

# APPENDIX

## RQC3-5

BREACH ANALYSIS AND  
CLASSIFICATION OF THE TAILLINGS  
FACILITY AND PAR1 AND PAR2 PONDS





# Mémoire Technique

Groupe minier Windfall

Projet minier Windfall

Étude de rupture et classification du parc à résidus et des bassins PAR 1 et PAR 2

Référence WSP : CAWL-WSP0-2600-CI-RPT-0013

2026-01-16

## Destinataire(s)

À : Edouardine Pascale Ingabire – Ingénieure responsable du parc à résidus  
Gold Fields - Groupe Minier Windfall

C. C. : Johan Boshoff, Toby Hofton, Mohamed Edahbi, Louise McNab, Andréanne Boisvert,  
Nicolas Kuzyk

Tableau 1 Historique des révisions

Révision				Sections révisées	Remarques
N°	De	Approuvé par	Date		
A	WSP	Yousef Hejazi	2025-12-22	Toutes	Pour commentaires
0	WSP	Yousef Hejazi	2026-01-15	Toutes	Finale

## 1. Portée du document

Groupe Minier Windfall inc. [WMG] a retenu les services de WSP Canada Inc. (WSP) pour effectuer la classification des conséquences du parc à résidus filtrés (PAR) et des bassins d'eau du PAR (PAR 1 et PAR 2) du projet de Windfall selon les guides en vigueur. Cette classification des conséquences repose sur l'analyse de propagation des résidus qui seront retenus dans le PAR ainsi que l'analyse de rupture de digues (ARD) des bassins de collecte (PAR 1 et PAR 2) (WSP 2024a). L'objectif de ce mémo est d'évaluer les impacts potentiels d'une rupture hypothétique du PAR et de ses bassins, incluant la population potentielle à risque, les pertes de vies humaines, les pertes d'infrastructures et économiques ainsi que les pertes environnementales et culturelles.



Ce document comprend les sections suivantes :

- Section 1 : Portée du document;
- Section 2 : Contexte et descriptions du site, qui inclut la topographie et les données disponibles, les bassins versants, les conditions biologiques et sociales, la localisation et la géométrie du PAR et des bassins ainsi que les conditions de la qualité de l'eau existante et prévue;
- Section 3 : Évaluation des modes de défaillance;
- Section 4 : Analyse de propagation et bris de digues;
- Section 5 : Classification du PAR et des bassins PAR 1 et PAR 2.

---

## 2. Description du site

---

### 2.1 Contexte

Le site minier Windfall, appartenant à Gold Fields, est situé dans la région d'Eeyou Istchee Baie-James, au centre-nord-ouest du Québec, Canada. Le site se trouve à environ 115 km à l'est de Lebel-sur-Quévillon. Le projet Windfall est situé sur les terres traditionnelles de la Première Nation des Cris de Waswanipi, plus précisément sur les lignes de trappe W25B et W25A. La consultation avec les utilisateurs du territoire (chefs, conseils de bande, trappeurs, associations, etc.) est en cours et se poursuivra tout au long des étapes du projet. À l'échelle de la zone d'étude locale biophysique, qui couvre 2 500 ha (5 km sur 5 km), on retrouve 1 122,04 ha de milieux humides, 306,28 ha de milieux hydriques, 933,20 ha de milieux terrestres et 141,67 ha de milieux anthropiques. Ces milieux offrent des habitats susceptibles d'abriter diverses espèces fauniques et floristiques lorsque les conditions leur sont favorables.

Le choix de la technologie pour la gestion des résidus ainsi que l'emplacement du PAR ont été déterminés à partir des analyses d'évaluation des options de disposition des résidus (Golder, 2022). Le choix stratégique de considérer les résidus filtrés pour la gestion des résidus stockés en surface a été retenu. L'emplacement du parc à résidus filtrés a été ajusté à la suite des investigations géotechniques réalisées en 2021 et 2022 (WSP, 2023b). Le parc à résidus a une capacité de 9 Mt et permettra de gérer des résidus filtrés pendant 10 années de la durée de vie de la mine. Les résidus seront transportés par camions depuis l'usine de filtration des résidus, puis compactés de manière contrôlée dans le PAR (WSP, 2025a).

### 2.2 Topographie

#### 2.2.1 PAR

D'après les relevés LiDAR de 2022 et 2024 fournis par GF, le paysage au nord-est du PAR est généralement plat et s'élève progressivement vers le sud-est avant d'atteindre une hauteur de 60 m. Une vallée d'environ 15 m de profondeur a été observée au nord-ouest.

#### 2.2.2 Bassins du PAR (Bassins PAR 1 et PAR 2)

Comme présenté dans l'ARD (WSP, 2024a), GF a fourni des données LiDAR pour le site du projet; cependant, ces données ont une couverture limitée et ne couvrent pas la totalité de la zone requise pour le modèle hydraulique. Par conséquent, elles n'ont pas été intégrées dans le modèle hydraulique. Le LiDAR topographique utilisé dans les modèles hydrauliques provient plutôt de Forêt Ouverte, le site Web du gouvernement du Québec (Données Québec 2023).

Le LiDAR pour la zone du projet (daté du 6 juin 2021) a une résolution spatiale de 1 m. Les zones en aval des bassins n'ont pas subi de changements significatifs depuis le dernier relevé.

L'imagerie satellitaire de Google Earth (date d'imagerie : 26 septembre 2023) et les photos collectées pendant des travaux de terrain ont permis d'estimer le type d'utilisation des sols, les coefficients de ruissellement et les coefficients de rugosité de Manning dans les modèles hydrauliques.

Pour l'ARD (WSP, 2024a) détaillé à la section 4.2, les plans des infrastructures du projet, telles que les bassins, les routes, les plates-formes, les usines de traitement d'eau, le campement, le PAR, la halde à stériles et la halde à mort-terrain, ont été intégrés dans les modèles de terrain afin d'estimer l'impact potentiel d'une brèche sur les infrastructures. Les données sur les ponceaux des routes se trouvant le long des voies d'écoulement ont été fournies par GF.

### **2.3 Bassins versants**

De nombreux lacs et cours d'eau sont situés dans la zone d'étude de l'environnement biophysique du site minier. Le site est situé dans trois principaux bassins versants : CE06B, CE02 et SN2-E1 (figure A1, annexe A de l'ARD; WSP, 2024a). Le bassin versant CE06B (au nord) se jette dans le lac Matagami via la rivière Waswanipi, puis dans la baie de Rupert. Les bassins versants CE02 (au sud-ouest) et SN2-E1 (au sud-est) se déversent dans le lac Matagami via la rivière Bell. Ils drainent tous des bassins versants principalement forestiers, avec des pentes moyennes relativement faibles. Les bassins versants CE02 et SN2 possèdent respectivement des pentes moyennes de 1,24 % et de 1,82 %. La pente moyenne est légèrement plus forte pour le bassin versant CE06B (d'environ 3,31 %) (WSP, 2024a).

### **2.4 Conditions biologiques et sociales de l'environnement récepteur**

Les conditions actuelles de l'environnement biologique et social du projet et de ses environs ont été étudiées en détail dans le cadre de l'étude d'impact sur l'environnement (EIE) (WMG, 2023; WMG, 2024; WMG, 2025a; WSP, 2023a; WSP, 2023g). Les principales conclusions sont résumées ci-dessous. Les figures A2 et A3 de l'annexe A de l'ARD (WSP, 2024a) montrent les composantes biologiques dans la zone d'étude de l'EIE.

Les composantes biologiques considérées dans cette révision de la classification incluent :

- **Plantes** : Il est peu probable que des espèces à statut particulier soient présentes dans la zone. En effet, selon la base de données du Centre de données sur le patrimoine naturel du Québec (CDPNQ) et la littérature, aucune mention d'espèce floristique menacée ou vulnérable n'a été relevée dans un rayon de 10-15 km autour du site. Par ailleurs, sur les huit espèces pouvant être présentes dans la zone d'étude selon leur aire de répartition, deux possèdent un potentiel considéré comme étant moyen, soit le pigamon pourpré (*Thalictrum dasycarpum*) et le saule de McCalla (*Salix maccalliana*). Ces espèces ont un potentiel de présence plus élevé étant donné la présence d'habitats propices dans la zone.

Elles n'ont toutefois pas été observées lors des différentes campagnes d'inventaire. Trente-six (36) plantes d'intérêt pour les usages traditionnels cris ont été observées sur le terrain (ex. : thé du Labrador, bleuet, airelle, kalmia, etc.). Ces plantes vasculaires sont des espèces communes et abondantes dans la région.

- Poissons : Presque tous les étangs/lacs du site abritent des poissons, à l'exception du lac Kettle. L'Étang 1 est considéré comme un habitat marginal pour les poissons. Le SN2 (lac au sud du bassin PAR 1) est le plus diversifié. Aucune espèce à statut particulier n'y a été identifiée. Les inventaires ont permis de capturer 14 espèces de poissons : le chabot tacheté, le cisco de lac, le doré jaune, l'épinoche à cinq épines, le grand brochet, le grand corégone, la lotte, le mené de lac, le meunier noir, l'omble de fontaine, la ouitouche, la perchaude, mené à queue tachetée et l'omisco.
- Amphibiens et reptiles : Huit espèces d'herpétofaune ont été observées en faible densité, lesquelles sont des espèces communes du Québec. Aucune des espèces observées n'est à la limite septentrionale de son aire de répartition et aucune n'a de statut particulier. La tortue des bois et la chélydre serpentine sont les espèces à statut particulier les plus susceptibles d'être présentes, mais elles n'ont pas été détectées malgré des inventaires ciblés.
- Oiseaux : Les inventaires réalisés de 2016 à 2025 ont permis d'identifier 12 espèces de sauvagine et autres oiseaux aquatiques, 10 espèces d'oiseaux de proie et de corvidés, 63 espèces d'oiseaux terrestres et forestiers, et 6 espèces d'oiseaux de rivage. En outre, selon la littérature et les aires de répartition connues, 19 espèces à statut particulier ont été observées dans un rayon de 100 km sur la base annuelle. De ce nombre, 7 espèces ont été détectées lors des inventaires réalisés sur le site. Les espèces retrouvées sont les suivantes :
  - Pygargue à tête blanche : statut « vulnérable » au Québec et « non en péril » au fédéral.
  - Engoulevent d'Amérique : statut « susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable » au Québec et « préoccupant » au fédéral.
  - Quiscale rouilleux : statut « susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable » au Québec et « préoccupant » au fédéral;
  - Moucherolle à côtés olive : statut « vulnérable » au Québec et « préoccupant » au fédéral;
  - Paruline du Canada : statut « susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable » au Québec et « menacée » au fédéral;
  - Gros-bec errant : statut « préoccupant » au fédéral seulement;
  - Hirondelle rustique : statut « menacée » au fédéral seulement.

- Grands mammifères : L'ensemble de la zone est considéré comme un habitat à très faible densité pour le caribou des bois (c'est-à-dire qu'il n'est pas concentré en un seul endroit). L'ensemble de la zone est également considéré comme un habitat à faible productivité pour l'orignal (WSP, 2024a). La présence du loup gris dans le secteur du projet Windfall a été confirmée lors des inventaires grâce à l'observation de nombreuses pistes et d'au moins une carcasse de jeune orignal mis à mort par un groupe de loup. Notons toutefois qu'aucun spécimen n'a été observé par les équipes d'inventaire. Bien qu'aucun inventaire spécifique n'ait été réalisé pour l'ours noir, sa présence a été abondamment confirmée dans le secteur du projet Windfall, par des signes de présence et l'observation fortuite d'individus.

Les considérations sociales sont examinées dans le cadre de l'EIE (WSP 2023a). Les principaux intervenants comprennent la Première Nation des Cris de Waswanipi, dont le territoire traditionnel englobe la zone du projet et dont les membres dépendent du secteur pour la chasse, la pêche et les pratiques culturelles. Seul le lac SN2 est utilisé par les communautés autochtones pour la pêche. La figure A4 de l'annexe A du rapport ARD (WSP, 2024a) présente l'occupation du milieu humain dans la zone d'étude.

Il est important de noter que les zones d'étude régionales et locales prises en compte dans l'EIE offrent une vue d'ensemble des milieux récepteurs biophysiques en cas de rupture hypothétique du PAR et des bassins PAR 1 et PAR 2 (WSP, 2023a, 2024a).

## **2.5 Localisation et géométrie du PAR et des bassins**

### **2.5.1 PAR**

L'emplacement du PAR (figure 1) respecte les critères suivants :

- Conformément à la Directive 019 (MELCCFP, 2025), une distance minimale de 60 m a été maintenue entre le PAR et les cours d'eau avoisinants.
- Une distance minimale d'environ 45 m sépare le pied de la route périphérique d'accès au PAR et la route forestière existante au nord du PAR.

En général, la géométrie du modèle de PAR (WSP, 2023b) comprend les éléments suivants :

- élévation maximale des résidus entre 421,5 et 423,0 m, selon la phase de développement du PAR;
- pentes latérales de 4,5H:1V;
- route d'accès en matériaux granulaires de 2 m de hauteur au pied du PAR (en aval immédiat des résidus);
- système de drainage basal en matériaux granulaires; les drains sont d'une hauteur de 2 m au pied du PAR (sous les résidus);

- fondation surélevée en matériaux granulaires atteignant une élévation de 400 m et 401 m, respectivement au nord et au sud du PAR;
- géomembrane en polyéthylène linéaire de basse densité posée sur la fondation préparée;
- géotextile placé sous les résidus et les matériaux granulaires de construction (routes, drains, bassins, fossés).

Les eaux de contact et d'exfiltration recueillies dans l'emprise du PAR seront dirigées par des fossés périphériques et des fossés temporaires vers les bassins de collecte suivants : bassins PAR 1 et PAR 2.

L'aménagement général du PAR est illustré sur la vue en plan présentée à l'annexe A du rapport *Analyses géotechniques pour la conception du parc à résidus miniers, mars 2023* (WSP, 2023b) et sur la figure 4 (section 4.1.2). Les principales zones et infrastructures susceptibles d'être affectées par une rupture hypothétique près du PAR comprennent : les routes périphériques d'accès; les fossés et bassins environnants; la halde à mort-terrain; les cours d'eau reliés à l'Étang 2 et au lac Windfall au nord; les cours d'eau reliés au lac SN2 au sud; ainsi que la route forestière au nord.



**Figure 1** Vue en plan du PAR et des bassins PAR 1 et PAR 2

## 2.5.2 Bassins PAR 1 et PAR 2

Les bassins PAR 1 et PAR 2 recueillent les eaux de ruissellement et les exfiltrations du PAR. Pendant toute la durée de la vie de la mine, les bassins sont conçus pour gérer sans déversement la crue prévue par la Directive 019 ainsi que les crues associées aux 60 scénarios climatiques futurs tout en respectant la revanche de sécurité minimale requise pour chaque bassin (MELCCFP, 2025; WMG, 2025b). L'eau stockée dans le bassin PAR 2 est pompée vers le bassin PAR 1. L'eau collectée dans ces deux bassins est envoyée vers le bassin D, soit via un traitement en deux phases 1 et 2 (WMG, 2025b). Dans tous les cas, les eaux du PAR sont traitées avant d'être remises à l'environnement.

Les principales caractéristiques des bassins PAR 1 et PAR 2 sont résumées au tableau 2 ci-dessous (WMG, 2025b).

**Tableau 2 Caractéristiques principales des bassins PAR 1 et PAR 2**

Bassin	Élévation du fond (m)	Élévation de la crête (m)	Élévation du seuil du déversoir (m)	Élévation de la crue de projet (m)	Élévation niveau max. d'opération (m)	Volume au seuil du déversoir (m <sup>3</sup> )	Volume de la crue de projet (m <sup>3</sup> )	Volume au niveau max. d'opération (m <sup>3</sup> )	Matériau de la digue
PAR 1	396,5	402,5	401,5	400,5	396,65	386 000	298 700	10 140	NPGA, < 200 mm bien étalé, élément étanche en géosynthétique
PAR 2	398,0	402,0	401,0	400,3	398,60	46 970	34 420	7 980	NPGA, < 200 mm bien étalé, élément étanche en géosynthétique

NPGA= non potentiellement générateur d'acide.

## 2.6 Qualité de l'eau

### 2.6.1 Les eaux de surface

#### Conditions existantes de la qualité de l'eau de surface

Les données sur la qualité des eaux de surface proviennent des résultats d'analyses effectuées sur des échantillons d'eau de surface prélevés au cours des campagnes 2016-2017, 2021 et 2022. Les 17 stations d'échantillonnage sont réparties dans toute la zone autour du site du projet. D'après les résultats obtenus, les eaux de surface de la zone d'étude du projet sont de bonne qualité (WSP, 2023a). La qualité des eaux de surface autour du site a montré relativement peu de dépassements des exigences établies par le MELCCFP (2025) pour la protection de la vie aquatique. Cependant, il semble que certaines concentrations de métaux soient présentes. En général, le mercure, l'arsenic et le plomb sont les trois paramètres qui dépassent le plus souvent les exigences du MELCCFP pour les effets chroniques. L'analyse de certains échantillons de sol de Windfall a montré des dépassements des critères pour l'arsenic et le plomb (WSP, 2023a). Au total, des valeurs supérieures aux exigences du MELCCFP pour la prévention de la contamination (eau et organismes aquatiques) ou la protection de la vie aquatique (effet chronique) ont été détectées pour sept métaux, soit l'aluminium, l'arsenic, le fer, le manganèse, le mercure, le plomb et le zinc (WSP, 2024a).

#### Conditions de la qualité des eaux de surface prévues durant les opérations

##### **Bassins PAR 1 et PAR 2**

Pour déterminer les conditions de qualité des eaux prévues durant les opérations, WSP a développé un modèle de bilan hydrique et de qualité de l'eau pour le projet en utilisant le modèle GoldSim V14.0. Les concentrations des principaux constituants de la qualité de l'eau ont été projetées pour les infrastructures d'aménagement d'eau du site pendant la durée de vie de la mine. Le modèle a simulé 60 scénarios climatiques différents pour toute la durée d'exploitation et de construction de la mine (WSP, 2024a). Le modèle utilisé pour l'ARD (WSP, 2024a) est le même que pour le rapport de *Modèle de qualité d'eau à l'échelle du site pour la conception détaillée du projet minier Windfall* (WSP, 2025b).

Les résultats projetés en matière de qualité de l'eau pour chaque bassin ont été examinés pour la moyenne mensuelle maximale sur la série chronologique au 92<sup>e</sup> centile sur 60 réalisations climatiques. Les valeurs des bassins ont été comparées aux exigences des guides pour les moyennes mensuelles les plus critiques afin de déterminer le nombre de dépassements des paramètres de qualité de l'eau pour les différents bassins. Les résultats de la première année de simulation ont été exclus de l'analyse afin de minimiser l'impact des conditions initiales de modélisation sur l'évaluation. Les dépassements potentiels prévus des paramètres pour les bassins PAR 1 et PAR 2 sont présentés au tableau 3 ci-dessous. Ce tableau ne tient pas compte de la fréquence ou du nombre d'occurrences de chaque paramètre de qualité de l'eau au-dessus des critères (WSP, 2024a).

**Tableau 3 Dépassement potentiel de la moyenne mensuelle des critères relatifs aux paramètres de qualité de l'eau pendant la durée de vie de la mine<sup>1,2</sup>**

Bassin	As (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	Ni (mg/L)	Zn (mg/L)	TCN (mg/L)	CNS (mg/L)
PAR 1	x	X	x	x	x	x	x	x
PAR 2	-	x	-	x	-	-	-	-
Critère (mg/L)	0,10	0,10	3,00	0,08	0,25	0,40	0,50	4,20
Source du critère	MDMER	MDMER	Directive 019	MDMER	MDMER	MDMER	MDMER	VAFe (MELCCFP 2023)

Notes :

- : non applicable; TCN = correspond à la concentration totale de cyanures (CN<sup>-</sup>) dans l'eau, incluant les formes libres et complexes; CNS = correspond aux cyanures libres ou facilement dissociables, qui sont la forme la plus toxique et biodisponible; MDMER = *Metal and Diamond Mining Effluent Regulations* (Règlement sur les effluents des mines de métaux et de diamants); MELCCFP = Ministère de L'Environnement, la Lutte contre les changements climatiques, la Faune et les Parcs; VAFe = Valeur de référence pour la faune et l'humain (consommation de poisson).

- 1) Les valeurs prédites ne concernent que la fraction dissoute et ne tiennent pas compte des charges en suspension.
- 2) Le X indique que la concentration moyenne mensuelle maximale d'un paramètre sur la durée de vie de la mine dépasse le critère de la norme mensuelle la plus prudente (MDMER, D019, VAFe).

Les résultats moyens mensuels ont été comparés aux critères moyens mensuels définis pour les effluents rejetés dans l'environnement énumérés dans le tableau 3. L'évaluation a indiqué que les bassins PAR 1 et PAR 2 pourraient dépasser les critères pour au moins un paramètre au cours de la durée de vie de la mine (WSP, 2024a).

Il est à noter que les critères des normes du tableau 3 se réfèrent à la concentration totale en métaux, tandis que les valeurs estimées par le modèle de qualité de l'eau représentent les métaux dissous. La concentration totale en métaux inclut les solides en suspension et peut être considérablement plus élevée que la concentration en métaux dissous sur le site. Une fois que le site sera opérationnel et que des données réelles provenant du site seront disponibles, les prévisions relatives à la qualité de l'eau pourront être réexaminées (WSP, 2024a).

## **Parc à résidus (PAR)**

La composition de l'eau s'écoulant du PAR aura trois sources différentes : les eaux de ruissellement provenant des résidus couverts, les eaux de ruissellement provenant des résidus non couverts et les eaux d'exfiltration. Les eaux de ruissellement provenant des résidus couverts sont censées avoir la même composition et qualité que les eaux de ruissellement naturelles sur le site, tandis que la composition des eaux de ruissellement provenant des résidus non couverts est déterminée avec les résultats des cellules humides (CH). Le ruissellement provenant des résidus non couverts inclut une fraction estimée de 10 % provenant de résidus oxydés, considérés comme potentiellement générateurs d'acide. La composition de l'eau d'exfiltration est censée être la même que celle du surnageant de l'épaississeur de l'usine (sections 4.1.4 et 4.2.5 du *Modèle de qualité d'eau à l'échelle du site pour la conception détaillée du projet minier Windfall*, WSP, 2025b).

### **2.6.2 Eau souterraine**

Une étude hydrogéologique complète (WSP, 2024c) a évalué si la conception proposée du PAR respecte les exigences de protection des eaux souterraines selon l'étanchéité de niveau A conformément à la Directive 019 (MELCCFP, 2025). Un modèle numérique des eaux souterraines a été élaboré afin de :

- Démontrer que le PAR ne contribuera pas à la détérioration de la qualité des eaux souterraines.
- Prédire l'élévation de la nappe phréatique à l'intérieur des résidus ainsi que les conditions de pression interstitielle.

La modélisation numérique hydrogéologique comprenait les éléments suivants :

- 2023 : Modélisation du transport des solutés en régime permanent et transitoire afin d'établir l'élévation de la nappe phréatique et d'évaluer l'impact sur les eaux souterraines. Cette analyse a été réalisée en considérant que le système de drainage est efficace. Les résidus sont considérés comme secs avec une saturation initiale de 0 % et AEV (valeur d'entrée d'air) de 20 kPa (WSP, 2023c).
- 2024 : Mise à jour des concentrations de lixiviation des résidus, telle que requise lors de la révision de l'ÉIE (WMG, 2024; WSP, 2024c).

Les paramètres hydrauliques et les conditions aux limites utilisés comme intrants pour la modélisation numérique et les résultats sont détaillés dans l'étude hydrogéologique pour la conception du parc à résidus miniers (WSP, 2024c). Le tableau 4 ci-dessous présente les paramètres utilisés dans les modèles de transport des contaminants.

Le cuivre a été choisi comme élément d'intérêt pour la simulation du transport des contaminants, car il s'agit du métal pour lequel le test de lixiviation cinétique a montré la concentration la plus élevée par rapport au critère de rejet dans les eaux souterraines pour le cuivre (0,0073 mg/L, MELCC<sup>1</sup> 2021). Ceci était une demande du MELCCFP qui a exigé un scénario avec les données des cellules humides en considérant que les teneurs plus élevées des premières semaines étaient relâchées de manière constante pendant toute la durée de vie de la mine, ce qui est un scénario ultra-conservateur. Malgré l'utilisation de cette valeur élevée, l'impact potentiel a été jugé très faible.

**Tableau 4 Paramètres utilisés dans les modèles de transport des contaminants**

Paramètre	Valeur	Temps
<b>WSP (2023) Concentration de cuivre dans les résidus</b>	Valeur stabilisée provenant des essais de lixiviation cinétique : 0,001 mg/L	Constant
<b>WSP (2024) Concentration de cuivre dans les résidus</b>	Premier rinçage, « First flush », (moyenne des semaines 1 à 6) des essais de lixiviation cinétique : 0,248 mg/L	Diminution linéaire de 0,248 mg/L (dépôt) à 0,001 mg/L (fermeture)

Les analyses démontrent qu'aucun dépassement des critères de cuivre n'est prévu aux récepteurs en aval sur une période de 100 ans, les dépassements étant limités à moins de 150 m du parc à résidus. La conception du parc inclut plusieurs mesures d'atténuation comme une géomembrane, un recouvrement progressif et des drains périphériques pour réduire les risques de contamination. Un suivi régulier conforme à la Directive 019 (MELCCFP 2025) sera mis en œuvre.

## 2.7 Caractérisation des résidus filtrés

### 2.7.1 Caractérisation géotechnique

Des campagnes de caractérisation des résidus miniers ont été menées dans le cadre du projet Windfall. Les essais réalisés ont porté sur les propriétés géotechniques, hydrogéologiques et géochimiques des résidus. La caractérisation des résidus est détaillée dans le rapport WSP (2025a). Le sommaire des propriétés est illustré au tableau 5.

1 Depuis 2025, le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) est désormais le nom officiel du ministère qui a remplacé l'ancien MELCC (ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques) pour les responsabilités liées à l'environnement et aux changements climatiques. Les documents antérieurs à 2023 peuvent encore faire référence au MELCC.

**Tableau 5 Propriétés géotechniques des résidus miniers**

Paramètre géotechnique	Valeur
Pourcentage de fines (moins de 0.075 mm)	100 %
Granulométrie à 80 % passant	30 µm
Teneur en solides	81 % à 84 % (BBA 2023)
Limites d'Atterberg	Non plastique
Densité spécifique, $G_s$	2,81
Poids volumique sec maximal, $\gamma_{d,max}$ (test Proctor standard)	1 574 kg/m <sup>3</sup>
Teneur en eau optimale, $w_{opt}$ (test Proctor standard)	21,4 %
Degré de saturation optimal (test Proctor standard)	80 %
Angle de friction effectif ( $\phi'$ )	33°
Valeur d'entrée d'air (courbe de rétention d'eau)	60 kPa
Conductivité hydraulique, $k_h$	$2,5 \times 10^{-7}$ m/s

Source : WSP, 2025a.

Puisque les résidus filtrés seront déposés et compactés dans le PAR de manière contrôlée, ils sont actuellement considérés comme présentant un comportement-dilatant. Les détails concernant les paramètres des résidus choisis pour l'analyse de propagation sont présentés à la section 4.1.

### 2.7.2 Caractérisation géochimique

Des études de caractérisation géochimique pluriannuelles ont été réalisées par WSP à l'aide de tests statiques et cinétiques afin de prédire le comportement géoenvironnemental et géochimique des résidus étudiés et d'évaluer leur potentiel de drainage minier acide (DMA) ainsi que la lixiviation des métaux/métalloïdes et autres contaminants. Les résultats obtenus ont servi à classer ces matériaux conformément au guide de caractérisation des résidus et des minerais du MELCC (MELCC, 2020). Les études ont également été appuyées par les lignes directrices de l'industrie canadienne (MEND, 2009).

Un résumé des résultats de caractérisation géochimique obtenus pour les résidus et l'eau de procédé est présenté dans (WSP, 2023f).

Tous les échantillons de résidus ont été classés comme potentiellement générateurs d'acide (PGA) et lixiviables pour certains des métaux tels que l'arsenic, le cadmium, le cuivre, le mercure, le plomb et le zinc, selon les essais de lixiviation à court terme et la comparaison aux critères de référence du Guide d'intervention (Beaulieu, 2021). Ils n'ont pas été classés à risque élevé pour la lixiviation des métaux par rapport aux critères spécifiés dans le guide de caractérisation (MELCC, 2020). En général, les paramètres qui dépassaient les critères de lixiviation dans les tests de lixiviats des résidus dépassaient également les seuils dans les échantillons d'eau de procédé. Les calculs d'épuisement du potentiel de neutralisation à partir des cellules humides en laboratoire suggèrent que les résidus ont un potentiel de génération d'acide allant de 3 à 15 ans.

Les échantillons de résidus n'ont pas été considérés comme lixiviables pour l'uranium par rapport aux valeurs de référence (Beaulieu, 2021), et le thorium dans tous les lixiviats était inférieur aux limites de détection des instruments (<0,0001 mg/L).

## **2.8 Caractérisation des matériaux de fondation du PAR**

Dans le secteur du PAR, les dépôts meubles de la zone ciblée sont généralement constitués de sédiments granulaires fluvio-glaciaires et de till glaciaire sous une couche de sols organiques. Le dépôt granulaire est hétérogène et se compose typiquement d'une alternance d'horizons de granulométrie variable, allant de matériaux fins (silt non plastique à sable) à des matériaux plus grossiers (mélange de silt, sable, gravier, cailloux et blocs en proportions diverses), avec des épaisseurs variant de quelques centimètres à plusieurs mètres. Le dépôt est plus épais dans la vallée topographique qui traverse le PAR du nord-ouest vers le sud-est.

D'après les observations et les essais en laboratoire réalisés à partir des forages près des piézocônes interprétés dans le secteur du PAR (WSP, 2024b), les sols hétérogènes interceptés ont été regroupés en quatre types d'horizons stratigraphiques :

- silt à sable silteux;
- sable avec peu ou pas de fines;
- silt, sable et gravier;
- sable à sable graveleux avec peu ou pas de fines.

Le paramètre d'état in situ ( $\Psi$ ) des sols de fondation a été évalué afin de déterminer si les sols granulaires de fondation se trouvent dans un état contractant ou dilatant (WSP, 2024b).

Le potentiel de liquéfaction cyclique a été évalué à partir de l'interprétation des essais de pénétration au cône sismique, sous les séismes de conception en phase d'exploitation et de fermeture/post-fermeture, avec des périodes de retour respectives de 1:2 475 ans (exploitation—fermeture active) et 1:10 000 ans (fermeture/post-fermeture—fermeture passive) (WSP, 2024a).

En général, les couches de sols plus fins présentent un comportement contractant et potentiellement liquéfiable sous l'effet d'un séisme avec une période de retour 1:10 000 ans. Des couches isolées et localisées de sol ont été évaluées potentiellement liquéfiables sous l'effet d'un séisme avec une période de retour de 1:2 475 ans. L'épaisseur de ces couches, pour chaque section, repose sur l'évaluation de l'état in situ et sur l'évaluation du potentiel de liquéfaction cyclique des sols de fondation (WSP, 2024b). Les paramètres géotechniques utilisés dans le modèle de propagation sont présentés dans la section 4.1.1.

---

### 3. Évaluation des modes de défaillances potentiels et leurs effets

---

Le guide de l'Association canadienne des barrages (ACB) (2019) définit un mode de défaillance comme « le mode dans lequel des éléments constitutifs tombent en panne, entraînant une perte de fonctionnalité du système ». Ce mécanisme est un événement qui pourrait entraîner une défaillance mais sans nécessairement en résulter une rupture (ACB, 2021). L'objectif de l'évaluation des modes de rupture est d'informer l'implémentation de mesures d'atténuation, si nécessaire, et à préparer des plans des mesures d'urgence (PMU) et de préparation d'urgence (PPU).

Selon le guide de l'ACB (2019), il existe trois modes de défaillance communs :

- Effondrement : la résistance interne aux forces appliquées est insuffisante.
- Déversement : écoulement de l'eau par-dessus la crête de la digue; contrairement à l'intention de la conception, ce mode de défaillance ne s'applique pas au PAR, car il n'y a pas d'accumulation d'eau dans l'installation.
- Fuite d'eau contaminée : dans le contexte du projet, ce mode de défaillance est interprété comme une non-conformité aux exigences de la Directive 019 relative à la protection des eaux souterraines.

