Nabisipi, la rive droite est rapidement apparue comme étant la plus propice à l'aménagement d'une passe migratoire. De plus, la majorité des observations de saumon ont été réalisées de ce côté de la chute. Plusieurs tentatives ont été observées au pied de la chute, mais aucun franchissement n'a été constaté.

Un chenal d'environ 2 m de largeur est présent sur la rive droite de la chute et est exondé en conditions d'étiage (photo 15). Ce chenal a été identifié comme étant l'axe dans lequel la passe migratoire devrait être aménagée. Il présente une chute d'environ 1 m dans sa section amont, une chute de 2,5 m aux deux tiers vers l'amont (photo 16) ainsi qu'une chute de 2 m dans sa section aval. La section médiane présente une faible pente qui permettrait la montaison du saumon s'il y accédait. En amont du chenal, il y a deux légères dénivellations de 23 cm et 30 cm avant de rejoindre un chenal d'écoulement relativement plat.



Photo 15. Chenal secondaire en rive droite de la chute du PK 39,2 (vue vers l'aval)



Photo 16. Chenal secondaire en rive droite de la chute du PK 39,2 (vue vers l'amont)

Depuis 2012, plusieurs variantes d'aménagement ont été proposées en rive droite afin d'améliorer la montaison du saumon en amont de cet obstacle. L'ensemble des variantes suivantes ont été envisagées uniquement sur la rive droite de la chute :

- Variante A : aménagement d'une passe migratoire composée de 16 bassins jusqu'au haut de la chute.
- Variante B : aménagement d'une passe migratoire composée de sept bassins jusqu'au haut de la chute.
- Variante C : aménagement d'une passe migratoire combinant des bassins et une passe à ralentisseurs jusqu'au haut de la chute.
- Variante D : aménagement d'une passe migratoire avec six bassins dans le chenal secondaire actuel jusqu'au 3/4 de la chute.
- Variante E1 : aménagement d'une passe migratoire désaxée du chenal secondaire actuel avec six bassins jusqu'au 3/4 de la chute.
- Variante E2 : aménagement d'une passe migratoire désaxée du chenal secondaire actuel avec six bassins et deux bassins additionnels jusqu'au haut de la chute.

Les variantes A et E2 sont les concepts présentant la meilleure facilité de franchissement pour le saumon. Ces variantes présentent cependant d'importantes contraintes opérationnelles (aménagement de batardeau, aire d'entrepreneur, entreposage des déblais d'excavation) qui augmentent le coût de réalisation et l'empreinte environnementale de l'aménagement. Parmi les autres variantes, la variante E1 est celle qui peut offrir la meilleure performance pour la montaison du saumon en réduisant les contraintes opérationnelles, le coût et l'empreinte environnementale des travaux. Ces trois variantes seront brièvement décrites puisqu'elles représentent actuellement les options les plus probantes en vue de la réalisation d'un aménagement à la chute du PK 39,2.

VARIANTE A : AMÉNAGEMENT D'UNE PASSE MIGRATOIRE COMPOSÉE DE 16 BASSINS JUSQU'AU HAUT DE LA CHUTE

Cette variante consiste en l'aménagement d'un canal de 1,8 m de largeur et d'environ 65 m de longueur excavé dans l'axe du chenal naturel qui se trouve dans le massif rocheux sur la rive droite de la chute. Des murets de béton seront aménagés afin de créer un total de 16 bassins de 3,5 m de longueur, 2 m de profondeur et 1,8 m de largeur. Dans la section aval, la passe fera un demi-tour afin que son entrée soit située le plus près possible de la chute pour sa protection lors des crues.

L'eau s'écoulera dans la passe par des échancrures de 60 cm de largeur et de 70 cm de hauteur. Le débit dans la passe sera d'environ 0,6 m³/s, ce qui représente 2 % du débit moyen pendant la période de montaison. Un mur de béton d'environ 1 m de hauteur sera prévu à la gauche de la passe afin de dévier une partie des débris lors les périodes de crue.

Le principal avantage de cette variante est d'avoir un contrôle du débit dans la passe en raison de la présence de murets latéraux en béton. Ce concept offre les meilleures chances de succès. Les inconvénients sont liés à des problématiques au niveau de la construction, soit des infrastructures et des excavations massives, des volumes de béton importants, la nécessité de construire un batardeau à l'aval et à l'amont ainsi qu'un accès restreint à la zone des travaux.

VARIANTE E1 : AMÉNAGEMENT D'UNE PASSE MIGRATOIRE DÉSAXÉE DU CHENAL SECONDAIRE ACTUEL AVEC SIX BASSINS JUSQU'AU 3/4 DE LA CHUTE

Cette variante consiste à aménager une passe migratoire afin de traverser la section aval de la chute et ainsi atteindre le sommet du premier palier crée par le roc. Cette section constitue la portion la plus difficilement franchissable pour le saumon. Contrairement à la variante précédente, l'excavation sera réalisée directement dans le roc en rive droite et non dans le chenal secondaire naturel. Environ six bassins seraient nécessaires afin de franchir le premier dénivelé. La section restante en amont ne serait pas aménagée puisqu'il est présumé que le saumon est en mesure de franchir cette portion en raison de la présence d'une veine d'eau entre les chutes. La hauteur de la chute résiduelle à cet endroit est de 1,81 m.

Les avantages de cette variante sont d'avoir un meilleur contrôle des débits entrant dans la passe et de faciliter les travaux de construction. Les volumes de béton et d'excavation sont moindres et la construction est facilitée en raison du tracé entièrement encastré dans le roc. Les inconvénients sont liés à l'incertitude au niveau de la montaison du saumon dans la deuxième section. L'ouvrage demeure aussi dépendant du débit entrant dans le chenal secondaire, ce qui peut nuire au bon fonctionnement des bassins sous certaines conditions hydrauliques.

VARIANTE E2 : AMÉNAGEMENT D'UNE PASSE MIGRATOIRE DÉSAXÉE DU CHENAL SECONDAIRE ACTUEL AVEC SIX BASSINS ET DEUX BASSINS ADDITIONNELS JUSQU'AU HAUT DE LA CHUTE

Cette variante est similaire à la variante précédemment décrite à l'exception que deux bassins sont ajoutés à la section amont afin de diminuer la hauteur de chute résiduelle à franchir à 0,3 m au lieu de 1,81 m.

Le principal avantage de cette variante est d'avoir un ouvrage complètement franchissable par le saumon. Par contre, les contraintes de construction viennent doubler les coûts de construction et l'empreinte environnementale comparativement à la variante E1.

ACCESSIBILITÉ

L'ensemble des travaux sera réalisé durant les périodes estivale et automnale. Aucune route forestière ne s'approche de la chute du PK 39,2, ce qui implique le transport des employés, de la machinerie et des matériaux exclusivement par hélicoptère.

10.1.4 GAIN D'HABITAT

Tel que mentionné précédemment, le potentiel de production en amont de cette chute correspond à une récolte potentielle de 1 040 saumons par an (potentiel salmonicole de 1 664 saumons). Plus de 70 % du potentiel de production salmonicole du cours d'eau est localisé en amont de la chute du PK 39,2, celle-ci bloquant théoriquement l'accès à 75 km supplémentaires d'habitats de qualité. L'aménagement de la chute permettrait donc au saumon d'obtenir un gain d'habitat de 90 % par rapport à la surface totale de la rivière Nabisipi (Gilles

Schooner 1984). En utilisant la méthode de Caron et collab. (1999), on obtient un total de 1 323 222 unités de production rendues accessible réparties sur près de 550 ha d'habitat du poisson.

10.2 PROGRAMME DE SUIVI

Un programme de suivi s'inspirant des plus récents projets similaires (ex. aménagement de la chute MacDonald sur la rivière Nipississ) sera réalisé afin de s'assurer de l'atteinte des objectifs compensatoires. Advenant le cas où le projet n'atteint pas les objectifs en matière de gain d'habitat, les correctifs nécessaires seront apportés. Les suivis consisteront d'abord à vérifier des conditions physiques de libre passage du poisson sous diverses conditions représentatives de la période de montaison du saumon atlantique. La seconde partie du suivi consistera à vérifier l'efficacité biologique de la passe migratoire à améliorer la capacité du saumon atlantique à franchir la chute. Ces suivis seront réalisés aux années 1, 3 et 5 suivant l'année de réalisation des travaux.

L'évaluation des conditions physiques de libre passage du saumon s'effectuera par une prise de données régulières pendant la saison de montaison du saumon. Une visite d'inspection de la passe sera réalisée au début de la saison, dès que les niveaux d'eau permettront une bonne évaluation de la passe migratoire. Cette visite pourra s'effectuer simultanément avec la mobilisation pour l'installation des systèmes de suivi biologique. Lors de cette visite, une validation de la stabilité générale des ouvrages et des conditions de libre passage et de montaison du saumon sera effectuée.

Afin d'évaluer l'efficacité biologique de la passe migratoire à améliorer la capacité du saumon atlantique à franchir la chute, un marquage d'individus sera nécessaire. La méthode qui nous semble la plus appropriée et fiable est celle qui porte sur la capture de saumons adultes à l'aval de la chute, dont une portion serait implantée de transpondeurs passifs intégrés (PIT tag) détectés par un système installé sur la passe migratoire. Cette méthode implique le choix d'une technique de capture des saumons et d'un système de détection des PIT tag sur la passe.

10.3 ÉCHÉANCIER

Un échéancier préliminaire de projet est présenté au tableau 10-1. La construction de la passe migratoire représente l'an 0. Les suivis débiteront à partir de l'an 1 et se poursuivront sur différentes années tel que présenté dans le tableau 10-1.

Tableau 10-1. Échéancier préliminaire du projet de compensation au PK 39,2 de la rivière Nabisipi

Activité	An 0	An 1	An 2	An 3	An 4	An 5
Aménagement de la passe migratoire						
Suivis						

11 SOMMAIRE DES PERTES ET GAINS D'HABITAT

Le programme de compensation proposé afin de contrebalancer les pertes d'habitat du poisson en vertu du REMMMD prévoit des aménagements variés afin de faire bénéficier plusieurs espèces de poissons valorisés à l'échelle locale et régionale. Les projets visent principalement l'omble de fontaine, une espèce de poisson prisée par les pêcheurs sportifs et exploitée par les communautés autochtones. De plus, les projets proposés dans le secteur de Fermont visent également une amélioration d'habitats pour d'autres espèces d'intérêt tels que le touladi, le grand corégone et le grand brochet; ces deux derniers étant présents dans certains lacs touchés par le projet d'expansion de la mine de fer du lac Bloom. Les aménagements proposés favoriseront aussi certaines espèces de poissons-fourrages, comme le ménomini rond, les meuniers et le naseux des rapides qui sont des proies importantes pour les poissons exploités. À ces projets, il faut ajouter le projet de la rivière Nabisipi qui vise à favoriser la montaison du saumon atlantique, une espèce à statut précaire de renommée mondiale.

Afin d'évaluer le gain d'habitat projeté par le programme de compensation, il est nécessaire de considérer l'ensemble des projets globalement. Tel que mentionné précédemment, un total de 5 projets visant 17 sites distincts est proposé en guise de compensation. La plupart des projets proposés visent la participation citoyenne ainsi que l'implication des communautés autochtones locales. L'intégration de l'aspect social constitue une composante importante et priorisée dans le choix des projets retenus. Une particularité intéressante et innovante du programme de compensation vient de l'implication de la Nation innue de Matimekush-Lac John qui participe activement à toutes les étapes du projet. D'ailleurs, les pistes soulevées dans le secteur de Schefferville constituent des priorités de restauration pour la communauté en vue d'augmenter la disponibilité et la connectivité des habitats pour l'omble de fontaine, le grand corégone et l'omble chevalier.

La communauté innue de Uashat mak Mani-Utenam a également été consultée durant le processus d'élaboration du plan compensatoire afin que MFQ soit informée des projets potentiels qu'elle souhaiterait voir se réaliser et aussi tenir compte de ses commentaires dans l'élaboration des pistes et projets de compensation décrits dans le présent rapport.

Les fonctions écologiques des aménagements ont été considérées pour évaluer les bénéfices apportés aux écosystèmes. Plusieurs interventions visent à augmenter la connectivité entre les habitats, un mécanisme responsable de la régulation de l'abondance entre les populations et au maintien de leur diversité génétique. Le plan de compensation propose également plusieurs actions qui ont pour but d'augmenter la qualité des habitats pouvant se répercuter tant au niveau des populations de poissons que de leurs ressources essentielles (herbier, proie). La promotion de la biodiversité est aussi un aspect structurant pour plusieurs projets. Autant que possible, les aménagements ont été conçus pour favoriser leur utilisation par plusieurs espèces de poissons, mais aussi par la faune aviaire et les amphibiens par exemple. La grande diversité des projets contribue également à soutenir la biodiversité. Au-delà des gains en superficie, le plan de compensation a pour objectif principal de veiller au bon fonctionnement des écosystèmes sélectionnés.

La réalisation de l'ensemble de ces projets permettra d'atteindre les objectifs visés au niveau de la compensation de l'habitat du poisson. En effet, la diversité des actions prévues favorisera la répartition des gains d'habitat à travers la région de la Côte-Nord ainsi que l'implication de différents intervenants locaux œuvrant dans le domaine faunique. Le tableau 11-1 synthétise chacun des projets proposés.

Tableau 11-1. Synthèse des gains pour chacun des projets proposés

Projet proposé	Description du gain d'habitat	Évaluation de la superficie
Aménagements multispécifiques dans le réseau hydrographique compris entre les lacs Daviault et Carheil	Susceptibles d'améliorer les habitats de l'ensemble des plans d'eau aménagés. Cela représente une distance linéaire de plus de 25 km et une superficie d'environ 2 500 ha qui seront couverts par les aménagements.	Superficie d'influence évaluée à 28,9 ha en cours d'eau et 13,8 ha en lac pour un total de 42,7 ha
Réfection de ponceaux infranchissables dans la région de Schefferville	Nouvelle connectivité entre les habitats, nouvelle portion de cours d'eau ou de plans d'eau rendue accessible et aménagements d'habitats essentiels.	Non évalué actuellement, mais objectif visé entre 5 et 10 ha
Rehaussement du lac à la Loutre et installation d'une passe migratoire	Gain direct par l'inondation des zones riveraines actuellement exondées (zone 0-1 m). Gain indirect par l'amélioration de la connectivité entre les habitats de reproduction exceptionnels situés en aval et les habitats d'alimentation (lac) en amont pour l'omble de fontaine (zone 0-5 m).	Gain direct évalué à 28,5 ha et gain indirect évalué à 47,5 ha pour un total de 76,0 ha
Rehaussement du niveau d'eau au lac des Petits Escoumins	Rehaussement de 0,3 m permettant d'inonder de manière permanente les marais riverains et la zone productive de 0-0,3 m. Nouveaux habitats rendus disponibles pour l'alimentation et l'alevinage des jeunes poissons. Augmentation de la connectivité.	Gain direct évalué à 13,8 ha
Rehaussement du niveau d'eau au lac Ellen	Rehaussement de 1,0 m permettra d'inonder de manière permanente les marais riverains et la zone productive de 0-1 m. Nouveaux habitats rendus disponibles pour l'alimentation et l'alevinage des jeunes poissons. Augmentation de la connectivité.	Gain direct évalué à 50,9 ha
Amélioration de la montaison du saumon atlantique sur la rivière Nabisipi	Potentiel salmonicole additionnel de 1 664 saumons en rendant accessible un tronçon de 75 km représentant près de 550 ha d'habitat de qualité pour le saumon atlantique.	Indéterminé

12 COÛT DE MISE EN ŒUVRE

Les coûts estimés pour la planification détaillée ainsi que la mise en œuvre du présent programme de compensation sont ventilés pour chacune des activités par projet, tel que présenté au tableau 12-1. Cette estimation inclut les relevés complémentaires à réaliser afin de mieux définir les concepts, les autorisations environnementales requises, la préparation de plans et devis pour construction, les matériaux et machinerie requis pour la construction ou l'aménagement, la surveillance pendant les travaux ainsi que les suivis environnementaux nécessaires.

Tableau 12-1. Estimation des coûts pour les différents projets proposés dans le cadre du présent programme de compensation

Projets	Aménagements multispécifiques dans le réseau hydrographique compris entre les lacs Daviault et Carheil			Réfection de ponceaux infranchissables dans la région de Schefferville	Rehaussement du lac à la Loutre et installation d'une passe migratoire	Rehaussement des niveaux d'eau au lac des Petits Escoumins et au lac Ellen		Amélioration de la montaison du saumon atlantique sur la rivière Nabisipi
Activités	Aménagement des frayères à touladi au lac Daviault	Aménagement d'habitats dans le tributaire et l'émissaire du lac Daviault	Aménagement des frayères à touladi au lac Carheil	Remplacement de <u>trois</u> ponceaux	Réfection du barrage et aménagement de la passe migratoire	Réfection des deux barrages au lac des Petits Escoumins	Aménagement du barrage au lac Ellen	Aménagement de la passe migratoire
Relevés additionnels et conception préliminaire	15 000 \$	15 000 \$	15 000 \$	130 000 \$	50 000 \$	0 \$	60 000 \$	50 000 \$
Plans et devis	15 000 \$	20 000 \$	15 000 \$	150 000 \$	75 000 \$	40 000 \$	150 000 \$	60 000 \$
Autorisations environnementales	10 000 \$	10 000 \$	10 000 \$	30 000 \$	20 000 \$	20 000 \$	20 000 \$	20 000 \$
Construction (chemin d'accès, matériaux, machinerie, main-d'œuvre, surveillance)	100 000 \$	300 000 \$	175 000 \$	750 000 \$	1 050 000 \$	500 000 \$	800 000 \$	1 635 000 \$
État de référence	20 000 \$	30 000 \$	20 000 \$	40 000 \$	30 000 \$	20 000 \$	20 000 \$	50 000 \$
Suivi environnemental	100 000 \$	100 000 \$	100 000 \$	130 000 \$	100 000 \$	60 000 \$	60 000 \$	160 000 \$
<i>Contingence (+40 %)</i>	104 000 \$	190 000 \$	134 000 \$	492 000 \$	530 000 \$	256 000 \$	444 000 \$	790 000 \$
Total	364 000 \$	665 000 \$	469 000 \$	1 722 000 \$	1 855 000 \$	896 000 \$	1 554 000 \$	2 765 000 \$
TOTAL : 10 290 000 \$								

13 CONCLUSION

Le programme de compensation proposé vise à contrebalancer la perte de 155,6 ha d'habitat du poisson qui sera occasionnée par l'augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles à la mine de fer du lac Bloom. Ces pertes sont majoritairement représentées par des lacs où les communautés de poissons sont dominées par le grand brochet et le grand corégone. Environ 25 km de cours d'eau qui abritent de l'omble de fontaine sont également inclus dans le total des pertes.

D'importants efforts ont été consentis pour la recherche de sites à proximité de la région impactée. Ces sites devaient représenter des priorités de restauration importantes pour les communautés locales (nations autochtones, utilisateurs du territoire, organismes à but non lucratif, etc.). En ce qui concerne l'implication des communautés autochtones, la Première Nation des Innus Essipit, la NIMLJ et la Nation Innu Takuaikan Uashat mak Mani-utenam (ITUM) ont été consultées à différentes étapes dans la préparation du plan de compensation. Ces consultations ont permis l'élaboration de deux projets, soit le rehaussement des niveaux d'eau aux lacs des Petits Escoumins et Ellen de même que la réfection de ponceaux infranchissables dans la région de Schefferville. La démarche d'accompagnement utilisée avec la NIMLJ a permis la formation d'un partenariat entre MFQ, les membres de la nation et l'équipe de consultants en environnement. La démarche permettra l'implication de la communauté dans toutes les étapes du plan de compensation, à partir de la proposition de sites potentiels jusqu'à la réalisation du programme de suivi pour les projets situés dans la région de Schefferville.

Par ailleurs, seules les mesures de compensation permettant de remplacer les habitats touchés avec un court délai de réponse ont été retenues. En plus des gains en superficie, ils visent aussi le maintien ou l'amélioration des fonctions écologiques essentielles à la santé des écosystèmes. Les projets permettront d'améliorer l'habitat des six principales espèces de poissons recherchées par les pêcheurs sportifs de la région de la Côte-Nord, soit : l'omble de fontaine, le touladi, le grand brochet, le grand corégone, le saumon atlantique et l'omble chevalier.

La mise en œuvre des projets proposés représente un investissement de plusieurs millions de dollars, dont une importante proportion sera accordée aux diverses organisations locales et aux communautés autochtones pour soutenir leur participation dans toutes les étapes, de la conception jusqu'à la réalisation des suivis. Ce programme de compensation exprime la volonté et l'engagement de MFQ en matière de protection et de performance environnementale.

RÉFÉRENCES

- AUER, N.A. 1982. *Identification of larval fishes of the great lakes basin with emphasis on the lake Michigan drainage*. Great lakes fishery commission, Michigan. 744 p.
- BAUDOIN, J.-M., V. Burgun, M. Chanseau, M. Larinier, M. Ovidio, W. Sremski, P. Steinbach, B. Voegtle. 2014. *Évaluer le franchissement des obstacles par les poissons*. Principes et méthodes. Onema. 200 p.
- BLAIS, S. 2008. *Guide d'identification des fleurs d'eau de cyanobactéries. Comment les distinguer des végétaux observés dans nos lacs et nos rivières, 3^e édition*. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, ISBN : 978-2-550- 52408-3 (version imprimée). 54 p.
- BRADBURY, C., A.S. Power and M.M. Roberge. 2001. *Standard Methods Guide for the Classification/Quantification of Lacustrine Habitat in Newfoundland and Labrador*. Fisheries and Oceans, St. John's, NF. 60 p.
- BRADFORD, M.J., K.E. Smokorowski, K.D. Clarke, B.E. Keatley and M.C. Wong. 2016. *Equivalency metrics for the determination of offset requirements for the Fisheries Protection Program*. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2016/046. vi + 32 p.
- CARON, F., P.M. Fontaine et S.E. Picard. 1999. *Seuil de conservation et cible de gestion pour les rivières à saumon (Salmo salar) du Québec*. Faune et Parcs Québec, Direction de la faune et des habitats. 48 p.
- CASTRO-SANTOS T., F.J. Sanz-Ronda & J. Ruiz-Legazpi. 2013. *Breaking the speed limit comparative sprinting performance of brook trout (Salvelinus fontinalis) and brown trout (Salmo trutta)*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 70(2):280-293.
- CENTRE LOCAL DE DÉVELOPPEMENT (CLD) DE LA MRC DE CANIAPISCAU. 2015. *Profil démographique et socioéconomique – Fermont 2015*. 31 p.
- CHRISTENSEN-DALSGAARD, K.K., R.N. Sinnatamby and M. Poesch. 2014. *Metrics for Assessing Fisheries Productivity and Offsetting Strategies under Canada's New Fisheries Act*. Oil Sands Research and Information Network, University of Alberta, School of Energy and the Environment, Edmonton, Alberta. OSRIN Report No. TR-70. 58 p.
- CONSORTIUM WASKA-GENIVAR. 2017. *Complexe de l'Eastmain-Sarcelle-Rupert. Suivi de l'intégrité et de l'utilisation des frayères naturelles et aménagées pour le touladi. Rapport d'étude 2015*. Pour Hydro-Québec Production. 55 p. + annexes.
- DETTMERS, J. M., J. Janssen, B. Pientka, R.S. Fulford and D.J. Jude. 2005. *Evidence across multiple scales for offshore transport of yellow perch (Perca flavescens) larvae in Lake Michigan*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 62(12): 2683-2693.
- ECOMETRIX INCORPORATED. 2014. *Proposed fish habitat offset strategy and compensation plan for the Marathon PGM-CU Project*. Report prepared for Stillwater Canada inc. Pagination multiple.
- ENVIRONNEMENT CANADA (EC) ET MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC (MDDEP). 2007. *Critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments au Québec et cadres d'application : prévention, dragage et restauration*. 39 p.
- ENVIRONNEMENT ET CHANGEMENT CLIMATIQUE CANADA (ECCC). 2016. *Guide sur l'évaluation des solutions de rechange pour l'entreposage des déchets miniers*. Gouvernement du Canada. [En ligne] <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/gestion-pollution/publications/guide-rechange-entreposage-dechets-miniers.html>

- ENVIRONNEMENT ILLIMITÉ INC. 2013a. *Complexe de la Romaine. Schéma directeur pour l'implantation du touladi dans le réservoir de la Romaine 1. Rapport préparé par Frédéric Burton, Jean Paradis et Nicolas Ouellet pour Hydro-Québec Équipement*. 67 p. + 4 annexes.
- ENVIRONNEMENT ILLIMITÉ INC. 2013b. *Aménagement hydroélectrique de la Péribonka — Mise en valeur du touladi – Travaux 2012*. Rapport produit par Ouellet, N. et F. Burton. Présenté à Hydro-Québec Production, Direction Saguenay–Lac-Saint-Jean. 62 p. + 10 annexes.
- EVANS, D.O., J.M. Casselman et C.C. Willox. 1991. *Effects of exploitation, loss of nursery habitat, and stocking on the dynamics and productivity of lake trout populations in Ontario lakes*. Ontario Ministry of Natural Resources. 193 p.
- EVANS, D.O. 2005. *Effects of hypoxia on scope-for-activity of lake trout: a new dissolved oxygen criterion for protection of lake trout habitat*. Technical report 2005-01. Habitat and Fisheries Unit, Aquatic Research and Development Section, Min. Nat. Resour., Peterborough, Ontario.
- FLEURY, M. et D. Boula. 2012. *Recommandations pour la planification et la conception d'aménagements d'habitats pour l'omble de fontaine (Salvelinus fontinalis)*. Rapp. tech. Can. Sci. Halieut. Aquat. 3008 : vi + 33 p.
- FORTIER, L. and W.C. Leggett. 1982. *Fickian transport and the dispersal of fish larvae in estuaries*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 39(8): 1150-1163.
- FURNISS M., M. Love, S. Firor, K. Moynan, A. Llanos, J. Guntle & R. Gubernick. 2008. *FishXing, Version 3.0*. US Forest Service, San Dimas Technology and Development Center, San Dimas, CA. Also available at www.stream.fs.fed.us/fishxing.
- GENIVAR. 2012. *Addenda. Éléments d'informations additionnels. Projet de valorisation des habitats du saumon de la rivière Nabisipi par l'aménagement de la Grande chute*. 38 p. et annexes.
- GENIVAR. 2013. *Aménagement hydroélectrique de la Sainte-Marguerite-3, Suivi environnemental 2010-2011 en phase exploitation, Qualité de la pêche sportive aux lacs à Toi, à Moi, Hélène et Hall*. Rapport réalisé pour Hydro-Québec Production Manicouagan. 27 p. + annexe.
- GILLES SHOONER INC. 1984. *Fiche signalétique - Saumon – Rivière Nabisipi*. 26 p. + annexes.
- GOUVERNEMENT DU CANADA. 2018. *Règlement modifiant le Règlement sur les effluents des mines de métaux : DORS/2018-100*. La Gazette du Canada, Partie II, volume 152, numéro 11. Enregistrement le 16 mai 2018. [En ligne] <http://www.gazette.gc.ca/rp-pr/p2/2018/2018-05-30/html/sor-dors100-fra.html>
- GROUPE CONSEIL NUTSHIMIT INC. 2010. *Rapport de surveillance des travaux d'aménagements fauniques et de milieux humides. Travaux 2007 - 2009. Projet de rehaussement du lac Beloeil dans la Réserve faunique des Laurentides pour la compensation de l'habitat du poisson dans le cadre du projet d'amélioration de la route 175 à quatre voies divisées entre Québec et Saguenay, du km 84 au km 227*. Rapport présenté au ministère des Transports du Québec, avril 2010, 132 p. + annexes.
- Groupe Hémisphères et Groupe Synergis (2010). *Inventaires du milieu aquatique pour le projet DSO*. Rapport technique réalisé pour le compte de New Millennium Capital Corp., 160 p. + annexes.
- HANSKI, I. 1998. *Metapopulation dynamics*. Nature 396(6706): 41-49.
- HANSKI, I. et O. Gaggiotti. 2004. *Metapopulation biology: past, present, and future*. in Ecology, Genetics and Evolution of Metapopulations. I. H. E. Gaggiotti. Burlington, Academic Press. 3-22 p.
- JACQUES, O. 2018. *Reconstitution paléolimnologique de l'évolution de l'état trophique de deux lacs de la région minière de Fermont (Québec subarctique, Canada)*. Mémoire de maîtrise en sciences géographiques, Université Laval, Québec. 97 p. + annexes.