### 3.1 PAR

L'évaluation des modes de défaillance potentiels du PAR a été réalisée pour identifier les modes de rupture qui serviront de base à la détermination de la classification des conséquences. Bien que le PAR ait été considéré dans son intégralité dans cette évaluation afin de ne négliger aucun mode de défaillance potentiel, seuls les mécanismes liés au PAR sont présentés ci-après (les bassins sont présentés dans la section 3.2). L'évaluation se concentre sur les modes de défaillance et les mécanismes de rupture, hypothétique, susceptibles de provoquer une exfiltration ou une défaillance dans le confinement et d'avoir un impact sur l'environnement en aval du PAR. Il est important de noter que les modes de rupture crédibles ne constituent pas une faiblesse implicite dans la conception, la construction ou l'opération d'un ouvrage et n'est pas liée à la probabilité qu'une rupture survienne.

Le tableau 6 ci-dessous présente les modes de défaillance potentiels et les mécanismes de défaillance potentiels identifiés pour le PAR.

**Tableau 6 Modes et mécanismes de défaillance du PAR**

Mode de défaillance potentiel	Mécanisme de défaillance potentiel
Rupture de l'empilement pile de résidus filtrés	Instabilité des fondations due provoquée par : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ la pression de l'eau interstitielle induite par le cisaillement si le matériau est contractant</li> <li>▪ la liquéfaction des sols de fondation contractants à la suite d'un événement sismique</li> </ul>
	Instabilité des pentes de l'empilement de résidus filtrés due à : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ la pression de l'eau interstitielle induite par le cisaillement si le matériau est contractant</li> <li>▪ l'affouillement au pied de l'empilement par érosion externe</li> <li>▪ l'érosion causée par le ruissellement</li> </ul>
	Perte de résistance des résidus en raison de : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ non-respect des critères de compactage des résidus</li> <li>▪ envasement des résidus en raison de l'absence d'évacuation des eaux de l'empilement</li> </ul>
	Érosion interne (renard) des fondations et/ou de l'empilement de résidus
	Glissement de l'empilement de résidus filtrés le long de la surface de contact avec le géosynthétique
Exfiltration d'eau contaminée ou libération de matériaux contaminés	Acidification des résidus à l'intérieur de l'empilement
	Poussières provenant de l'empilement de résidus atteignant un récepteur
	Mesures inadéquates pour la protection de la qualité des eaux souterraines

### **3.2 Bassins PAR 1 et PAR 2**

Tel que présenté dans l'ARD (WSP, 2024a), l'objectif est d'identifier l'étendue de l'inondation pour des scénarios crédibles, mais prudents, de rupture de digue dans le but de planifier les mesures d'urgence et de confirmer la classification des digues (section 5.2.1 de l'ARD).

Dans des conditions de beau temps (ACB, 2021), et en ne considérant que le mécanisme de rupture propre aux bassins, une défaillance par érosion interne de la digue est considérée comme plausible, car l'eau est accumulée contre le parement de la digue. Une rupture par déversement n'est pas considérée comme crédible, car le déversoir de chaque bassin maintient le niveau d'eau en dessous de la crête de la digue.

---

## **4. Analyse de propagation et bris de digues**

---

### **4.1 PAR**

Une analyse de propagation en cas d'une rupture de pente du PAR du site Windfall a été réalisée. Les objectifs de l'analyse de propagation, entre autres, sont :

- estimer la distance de propagation en cas de rupture de pente, afin d'évaluer les conséquences potentielles d'une brèche hypothétique du PAR sur la population en aval et sur l'environnement;
- soutenir la classification du PAR;
- appuyer la préparation du Plan d'intervention et de préparation aux situations d'urgence.

#### **4.1.1 Méthodologie**

Cette étude fournit une évaluation des zones environnantes susceptibles d'être affectées en cas de rupture hypothétique du PAR, basée sur des scénarios hypothétiques sans égard à la probabilité de défaillance. L'objectif est d'évaluer les conséquences potentielles et les besoins en matière de la gestion de la sécurité. La méthodologie repose sur une approche quasi-3D permettant d'estimer l'étendue des zones affectées par la propagation des résidus.

Les hypothèses et simplifications de l'analyse incluent :

- Pour la topographie en aval, l'accent a été mis sur le maintien d'une pente descendante, afin de considérer la situation la plus défavorable en cas de rupture. Les fossés et bassins n'ont pas été pris en compte dans la topographie aval du modèle; la topographie utilisée provient du LiDAR 2022 et 2024 (section 2.2). Notons que la topographie aval descendante est similaire à la géométrie préliminaire du bassin PAR 2, ce qui rend l'utilisation de la topographie actuelle également conservatrice.
- De plus :
  - Malgré les simplifications apportées à la topographie, les infrastructures adjacentes (routes, fossés définitifs, bassins) influenceraient la distance de propagation.
  - Le modèle n'inclut pas les fossés ou/et bassins. L'effet en cascade n'a pas fait l'objet de la présente analyse numérique (voir section 4.3 pour les détails).
  - Les distances de propagation pourraient être révisées à la baisse pour le même volume modélisé si un modèle 3D était retenu, car aucun déplacement latéral n'a été considéré. Toutefois, les résultats obtenus avec les analyses quasi-3D demeurent crédibles.

#### 4.1.1.1 Bris de parc à résidus miniers – Définitions des cas

La présente analyse, en considérant que le PAR n'accumulera pas d'eau dans des conditions normales d'exploitation, correspond à un cas conceptuel de type 2, pour des conditions de beau temps, tel que documenté dans le Bulletin technique de l'ACB : *Analyse de rupture des parcs à résidus* (ACB, 2021) — adapté de Small et al. (2017).

Les cas 2A et 2B comprennent ce qui suit :

- Cas 2A — rupture impliquant des résidus liquéfiés : coulée boueuse ou glissement par liquéfaction.
- Cas 2B — résidus non liquéfiés, glissement induit par une rupture de pente : rupture par affaissement ou glissement sans liquéfaction, transport de débris.

Le scénario le plus crédible pour le parc à résidus de Windfall est le cas conceptuel 2B, puisque les résidus filtrés seront déposés et compactés, et la construction sera étroitement surveillée. La rupture crédible considérée est l'instabilité des sols de la fondation provoquée par la liquéfaction sous le séisme de conception. Il est à noter que l'analyse ne considère pas de mesures correctives pour stabiliser la fondation du parc à résidus à savoir la mise en œuvre de méthodes d'amélioration des sols (WSP, 2023b). Rappelons que GF évalue actuellement l'implantation de méthodes d'amélioration des sols de fondation dans le cadre de la conception du parc à résidus afin d'assurer la stabilité à long terme (WSP, 2025b).

#### 4.1.1.2 Logiciel

Le logiciel DAN-W a servi à modéliser numériquement la propagation des résidus lors d'une rupture de pente, conformément aux recommandations de l'ACB (2021) pour le scénario du cas-2B. DAN-W (Version 10 par O. Hungr Geotechnical Research Inc.) simule le mouvement post-rupture en quasi-3D le long de l'axe central, selon la géométrie de rupture, avec une largeur fixe de 1 m, et utilise différentes lois rhéologiques (friction, plastique, viscosité de Bingham) (quasi-3D, Hungr, 2010).

L'analyse quasi-3D est considérée comme conservatrice puisqu'elle n'inclut pas la résistance latérale durant l'analyse de propagation, ce qui ralentirait ultimement la propagation des résidus. L'analyse DAN-W ne tient pas compte des changements de relief (3D) ni de la dissipation d'énergie du glissement; il s'agit d'une hypothèse prudente, considérant que le relief latéral augmenterait l'atténuation de la distance de propagation du glissement. Le modèle n'est pas dépendant du temps et ne calcule pas d'hydrogramme de rupture (débit en fonction du temps, Hungr, 2010).

Un modèle de résistance frictionnelle a été appliqué pour l'analyse de propagation du parc à résidus. Les matériaux du modèle frictionnel suivent la rupture de Mohr-Coulomb, appropriée pour les matériaux non cohésifs comme le sable (Hungr, 1995).

#### 4.1.1.3 Géométrie du modèle et infrastructures

La géométrie de rupture pour l'analyse de propagation a été établie compte tenu des considérations suivantes :

- un ratio de résistance en condition post-liquéfaction a été considéré pour les matériaux de fondation;
- le volume de rupture a été déterminé comme étant crédible, correspondant au volume maximal s'apparentant à un facteur de sécurité d'environ 1,0;
- la géométrie du trajet de la rupture inclut une rupture à la surface de la fondation.

Dans le cadre de l'analyse numérique de la propagation, deux géométries distinctes du parc à résidus (PAR) ont été étudiées afin de refléter la variation de la hauteur de l'ouvrage. Cette hauteur diffère selon le secteur évalué. Ainsi, dans les secteurs nord-ouest, sud-ouest et sud-est, la hauteur du PAR se situe entre 20 m et 23 m. À l'inverse, dans le secteur nord-est, la hauteur du PAR est d'environ 12 m.

Pour les analyses de propagation, le trajet (surfaces de rupture sélectionnées et topographie en aval) et la géométrie supérieure (géométrie de la masse de résidus) sont introduits dans DAN-W, avec les propriétés des matériaux (paramètres sélectionnés [section 4.1.1.4]). La distance de propagation est calculée à partir du pied du PAR (avant rupture) jusqu'à l'extrémité de la longueur du glissement.

#### 4.1.1.4 Paramètres sélectionnés

Le modèle rhéologique de résistance frictionnelle est utilisé dans DAN-W pour les analyses de propagation des ruptures de pente du parc à résidus. Le modèle frictionnel est basé sur Mohr-Coulomb, où l'écoulement est contrôlé par la contrainte normale effective à la base du bloc limite, selon :

$$\tau_b = \sigma(1 - R_u) \tan\phi_b. \quad \text{Éq. (1)}$$

$\tau_b$  est la contrainte de cisaillement basale (résistance à l'écoulement),  $\phi_b$  est l'angle de friction basal,  $R_u$  est le coefficient de pression interstitielle, et  $\sigma$  est la contrainte normale totale (à la base du bloc limite).

Ce modèle utilise deux angles de friction pour définir les propriétés rhéologiques des matériaux (Hungr, 1995; Hungr et Mancarella, 2010) :

- angle de friction interne — applicable dans le corps de la masse en mouvement, utilisé pour définir les coefficients de contrainte tangentielle active et passive de Rankine (une valeur de zéro serait utilisée pour les fluides);
- angle de friction basal ( $\phi_b$ ) — interface entre le trajet de rupture et la masse mobilisée.

Selon les paramètres des résidus dérivés de la caractérisation en laboratoire des échantillons de 2023 (WSP, 2025a), l'angle de friction interne des résidus filtrés compactés est fixé à 33°, puisque la majeure partie de la masse en mouvement des résidus est considérée comme dilatante pour l'analyse de propagation. Une masse volumique de 19 kN/m<sup>3</sup> est utilisée et un seul matériau global est considéré pour modéliser les résidus, incluant la fondation et les matériaux de drainage et de construction routière au pied du parc à résidus.

L'angle de friction basal ( $\phi_b$ ) est estimé à partir de la littérature et des rapports de liquéfaction non drainée  $Su_{(liq)}/\sigma'_v$ , où  $Su$  est la résistance non drainée et  $\sigma'_v$  est la contrainte effective (Olson et Stark 2002). À des fins de modélisation, la valeur considérée est de 3°, ce qui correspond à une valeur minimale rapportée dans la littérature pour les ruptures (Olson et Stark, 2002; Koerner et Narejo. 2005).

Enfin, la condition de pression interstitielle à l'interface de rupture est représentée par le coefficient de pression interstitielle  $R_u = u/\sigma$ , où  $u$  est la pression interstitielle et  $\sigma$  est la contrainte normale totale (à la base du bloc). Les analyses ont été réalisées en considérant  $R_u$  comme suit :

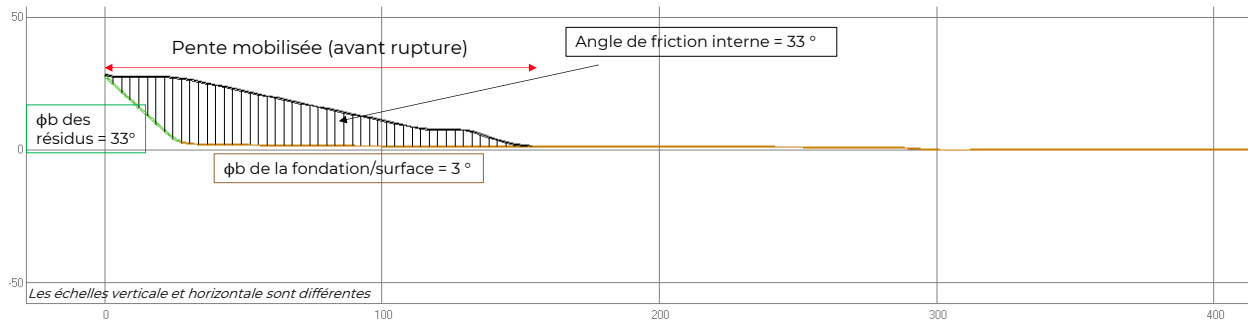
- $R_u = 0$ , en considérant le parc à résidus comme un empilement filtré.

De plus, la profondeur d'érosion a été maintenue égale à zéro, puisqu'aucun entraînement n'est considéré. Le tableau 7 ci-dessous présente les paramètres utilisés dans DAN-W pour l'analyse de propagation.

**Tableau 7 Paramètres utilisés dans DAN-W pour l'analyse de propagation**

Paramètre	Cas de base
Angle de friction interne	33°
Angle de friction basal ( $\phi_b$ ) des résidus	33°
Angle de friction basal ( $\phi_b$ ) de la fondation/surface	3°
Coefficient de pression interstitielle, $R_u$	0,0
Poids volumique	19 kN/m <sup>3</sup>

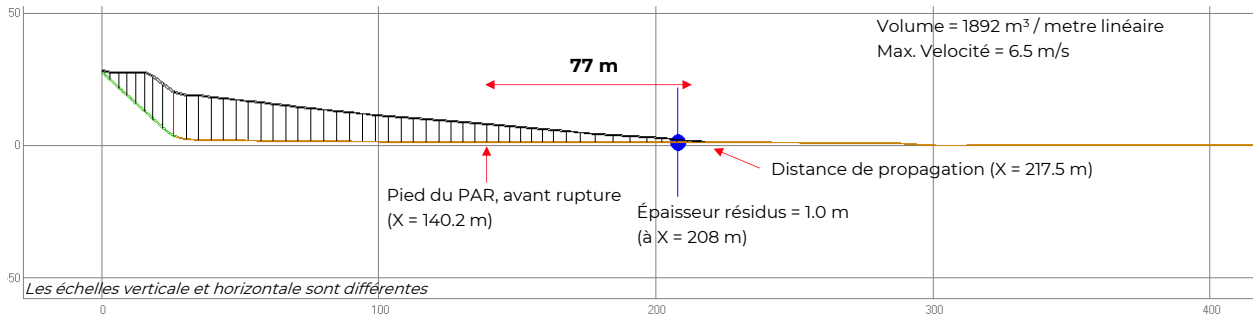
La représentation visuelle du modèle d'entrée dans DAN-W avant l'analyse de propagation, qui représente les secteurs nord-ouest, sud-ouest et sud-est, est donnée à la figure 2.



**Figure 2 Modèle d'entrée dans DAN-W avant l'analyse de propagation**

#### 4.1.2 Résultats

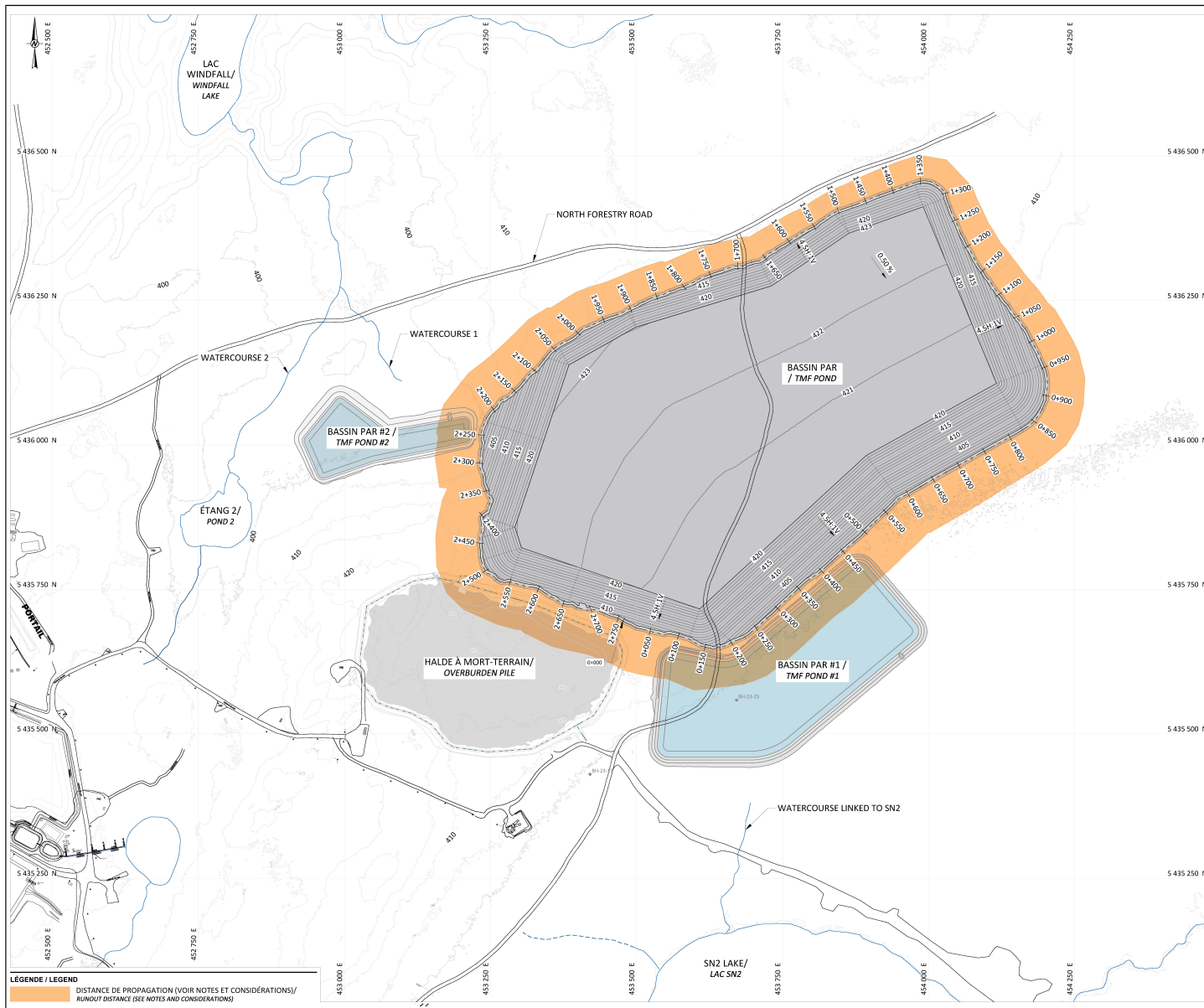
La distance de propagation (du secteur nord-ouest, sud-ouest et sud-est) déterminée à partir du modèle DAN-W (distance et épaisseur) est présentée à la figure 3.



**Figure 3**      **Résultat de l'analyse de propagation**

Comme présenté à la figure 3, la distance de propagation est estimée à 77 m dans les secteurs nord-ouest, sud-ouest et sud-est. Dans le secteur nord-est, la distance de propagation est estimée à 37 m. La figure 4 présente cette propagation le long du PAR, avec une simplification d'interpolation linéaire entre la propagation de 37 m et 77 m, la propagation atteindrait les infrastructures suivantes :

- les fossés et la route d'accès périphérique;
- les bassins PAR 1 et PAR 2;
- la propagation ne traverse pas la route forestière située au nord (à ~45 m, soit le secteur le plus près de la route), mais la suit de très près, comme observé sur la figure 4 ci-dessous;
- la halde à mort-terrain.



**Figure 4** Vue en plan - Résultat de l'analyse de propagation

Groupe minier Windfall  
 Projet minier Windfall  
 Étude de rupture et classification du parc à résidus et des bassins PAR 1 et PAR 2  
 2026-01-16 | Référence WSP : CAWL-WSP0-2600-CI-RPT-0013

Il est à noter que dans l'analyse, en considérant seulement les résidus, soit en excluant la présence d'eau, les bassins et les fossés, les ruisseaux à proximité ne sont pas atteints.

Basé sur la figure 3, un volume simplifié (d'un triangle), par mètre linéaire, entre le pied du PAR ( $x = 140,2$  m, hauteur des résidus =  $6,8$  m) et la distance de propagation ( $x = 217,5$  m, hauteur des résidus =  $0$  m) a été calculé et donne:  $261,8$  m<sup>3</sup> / mètre linéaire. Ce volume représente le volume situé après le pied du PAR. Le volume total du matériau impliqué dans le mouvement ou le glissement est de  $1892$  m<sup>3</sup> / mètre linéaire, tel que présenté dans la figure 3.

#### 4.2 Bassins PAR 1 et PAR 2

Les bassins PAR 1 et PAR 2 ont été identifiés pour une modélisation détaillée de bris de digue (ARD) (WSP, 2024a). Cette étape a permis de mieux comprendre la gravité et l'impact potentiel d'un bris hypothétique de digue sur la population et l'environnement. Ces bassins sont :

- PAR 1 : Il s'agit de la plus grande installation de stockage d'eau sur le site de la mine et sa qualité pourrait dépasser certains critères de qualité d'eau au cours de la durée de vie de la mine. En cas de rupture de la digue, le volume pourrait se déverser jusqu'au lac SN2. La modélisation de bris de digue a permis d'estimer l'impact potentiel de la rupture sur le lac SN2 ainsi que le chemin d'accès sur le site minier entre l'usine de filtration et le PAR.
- PAR 2 : Ce bassin pourrait dépasser certains critères de qualité d'eau au cours de la durée de vie de la mine et il est le seul bassin qui pourrait se déverser dans le lac Windfall en cas de bris de digue. Une route forestière secondaire est située en aval du bassin PAR 2. La modélisation de la rupture de digue a permis d'estimer l'impact de la rupture sur la route et le lac Windfall.

L'objectif principal de l'analyse a été d'évaluer l'impact des inondations en aval des bassins PAR 1 et PAR 2 dans le cas hypothétique d'une rupture de digue et d'un rejet d'eau. Les études de rupture de digue et d'inondation sont basées sur des scénarios hypothétiques et crédibles. Une étude de bris de digue et d'inondation ne constitue pas une faiblesse implicite dans la conception ou la construction de l'ouvrage, ni une probabilité de défaillance. Elle suppose plutôt qu'une brèche de rupture est initiée indépendamment de la probabilité basée sur les conditions spécifiques au site et les défaillances historiques de digues dans d'autres sites (WSP, 2024a). Cette étude a servi à appuyer la classification des conséquences des bassins du PAR.

Les digues pourraient potentiellement céder à n'importe quel emplacement. Pour les besoins de cette étude, les emplacements de rupture des digues ont été sélectionnés en fonction de la configuration des digues et de la topographie afin de représenter les scénarios les plus défavorables (WSP, 2024a).

#### 4.2.1 Localisation critique de la brèche de la digue et volumes rejetés

Une évaluation préliminaire de l'emplacement critique de rupture a été réalisée. La rupture la plus critique des bassins ainsi que l'emplacement spécifique de la brèche pour chaque digue de bassin ont été sélectionnés en fonction de l'ampleur de l'impact sur les personnes, l'environnement ou les infrastructures en aval en cas de rupture hypothétique de digue. Le volume maximal d'écoulement rejeté lors de la rupture de digue a été estimé en supposant que le niveau initial de l'eau est à l'élévation de la capacité maximale (seuil du déversoir selon les données de WSP (2024a)) et que la brèche dans la digue s'étend de la crête jusqu'à l'élévation du sol naturel (WSP, 2024a).

Le tableau 8 ci-dessous fournit les détails sur l'emplacement critique des brèches, la profondeur estimée des brèches et le volume potentiel rejeté en cas de rupture des bassins du PAR.

**Tableau 8 Détails préliminaires de la brèche des digues du PAR (WSP 2024a)**

Bassin	Emplacement de brèche critique	Sélection de l'emplacement de la brèche	Direction d'écoulement critique de la brèche	Élévation initiale de l'eau (m)	Hauteur de la brèche (m)	Volume estimé de la brèche (1 000 m <sup>3</sup> )
PAR 1	Digue sud	Hauteur max. de la digue	SN2	400,5	3,2	230,2
PAR 2	Digue nord	Hauteur max. de la digue	Lac Windfall	401,0	4,4	47,0

#### 4.2.2 Résultats de l'analyse de bris de digues

L'étude initiale de bris des bassins ne prend pas en compte le PAR et donc conformément à l'ACB (2021), un scénario hydrologique par beau temps a été pris en compte pour l'évaluation. Dans des conditions de beau temps, une défaillance par érosion interne de la digue est considérée comme crédible, car l'eau est accumulée dans le bassin.

Le sommaire des résultats est présenté dans les sections ci-dessous pour chaque bassin. Les tableaux résumant les résultats aux stations d'intérêt sont indiqués sur la carte des limites d'inondation. Les points d'intérêt tels que les croisements de routes et les confluent le long de la trajectoire d'écoulement sont également indiqués sur ces cartes.

#### 4.2.2.1 Bassin PAR 1

Une rupture hypothétique par érosion interne de la digue du bassin PAR 1 par beau temps pourrait libérer jusqu'à 201 400 m<sup>3</sup> d'eau retenue. L'onde de choc consécutive à la brèche se propagera vers le sud, inondant une route d'accès en aval, avant de se terminer dans le lac SN2. Un scénario de rupture par effondrement due à une instabilité des fondations a été simulé pour évaluer la sensibilité du modèle. Une rupture hypothétique des fondations de la digue du bassin PAR 1 dans des conditions de beau temps pourrait libérer jusqu'à 201 300 m<sup>3</sup> d'eau retenue. Les cartes 1 et 2 de l'annexe B dans l'ARD (WSP, 2024a) présentent les limites d'inondation provenant de la rupture du bassin PAR 1.

#### 4.2.2.2 Bassin PAR 2

Le volume potentiellement rejeté du bassin PAR 2 pourrait atteindre 47 000 m<sup>3</sup>. La brèche la plus critique se propage vers le nord et submergerait la route forestière secondaire avant d'atteindre le lac Windfall. Les cartes 3 et 4 de l'annexe B dans l'ARD (WSP, 2024a) présentent les limites d'inondation provenant de la rupture du bassin PAR 2.

### 4.3 Rupture en cascade

En cas de rupture hypothétique du parc à résidus au droit ou en proximité des bassins PAR 1 et PAR 2, ces derniers pourraient être affectés par cette rupture (rupture en cascade). De manière qualitative, trois scénarios seraient envisageables :

- Si l'élévation de l'eau dans les bassins est assez basse, le volume, incluant résidus et eau, résultant de la rupture hypothétique du PAR seront contenus dans les bassins PAR 1 et PAR 2.
- Si les bassins présentent une revanche suffisante, le volume, incluant eau et résidus, résultant de la rupture hypothétique sera également contenu dans les bassins PAR 1 et PAR 2 sans débordement.
- Si la revanche dans les bassins PAR 1 et PAR 2 est insuffisante pour contenir le volume, incluant eau et résidus, une rupture des digues pourrait survenir.

Il est important de noter que l'analyse de bris de digue, selon le mécanisme de rupture présenté à WSP (2024a) et annexé à RQC1-117-1, demeure la plus conservatrice pour une évaluation de conséquences basée sur les volumes qui seront relâchés des bassins puisque les niveaux d'eau sont situés à l'élévation du seuil du déversoir d'urgence. Le scénario de rupture en cascade considère la combinaison de deux scénarios extrêmes soit :

- Pour le parc à résidus, dans la modélisation DAN-W, une liquéfaction des sols de fondation sous le séisme de conception (1:10 000 ans).

- Pour les bassins PAR 1 et PAR 2, dans l'étude de bris de digues, un niveau d'eau lors de la crue de conception (1:2 000 ans + fonte des neiges, incluant des majorations pour les changements climatiques).

L'étude de bris de digues du bassin PAR 1 considère déjà une brèche complète de la digue sud du bassin et un volume conservateur de 201 400 m<sup>3</sup> pour l'érosion et 201 300 m<sup>3</sup> pour l'effondrement (WSP, 2024a). Rappelons que la rupture du bassin PAR 1 a précédemment été identifiée comme le scénario susceptible d'occasionner le plus de dommages à l'environnement puisqu'il atteindrait le lac SN2 (WMG, 2024). Le volume relâché par érosion interne pour le PAR 2 est de 47 000 m<sup>3</sup> (WSP 2024a), ce qui est conservateur puisqu'il considère le volume du bassin PAR 2 au seuil du déversoir (section 4.2.1, tableau 8).

Bien qu'une analyse quantitative n'ait pas été effectuée pour la rupture en cascade, il est jugé que les impacts environnementaux les plus sévères ont été identifiés dans les modélisations de rupture de bris de digues (WSP, 2024a) annexées à RQC1-117-1.

---

## 5. Classification du PAR et des bassins

---

La classification du PAR et des bassins a été effectuée en support au rapport *Analyses géotechniques pour la conception du parc à résidus miniers, mars 2023* (WSP, 2023b) et à l'ARD (WSP, 2024a). Les sous-sections 5.1 à 5.6 présentent les lignes directrices, les exigences provinciales et la classification des conséquences pour le PAR et les bassins PAR 1 et PAR 2.

### 5.1 Lignes directrices et exigences provinciales

La conception du PAR est régie par trois guides provinciaux (Québec, Canada) : la Directive 019 (D019) (MELCCFP, 2025) et le Guide de caractérisation des résidus miniers et des minerais du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP, 2025) ainsi que le *Guide de préparation du plan de réaménagement et de restauration des sites miniers au Québec* du ministère des Ressources naturelles et des Forêts (MRNF, 2024).

Le processus de classification suit le Bulletin technique de l'Association canadienne des barrages (ACB, 2019) qui propose une classification des « barrages miniers » en fonction des conséquences d'une rupture. Selon la Directive 019 (MELCCFP, 2025a), qui fait référence à l'ACB, le terme « barrages miniers » est défini comme des ouvrages de retenue situés à l'intérieur des sites miniers, comme des structures de retenue emmagasinant des solides ou des liquides (ACB, 2019). En conséquence, la classification des conséquences examinée s'applique au PAR des résidus filtrés de Windfall. Le PAR est considéré comme une structure de retenue, car il confine des résidus à l'intérieur de son empreinte. Ce processus a ensuite été révisé afin de s'assurer de sa conformité avec le GISTM (ICMM, 2020). La mise à jour de 2023 de la Classification des Conséquences Environnementales (ECC), selon l'ACB (2023), constitue une amélioration ciblée, spécifiquement pour la composante environnementale de la classification des conséquences.

### 5.2 Méthodologie

#### 5.2.1 Classification des conséquences selon le mode de défaillance

La classification, telle que décrite au tableau 9, a été utilisée pour déterminer les conséquences d'une défaillance potentielle. La norme de diligence pour la conception et l'exploitation des digues réduit le risque de défaillance. Le risque est défini comme le produit de la probabilité et des conséquences d'une défaillance. Comme précisé dans la section 5.1, une révision de l'ACB 2019 a été effectuée en 2023 (ACB, 2023) pour apporter plus de précision sur la prise en compte des conséquences pour l'environnement. Les détails généraux de l'application de cette mise à jour sont présentés à la section 5.2.2.



**Tableau 9 Classification des conséquences selon leur défaillance (ACB 2019, 2023)**

Classification de la digue	Population à risque <sup>1</sup>	Pertes incrémentales		
		Pertes de vie <sup>2</sup>	Valeurs sur le plan environnemental et culturel	Infrastructure et pertes économiques
Faible	Aucune	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pertes à court terme minimales.</li> <li>Aucune perte à long terme.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Faibles pertes économiques; zone ne comptant qu'un nombre limité d'infrastructures ou de services.</li> </ul>
Importante	Temporaire seulement	Nombre non spécifié	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aucune perte significative ou détérioration de l'habitat piscicole ou faunique.</li> <li>Perte d'habitat marginal seulement.</li> <li>Restauration ou indemnisation en nature très possible.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pertes d'installations de loisirs, de lieux de travail saisonnier et de voies de transport peu utilisées.</li> </ul>
Élevée	Permanente	10 ou moins	<ul style="list-style-type: none"> <li>Perte ou détérioration d'une partie importante de l'habitat piscicole ou faunique.</li> <li>Restauration ou indemnisation en nature très possible.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pertes économiques élevées touchant les infrastructures, le transport public et les installations commerciales.</li> </ul>
Très élevée	Permanente	100 ou moins	<ul style="list-style-type: none"> <li>Perte ou détérioration d'une partie importante de l'habitat piscicole ou faunique essentiel.</li> <li>Restauration ou indemnisation en nature possible, mais non pratique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pertes économiques très élevées, touchant des infrastructures ou des services importants (p. ex. autoroutes, installations industrielles et installations d'entreposage de produits dangereux).</li> </ul>
Extrême	Permanente	Plus de 100	<ul style="list-style-type: none"> <li>Perte majeure de l'habitat piscicole ou faunique essentiel.</li> <li>Restauration ou indemnisation en nature impossible.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pertes extrêmes touchant des infrastructures ou des services essentiels (p. ex. hôpitaux, complexes industriels importants et grandes installations d'entreposage de produits dangereux).</li> </ul>

Notes :

1) Définitions visant la population à risque :

- Aucune : Il n'y a pas de population à risque identifiable, donc aucune de possibilité de pertes de vie autre que par suite d'un incident imprévisible.
- Temporaire : Les personnes ne sont présentes que provisoirement (en raison, p. ex., de leur utilisation saisonnière d'une maison de campagne, de leur circulation sur une route ou de leur participation à des activités de loisirs) dans la zone d'inondation.
- Permanente : La population à risque se trouve habituellement (p. ex. les résidents permanents) dans la zone d'inondation; on recommande d'utiliser trois classes de risques (élevé, très élevé, extrême) pour obtenir une estimation plus détaillée du nombre potentiel de pertes de vie (pour aider à la prise de décision si l'analyse appropriée est effectuée).

2) Implications en ce qui concerne les pertes de vie :

- Nombre non spécifié : Le niveau de sécurité nécessaire lorsque des personnes sont provisoirement à risque dépend du nombre de personnes, de la durée d'exposition, de la nature de leurs activités et d'autres facteurs. Une classe de risque supérieure pourrait être plus appropriée, si les conditions l'exigent.

Source : ACB 2019



## 5.2.2 Classification des conséquences environnementales (ECC)

La mise à jour 2023 de la Classification des Conséquences Environnementales (ECC) constitue une amélioration ciblée, spécifiquement pour la composante environnementale de la classification des conséquences. Elle introduit un processus d'évaluation des impacts environnementaux plus détaillé, semi-quantitatif et transparent, basé sur trois variables, la description de l'ACB (2023) spécifie :

- **Impact écologique** : Cette variable reflète la zone potentielle de dommages causés à l'habitat d'une espèce d'intérêt particulier par les effets physiques de la rupture de l'ouvrage.
- **Danger intrinsèque du contenu** : L'objectif de cette variable est de saisir les différences de conséquences pour l'environnement déterminées par les caractéristiques intrinsèques du matériau stocké. Ces caractéristiques peuvent, en cas de rejet, augmenter l'ampleur des conséquences au-delà des impacts physiques si l'eau libérée lors d'une brèche présente une toxicité aiguë, ou si des résidus qui génèrent de l'acide ou la lixiviation de métaux (LM) ou d'autres matières sont rejetés.
- **Durée de l'impact** : La variable modificatrice appelée « durée de l'impact » vise à refléter l'effet résiduel après l'atténuation.

L'ECC vise à compléter le processus plus large de 2019, en offrant une évaluation des conséquences environnementales plus robuste. Une classification initiale est élaborée en utilisant les deux premières variables (impact écologique et danger intrinsèque du contenu). La troisième variable (durée de l'impact) sert à modifier la classification initiale (ACB 2023).

### Impact écologique

La détermination du niveau de classification de la variable d'*Impact Écologique* repose sur le calcul du pourcentage d'habitat qui serait endommagé. Le dénominateur utilisé pour le pourcentage d'habitat touché par la rupture de l'ouvrage est estimé à partir de la quantité de cet habitat disponible dans la région :

$$\text{Impact écologique (\%)} = \frac{\text{Habitat de l'espèce endommagé}}{\text{Habitat régional de l'espèce}} \times 100\%$$

Le tableau 10 présente les niveaux de classification basés sur l'impact écologique.

**Tableau 10 Classification de la variable d'impact écologique (ACB, 2023)**

Niveau A	Niveau B	Niveau C	Niveau D
< 5 % de l'habitat d'une espèce d'intérêt particulier dans la zone d'étude définie.	5 à 20 % de l'habitat d'une espèce d'intérêt particulier dans la zone d'étude définie.	20 à 50 % de l'habitat d'une espèce d'intérêt particulier dans la zone d'étude définie.	> 50 % de l'habitat d'une espèce d'intérêt particulier dans la zone d'étude définie.

### Danger intrinsèque du contenu

Cette variable évalue l'impact environnemental lié aux caractéristiques chimiques des matières stockées derrière l'ouvrage de retenue, susceptibles d'être libérées en cas de rupture. Ces matières peuvent inclure : eau (effluent), résidus, sédiments, boues ou autres. La qualité chimique des effluents et des matériaux rejetés peut aggraver les effets sur l'habitat en aval, en plus des impacts physiques. La classification repose sur le principe qu'une rupture impliquant des substances lixiviant des métaux, produisant de l'acide ou présentant une radioactivité entraîne des conséquences plus graves que des matières chimiquement moins réactives. Le tableau 11 ci-dessous présente la classification des rejets solide et liquide.

**Tableau 11 Classification du danger intrinsèque du contenu (ACB 2023)**

	Niveau A	Niveau B	Niveau C	Niveau D
<b>Rejet de contenu liquide</b>	L'eau stockée ou le liquide transporté à l'extérieur de l'ouvrage de retenue ne présente aucune létalité aiguë		L'eau stockée ou le liquide transporté à l'extérieur de l'ouvrage de retenue présente une létalité aiguë	
<b>Rejet de contenu solide</b>	Aucune matière solide n'est rejetée	Les matières solides rejetées ne devraient pas lixivier des métaux (ou des métalloïdes) ou produire de l'acidité pendant la durée des activités de remise en état	Les matières solides rejetées pourraient lixivier des métaux (ou des métalloïdes) ou produire de l'acidité pendant la durée des activités de remise en état	Les matières solides rejetées devraient lixivier des métaux (ou des métalloïdes) ou produire de l'acidité ou être radioactives

## Durée de l'impact

La durée des impacts suppose qu'un programme d'intervention et de restauration sera mis en place, conformément aux obligations légales et aux mécanismes gouvernementaux (ex. : Loi sur les pêches, art. 38(6), et lois provinciales). Pour les sites abandonnés, des programmes publics prennent généralement en charge la réhabilitation. Cette variable reflète les effets résiduels après atténuation, notamment lorsque des matières génératrices d'acide, lixiviant des métaux ou ayant des effets radioactifs persistent malgré les efforts. Des facteurs comme le climat ou la saison de croissance peuvent aussi retarder la recolonisation. Le rétablissement écologique (cours d'eau, zone riveraine, végétation) est un processus continu. Avec des mesures actives (restauration des canaux, végétation riveraine), un niveau fonctionnel acceptable est généralement atteint en 10 à 25 ans dans un climat tempéré. Par défaut, la durée d'impact avec intervention est estimée entre 5 et 25 ans :

- Point de réduction d'un échelon : 5 ans (rétablissement rapide).
- Durée typique : 5 à 25 ans (tableau 12).

La durée ne modifie pas la classification des conséquences sauf si des conditions locales (climat, contamination résiduelle) justifient un ajustement. Tout écart doit être justifié et documenté.

**Tableau 12 Modificateurs des conséquences pour l'environnement basés sur la durée estimée de l'impact (ACB, 2023)**

Réduction d'un échelon de la classification des conséquences (Minimum : faible)	Aucun changement à la classification des conséquences	Augmentation d'un échelon de la classification des conséquences (Maximum : extrême)
Un retour à une restauration acceptable est possible à court terme (< 5 ans)	Un retour à une restauration acceptable est possible à moyen terme (5 à 25 ans)	Un retour à une restauration acceptable est peu probable à long terme (> 25 ans). Ce modificateur de classification reflète une situation dans laquelle des effets résiduels post-assainissement, tels que la production d'acide/la lixiviation des métaux ou la radioactivité, sont probables dans le futur, ou dans laquelle la situation climatique requiert une durée de rétablissement plus longue.

L'application des différentes variables associées au PAR et aux bassins sont présentées dans la section 5.5.

La matrice de classification tirée de l'ACB est présentée dans le tableau 13 ci-dessous.

**Tableau 13 Matrice de classification des conséquences et cadran de combinaison des variables en Classification des Conséquences pour l'Environnement (ACB, 2023)**

Étape 1 : Matrice		Impact écologique			
		NIVEAU A < 5 % de l'habitat des espèces d'intérêt particulier est touché	NIVEAU B 5 à 20 % de l'habitat des espèces d'intérêt particulier est touché	NIVEAU C 20 à 50 % de l'habitat des espèces d'intérêt particulier est touché	NIVEAU D > 50 % de l'habitat des espèces d'intérêt particulier est touché
Danger intrinsèque du contenu	<b>NIVEAU A</b> L'eau ou le liquide transporté à l'extérieur de l'ouvrage de retenue ne présente aucune létalité aiguë ou aucune matière solide n'est rejetée	FAIBLE	FAIBLE	IMPORTANT	ÉLEVÉ
	<b>NIVEAU B</b> L'eau ou le liquide transporté à l'extérieur de l'ouvrage de retenue ne présente aucune létalité aiguë ou les matières solides rejetées ne devraient pas lixivier des métaux (ou des métalloïdes) ou produire de l'acidité pendant la durée des activités de remise en état	FAIBLE	IMPORTANT	IMPORTANT	ÉLEVÉ
	<b>NIVEAU C</b> L'eau ou le liquide transporté à l'extérieur de l'ouvrage de retenue présente une létalité aiguë ou les matières solides rejetées pourraient lixivier des métaux (ou des métalloïdes) ou produire de l'acidité pendant la durée des activités de remise en état	IMPORTANT	IMPORTANT	ÉLEVÉ	TRÈS ÉLEVÉ
	<b>NIVEAU D</b> L'eau ou le liquide transporté à l'extérieur de l'ouvrage de retenue présente une létalité aiguë ou les matières solides rejetées devraient lixivier des métaux (ou des métalloïdes), produire de l'acidité ou sont radioactives	ÉLEVÉ	ÉLEVÉ	TRÈS ÉLEVÉ	EXTRÊME

### **5.3 Classification des conséquences environnementales (ECC) du PAR et des bassins**

L'analyse quantitative est décrite dans les sections 5.3.1 à 5.3.3 et résulte en une classification environnementale de niveau « important ».

#### **5.3.1 Impact écologique**

##### **Identification de l'habitat régional**

Puisque les zones d'inondation, résultant de la modélisation de la rupture des bassins PAR 1 et PAR 2 selon l'ARD (WSP, 2024a), s'étendent en dehors de la limite des bassins versants définie pour CE02, SN2 et CE06B, l'habitat régional a été identifié en élargissant la zone régionale d'étude afin de correspondre à la limite du bassin versant du niveau 4 telle que défini dans (MELCCFP, 2023). Cette approche générale est en conformité avec les recommandations de l'ACB (2023) stipulant de choisir une frontière écologique naturelle, à savoir un bassin versant, lorsqu'il n'existe pas de populations isolées en raison de barrières biophysiques.

##### **Identification de l'espèce d'intérêt**

Pour le PAR et les bassins PAR 1 et PAR 2, une espèce d'intérêt particulier, impactée en cas de rupture, est identifiée selon la caractérisation biophysique des milieux récepteurs (section 2.4), en priorisant une espèce à risque selon l'ACB (2023). Si aucune espèce à risque n'est présente, l'espèce d'importance culturelle, comme le poisson du lac SN2 utilisé par les Premières Nations, est retenue (le lac Windfall n'est pas pêché par les utilisateurs du territoire). Précisons que le caribou est une espèce désignée, mais il n'a pas été observé dans la zone d'inondation. Ainsi, le caribou a été exclu en tant qu'espèce d'intérêt particulier basée sur son utilisation restreinte du secteur entourant le site seulement en période de migration, ce qui ne constitue pas une portion importante de son cycle de vie.

Aucune espèce à statut particulier au Québec et au Canada n'a été trouvée dans les zones d'inondation, mais plusieurs espèces d'oiseaux pourraient y être présentes. Plus particulièrement, le moucherolle à côté olive (*Contopus cooperi*), une espèce ayant le statut de « vulnérable » au Québec et de « préoccupante » au fédéral, est l'espèce d'oiseaux la plus susceptible d'être présente dans la zone d'inondation en raison de la prédominance de milieux ouverts et de lisières forestières pouvant être utilisés pour la reproduction de l'espèce. Les inventaires d'oiseaux ont permis d'observer cette espèce dans la zone d'étude biophysique, principalement au sud du lac SN2, sans toutefois démontrer sa présence dans la zone d'inondation.

Les poissons du lac SN2 sont considérés comme espèce d'intérêt particulier en raison de leur valeur culturelle, et l'habitat régional englobe les rivières et lacs du bassin versant St-Cyr Sud où ces poissons peuvent accomplir l'ensemble de leur cycle de vie.

### **Détermination de l'habitat endommagé**

Le calcul est effectué pour l'espèce d'oiseau d'intérêt particulier (PAR 1, PAR 2 et PAR) ainsi que pour les poissons (PAR 1). Pour ce faire, l'ensemble de la surface de la zone d'inondation a été recoupé avec les données sur les milieux naturels affectés provenant de la base de données du projet minier Windfall. Ces superficies ont ensuite été comparées à l'extraction des données écoforestières à jour de la base de données gouvernementale provinciale (MRNF, 2025) situées à l'intérieur des limites de l'habitat régional, soit les bassins versants de niveau 4 (voir tableau 14).

WSP reconnaît ne pas avoir consulté les Premières Nations locales concernant la zone de pêche régionale soit sur l'ensemble du bassin versant, et, par conséquent, il a été supposé que tous les lacs et cours d'eau du bassin St-Cyr Sud pouvaient être utilisés pour la pêche et ont été intégrés au calcul du pourcentage d'impact écologique. L'espèce donnant le pourcentage d'impact le plus élevé est retenue, conformément à l'approche la plus prudente.

Les habitats endommagés, retenus dans le cadre de la présente évaluation, sont les principalement des habitats de milieux ouverts tels que les tourbières minérotrophes et ombrotrophes ouvertes et les lisières forestières de ces milieux. Ceux-ci ont été identifiés selon l'analyse d'inondation pour les bassins PAR 1 et PAR 2; soit le rapport ARD (WSP, 2024a) et de l'analyse de propagation pour le PAR (section 4).

**Tableau 14** Calculs des impacts potentiels des ruptures des différentes infrastructures selon le bassin versant associé

Nom de l'infrastructure	L'espèce d'intérêt	Type de milieu impacté	Superficie de la zone potentiellement affectée (m <sup>2</sup> )	Superficie totale du bassin versant de Niveau 4 (m <sup>2</sup> )	Pourcentage du bassin versant potentiellement affecté (%)
<b>Bassin PAR 1</b>	Le moucherolle à côté olive	Forestier	387	415 654 776	0,00
		Milieu humide	94 255	274 565 663	0,03
	Les poissons	Milieu hydrique	748 381	150 571 146	<b>0,50</b>
Total			843 023	845 937 708	0,10
<b>Bassin PAR 2</b>	Le moucherolle à côté olive	Forestier	32 902	240 167 227	0,01
		Milieu humide	41 383	95 783 250	<b>0,04</b>
	Total			74 285	413 910 892
<b>Parc à résidus (PAR)</b>	Le moucherolle à côté olive	Forestier	67 376	655 822 003	0,01
		Milieu humide	101 734	370 348 913	<b>0,03</b>
	Total			169 110	1 026 170 916

Note : Les chiffres en **gras** représentent le pourcentage d'impact le plus élevé calculé parmi toutes les différentes unités d'habitat pour chaque espèce.

L'espèce d'intérêt particulier et l'unité d'habitat ayant entraîné le plus fort pourcentage d'impact écologique pour chaque infrastructure sont résumées ci-dessous :

- **PAR 1** – La perte potentielle d'habitats aquatiques lacustres et de cours d'eau (selon la superficie) pour la population de poissons en aval du PAR 1 représente un impact calculé de **0,5 %** de l'habitat lacustre et fluvial disponible dans la zone d'étude régionale, ce qui correspond à une variable d'impact écologique de **niveau A**.
- **PAR 2** – La perte potentielle d'habitats humides pour le **moucherolle à côtés olive** représente un impact calculé de **0,04 %** de l'habitat humide disponible dans la zone d'étude régionale, ce qui correspond à une variable d'impact écologique de **niveau A**.
- **PAR** – La perte potentielle d'habitats humide pour le **moucherolle à côtés olive** représente un impact calculé de **0,03 %** de l'habitat non forestier disponible dans la zone d'étude régionale, ce qui correspond à une variable d'impact écologique de **niveau A**. »

### 5.3.2 Danger intrinsèque du contenu

#### Caractérisation de l'effluent

Les analyses (section 2.6) montrent que l'eau des bassins PAR 1 et PAR 2 et de ruissellement du PAR peuvent dépasser les critères pour plusieurs paramètres (As, Cu, Fe, Pb, Ni, Zn, TCN, CNS), ce qui indique une toxicité aiguë possible en cas de rejet non traité.

Une analyse environnementale de la qualité de l'eau du PAR 1 (WMG, 2024; WSP, 2025b) a été effectuée. Elle présente des dépassements des critères, tels que présentés dans le tableau RQC117-1 (WMG, 2024). En cas de rupture de la digue du bassin PAR 1, les coûts associés aux interventions environnementales concernent principalement des suivis de la qualité des eaux et des communautés de poissons dans les lacs et cours d'eau en aval des potentielles décharges (le lac SN2 et son émissaire). GMW estime que les coûts associés aux interventions mentionnées ci-haut s'élèveront à un montant approximatif de 2,5 M\$ CA. Une ventilation des coûts selon les interventions qui seront nécessaires est fournie au tableau RQC117-2 (WMG, 2024). Notons que l'analyse considère un suivi récurrent (annuel) de la qualité des eaux du lac SN2 pendant une période estimée de cinq (5) ans (WMG, 2024).

#### Caractérisation des matières solides

Les résidus sont classés comme PAG (potentiellement générateurs d'acide) et lixiviables pour plusieurs métaux (arsenic, cadmium, cuivre, mercure, plomb, zinc) selon les essais de lixiviation et la classification du MELCCFP (section 2.6).

Selon le tableau 13 (ACB 2023), ces caractéristiques correspondent à un **Niveau C** pour le danger intrinsèque du contenu, tant pour les effluents que pour les solides, puisqu'une restauration progressive est prévue dans les délais imposés par l'initiation du DMA estimé à 3 ans. Le recouvrement des surfaces de résidus permettra de limiter l'infiltration des eaux de précipitations et de limiter la diffusion d'oxygène dans la pile (WMG, 2024).

### 5.3.3 Durée de l'impact

En l'absence de preuve de contamination persistante au-delà de 25 ans, et en considérant les mesures de restauration prévues, la durée d'impact typique (5 à 25 ans) s'applique, sans modification de la classification initiale. Il est à noter que l'analyse considère un suivi récurrent (annuel) de la qualité des eaux du lac SN2 pendant une période estimée de 5 ans (WMG, 2024).

## 5.4 Classification des conséquences du PAR

Suivant les résultats de la classification environnementale (section 5.3) et de l'analyse de propagation (section 4.1), il est possible de quantifier les impacts potentiels d'une rupture sur l'environnement récepteur.

Les cotes suivantes sont attribuées au PAR :

### Population à risque et perte de vie potentielle:

Le PAR est classé comme ayant une conséquence « **élevée** » en cas de défaillance, car plusieurs personnes (en particulier des travailleurs) sont susceptibles de se trouver en permanence dans la zone. Le PAR devrait tenir compte des populations permanentes, comme les travailleurs du PAR, ainsi que des populations temporaires, telles que les travailleurs qui pourraient visiter brièvement le site pour des inspections ou des projets de courte durée. Les personnes qui pourraient circuler sur la route forestière au nord sont aussi considérées quoique le nombre d'utilisateurs soit estimé d'être très faible et leur présence est provisoire (moins de 1 voyage par jour).

Le PAR est classé comme ayant une conséquence « **élevée** » en cas de défaillance, car il est attendu qu'à tout moment, il y ait 10 travailleurs ou moins sur l'ouvrage. En outre, la surveillance de l'empilement de résidus filtrés sera continue pendant l'exploitation du PAR et permettra l'évacuation des travailleurs en cas d'urgence.

### **Impacts sur le plan environnemental et culturel :**

Le PAR est classé comme ayant une conséquence « **important** » en cas de défaillance, selon la procédure de classification des conséquences pour l'environnement (ACB, 2023). Les détails sont présentés à la section 5.3.

### **Infrastructures et pertes économiques :**

Le PAR est classé comme ayant une conséquence « **importante** » en raison de conséquences économiques. La rupture hypothétique du PAR longe la voie forestière au nord mais ne l'atteint pas (section 4.1.2).

En guise de conclusions, la classification du PAR est déterminée par la plus critique des quatre cotes ci-dessus; par conséquent, la classification du parc à résidus a une conséquence de défaillance « **élevée** ».

## **5.5 Classification des conséquences des bassins PAR 1 et PAR 2**

À l'aide des données de base disponibles (WSP, 2024a), une classification des digues des bassins a été réalisée en tenant compte des facteurs tels que les pertes en vies humaines, les pertes financières et les dommages environnementaux et culturels, conformément aux normes de l'ACB. Une révision de l'ACB a été effectuée en 2023 (ACB, 2023) pour la procédure de classification des conséquences pour l'environnement, les détails de l'application de cette mise à jour sont présentés à la section 5.3. Les résultats du rapport technique de l'ARD (section 6.0, WSP, 2024a) ont été utilisés pour examiner et confirmer la classification des conséquences pour les bassins.

Afin de quantifier les impacts potentiels d'une brèche sur l'environnement récepteur (en termes de volume rejeté potentiel et/ou de qualité de l'eau), l'ARD a été effectué sur les bassins PAR 1 et PAR 2 (WSP 2024a.) Le sommaire des résultats de cette étude est présenté dans la section 4.2. À noter que, conformément à l'ACB (2021), un scénario hydrologique par beau temps a été pris en compte pour l'évaluation. Dans des conditions de beau temps, une défaillance par érosion interne de la digue est considérée comme plausible, car l'eau est accumulée dans les bassins.

Les hypothèses suivantes sont prises en considération lors de l'attribution de la classification des conséquences pour les populations à risque, les pertes de vies humaines, les infrastructures et les pertes économiques.

### Population à risque et pertes de vie potentielles :

- Des travailleurs de la mine et des entrepreneurs seront présents sur le site de la mine pendant les phases de construction et d'exploitation afin de s'assurer que la mise en place des résidus soit réalisée selon les exigences.
- Des personnes peuvent avoir accès aux zones adjacentes à tous les bassins du site. Cependant, la présence de personnes sera probablement limitée aux routes d'accès et sera temporaire.
- Le bassin PAR 2 est le seul bassin d'eau de la mine qui est directement en amont d'une route forestière secondaire. Il s'agit d'une route secondaire peu fréquentée.
- La seule population permanente se trouve au campement, situé dans le coin nord-ouest de la mine. Le campement est loin d'être situé dans l'alignement d'une des voies potentielles d'écoulement en cas de rupture de digue.

En raison des conditions de la population autour des bassins ainsi que des résultats de l'ARD (WSP, 2024a), la classification estimée des conséquences pour la population à risque et la perte de vie potentielle attribuée aux bassins PAR 1 et PAR 2 est « **importante** ».

### Impacts sur le plan environnemental et culturel :

Les conséquences environnementales et culturelles des ruptures de digues ont été estimées en tenant compte de la qualité potentielle de l'eau à la sortie de la brèche ainsi que de l'importance des valeurs environnementales et culturelles dans la voie d'écoulement en aval. Les détails de l'évaluation de la classification environnementale selon l'ACB (2023) sont présentés à la section 5.3.

La classification des conséquences environnementales des bassins PAR 1 et PAR 2 correspond au niveau « **important** ».

### Infrastructures et pertes économiques :

- Le projet est situé dans un endroit isolé et peu accessible au public. Une analyse des dernières photos aériennes (section 2.1, WSP, 2025a) indique qu'il n'y a pas d'infrastructures majeures à proximité de la mine dans les voies d'écoulement de rupture de digue.
- La réhabilitation du lac SN2, en considérant la rupture du bassin PAR 1, est estimée à 2,5 M\$ CA. À noter que l'analyse considère un suivi récurrent (annuel) de la qualité des eaux du lac SN2 pendant une période estimée de cinq (5) ans. (WMG, 2024) la conséquence pour le bassin PAR 1 est classifiée comme « **importante** ».

- La seule route de tiers qui pourrait être potentiellement impactée par un débit de rupture de digue est située en aval du bassin PAR 2, ce qui entraîne une conséquence pour le bassin PAR 2 identifiée comme « **importante** ». Cette route est peu fréquentée.
- L'impact de la défaillance sur la réputation de l'entreprise, en considérant que la défaillance au PAR 1 atteindrait le lac SN2 et la défaillance au PAR 2 atteindrait la route forestière publique.

En guise de conclusion, la classification digues des bassins PAR 1 et PAR 2 a une conséquence de défaillance « **importante** ».

## **5.6 Sommaire de la classification des conséquences du PAR et des bassins PAR 1 et PAR 2**

Le tableau 15 ci-dessous présente la classification du parc à résidus (PAR) et des digues des bassins PAR 1 et PAR 2 (ACB, 2019, 2023).

La classification du parc à résidus et des bassins est déterminée par la plus élevée des cotes évaluées. Basé sur les analyses du présent memorandum technique, la classification du PAR et du bassin PAR 1 est considérée « **élevée** ».

On notera que la conception du parc à résidus (PAR) et des digues des bassins connexes, PAR 1 et PAR 2, répond aux critères d'une classification de conséquences « **élevée** » pour la phase d'opération et suivant les événements critiques récurrents exigés par la D019 (MELCCFP, 2025) en particulier une période de retour de 1:2 475 ans pour la résistance sismique. Pour le parc à résidus (PAR), et puisque cet ouvrage restera en place après la fermeture passive, la conception est basée sur les exigences requises lors de la fermeture à savoir une période de retour de 110 000 ans pour le séisme de conception (MRNF, 2024). À cet effet, des mesures de mitigation sont envisagées pour respecter les critères de conception requis pour la fermeture passive (WSP, 2025c). Notons également que l'analyse de rupture telle que présentée, dans le présent memorandum technique, ne considère pas ces mesures de mitigation pour le parc à résidus (PAR).

**Tableau 15 Classification du PAR et des digues des bassins PAR 1 et PAR 2 (ACB 2019, 2023)**

Structures	Population à risque et pertes de vie	Valeurs sur le plan environnemental et culturel	Infrastructures et pertes économiques	Global	Justification
Bassin PAR 1	Importante	Importante	Importante	Importante	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Des personnes peuvent être temporairement présentes sur le chemin d'accès minier en aval du bassin, le long de la voie d'écoulement vers le lac SN2. Le bassin recueillera les eaux de ruissellement du PAR et la qualité de l'eau devrait être mauvaise.</li> <li>▪ Aucune infrastructure tierce majeure à proximité de la mine dans les voies d'écoulement de la brèche de la digue aval du PAR 1.</li> <li>▪ Le lac SN2 situé en aval du bassin présente des valeurs culturelles et environnementales.</li> <li>▪ Évaluation des conséquences environnementales selon l'ACB (2023).</li> <li>▪ Les coûts de réhabilitation du lac SN2 en cas de rupture sont estimés à 2,5 millions \$ CA avec un suivi de la qualité des eaux allant jusqu'à 5 ans.</li> <li>▪ L'impact de la défaillance sur la réputation de l'entreprise.</li> </ul>
Bassin PAR 2	Importante	Importante	Importante	Importante	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Des personnes peuvent être temporairement présentes sur la route (route d'accès aux ressources selon la classification du ministère de transports et mobilité durable du Québec) en aval du bassin, le long de la voie d'écoulement vers le lac Windfall.</li> <li>▪ Cette route est accessible par des tiers et pourrait être affectée par le débit d'une brèche dans la digue. Cette voie est peu fréquentée.</li> <li>▪ Évaluation des conséquences environnementales selon l'ACB (2023).</li> <li>▪ L'impact de la défaillance sur la réputation de l'entreprise.</li> </ul>
PAR	Élevée	Importante	Importante	Élevée	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Plusieurs personnes (en particulier des travailleurs) sont susceptibles de se trouver en permanence dans la zone. On s'attend qu'à tout moment, il y ait dix ou moins de travailleurs sur l'ouvrage.</li> <li>▪ La propagation des résidus longe la route forestière au nord mais ne l'atteint pas (section 4.1)</li> <li>▪ Évaluation des conséquences environnementales selon l'ACB (2023).</li> <li>▪ L'impact de la défaillance sur la réputation de l'entreprise.</li> </ul>

---

## 6. Liste de contribution

---

Contributeurs (trices)	Contribution
Myriam Roy CPI en gestion des résidus miniers	Préparation du rapport
Fatima Zahra Haouzi, ing., Ph.D. Ingénieure géotechnique	Préparation du rapport
Emilie D’Astous, biologiste	Révision du rapport – section 2.4
Marie-Hélène Brisson Directrice de projet, études d’impact sur l’environnement	Révision du rapport – section 2.4 Préparation du rapport – section 5.3
Yousef Hejazi, ing., Ph.D. Directeur technique en barrages	Révision du rapport

---

## 7. Énoncé des restrictions

---

WSP Canada Inc. (« WSP ») a préparé ce rapport uniquement pour son destinataire Gold Fields, conformément à la convention de consultant convenue entre les parties. Advenant qu'une convention de consultant n'ait pas été exécutée, les parties conviennent que les Modalités générales à titre de consultant de WSP régiront leurs relations d'affaires, lesquelles vous ont été fournies avant la préparation de ce rapport.

Ce rapport est destiné à être utilisé dans son intégralité. Aucun extrait ne peut être considéré comme représentatif des résultats de l'évaluation.

Les conclusions présentées dans ce rapport sont basées sur le travail effectué par du personnel technique, entraîné et professionnel, conformément à leur interprétation raisonnable des pratiques d'ingénierie et techniques courantes et acceptées au moment où le travail a été effectué.

Le contenu et les opinions exprimées dans le présent rapport sont basés sur les observations et/ou les informations à la disposition de WSP au moment de sa préparation, en appliquant des techniques d'investigation et des méthodes d'analyse d'ingénierie conformes à celles habituellement utilisées par WSP et d'autres ingénieurs/techniciens travaillant dans des conditions similaires, et assujettis aux mêmes contraintes de temps, et aux mêmes contraintes financières et physiques applicables à ce type de projet.

WSP dénie et rejette toute obligation de mise à jour du rapport si, après la date du présent rapport, les conditions semblent différer considérablement de celles présentées dans ce rapport; cependant, WSP se réserve le droit de modifier ou de terminer ce rapport sur la base d'informations, de documents ou de preuves additionnels.

WSP ne fait aucune représentation relativement à la signification juridique de ses conclusions.

La divulgation de tout renseignement faisant partie du présent rapport relève uniquement de la responsabilité de son destinataire. 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 suivant l'utilisation de ce rapport ou quant aux dommages pouvant découler d'une décision ou mesure prise basée sur le présent rapport.

WSP a exécuté ses services offerts au destinataire de ce rapport conformément à la convention de consultant convenue entre les parties tout en exerçant le degré de prudence, de compétence et de diligence dont font habituellement preuve les membres de la même profession dans la prestation des mêmes services ou de services comparables à l'égard de projets de nature analogue dans des circonstances similaires. Il est entendu et convenu entre WSP et le destinataire de ce rapport que WSP n'offre aucune garantie, expresse ou implicite, de quelque nature que ce soit. Sans limiter la généralité de ce qui précède, WSP et le destinataire de ce rapport conviennent et comprennent que WSP ne fait aucune représentation ou garantie quant à la suffisance de sa portée de travail pour le but recherché par le destinataire de ce rapport.

En préparant ce rapport, WSP s'est fié de bonne foi à l'information fournie par des tiers, comme indiqué dans le rapport. WSP a raisonnablement présumé que les informations fournies étaient correctes et WSP ne peut donc être tenu responsable de l'exactitude ou de l'exhaustivité de ces informations.