- LAFOND, J.-F. 2011. *L'aménagement de plaines inondables comme mesure de compensation de l'habitat du poisson : analyse des pratiques actuelles*. Essai de maîtrise en environnement, Université de Sherbrooke, Québec. 67 p. + annexes.
- LEVIN, S.A. 1974. *Dispersion and population interactions*. The American Naturalist 108(960): 207-228.
- MARTEL, D., M. Lafrance, Y. Bédard, J.-M. Mergeay. 2008. *Amélioration de la route 175 entre Québec et Saguenay : Création de 200 000 m² d'habitats du poisson*. Congrès annuel de 2008 de l'Association des transports du Canada à Toronto (Ontario).
- MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MFFP). 2015. *Lignes directrices pour la conservation des habitats fauniques (4e édition)*. Direction générale de la valorisation du patrimoine naturel. 41 p.
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MDDEFP). 2013a. *Critères de qualité de l'eau de surface*, 3^e édition, Québec. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-68533-3 (PDF), 510 p. + 16 annexes.
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC). 2018. *Liste des plans d'eau touchés par une fleur d'eau d'algues bleu-vert de 2004 à 2017 et des plans d'eau récurrents signalés de 2013 à 2015*. 31 p.
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC) ET ENVIRONNEMENT ET CHANGEMENT CLIMATIQUE CANADA (ECCC). 2016. *Guide de caractérisation physico-chimique et toxicologique des sédiments*. 62 p. + annexes.
- MINISTÈRE DU LOISIR, DE LA CHASSE ET DE LA PÊCHE (MLCP). 1987. *Rapport d'échantillonnage de la rivière Nabisipi*. Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune, Région Côte-Nord (09). 7 p.
- MINISTÈRE DU LOISIR, DE LA CHASSE ET DE LA PÊCHE (MLCP). 1990. *Rapport de visite à la rivière Nabisipi en Moyenne-Côte-Nord*. 18 p. + annexe.
- MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC (MTQ). 2008. *Amélioration de la route 175 entre Québec et Saguenay : Création de 200 000 m² d'habitats du poisson*. Compte rendu de conférence du congrès annuel de 2008 de l'Association des transports du Canada à Toronto (Ontario). 26 p.
- MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC (MTQ). 2015. *Programme d'amélioration de la route 389 entre Fire Lake et Fermont (kilomètres 478 à 564)*. Consortium Roche – Groupe-conseil TDA. Étude d'impact – Volume 1. Direction de la Côte-Nord. 494 p. + annexes.
- ORGANISME DE BASSINS VERSANTS (OBV) DUPLESSIS. 2011. *Cyanobactéries aux lacs Daviault, Sans Nom et Carheil. Volet I : hydrodynamique et physico-chimie*. Étude partielle. 20 p.
- ORGANISME DE BASSINS VERSANTS (OBV) DUPLESSIS. 2015. *Portrait diagnostique de la problématique des cyanobactéries – bassin versant du lac Carheil*. 49 p.
- PALMER ENVIRONMENTAL CONSULTING GROUP INC. 2014. *Casino Project – Preliminary Fish Habitat Offsetting Plan*. Prepared for Casino Mining Corporation. 90 p. + annexes.
- PAVLOV, D.S. 1994. *The downstream migration of young fishes in rivers*. Folia Zoologica 43(3): 193-208.
- PEAKE S., R.S. McKinley & D.A. Scruton. 1997. *Swimming performance of various freshwater salmonids relative to habitat selection and fishway design*. Journal of Fish Biology 51(3):710-723.

- PÊCHES ET OCÉANS CANADA (MPO). 2004. *Lignes directrices pour la conception de réfection de barrages de retenue au Québec*. Pêches et Océans Canada, Division de la protection des pêches. Juin 2004. 44 p.
- PÊCHES ET OCÉANS CANADA (MPO). 2013. *Politique d'investissement en matière de productivité des pêches : Guide sur les mesures de compensation à l'intention des promoteurs de projet*. Politiques sur les Programmes des Écosystèmes. Ottawa. 20 p.
- PÊCHES ET OCÉANS CANADA (MPO). 2016. *Lignes directrices pour les traversées de cours d'eau au Québec*. 73 p. + annexes.
- REISSER, C.M.O., J.J. Bell and J.P.A. Gardner. 2014. *Correlation between pelagic larval duration and realised dispersal: long-distance genetic connectivity between northern New Zealand and the Kermadec Islands archipelago*. Marine Biology 161(2): 297-312
- ROCHE LTÉE, GROUPE-CONSEIL. 2013. *Caractérisation et pêches expérimentales dans les lacs Knob et Pearce et leur émissaire. Alimentation et traitement de l'eau potable – Traitement des eaux usées*. Rapport remis à la Ville de Schefferville. 23 p. + annexes.
- ROCHE LTÉE, GROUPE-CONSEIL. 2011. *Étude d'impact environnemental et social du projet diamantifère Renard : Volume 1 – Rapport principal V.O.* Présenté à Les Diamants Stornoway (Canada) Inc.
- ROYAL NICKEL CORPORATION. 2016. *Projet Dumont - Plan compensatoire pour contrebalancer les pertes d'habitat du poisson et les dommages sérieux aux poisons*. 49 p. + annexes.
- SCOTT, W.B. & E.J. Crossman. 1974. *Poissons d'eau douce du Canada*. Ministère de l'Environnement, Services des pêches et des sciences de la mer, Ottawa. 1 026 p.
- SMOL, J.P. 2008. *Pollution of lakes and rivers: a paleoenvironmental perspective. 2nd edition*. Blackwell, Oxford. 396 p.
- TASEKO MINES LIMITED. 2012. *New Prosperity Gold-Copper Mine Project – Fish and Fish Habitat Compensation Plan*. 51 p.
- TECK RESOURCES LIMITED. 2017. *Draft detailed fisheries offsetting plan – Frontier Oil Sands Mine Project*. Pagination multiple.
- THIBAUT, G. 2007. *État de l'écosystème aquatique du bassin versant de la rivière aux Anglais : faits saillants 2004-2006*. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-53172-2 (PDF). 13 p.
- WSP. 2014. *Révision du concept d'aménagement. Projet de valorisation des habitats du saumon de la rivière Nabisipi par l'aménagement de la Grande chute*. 30 p. et annexes.
- WSP. 2016a. *Aménagement d'un récif artificiel dans la baie des Anglais à Baie-Comeau, Rapport d'aménagement 2014-2015*. Rapport produit pour la Ville de Baie-Comeau et Société des Traversiers du Québec. 27 p. + annexes.
- WSP. 2016b. *Restauration des barrages du lac Bernier (X0003130 et X0003131) – Étude de faisabilité*. Rapport final de WSP Canada inc. à la Pourvoirie Domaine du Lac Bernier inc. 17 p. + annexes.
- WSP. 2018a. *Augmentation de la capacité de stockage des résidus et des stériles à la mine de fer du lac Bloom. Évaluation des solutions de rechange pour l'entreposage des résidus miniers*. Rapport produit pour Minerai de fer Québec. 192 p.
- WSP. 2018b. *Suivi 2017 de la population de touladi du lac Pearce à Schefferville – Rapport d'activités*. 21 p. + annexes.

- WSP. 2018c. *Suivi 2017 de la population de touladi du lac Knob à Schefferville – Rapport d’activités*. 19 p. + annexes.
- WSP. 2018d. *Projet de restauration des barrages du lac Bernier (X0003130 et X0003131) – Complément d’information à la demande de certificat d’autorisation*. Pagination multiple + annexes.
- WSP. 2019. *Mine de fer du lac Bloom - Augmentation de la capacité d’entreposage des résidus et stériles miniers – Demande d’examen du projet*. Rapport produit pour Minerais de fer Québec. 40 p.
- WETZEL, R.G. 1983. *Limnology*. 2nd edition. Saunders College Publishing. 767 p.

ANNEXE

A

PROGRAMME DE COMPENSATION
RÉALISÉ DANS LE CADRE DE LA
PREMIÈRE PHASE DE LA MINE DU
LAC BLOOM

Tableau A1. Programme de compensation réalisé dans le cadre de la première phase de la mine du lac Bloom

Programme de compensation	Description	Année de réalisation	Objectifs de compensation
1. Aménagement du lac de la Confusion			
Rehaussement du lac de la confusion	Construction d'une digue située à l'émissaire du lac afin de rehausser le niveau de l'eau de 4 m.	2010	36 ha
Aménagements dans le tributaire du lac de la Confusion	Aménagements de fosses, de frayères et de seuils destinés à améliorer l'habitat de l'omble de fontaine.	2010	3618 m ²
2. Création de cours d'eau sur le site minier et amélioration du passage du poisson sur la rivière Mistassini			
Création de cours d'eau sur le site minier entre les lacs H et Confusion	Création de cours d'eau d'apparence naturelle entre les lacs H et Confusion afin de répondre aux besoins de l'omble de fontaine.	2012	5275 m ²
Amélioration de la libre circulation poisson sur la rivière Mistassini	Retrait d'un bloc rocheux au niveau de la première chute de la rivière Mistassini afin de permettre l'accès à un plus grand nombre de saumons aux habitats de reproduction situés en amont.	2014	Non quantifiés, mais fondés sur la stabilité et l'efficacité des aménagements
Émissaire naturel du lac H	Amélioration de plusieurs types d'habitats pour l'omble de fontaine dans l'émissaire du lac Perchard (Fermont).	2018	2649 m ²
3. Aménagement de cours d'eau à l'extérieur du site minier			
Émissaire du lac Jeannine et affluent de la fosse 2	Divers aménagements (bassins, seuils, frayères, abris, déflecteurs) réalisés dans l'émissaire du lac Jeannine et de l'affluent de la fosse 2 afin d'améliorer l'habitat de l'omble de fontaine.	2013	Non quantifiés, mais fondés sur la stabilité et l'efficacité des aménagements
Tributaire 1	Aménagement de cinq segments du tributaire 1 dans le but d'améliorer l'habitat de l'omble de fontaine.	2013	Non quantifiés, mais fondés sur la stabilité et l'efficacité des aménagements
Décharge de la fosse 2	Correction du ponceau infranchissable à la décharge de fosse 2.	2013	Assurer la libre circulation de l'omble de fontaine en tout temps

ANNEXE

B

LISTE DE TOUS LES SITES
ÉVALUÉS POUR L'ÉLABORATION
DU PLAN DE COMPENSATION

Tableau B1. Liste des sites potentiels considérés dans le cadre des de projets de compensation

# site	Nom du site	Validé bureau/terrain	Type de projets	Longitude	Latitude
1	Pont ruisseau Lespinay	Validé au bureau	Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel	-67,18842384	55,10846994
2	Ponceau lac La Tesserie	Validé au bureau	Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel	-67,10966865	55,00745758
3	Pont ruisseau Boulder	Validé au bureau	Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel	-67,09045966	54,98655737
4	Lac Inukshuk (sans poisson)	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,07059309	54,90357755
5	Pollution lac Vacher	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-66,90132855	54,89778918
6	Ponceau infranchissable tributaire du lac La Cosa	Validé au bureau	Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel	-66,93990972	54,86821623
7	Eau rouge lac La Cosa	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-66,96191667	54,86597501
8	Eau rouge lac La Cosa et lac Vacher	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-66,89227222	54,85151389
9	Haldes au lac Denault	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-66,89360556	54,83725834
10	Reconnexion lac Denault	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-66,89084444	54,83525001
11	Pollution émissaire lac Juin	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-66,84253177	54,83239954
12	Ponceau Squaw lake	Validé au bureau	Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel	-66,80509099	54,82728101
13	Ponceau infranchissable lac sans nom 1	Validé au bureau	Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel	-66,85150556	54,82570001
14	Ensemencement lac sans nom 1	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-66,85340665	54,82390912
15	Ensemencement lac sans nom 2	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-66,81333333	54,82236389
16	Ponceau infranchissable lac sans nom 2	Validé au bureau	Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel	-66,80983056	54,82076112
17	Déversement rue de la Gare	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-66,83615556	54,81693612
18	Ponceau émissaire lac John	Validé au bureau	Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel	-66,77184835	54,81276856
19	Ponceau lac Maryjo	Validé au bureau	Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel	-66,79490091	54,81081452
20	Rejet eaux usées lac Pearce	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-66,82939444	54,80873612
21	Lac Dauriat	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-66,82265281	54,80564206
22	Population faible lac Dolly	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-66,74808160	54,80408470
23	Lac L26 (lac sans poisson, Schefferville)	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-66,93872417	54,78875609
24	Ponceau émissaire lac Houston	Validé au bureau	Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel	-66,69600799	54,73836601
25	Population faible lac Houston	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-66,67526395	54,72541743
26	Cours d'eau T-19	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,05502404	52,86591103
27	Cours d'eau T-18	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,06230599	52,86383500

# site	Nom du site	Validé bureau/terrain	Type de projets	Longitude	Latitude
28	Cours d'eau T-21 (émissaire lac AA)	Validé sur le terrain	Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel	-67,06697168	52,85503710
29	Tributaire lac Daviault	Validé sur le terrain	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,07780980	52,85479957
30	Cours d'eau T-22	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,05855098	52,84025696
31	Cours d'eau T-20	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,07214198	52,83161597
32	Création d'un lac	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,25932450	52,81545617
33	Lac Daviault	Validé sur le terrain	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,07004295	52,81450269
34	Émissaire du lac Daigle	Validé sur le terrain	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,23518734	52,79088784
35	Cours d'eau A	Validé sur le terrain	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,10497184	52,79082715
36	Secteur mine des Chinois	Validé sur le terrain	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,14642555	52,78579585
37	Émissaire du lac Daviault	Validé sur le terrain	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,10313370	52,78056383
38	Lac en croissant	Validé sur le terrain	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,13823950	52,76687139
39	Lac Moiré	Validé sur le terrain	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,19619459	52,76556900
40	Cours d'eau T-1	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,07719702	52,76334101
41	Émissaire du lac des Huards	Validé sur le terrain	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,10592510	52,76264714
42	Tributaire 1 lac des Huards	Validé sur le terrain	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,07567422	52,76249320
43	Lac des Huards (sans nom)	Validé sur le terrain	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,08004128	52,75948526
44	Ponceau PO-01	Validé sur le terrain	Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel	-67,44113205	52,75851014
45	Cours d'eau T-4	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,07829799	52,75208403
46	Cours d'eau T-3	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,08138596	52,75137601
47	Cours d'eau T2 (émissaire lac des Huards)	Validé sur le terrain	Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel	-67,11310883	52,75119467
48	Cours d'eau T-17	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,17939002	52,74987498
49	Cours d'eau Pekan_A	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,45205618	52,74787087
50	Cours d'eau Winch_B	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,03956647	52,74785402
51	Ponceau PO-06	Validé sur le terrain	Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel	-67,11547606	52,74429309
52	Cours d'eau Winch_A	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,04613344	52,73441138
53	Cours d'eau T-26	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,10650200	52,73375700
54	Cours d'eau T16 (ponceau Comstock)	Validé sur le terrain	Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel	-67,18730660	52,72550214
55	Cours d'eau Winch_C	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,06726321	52,72392503
56	Cours d'eau T-7	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,12517898	52,71218601
57	Cours d'eau T-6	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,14485197	52,70784301

# site	Nom du site	Validé bureau/terrain	Type de projets	Longitude	Latitude
58	Cours d'eau T-9	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,14667504	52,70375901
59	Cours d'eau T-10	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,14227596	52,70250499
60	Cours d'eau T-5	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,14175796	52,70078704
61	Cours d'eau T-11	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,10801904	52,69830801
62	Cours d'eau T-15	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,20401203	52,68986902
63	Émissaire du lac Low Ball	Validé sur le terrain	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,09931183	52,68382652
64	Cours d'eau T-24	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,13540901	52,67852998
65	Tributaire 4 lac Carheil	Validé sur le terrain	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,09683415	52,66004889
66	Cours d'eau T-14	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,16932696	52,65278497
67	Cours d'eau T-13	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,15321703	52,64554099
68	Cours d'eau T-25	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,13140799	52,63939899
69	Cours d'eau T-12	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,11105798	52,63934299
70	Cours d'eau T-8	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,12597014	52,63548732
71	Lac Carheil	Validé sur le terrain	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,06013799	52,61400445
72	Tributaire 3 lac Carheil	Validé sur le terrain	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,07251033	52,60998204
73	Tributaire 2 lac Carheil	Validé sur le terrain	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,01036937	52,60773748
74	Tributaire 1 lac Carheil	Validé sur le terrain	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,01053349	52,59445582
75	Lac Jeannine	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-68,06946336	51,86972205
76	Lac Cacaoui	Validé au bureau	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-66,92914551	50,89020471
77	Rivière Nabisipi	Validé au bureau	Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel	-62,21432055	50,50294287
78	Rivière Aguanus	Validé au bureau	Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel	-62,02127480	50,32214688
79	Lac Carlos	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-67,06777950	50,11621558
80	Lac Paul 1	Validé au bureau	Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel	-67,19545172	49,97214904
81	Lac Paul 2	Validé au bureau	Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel	-67,19083333	49,96944444
82	Secteur des Grâces 1	Validé au bureau	Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel	-67,10416667	49,95527778
83	Secteur des Grâces 2	Validé au bureau	Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel	-67,10004891	49,95152552
84	Lac Duhamel	Validé au bureau	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-70,92741932	49,88608636
85	Barrage Franquelin	Validé au bureau	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-67,96616332	49,60499026
86	Lac Savard	Validé sur le terrain	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-68,29585459	49,59376673
87	Émissaire du lac Noël	Validé sur le terrain	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-68,55679892	49,59227138

# site	Nom du site	Validé bureau/terrain	Type de projets	Longitude	Latitude
88	Barrage Antrim	Validé sur le terrain	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-68,55163889	49,57950000
89	Réservoir Franquelin	Validé au bureau	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-68,08320691	49,56611169
90	Lac McCormick	Validé au bureau	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-68,06341427	49,56172820
91	Lac Varin	Validé sur le terrain	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-68,56769877	49,53422618
92	Lac à la Loutre	Validé sur le terrain	Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel	-68,28516905	49,52309340
93	Lac Pascal	Validé sur le terrain	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-68,26555246	49,51992222
94	Lac Bienvenu	Validé sur le terrain	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-68,28360457	49,51794555
95	Barrage du lac Bonhomme	Validé au bureau	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-73,98805556	49,44361111
96	Lac Thérèse	Validé au bureau	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-68,26893904	49,47102343
97	Barrage Longchamp	Validé au bureau	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-67,68029776	49,44142581
98	Rivière aux Anglais (chute à Gadou)	Validé sur le terrain	Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel	-68,25132746	49,40778486
99	Lac Walker	Validé au bureau	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-68,52652778	49,40100000
100	Barrage Burn	Validé au bureau	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-68,54373747	49,39886162
101	Barrage à l'Oignon	Validé au bureau	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-67,87117523	49,39852466
102	Lac Nicabau	Validé sur le terrain	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-74,13364210	49,38689408
103	Lac Perreault	Validé au bureau	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-68,48434822	49,38059189
104	Lac Chesnaye	Validé au bureau	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-68,15898735	49,33586582
105	Rivière aux Anglais	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-68,15409526	49,27749524
106	Lac Castelnau	Validé au bureau	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-68,19659072	49,25995675
107	Lac à la Chasse	Validé au bureau	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-68,17893057	49,25329263
108	Rivière Amédée	Validé sur le terrain	Amélioration de la franchissabilité d'un obstacle naturel ou artificiel	-68,24558464	49,19545766
109	Réservoir aux Outardes 2	Validé au bureau	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-68,39890487	49,16054245
110	Lac petit Beaudin	Validé au bureau	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-69,62072222	49,10438889
111	Barrage Blanche	Validé au bureau	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-71,47349167	49,09710278
112	Barrage du Grand-Canyon	Validé au bureau	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-69,46380354	49,02282738
113	Barrage Premier-Lac-de-la-Rivière-Rocheuse	Validé au bureau	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-69,57700114	48,75141981
114	Lac Maigre	Validé sur le terrain	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-69,72474304	48,53235451
115	Petit lac Claire	Validé sur le terrain	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-69,71757658	48,5210727
116	Lac Cormier	Validé sur le terrain	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-69,72371232	48,51848437
117	Lac Lemieux	Validé sur le terrain	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-69,65396059	48,51603852

# site	Nom du site	Validé bureau/terrain	Type de projets	Longitude	Latitude
118	Lac des Petits Escoumins	Validé au bureau	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-69,62437906	48,48408488
119	Barrage Polette (riv. des Escoumins)	Validé au bureau	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-69,66560501	48,41895936
120	Barrage Mistigouèche	Validé au bureau	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-68,02409147	48,17709624
121	Barrage Lavoie	Validé au bureau	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-73,49477778	47,79502778
122	Écluse à Thériault	Validé au bureau	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-69,18591307	47,79421744
123	Lac des Fourches	Validé au bureau	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-78,51226278	47,56369203
124	Lac Winneway	Validé au bureau	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-78,43226802	47,49034959
125	Lac Savane	Validé sur le terrain	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-70,87191944	47,44968611
126	Lac-à-la-Truite	Validé au bureau	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-78,18803432	47,36193437
127	Lac Polette	Validé au bureau	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-73,00043254	47,13467067
128	Étang du Moulin	Validé au bureau	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-72,50927241	45,21753218
129	Lac Ellen	Validé au bureau	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-69,70027777	48,50972780
130	Lac Montgrain	Validé au bureau	Réfection de barrage et rehaussement du niveau d'eau	-69,67361388	48,51416940
131	Lac Lambert (Shaikaniss)	Validé sur le terrain	Restauration d'habitats dégradés et aménagement d'habitats	-66,17651332	50,20147165

ANNEXE

C

CRITÈRES UTILISÉS POUR LA
CARACTÉRISATION DES HABITATS
DE REPRODUCTION

Tableau C1. Principaux critères utilisés pour la recherche de frayères potentielle pour les quatre espèces de poisson d'intérêt

Paramètres	Touladi	Omble de fontaine	Grand corégone	Grand brochet
Habitat estival				
Description	Sous la thermocline durant l'été. Recherche son optimum de T(°C).	Normalement retrouvé entre 4 - 10 cm de distance du substrat. Affectionne les abris (rocher, végétation, bois). Se déplace vers le milieu pélagique durant l'été et en présence du meunier.	Eau profonde de l'hypolimnion (10 -100 m).	Habitat ouvert avec végétation (et arbre mort) modérément abondante et dispersés. % de recouvrement autour de 30-70%.
T(°C) recherchée	10 - 12			
Habitat de reproduction				
Description	Habituellement en lac, près d'une berge abrupte exposée aux vents dominants, près des îles ou des hauts-fonds, sur substrat rocheux à proximité d'une zone profonde (20 m). Fond rocheux.	Fonds graveleux et peu profonds des ruisseaux. En lac: profondeurs de < 2 m sur substrat de gravier ou mélange de sable/gravier/petit galet exempt d'algue filamenteuse et de débris. La reproduction en lac serait dépendante des résurgences.	Eau peu profonde sur les rives rocailleuses des lacs. L'eau courante n'est pas requise.	Végétation submergée (inondée) modérément dense dans les eaux peu profonde et calmes (abritées du vent). Herbes, carex, jonc et fines feuilles sont idéaux pour le dépôt des œufs.
T (°C)	6 - 14	3 - 13	> 8	6 - 14
Profondeur (m)	0,2 - 12	0,1 - 0,3 (rivière), < 2 m (lac)	Variable (< 5 dans petits lacs jusqu'à > 30 dans grands lacs)	0,05 - 0,6
Type de fond	Roches entre 3 et 30 cm (cailloux, galets, blocs); galet de 66-200mm (80-90%)	Gravier (0,9 - 4 cm)	Gravier, galets, blocs, parfois sable, m.o. évitée	Meuble, limoneuse avec végétation en décomposition
Pente	> 20 %			N.a.
Vitesse du courant (m/s)	< 0,3	0,4 - 0,9		
Échantillonnage				
Données à récolter	Prof. (m), granulométrie, superficie, degré de colmatage, présence de débris, pente, physico-chimie	Prof. (m), granulométrie, superficie, degré de colmatage, présence de débris, Présence de résurgences , physico-chimie	Prof. (m), granulométrie, superficie, degré de colmatage, présence de débris, physico-chimie	Herbiers aquatiques (eaux peu profonde vs marais), % de recouvrement, répartition de la végétation, espèces végétales, physico-chimie
Techniques d'échantillonnage	Caméra sous-marine, délimitation GPS, sonde YSI	Pêche électrique (rivière seulement), caméra sous-marine, sonde YSI, délimitation GPS	Caméra sous-marine, délimitation GPS, sonde YSI	Observation visuelle, délimitation GPS, sonde YSI

ANNEXE

D PROFILS PHYSICOCIMIQUES ET ANALYSE DE LA CONCENTRATION EN PHOSPHORE ET EN AZOTE DES SÉDIMENTS ET DE L'EAU DE SURFACE

Figure D1. Données brutes et profil physico-chimique au lac Daviault

Plan d'eau	Lac Daviault			
Station	DA-01			
Date	13-août-18			
Profondeur (m)	Température (°C)	Oxygène dissous (mg/L)	Conductivité (µS/cm)	pH
0,5	17,4	8,77	48,6	7,45
1	17,4	8,72	48,5	7,48
2	17,4	8,72	48,5	7,48
3	17,4	8,64	48,5	7,49
4	17,4	8,63	48,5	7,49
5	17,4	8,62	48,5	7,49
6	17,4	8,6	48,5	7,49
7	17,2	8,51	48,5	7,5
8	14,1	8,21	49,1	7,44
9	13,7	8,18	49,5	7,36
10	13,2	8,21	49,5	7,27
11	12,8	8,05	49,6	7,26
12	12,4	8,22	49,5	7,25
13	11,9	8,34	49,5	7,23
14	10,7	8,38	49,7	7,2
15	9,7	8,06		
16	9,2	7,81	50,1	7,15
17	8,9	7,57		
18	8,8	7,54		
Secchi (m)	4,7			

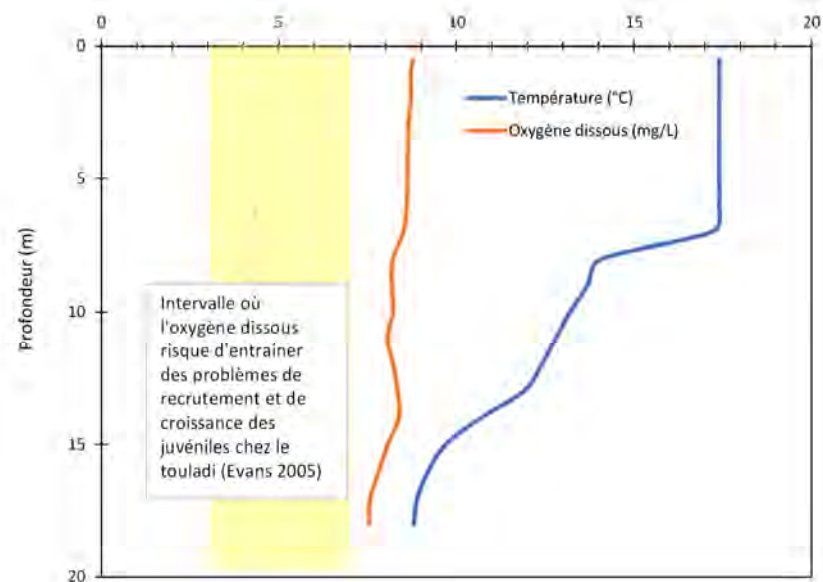


Figure D2. Données brutes et profil physico-chimique au lac des Huards

Plan d'eau	Lac des Huards			
Station	HU-01			
Date	14-août-18			
Profondeur (m)	Température (°C)	Oxygène dissous (mg/L)	Conductivité (µS/cm)	pH
0,5	16,8	8,52	60,3	7,72
1	16,7	8,27	60,3	7,71
2	16,7	8,61	60,3	7,7
3	16,7	8,57	60,3	7,69
4	16,7	8,54	60,3	7,68
5	16,8	8,56	60,2	7,68
6	15,7	7,85	60,2	7,58
7	14	6,98	61,5	7,47
8	12,5	6,81	62,6	7,4
9	11	6,93	63,1	7,34
10	9,7	6,76	63,8	7,3
11	9	6,85	64	7,27
12	7,4	7,04	63,8	7,22
13	6,6	7	65,1	7,17
14	6,1	6,9	65,4	7,15
16	5,6	5,95	66,5	7,09
18	5,5	5,32	66,9	7,06
20	5,4	4,98	67,6	7,02
22	5,5	4,78		
24	5,5	4,51		
25	5,5	4,4		
Secchi (m)	4			

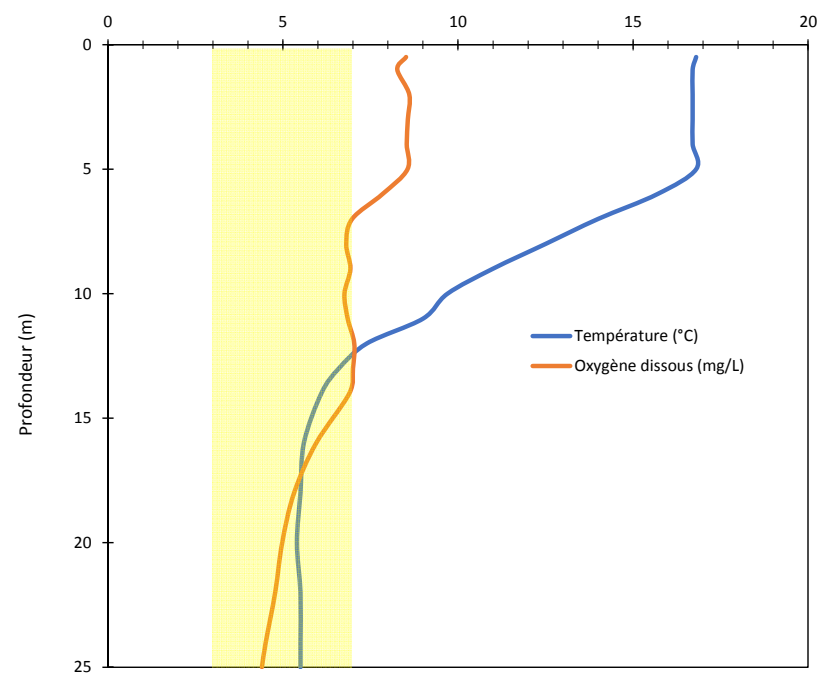


Figure D3. Données brutes et profil physico-chimique au lac Carheil

Plan d'eau	Lac Carheil			
Station	CA-01			
Date	16-août-18			
Profondeur (m)	Température (°C)	Oxygène dissous (mg/L)	Conductivité (µS/cm)	pH
0,5	16,4	9,72	43,7	7,6
1	15,5	9,71	43,6	7,59
2	14,9	9,57	43,8	7,57
3	14,6	9,58	44,3	7,56
4	14,1	9,54	44,2	7,54
5	14	9,46	44,3	7,53
6	13,7	9,43	44,4	7,5
7	13	9,5	44,2	7,47
8	12	9,59	44,2	7,44
9	11,2	9,67	44,2	7,41
10	10,8	9,69	44,1	7,39
11	10,4	9,8	44,1	7,37
12	10,1	9,81	44,1	7,34
13	9,3	9,88	44	7,31
14	9	9,76	44	7,29
16	8,9	9,72	44	7,26
18	8,5	9,62	44	7,24
20	8,3	9,65	44	7,22
20,5	8,3	9,58		
Secchi (m)	5,9			

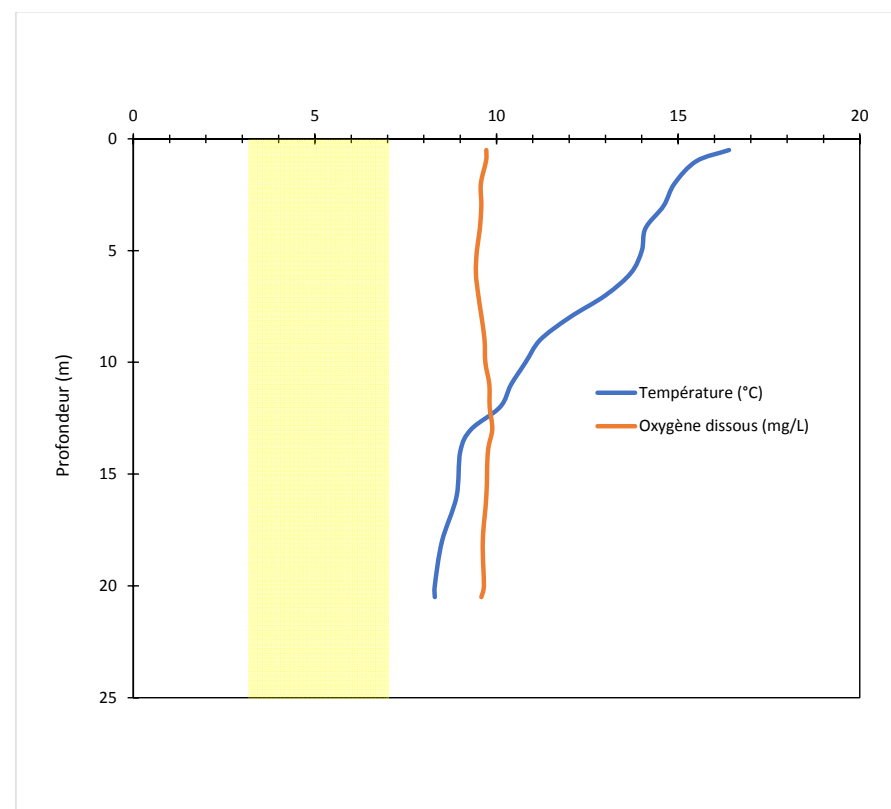


Figure D4. Données brutes et graphique de la concentration en nutriment pour les échantillons d'eau de surface analysés

Eau de surface

Nom du plan d'eau	ID éch. carte	Date d'échantillonnage	N (mg/L)	P (mg/L)
Lac Daviault	DA-01	08-12-2018	<0,3	<0,02
Lac Daviault	DA-02	08-12-2018	<0,3	<0,02
Lac Daviault	DA-03	08-13-2018	<0,3	<0,02
Lac Daviault	DA-04	08-13-2018	<0,3	0,02
Lac Daviault	DA-05	08-13-2018	<0,3	<0,02
Émissaire Daviault	DA-06	08-17-2018	0,3	<0,02
Émissaire Daviault	DA-07	08-17-2018	0,4	<0,02
Émissaire Daviault	DA-09	08-17-2018	<0,3	<0,02
Lac des Huards	HU-01	08-14-2018	0,4	<0,02
Lac des Huards	HU-02	08-14-2018	<0,3	0,04
Émissaire des Huards	HU-03	08-14-2018	0,3	0,05
Émissaire des Huards	HU-04	08-16-2018	<0,3	<0,02
Lac Carheil	CA-01	08-16-2018	<0,3	<0,02
Lac Carheil	CA-02	08-16-2018	<0,3	<0,02
Lac Carheil	CA-03	08-16-2018	1,9	0,06

Limite de détection	0,3	0,02
----------------------------	-----	------

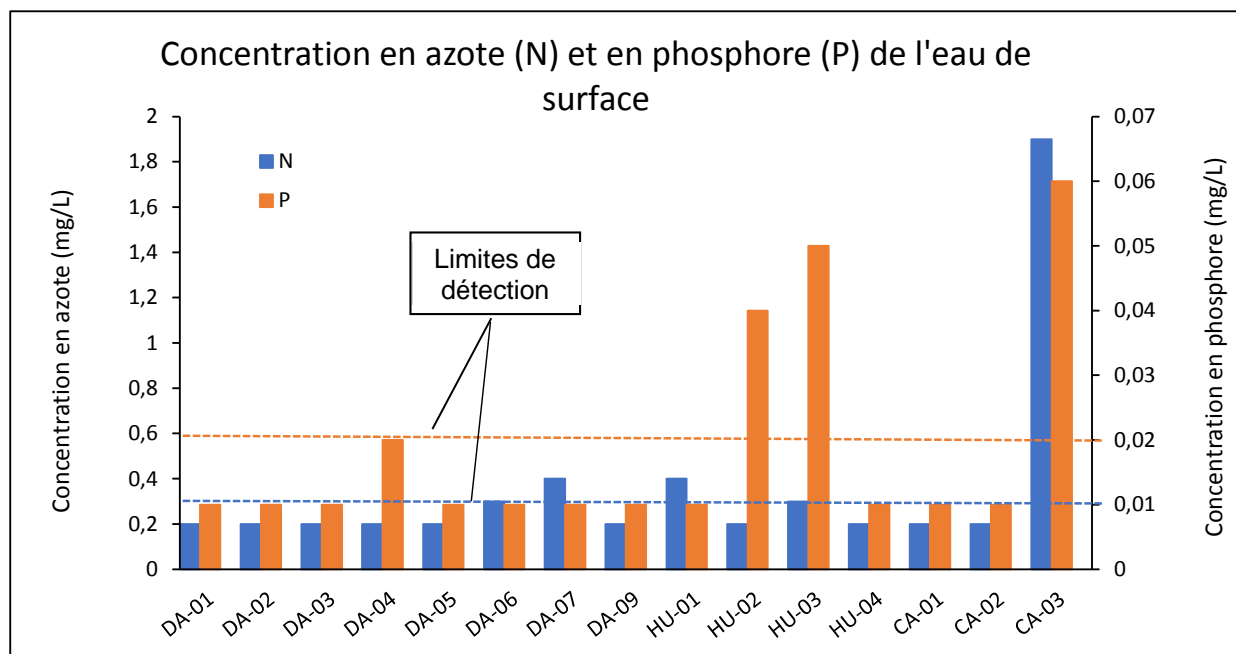
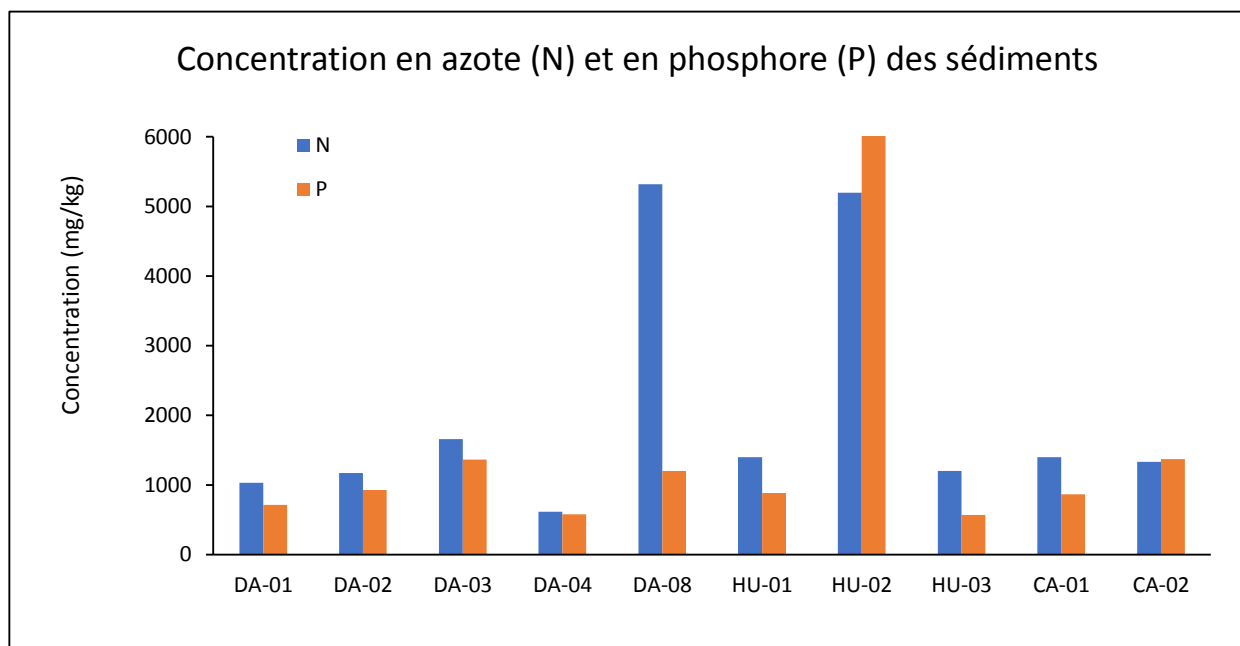


Figure D5. Données brutes et graphique de la concentration en nutriment pour les échantillons de sédiment analysés

Sédiment

Nom du plan d'eau	ID éch. carte	Date d'échantillonnage	N (mg/kg)	P (mg/kg)
Lac Daviault	DA-01	08-12-2018	1030	710
Lac Daviault	DA-02	08-12-2018	1170	925
Lac Daviault	DA-03	08-13-2018	1660	1360
Lac Daviault	DA-04	08-13-2018	613	577
Émissaire Daviault	DA-08	08-17-2018	5320	1200
Lac des Huards	HU-01	08-14-2018	1400	880
Lac des Huards	HU-02	08-14-2018	5200	6140
Émissaire des Huards	HU-03	08-14-2018	1200	568
Carheil	CA-01	08-16-2018	1400	864
Carheil	CA-02	08-16-2018	1330	1370
Limite de détection			450	200



ANNEXE

E

PLAN DE TRAVAIL POUR LES
INVENTAIRES À RÉALISER EN 2019

AMÉNAGEMENTS MULTISPÉCIFIQUES DANS LE RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE COMPRIS ENTRE LES LACS DAVIAULT ET CARHEIL

INVENTAIRE PRÉVU EN 2019

- **Caractérisation des sites de fraie potentiels au lac Daviault et au lac Carheil et évaluation de la population de poisson dans les émissaires des lacs Daviault et des Huards**

Objectifs : Documenter l'utilisation des sites de fraie potentiels. Évaluer la qualité de l'habitat à récupérer ou à améliorer. Obtenir un état de référence des populations de poissons (structure des populations et communauté).

Méthodologie sommaire : Pour les lacs Carheil et Daviault, une photo-interprétation sera réalisée afin de circonscrire les meilleurs sites de fraie potentiels. Parallèlement à cette activité, les pêcheurs du coin seront sondés afin de circonscrire les sites de fraie connu ou suspecté. Au cours de l'été, la caractérisation des substrats sera réalisée à l'aide d'un sonar à balayage latéral sur les sites potentiels identifiés afin de déterminer la qualité de ceux-ci. Parmi les sites les plus probants, des capteurs d'œufs seront installés à partir du début jusqu'à la fin de la période de fraie. En parallèle, des pêches au filet maillant et à la ligne seront réalisées à proximité des meilleurs sites identifiés. Dans la mesure du possible, les engins utilisés seront non létaux. Il est envisagé que les poissons morts à la capture qui sont encore comestibles seraient remis à la communauté qui les distribuera à ses membres par le truchement du Gardien de Territoire.

Dans les émissaires du lac Daviault et des Huards, des pêches seront réalisées à l'aide de filet maillant afin de mieux documenter la population d'omble de fontaine. Les pêches seront effectuées dans les portions lenticules, larges et profondes s'apparentant à des petits plans d'eau. Les résultats des pêches permettront d'obtenir un bon portrait de la structure des populations et une évaluation de l'abondance des différentes espèces de poissons.

RÉFECTION DE PONCEAUX INFRANCHISSABLES ET AUTRES SITES DANS LA RÉGION DE SCHEFFERVILLE

INVENTAIRE PRÉVU EN 2019

- **Caractérisation détaillée des ponceaux infranchissables et caractérisation de l'habitat en aval et en amont de ceux-ci**

Objectifs : Mieux définir les possibilités d'aménagements. Évaluer la qualité de l'habitat à récupérer ou à améliorer. Obtenir un état de référence des populations de poissons.

Méthodologie sommaire : Les ponceaux seront caractérisés (débit, dimension, vitesse d'écoulement, profondeur, état, hauteur de chute, etc.). Une caractérisation détaillée du cours d'eau sera effectuée (faciès d'écoulement, largeur, profondeur, vitesse d'écoulement, substrat, type d'habitat, présence de frayères, obstacles, etc.). Le cas échéant, les possibilités d'amélioration de l'habitat seront notées. Des pêches (pêche électrique, mini-verveux ou petite seine de rivage) seront réalisées en aval et en amont des ponceaux afin d'évaluer le gain potentiel sur les populations de poissons. En présence de plans d'eau, une caractérisation détaillée de l'habitat (méthode Bradbury, substrat, herbier, rive) sera effectuée. Des pêches à l'aide de filets maillants expérimentaux et de mini-verveux viendront compléter l'inventaire en lac.

- **Caractérisation du site au lac Denault**

Objectifs : Mieux définir les possibilités d'aménagements. Évaluer la qualité de l'habitat à récupérer ou à améliorer. Obtenir un état de référence des populations de poissons.

Méthodologie sommaire : À l'aide d'un drone, des photographies seront prises afin de bien documenter la problématique actuelle. Le site sera caractérisé pour mieux comprendre le ruissellement et les enjeux d'une éventuelle stabilisation dans ce secteur. Des mesures d'élévation seront prises afin de fournir les données de base pour l'établissement d'un concept de digue, de clef d'enrochement au pied de la halde ou de la mise en place d'un bassin de sédimentation. Des propositions d'aménagement seront formulées afin d'enrayer la problématique d'eaux rouges dans le lac Denault. La qualité de l'eau du lac Denault sera évaluée en mesurant les paramètres physicochimiques (oxygène, dissous, conductivité, température et pH) et par l'analyse d'échantillons d'eau et de sédiments en laboratoire. De plus, des pêches réalisées dans le lac Denault à l'aide de filets maillants expérimentaux et de mini-verveux viendront compléter l'inventaire.

- **Caractérisation du lac Pearce et de son bassin versant en aval**

Objectifs : Mieux définir les possibilités d'aménagements. Évaluer la qualité de l'habitat à récupérer ou à améliorer.

Méthodologie sommaire : Une bathymétrie complète du lac Pearce sera réalisée afin de mieux comprendre l'habitat du poisson. Des photos et vidéos du substrat seront prises afin de mieux documenter la problématique d'eaux usées. Des échantillons d'eau et de sédiments seront prélevés et analysés afin d'évaluer la qualité du lac Pearce. Les paramètres physicochimiques seront également mesurés à plusieurs stations dans le lac et à différentes profondeurs. Des échantillons additionnels seront prélevés en aval du lac Pearce afin d'évaluer la présence d'un panache de contamination. Des propositions d'aménagement seront élaborées suite aux inventaires.

REHAUSSEMENT DU LAC À LA LOUTRE ET INSTALLATION D'UNE PASSE MIGRATOIRE

INVENTAIRE PRÉVU EN 2019

- **Évaluation de l'utilisation des sites de fraie en aval du barrage du lac à la Loutre et évaluation de la population de poisson en aval et en amont du barrage**

Objectifs : Documenter l'utilisation des sites de fraie. Évaluer la qualité de l'habitat à récupérer ou à améliorer. Obtenir un état de référence des populations de poissons (structure des populations et communauté).

Méthodologie sommaire : En aval du barrage du lac à la Loutre, un décompte de nids d'omble de fontaine sera réalisé afin d'obtenir une évaluation de l'utilisation de la frayère. Un décompte d'alevins sera également réalisé à l'aide de pêche électrique au printemps 2020 afin de compléter l'état de référence.

Au lac à la Loutre, des pêches normalisées seront réalisées à l'aide de filet maillant expérimental afin de mieux documenter la population d'omble de fontaine. Les pêches seront réalisées en se basant sur le *Guide de normalisation des méthodes d'inventaire ichtyologique en eaux intérieures* (MRNF 2011). Les résultats des pêches permettront d'obtenir la structure des populations et une évaluation de l'abondance des différentes espèces de poissons.

REHAUSSEMENT DES NIVEAUX D'EAU AUX LACS DES PETITS ESCOUMINS ET ELLEN

INVENTAIRE PRÉVU EN 2019

- **Caractérisation du lac Ellen et de son émissaire**

Objectifs : Évaluer la qualité de l'habitat à récupérer ou à améliorer. Préciser les possibilités d'aménagements.

Méthodologie sommaire : Une caractérisation détaillée de l'habitat lacustre (méthode Bradbury, substrat, herbier, rive, bathymétrie) sera effectuée au lac Ellen. Dans le tributaire du lac Ellen jusqu'au lac Cormier et dans l'émissaire du lac Ellen, une caractérisation détaillée du cours d'eau sera réalisée (faciès d'écoulement, largeur, profondeur, vitesse d'écoulement, substrat, type d'habitat, présence de frayères, obstacles, etc.). Le cas échéant, les possibilités d'amélioration de l'habitat seront notées. Cette caractérisation permettra de mieux comprendre l'impact d'un rehaussement du niveau d'eau sur les habitats présents en plus d'orienter la conception d'un ouvrage de retenue au lac Ellen.

ANNEXE

13

ÉTUDE DE POTENTIEL
ARCHÉOLOGIQUE

ÉTUDE DE POTENTIEL ARCHÉOLOGIQUE



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

ÉTUDE DE POTENTIEL ARCHÉOLOGIQUE

Étude préparée par :

Jean-Yves Pintal, M. Sc.
Archéologue consultant
218, rue des Franciscains
Québec (Québec) G1R 1J1
Tél. : 418 580-8922
jypintal@videotron.ca

Québec, octobre 2013

RÉSUMÉ

Ce rapport présente les résultats d'une étude de potentiel archéologique effectuée à la demande de GENIVAR dans le cadre d'un projet visant à augmenter la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers de la mine du lac Bloom. Rappelons qu'en 2006, une étude similaire a été réalisée préalablement à la mise en œuvre de ce projet minier (Pintal 2006). C'est ainsi que l'objectif de ce rapport est de mettre au jour l'étude de 2006 à la lumière des données environnementales et archéologiques qui ont été recueillies dans la région de Fermont au cours des 5 dernières années.

Cette étude en arrive à la conclusion que neuf zones de potentiel se trouvent à l'intérieur du secteur à l'étude. Toutefois, aucune des zones de potentiel archéologique n'occupe les surfaces nécessaires pour augmenter la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers. Par conséquent, les travaux prévus peuvent être effectués sans conséquence pour le patrimoine archéologique.

Figure de la page couverture : Levé de lacs et cours d'eau dans le bassin de la rivière Caniapiscou (Blanchet et coll. 1955).

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
1.0 L'ÉTUDE DE POTENTIEL ARCHÉOLOGIQUE : LES MÉTHODES	4
1.1 Le potentiel archéologique préhistorique	4
1.2 Le potentiel d'occupation européenne et eurocanadienne.....	7
2.0 DESCRIPTION DU SECTEUR À L'ÉTUDE.....	8
2.1 Le paysage actuel	8
2.1.1 Géologie et sources de matières premières	8
2.1.2 Les dépôts de surface	11
2.1.3 L'hydrographie	14
2.1.4 La végétation.....	15
2.2 Les principales phases de la mise en place du paysage actuel	15
3.0 L'HISTORIQUE DU PEUPLEMENT.....	18
3.1 La période préhistorique.....	18
3.1.1 Le peuplement initial, l'Archaïque moyen (7 000 à 4 000 ans AA).....	18
3.1.2 L'Archaïque récent (4 000 à 3 000 ans AA).....	19
3.1.3 Le Sylvicole inférieur (3 000 à 2 400 ans AA).....	19
3.1.4 Le Sylvicole moyen (2 400 à 1 000 ans AA).....	20
3.1.5 Le Sylvicole supérieur (1 000 à 400 ans AA).....	20
3.2 La période historique.....	21
3.2.1 Les explorateurs (1500 à 1608 AD).....	21
3.2.2 La Nouvelle-France (1608 à 1760 AD)	21
3.2.3 Le régime anglais (1760 à 1867 AD).....	26
3.2.4 La Côte-Nord (1867 à aujourd'hui)	26
4.0 ÉTAT DES CONNAISSANCES ET POTENTIEL ARCHÉOLOGIQUE.....	33
4.1 État des connaissances en archéologie	33
4.2 La cartographie des zones de potentiel.....	36
CONCLUSION	41
OUVRAGES DE RÉFÉRENCE	43

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I	Critères d'évaluation du potentiel archéologique amérindien.....	6
Tableau II	Liste des interventions archéologiques ayant été effectuées à ce jour à proximité du secteur à l'étude	34
Tableau III	Caractéristiques des sites archéologiques identifiés à ce jour à proximité du secteur à l'étude	35
Tableau IV	Description des zones de potentiel	39

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Localisation générale du secteur à l'étude	2
Figure 2	Localisation du secteur à l'étude	3
Figure 3	Géologie du secteur à l'étude	9
Figure 3	Géologie du secteur à l'étude, légende	10
Figure 4	Dépôts de surface du secteur à l'étude	12
Figure 4	Dépôts de surface du secteur à l'étude, légende	13
Figure 5	Principales étapes de la déglaciation et de la colonisation végétale de la région à l'étude (1/2)	16
Figure 5	Principales étapes de la déglaciation et de la colonisation végétale de la région à l'étude (1/2)	17
Figure 6	Les populations du Nord-Est américain au 16 ^e siècle	23
Figure 7	Populations autochtones de la Côte-Nord vers 1500	24
Figure 8	Localisation des postes de traite établis dans la région	25
Figure 9	Carte du Domaine du Roy	27
Figure 10	Routes suivies par le Père Babel pendant les années 1866, 1867, 1868, 1870 ..	28
Figure 11	Localisation du secteur à l'étude sur une carte de 1934	30
Figure 12	Localisation des portages identifiés à proximité du secteur à l'étude	31
Figure 13	Localisation des territoires de chasse à proximité de la région à l'étude	32
Figure 14	Localisation des zones de potentiel archéologique	40

ÉQUIPE DE RÉALISATION

GENIVAR

Jean Lavoie Chargé de projets

Consultant

Jean-Yves Pintal Archéologue, recherche et rédaction

INTRODUCTION

Cette étude de potentiel archéologique s'inscrit à l'intérieur d'une démarche entreprise par GENIVAR dans le but d'évaluer les répercussions possibles du projet d'augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers de la mine du lac Bloom (Fermont) sur le patrimoine archéologique du Québec (figures 1 et 2). Une telle étude a déjà été réalisée en 2006 et la présente se veut une mise à jour de celle-ci étant donné que de nombreuses données environnementales et archéologiques ont été recueillies dans ce secteur au cours des 5 dernières années.

L'objectif de ce rapport est de déterminer si des sites archéologiques préhistoriques ou historiques, amérindiens ou eurocanadiens, sont présents ou sont susceptibles d'être découverts dans la zone d'étude de ce projet. Dans le but d'atteindre cet objectif, diverses informations provenant de rapports de recherche, de monographies et d'autres publications disponibles dans les domaines historiques, patrimoniaux, géomorphologiques, géologiques et hydrographiques ont été prises en considération. De même, les bases de données du ministère de la Culture et des Communications (MCC) ont été consultées.

Ce document s'ouvre sur la méthode utilisée. Le paysage actuel et les principales phases de sa mise en place sont ensuite décrits. Les chapitres suivants synthétisent les données sur l'occupation humaine de la région et s'attardent à la présentation du potentiel archéologique. Finalement, la conclusion passe en revue les principaux points pertinents de cette recherche. On y trouve aussi des recommandations relatives à une éventuelle protection du patrimoine archéologique.

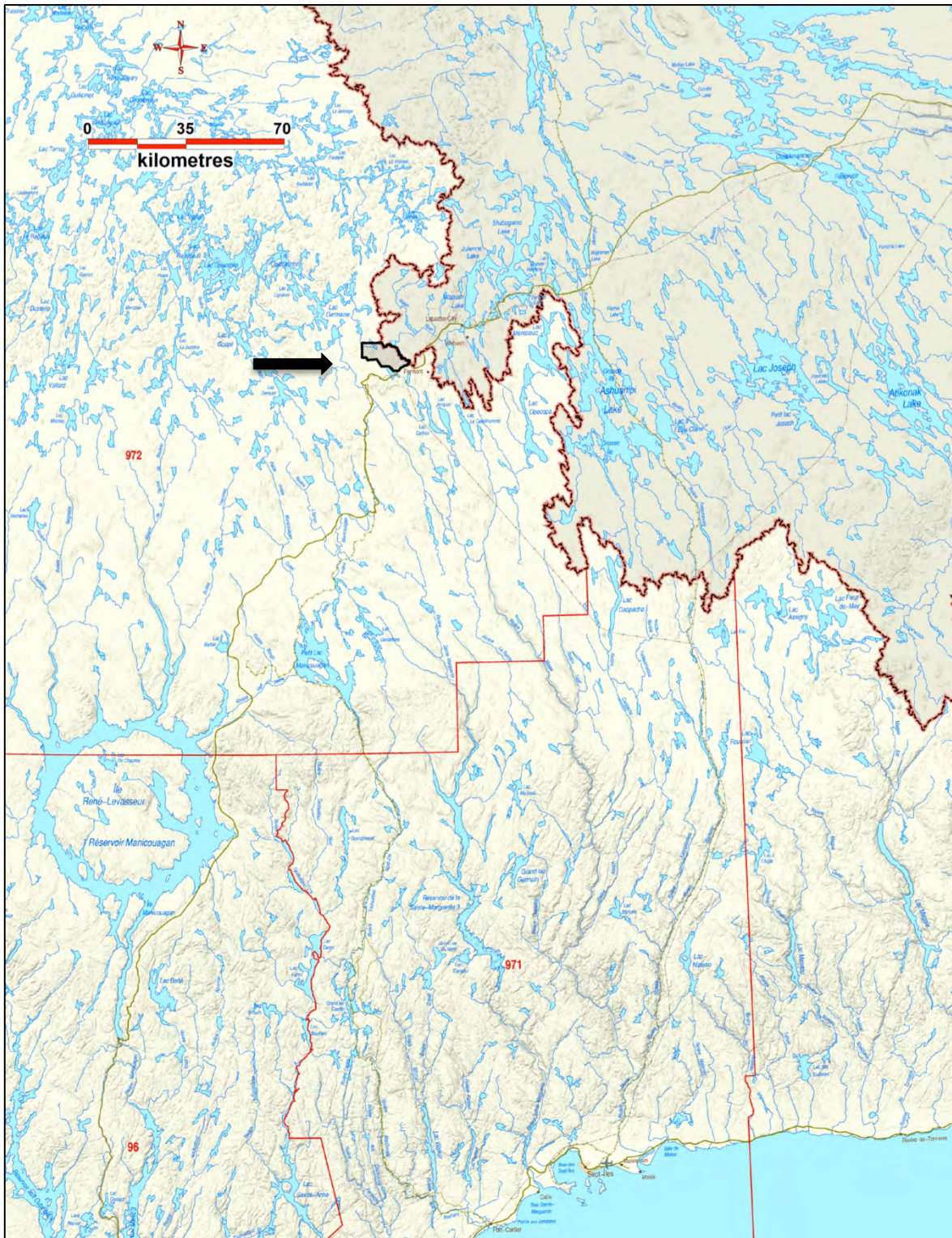


Figure 1 Localisation générale du secteur à l'étude (en noir tramé gris) (fonds de carte : Le Québec à l'échelle 1/1 000 000, Ressources naturelles Québec, Côte-Nord, extrait)

1.0 L'ÉTUDE DE POTENTIEL ARCHÉOLOGIQUE : LES MÉTHODES

L'étude de potentiel archéologique est une démarche évolutive dont les conclusions peuvent changer selon l'état d'avancement des connaissances sur le territoire en observation. C'est ainsi que des zones pour lesquelles un potentiel avait été retenu préalablement peuvent être écartées, tout comme certaines, négligées auparavant, peuvent être ajoutées. Dans le cas qui nous concerne ici, une telle étude traite de la probabilité qu'il y ait à l'intérieur des limites d'une aire précise des vestiges ou des artefacts témoignant d'une occupation amérindienne (préhistorique et historique) ou eurocanadienne, tout en validant les zones définies antérieurement (Pintal 2006).

En ce qui a trait à la présence de sites archéologiques préhistoriques, les paramètres servant à démontrer l'existence d'un potentiel proviennent de l'analyse des données géographiques et culturelles avant l'arrivée des Européens en Amérique du Nord. Dans le cas des sites archéologiques historiques (amérindiens et eurocanadiens), divers documents d'archives permettent parfois de localiser des établissements ou des infrastructures datant de cette période. Des méthodes de recherche distinctes, mais complémentaires, sont donc utilisées pour traiter les volets préhistorique et historique.