Les bornes et les repères d'arpentage utilisés dans ce rapport servent principalement à établir les différences d'élévation relative entre les emplacements de prélèvement et/ou d'échantillonnage et ne peuvent servir à d'autres fins. Notamment, ils ne peuvent servir à des fins de nivelage, d'excavation, de construction, de planification, de développement, etc.

WSP nie toute responsabilité financière quant aux effets du rapport sur une transaction subséquente ou sur la dépréciation de la valeur des biens qu'il peut entraîner, ou encore qui peuvent découler des mesures, des actions et des coûts qui en résultent.

Les recommandations de conception fournies dans ce rapport s'appliquent uniquement au projet et aux zones décrites dans le texte, et uniquement si elles sont construites conformément aux détails indiqués dans le présent rapport. Les commentaires fournis dans ce rapport sur les problèmes potentiels pouvant subvenir lors de la construction et sur les différentes méthodologies possibles sont uniquement destinés à guider le concepteur. Le nombre d'emplacements de prélèvement et/ou d'échantillonnage peut ne pas être suffisant pour évaluer l'ensemble des facteurs pouvant affecter la construction, les méthodologies et les coûts. WSP nie toute responsabilité pouvant découler de décisions ou actions prises découlant de ce rapport, sauf si WSP en est spécifiquement informé et y participe. Advenant une telle situation, la responsabilité de WSP sera déterminée et convenue à ce moment.

Les conditions générales d'un site ne peuvent être extrapolées au-delà des zones définies et des emplacements de prélèvement et d'échantillonnage. Les conditions d'un site entre les emplacements de prélèvement et d'échantillonnage peuvent différer des conditions réelles.



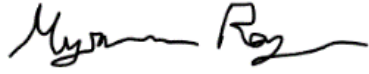
La précision et l'exactitude de toute extrapolation et spéculation au-delà des emplacements des prélèvements et d'échantillonnage dépendent des conditions naturelles, de l'historique de développement du site et des changements entraînés par la construction et des autres activités sur le site. De plus, l'analyse a été effectuée pour les paramètres chimiques et physiques déterminés seulement, et il ne peut pas être présumé que d'autres substances chimiques ou conditions physiques ne sont pas présentes. WSP ne fournit aucune garantie et ne fait aucune représentation contre les risques environnementaux non décelés ou contre des effets négatifs causés à l'extérieur de la zone définie.

L'original du fichier électronique que nous vous transmettons sera conservé par WSP pour une période minimale de dix ans. WSP n'assume aucune responsabilité quant à l'intégrité du fichier qui vous est transmis et qui n'est plus sous le contrôle de WSP. Ainsi, WSP n'assume aucune responsabilité quant aux modifications faites au fichier électronique suivant sa transmission au destinataire.

Copilote a été utilisée pour enrichir la formulation des idées exprimées dans ce rapport. Cet usage se limite à la clarification du texte et à la bonification du vocabulaire utilisé pour exprimer les opinions de l'auteur.

Ces limitations sont considérées comme faisant partie intégrante du présent rapport.

**PRÉPARÉ PAR**



Myriam Roy, CPI (OIQ n° 6029791)  
Poste

16 janvier 2026

Date



Fatima Zahra Haouzi, ing., Ph.D. (OIQ n° 5050735)  
Poste Ingénieur géotechnique

16 janvier 2026

Date

**RÉVISÉ PAR**



2026-01-20

Yousef Hejazi, ing., Ph.D. (OIQ n° 5024550)  
Poste Directeur technique

16 janvier 2026

Date

---

## Références

---

- Association Canadienne des Barrages, ACB (CDA), 2013. Dam Safety Guidelines. Published by Canadian Dam Association, Original 2007, Revised 2013.
- ACB (CDA), 2019. Technical Bulletin: Application of Dam Safety Guidelines to Mining Dams. Published by Canadian Dam Association.
- ACB (CDA). 2021. Canadian Dam Association. Technical bulletin: tailings dam breach analysis (ISBN 978-1-989760-02-4).
- ACB (CDA), 2023. Révision aux conséquences d'une rupture – Classification des conséquences pour l'environnement (Bulletin technique). Association canadienne des barrages. ISBN 9781-989760-09-3.
- Beaulieu, M. (2021). Guide d'intervention, Protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés. Direction du Programme de réduction des rejets industriels et des Lieux contaminés. Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques. Québec, 342 p.
- CIGB (Commission Internationale des Grands Barrages), 1995. Titre du rapport. Paris : CIGB.
- Golder (Golder Associates Ltd., part of WSP Canada Inc.). 2022. Site Selection Study for the Development of a Tailings Management Facility, Windfall Project, Québec, No. ref.: GAL099-201046303-20001-RevA.
- Graham, W.J. 1999. A Procedure for Estimating Loss of Life Caused by Dam Failure, DSO-99-06, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation: Denver, Colorado.
- Hungr O. 1995. A model for the runout analysis of rapid flow slides, debris flows and avalanches. Canadian Geotechnical Journal 32:610–623.
- Hungr O. Geotechnical Research Inc. 2010. DAN-W release 10 – dynamic analysis of landslides. User's manual. May 2010. 61 p.
- Hungr O, Mancarella D. 2010., Analysis of run-up of granular avalanches against steep, adverse slopes and protective barriers. Canadian Geotechnical Journal 47:827–841.
- ICMM, 2020. International Council on Mining and Metals. Global Industry Standard on Tailings Management. 40 p.

- Koerner GR, Narejo D. 2005. Base de données sur le cisaillement direct des interfaces entre géosynthétiques et géosynthétiques et entre géosynthétiques et sol. Institut de recherche sur les géosynthétiques.
- MELCC, 2020. Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques, Guide de caractérisation des résidus miniers et du minerai. Québec, Canada. 52 p.
- MELCC, 2021. Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques, Guide d'intervention – Protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés. Grille des critères de qualité des eaux souterraines. Québec, Canada. 305-314.
- MELCCFP, 2023. Ministère De L'environnement, Lutte Contre Les Changements Climatiques, Faune Et Parcs. Bassins hydrographiques multiéchelles du Québec, [Jeu de données], dans Données Québec, 2018, mis à jour le 17 novembre 2023. [<https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/bassins-hydrographiques-multi-echelles-du-quebec>], (consulté le 13 janvier 2026).
- MELCCFP, 2025. Gouvernement du Québec – Ministère de l'environnement, la lutte contre les changements climatiques, la faune, et les parcs. Directive 019 sur l'industrie minière (Directive 019 on the mining industry).
- MEND, 2009. Prediction Manual for Drainage Chemistry from Sulphidic Geologic Materials. MEND Report 1.20.1. Mining Environment Neutral Drainage Program, Natural Resources Canada.
- MDMER, 2002. Government of Canada - Metal Mining Effluent Regulations, SOR/2002-222, Table 1. Justice Laws Website. <https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/regulations/sor-2002-222/FullText.html>.
- MRNF, 2024. Ministère des Ressources Naturelles et des Forêts. Guide de préparation du plan de réaménagement et de restauration des sites miniers au Québec. Québec, Canada. 125 p.
- Olson SM, Stark TD, 2002. Liquefied strength ratio from liquefied flow failure case histories. Canadian Geotechnical Journal 39:951–966.
- Small A, James M, Al-Mamun M. 2017. Advancing the state of practice for tailings assessment using empirical correlations. Proceedings of the Canadian Dam Association 2017 Annual Conference. Kelowna BC. October 16–18, 2017.



- US Army Corps of Engineers (USACE). 2014. Using HEC-RAS for Dam Break Studies, Hydrologic Engineering Center. August 2014.
- WMG, 2023. Windfall Mining Group. Étude d'impact sur l'environnement, Projet Minier Windfall. WSP for Osisko Mining Inc. 201-11330-19.
- WMG, 2024. Windfall Mining Group. Complément d'information, Réponses aux questions et commentaires – 1ère série, Projet Minier Windfall. WSP for Windfall Mining Group. CA0023271.9538.
- WMG, 2025a. Windfall Mining Group. Complément d'information, Réponses aux questions et commentaires – 2e série, Projet Minier Windfall. WSP for Gold Fields. CA0023271.9538.
- WMG, 2025b. Windfall Mining Group. Mémoire technique – Conception des infrastructures de gestion des eaux à Windfall, Projet Minier Windfall. 15 décembre 2025.
- WSP, 2023a. Summary of the Environmental Impact Assessment, March 2023. (English Language).
- WSP, 2023b. Analyses géotechniques pour la conception du parc à résidus miniers en support à L'étude de faisabilité – projet Windfall. No ref. GAL145-2148985706-MTF-Rev0.
- WSP, 2023c. Projet Minier Windfall – Étude hydrogéologique pour la conception du parc à résidus miniers (niveau faisabilité). Eeyou Istchee James Bay, Québec, Canada. GAL132-2148985706-RF-REV3.
- WSP, 2023d. Windfall Mining Project – Preliminary Consequence Category Assessment, November 27, 2023.
- WSP, 2023e. Étude de conception du parc à résidus miniers en support à l'étude de faisabilité, Projet Windfall. Annexe E – Étude hydrogéologique pour l'évaluation de la percolation de l'eau souterraine du parc à résidus. Québec, Canada. GAL140-2148985706-RF-Rev0.
- WSP, 2023f. Caractérisation géochimique des matériaux miniers pour le projet Windfall au Québec. Eeyou Istchee James Bay, Québec, Canada. GAL137-2148985706-RF-RevA Traduction française. Février 2023.



- WSP, 2023g. Projet minier Windfall – Étude d’impact sur l’environnement. Addenda 1 - Réponses aux recommandations et commentaires du MELCCFP. Rapport produit pour Groupe Minier Windfall. Référence WSP : CA0004658.7070.
- WSP, 2024a. Classification des digues et étude de bris de digues - Projet Minier Windfall, Québec. No réf. : CAWL-RE-WM-0603-00. Juillet 2024.
- WSP, 2024b. Analyse du potentiel de liquéfaction cyclique des sols de fondation et de l’empilement de résidus miniers, empreinte projetée du parc à résidus miniers – projet Windfall, Québec. No réf. : CAWL-RE-GT-0609-00. Juillet 2024.
- WSP, 2024c. Projet Minier Windfall – Étude hydrogéologique pour la conception du parc à résidus miniers (niveau faisabilité). Eeyou Istchee James Bay, Québec, Canada. WSP132-2148985706-RF-REV4. Octobre 2024.
- WSP, 2025a. Caractérisation des résidus miniers 2023–2024 – projet Windfall, site minier Windfall, Eeyou Istchee Baie-James, Québec. No réf. : CAWL-RE-C-0614-00. Juin 2025.
- WSP, 2025b. Modèle de qualité d’eau à l’échelle du site pour la conception détaillée du projet minier Windfall. Québec, Canada. 0617-CAWL-RE-WM-Rev0. Février 2025.
- WSP, 2025c. Essai pilote pour l’amélioration des sols de fondation – projet Windfall – informations pour demande de permis. Québec, Canada. CAWL-TM-C-0625-01. Mars 2025.

# APPENDIX

## RQC3-6

ANALYSES OF THE LIQUEFACTION  
POTENTIAL OF FOUNDATION SOILS  
AND MINE TAILINGS





CONFIDENTIEL

RAPPORT

# Analyses de potentiel de liquéfaction cyclique des sols de fondation et de l'empilement de résidus miniers

*Empreinte projetée du parc à résidus miniers - Projet Windfall*

Soumettre à:

**Claude Noreau, M.ing., MBA**

Groupe Minier Windfall  
Route 6000, km 115  
Lebel-sur-Quévillon (Québec) Canada, J0Y 1X0

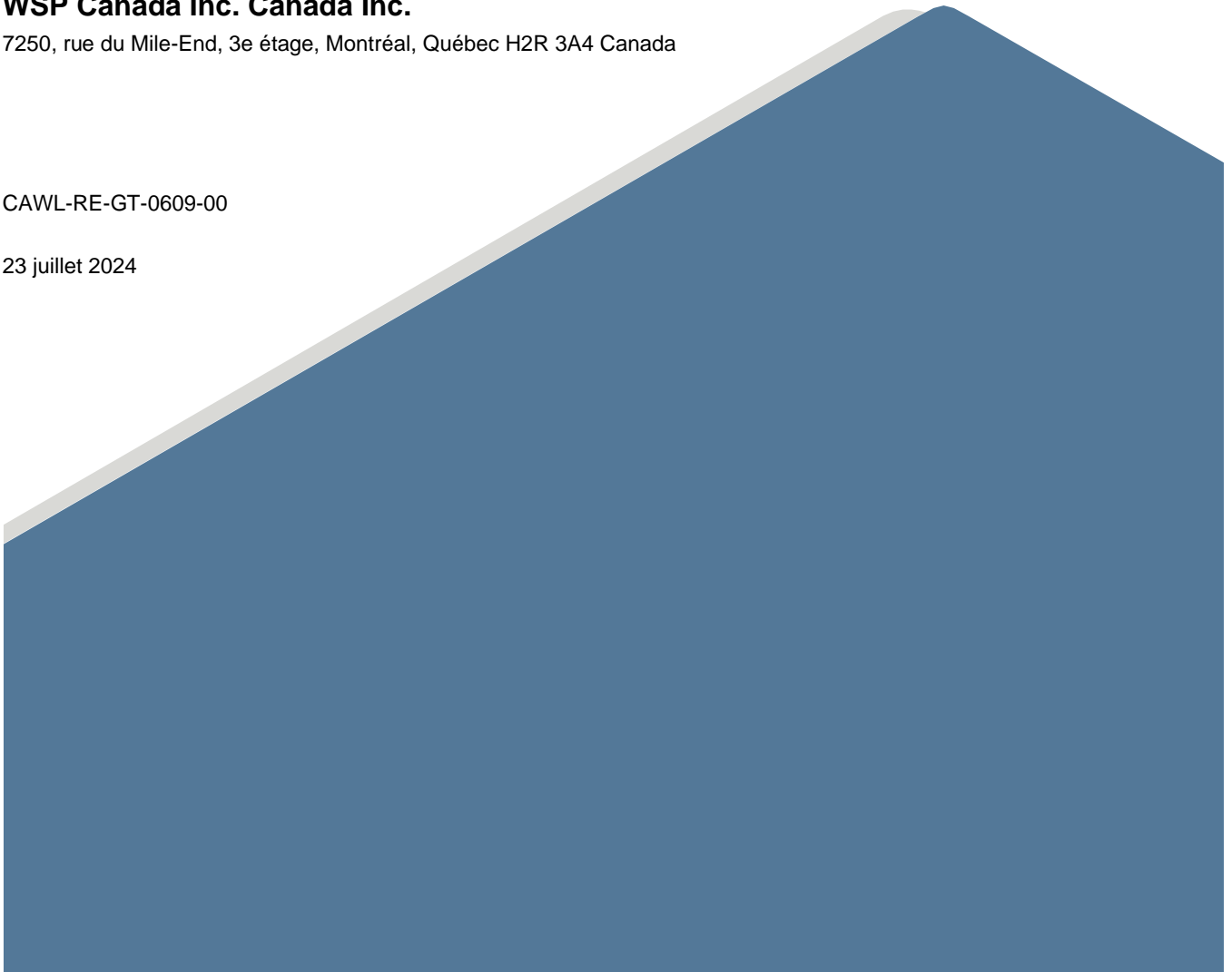
Proposé par:

**WSP Canada Inc. Canada Inc.**

7250, rue du Mile-End, 3e étage, Montréal, Québec H2R 3A4 Canada

CAWL-RE-GT-0609-00

23 juillet 2024



## Liste de distribution

1 copie électronique : Groupe Minier Windfall

1 copie électronique : WSP Canada Inc.

## Preuve d'émission et historique des versions

Compagnie	Version	Date d'émission	Approuvé par	Modifications	Commentaires
WSP	0A	2024-07-10	N. Pépin	s.o.	Version préliminaire pour commentaires
WSP	00	2024-07-23	N. Pépin	Sections 1.0, 2.1, 2.2, 3.1, 4.0	Version finale

# Table des matières

<b>1.0 INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>2.0 ÉVALUATION DU POTENTIEL DE LIQUÉFACTION CYCLIQUE – FONDATIONS</b> .....	<b>1</b>
2.1 Méthodologie.....	1
2.1.1 Rapport de la contrainte cyclique (CSR) .....	2
2.1.2 Rapport de la résistance cyclique (CRR):.....	6
2.1.3 Vérification préliminaire avec la surcharge du PAR.....	6
2.2 Résultats .....	7
<b>3.0 ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE DU POTENTIEL DE LIQUÉFACTION CYCLIQUE – RÉSIDUS MINIERS FILTRÉS</b> .....	<b>9</b>
3.1 Méthodologie.....	9
3.1.1 Rapport de la contrainte cyclique (CSR) .....	9
3.1.2 Rapport de la résistance cyclique (CRR).....	10
3.2 Résultats .....	10
<b>4.0 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS</b> .....	<b>11</b>
<b>5.0 LIMITATIONS</b> .....	<b>11</b>
<b>6.0 DÉCLARATION DE CONTRIBUTION DES AUTEURS</b> .....	<b>12</b>
<b>RÉFÉRENCES</b> .....	<b>14</b>

## TABLEAU

Tableau 1: Propriétés géotechniques des différents matériaux pour l'analyse de liquéfaction cyclique .....	3
--	---

## FIGURES (dans le texte)

Figure 1: Rapport des contraintes cycliques pour le SCPT-23-08 (1: 2475 ans), CSR moyenne et CSR de chaque séisme .....	5
Figure 2: Analyse du potentiel de liquéfaction des sols de fondation : a) 1 : 2 475 ans, b) 1 : 10 000 ans, c) 1 : 10 000 ans avec la surcharge du PAR .....	8

## FIGURE (après le texte)

Figure A: Infrastructures générales, localisation des sondages – Vue en plan	
--	--

## **ANNEXES**

### **ANNEXE A**

Rapport des contraintes cycliques dans les sols de fondation

### **ANNEXE B**

Rapport des contraintes cycliques dans les résidus avec surcharge du parc à résidus

### **ANNEXE C**

Conditions générales et limitations

## 1.0 INTRODUCTION

Groupe Minier Windfall (Windfall) a mandaté WSP Canada Inc. (WSP) pour évaluer le potentiel de liquéfaction cyclique des sols de fondation dans l’empreinte du parc à résidus miniers (PAR) et des résidus miniers filtrés du projet Windfall. Ces analyses ont été réalisées en appui à l’étude de conception du parc à résidus miniers (WSP, 2024b – en préparation).

L’évaluation du potentiel de liquéfaction permet d’estimer la résistance d’un matériau soumis à une sollicitation sismique. Les conséquences de la liquéfaction incluent notamment une perte de résistance au cisaillement et (ou) de capacité portante causée par la génération des surpressions interstitielles et par conséquent, la diminution des contraintes effectives. Les matériaux montrant généralement un potentiel de liquéfaction sont les matériaux pulvérulents, lâches et saturés. Ces matériaux auront tendance à se contracter lorsque soumis à des sollicitations sismiques. Les caractéristiques géotechniques des matériaux étudiés sont présentées dans un livrable distinct, soit *Interprétation des essais de pénétration au piézocône et des essais de laboratoire 2023 réalisés sur les sols naturels* (WSP, 2024c – en préparation).

Le présent rapport présente la méthodologie, les résultats et l’interprétation de l’évaluation du potentiel de liquéfaction cyclique des sols de fondation dans l’empreinte du PAR (section 2.0) et des résidus miniers filtrés (section 3.0).

## 2.0 ÉVALUATION DU POTENTIEL DE LIQUÉFACTION CYCLIQUE – FONDATIONS

Une évaluation du potentiel de liquéfaction a été réalisée pour déterminer si les sols granulaires de fondation dans l’empreinte du PAR étaient susceptibles de subir une liquéfaction cyclique lorsque soumis aux séismes de conception. La méthodologie suivie est présentée à la section 2.1 et les résultats obtenus sont présentés à l’annexe A et discutés à la section 2.2.

### 2.1 Méthodologie

Cette évaluation du potentiel de liquéfaction a été réalisée en comparant les valeurs du rapport de contrainte cyclique (CSR) qui caractérise l’effet du séisme sur le dépôt de sol, aux valeurs du rapport de résistance cyclique (CRR) qui caractérise la résistance du sol aux chargements dynamiques. Typiquement, un sol est considéré comme potentiellement liquéfiable lorsque la valeur de CSR est supérieure ou égale à celle du CRR, ce qui implique que le facteur de sécurité ( $FS_{liq}$ ) est inférieur à 1,0.

L’évaluation du potentiel de liquéfaction cyclique a été réalisée pour des périodes de retour de 2 475 ans et 10 000 ans, selon les données de l’analyse sismique spécifique du site (*Seismic Site-Specific Hazard Assessment, SSSHA*) (WSP, 2023a). Les périodes de retour ont été choisies en fonction de la classification des conséquences du CDA’s *Application of Dam Safety Guidelines to Mining Dams* (CDA, 2019) et en conformité avec le GISTM (ICMM, 2020); tel que présenté dans le livrable distinct *Detailed Engineering of Windfall Project- Filtered Tailings Management Facility Design Basis Memorandum* (WSP, 2024e – en préparation).

L'évaluation a été effectuée à l'emplacement de 10 essais de pénétration au piézocône, avec mesure de la pression interstitielle et mesure des vitesses des ondes de cisaillement ( $V_s$ ) (SCPTu). Tous les SCPTu dans l'empreinte du PAR ou à proximité du pied du PAR ont été analysés, à l'exception du le SCPT-23-10 puisqu'il est similaire au SCPT-23-09 à proximité. Ces essais ont été réalisés à l'hiver 2023 par ConeTec Investigations Ltd. (Conetec), dans le cadre de l'investigation 2023 (WSP, 2024a). Les sondages suivants ont été étudiés. Leur emplacement est présenté à la Figure A, après le texte :

- Secteur bassin PAR1 (coupe A) : SCPT-23-14, SCPT-23-15 et SCPT-23-16
- Secteur bassin PAR2 (coupe B) : SCPT-23-07, SCPT-23-08 et SCPT-23-20
- Secteur Est (coupe C et E) : SCPT-23-17, SCPT-23-18 et SCPT-23-19
- Secteur Ouest (coupe D) : SCPT-23-09

À noter que lors de l'analyse géotechnique pour la conception du PAR, en appui à l'étude de faisabilité, une analyse préliminaire simplifiée du potentiel de liquéfaction avait été effectuée sur les sols de fondation lorsque soumis à un séisme de conception préliminaire (obtenu de la fiche d'aléas sismiques et des données de désagrégation des aléas, calculé par le Service canadien d'information sur les risques de la Commission géologique du Canada) en fonction des SPT (*Standard Penetration Test*) in situ, réalisés dans le secteur du PAR (WSP, 2023b). Les analyses effectuées dans le présent rapport ont été effectuées en considérant seulement les SCPTu, réputés pour être plus précis et répétables que les SPT obtenus des forages.

### 2.1.1 Rapport de la contrainte cyclique (CSR)

Le profil CSR pour le séisme de conception ( $CSR_{M, \sigma_v}$ ) a été établi selon la réponse dynamique du sol, évaluée à partir du logiciel DEEPSOIL v7.0 (Build : 7.0.33.0 – Hashash et al., 2021). Il s'agit d'un logiciel 1D offrant la possibilité de réaliser des analyses de propagation verticale des ondes de cisaillement, selon une approche unidimensionnelle non linéaire en contraintes totales. Le calcul permet d'estimer la réponse d'un dépôt à un signal provenant du socle rocheux. Cette méthode permet de réaliser une analyse de propagation des ondes, spécifique au site, en estimant l'amplification ou l'amortissement, dans certains cas, du signal sismique, en tenant compte des conditions variables du terrain.

Dans le modèle DEEPSOIL (Hashash et al., 2021), chaque horizon stratigraphique est caractérisé par un poids volumique ( $\gamma$ ), un module de cisaillement ( $G$ ), un taux d'amortissement ( $\beta$ ), une vitesse des ondes de cisaillement ( $V_s$ ) et une résistance au cisaillement ( $\tau$ ). Les  $\gamma$  et les  $\tau$  ont été choisis d'après les résultats des essais de laboratoire réalisés dans le cadre de l'investigation 2023 (WSP, 2024a) et interprétés dans un livrable distinct (WSP, 2024c – en préparation). Les  $V_s$  ont été mesurés sur le terrain lors des essais SCPTu (WSP, 2024a). Le Tableau 1 ci-dessous présente les propriétés géotechniques utilisées pour les différents matériaux. La description des types de matériaux est présentée dans le rapport d'*Interprétation des essais de pénétration au piézocône et des essais de laboratoire 2023 réalisés sur les sols naturels* (WSP, 2024c – en préparation).

Les courbes de dégradation du module de cisaillement ( $G/G_{max}$ ) et du taux d'amortissement ( $\beta$ ) en fonction de la déformation en cisaillement ont été estimées selon le modèle de Darendeli (2001). Ce modèle se fonde sur l'indice de plasticité, la contrainte effective de confinement et le rapport de surconsolidation.

**Tableau 1: Propriétés géotechniques des différents matériaux pour l'analyse de liquéfaction cyclique**

Matériaux	Vitesse des ondes de cisaillement, Vs (m/s)		Poids volumique (kN/m <sup>3</sup> )	Résistance au cisaillement, $\tau$ (kPa)
	moyenne <sup>a</sup>	min, max <sup>a</sup>	moyenne	
Sols organique	73	40, 100	14,1	10
Silt à sable silteux dilatant	172	112, 269	20,5	$\tau = \sigma'v \cdot \tan(\phi')$ , $\phi' = 33$
Silt à sable silteux contractant	172	112, 269	20,5	min. : $\tau / \sigma'v = 0,17^b$ max. : $\tau / \sigma'v = 0,34^b$
Sable avec peu ou pas de fines	172	140, 189	20,5	$\tau = \sigma'v \cdot \tan(\phi')$ , $\phi' = 36$
Sable à sable graveleux avec peu ou pas de fines	172	141, 189	20,5	$\tau = \sigma'v \cdot \tan(\phi')$ , $\phi' = 36$
Silt, sable et gravier	228	152, 321	20,5	$\tau = \sigma'v \cdot \tan(\phi')$ , $\phi' = 36$

<sup>a</sup> La moyenne des mesures Vs pour les sols organiques a été utilisé dans DEEPSOIL; pour les autres matériaux, les valeurs Vs mesurées spécifiques à chaque SCPT ont été priorisées

<sup>b</sup> Le ratio  $\tau / \sigma'v$  de la méthode NorSand (10e percentile) à l'endroit du SCPT a été utilisé (WSP, 2024c – en préparation)

Sept paires de signaux sismiques (accélérogrammes) élaborés spécifiquement pour le site et mis à l'échelle pour des périodes de récurrence de 2 475 ans et de 10 000 ans et pour une période spectrale de 0,01 s (accélération maximale au sol ou *peak ground acceleration* (PGA)) (WSP, 2023a) ont été appliquées à la base des profils stratigraphiques du modèle. Le CSR a été calculé en utilisant 65 % de la moyenne des contraintes cycliques maximales résultant des quatorze signaux (Idriss et Boulanger, 2008). À titre d'exemple, la figure du SCPT-23-08 (1 : 2 475 ans) ci-dessous présente la moyenne des contraintes cycliques maximales (la courbe rouge) et les contraintes cycliques maximales pour chaque séisme; la moyenne des contraintes cycliques maximales étant jugée représentative des résultats. Le choix des séismes est discuté dans le rapport de l'analyse sismique spécifique du site (*Seismic Site-Specific Hazard Assessment*, SSSHA) (WSP, 2023a).

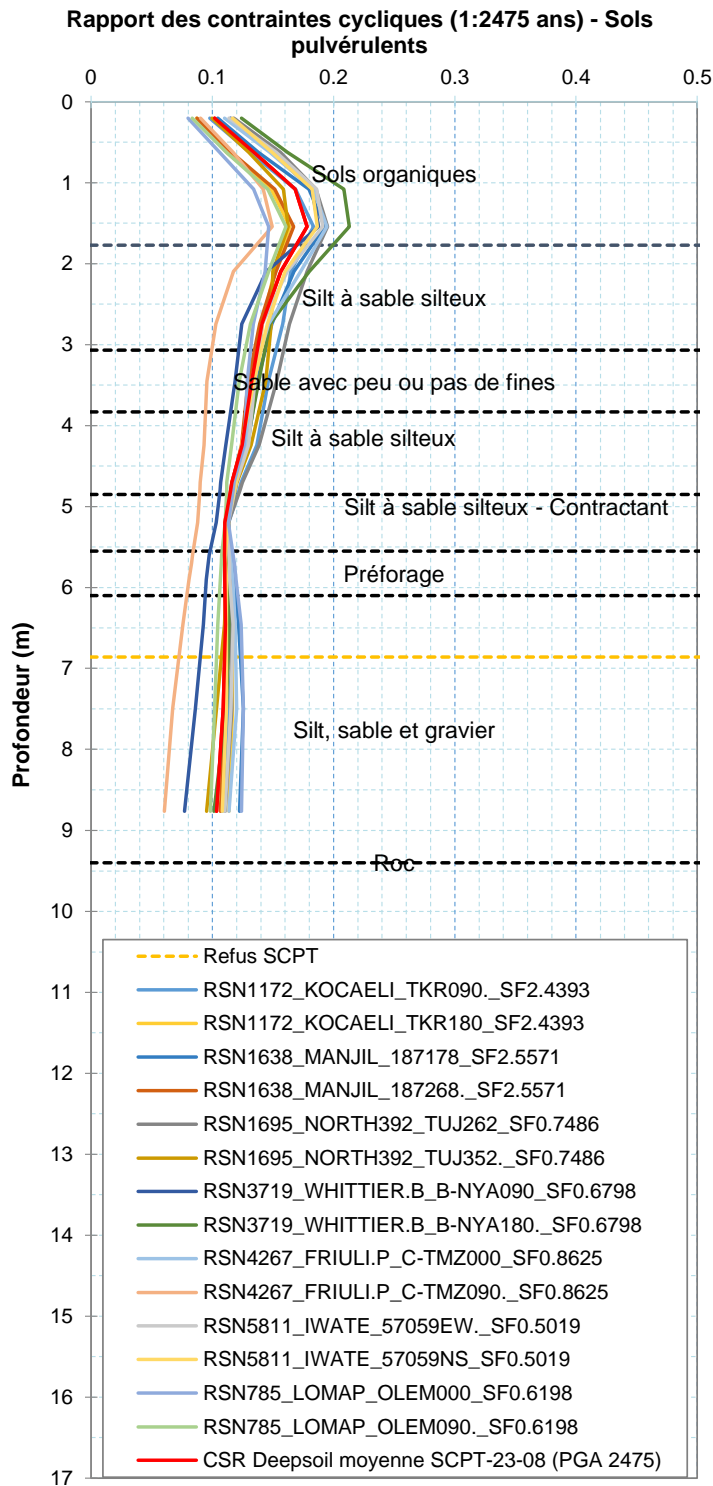


Figure 1: Rapport des contraintes cycliques pour le SCPT-23-08 (1: 2475 ans), CSR moyenne et CSR de chaque séisme

### 2.1.2 Rapport de la résistance cyclique (CRR):

Le CRR a été évalué à l'endroit des 10 profils SCPTu selon la relation d'Idriss et Boulanger (2008) pour un indice de classification des sols ( $I_c$ ) inférieur à 2,4, c'est-à-dire, pour des sols pulvérulents (*sand-like soils*). Les résultats incluent une correction en fonction du pourcentage de particules fines, les résultats sont calibrés sur les essais de laboratoire de l'investigation 2023 (WSP, 2024a). Le CRR a été ajusté en fonction de la magnitude des séismes de conception ( $CRR_{M, \sigma_v}$ ), soit pour des magnitudes de 7,3 et de 7,7 (WSP, 2023a), associées respectivement à des périodes de récurrence de 2 475 ans et de 10 000 ans.

Le CRR a aussi été évalué à partir d'essais de résistance au cisaillement simple direct cyclique (CDSS) réalisés dans le cadre de l'investigation 2023 (WSP, 2024a, c – en préparation) sur des échantillons de sable avec peu ou pas de fines et de silt sableux, à une contrainte effective de 250 kPa. Le CRR a été ajusté à un nombre de cycles équivalents (déformation de 3,75 %), pour la magnitude du séisme de conception ( $CRR_{M, \sigma_v}$ ). Le  $CRR_{M, \sigma_v}$  a également été corrigé pour un chargement de 1 Hz (une fréquence de 0,1 Hz a été utilisée en laboratoire) tel que défini dans Idriss et Boulanger (2008).

### 2.1.3 Vérification préliminaire avec la surcharge du PAR

En plus du CSR et du CRR calculés pour les conditions actuelles du site (tel que décrit dans les sections précédentes), une vérification préliminaire a été effectuée avec une charge supplémentaire équivalente au PAR à une élévation 423 m (élévation maximale de l'empilement), à l'endroit des sondages SCPT-23-08, SCPT-23-16 et SCPT-23-18. Cette vérification a été effectuée pour estimer l'impact possible des contraintes générées par le PAR sur le potentiel de liquéfaction de la fondation, pour un séisme ayant une période de récurrence de 10 000 ans (afin d'analyser le cas le plus restrictif). La couche de sols organiques d'une épaisseur variant de 0,3 m à 2 m (épaisseur moyenne de 1,4 m) a été retirée pour les analyses avec le PAR, comme recommandé dans l'étude de faisabilité.

Pour cette vérification, les ajustements suivants ont été effectués :

- Calcul du CSR :
  - Mise à jour des profils de contrainte effective et de pressions d'eau pour prendre en compte l'état des contraintes avec surcharge du PAR.
  - Mise à jour de l'estimation de la résistance au cisaillement (incluant une amélioration causée par la surcharge).
  - Utilisation de sept paires de signaux sismiques (accélérogrammes) élaborés spécifiquement pour le site et mis à l'échelle pour une période spectrale de 0,4 s (WSP, 2023a), correspondant à la période naturelle de l'empilement de résidus filtrés et de ses fondations.
- Calcul du CRR :
  - Mise à jour du facteur de correction pour la contrainte ( $K_\sigma$ ) pour prendre en compte l'état de contrainte avec surcharge du PAR.

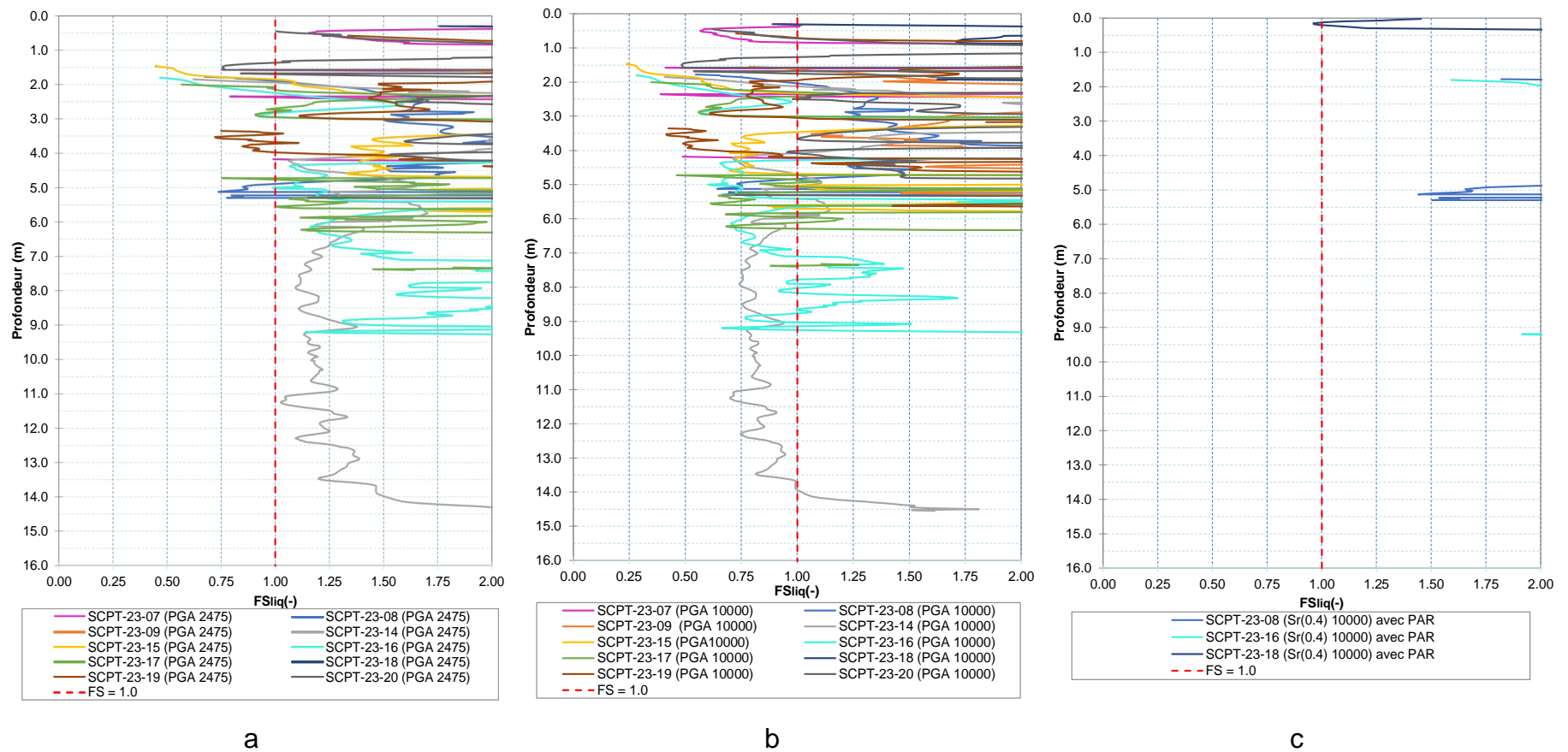
Cette vérification est une simplification et ne tient pas compte de l'amélioration possible des profils SCPTu après le chargement.

## 2.2 Résultats

Les profils des CSR et des CRR à l'endroit de chacun des 10 profils SCPTu et pour des périodes de récurrences de 2 475 ans et de 10 000 ans sont présentés sous forme de coupes, à l'annexe A. L'estimation préliminaire des profils des CSR et des CRR à l'endroit de trois profils SCPTu (incluant une surcharge du PAR) est aussi présentée à la fin de l'annexe A. De plus, les  $FS_{liq}$  calculés à l'endroit des sols de fondation pour chacun des sondages et pour des séismes d'une période de 1: 2 475 ans et de 1: 10 000 ans (avec et sans surcharge du PAR) sont présentés à la Figure 2 de la page suivante. Les principales observations sont décrites comme suit :

- Généralement, pour un séisme ayant une période de récurrence de 2 475 ans, les sols de fondation dans l'empreinte du PAR ne sont pas susceptibles à la liquéfaction cyclique, avec les exceptions suivantes :
  - En surface, sous l'horizon de sols organiques, des horizons potentiellement liquéfiables ont été identifiés sur des épaisseurs variant approximativement de 0,05 à 0,45 m (profondeur inférieure à 2,5 m);
  - Localement, des horizons discontinus potentiellement liquéfiables ont été identifiés sur des épaisseurs variant approximativement de 0,10 à 0,65 m, notamment à l'endroit des SCPT-23-08 (secteur du bassin PAR 2 – coupe B) et SCPT-23-19 (secteur est – coupe E). Ces horizons sont associés à des horizons de sols contractants.
- Généralement, pour un séisme ayant une période de récurrence de 10 000 ans, les sols de fondation dans l'empreinte du PAR sont susceptibles à la liquéfaction cyclique, avec des épaisseurs liquéfiables variant de 0,3 m à 8 m. Les profondeurs des zones liquéfiables atteints généralement des profondeurs supérieures à 2,5 m, allant jusqu'à 14 m (Figure 2 et annexe A), avec les exceptions suivantes :
  - Secteur bassin PAR 2 (coupe B) : SCPT-23-07 et SCPT-23-20 qui montrent des horizons potentiellement liquéfiables pour un séisme ayant une période de récurrence de 10 000 ans entre les profondeurs de 0 m à 2,5 m.
  - Secteur Est (coupe C et E) : SCPT-23-18 qui montre des horizons potentiellement liquéfiables pour un séisme ayant une période de récurrence de 10 000 ans entre les profondeurs de 0 m à 2,5 m.
  - Secteur Est (coupe D) : SCPT-23-09 qui montre des horizons potentiellement liquéfiables pour un séisme ayant une période de récurrence de 10 000 ans entre les profondeurs de 0 m à 2,5 m.
- Les CRR de laboratoire, obtenus à partir d'essais réalisés à une contrainte de 250 kPa sont respectivement de 0,15 et de 0,18 pour le sable avec peu ou pas de fines et le silt sableux pour un séisme ayant une période de récurrence de 10 000 ans. Ces valeurs concordent avec la tendance des CRR obtenus avec la relation d'Idriss et Boulanger (2008) dans les matériaux similaires interceptés.
- À priori, la charge supplémentaire associée à la construction finale du PAR (élévation 423 m) réduit la susceptibilité des sols de fondation à la liquéfaction cyclique avec un séisme ayant une période de récurrence de 10 000 ans.

Étant donné la variabilité des sols de fondation et la discontinuité des horizons liquéfiables, une attention particulière devrait être accordée à la définition des horizons liquéfiables, pour toute étude d'ingénierie.



Note : PGA 2475 : pour une période de récurrence de 2 475 ans pour une période spectrale de 0,01 s (accélération maximale au sol ou *peak ground acceleration* (PGA)); PGA 10000 : pour une période de récurrence de 10 000 ans et pour une période spectrale de 0,01 s (accélération maximale au sol ou *peak ground acceleration*; Sr(0.4) 10000 : pour une période de récurrence de 10 000 ans pour une période spectrale de 0,4 s, correspondant à une période naturelle après la mise en place du PAR; FSliq : facteur de sécurité à la liquéfaction.

**Figure 2: Analyse du potentiel de liquéfaction des sols de fondation : a) 1 : 2 475 ans, b) 1 : 10 000 ans, c) 1 : 10 000 ans avec la surcharge du PAR**

## 3.0 ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE DU POTENTIEL DE LIQUÉFACTION CYCLIQUE – RÉSIDUS MINIERS FILTRÉS

Une évaluation préliminaire du potentiel de liquéfaction a été effectuée pour déterminer si les résidus miniers filtrés étaient susceptibles de subir une liquéfaction cyclique lorsque soumis aux séismes de conception. La méthodologie suivie est présentée à la section 3.1 et les résultats obtenus sont présentés à l'annexe B et discutés à la section 3.1.2.

### 3.1 Méthodologie

Comme pour l'évaluation du potentiel de liquéfaction des sols de fondation, cette évaluation a été réalisée en comparant le CSR au CRR.

L'évaluation du potentiel de liquéfaction cyclique a été réalisée pour des périodes de retour de 2 475 ans et de 10 000 ans selon les données de l'analyse sismique spécifique du site (*Seismic Site-Specific Hazard Assessment, SSSHA*) (WSP, 2023a).

À noter que lors de l'analyse géotechnique pour la conception du PAR, en appui à l'étude de faisabilité, une analyse préliminaire simplifiée du potentiel de liquéfaction a été effectuée sur les résidus filtrés en fonction des résultats des essais en laboratoire CDSS et d'un séisme de conception préliminaire (obtenu de la fiche d'aléas sismiques et des données de désagrégation des aléas, calculées par le Service canadien d'information sur les risques de la Commission géologique du Canada) (WSP, 2023b). Les résultats obtenus dans le présent rapport incluent les plus récents essais de laboratoire (WSP, 2024d – en préparation, 2023c) et utilisent DEEPSOIL. Ils sont donc jugés plus précis et ont donc été retenus pour l'analyse du potentiel de liquéfaction des résidus filtrés.

#### 3.1.1 Rapport de la contrainte cyclique (CSR)

Comme pour les analyses des sols de fondation décrites plus haut (section 2.1.1), le profil CSR pour le séisme de conception ( $CSR_{M, \sigma_v}$ ) a été établi selon la réponse dynamique du dépôt évaluée à partir du logiciel DEEPSOIL v7.0 (Build : 7.0.33.0 – Hashash et al., 2021). Les analyses ont été effectuées pour les SCPT-23-08, SCPT-23-16 et SCPT-23-18 qui se trouvent dans l'emprise du PAR, où l'élévation maximale des résidus filtrés sera approximativement de 423 m. La couche de sols organiques a été retirée, pour les analyses avec le PAR.

Dans le modèle DEEPSOIL (Hashash et al., 2021), l'horizon des résidus est caractérisé par un poids volumique ( $\gamma$ ), un module de cisaillement ( $G$ ), un taux d'amortissement ( $\beta$ ), une vitesse des ondes de cisaillement ( $V_s$ ) et une résistance au cisaillement ( $\tau$ ). Les  $\gamma$  (19 kN/m<sup>3</sup>) et les  $\tau$  ( $\tau = \sigma'_v \cdot \tan(\phi')$ ,  $\phi' = 33$ ) ont été choisis d'après les résultats des essais de laboratoire réalisés dans le cadre des caractérisations des résidus miniers de 2020-2021 et de 2023-2024 (WSP, 2023c, 2024d – en préparation). Un  $V_s$  de 200 m/s a été utilisé pour les résidus miniers filtrés. Il s'agit d'une valeur qui se fonde sur notre expérience d'autres mines possédant des résidus miniers avec des propriétés géotechniques similaires. Les courbes de dégradation du module de cisaillement ( $G/G_{max}$ ) et du taux d'amortissement ( $\beta$ ) en fonction de la déformation en cisaillement ont été estimées d'après le modèle de Darendeli (2001). Ce modèle se fonde sur l'indice de plasticité, la contrainte effective de confinement et le rapport de surconsolidation.

Sept paires de signaux sismiques (accélérogrammes) élaborées spécifiquement pour le site et mises à l'échelle pour une période de récurrence de 10 000 ans et pour une période spectrale de 0,4 s (WSP, 2023a), correspondant à la période naturelle de l'empilement après la mise en place du PAR, ont été appliquées à la base des profils stratigraphiques de DEEPSOIL. Un niveau d'eau à un tiers (1/3) du PAR a été retenu pour chaque analyse. Le CSR

a été calculé en utilisant 65 % de la moyenne des contraintes cycliques maximales résultant des quatorze signaux (Idriss et Boulanger, 2008).

### 3.1.2 Rapport de la résistance cyclique (CRR)

À la suite des essais CDSS sur les échantillons pour la caractérisation des résidus filtrés (WSP, 2023c, 2024d – en préparation), une valeur de CRR a été calculée pour les résidus filtrés en prenant en compte une contrainte effective de 200 kPa et une contrainte effective de 350 kPa (base de l'empilement). Le CRR a été ajusté à un nombre de cycles équivalent (déformation de 3,75 %) pour la magnitude du séisme de conception ( $CRR_{M, \sigma_v}$ ), soit une magnitude de 7,7 pour une période de retour de 10 000 ans (WSP, 2023a). Les  $CRR_{M, \sigma_v}$  ont également été corrigés pour un chargement de 1 Hz (une fréquence de 0,1 Hz a été utilisée pour plus de commodité; le laboratoire effectuant les essais à une fréquence de 0,10 Hz). Les  $CRR_{M, \sigma_v}$  ont été comparés avec les CSR obtenus de DEEPSOIL (2021), afin d'évaluer le potentiel de liquéfaction cyclique.

## 3.2 Résultats

Les résultats des analyses d'évaluation du potentiel de liquéfaction des résidus filtrés sont présentés à l'annexe B et les principales observations sont présentées ici :

- Les  $CRR_{M, \sigma_v}$  estimés à partir des résultats des essais en laboratoire sont de 0,35 pour une contrainte effective de confinement de 200 kPa et de 0,20 pour une contrainte effective de confinement de 350 kPa. Les valeurs  $CRR_{7.7, 200} = 0,35$  et  $CRR_{7.7, 350} = 0,20$  ont été positionnées à leur profondeur respective sur les figures des rapports des contraintes cycliques, reproduits à l'annexe B;
- Pour les contraintes de confinement choisies (200 kPa et 350 kPa) et selon les profils des trois SCPT étudiés, les CRR calculés sont supérieurs au CSR. Les résidus ne sont donc pas considérés comme sujets à la liquéfaction dynamique pour les séismes de conception considérés et mis à l'échelle pour la période de retour de 10 000 ans.

## 4.0 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Ce mémorandum présente la méthodologie et les résultats des analyses du potentiel de liquéfaction cyclique des sols de fondation dans l’empreinte du parc à résidus miniers (PAR) et des résidus miniers filtrés du projet Windfall. Ces analyses ont été réalisées en appui à l’étude de conception du parc à résidus miniers (WSP, 2024b – en préparation). Les analyses permettent de tirer les conclusions suivantes :

- L’analyse du potentiel de liquéfaction cyclique des sols granulaires de fondation, effectuée d’après les données SCPTu recueillies dans le secteur du PAR dans le cadre de l’investigation 2023 (WSP, 2024a), indique que :
  - Généralement, pour un séisme ayant une période de récurrence de 2 475 ans, les sols de fondation dans l’empreinte du PAR ne sont pas susceptibles à la liquéfaction cyclique, avec les exceptions de certains horizons distincts et localisés, tel que décrit à la section 2.2;
  - Généralement, pour un séisme ayant une période de récurrence de 10 000 ans, les sols de fondation dans l’empreinte du PAR sont susceptibles à la liquéfaction cyclique, avec des épaisseurs liquéfiables variant de 0,3 m à 8 m. Les profondeurs des zones liquéfiables atteints généralement des profondeurs supérieures à 2,5 m, allant jusqu’à 14 m, avec quelques exceptions, comme discuté à la section 2.2 (annexe A);
  - La charge supplémentaire associée à la construction finale du PAR (élévation 423 m) réduit la susceptibilité des sols de fondation à la liquéfaction cyclique sous un séisme ayant une période de récurrence de 10 000 ans (annexe A);
  - Les résidus miniers du PAR ne sont pas susceptibles de subir une liquéfaction cyclique pour des séismes d’une période de récurrence de 10 000 ans (annexe B).

Il est recommandé d’inclure les résultats de cette analyse dans la conception détaillée du parc à résidus. Il est également recommandé de revoir le potentiel de liquéfaction des résidus filtrés lorsque la mine sera en opération et que des résidus miniers filtrés seront réellement produits. Également, il est possible que les propriétés des résidus miniers évoluent durant la vie de la mine en raison des zones minéralisées exploitées, de l’usine de filtration ou du procédé de concassage. Il est recommandé de vérifier la variabilité des résidus miniers dans le temps et de revoir leur potentiel de liquéfaction lors de changements significatifs.

## 5.0 LIMITATIONS

Les conditions générales ainsi que les limitations à la présente étude sont présentées à l’annexe C.

Il est à noter que ce rapport factuel a été préparé pour l’usage exclusif de Windfall et (ou) de ses agents. Les résultats, les interprétations et les commentaires présentés dans ce rapport se fondent sur les observations qui ont eu lieu uniquement à l’emplacement des sondages réalisés; ils ne peuvent donc pas s’appliquer à l’ensemble du site.

## 6.0 DÉCLARATION DE CONTRIBUTION DES AUTEURS

Contributeurs (trices)	Contribution
Myriam Roy, CPI <i>CPI en gestion des résidus miniers</i>	Préparation du rapport et des annexes
Nicolas Pépin, ing., M.Sc.A. <i>Ingénieur senior en géotechnique</i>	Révision senior du rapport et des annexes

## Page Signatures

**WSP Canada Inc.**



Myriam Roy, CPI  
*CPI en gestion des résidus miniers*



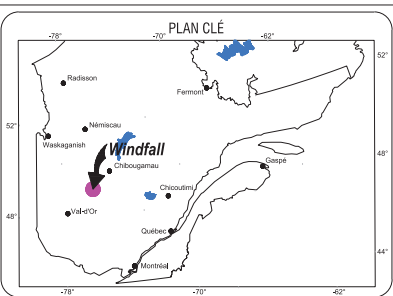
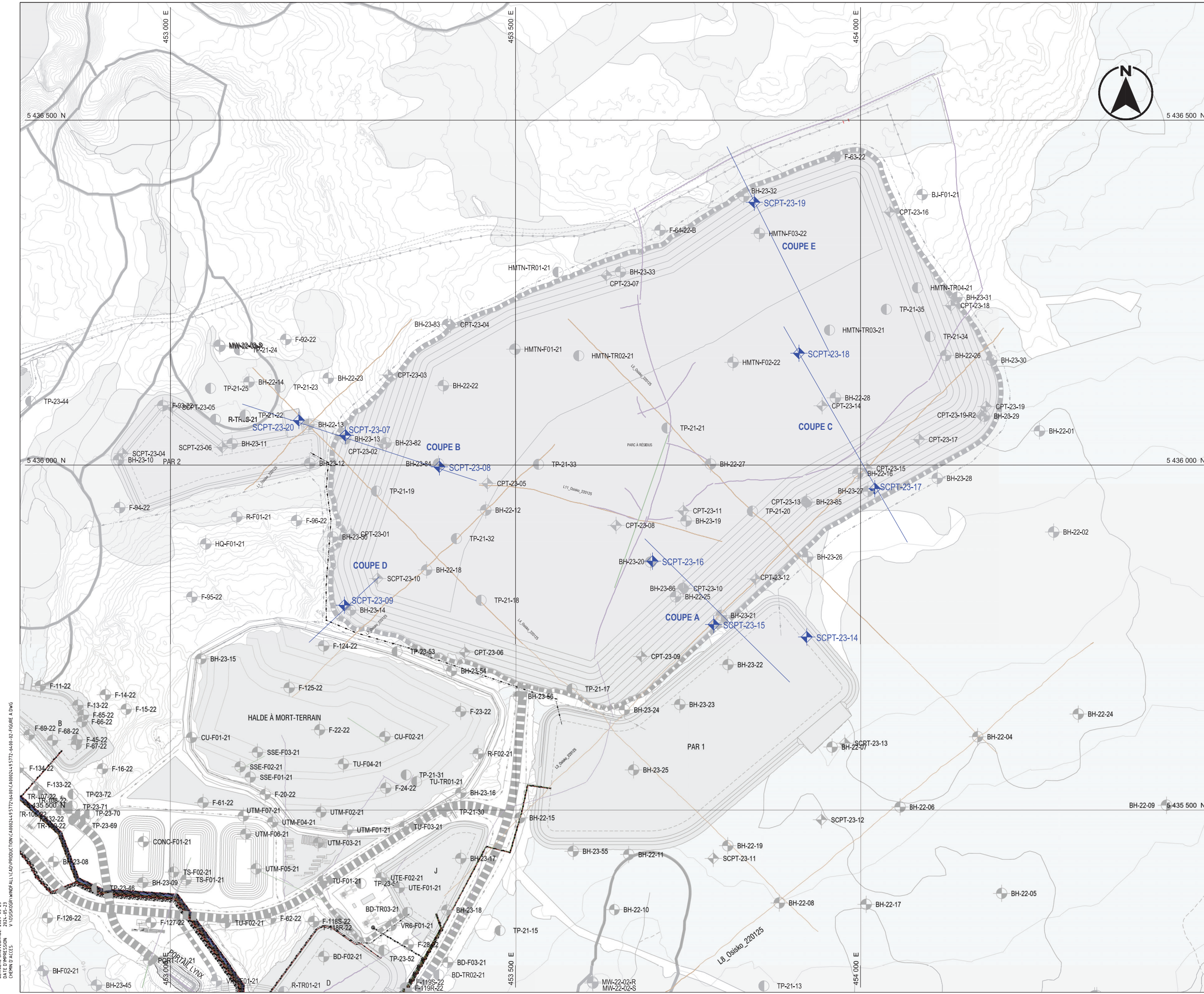
Nicolas Pépin, ing., M.Sc.A.  
*Ingénieur sénior en géotechnique*

MR/NP/as

## RÉFÉRENCES

- Darendeli, M. B. 2001. *Development of a New Family of Normalized Modulus Reduction and Material Damping Curves*, Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, The University of Texas, Austin, Texas.
- Idriss IM, Boulanger RW. 2008. La liquéfaction des sols lors des séismes. Institut de recherche en génie sismique. 236 p. + annexe. Hashash, Y.M.A., Musgrove, M.I., Harmon, J.A., Ilhan, O., Xing, G., Numanoglu, O., Groholski, D.R., Phillips, C.A., and Park, D., 2021, “*DEEPSOIL 7.0, User Manual*”. Urbana, IL, Board of Trustees of University of Illinois at Urbana-Champaign.
- CDA. 2019. Technical Bulletin: Application of Dam Safety Guidelines to Mining Dams. For CDA Conference Calgary Workshop on Slope Stability. Draft Revision, 2019 Sept, 30, 20 p.
- ICMM (International Council on Mining Metals. 2020. Global industry Standard on Tailings Management, August 2020. 21 p.
- WSP, 2023a. *Site-Specific Probabilistic Seismic Hazard Analysis and Earthquake Acceleration Time History Development – Windfall Project*, Site Minier Windfall, Eeyou Istchee Baie-James, Québec. N° réf. : CAWL-RE-GT-0601-00, février 2024. 61 pages et annexes
- WSP, 2023b. *Analyse géotechnique pour la conception du parc à résidus miniers en support à l'étude de faisabilité*, Site Minier Windfall, Eeyou Istchee Baie-James, Québec. N° réf. : GAL-145-2148985706-MTF-Rev0-FEA-Analyses géotech\_FR
- WSP, 2023c. *2020 Geotechnical Characterization of tailings – Windfall Project*, Windfall Mine Site, Eeyou Istchee Baie-James, Québec. N° réf.: GAL105-20146303-Rev0. Mars 2023.
- WSP, 2024a. *Rapport factuel d'investigation géotechnique 2023 – Projet Windfall*, Site Minier Windfall, Eeyou Istchee Baie-James, Québec. N° réf. : CAWL-RE-GT-0600-00, février 2024. 28 pages et annexes
- WSP, 2024b. *Rapport de conception du parc à résidus miniers – Projet Windfall*, Site Minier Windfall, Eeyou Istchee Baie-James, Québec. N° réf. : CAWL-RE-GT-0610-00, En préparation
- WSP, 2024c. *Interprétation des essais de pénétration au piézocône et des essais de laboratoire 2023 réalisés sur les sols naturels – Projet Windfall*, Site Minier Windfall, Eeyou Istchee Baie-James, Québec. N° réf. : CAWL-RE-GT-0604-00, En préparation
- WSP, 2024d. *Caractérisation des résidus miniers 2023-2024 – Projet Windfall*, Site Minier Windfall, Eeyou Istchee Baie-James, Québec. N° réf. : CAWL-RE-GT-0603-00, En préparation
- WSP, 2024e. *Detailed Engineering of Windfall Project- Filtered Tailings Management Facility Design Basis Memorandum*, Site Minier Windfall, Eeyou Istchee Baie-James, Québec. N° réf. : CAWL-ME-GT-0616-00, En préparation





**NOTES GÉNÉRALES**

SYSTÈME DE COORDONNÉES : UTM83-18  
(UTM with NAD83 datum, Zone 18, Meter, Central Meridian 75d W)

**FICHIERS SOURCE :**

- COURBES TOPOGRAPHIQUES REPRÉSENTÉES AU MÈTRE, ISSUES DU RELÈVÉ LIDAR FAIT LE 19 SEPTEMBRE 2022, TRANSMIS PAR LE CLIENT.
- INFRASTRUCTURES EXISTANTES : FICHER "PLAN DE SURFACE.dwg", TRANSMIS PAR LE CLIENT LE 10 OCTOBRE 2020 ET MIS À JOUR EN AOÛT 2022.

**LÉGENDE**

- ◆ SCPT ÉTUDIÉ DANS LE CADRE DE L'ANALYSE DU POTENTIEL DE LIQUEFACTION
- ◆ CPT
- ◆ FORAGE
- TRANCHÉE
- PUIS D'OBSERVATION
- LIGNE ERT
- LIGNE MASW
- LIGNE GÉODAR

REV	DATE	DESCRIPTION	DES./PRÉ./VER.
00	2024-07-23	RÉV00	C.P. M.R. N.P.
0A	2024-07-10	PRÉLIMINAIRE	C.P. M.R. N.P.

REV	DATE	DESCRIPTION	DES./PRÉ./VER.
00	2024-07-23	RÉV00	C.P. M.R. N.P.
0A	2024-07-10	PRÉLIMINAIRE	C.P. M.R. N.P.