1.1 Le potentiel archéologique préhistorique

La notion de potentiel archéologique réfère à la probabilité de découvrir des traces d'établissement dans un secteur donné. Le postulat fondamental de l'étude de potentiel se résume ainsi : les humains ne s'installent pas sur un territoire au hasard, la sélection des emplacements est influencée par un ensemble de paramètres culturels et environnementaux.

Lorsque vient le temps d'évaluer les ressources patrimoniales possibles d'une région, l'archéologue se trouve régulièrement confronté au fait que les données disponibles sont peu abondantes. Ainsi, la plupart du temps, seuls quelques restes de campements sont connus pour des millénaires d'occupation. Ce maigre échantillon ne permet pas d'évaluer adéquatement l'importance que chaque groupe a pu accorder à un territoire spécifique au cours des siècles. Puisque la présence amérindienne doit être traitée comme un tout, sans

nécessairement distinguer des modes de vie très différents (groupes locaux ou groupes en transit), les archéologues ont davantage recours aux données environnementales afin de soupeser l'attrait ou l'habitabilité d'un territoire.

Ce faisant, on reconnaît les difficultés inhérentes à la découverte de l'ensemble des sites générés par les humains (sites sacrés, carrières lithiques, cimetières, art rupestre, etc., bref, tous les sites pour lesquels on dispose de trop peu d'informations pour en modéliser la localisation). Mentionnons ici que les données historiques permettent en partie de corriger ce biais puisqu'elles localisent parfois des portages, des campements ou des cimetières, autant d'éléments qui facilitent la démonstration du potentiel archéologique.

Lorsque cela est possible, une des premières étapes de l'étude de potentiel consiste à cerner les paramètres environnementaux qui caractérisent l'emplacement des différents types de campements auxquels ont recours habituellement les autochtones dans des milieux similaires à ceux étudiés. Une fois ces paramètres définis, il devient alors possible de morceler un territoire, souvent assez vaste, en zones propices à la présence de sites archéologiques. En adoptant une telle démarche, on reconnaît d'emblée l'impossibilité pratique d'intervenir sur l'ensemble d'une région même si, ce faisant, on admet la possibilité que des vestiges puissent être négligés. Au Québec, des critères génériques de potentiel pour le moyen-Nord et le subarctique ont été proposés au fil des ans (tableau I).

Les données archéologiques utilisées pour la rédaction de cette étude ont été compilées en tenant compte d'un rayon de 10 kilomètres autour du secteur à l'étude (cartes 23B10, 23B11, 23B14 et 23B15; MCC 2013a, 2013b). Elles ont été obtenues en consultant des sources telles que :

- l'Inventaire des sites archéologiques du Québec (MCC 2013a);
- la Cartographie des sites et des zones d'interventions archéologiques du Québec (MCC 2013b);
- le Répertoire du patrimoine culturel du Québec du ministère de la Culture et des Communications (MCC 2013c);

- le Répertoire québécois des études de potentiel archéologique (Association des archéologues du Québec 2005);
- les divers rapports et les différentes publications disponibles pour la région.

Tableau I : Critères d'évaluation du potentiel archéologique amérindien (modification du tableau de Gauvin et Duguay 1981)

Facteurs environnementaux	Niveau de potentiel		
	Fort (A)	Moyen (B)	Faible (C)
Géographie	Plages, îles, pointes, anses, baies, points de vue dominants	Secteurs élevés et éloignés des plans d'eau	Falaises
Morpho-sédimentologie	Sable, gravier, terres agricoles, terrains plats, terrasses marines et fluviales, eskers, moraines	Terrains moutonnés Argiles altérées Pentes moyennes	Affleurements rocheux Tourbières Pentes abruptes Terrains accidentés
Hydrographie	Hydrographie primaire Proximité des cours d'eau et lacs importants Zone de rapides Eau potable Confluence de cours d'eau Axe de relocalisation Distance de la rive = de 0 à 30 m	Hydrographie secondaire Petits cours d'eau Distance de la rive = de 30 à 100 m	Hydrographie tertiaire Marais Tourbières Extrémité de ruisseau Distance de la rive = 100 m et plus
Végétation	Ressources végétales comestibles Protection contre les vents du nord Exposition aux vents du sud Bonne visibilité sur le territoire adjacent Bois de chauffage	Protection moyenne	Aucune protection
Faune	Proximité de lieux propices à la chasse et à la pêche	Lieux plus ou moins fréquentés par la faune	Lieux peu fréquentés par la faune
Accessibilité	Accessibilité à des territoires giboyeux Circulation facile Sentiers de portage	Difficultés d'accès selon les saisons	Accès difficile en tout temps
Géologie	Proximité d'une source de matière première		

1.2 Le potentiel d'occupation européenne et eurocanadienne

Pour l'occupation préhistorique, aucun document ne permet de déterminer des lieux qui auraient pu être fréquentés à cette époque reculée. En ce qui concerne l'occupation historique par des Amérindiens ou par des Eurocanadiens, certains documents d'archives, notamment des cartes anciennes, indiquent que la région à l'étude est connue depuis le 18^e siècle, des explorateurs et des traiteurs circulant alors dans le secteur. Toutefois, de tels types de documents sont produits plus régulièrement à partir du 19^e et surtout du 20^e siècle.

La méthode d'évaluation se base sur l'analyse critique de données archivistiques, de publications à caractère historique, de cartes et de plans. L'étude vise d'abord à déterminer les sites ou infrastructures (ex. : bâtiment, portage, etc.) pouvant être présents sur le territoire étudié, puis à les évaluer selon leur importance et leur qualité de conservation. Tous ces endroits sont consignés sur les cartes et deviennent des zones de potentiel. À l'occasion, les données relatives à la localisation de ces éléments sont plus ou moins précises; la superficie des zones de potentiel est alors modifiée en conséquence.

Le point suivant sert à déterminer à partir de quand le secteur est fréquenté par les Amérindiens et les Eurocanadiens. Puis, la revue des travaux archéologiques déjà effectués aux alentours permettra de faire ressortir certaines particularités quant à la localisation des sites archéologiques connus. C'est en se basant sur ces paramètres et sur les critères présentés dans le tableau I que le potentiel archéologique du secteur à l'étude a été évalué.

2.0 DESCRIPTION DU SECTEUR À L'ÉTUDE

L'objectif de ce chapitre n'est pas de décrire exhaustivement ce territoire, mais bien de s'en tenir aux paramètres les plus susceptibles d'avoir agi sur la fréquentation humaine.

2.1 Le paysage actuel¹

Le secteur à l'étude se localise à une dizaine de kilomètres à l'ouest de la municipalité de Fermont. Il occupe le massif précambrien du nord-est québécois. Le paysage y est vallonné, parfois montueux, les plus basses terres s'élèvent à environ 680 m au-dessus du niveau actuel de la mer (ANMM), tandis que les plus hauts sommets culminent à près de 850 m ANMM.

2.1.1 Géologie et sources de matières premières

Dans cette région, la roche-mère est principalement d'origine précambrienne et elle est associée à l'orogénèse grenvillienne. Le secteur à l'étude s'inscrit plus particulièrement dans le domaine parautochtone, une zone tampon entre l'autochtone non déformée (au nord et l'allochtone déformé et transporté (au sud) (figure 3).

On y trouve principalement des gneiss, des gabbros et des schistes (Arsenault et coll. 1994). Ces pierres, bien qu'elles ne suscitent pas une attention particulière de la part des artisans-tailleurs de pierre, peuvent néanmoins satisfaire certains de leur besoin technologique, notamment lors de la fabrication d'objets polis ou bouchardés, comme les haches, herminettes, meules ou poids de filet. Cela étant dit, de tels galets abondent dans la région et, à cet égard, il est peu probable que le secteur à l'étude ait été fréquenté afin de se procurer ce type de pierre en particulier.

À l'occasion, des veines de quartz peuvent être présentes sous forme de dyke dans ce type de formations et l'on sait que ce matériau a été utilisé par les Amérindiens qui ont fréquenté

¹ Les seules cartes topographiques disponibles pour cette région sont au 1 : 50 000 et les données relatives au dépôts de surface ne proviennent que des cartes au 1 : 50 000 du Service des inventaires forestiers du ministère des Ressources naturelles. Ces données recèlent une part d'imprécision qui affectent nécessairement la détermination des zones de potentiel.

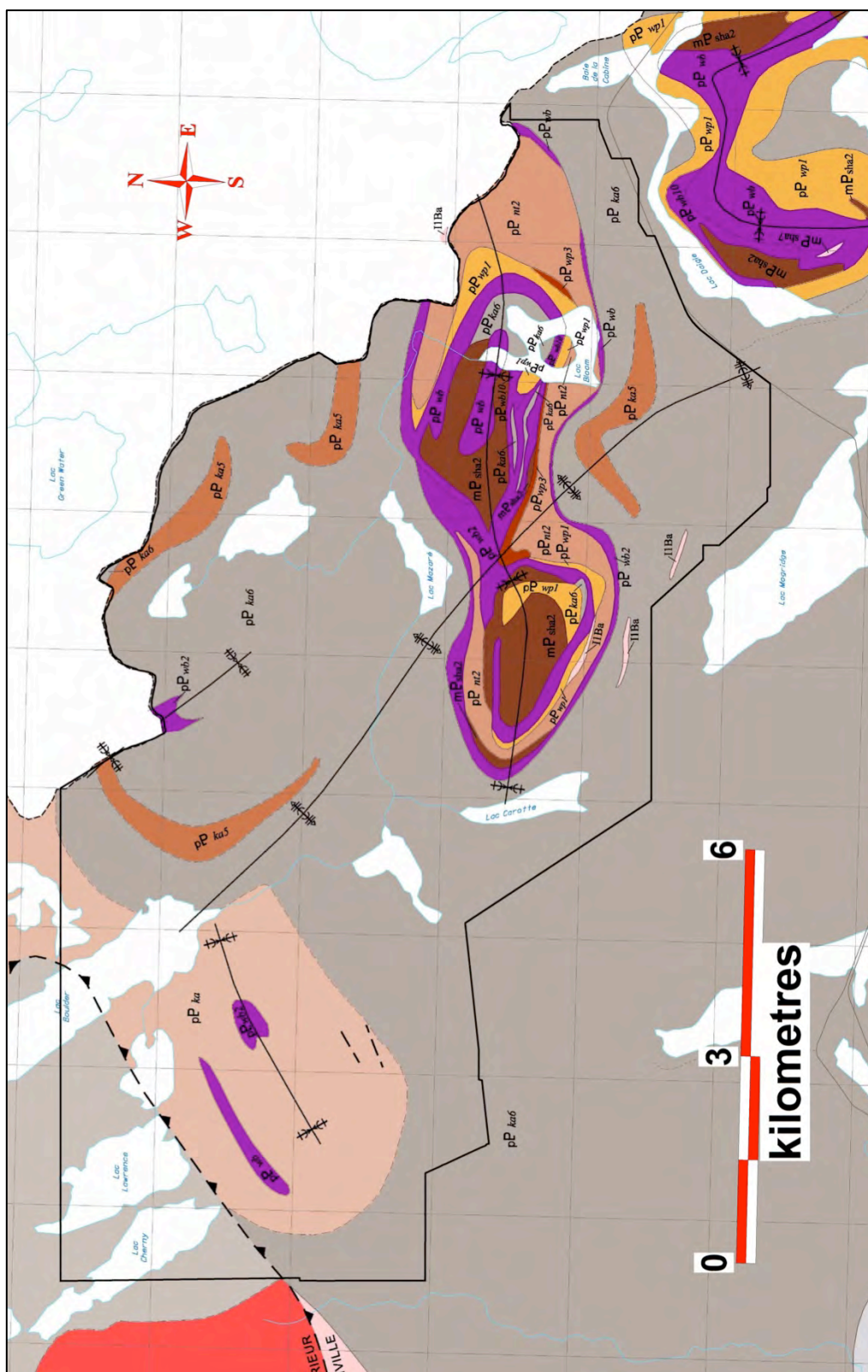


Figure 3 Géologie du secteur à l'étude (Base cartographique : ministère des Ressources naturelles, SIGEOM, carte 23B14, 2010, 1 : 50 000, extrait)



Figure 3 Géologie du secteur à l'étude, légende

le nord du Québec tout au cours de la préhistoire. Toutefois, ces veines n'ont pas été cartographiées et leur abondance dans la région demeure inconnue.

Cela étant dit, certaines formations rocheuses de la région sont susceptibles de fournir des matériaux recherchés pour la fabrication d'outils en pierre (McCaffrey 1988, 1989). En effet, elles sont présentes dans le secteur sous diverses appellations (formation de Wabush = formation de Sokoman; formation de Wapussakatoo = formation de Wishart). Mentionnons ici que celle de Fleming, porteuse de chert, semble absente de la région de Fermont.

« Il y a discussion à savoir si le quartzite est le produit métamorphisé d'un sable propre de quartz ou bien d'un chert... D'après une étude de leurs zircons, Gross (1955) en est venu à la conclusion que les quartzites du mont Wright proviennent de sable de plage. Murphy (1961), après avoir étudié leur teneur en carbone, a conclu qu'il s'agit de cherts métamorphisés. Autres indices de leur provenance du chert : passage graduel du quartzite à la formation de fer et similarité entre le quartzite et les bandes de quartz de la formation de fer ».

Dans la partie la moins métamorphisée de la fosse du Labrador, la formation de fer (formation de Sokoman) est sus-jacente au chert (formation de Fleming) et au grès quartzeux (formation de Wishart). Il est très probable que la même situation existait là où les roches étaient métamorphisées et que le quartzite contenait à l'origine des éléments à la fois cherteuses et arénacées. Cependant, nous croyons que dans notre région, qui contient le faciès d'eau calme de la séquence de la formation de fer, la plus grande partie du quartzite est du chert recristallisé » (Clarke 1967 : 34).

Dans l'état actuel des connaissances, on ne sait pas encore si les formations de Sokoman (plus ferrugineuse) et de Wishart (plus quartziteuse) de la région de Fermont contiennent des pierres susceptibles d'intéresser des tailleurs de pierre. Il est probable que tel soit le cas et, s'il en va ainsi, il est possible que les Amérindiens aient eu connaissance de la présence de ces formations et qu'ils les aient effectivement exploités. On peut penser aussi que ces pierres sont plus faciles d'accès à proximité des plans d'eau (rivières et lacs) que sur les flancs de collines éloignées. Il est aussi notoire que les Amérindiens profitaient des failles géologiques pour se procurer ces matériaux (McCaffrey 1988, 1989). Mentionnons que de telles failles sont présentes au sud du territoire à l'étude (Fermont et lac Mogridge, entre autres).

2.1.2 Les dépôts de surface

L'origine des dépôts de surface découle principalement du passage des glaciers (figure 4). C'est ainsi que les tills indifférenciés (farine de roche et blocs anguleux de toutes tailles)

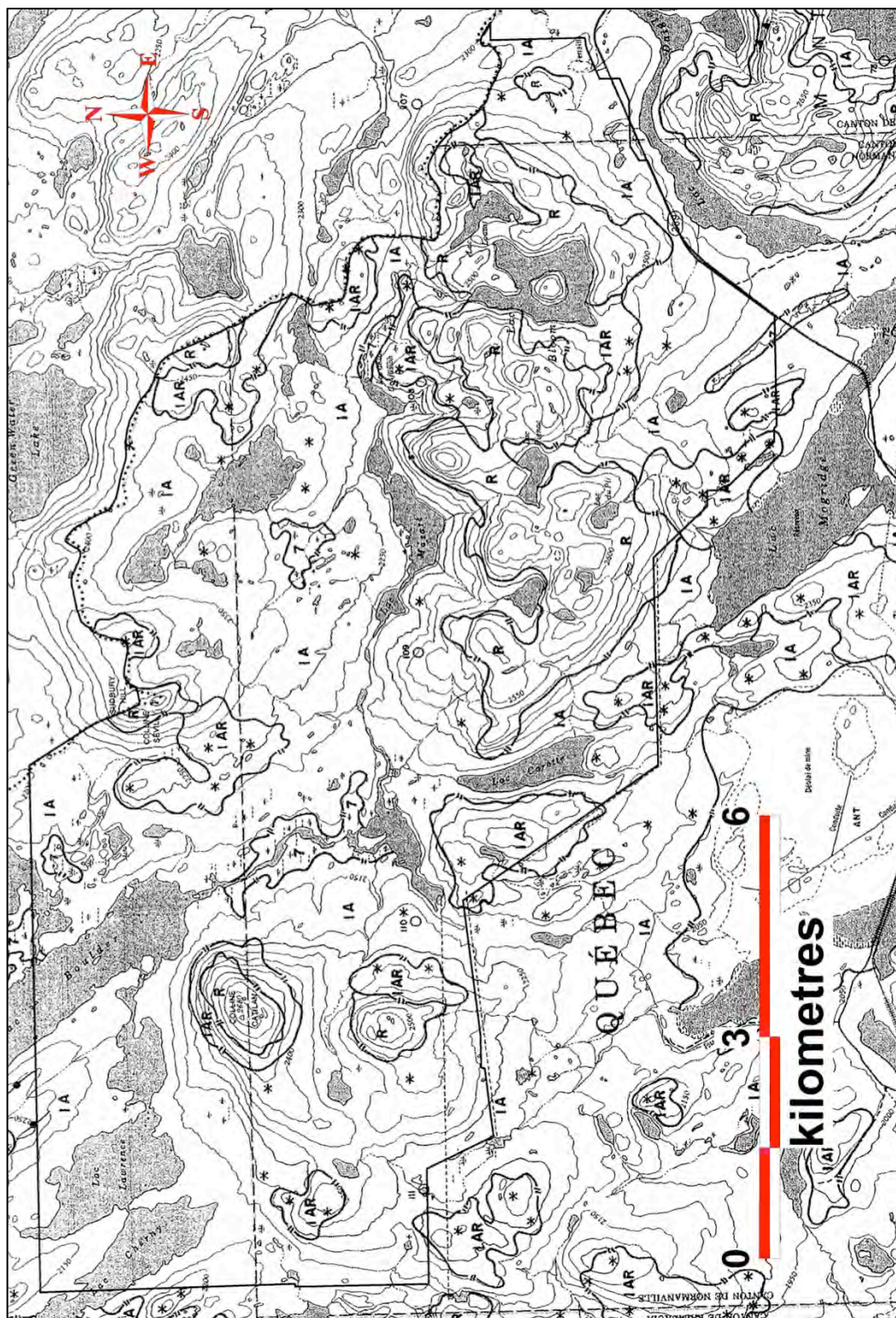


Figure 4 Dépôts de surface du secteur à l'étude (Base cartographique : ministère des Forêts, Service des inventaires forestiers, carte 23B14, 2000, 1 : 50 000, extrait)

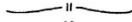
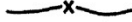
LÉGENDE		
TYPE DE DÉPÔT	CODE CARTOGRAPHIQUE	DESCRIPTION GÉNÉRALE
1 - DÉPÔTS GLACIAIRES		Dépôts lâches ou compacts sans triage constitués d'une farine de roches et d'éléments de toutes tailles généralement anguleux à sub-anguleux. La granulométrie des matériaux peut varier de l'argile au bloc selon les régions.
1.1 Dépôts glaciaires sans morphologie particulière		Idem.
- Till indifférencié	I A	Idem. L'épaisseur moyenne est supérieure à 1 m.
- Till indifférencié mince	I AR	Idem. L'épaisseur moyenne se situe entre 25 cm et 1 m.
1.2 Dépôts glaciaires caractérisés par leur morphologie	I B	Les formes glaciaires retenues sont généralement composées de till.
- Drumlins et drumlinoides	I BD	Les crêtes sont composées de till.
- Moraine côtelée (de Rogen)	I BC	Les crêtes qui forment la moraine côtelée se composent de till riche en blocs qui peut contenir des couches de sédiments liés par l'eau.
- Moraine frontale	I BF	Les moraines frontales présentent une accumulation importante de matériaux fluvioglaciers ou glaciaires sable, gravier, blocs. Dépôts stratifiés par endroits, massifs à d'autres endroits.
- Moraine de décrépidité	I BP	Dépôt constitué de till délavé et de matériaux fluvioglaciers grossiers. Présente une topographie en creux et en bosses sans orientation précise.
2 - DÉPÔTS FLUVIO-GLACIAIRES		Les dépôts fluvioglaciers sont composés de sédiments hétérométriques de forme sub-arrondie à arrondie. Ils sont stratifiés et peuvent contenir des poches de till (till flué).
2.1 Dépôts juxta-glaciaires	2 A	Dépôts constitués de sable, de gravier, de cailloux, de pierres, et parfois de blocs arrondis à sub-arrondis. Ils ont souvent une stratification déformée et faillée et contiennent fréquemment des poches de till.
- Esker	2 AE	Idem.
- Kame, Terrasse de Kame	2 AK	Idem.
2.2 Dépôts pro-glaciaires	2 B	Les dépôts pro-glaciaires sont surtout composés de sable, de gravier et de cailloux émoussés. Ils sont triés et disposés en couches bien distinctes. Le long d'un complexe, on note généralement un grano-classement des particules de l'amont vers l'aval.
- Delta fluvioglacière	2 BD	Idem.
- Épandage	2 BE	Idem.
3 - DÉPÔTS FLUVIATILES	3	Les dépôts fluviaux sont bien stratifiés. Ils se composent généralement de gravier et de sable avec une proportion variable mais faible de limon et d'argile. Ils peuvent contenir de la matière organique.
4 - DÉPÔTS LACUSTRES		Dépôts constitués de sable fin, de limon et d'argile stratifiés ou de matériaux plus grossiers (sable et gravier).
4.1 Plaine lacustre	4	Dépôt constitué de sable fin, de limon et d'argile. Il peut contenir une certaine quantité de matière organique.
4.2 Glacio-lacustre		
- Faciès d'eau profonde	4 GA	Dépôt constitué de limon, d'argile et de sable fin rythmés (varves).
- Faciès d'eau peu profonde	4 GS	Dépôt constitué de sable et parfois de gravier.
5 - DÉPÔTS MARINS		Dépôts fins composés d'argile mais pouvant contenir du limon et du sable fin.
- Faciès d'eau profonde	5 A	Dépôt constitué d'argile contenant parfois des pierres et des blocs glaciaires.
- Faciès d'eau peu profonde	5 S	Dépôt constitué de sable et parfois de gravier.
6 - DÉPÔTS LITTORAUX MARINS	6	Dépôts constitués d'argile, de sable, de gravier, de cailloux, de pierres ou de blocs généralement émoussés.
7 - DÉPÔTS ORGANIQUES	7	Dépôts constitués d'une accumulation de matière organique plus ou moins décomposée et dérivée de sphagnum, mousses, litière forestière, etc.
8 - DÉPÔTS DE PENTES ET D'ALTÉRATIONS	8	Dépôts constitués de matériaux fins (limon, sable, gravier) ou grossiers (cailloux, pierres, blocs). Matériaux généralement anguleux.
9 - DÉPÔTS ÉOLIENS	9	Dépôts composés généralement de sable fin à moyen liés.
10 - SUBSTRATUM ROCHEUX	R	Affleurement rocheux pouvant être recouvert de matériel meuble d'une épaisseur moyenne inférieure à 25 cm.
 Limite des dépôts de surface  Limite des districts écologiques N.B. : La limite des districts écologiques peut superposer celle qui délimite les dépôts de surface.		
SYMBOLES PARTICULIERS		
*	Substrat rocheux R (superficie < 16 ha)	
>>>>>	Esker	
—●—	Drumlin	
*—●—	Butte à traînée de débris	
~~~~~	Chenal juxta-glaciaire	
~~~~~	Moraine de Rogen	

Figure 4 Dépôts de surface du secteur à l'étude, légende

prédominant dans le paysage. La roche-mère affleure aussi en plusieurs endroits, tandis que les tourbières et les terrains humides abondent dans les basses terres.

Les sommets des collines sont tapissés de till mince (de 25 à 1 m d'épaisseur), tandis que leurs flancs se couvrent parfois de colluvions de faible épaisseur. Les tills peuvent être plus épais (1 m et +) dans les basses terres. En règle générale, les sols de la région entrent dans la famille des régosols et des podzols (Dubois 1996 : 46). Certains de ces dépôts se présentent sous la forme de moraines et d'eskers.

Il est considéré que les tills indifférenciés relativement épais offrent une habitabilité supérieure à celles des tills indifférenciés minces et à la roche-mère. Plusieurs sections du secteur à l'étude ont été remblayées ou décapées (routes et chemins d'accès, dépôts de matériau secs, etc.).

2.1.3 L'hydrographie

Le secteur à l'étude participe de la zone du haut plateau lacustre (Dubois 1996 : 30). Il correspond à une sorte de pivot hydrographique puisqu'il se superpose à la tête des bassins versants de la Grande Rivière, de la Moisie et de la Hamilton (Dubois 1996 : 39 et 40). Pour les Amérindiens en particulier et pour les explorateurs en général, les axes Sainte-Marguerite/Moisie/aux Pékans et Manicouagan/Petite Manicouagan/Hart-Jaune/Toulouste et Hamilton, qui incidemment sont parfois reliés entre eux par des réseaux secondaires, ont longtemps constitué des voies de déplacement privilégiées entre la côte et l'arrière-pays. Comme on le verra plus loin, à ces voies navigables est associé un vaste réseau de portage qui permet d'éviter les principaux obstacles (chutes, rapides) ou encore qui donne accès aux réseaux hydrographiques secondaires et tertiaires.

Quelques lacs de dimensions moyennes occupent le secteur à l'étude, notamment les lacs Cherny, Lawrence et Boulder. Pour ce qui est des autres, ils sont en général plus petits et souvent passablement encaissés.

2.1.4 La végétation

Le secteur à l'étude occupe une zone biologique de type subarctique inférieur du domaine montagnard. On y rencontre des landes boisées, principalement caractérisées par la présence de sapins et d'épinettes noires, au sol les mousses et les lichens sont abondants.

C'est dire que l'environnement biologique offre une gamme variée de produits (des matériaux de construction aux aliments) et que les Amérindiens et les Européens/Eurocanadiens étaient en mesure d'y satisfaire la majorité de leur besoin. Ce type de végétation accueille également de nombreux animaux, des petits aux grands mammifères (du castor aux caribous).

2.2 Les principales phases de la mise en place du paysage actuel

La déglaciation du territoire à l'étude débute vers 8 000 ans AA, mais les derniers lambeaux du glacier ne disparaissent que peu après 7 000 ans AA (Dubois 1996 : 63; Parent et coll. 1985 : 33). Il faut attendre de 500 à 1 000 ans avant qu'une région récemment déglacée s'assèche et devienne fréquentable par les animaux, puis par les êtres humains. Au nord de la région de Fermont, quelques lacs postglaciaires ont envahi les basses terres, mais ce ne fut pas le cas pour le secteur à l'étude. On peut considérer que le réseau de drainage associé à ce territoire est en place depuis environ 6 500 ans (figure 5).

Immédiatement après la déglaciation, les données suggèrent une invasion végétale rapide par des espèces qui colonisent toujours la région, bien que les écosystèmes étaient probablement un peu différents à l'époque. Vers 6 000 à 5 000 ans AA, un climat plus chaud et plus sec qu'aujourd'hui (hypsihermal) aurait facilité cette invasion. Il en va de même pour la pédogenèse qui semble avoir été forte à cette époque (Filion et Bégin 1985 in Chevrier 1996a). En général, il est considéré que le climat était plus sec au cours de l'Holocène moyen (6 500 à 3 500 AA). Cette situation aurait influencé l'apport en eau des lacs du Nord-Est américain, avec pour conséquence que le niveau de ceux-ci aurait alors été plus bas que celui que l'on observe aujourd'hui (Hétu 2008).

De 5 500 à 3 000 ans AA, une température plus humide et plus tempérée aurait permis à la forêt d'atteindre sa limite nordique maximale, le couvert forestier s'ouvre alors légèrement et s'approche de la situation présente. À partir de 3 000 ans AA et jusqu'à maintenant, le climat se caractérise par une suite d'épisodes plus chauds ou plus froids, plus secs ou plus humides, des conditions climatiques qui agissent sur la densité des arbres et la localisation des principales espèces animales.