**CONFIDENTIEL**

NE PAS UTILISER POUR CONSTRUCTION

PAR: M. ROY DATE: 2024-07-23

7250 RUE DE MILBEND, 3<sup>e</sup> ÉTAGE  
MONTREAL, QUEBEC CANADA H3R 3A4  
TEL.: +1 514 383-0990 | WWW.WSP.COM

PROJET: CA0002449.5772

CONÇU :	M. ROY	2024-05-23
DESSINÉ :	C. PACHIS	2024-05-23
PRÉPARÉ :	M. ROY	2024-05-23
VÉRIFIÉ :	N. PÉPIN	2024-07-23
ÉCHELLE :	1:2500	DATE

**PROJET : PROJET MINIER WINDFALL**

SOUS-PROJET : ANALYSES DE POTENTIEL DE LIQUEFACTION CYCLIQUE DES SOLS DE FONDATION ET DE L'EMPILEMENT DE RÉSIDUS MINIER

TITRE : INFRASTRUCTURES GÉNÉRALES ET LOCALISATION DES SONDAGES - VUE EN PLAN

NO. DESSIN : **FIGURE A**

CODE DE PROJET - SECTEUR - DISCIPLINE - NO. SEQ. - RÉV00

DERNIÈRE SAUVEGARDE : 2024-05-23  
 DATE D'IMPRESSION : 2024-05-23  
 CROQUIS : PACHIS  
 V. PÉPIN/WINDFALL/CAD/PRODUCTION/CA0002449.5772/449/01/CA0002449.5772-449-01-FIGURE A.DWG  
 FORMAT A1 (841x594)

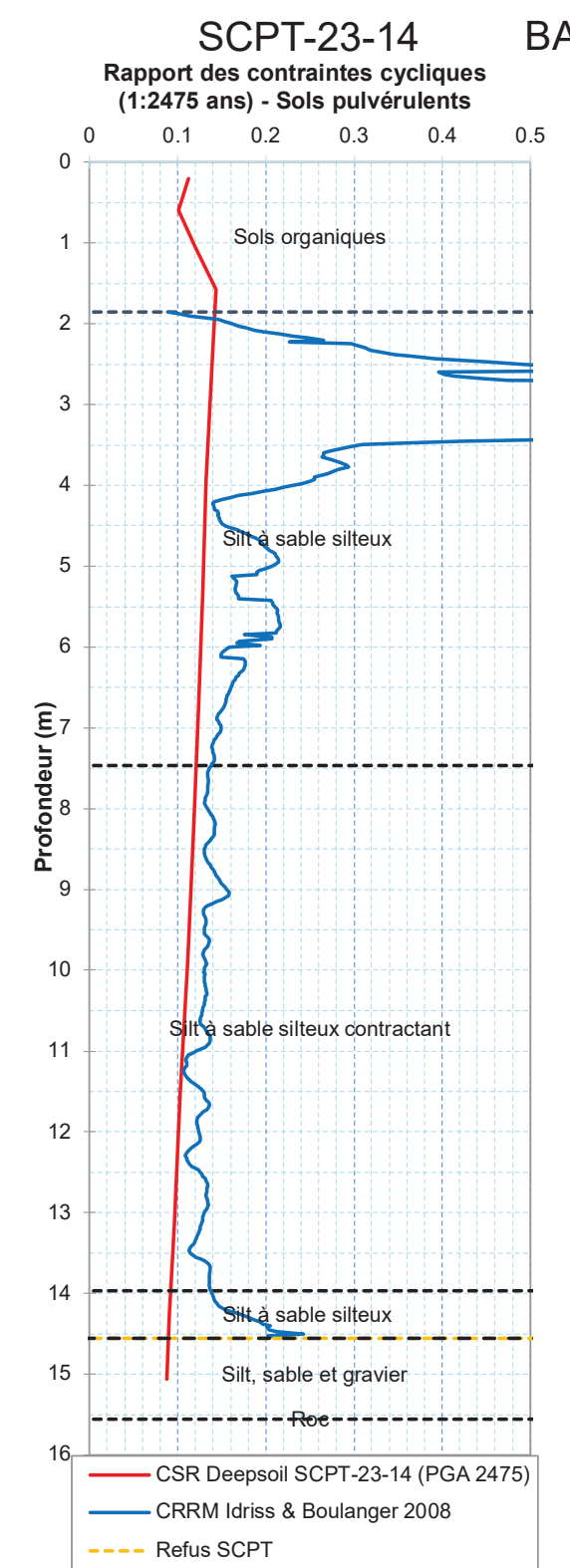
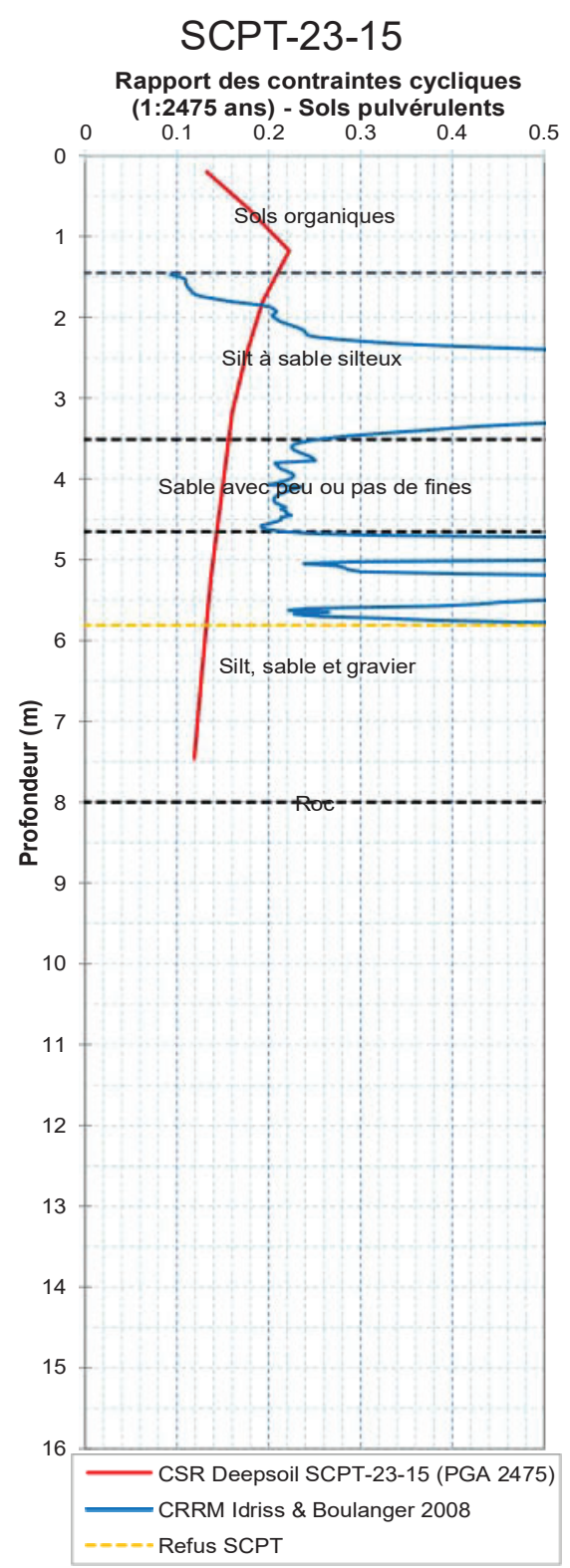
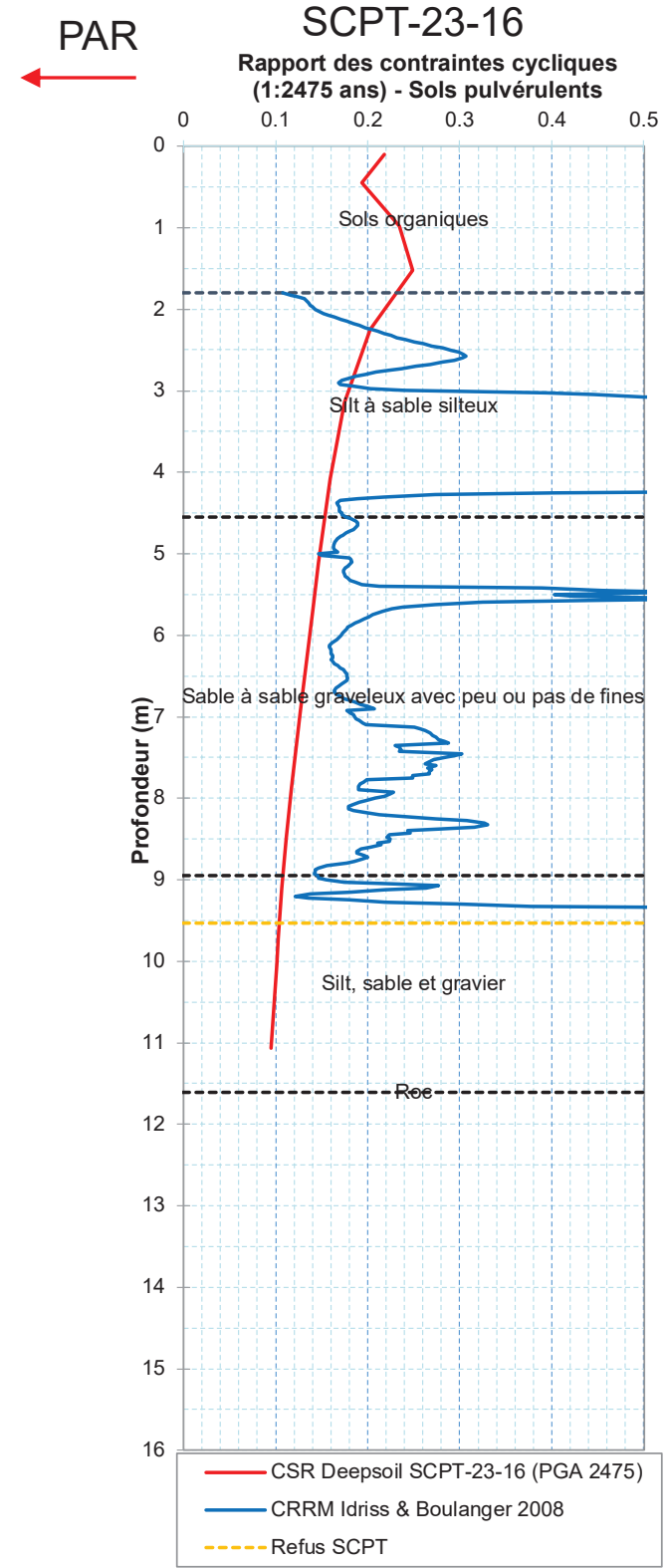


**ANNEXE A**

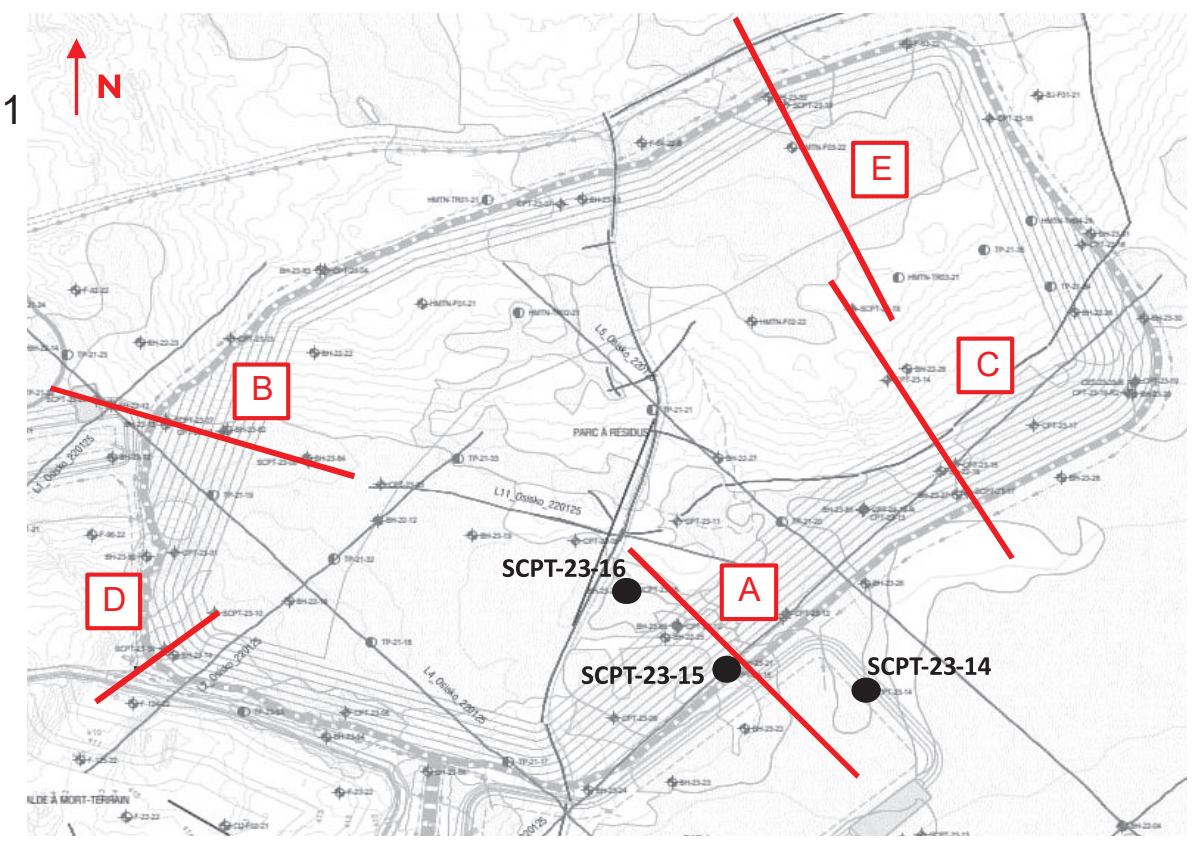
# Rapport des contraintes cycliques dans les sols de fondation



Coupe A – Séisme 1: 2 475 ans



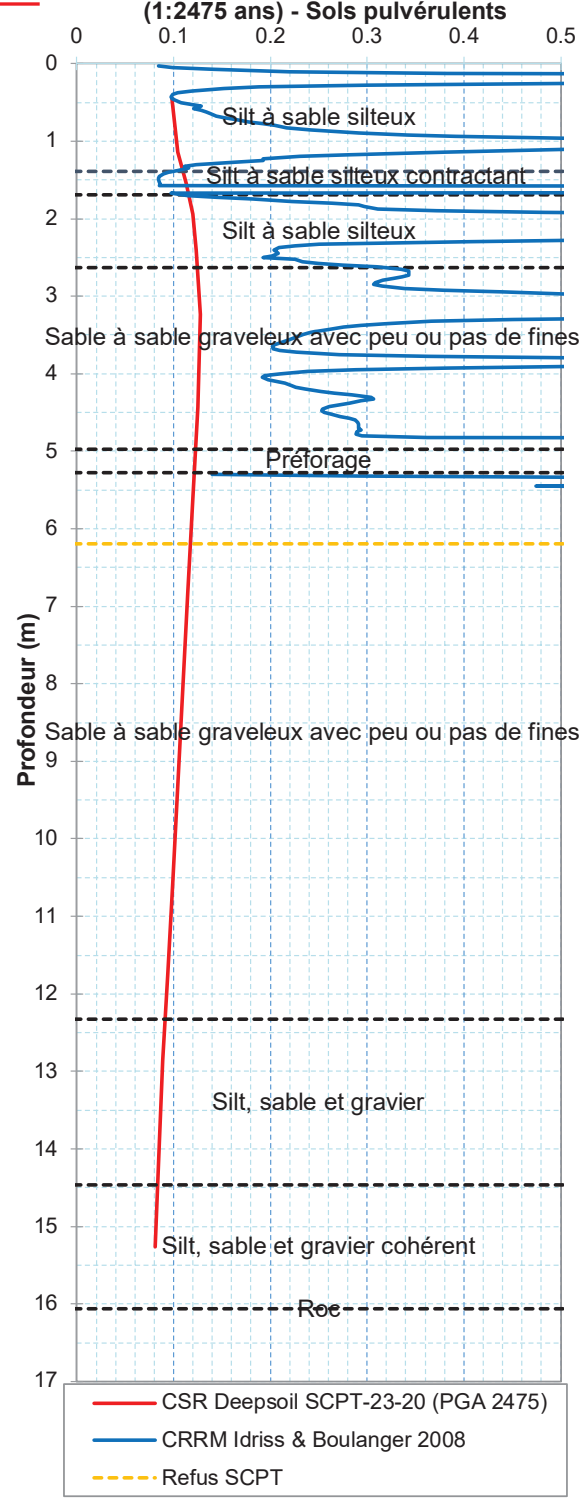
→ BASSIN 1



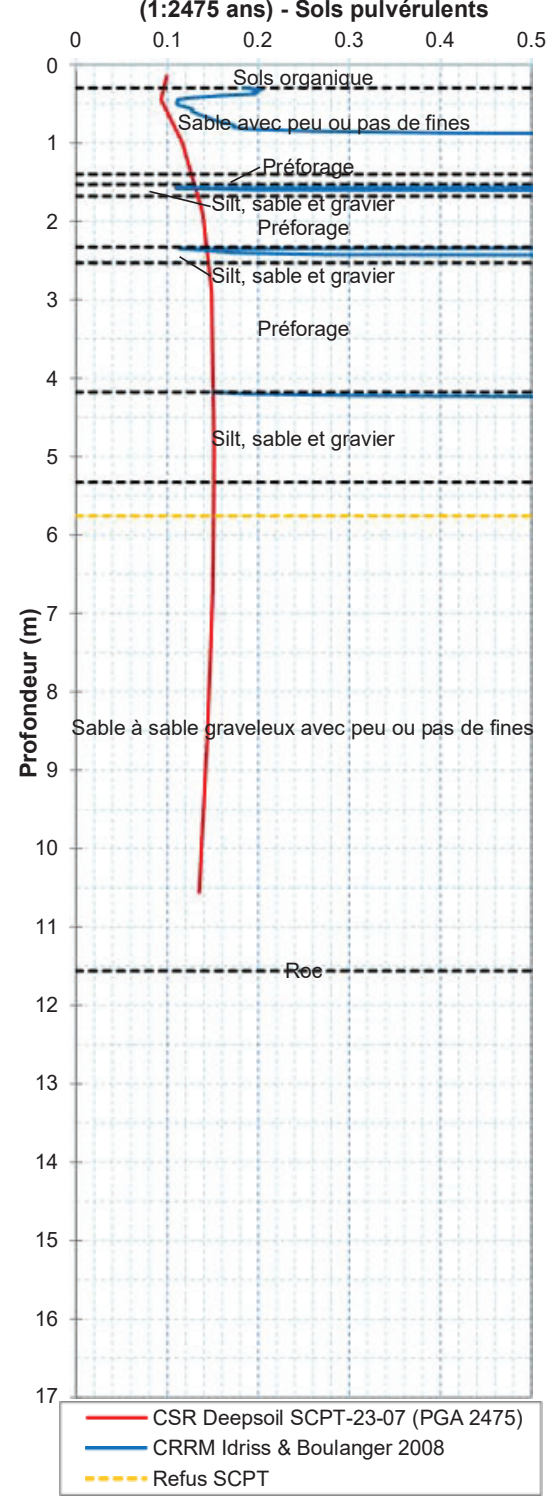


Coupe B – Séisme 1: 2 475 ans

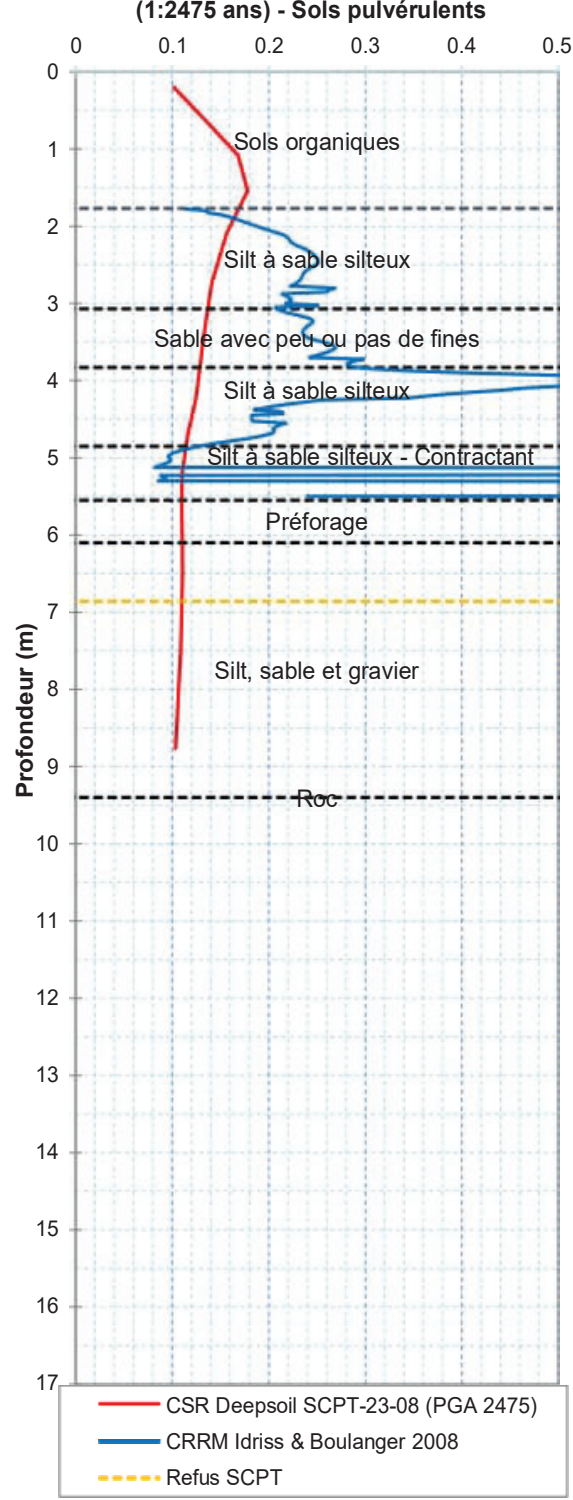
BASSIN 2 ← SCPT-23-20  
Rapport des contraintes cycliques (1:2475 ans) - Sols pulvérulents



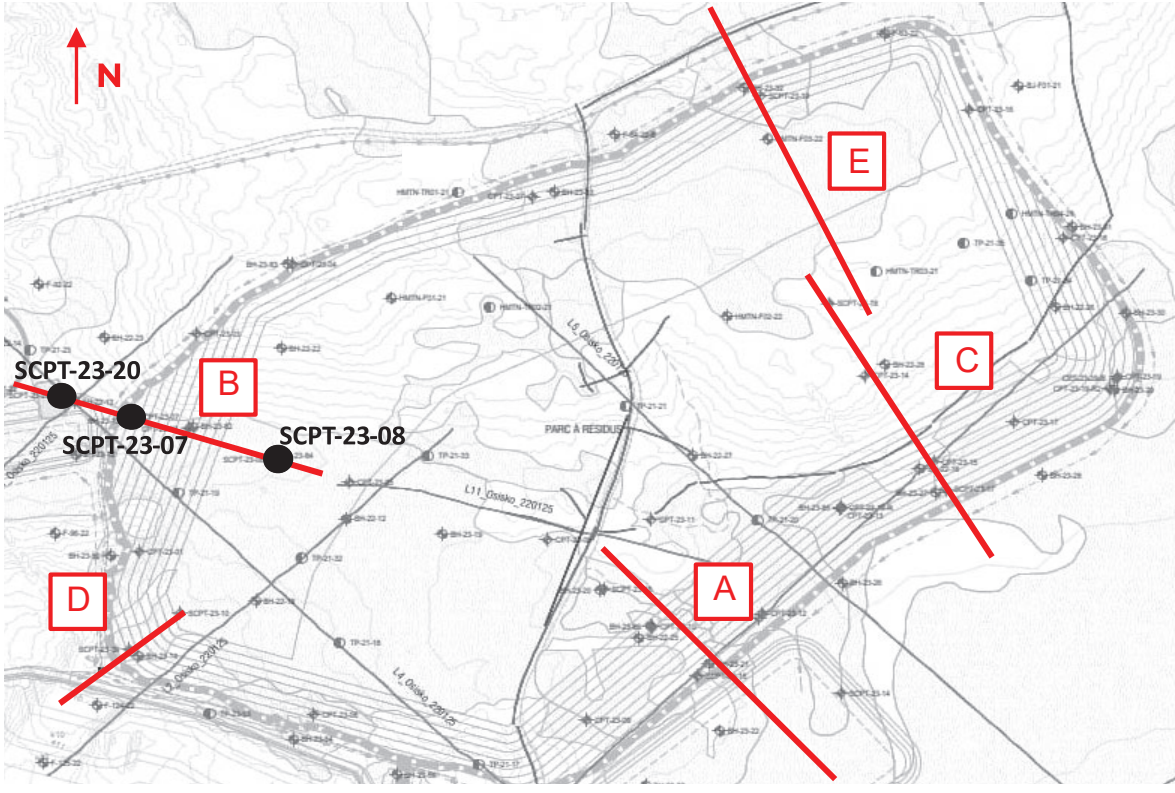
SCPT-23-07  
Rapport des contraintes cycliques (1:2475 ans) - Sols pulvérulents



SCPT-23-08  
Rapport des contraintes cycliques (1:2475 ans) - Sols pulvérulents

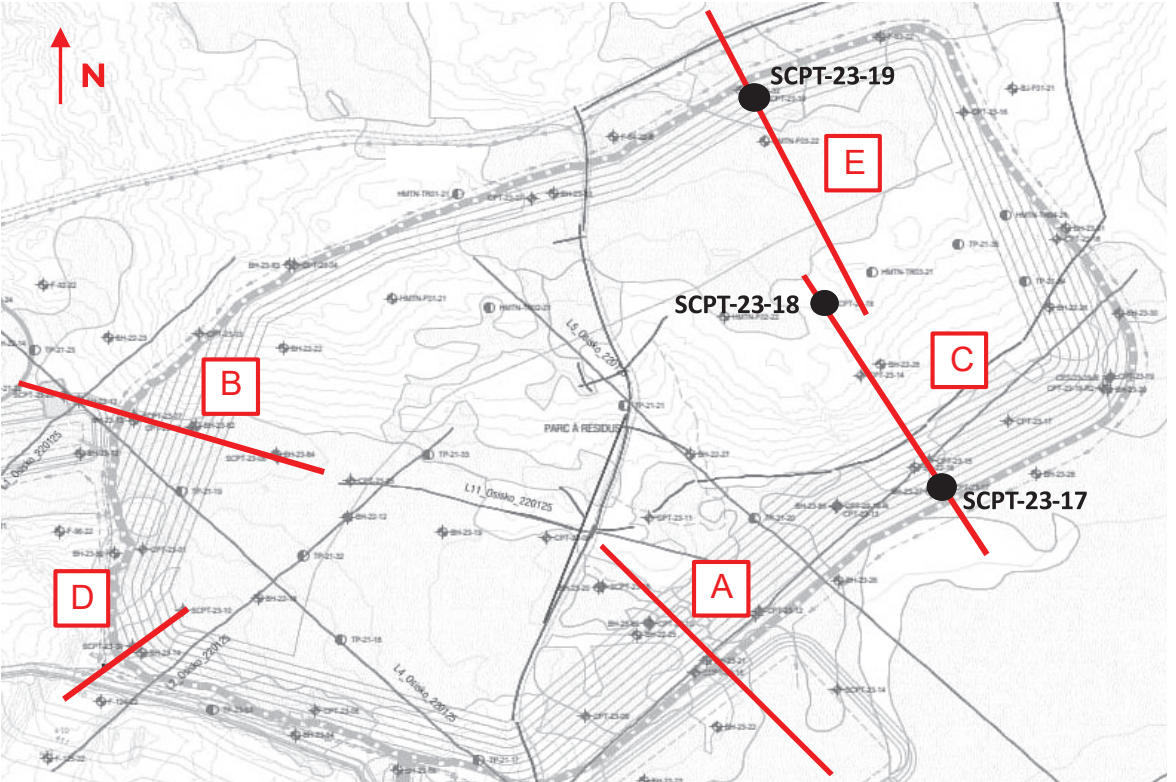
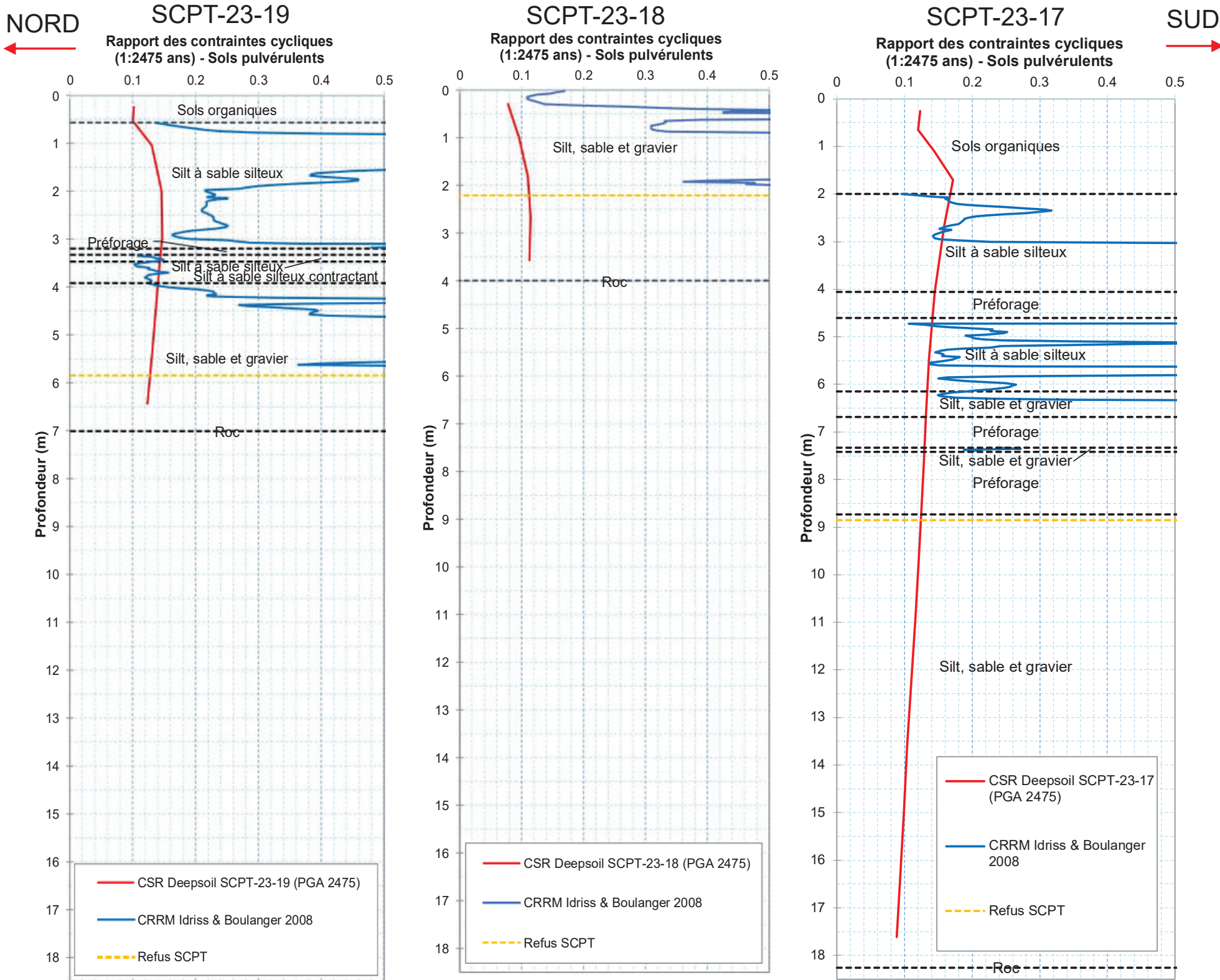


PAR →



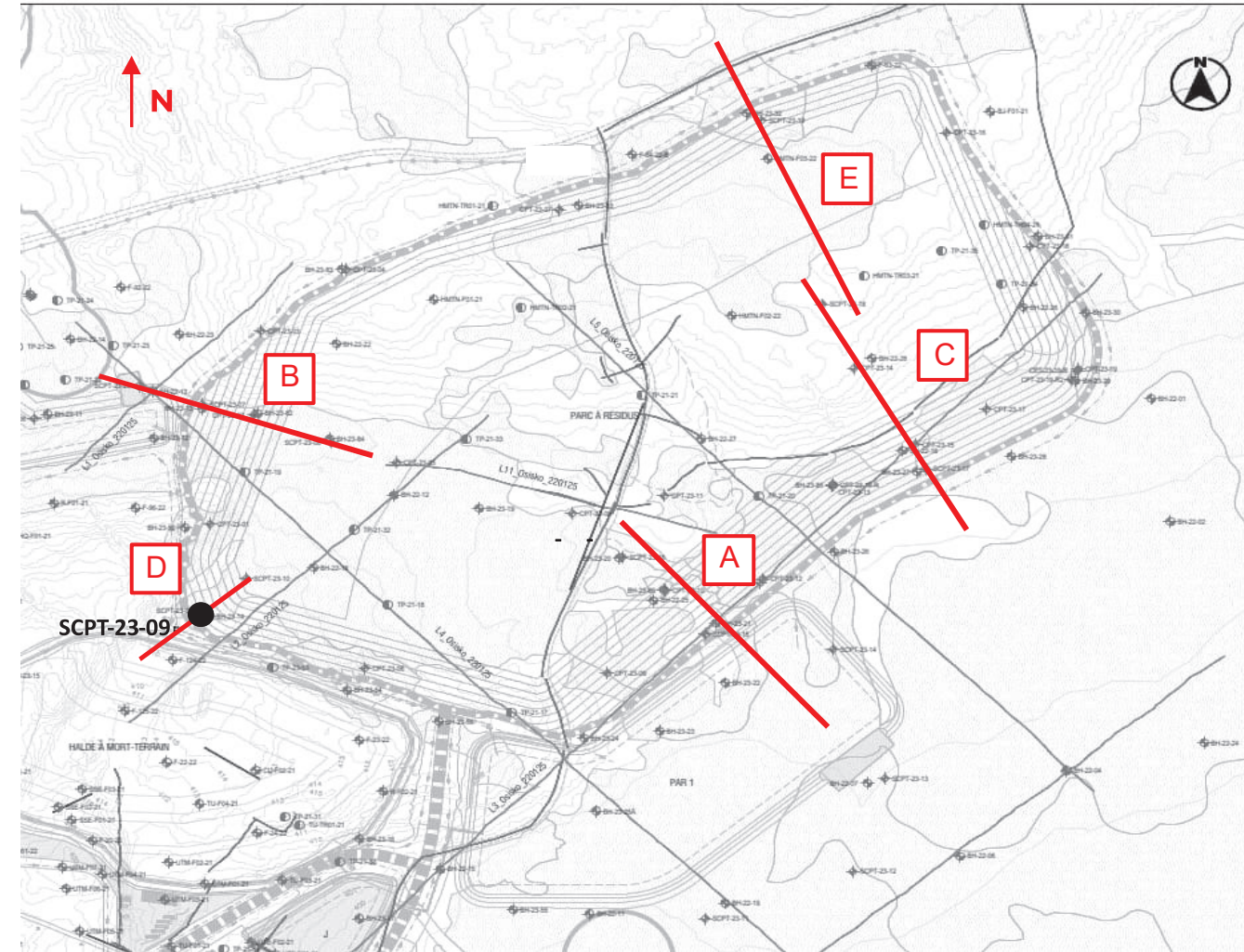
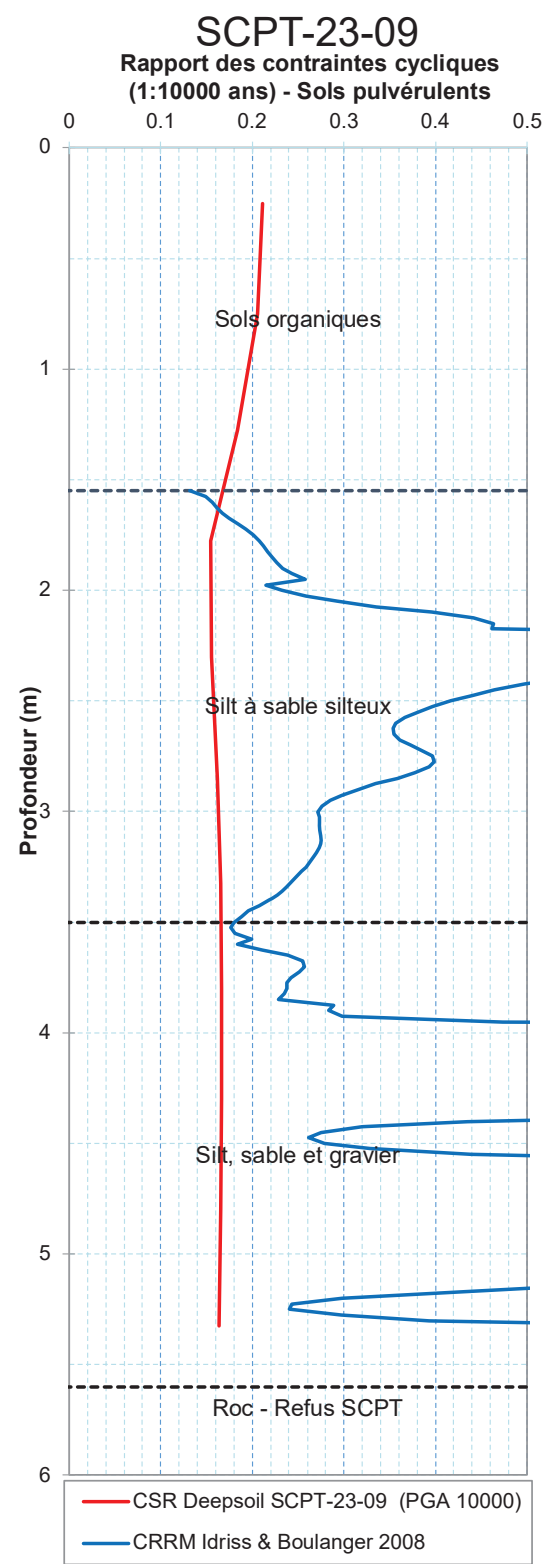
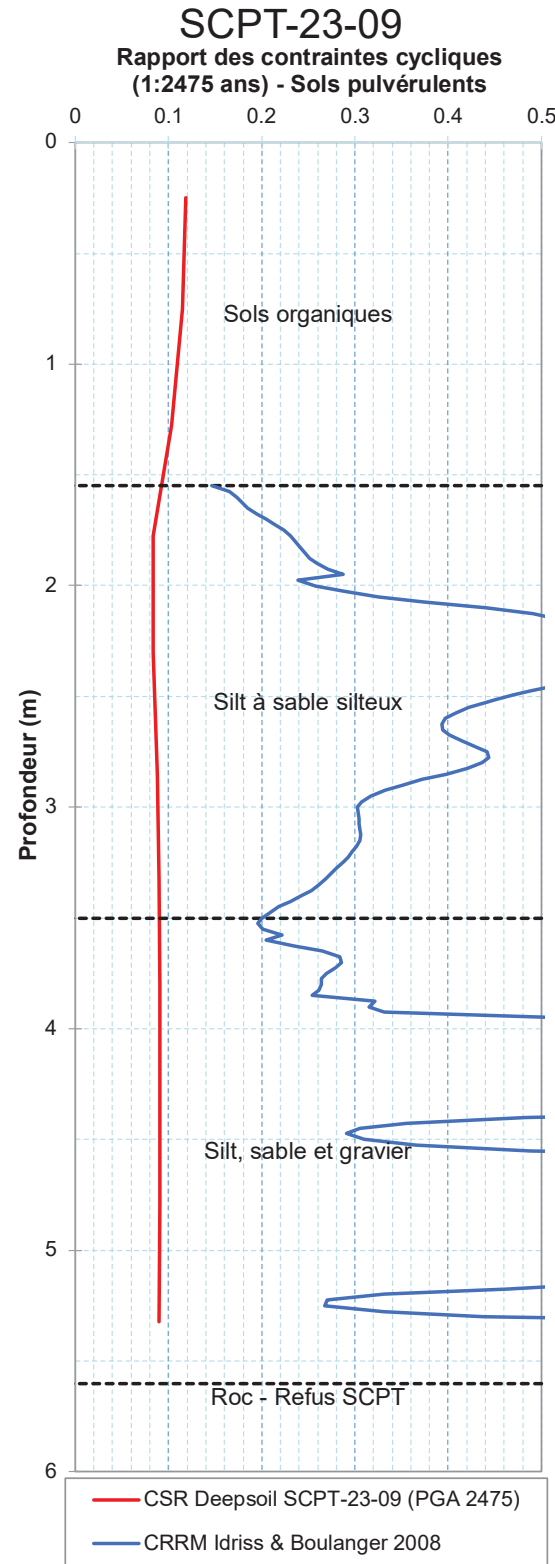