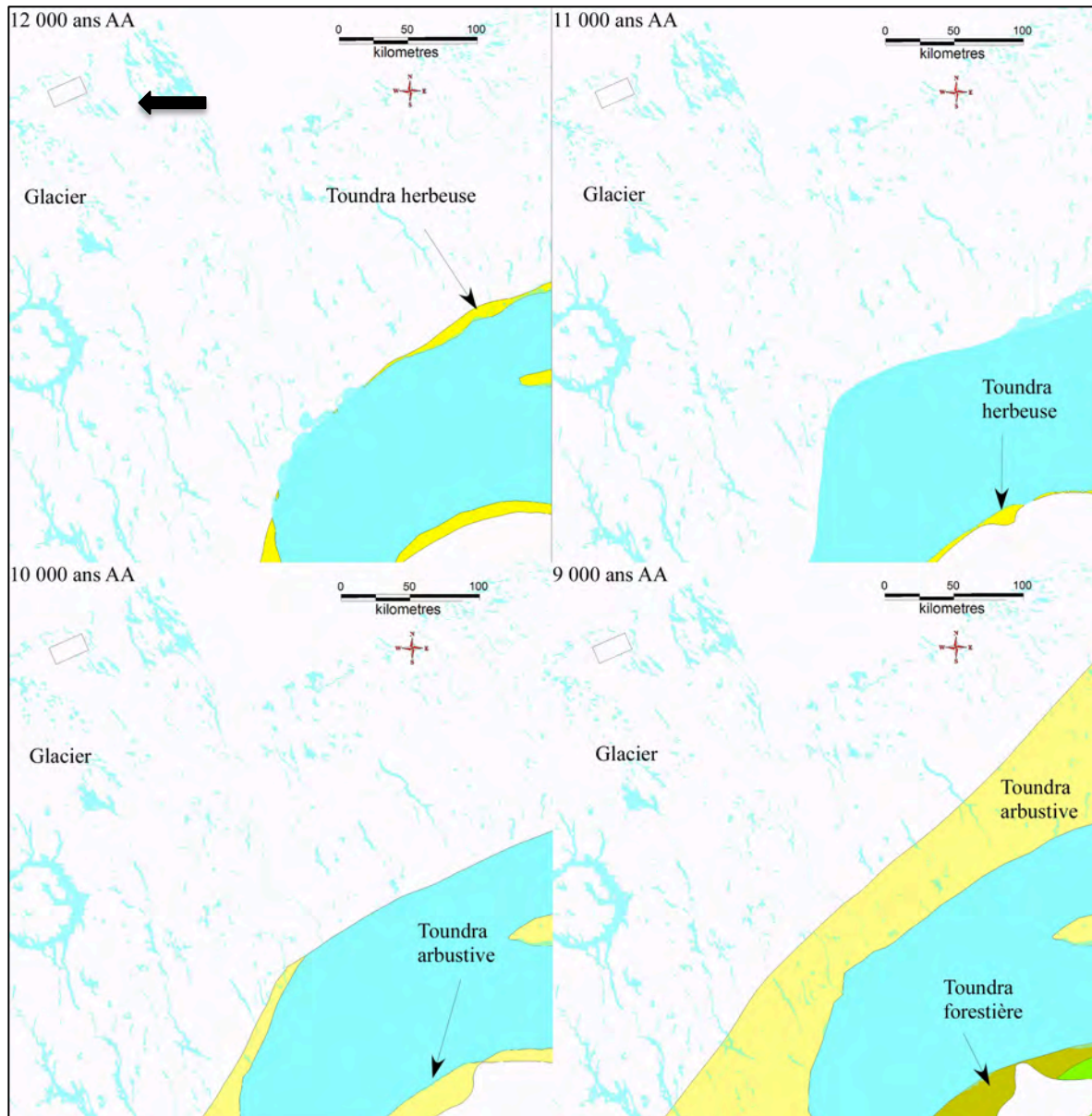


Figure 5 Principales étapes de la déglaciation et de la colonisation végétale de la région à l'étude (secteur à l'étude = rectangle gris) (Dyke et coll. 2004) (1/2)

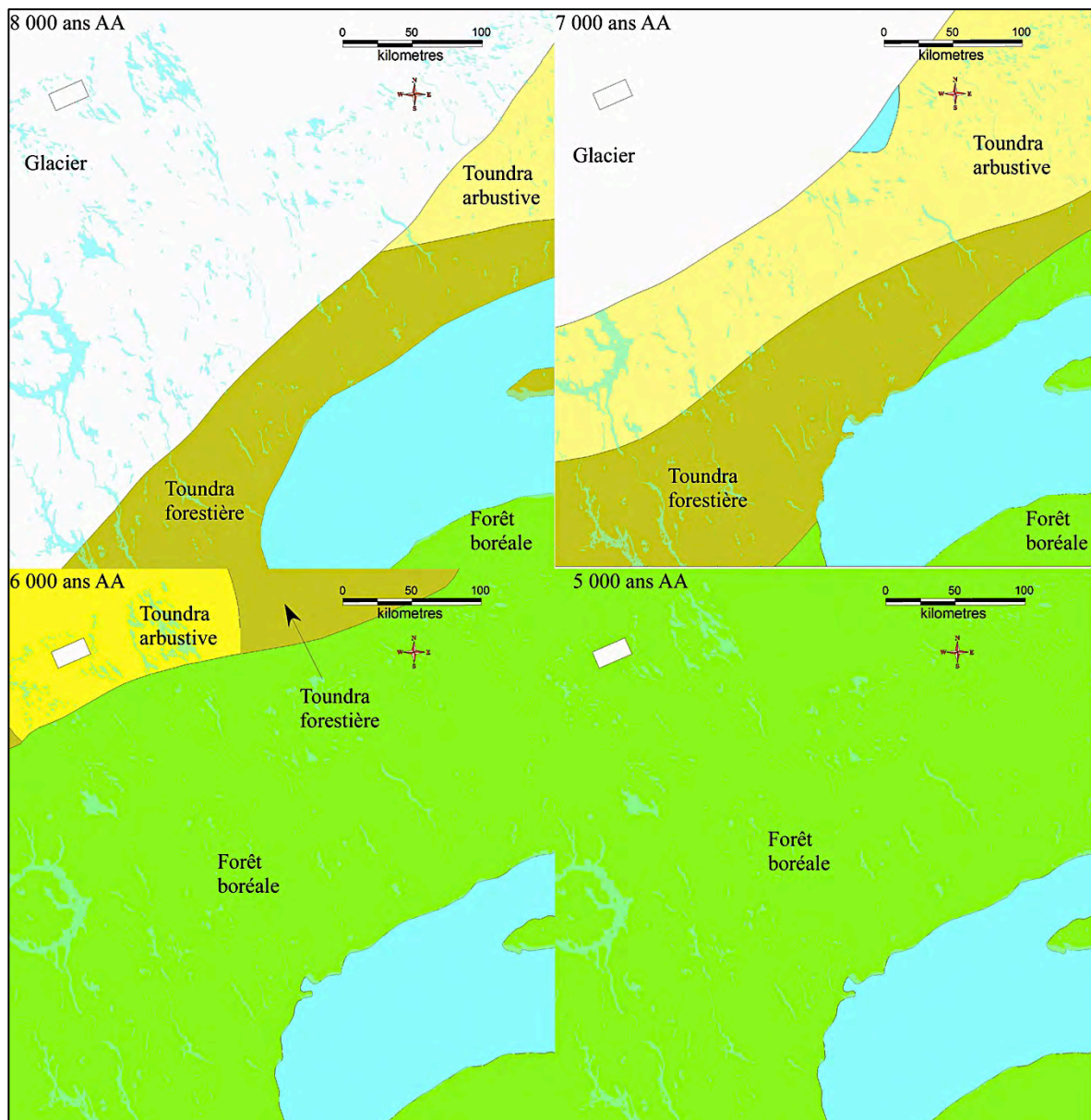


Figure 5 Principales étapes de la déglaciation et de la colonisation végétale de la région à l'étude (secteur à l'étude = rectangle gris et blanc) (Dyke et coll. 2004) (2/2)

Compte tenu des connaissances actuelles, le territoire à l'étude aurait été définitivement déglacé peu après 7 000 ans AA, et il serait devenu écologiquement favorable à l'occupation humaine vers 6 500 ans AA.

3.0 L'HISTORIQUE DU PEUPLEMENT

La mise en place des conditions environnementales favorisant l'occupation humaine de la région de Fermont vient d'être décrite. Ce chapitre présente les caractéristiques culturelles des divers groupes ayant occupé ou susceptibles d'avoir fréquenté ce territoire.

Les archéologues du Nord-Est américain divisent l'histoire amérindienne en quatre grandes périodes : le Paléoindien, l'Archaïque, le Sylvicole et l'Historique. Ces périodes se distinguent les une des autres par des traits matériels, comme la présence ou non de poteries ou d'un type particulier d'outils, par la technologie et par des activités socioéconomiques, telles que les modes d'établissement, de subsistance et de déplacement. La reconstitution de l'histoire amérindienne, surtout pour la période préhistorique, est une démarche évolutive qui change constamment selon l'avancement des connaissances.

Pour ce qui est de la période historique, on la divise également en quatre ères : les explorateurs (de 1500 à 1608 AD), Régime français (de 1608 à 1760), le Régime anglais (de 1760 à 1867) et la Confédération canadienne (de 1867 à aujourd'hui).

3.1 La période préhistorique

3.1.1 Le peuplement initial, l'Archaïque moyen (7 000 à 4 000 ans AA)

Il est aujourd'hui considéré que le peuplement initial du littoral de la Moyenne-Côte-Nord débute vers 7 000 à 6 000 ans AA, que celui de la Basse-Côte-Nord remonte à environ 8 500 ans AA, tandis que la portion nord du Labrador a été atteinte vers 7 500 ans AA. En ce qui concerne la région de Fermont, il apparaît peu probable que l'on y découvre des sites paléoindiens ou encore archaïques anciens parce que ce territoire était encore recouvert de glace au moment où ces groupes fréquentaient le sud du Québec.

Pour ce qui est de l'Archaïque moyen, il est possible que les groupes qui fréquentaient l'est de la province avant 5 000 ans AA (Moyenne, Basse-Côte-Nord et Labrador) aient été distincts de ceux qui exploitaient la vallée du Saint-Laurent et la Haute-Côte-Nord à la même époque (Chevrier 1996a). Dans l'état actuel des connaissances, il semble que les

premiers groupes qui ont atteint le plateau central de Caniapiscou vers 4 000 ans AA provenaient de la Moyenne/Basse-Côte-Nord ou du Labrador. Ce serait donc eux qui, les premiers auraient exploré la région de Fermont, mais on ne sait pas encore à quand remonte le peuplement initial de cette région.

Un grand nombre de fonctions caractérisent les sites du littoral (vastes campements domestiques/petits campements satellites) et ils se distinguent par la présence de pointes pédonculées ou à encoches latérales fabriquées à partir de matériaux variés qui proviennent du Labrador, de Terre-Neuve ou encore des formations rocheuses régionales (quartz et quartzites). Aucun site de cette période n'a encore été trouvé dans la région.

3.1.2 L'Archaique récent (4 000 à 3 000 ans AA)

Les sites archéologiques de cette période se distinguent des précédents parce que l'on y associe habituellement une plus grande variété de matériaux lithiques et parce qu'ils contiennent des pointes à encoches latérales. Les travaux effectués le long de la rivière Sainte-Marguerite (à une centaine de kilomètres au sud) ont permis d'y identifier des campements datant de cette période (Cérane 2000). Dans l'état actuel des connaissances, il apparaît fort probable que le territoire à l'étude était fréquenté. En général, les sites de cette période trouvés le long de la Saint-Marguerite sont petits et ils témoignent d'activités ponctuelles.

3.1.3 Le Sylvicole inférieur (3 000 à 2 400 ans AA)

De 3 000 à 2 500 ans AA, les Amérindiens qui fréquentent la Moyenne et la Basse-Côte-Nord disposent d'une gamme très variée de matières premières lithiques provenant de régions parfois éloignées (Labrador, Terre-Neuve, Côte-Nord). À partir de cette grande variété de matériaux, ils fabriquent des outils tels : des pointes de trait à encoches latérales à base convexe ou rectiligne, des couteaux foliacés, des poinçons et forets-alésoirs, des herminettes en pierre polie. Ils utiliseront également des grattoirs, racloirs, coins et pièces esquillées. Leurs sites se caractérisent par l'aménagement de vastes campements dont certains couvrent plusieurs centaines de mètres carrés.

Même si le mode de subsistance de ces Amérindiens repose sur une exploitation étendue des ressources locales, leur culture matérielle témoigne aussi d'influences culturelles éloignées, dont certaines proviennent du sud-ouest de la vallée du Saint-Laurent (Meadowood [base carrée ou convexe] et Middlesex [petit pédoncule arrondi]).

Quoi qu'il en soit, on sait que des Amérindiens fréquentent à cette époque l'intérieur du Québec incluant le plateau central de Caniapiscau. Par conséquent, le secteur à l'étude est alors fort probablement utilisé comme axes de circulation et terroirs d'exploitation. Cela étant dit, les travaux archéologiques effectués le long des rivières Sainte-Marguerite et aux Pékans ne livrent pas beaucoup plus d'indices d'occupations pour cette période que pour la précédente (Cérane 2000).

3.1.4 Le Sylvicole moyen (2 400 à 1 000 ans AA)

En Haute-Côte-Nord, les sites de cette période livrent assez régulièrement des tessons de céramique dont la facture imite celle des vases trouvés le long de la vallée du Saint-Laurent. La céramique est plutôt rare en Moyenne-Côte-Nord et rare en Basse-Côte-Nord.

En Moyenne et en Basse-Côte-Nord, vers 2 500 ans AA, le quartzite du Labrador refait brusquement son apparition sur les sites amérindiens. Ce quartzite deviendra, à l'occasion, un des matériaux les plus fréquemment utilisés pour la confection des outils, en compagnie de certains cherts à grains fins originaires de Terre-Neuve et de certains matériaux locaux. L'apparence des outils se modifie, les pointes de trait et les couteaux auront dorénavant des formes foliacées à encoches latérales ou porteront un pédoncule divergent.

Le long de la Sainte-Marguerite, les sites de cette période sont un peu plus abondants, mais ils demeurent relativement petits (Cérane 2000). Par contre, dans la région de Caniapiscau, là où l'on trouve de grands lacs, les sites sont plus vastes et certains suggèrent une exploitation plus intensive du caribou (Denton 1983).

3.1.5 Le Sylvicole supérieur (1 000 à 400 ans AA)

Partout au Québec, cette période livre un nombre considérable de sites archéologiques. Il est fort probable que des groupes locaux sont installés dans la région et que celle-ci est

fréquentée régulièrement. Les matières premières lithiques exploitées varient considérablement d'une région à l'autre et le fait que certains matériaux soient plus spécifiquement associés à un territoire plutôt qu'à un autre suggère l'émergence d'identités régionales.

Les pointes sont, en général, petites et à l'occasion unifaciales. Les couteaux sont habituellement foliacés asymétriques et à base carrée, ils sont parfois taillés à même des éclats. Ces artefacts se distribuent autour de foyers, souvent ovales, et composés de pierres altérées par le feu, d'os calcinés et de charbons de bois. De plus, on note à l'occasion la présence d'habitations allongées, de type multifamilial. Les gens qui fréquentent alors les rives de la Sainte-Marguerite exploitent surtout le poisson et les gros mammifères (ex. caribous).

3.2 La période historique

3.2.1 Les explorateurs (1500 à 1608 AD)

À l'arrivée des explorateurs et des pêcheurs européens dans le golfe du Saint-Laurent, probablement au tout début du 16^e siècle, toute la Côte-Nord et son hinterland semblent être occupés par des Amérindiens de type innu/montagnais (figure 6). Si certaines informations sont disponibles pour les groupes qui fréquentaient le littoral, elles sont à peu près inexistantes pour l'intérieur des terres.

3.2.2 La Nouvelle-France (1608 à 1760 AD)

De simple comptoir commercial ouvert à la concurrence des marchands indépendants et des baleiniers avant 1608, la fondation de Québec officialise la mainmise de la France sur la Nouvelle-France. Toutefois, le royaume français n'y voit encore qu'un lieu de négoce et Tadoussac reste la principale zone d'échanges pour la traite des fourrures. Cela étant dit, l'importance grandissante de Québec à partir de 1615-1620 AD provoque le déclin de ce poste. Ailleurs en Côte-Nord, la traite demeure le lot de marchands indépendants et de pêcheurs saisonniers.

C'est au cours de cette période que l'on commence à nommer des bandes amérindiennes associées spécifiquement à la région. Ainsi, on considère que les Oumamiois (Chisedec, selon Speck 1931), d'ascendance algonquienne, fréquentent plus particulièrement la région de Sept-Îles et son hinterland immédiat, tandis que les Ouchestigouek, de même ascendance, habitent le secteur à l'étude (figure 7). Ces derniers étaient reconnus comme un peuple de l'intérieur dont le mode de vie était principalement basé sur la chasse aux gros mammifères et sur la pêche. Au cours de cette période, la présence européenne est trop ponctuelle pour affecter vraiment les modes de vie des Amérindiens. Toutefois, ceux-ci ont probablement accès à des produits européens par voie d'échanges et de partages.

À partir du milieu du 17^e siècle, de nombreux postes de traite sont établis le long du littoral de la Côte-Nord, du Labrador et à l'intérieur des terres (figure 8). Bien que la fonction principale de la plupart d'entre eux soit axée sur le commerce des fourrures, certains sont utilisés ou fréquentés par les religieux à des fins d'évangélisation.

Un premier poste est aménagé à Sept-Îles en 1650-1651, il servira également de mission qui au départ sera desservie par les prêtres de Tadoussac. La « Société des Sept-Îles » gérera un comptoir entre 1671-1684 (Dufour 1996). La présence de postes de traite et de lieux de culte le long du littoral pousse les Amérindiens de l'intérieur des terres à se déplacer plus fréquemment vers la côte. Quant à elle, la région immédiate de Baie-Comeau sera un peu négligée, les traiteurs préférant s'installer à Godbout, à Betsiamites et aux Îlets-Jérémie.

Les expéditions commerciales vers l'hinterland, en direction du secteur à l'étude, vont débiter à ce moment-là. Joliet, entre autres, se rend jusqu'au lac Ashuanipi vers la fin du 17^e siècle. Les marchands français cherchent alors des alliances avec les groupes de l'intérieur qui ne fréquentent pas la côte afin de se procurer leur fourrure. Pendant longtemps on a cru que les traiteurs français avaient établi un poste au lac Ashuanipi, mais cela est aujourd'hui mis en doute. Il y aurait eu commerce dans ce secteur, mais sans nécessairement qu'une habitation y soit construite (Niellon 1992).

Par la suite, d'autres postes sont bâtis dans la région, notamment à Hamilton Inlet par Fornel en 1743 (figure 8), puis près du lac Saint-Barnabé (ou Manicouagan) en 1749 (1730?). Pour diverses raisons commerciales, les expéditions à l'intérieur des terres ou les

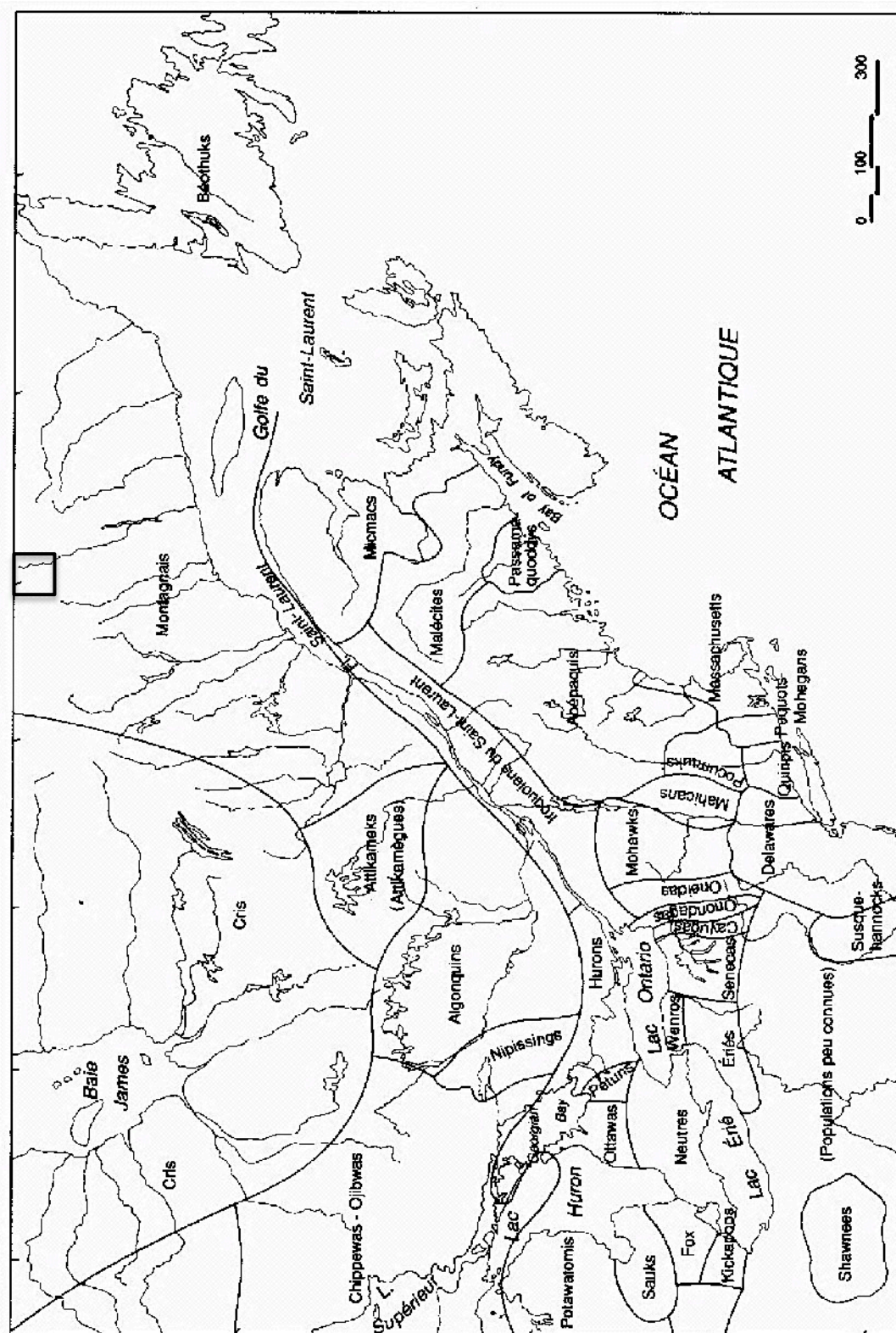


Figure 6 Les populations du Nord-Est américain au 16^e siècle (Vincent et Bouchard 1989) (le carré noir localise le secteur à l'étude)



Figure 8 Localisation des postes de traite établis dans la région (White 1926) (le carré noir localise le secteur à l'étude, souligné en bleu les postes de traite établis au cours du régime français, en brun ceux établis après 1760)

tentatives d'y établir des comptoirs vont cesser vers 1750. Les Amérindiens doivent alors effectuer le voyage vers la Côte-Nord ou la côte du Labrador pour échanger leur fourrure.

Ces relations commerciales et religieuses entre Français et Amérindiens apporteront une somme considérable d'informations sur la géographie de la région à l'étude et sur les peuples qui la fréquentent. C'est ainsi que les cartes de cette époque y soulignent la présence des Apitchgamiouetz et des Ouneskapiouetz (figure 9) (voir Mailhot 1983 pour une explication de ce terme).

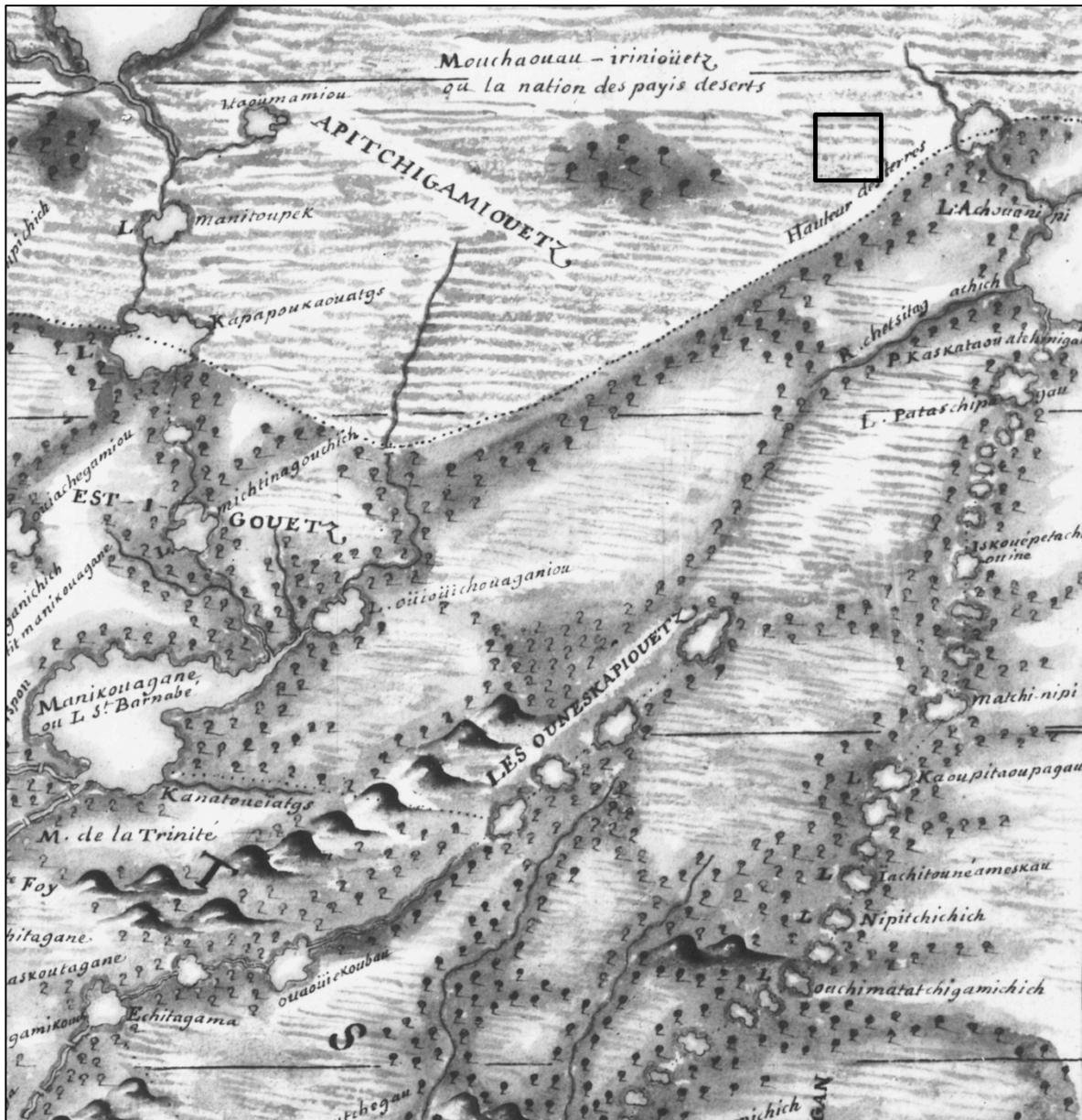
3.2.3 Le régime anglais (1760 à 1867 AD)

À court terme, la conquête anglaise n'a que peu d'influence sur l'usage de la Côte-Nord par les Européens ou les Eurocanadiens, si ce n'est que le commerce passe aux mains des Anglais. C'est ainsi qu'à partir de 1830, tous les postes de la Côte-Nord tombent sous la tutelle de la Compagnie de la Baie d'Hudson. C'est aussi à cette époque que les voyages des commerçants eurocanadiens reprennent vers l'intérieur des terres. De nouveaux postes de traite sont établis au nord de la région, notamment ceux de Winokapau, de Michikamau et de Nichikun (figure 8).

Les contacts Amérindiens-Européens deviennent plus fréquents et la culture matérielle des premiers se transforme graduellement, l'usage de la pierre comme matériau de base pour la fabrication des outils tombe en désuétude. Le mode de vie traditionnel n'est que peu touché, bien qu'il soit probable que la capture des animaux à fourrure occupe une place grandissante dans l'économie de subsistance.

3.2.4 La Côte-Nord (1867 à aujourd'hui)

Vers la fin du 19^e siècle, des géologues et des missionnaires circulent dans la région y décrivant les principaux lacs, les lieux d'établissement des autochtones et les plus importantes voies de circulation. Toutefois, ceux-ci n'accordent que peu d'importance au secteur à l'étude, ce dernier n'apparaissant pas sur leurs cartes ou dans leurs carnets de voyage. En 1863, l'explorateur Hind passe par la Moisie et ses tributaires orientaux pour atteindre le lac Ashuanipi et de là Hamilton Inlet (Hind 1863). Dans les années 1860, le



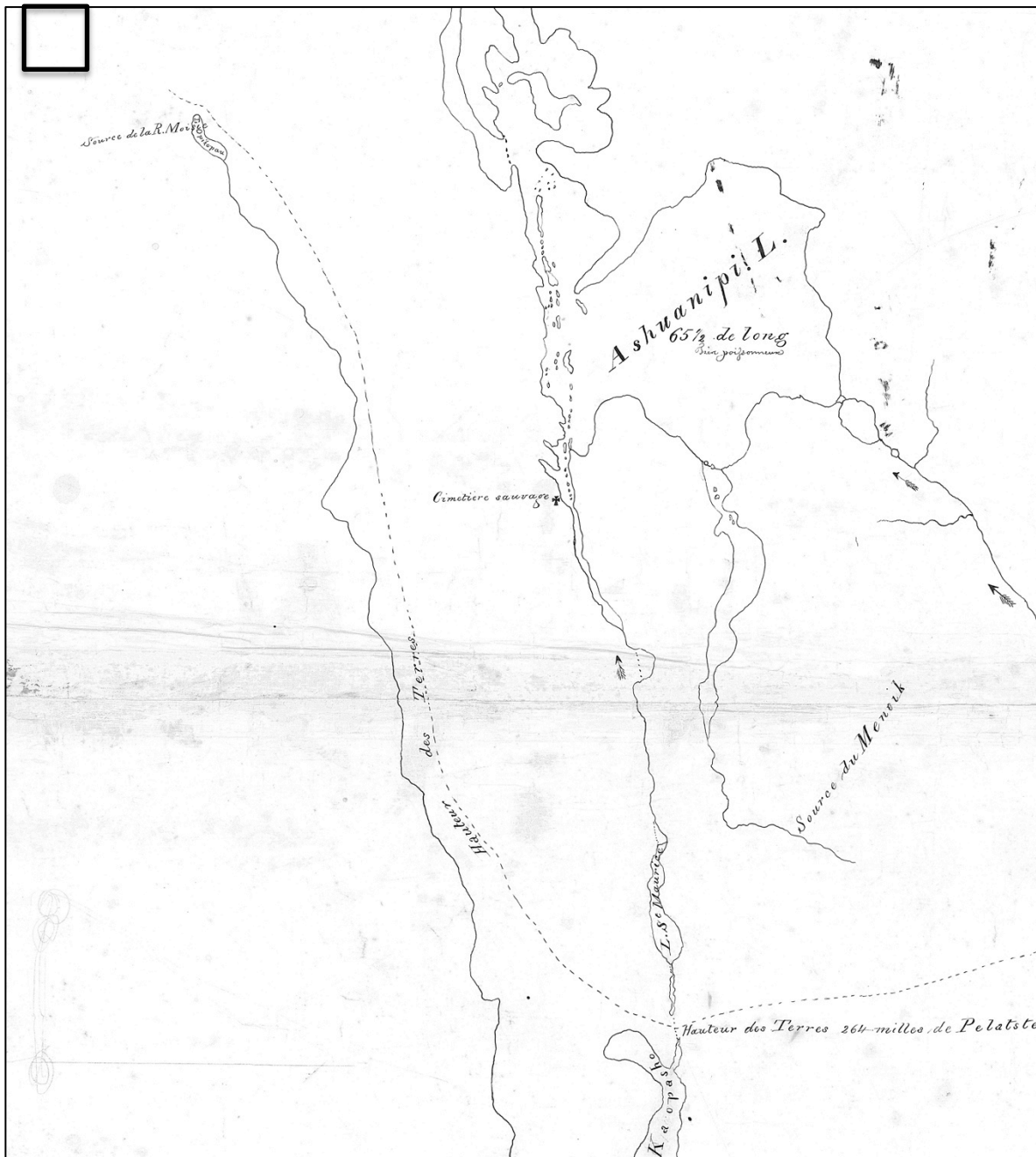


Figure 10 Routes suivies par le Père Babel pendant les années 1866, 1867, 1868, 1870 (Tremblay 1977) (le carré noir localise le secteur à l'étude)

« is an important gathering place for the Innu of the interior, because of the number of routes that center here...the standing poles of their wigwams, scattered everywhere along the shores and on the islands of the lake show that several families came here » (Hind 1863, voir aussi Holme 1888, Bouchard 1982).

Autant la présence eurocanadienne pouvait être qualifiée de sporadique jusqu'à maintenant, autant elle ira en s'intensifiant avec, comme conséquence pour les Montagnais, la perte d'une grande partie de leur territoire. D'importantes concessions forestières sont accordées à de riches marchands, tandis que le minerai de fer de l'intérieur de la péninsule attire les compagnies minières. Ce regain d'intérêt pour la région obligera le gouvernement à y dépêcher des arpenteurs afin de parfaire les connaissances sur ce territoire qui demeure mal connu jusque dans les années 1950 (figure 11, voir aussi page couverture). De nombreux portages sont alors relevés, dont certains à proximité du secteur à l'étude (figure 12). Ces portages sont représentatives des voies de circulation en usage dans la région (<http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/moisie-et-lacs/documents/pr3-fig10.pdf>).

L'anthropologue Speck produira une carte des terrains de chasse des Montagnais de cette région pour la première moitié du 20^e siècle et il semble que le secteur à l'étude chevauche plusieurs de ces territoires (figure 13), une situation qui s'apparente à l'actuel (figure 2).

L'accroissement démographique des Eurocanadiens, associé à leur usage de territoire de plus en plus vaste, provoque un fort mécontentement de la part des Montagnais. Le gouvernement tente d'apaiser leur ressentiment en leur donnant un subside, puis en créant des réserves, celle de Sept-Îles est fondée en 1906.

À partir des années 1950, l'exploration minière aura pour conséquence une transformation importante de la région, des mines seront ouvertes, des voies d'accès (chemins de fer et routes) seront construites et des villes se développeront dans le nord.

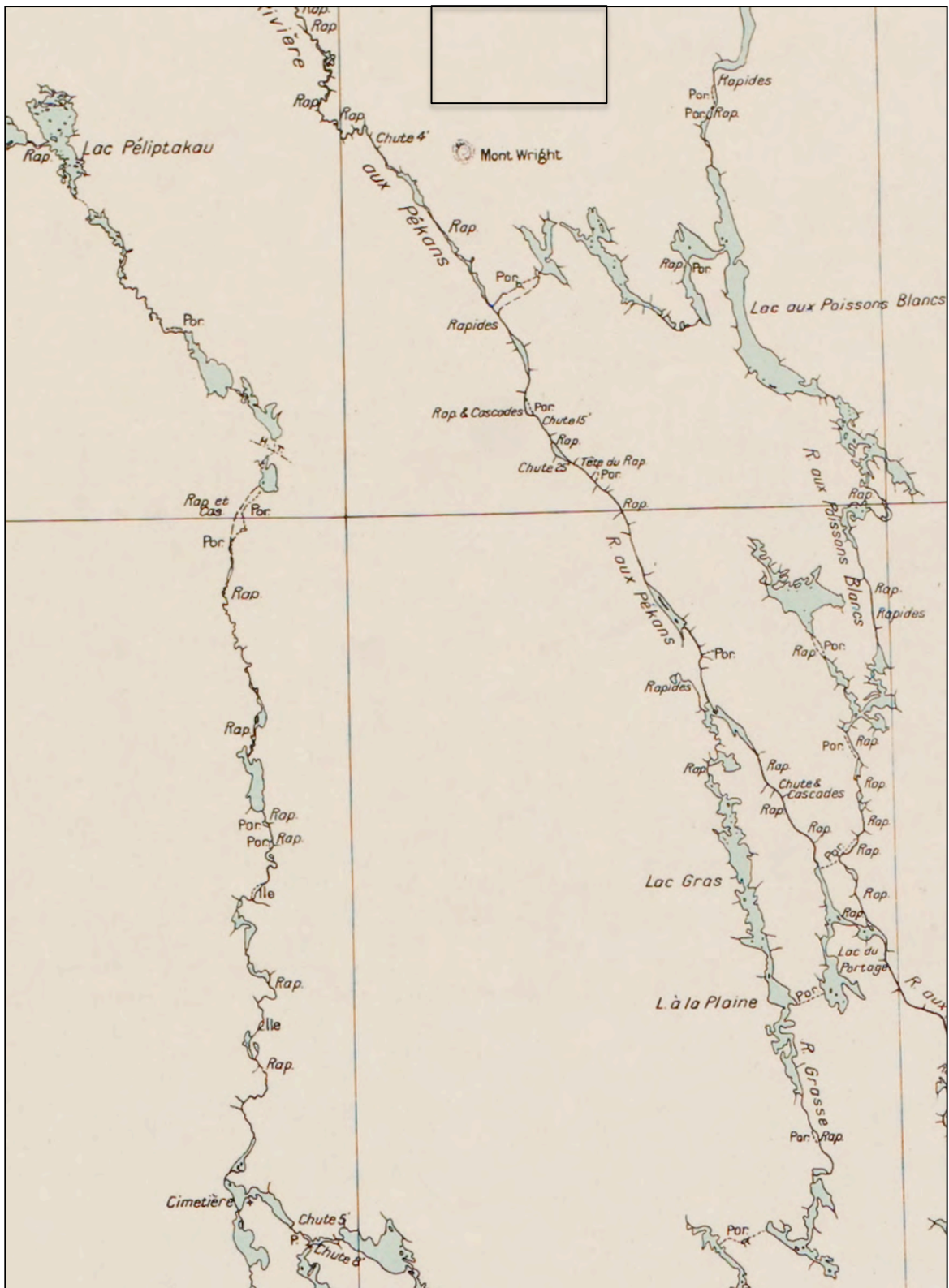


Figure 11 Localisation du secteur à l'étude sur une carte de 1934 (ministère des Terres et Forêts, Service des arpentages, extrait) (le carré noir localise le secteur à l'étude)

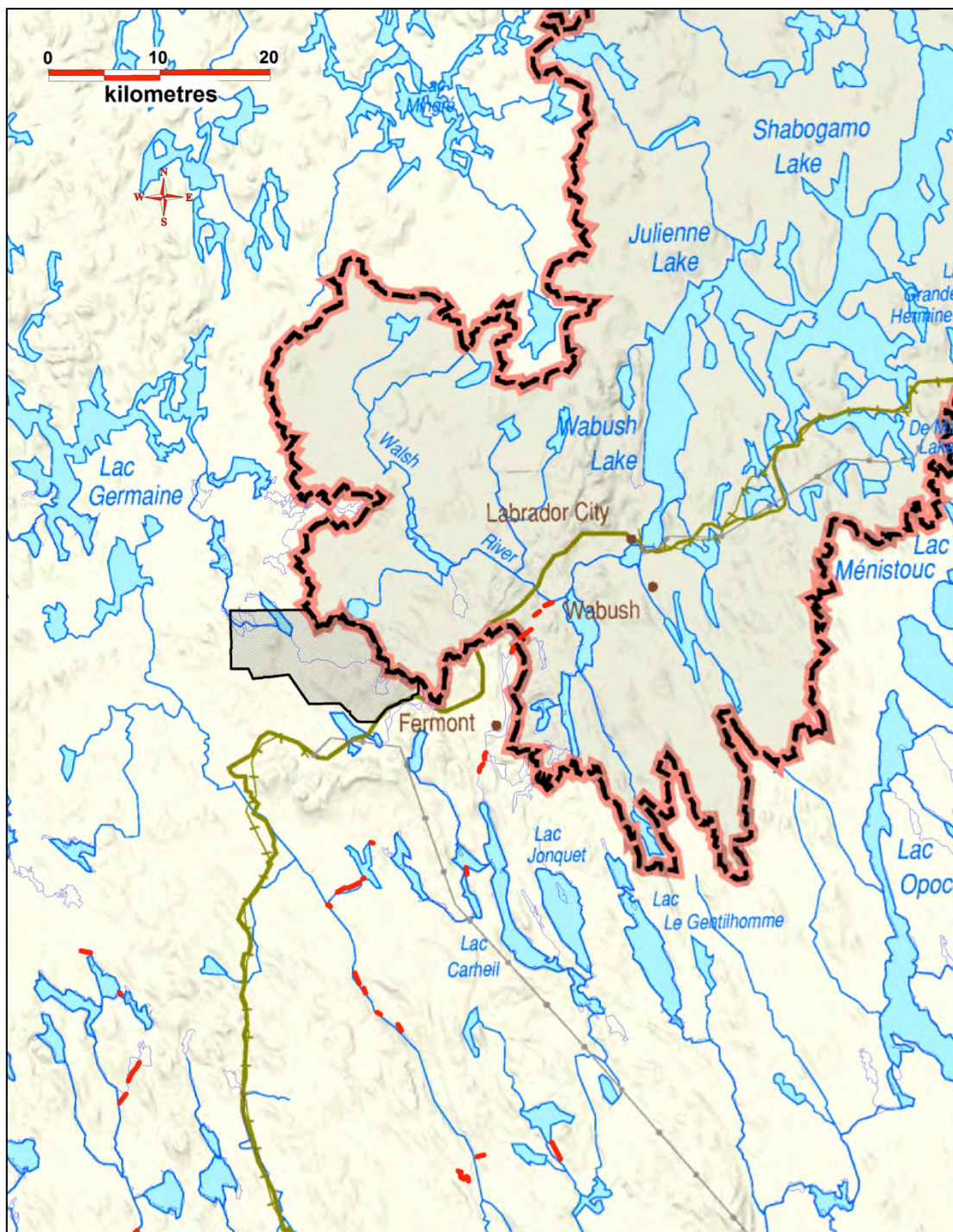


Figure 12 Localisation des portages identifiés à proximité du secteur à l'étude (traits rouges) (fonds de carte : Le Québec à l'échelle 1/1 000 000, Ressources naturelles Québec, Côte-Nord, extrait)

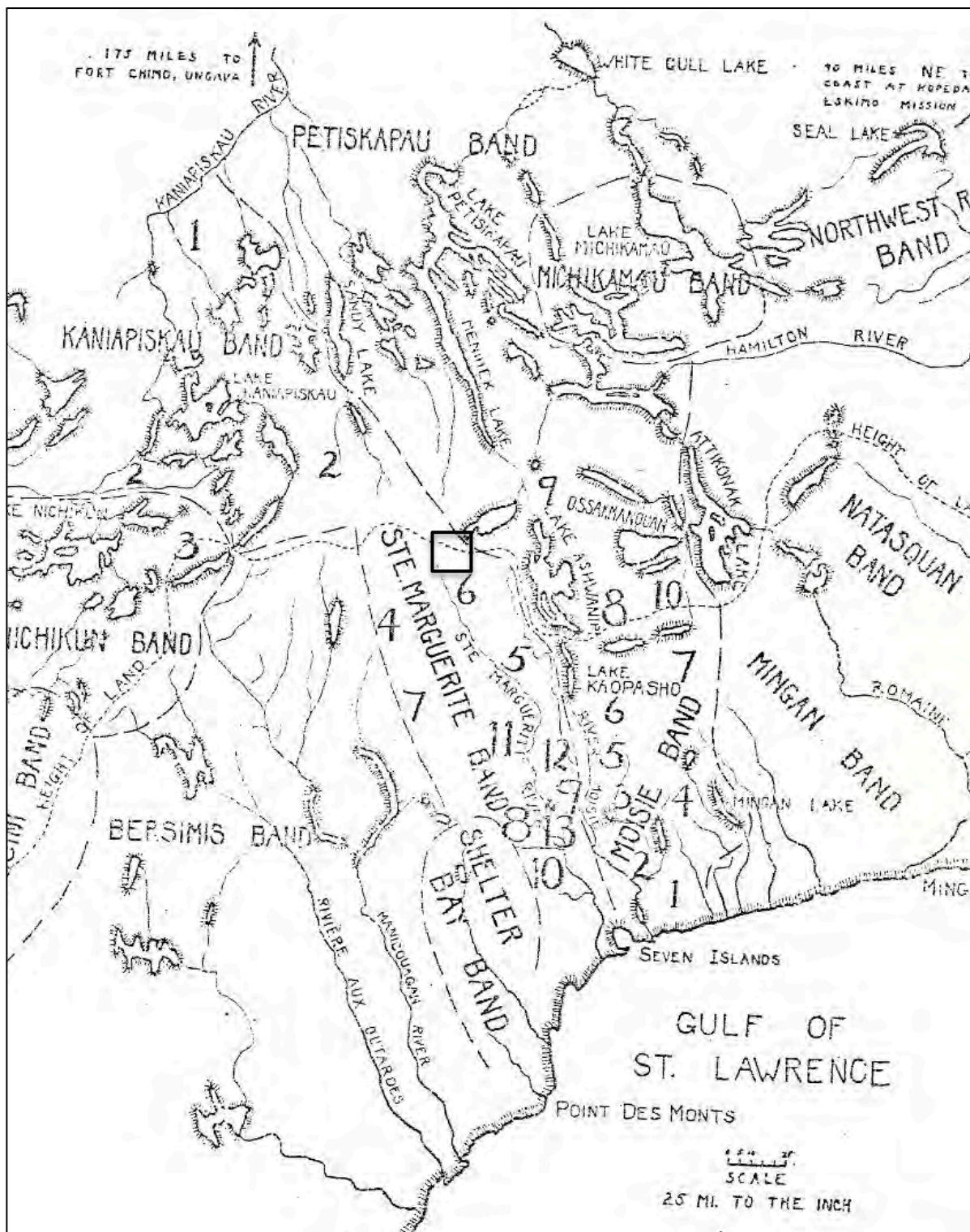


Figure 13 Localisation des territoires de chasse à proximité de la région à l'étude (Speck et Eisely 1942) (le carré noir localise le secteur à l'étude)

4.0 ÉTAT DES CONNAISSANCES ET POTENTIEL ARCHÉOLOGIQUE

4.1 État des connaissances en archéologie

Le potentiel archéologique du bassin versant de la rivière Sainte-Marguerite est abordé en détail dans une étude de Cérane (Cérane 1988). Une autre étude de potentiel a été réalisée pour le projet minier du lac Bloom (Pintal 2006). Des composantes associées à l'aménagement d'un lien ferroviaire entre la mine du lac Bloom et Labrador City ont également fait l'objet d'une évaluation (Pintal et Stopp 2007).

Du côté québécois, une seule zone fait l'objet d'un inventaire dans un rayon de cinq kilomètres du projet. Cette prospection était mandatée par la Société Hydro-Québec et elle a été effectuée dans le cadre du projet d'alimentation en électricité de la mine du lac Bloom (Arkéos 2011, tableau II). Au-delà de ce rayon de cinq kilomètres, de nombreuses prospections se sont déroulées dans la région. C'est ainsi que plusieurs sections de la route 389 ont été inventoriées dans le cadre de mandats donnés par le ministère des Transports du Québec (tableau II). Au sud, préalablement à la mise en œuvre du projet hydroélectrique SM-3 de la Société Hydro-Québec, des inventaires ont eu lieu le long de la rivière aux Pékans et sur certains lacs tributaires de cette dernière (Cérane 2000, Somcynski 1993, tableau II). Par ailleurs, des zones ont été inventoriées au Labrador, entre Wabush et Labrador City, soit avant la construction de la route Wabush-Ross Bay (Thomson 1983) et avant l'aménagement d'un chemin de fer (Neilsen 2009). D'autres ont aussi été prospectées près de Wabush dans le cadre d'un projet minier (Alderon Iron Ore Corp 2012).

Aucun site archéologique n'a été identifié à l'intérieur du secteur à l'étude. Cela étant dit, plusieurs sites préhistoriques et des campements (innus ou eurocanadiens) récents ont été trouvés au sud de ce dernier (Cérane 2000, Somcynski 1993) et deux autres l'auraient été à l'est, sur les rives du lac Wabush au Labrador (Thomson 1983). La présence de ces sites archéologiques dans les environs tend à indiquer que le potentiel de la région n'est pas négligeable (tableau III).

Tableau II : Liste des interventions archéologiques ayant été effectuées à ce jour à proximité du secteur à l'étude

Intervention	Secteur	Promoteur
Aecom 2010	Route 389	MTQ
Arkéos 2011	Fermont, lac Mogridge	Hydro-Québec
Alderon, Kami Iron ore Mine	Wabush	Alderon
Langevin (Subarctic) 2012	Route 389	MTQ
Neilsen 2009	Wabush-Labrador City	Consolidated Thomson Iron Mines
Patrimoine experts 2006, 2006b	Route 389	MTQ
Pintal 2001, 2008	Route 389	MTQ
Somcynski 1993	Bassin Sainte-Marguerite-rivière aux Pékans	Hydro-Québec
Thomson 1983	Wabush	Department of Works, Services and Transportation, Government of Newfoundland and Labrador

Tableau III : Caractéristiques des sites archéologiques identifiés à ce jour à proximité du secteur à l'étude

Code Borden	N	W	Dépôts	Distance plan d'eau	Élévation plan d'eau	Formation	Lieu	Notes
FcDs-001	52.463056	-67.145833	2	15	5	Esker	Pointe île	
FcDs-002	52.447222	-67.130278	2	30	3	Terrasse	Anse	
FcDs-003	52.440833	-67.127778	2	60	6	Replat	Pointe	Rapides
FcDs-004	52.4375	-67.129444	2	15	6	Replat	Pointe	Rapides
FcDs-005	52.475	-67.1578	2	25	2	Replat	Anse	
FcDs-006	52.408889	-67.119167	2	50	1	Terrasse	Pointe	
FcDs-007	52.358333	-67.108889	1A	30	2	Replat	Pointe	
FbDs-001	52.292222	-67.090556	2	4	2	Replat	Pointe	
FbDs-002	52.268611	-67.073333	1A	60	8	Terrasse	Pointe	Rapides
FbDs-003	52.3075	-67.093333	2	6	2	Terrasse	Pointe	
MT-11-1	52.4089	-67.1192	2		1	Replat	Pointe	Montagnais
MT-11-2	52.4089	-67.1192	2		3	Replat	Pointe	Indéterminé
MT-11-3	52.4472	-67.1303	2		3	Replat	Anse	Montagnais
MT-11-4	52.4089	-67.1192	2		2	Replat	Pointe	Indéterminé
MT-11-5	52.4472	-67.1303	2		1	Replat	Anse	Indéterminé
MT-11-6	52.4631	-67.1458	2		3	Replat	Anse	Indéterminé
MT-11-7	52.475	-67.157778	2		2	Replat	Anse	Montagnais
MT-12-1	52.2922	-67.0906	1A		1	Replat	Pointe	Indéterminé
MT-12-2	52.2922	-67.0906	2		1	Replat	Anse	Indéterminé
MT-12-3	52.2922	-67.0906	2		2	Replat	Pointe	Montagnais
MT-12-4	52.2922	-67.0906	1A		1	Replat	Pointe	Indéterminé
MT-12-5	52.2922	-67.0906	2		2	Replat	Anse	Montagnais
MT-12-6	52.2922	-67.0906	2		2	Replat	Pointe	Indéterminé
MT-12-7	52.3583	-67.1089	1A		2	Replat	Pointe	Indéterminé
MT-12-8	52.3583	-67.1089	2			Replat	Pointe	Indéterminé
MT-12-9	52.3583	-67.1089	1A			Replat	Pointe	Indéterminé

1A = tills indifférenciés; 2 = dépôts fluvioglaciaires

Les sites MT correspondent aux campements innus ou eurocanadiens récents pour lesquels aucun code

Borden n'a été accordé

4.2 La cartographie des zones de potentiel

Pour ce qui est du potentiel d'occupation, il a été tenu compte des données relatives à la localisation des sites connus. Ainsi, dans la totalité des cas, ceux-ci se trouvent sur les berges de lacs ou de rivières à moins de 60 m de l'eau. Ils occupent souvent des pointes (70 %), parfois des îles (3 %) ou encore simplement les rives des plans d'eau au fond d'une anse (27 %). La présence de rapides ou de goulots d'étranglement de rivières ou de lacs est un atout. Pour ce qui est des dépôts de surface, les sites se trouvent surtout sur des terrasses et des replats constitués de dépôts fluvioglaciaires, incluant des eskers (près de 80 %), le reste étant sur des terrasses et des replats composés de tills indifférenciés. Cette différence est assez importante étant donné que les tills prédominent largement dans la région. Mentionnons néanmoins que comme les prospections archéologiques ont principalement eu lieu le long des rivières, les dépôts fluvioglaciaires ont été « surinventoriés ».

Les recherches en archives ont permis de trouver quelques cartes qui réfèrent au secteur. Des portages y étaient localisés et leurs tracés ont été reportés sur le fond de carte au 1 : 50 000 (figure 12). En ne se basant que sur ces données, il semble que les principaux axes de circulation se situent à l'est et à l'ouest du secteur à l'étude.

En fonction des critères qui viennent d'être émis et de ceux apparaissant au tableau I, le potentiel archéologique du secteur a été défini à partir des principes suivants : Le potentiel est plus élevé :

- sur les replats ou terrasses bordant les plans d'eau;
- quand il y a des lacs importants et des rivières (hydrographie primaire et secondaire);
- quand il y a présence de rapides (pêche, portage);
- quand les dépôts de surface sont propices à un établissement (bon drainage, sable et gravier en premier, till en second);

- Les portages correspondent à des zones de potentiel parce qu'ils représentent des vestiges d'infrastructures historiques appelés à disparaître advenant que les travaux prévus aient lieu.

Si ces zones sont plus susceptibles de receler des sites archéologiques, il est considéré que le potentiel d'occupation de certaines autres est faible et ces dernières n'ont pas été retenues :

- Les zones référant au réseau hydrique tertiaire (extrémités de petits ruisseaux, lacs isolés, lacs encaissés);
- Les milieux éloignés de tout cours d'eau douce (100 m de distance et plus);
- Les segments littoraux rectilignes des lacs et des rivières;
- Les interfluves, à moins qu'ils aient pu servir de portage (axe présumé reliant deux cours d'eau d'importance);
- Les aires marécageuses et leur pourtour;
- Les bords de rivière et de lacs bosselés et accidentés;
- Les replats constitués de till mince ou encore de till sur roc;
- Les piémonts de falaise ou de montagnes aux flancs abrupts;
- Les sommets des crêtes rocheuses ou encore ceux recouverts de minces dépôts meubles.

Il demeure possible que des sites archéologiques soient présents dans ces environnements, mais, dans l'état actuel des connaissances, il est considéré que cette probabilité est faible.

Pour cartographier les zones de potentiel, on a recouru à un fond de carte numérique au 1 : 50 000. Les cartes des dépôts de surface du Service des inventaires forestiers ont été utilisées afin d'évaluer l'habitabilité du secteur. Les zones identifiées dans l'étude de 2006

ont été conservées, bien que leurs limites aient parfois été revues. On a aussi tenu compte du fait que les zones de potentiel qui avaient été retenues en 2006 le long du tracé de la ligne ferroviaire entre le lac Bloom et Labrador City ont fait l'objet d'un inventaire et qu'aucun site archéologique n'a été trouvé (Neilsen 2009). Il en va de même pour les zones prospectées au sud de Fermont (Alderon Iron Ore Corp. 2012). On a aussi considéré le fait que ces travaux n'ont pas abouti à la découverte de matériaux lithiques associés aux formations Wishart et Sokoman. Finalement, certaines données relatives à l'occupation du territoire ont été retenues.

C'est ainsi qu'il est maintenant considéré que le secteur à l'étude recèle neuf zones de potentiel (tableau IV), toutes situées dans la portion nord-ouest (figure 14). Par rapport au rapport de 2006, quelques zones ont été subdivisées et ajoutées.

Ailleurs, il est considéré que le potentiel est faible parce que les terrains sont rocheux ou en pente, parce que les lacs sont encaissés, parce que les aires tourbeuses sont nombreuses et parce qu'il s'agit d'un réseau hydrographique tertiaire.

Finalement, bien que les Formations de Sokoman et de Wishart soient présentes à l'intérieur des limites du secteur à l'étude, aucune recommandation d'inventaire au terrain n'est émise parce que ces formations affleurent soit à flanc de collines loin des plans d'eau ou encore à proximité de plans d'eau très encaissés. La rareté des failles dans ce secteur diminue la probabilité que ces formations aient été exploitées dans le secteur à l'étude. À noter que ces formations se profilent aussi au sud du lac Mogridge (hors secteur à l'étude) et que la présence de failles permet un meilleur accès à ces matériaux.

Tableau IV Description des zones de potentiel

No zone	Superficie (m ²)	Potentiel	Dépôt	Notes
1	22 749.51	Fort	1A	Embouchure lac-rivière, camp
2	6433.89	moyen	1A	Embouchure, lac-rivière
3	147 953.56	Fort	1A	Étranglement, lac-rivière, camp
4	74 150.16	Fort	1A	Étranglement, lac-rivière, camp
5	12 170.08	Moyen	1A	Étranglement, lac-rivière
6	7385.83	Moyen	1A	Étranglement, lac-rivière
7	10 472.49	Moyen	1A	Lac, pointe
8	17 655.68	Fort	1A	Étranglement, lac-rivière
9	21 483.35	Fort	1A	Étranglement, lac-rivière

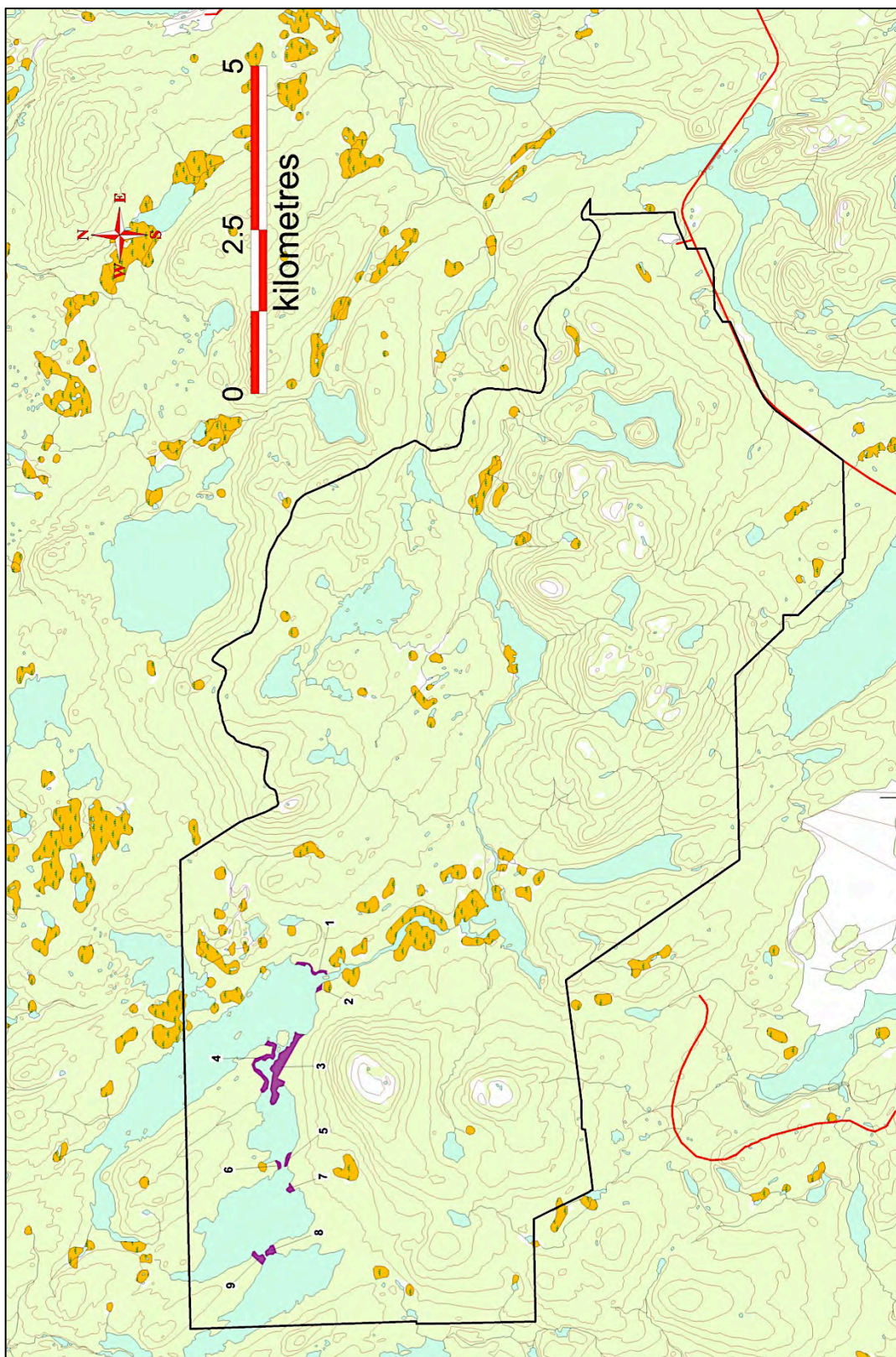


Figure 14 Localisation des zones de potentiel archéologique (base cartographique : CanVec, 23B05, 23B06, 23B11, 23B12, 1, 50 000, MCCCCF 2012 b)

CONCLUSION

Ce document avait pour but de prendre en considération les données archéologiques présentées dans l'étude de 2006 (Pintal 2006) et de les mettre à jour à la lumière des résultats des travaux effectués dans la région de Fermont au cours des cinq dernières années.