Coupe C et E – Séisme 1: 2 475 ans



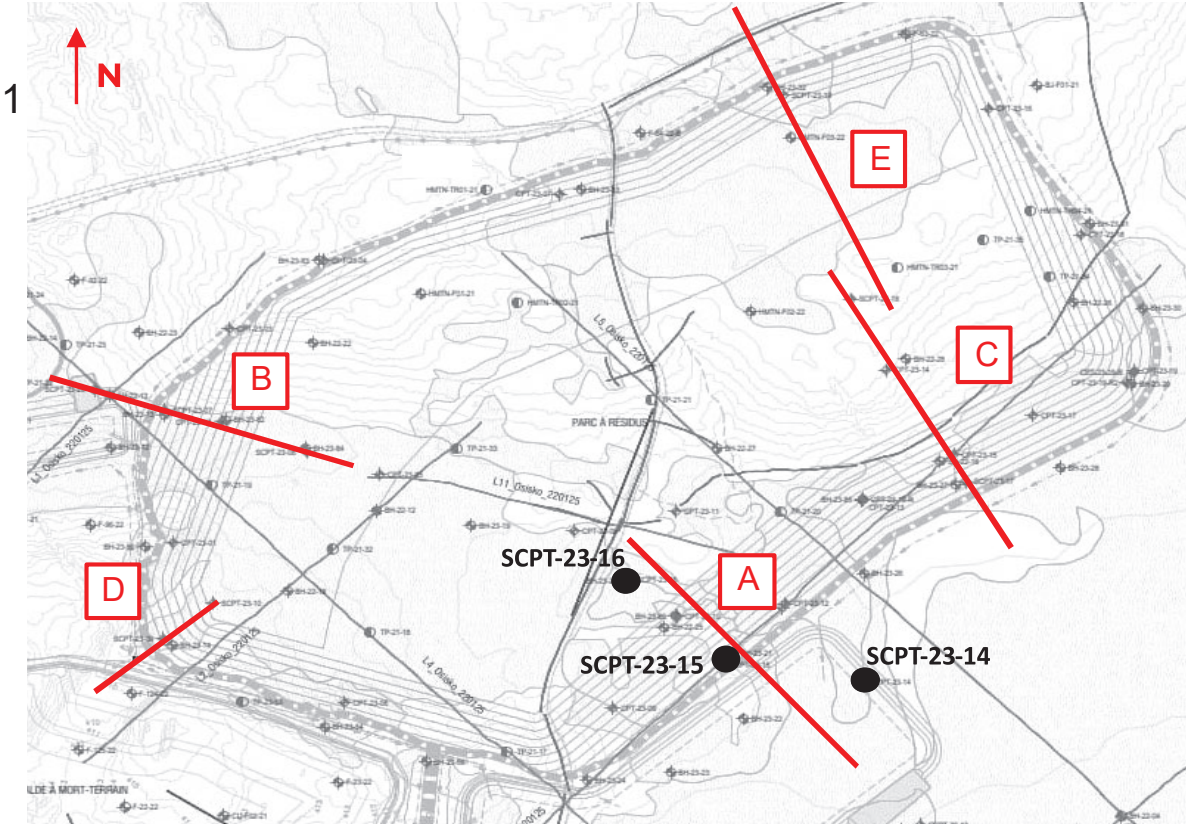
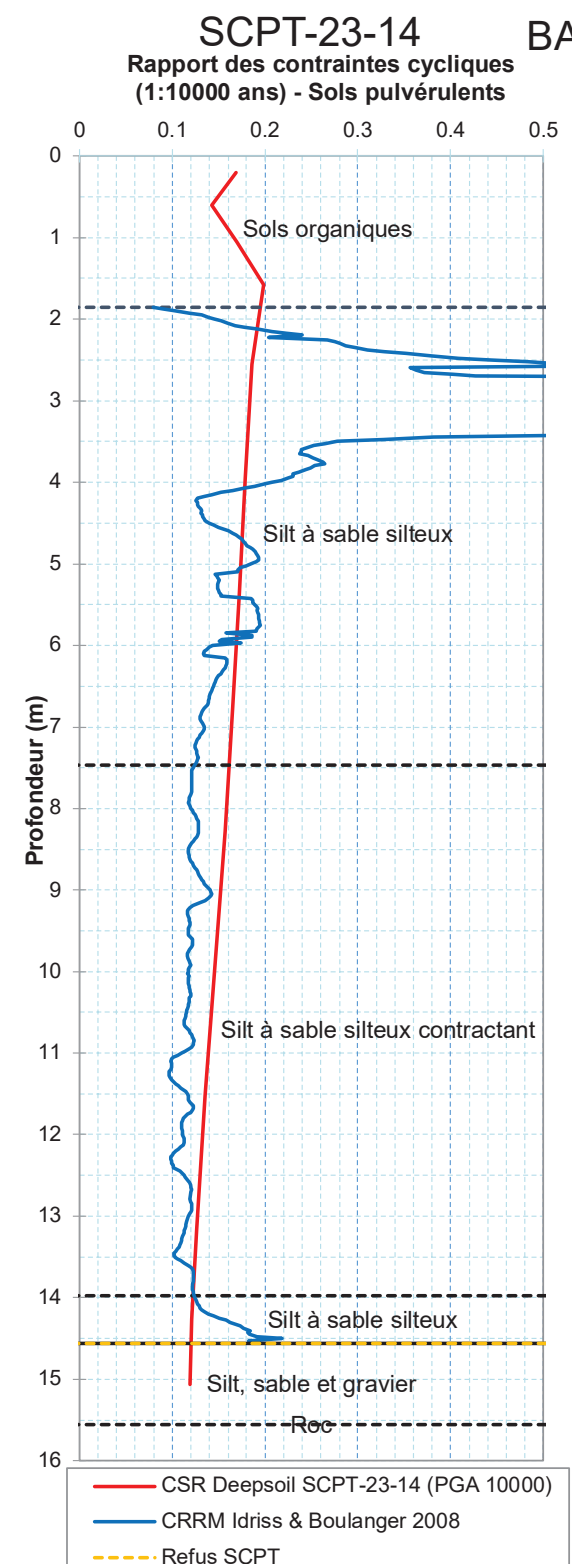
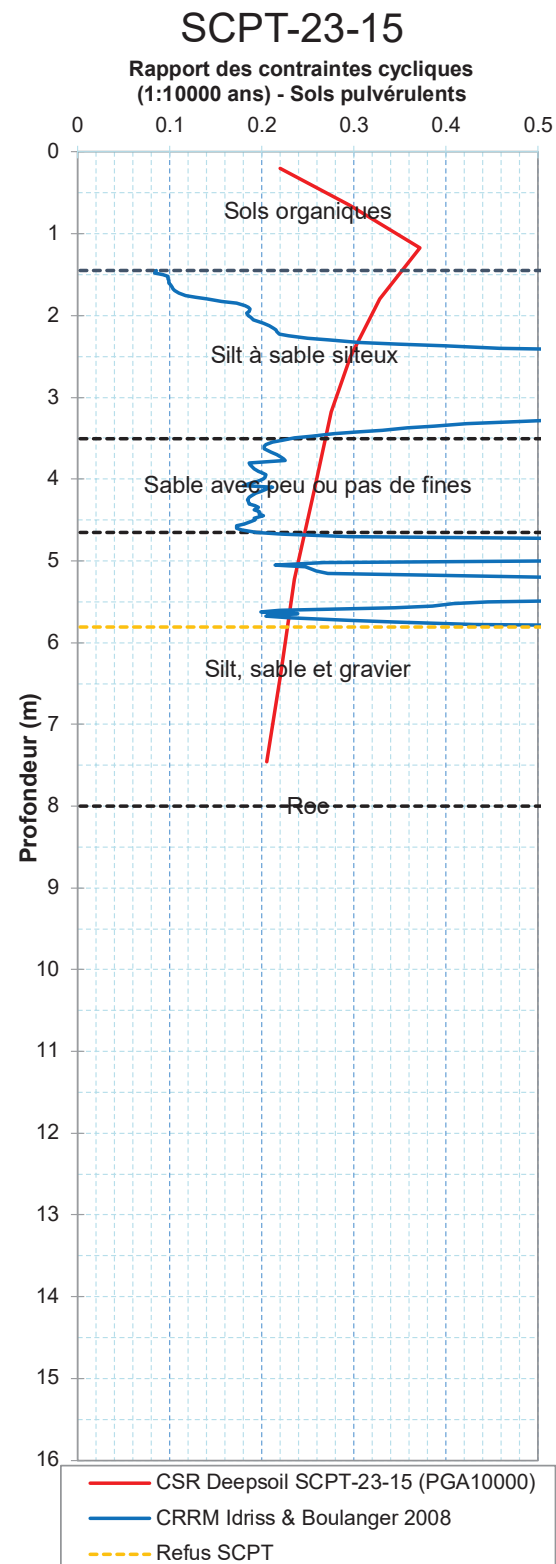
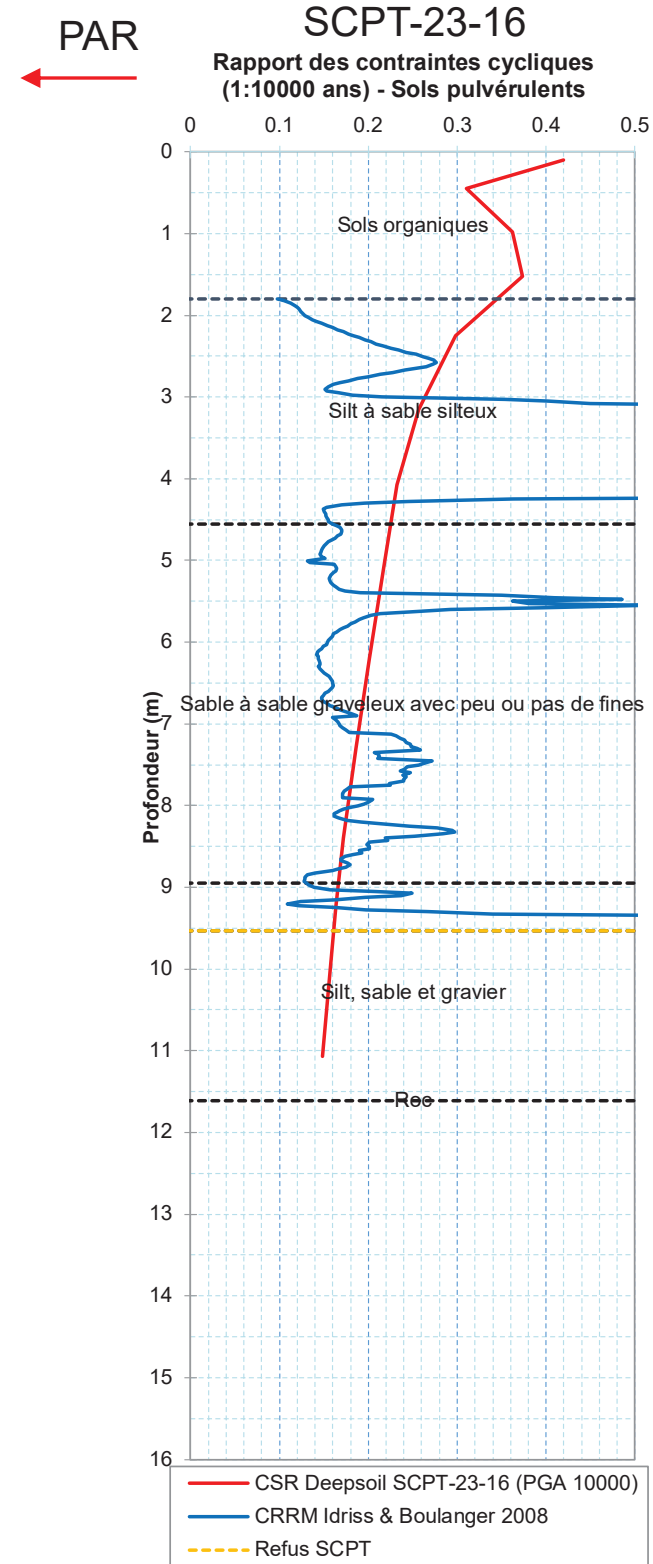


Coupe D – Séismes 1: 2 475 ans et 1: 10 000 ans



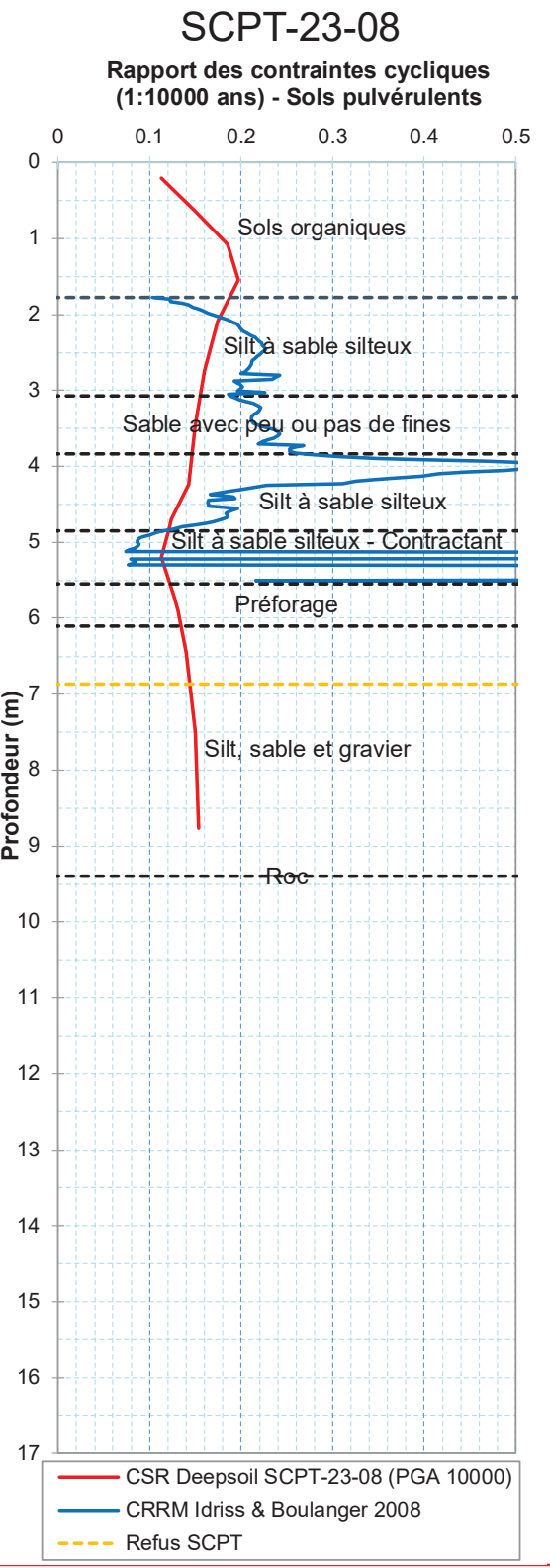
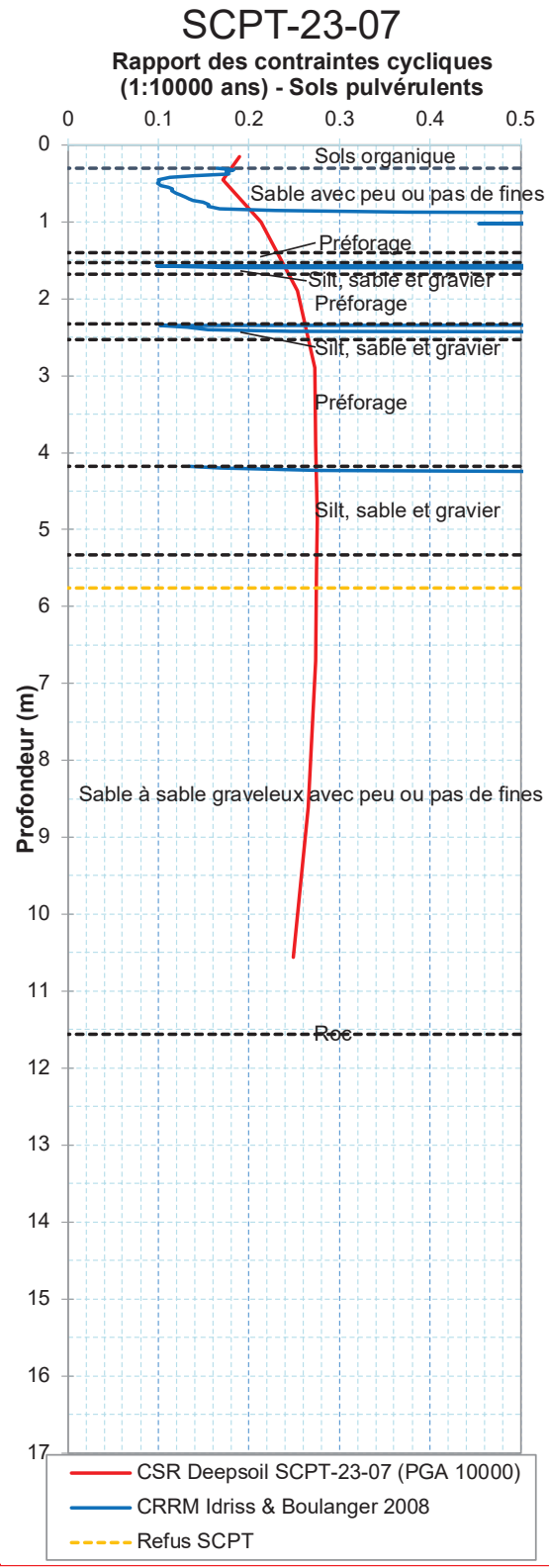
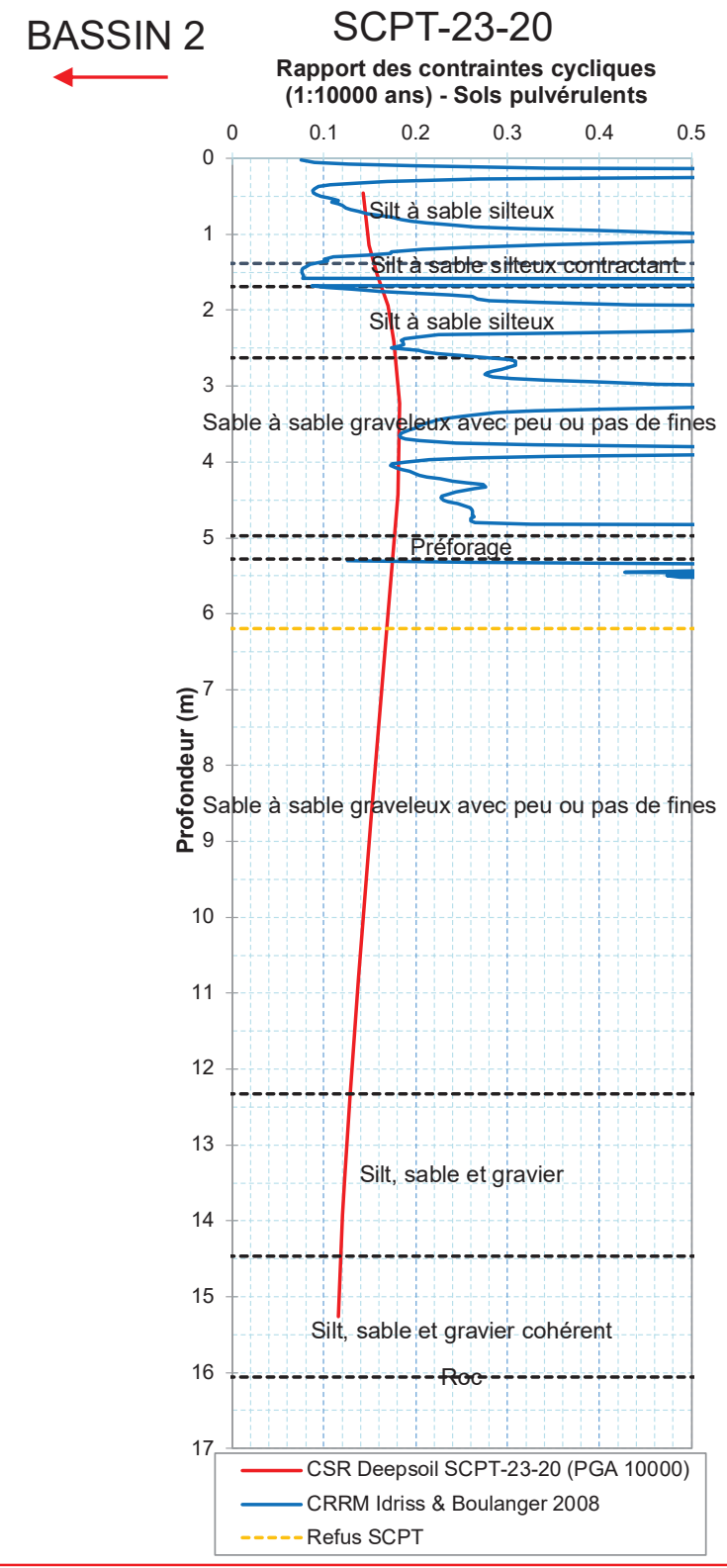


Coupe A – Séisme 1: 10 000 ans

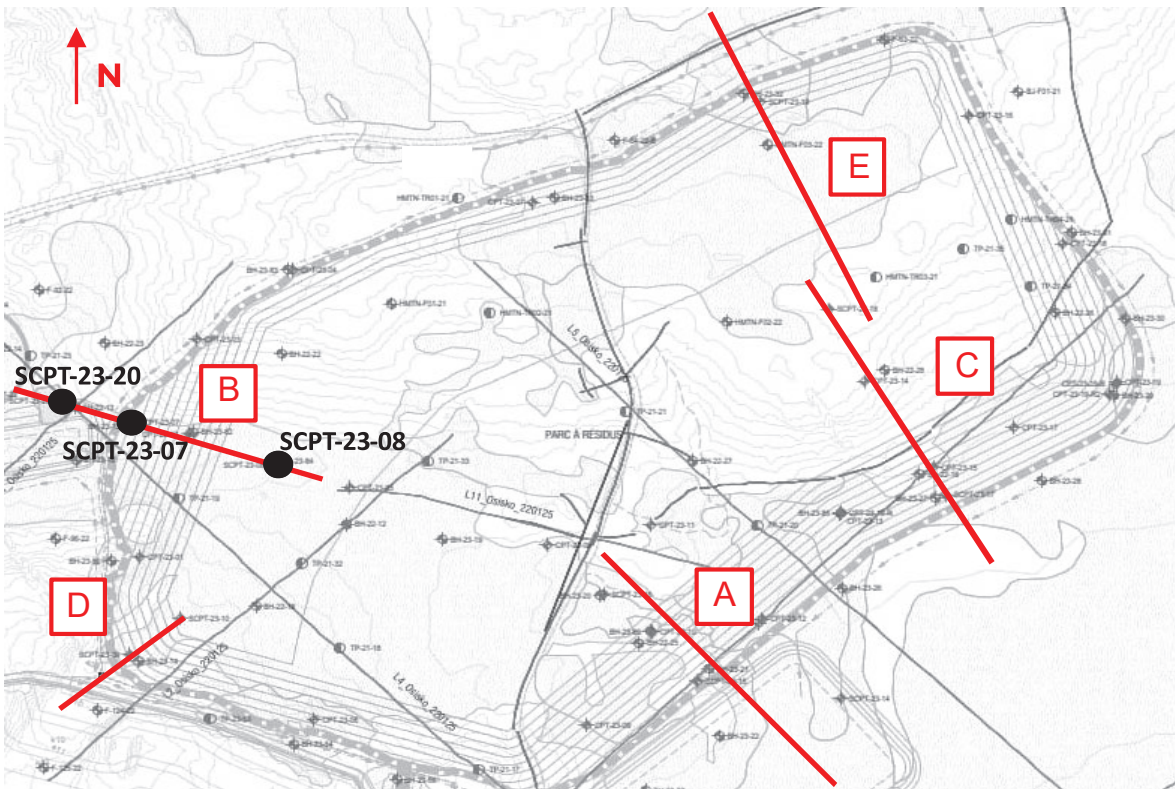




Coupe B – Séisme 1: 10 000 ans



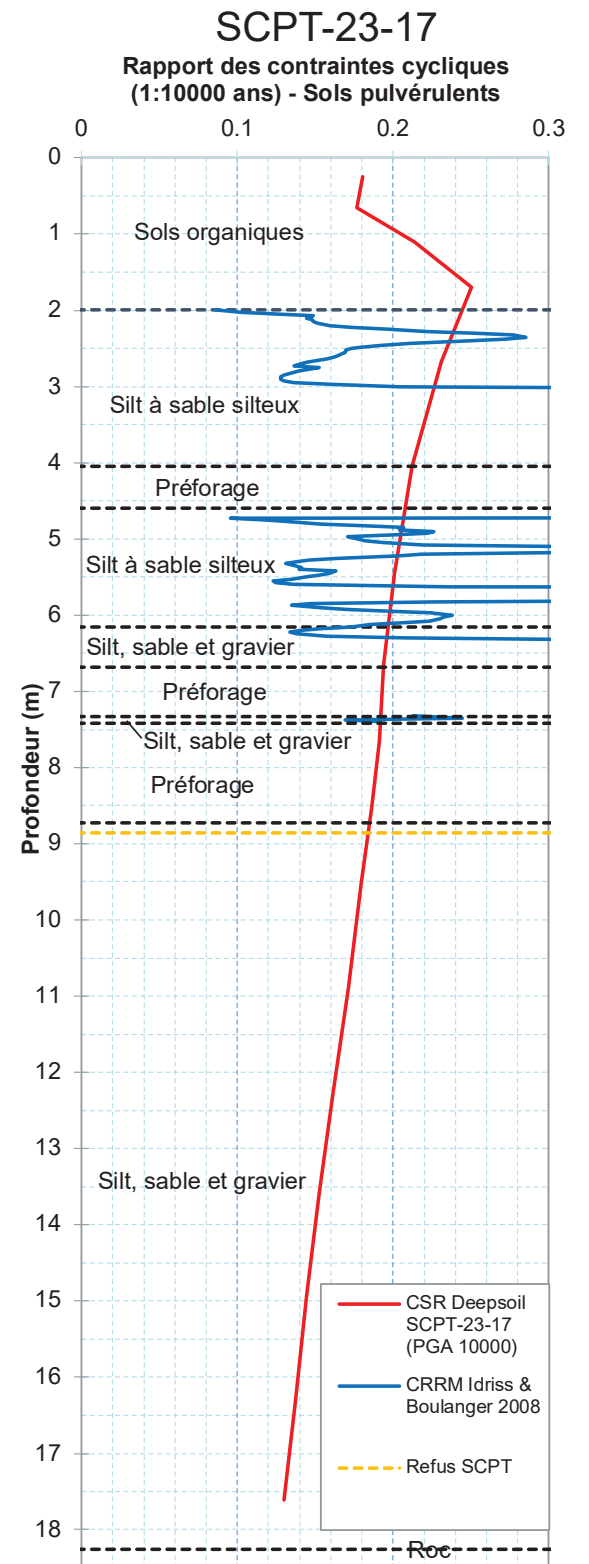
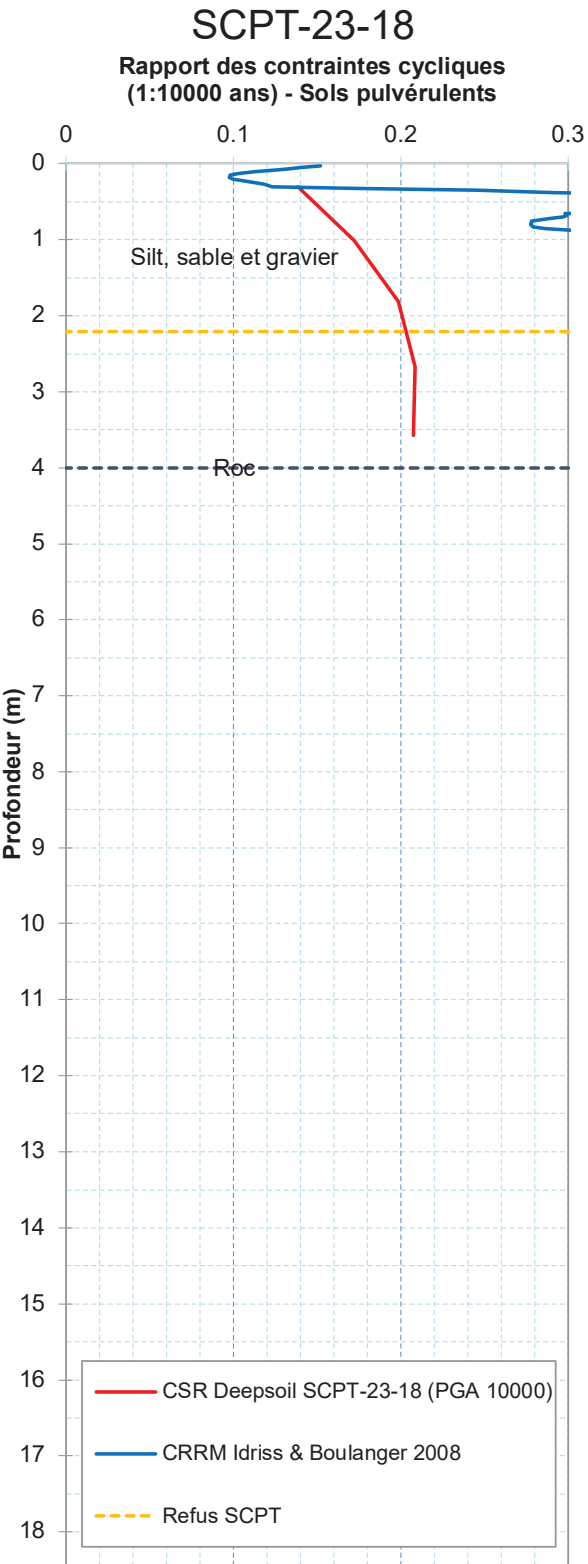
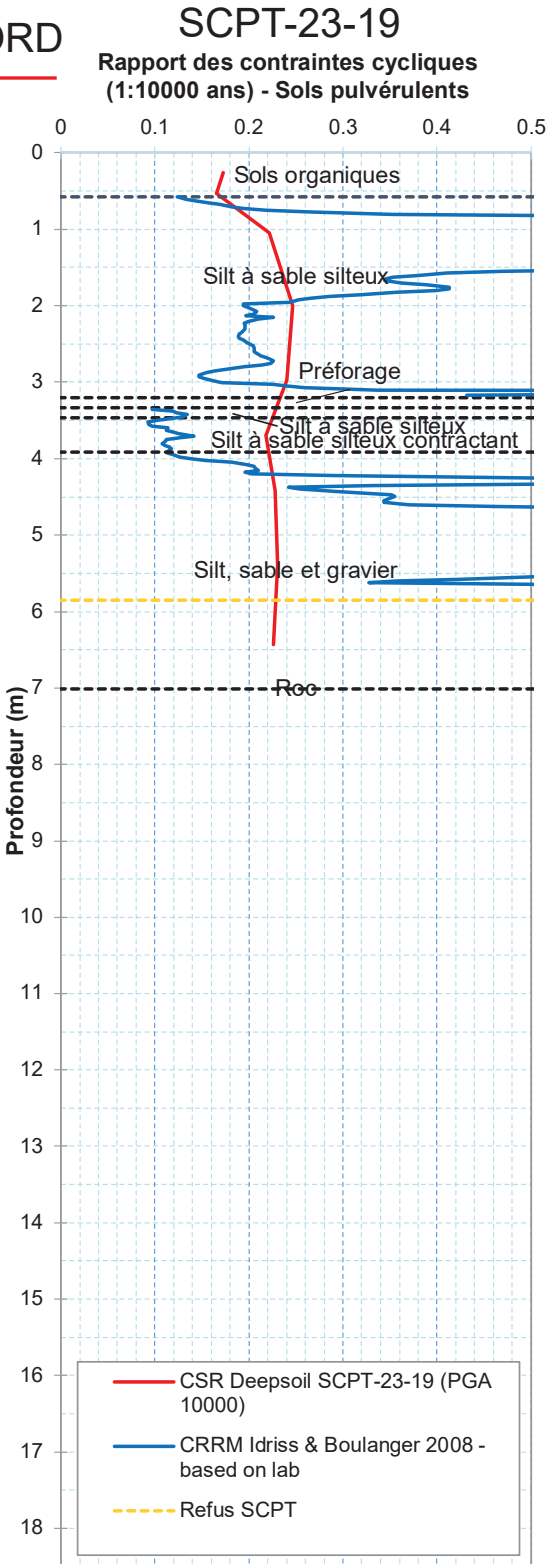
PAR →