Après avoir décrit les méthodes d'analyse, les principales caractéristiques environnementales, passées et présentes de la zone à l'étude ont été exposées. S'en est suivi un chapitre explicitant les diverses phases de la présence amérindienne dans la région, du peuplement initial à la période historique. Ce point a aussi couvert les données relatives à une éventuelle occupation eurocanadienne.

Aucun site archéologique n'a été découvert à ce jour ni dans le secteur à l'étude, ni dans un rayon de cinq kilomètres. Pourtant des travaux archéologiques d'importance ont été faits dans la région, notamment du côté du Labrador. Cela étant dit, cette révision de l'étude de 2006 nous amène à considérer que le secteur à l'étude recèle maintenant neuf zones de potentiel, toutes situées au nord-ouest du secteur à l'étude. Pour ce qui est des formations rocheuses ayant pu intéressé les artisans tailleurs de pierre, leur localisation à flanc de colline et leur éloignement des cours d'eau accessibles, nous porte que ce secteur n'était pas des plus propices pour leur exploitation, ces formations affleurant ailleurs dans la région en bordure de cours d'eau plus accessible, notamment au sud de Fermont.

Aucune des zones de potentiel archéologique n'occupe les surfaces nécessaires pour augmenter la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers. Par conséquent, les travaux prévus peuvent être effectués sans conséquence pour le patrimoine archéologique.

Advenant que des travaux ultérieurs, non envisagés pour l'instant, recoupent l'une ou l'autre des zones identifiées dans cette étude, alors une prospection préalable au terrain devrait être fait. Cet inventaire, qui implique autant une inspection visuelle systématique que la réalisation de sondages manuels, devra être fait bien avant le début des travaux de

construction afin de permettre aux archéologues de mener à bien leur travail et, éventuellement, de procéder à la fouille des sites susceptibles d'être découverts.

OUVRAGES DE RÉFÉRENCE

- BANQ Bibliothèques et archives nationales du Québec (site internet – cartes numérisées)
BAGQ Bureau de l'arpenteur général du Québec
- AECOM
2010 Inventaire archéologique (automne 2008). Direction de la Côte-Nord. Direction générale de Québec et de l'Est. Projet d'exploitation d'une source de matériaux granulaires (gravier) au km 528 de la route 389. Rapport déposé au MCC, Québec.
- ALDERON, IRON ORE CORP
2012 Kami Iron Ore Mine & Rail Infrastructure, Labrador. Environmental Impact Statement, vol. I, part II.
- ARKÉOS
2011 Alimentation à 315 kV de la mine de fer du Lac-Bloom (Fermont). Inventaire archéologique. Rapport remis au MCC, Québec.
- ARMITAGE, P.
1990 Land Use and Occupancy among the Innu of Utshimassit and Sheshatshit. Report prepared for Innu Nation, Sheshatshit and Utshimassit.
- ARSENAULT, A., D. DANIS, É. FORBES, R. GAUDREAU ET S. PERREAULT
1994 Carte géotouristique, géologie de la Côte-Nord. Frem et Daem, Direction des communications, ministères des Ressources naturelles, Québec.
- ASSOCIATION DES ARCHÉOLOGUES DU QUÉBEC
2005 Répertoire québécois des études de potentiel. Québec.
- BIGGAR, H. P.
1901 The Early Trading Companies of New France: A Contribution to the History of Commerce and Discovery in North America. A. M. Kelley, New Jersey.
- BLANCHET, J., G. GUAY, et G. BOUCHER
1955 Levé de lacs et cours d'eau dans le bassin de la rivière Caniapiscou. BAGQ PL53231.
- BOUCHARD, S.
1982 Chroniques de chasse d'un Montagnais de Mingan; Mathieu Mestokosho. Québec, Ministère des Affaires Culturelles (Série Cultures Amérindiennes).
- CARON, D.
1984 Les postes de traite de fourrure sur la Côte-Nord et dans l'Outaouais, Dossier 56, ministère de la Culture et des Communications, Québec.
- CÉRANE
1988 Projet de la rivière Sainte-Marguerite, avant-projet, phase 1, Étude de l'utilisation du territoire, vol. 1 analyse et synthèse. Rapport inédit remis à la Vice-présidence Environnement, Hydro-Québec, Montréal.
- 1989 Projet de la rivière Sainte-Marguerite, avant-projet, phase 1, inventaire. Rapport inédit remis à la Vice-présidence Environnement, Hydro-Québec, Montréal.
- 2000 Aménagement hydroélectrique de Sainte-Marguerite 3, Analyses et synthèse des interventions archéologiques, 2 volumes. Rapport inédit remis à Hydro-Québec, Montréal.

- CHEVRIER, D.
1996a Les premières populations humaines : 8500 à 2000 ans AA. In P. Frenette (éd.) Histoire de la Côte-Nord, Institut québécois de recherche sur la culture, Québec.
-
1996 b Le partage des ressources du littoral : 2000 à 350 ans AA. in P. Frenette (éd.) Histoire de la Côte-Nord, Institut québécois de recherche sur la culture, Québec.
- CLARK, P. J.
1967 Région des lacs Gras et Félix. Rapport géologique 129. Ministère des richesses naturelles du Québec. Québec.
- DELANGLEZ, J.
1948 Life and Voyages of Louis Jolliet (1645-1700). Institute of Jesuit History, Chicago.
- DENTON, D.
1983 Recherche archéologique dans la région du réservoir Caniapiscau, rapport inédit remis à la SEBJ. Montréal et au ministère de la Culture et des Communications, Québec.
- DUBOIS, J-M. M
1996 Le milieu naturel. In P. Frenette (éd.) Histoire de la Côte-Nord, Institut québécois de recherche sur la culture, Québec.
- DUFOUR, P.
1996 De la Traite de Tadoussac aux King's Posts : 1650-1830 » in P. Frenette (éd.) Histoire de la Côte-Nord, Institut québécois de recherche sur la culture, Québec.
- DYKE, A. S., GIROUX, D., ROBERTSON, L.
2004 Paleovegetation maps of northern North America, 18 000 to 1000 BP. Commission géologique du Canada, dossier public 4682.
- FITZHUGH, W.W.
1972 Environmental Archaeology and Cultural Systems in Hamilton Inlet, Labrador. Smithsonian Contributions to Anthropology 16, Washington D.C.
- FULTON, R. J. et J. T. ANDREWS
1987 La calotte glaciaire laurentidienne, Géographie physique et quaternaire, XLI : 2
- GAUVIN, H. et F. DUGUAY (éds.)
1981 Méthodologies d'acquisition des données, actes du colloque sur les interventions archéologiques dans les projets hydroélectriques. Rapport inédit, Direction de l'environnement, Hydro-Québec, Montréal.
- HÉTU, B.
2008 Paléohydrologie à l'Holocène supérieur dans l'est du Québec (Canada) : l'apport des petits cônes alluviaux. <http://geomorphologie.revues.org/index5533.html>.
- HIND, H. Y.
1863 Explorations in the Interior of the Labrador Peninsula, the Country of the Montagnais and Nasquapee Indians. London.
- HOLME, R. F. W., SIR.
1888 Journey to the Interior of Labrador, 1887. Royal Geographical Society, Proceedings. Vol 10, pp. 189-205.
- LANGEVIN, É. (Subarctic)
2012 Inventaires archéologiques (2009). Direction de la Côte-Nord. Rapport déposé au MCC,

Québec.

LAURE, P.-M., et Sr. GUYOT

1733 Carte du Domaine du Roy en Canada. Dédicée à Monseigneur le Dauphin par le Père Laure Jésuite missionnaire de ces endroits mise au net et corrigée sur de bons mémoires par le Sr. Guyot, Président du grenier à Sel de Versailles 1733. Original propriété de Bibliothèque nationale de France, Paris.

LOW, A. P.

1896 Report on Explorations in the Labrador Peninsula along the East Main, Koksoak, Hamilton, Manicouagan, and portions of other Rivers in 1892-93-94-95. Geological Survey of Canada, Annual Report, 1895 (8).

MAILHOT, J.

1983 À moins d'être son Esquimaux, on est toujours le Naskapi de quelqu'un. Recherches amérindiennes au Québec XIII (2) : 84-100.

1993 Au Pays des Innu: Les Gens de Sheshatshit. Recherches Amérindiennes au Québec, Montreal.

McCAFFREY, M.

1988 Archaeology in the Schefferville region, summer 1985, rapport inédit remis au ministère de la Culture et des Communications, Québec.

1989 Archaeology in Western Labrador. In J. Callum et J. S. Thomson édés. Archaeology in Newfoundland and Labrador, Annual Report. 7, Historic Resources Division, St. John's, Newfoundland.

MINISTÈRE DE LA CULTURE ET DES COMMUNICATIONS

2013a Inventaire des sites archéologiques du Québec (ISAQ, carte 23B10, 23B11, 23B14, 23B15). Gouvernement du Québec, Québec.

MINISTÈRE DE LA CULTURE ET DES COMMUNICATIONS

2013 b Cartographie des sites et des zones d'intervention archéologiques du Québec (23B10, 23B11, 23B14, 23B15). Gouvernement du Québec, Québec.

MINISTÈRE DE LA CULTURE ET DES COMMUNICATIONS

2013c Répertoire du patrimoine culturel du Québec (RPCQ). Gouvernement du Québec, Québec.

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES

2010 Carte 23B14. SIGEOM, Québec.

NEILSEN, S.

2009 Bloom Lake Railway Project. Stage 2 Archaeology Assessment Final Report. Étude déposée à Consolidated Thompson Iron Mines Ltd. Montréal.

NIELLON, F.

1992 Le poste de traite du lac Ashuanipi, rapport inédit remis à la société historique du Labrador.

PARENT, M., J.-M. M. DUBOIS, P. BAIL, A. LAROCQUE et G. LAROCQUE

1985 Paléogéographie du Québec méridional entre 12 500 et 8 000 ans BP. Recherches amérindiennes au Québec 15 (1-2) : 17- 37.

PATRIMOINE EXPERTS

2006 Inventaires archéologiques, Direction de la Côte-Nord. Rapport déposé au ministère des Transports, Québec.

-
- 2006b Inventaires archéologiques, Direction de la Côte-Nord. Rapport déposé au ministère des Transports, Québec.
- PINTAL, J.-Y.
- 2001 Inventaires archéologiques, Direction de la Côte-Nord. Rapport déposé au ministère des Transports, Québec.
- 2006 Mine de fer du lac Bloom. Rapport sectoriel. Étude de potentiel archéologique. Étude remise à GENIVAR, Saguenay.
- 2008 Inventaires archéologiques, Direction de la Côte-Nord. Rapport déposé au ministère des Transports, Québec.
- 2012 Projet minier Champion Minerals. Étude de potentiel archéologique. Étude remise à Roche, Groupe-Conseil, Québec.
- 2012b Projet de mine de fer Fire Lake North – composante de projet : voie ferrée. Étude de potentiel archéologique. Étude remise à Roche, Groupe-Conseil, Québec.
- PINTAL, J.-Y. et M. STOPP
- 2007 Bloom Lake Iron Mine. Sectorial report. Historic Resources Assessment for the Bloom Lake Iron Project Railway, Labrador. Étude remise à GENIVAR, Saguenay.
- RICHARD, P. J. H.
- 2009 Histoire postglaciaire de la végétation. In Manuel de foresterie. Ordre des ingénieurs du Québec, Québec.
- SERVICE DES ARPENTAGES
- 1934 Côte Nord du Saint-Laurent. Ministère des Terres et Forêts, Québec.
- SERVICE DES INVENTAIRES FORESTIERS
- 2000 Cartes des dépôts de surface 23B05, 23B06, 23B11 et 23 B12. Ministère des Ressources naturelles, Québec.
- SIGEOM
- 2010 Cartes géologiques 23B10, 23B11, 23B14, 23B15. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec.
- SOMCYNSKI, P.
- 1993 Complexe de la rivière Sainte-Marguerite. Inventaire de zones archéologiques dans les secteurs 11 et 12 de la région des Monts et Tourbières 1992, rapport inédit remis à Hydro-Québec, Montréal, et au ministère de la Culture et des Communications, Québec.
- SPECK, F. G.
- 1931 Montagnais-Naskapi Bands and Early Eskimo Distribution in the Labrador Peninsula. American Anthropologist, XXXIII : 557-600.
- SPECK, F. G. et L. C. EISELEY
- 1942 Montagnais-Naskapis Bands and Family Hunting Districts of the Central and Southern Labrador Peninsula. Proceedings of the American Philosophical Society, LXXXV (2) : 215-242.
- SUBARCTIC
- 2012 Inventaires archéologiques, Direction de la Côte-Nord. Rapport déposé au ministère des Transports, Québec.

- THOMSON, C.
1983 Historic Resources Evaluation of the Proposed Road Corridor from Wabush to Ross Bay, Labrador. On file, Department of Works, Services and Transportation, Government of Newfoundland and Labrador.
- TREMBLAY, H.
1977 Journal des voyages de Louis Babel, 1866-1868, Les Presses de l'Université du Québec, Québec
- VINCENT, S. ET S. BOUCHARD
1989 Le système commercial autochtone et la traite des fourrures. Louise Sauvé (éd). Peuples autochtones de l'Amérique du Nord. Télé-Université, Québec.
- WHITE, J.
1926 Forts and Trading Posts in Labrador Peninsula and Adjoining Territory. Ottawa, F.A. Acland.

ANNEXE

14 ÉVALUATION DE LA RÉSILIENCE CLIMATIQUE DU PROJET

MINÉRAI 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





MINÉRAI 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

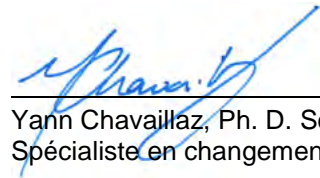
WSP CANADA INC.
1890, AVENUE CHARLES-NORMAND
BAIE-COMEAU (QUÉBEC) G4Z 0A8

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

WSP.COM

SIGNATURES

PRÉPARÉ PAR



Yann Chavailleaz, 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'entière 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

MINERAI 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.

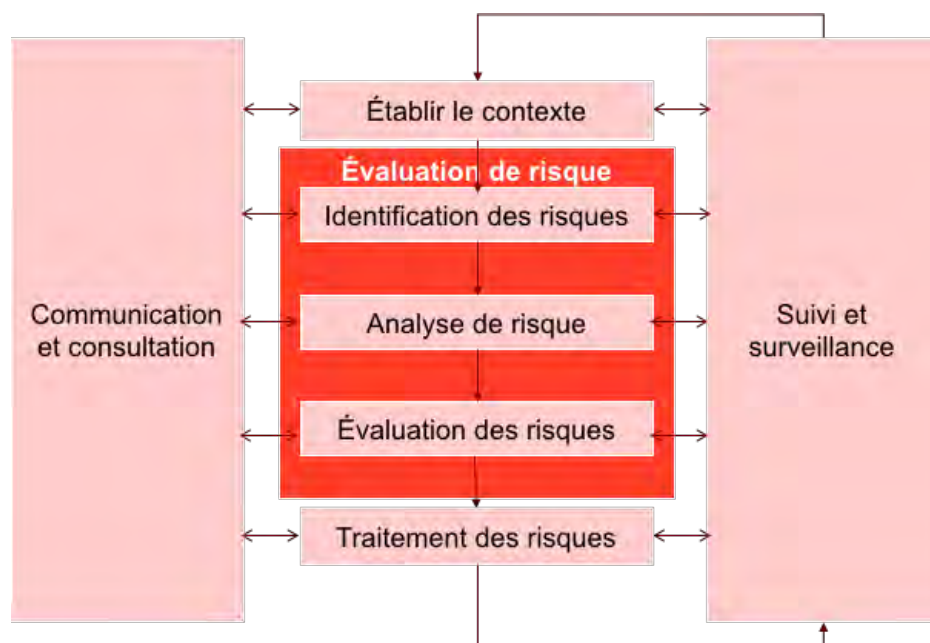


Figure 1. Gestion des risques selon la norme ISO 31000

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 agglomérées 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'utilisateur 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 agglomérées 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'utilisateur 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.

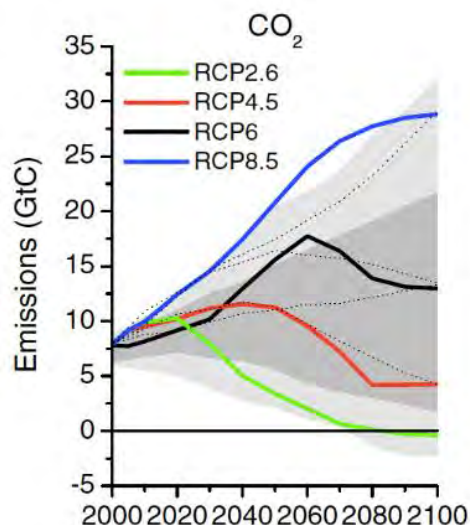
Ces deux premiers atlas présentent les projections climatiques en se basant sur une référence passée récente, un horizon à moyen terme et un horizon à long terme. Le nouvel Atlas du Canada définit ces périodes comme 1976-2005, 2021-2050 et 2051-2080. L'Atlas climatique d'Ouranos utilise 1981-2010, 2041-2070 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 * Survivra 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 * Survivra 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 * Survivra 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 * Survivra 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 complétion 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'infiltration 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

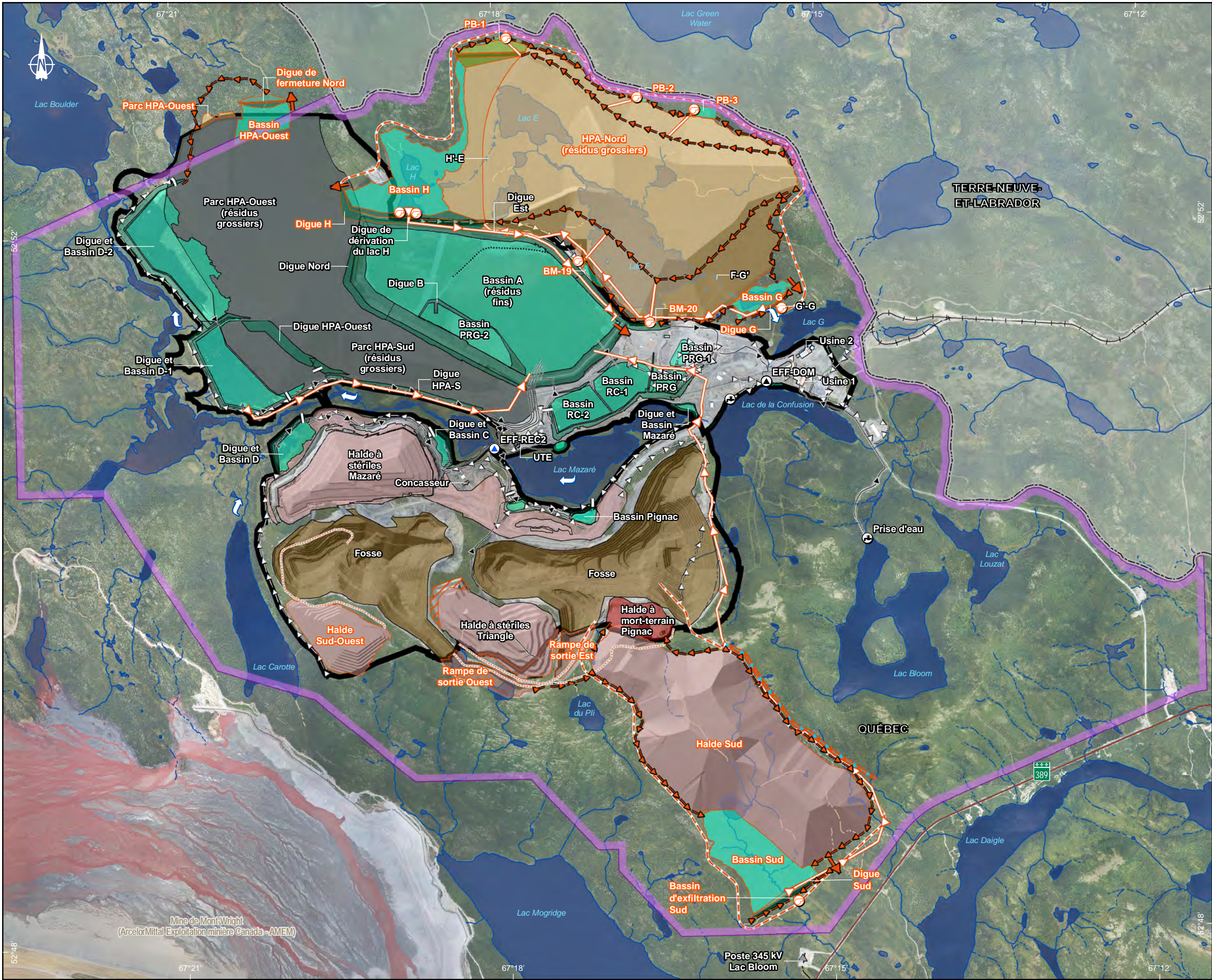
Composante	Éléments potentiellement vulnérables aux changements climatiques		
	Phase de construction	Phase d'exploitation	Phase de fermeture
Sociale	- Travailleurs	- Travailleurs et résidents	- Travailleurs
Économique	<ul style="list-style-type: none"> - Bâtiments et leur emprise - Bassins et structures 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.



Composante du site minier

Existante ou À autoriser autorisée

	Effluent final
	Effluent sanitaire
	Pompe
	Prise d'eau
	Déversoir d'urgence
	Chemin
	Chemin de halage
	Conduite
	Fossé
	Fossé de dérivation
	Bassin
	Digue
	Digue de déposition
	Fosse
	Halde à mort-terrain
	Halde à stériles
	Parc à résidus

Hydrographie

Sens d'écoulement de l'eau

Écoulement

Canal
 Intermittent partiellement souterrain
 Intermittent
 Permanent partiellement souterrain
 Permanent

Infrastructure

Poste électrique
 Ligne de transport d'énergie
 Route nationale
 Route locale
 Chemin de fer

Limite

Frontière interprovinciale
 Limite du bail minier (MFQ) Superficie autorisée

MINÉRIE DE FER QUÉBEC
QUÉBEC IRON ORE

Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers

Évaluation de la résilience climatique du projet

Carte 1

Infrastructures projetées et existantes

Sources :
BDTQ, 1:20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1:50 000, RNCan, 2014
AORéseau+, réseau routier, MERN, 2016
SDA, 1:20 000, MRNF Québec, avril 2015
Orthophotographie, 10 cm, PHB 2018

0 400 800 m
UTM, fuseau 19, NAD83

Préparation : L. Bouchard
Dessin : M. Leclair
Vérification : J.-F. Poulin
MFQ_ele_anx_c1_247_c1_climat_wsp_190724.mxd

Juillet 2019

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
				Faible confiance	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
				Moyenne confiance	Augmentation : Bonne (RCP8.5)	2 (5)
Date du premier gel automnal	10 sept. [29 août – 4 sept.]	18 sept. [4 sept. – ^{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
				Moyenne confiance	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
				Moyenne confiance	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
				Moyenne confiance	Pas de changement : Moyenne	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]	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.	Pas de changement : Très haute	Inondations Augmentation de la variabilité des précipitations
				Moyenne confiance	Pas de changement : Moyenne	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]	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.	Augmentation : Haute (RCP8.5)	Inondations Augmentation de la variabilité des précipitations
				Moyenne confiance	Pas de changement : Moyenne	2 (3)
Maximum du cumul journalier de précipitations, temps de retour de 2 ans (mm)	34 [29 – 38]	40 [36 – 46]	43 [36 – 50]	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.	Mêmes statistiques qu'à moyen terme	Inondations Augmentation de la variabilité des précipitations
				Bonne confiance	Mêmes statistiques qu'à moyen terme	5 (5)
Maximum du cumul journalier de précipitations, temps de retour de 25 ans (mm)	57 [49 – 69]	70 [63 – 91]	77 [62 – 91]	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.	Mêmes statistiques qu'à moyen terme	Inondations Augmentation de la variabilité des précipitations
				Bonne confiance	Mêmes statistiques qu'à moyen terme	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]	Haute : Selon le scénario RCP8.5, la tendance moyenne et les intervalles sont à la baisse. Ces changements seront significatifs d'ici 10 ans.	Augmentation : Très haute	Augmentation de la variabilité des précipitations Sécheresse des sols
				Bonne confiance	Pas de changement : Bonne	4 (5)
Régime des vents et orageux (éclaircs)	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.

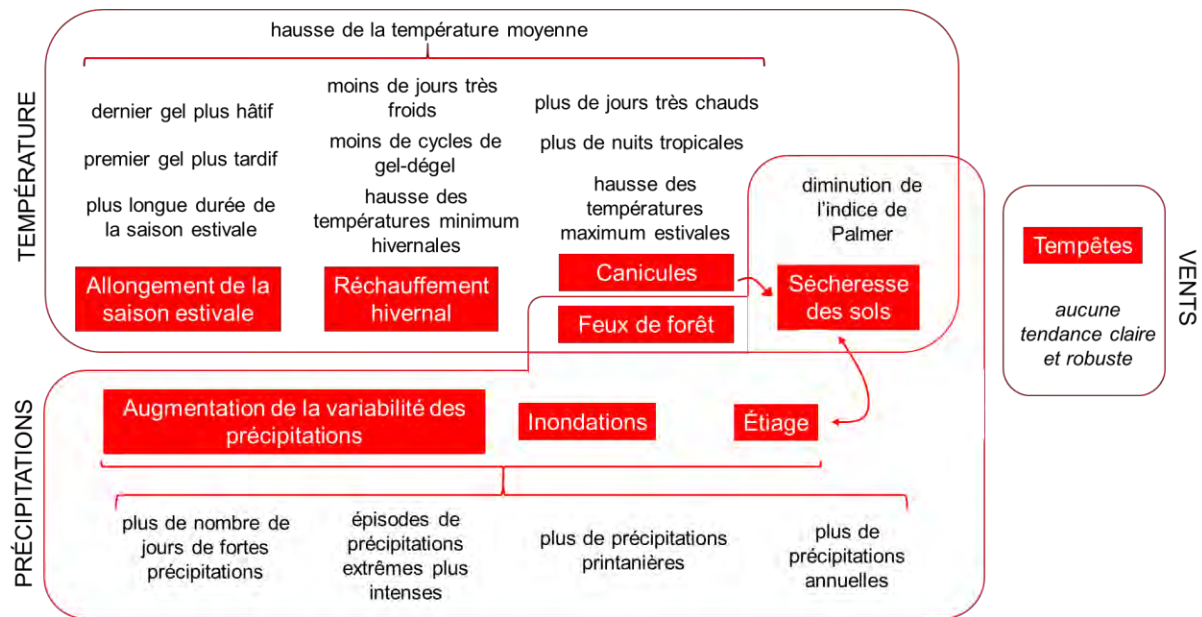


Figure 3. Liens entre les aléas et les tendances des indicateurs climatiques

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 liés à la température et ceux liés 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 étiages; 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				- 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) - Dégradation accélérée des équipements et entretiens plus fréquents (I) - Augmentation de la fréquence des étiages (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 haldes, 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 étiages; 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	- Débroussaie 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 étiages 	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) - Hausse de la 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	1976-2005 Moyenne	2021-2050			2051-2080		
			faible	moyenne	haute	faible	moyenne	haute
Précipitations	Annuel	884	808	968	1151	861	1032	1223
Précipitations	Printemps	162	124	191	281	137	203	293
Précipitations	Été	295	219	301	400	222	311	416
Précipitations	L'automne	253	200	280	370	210	298	394
Précipitations	Hiver	171	125	196	275	147	220	306
Température moyenne (°C)	Annuel	-2.8	-2.6	-0.8	1.4	-0.6	1.6	4.3
Température moyenne (°C)	Printemps	-4.2	-5.6	-2.5	0.6	-4	-0.4	3.5
Température moyenne (°C)	Été	12.1	12.1	13.8	15.8	13.5	16	18.8
Température moyenne (°C)	L'automne	-0.2	-0.3	1.8	3.8	1.4	3.7	5.9
Température moyenne (°C)	Hiver	-19.3	-20.2	-16.4	-12	-17.4	-13.1	-8.5
Nuits tropicales	Annuel	0	0	0	0	0	0	3
Les jours très chauds (>30°C)	Annuel	0	0	0	3	0	2	13
Jours très froids (<-30°C)	Annuel	28	4	14	35	1	6	23
Date du dernier gel printanier	Annuel	juin 10	mai 19	juin 4	juin 20	mai 10	mai 23	juin 8
Date du premier gel automnal	Annuel	sept. 9	sept. 8	sept. 21	oct. 4	sept. 16	sept. 29	oct. 14
Saison sans gel (days)	Annuel	91	83	109	134	106	130	153

RCP4,5 : une faible teneur en carbone

Les émissions diminues significativement

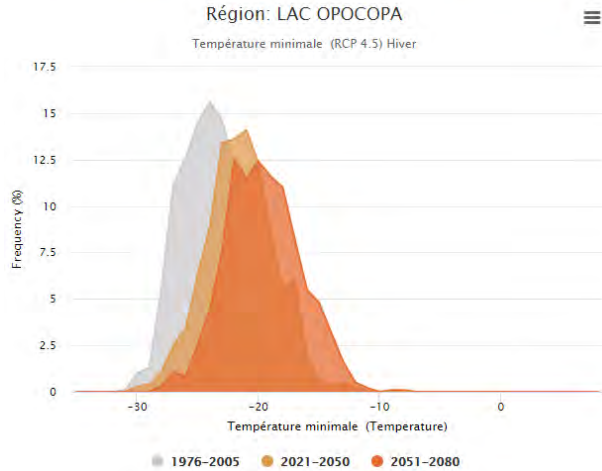
Variable	Période	1976-2005 Moyenne	2021-2050			2051-2080		
			faible	moyenne	haute	faible	moyenne	haute
Précipitations	Annuel	884	804	956	1113	803	974	1153
Précipitations	Printemps	162	121	183	274	121	187	277
Précipitations	Été	295	228	306	402	221	306	397
Précipitations	L'automne	253	197	273	367	196	279	380
Précipitations	Hiver	171	130	194	266	134	202	277
Température moyenne (°C)	Annuel	-2.8	-3	-1.1	0.7	-2	0.1	2.3
Température moyenne (°C)	Printemps	-4.2	-6	-2.7	0.7	-5.2	-1.8	1.9
Température moyenne (°C)	Été	12.1	11.7	13.6	15.4	12.3	14.6	16.9
Température moyenne (°C)	L'automne	-0.2	-0.7	1.3	3.2	0.4	2.3	4.3
Température moyenne (°C)	Hiver	-19.3	-20.8	-16.8	-12.6	-19.4	-15.1	-10.8
Nuits tropicales	Annuel	0	0	0	0	0	0	1
Les jours très chauds (>30°C)	Annuel	0	0	0	3	0	1	6
Jours très froids (<-30°C)	Annuel	28	6	16	34	3	11	30
Date du dernier gel printanier	Annuel	juin 10	mai 23	juin 4	juin 19	mai 13	mai 30	juin 12
Date du premier gel automnal	Annuel	sept. 9	sept. 4	sept. 18	sept. 30	sept. 9	sept. 23	oct. 4
Saison sans gel (days)	Annuel	91	79	105	126	92	116	140

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



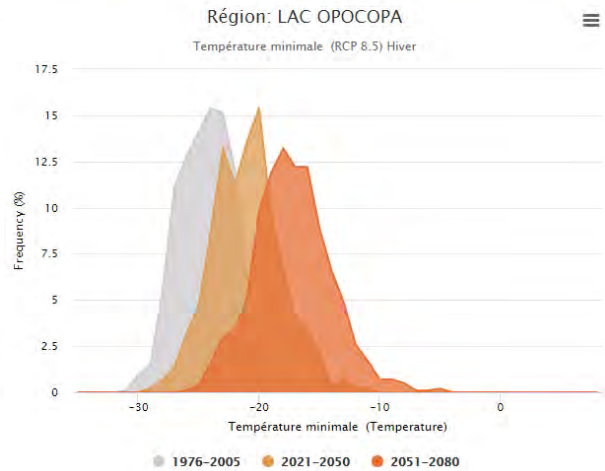
Température minimale (RCP 4.5) Hiver Moyenne

Passé récent 1976-2005 → L'avenir immédiat 2021-2050 → Le proche avenir 2051-2080
-24.8 °C → **-21.9 °C** → **-20.1 °C**



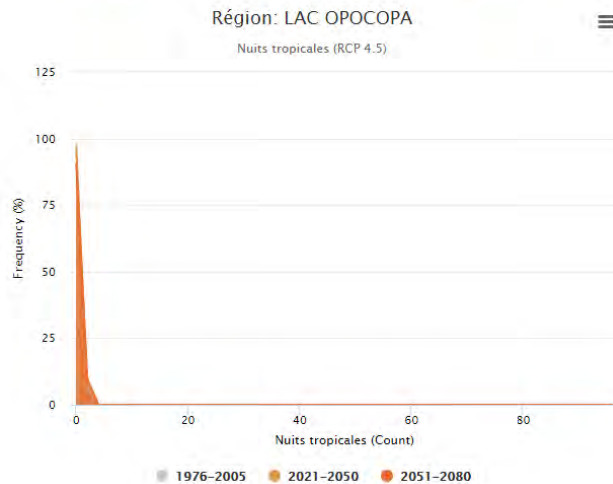
Température minimale (RCP 8.5) Hiver Moyenne

Passé récent 1976-2005 → L'avenir immédiat 2021-2050 → Le proche avenir 2051-2080
-24.8 °C → **-21.5 °C** → **-17.8 °C**



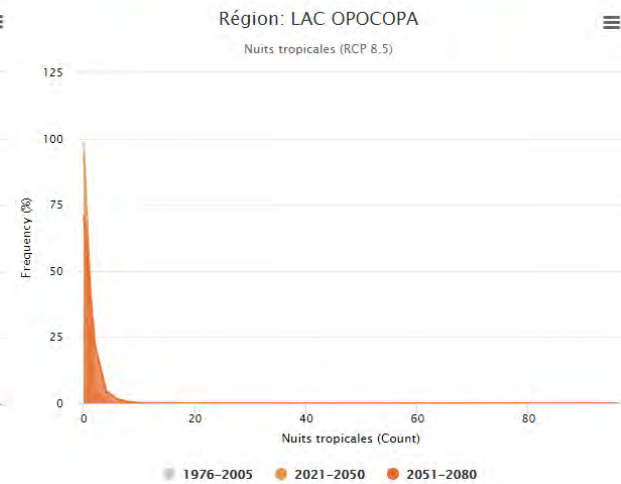
Nuits tropicales (RCP 4.5) Moyenne

Passé récent 1976-2005 → L'avenir immédiat 2021-2050 → Le proche avenir 2051-2080
0.0 → **0.0** → **0.0**



Nuits tropicales (RCP 8.5) Moyenne

Passé récent 1976-2005 → L'avenir immédiat 2021-2050 → Le proche avenir 2051-2080
0.0 → **0.1** → **0.2**



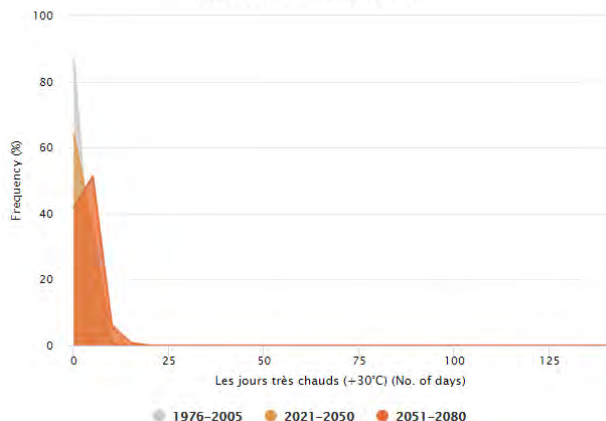
Les jours très chauds (+30°C) (RCP 4.5)

Moyenne

Passé récent 1976-2005 → L'avenir immédiat 2021-2050 → Le proche avenir 2051-2080
0.1 → **0.3** → **0.7**

Région: LAC OPOCOPA

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



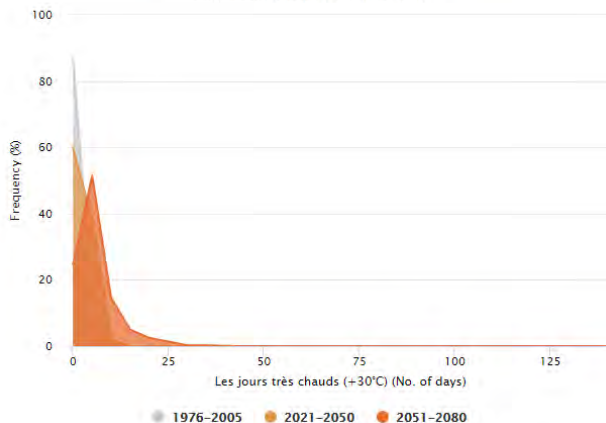
Les jours très chauds (+30°C) (RCP 8.5)

Moyenne

Passé récent 1976-2005 → L'avenir immédiat 2021-2050 → Le proche avenir 2051-2080
0.1 → **0.3** → **2.1**

Région: LAC OPOCOPA

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



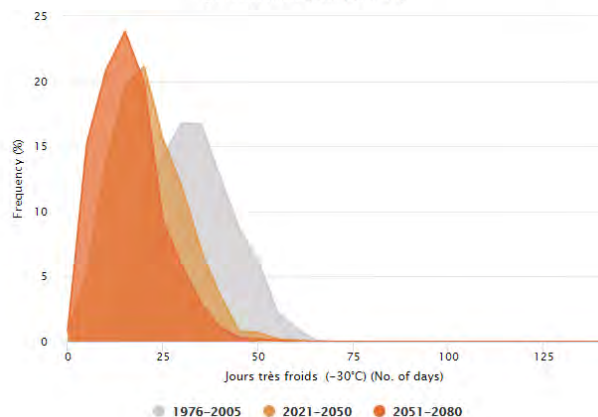
Jours très froids (-30°C) (RCP 4.5)

Moyenne

Passé récent 1976-2005 → L'avenir immédiat 2021-2050 → Le proche avenir 2051-2080
28.4 → **16.0** → **11.1**

Région: LAC OPOCOPA

Jours très froids (-30°C) (RCP 4.5)



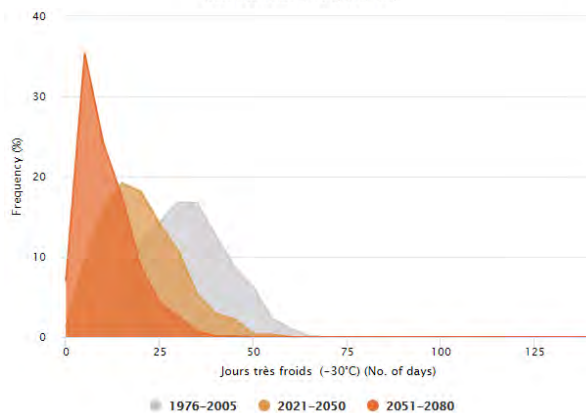
Jours très froids (-30°C) (RCP 8.5)

Moyenne

Passé récent 1976-2005 → L'avenir immédiat 2021-2050 → Le proche avenir 2051-2080
28.4 → **14.2** → **5.7**

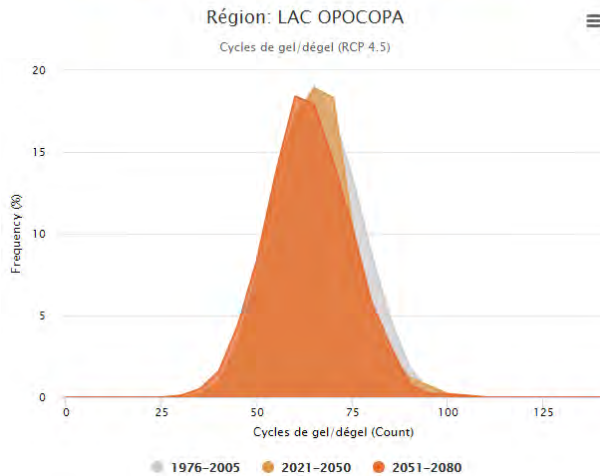
Région: LAC OPOCOPA

Jours très froids (-30°C) (RCP 8.5)



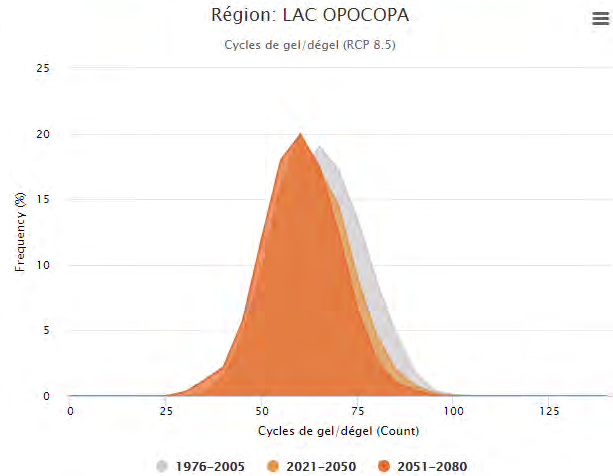
Cycles de gel/dégel (RCP 4.5) Moyenne

Passé récent 1976-2005 → L'avenir immédiat 2021-2050 → Le proche avenir 2051-2080
65.1 → **63.4** → **61.6**



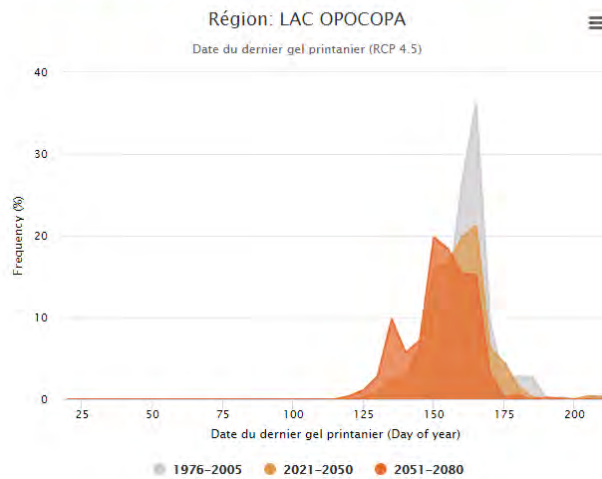
Cycles de gel/dégel (RCP 8.5) Moyenne

Passé récent 1976-2005 → L'avenir immédiat 2021-2050 → Le proche avenir 2051-2080
65.1 → **61.3** → **58.2**



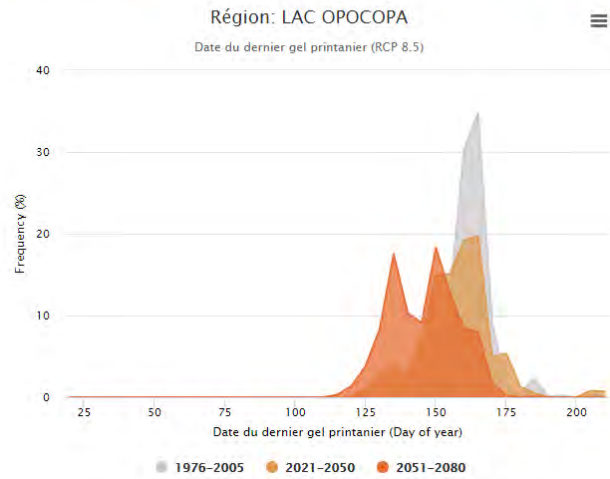
Date du dernier gel printanier (RCP 4.5) Moyenne

Passé récent 1976-2005 → L'avenir immédiat 2021-2050 → Le proche avenir 2051-2080
June 10 → **June 5** → **May 30**



Date du dernier gel printanier (RCP 8.5) Moyenne

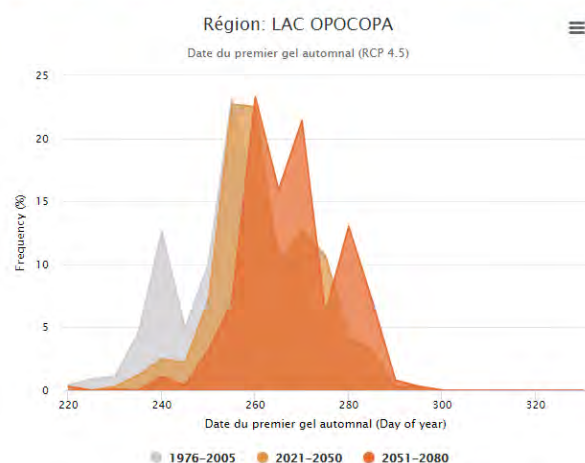
Passé récent 1976-2005 → L'avenir immédiat 2021-2050 → Le proche avenir 2051-2080
June 10 → **June 4** → **May 23**



Date du premier gel automnal (RCP 4.5)
Moyenne

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

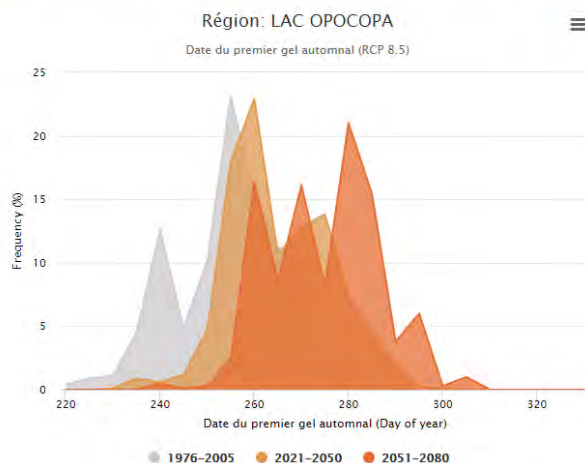
Sep. 10 → Sep. 18 → Sep. 23



Date du premier gel automnal (RCP 8.5)
Moyenne

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

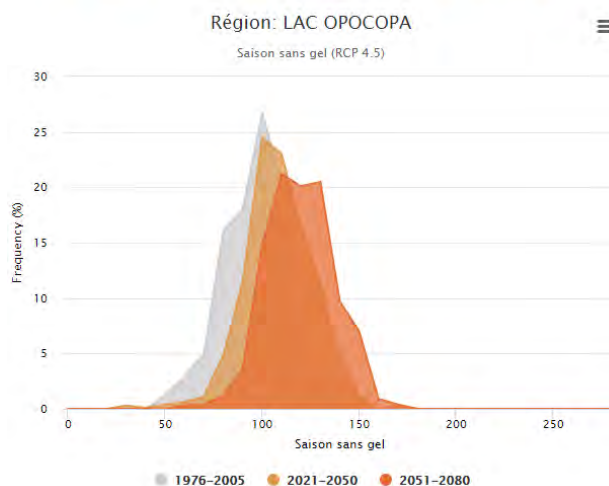
Sep. 10 → Sep. 21 → Sep. 30



Saison sans gel (RCP 4.5)
Moyenne

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

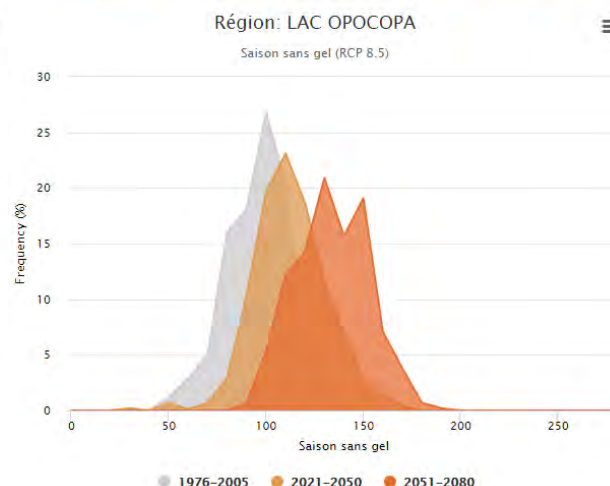
91.3 → 105.4 → 116.1



Saison sans gel (RCP 8.5)
Moyenne

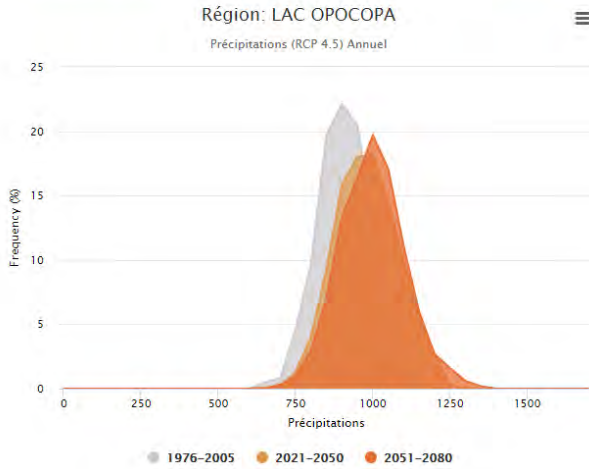
Passé récent 1976-2005 → L'avenir immédiat 2021-2050 → Le proche avenir 2051-2080

91.3 → 109.1 → 129.5



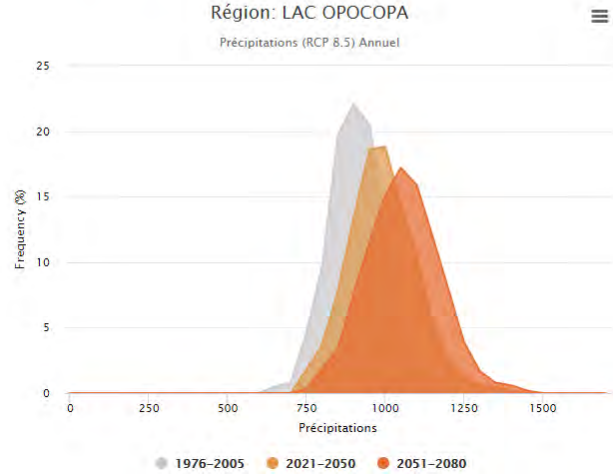
Précipitations (RCP 4.5) Annuel Moyenne

Passé récent 1976-2005 → L'avenir immédiat 2021-2050 → Le proche avenir 2051-2080
883.8 → **955.7** → **974.0**



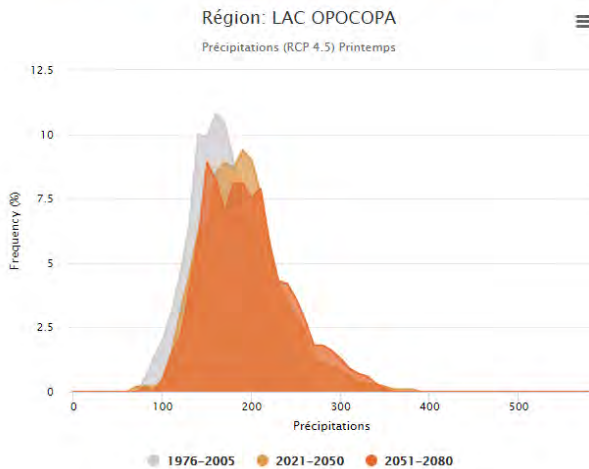
Précipitations (RCP 8.5) Annuel Moyenne

Passé récent 1976-2005 → L'avenir immédiat 2021-2050 → Le proche avenir 2051-2080
883.8 → **967.9** → **1032**



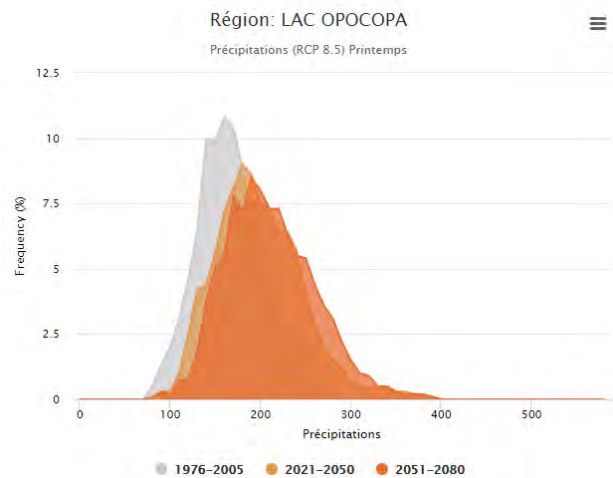
Précipitations (RCP 4.5) Printemps Moyenne

Passé récent 1976-2005 → L'avenir immédiat 2021-2050 → Le proche avenir 2051-2080
162.2 → **183.1** → **187.4**



Précipitations (RCP 8.5) Printemps Moyenne

Passé récent 1976-2005 → L'avenir immédiat 2021-2050 → Le proche avenir 2051-2080
162.2 → **191.3** → **203.3**



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

Moyenne

Passé récent
1976-2005

3.2



L'avenir immédiat
2021-2050

4.2

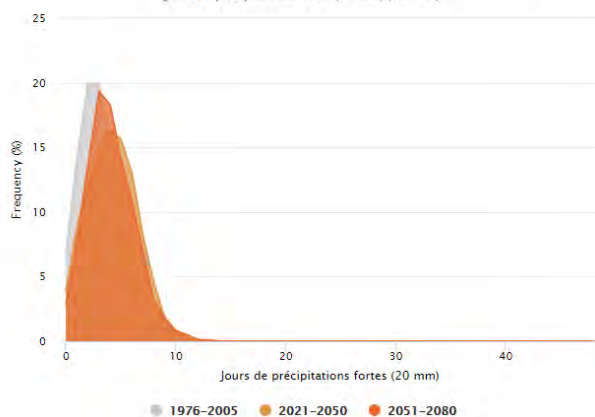


Le proche avenir
2051-2080

4.1

Région: LAC OPOCOPA

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



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

Moyenne

Passé récent
1976-2005

3.2



L'avenir immédiat
2021-2050

4.2

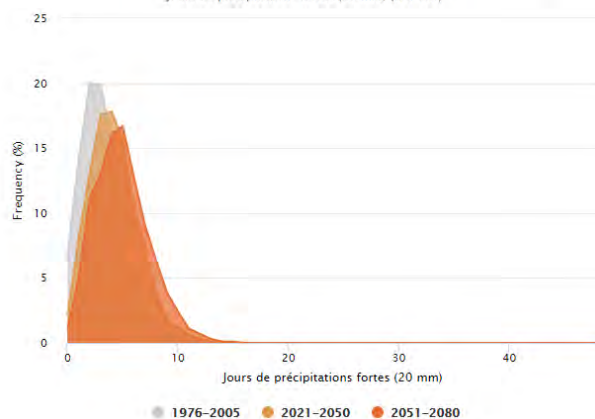


Le proche avenir
2051-2080

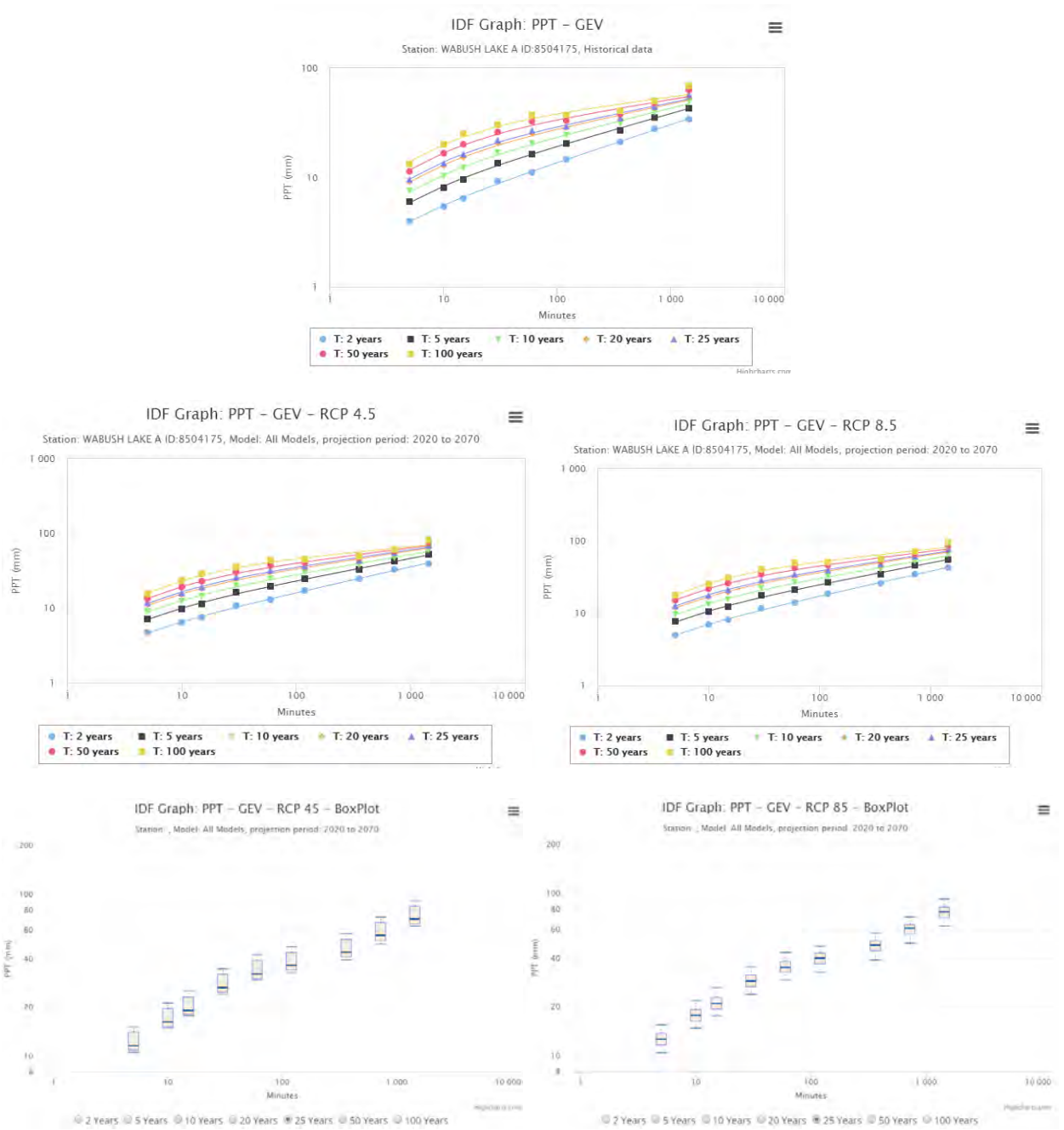
4.9

Région: LAC OPOCOPA

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



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>)