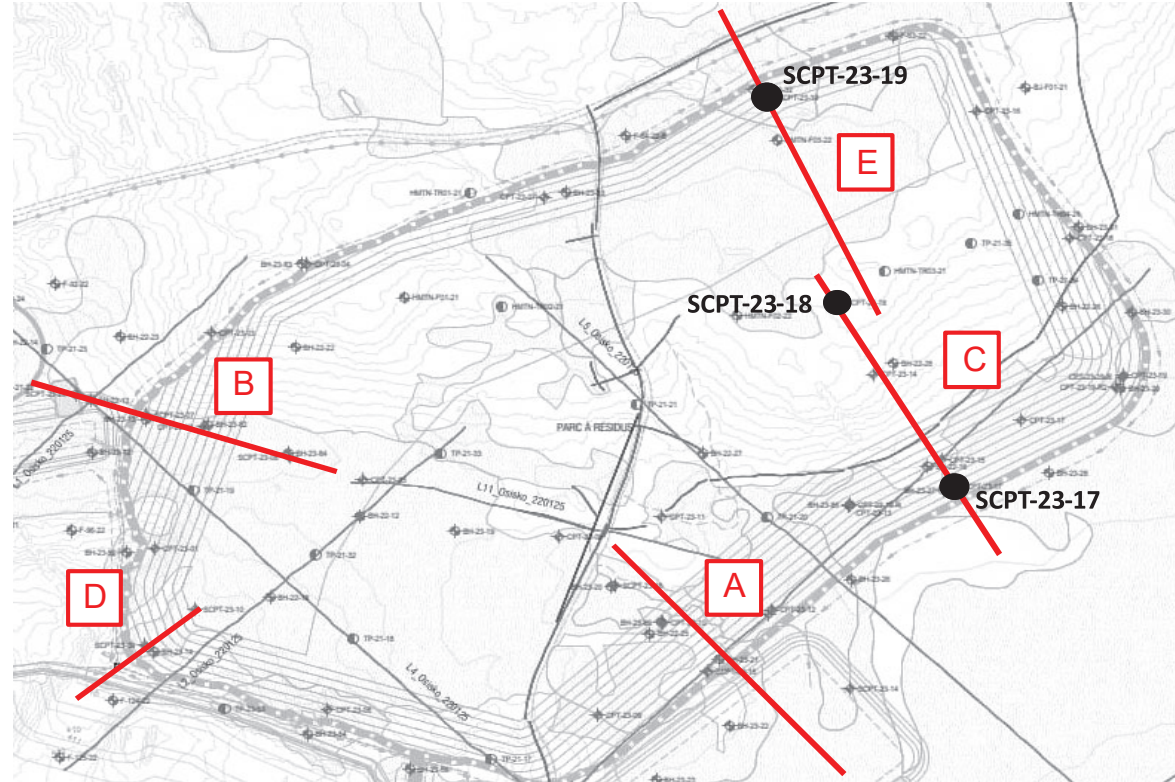


Coupe C et E – Séisme 1: 10 000 ans

NORD  
←

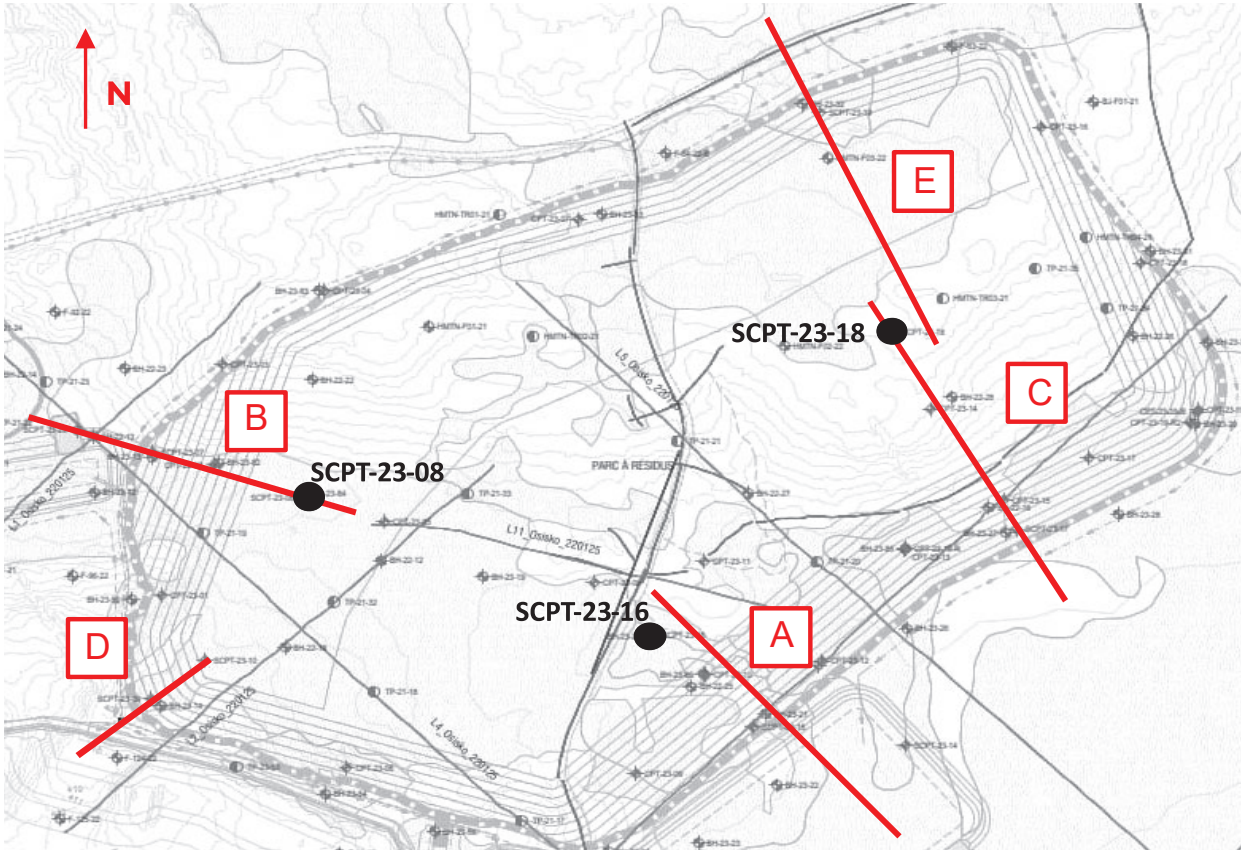
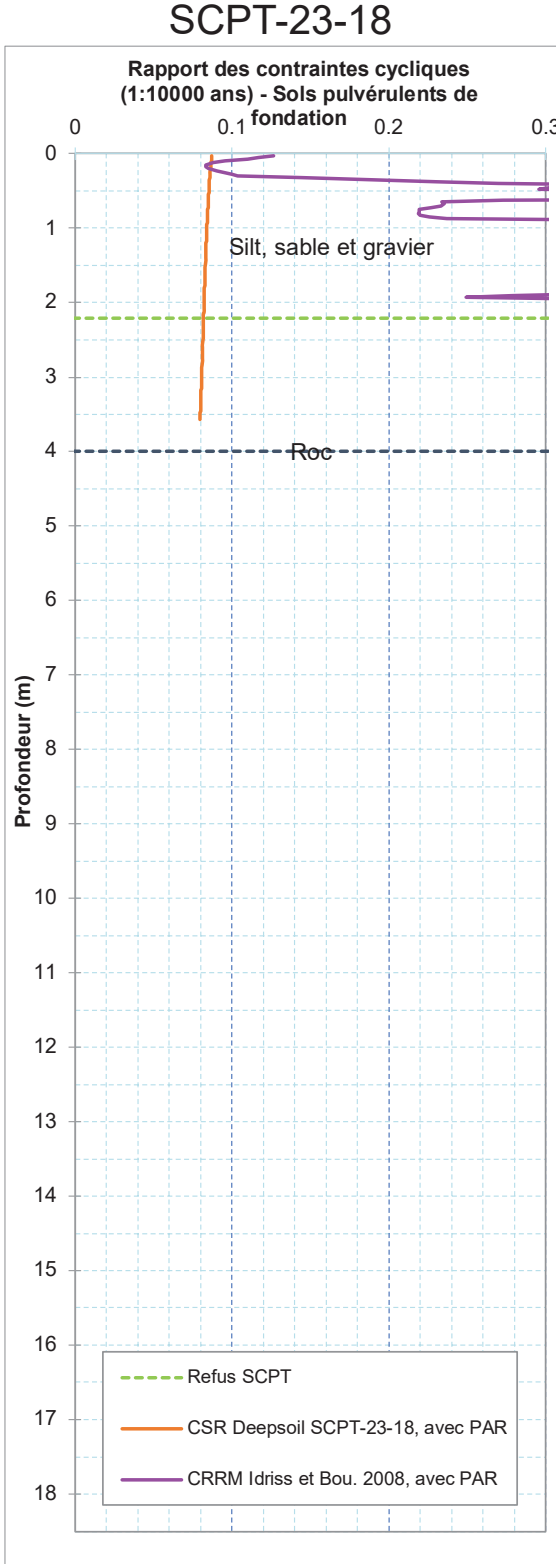
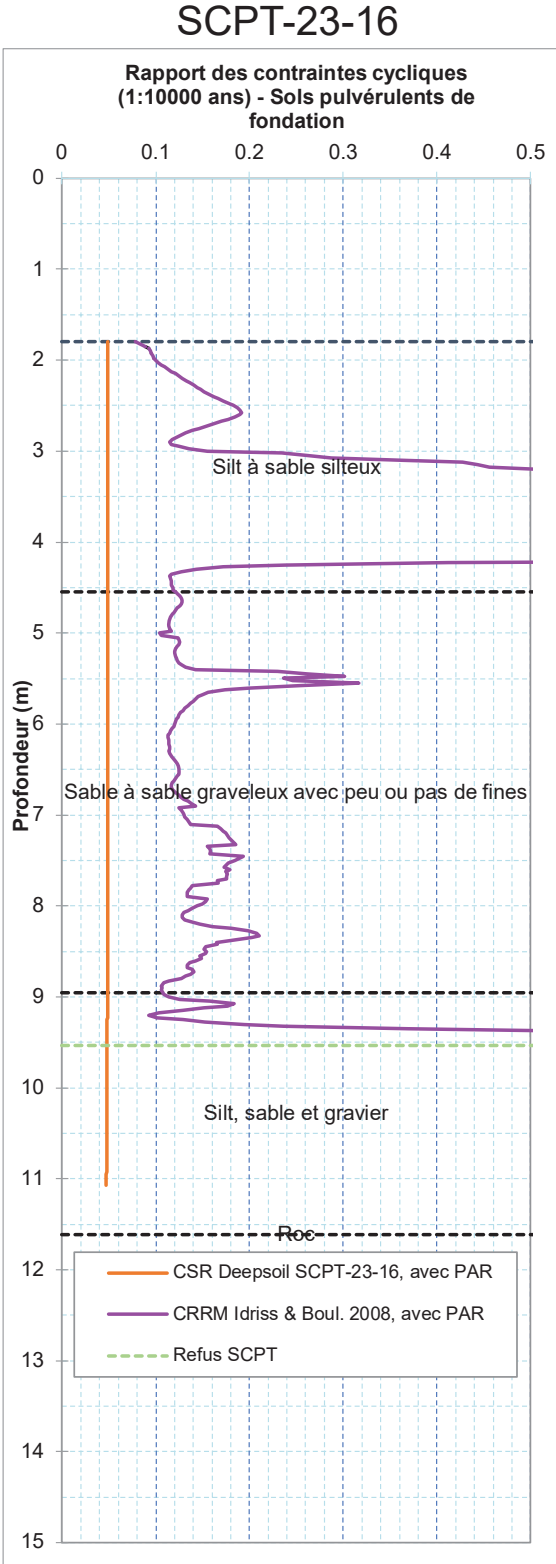
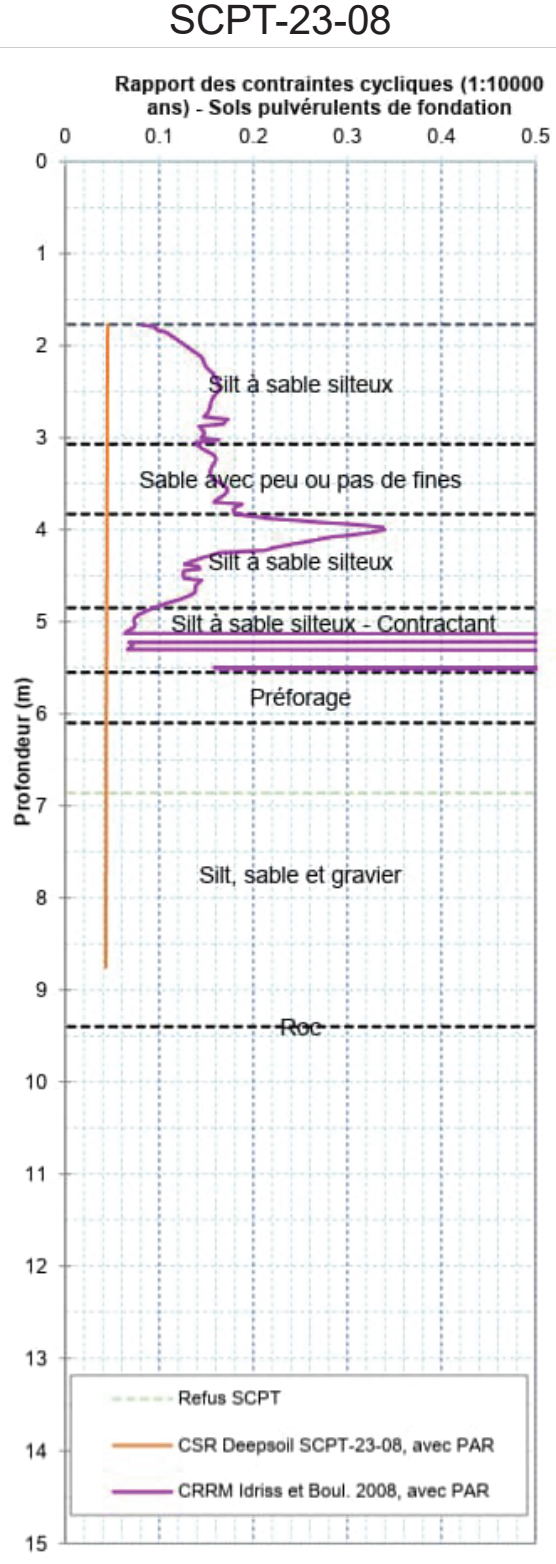


→ SUD





Sols de fondation avec la surcharge du parc à résidus - Séisme 1: 10 000 ans



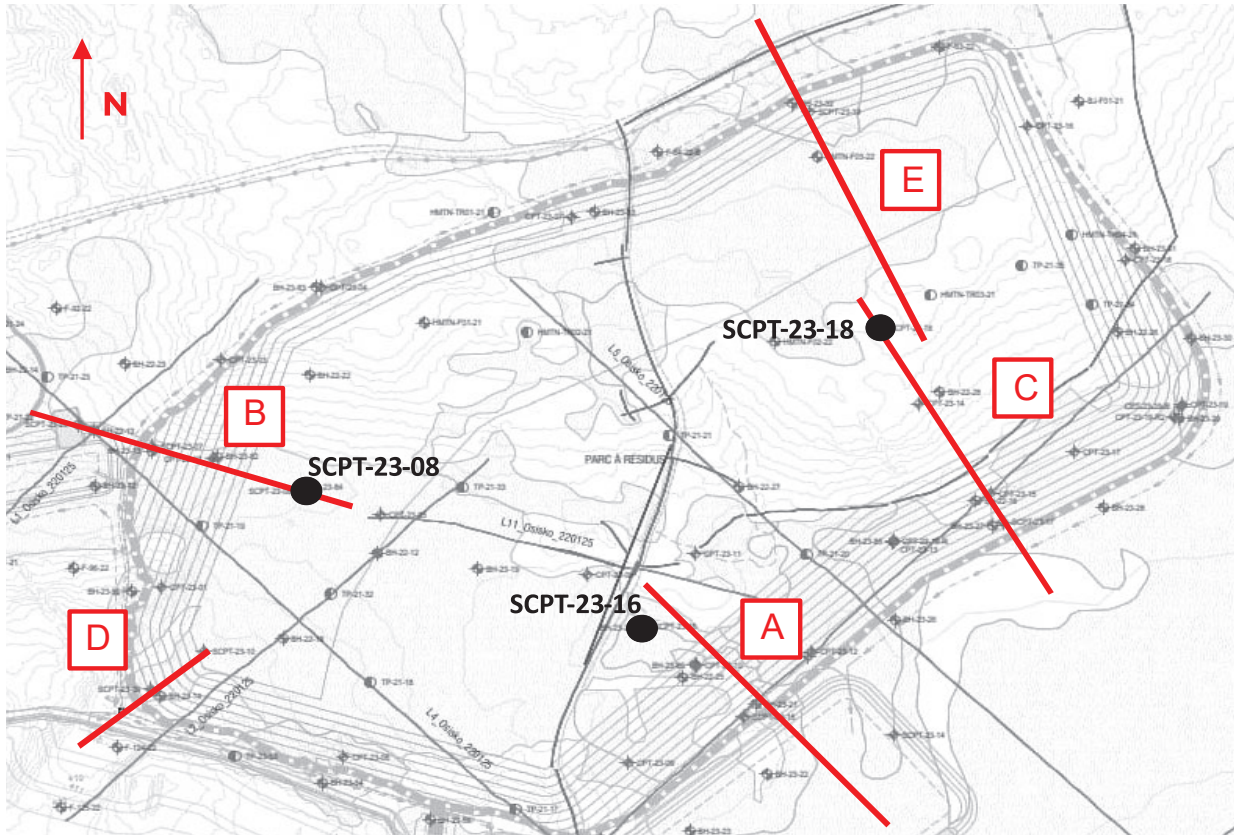
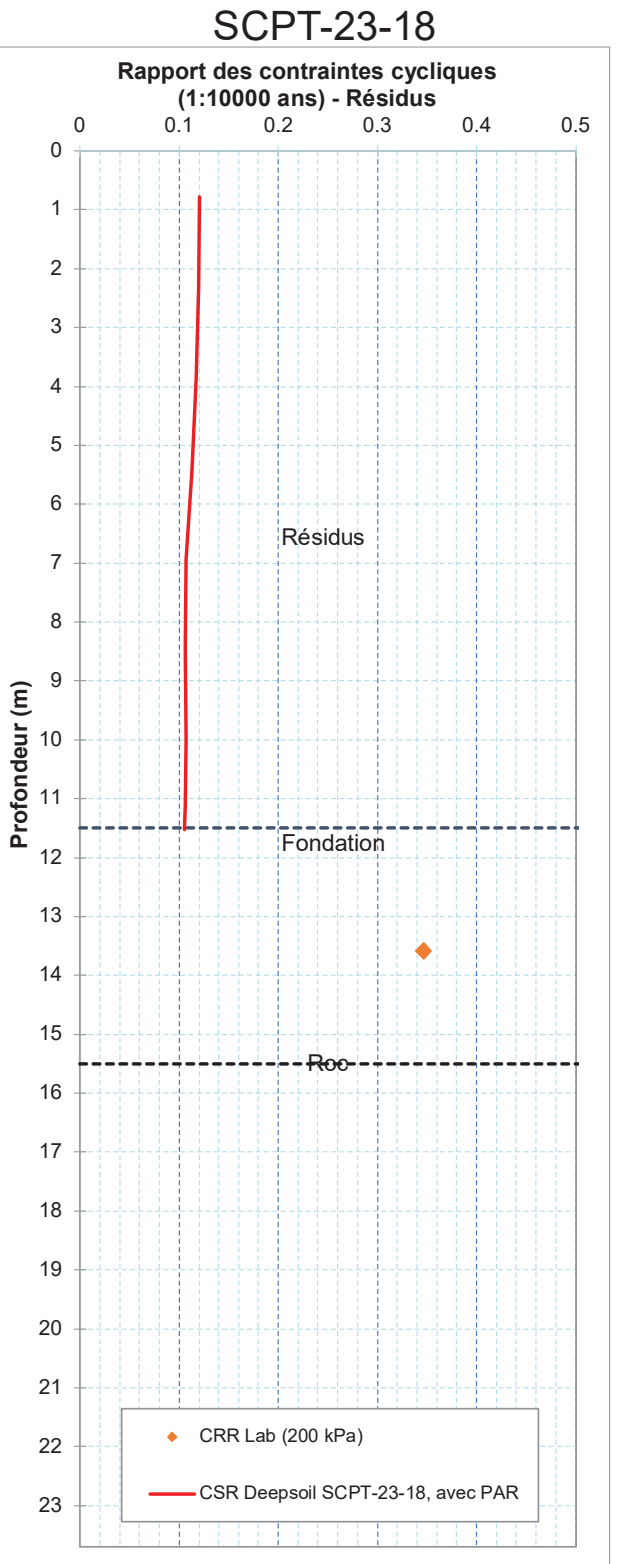
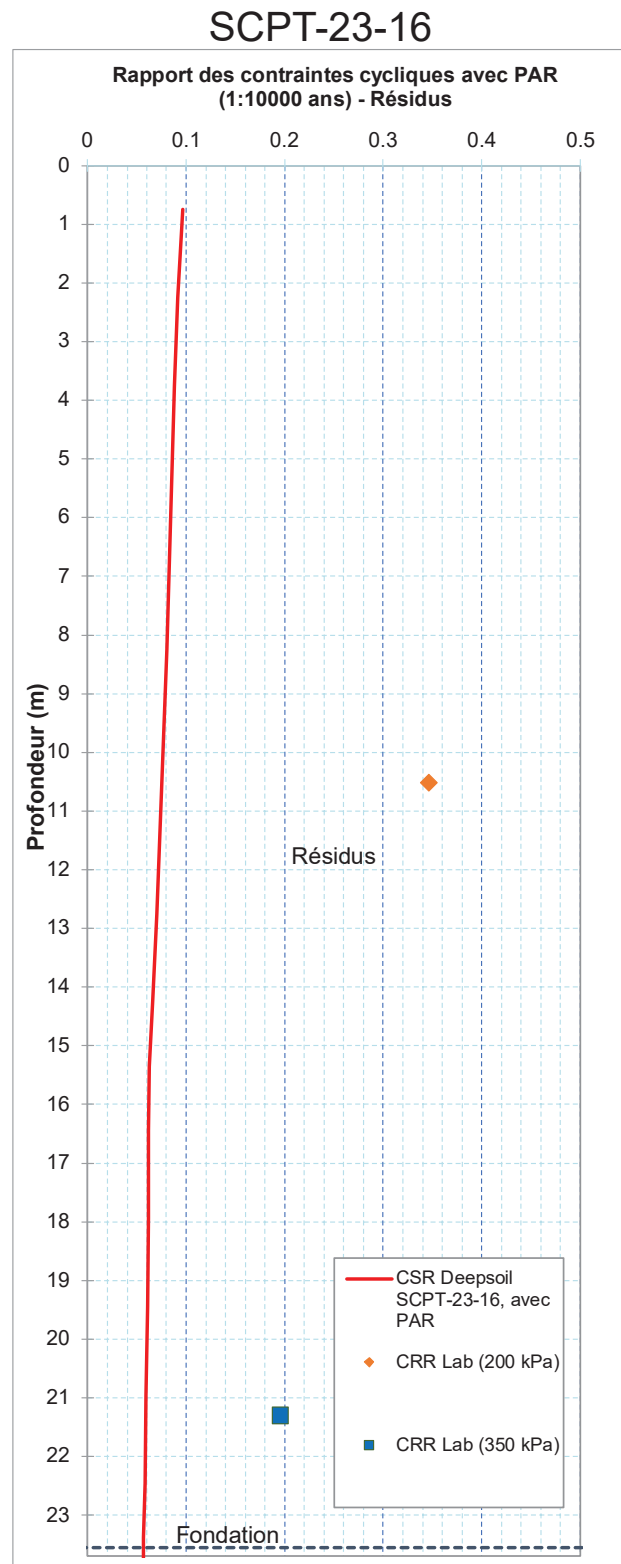
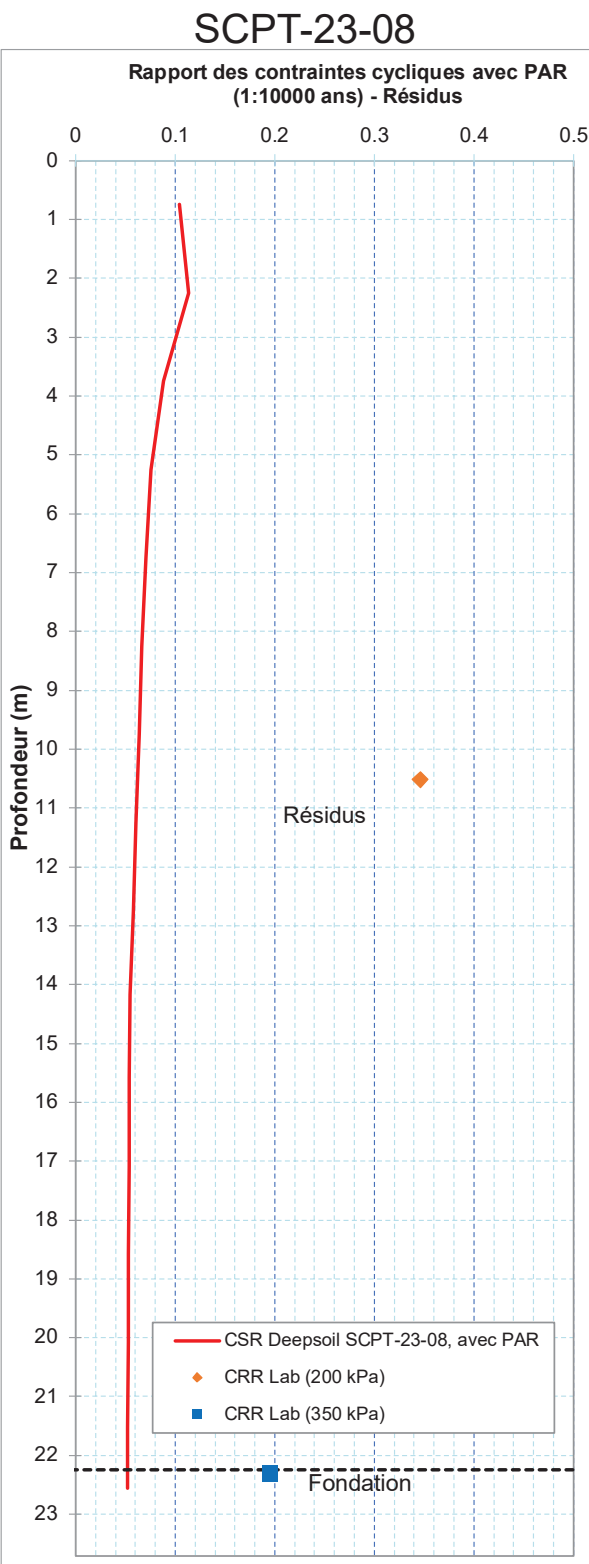


**ANNEXE B**

**Rapport des contraintes cycliques  
dans les résidus avec surcharge du  
parc à résidus**



Séisme 1: 10 000 ans





**ANNEXE C**

# Conditions générales et limitations



CONDITIONS GÉNÉRALES ET LIMITATIONS  
RAPPORT GÉOTECHNIQUE

UTILISATION DU RAPPORT ET DE SON CONTENU

Ce rapport a été préparé pour l'usage exclusif du Client ou de ses agents. Les données factuelles, les interprétations, les commentaires ainsi que les recommandations qu'il contient sont spécifiques au projet tel que décrit dans ce rapport et ne s'appliquent à aucun autre projet ou autre site. Ce rapport doit être lu dans son ensemble puisque des sections, prises individuellement ou hors contexte, pourraient être faussement interprétées. Par ailleurs, le texte de la version finale de ce rapport prévaut sur tout autre texte, opinion ou version préliminaire émis par WSP Canada Inc. Si la conception, l'emplacement ou l'élévation du projet doivent être modifiés et/ou si le projet n'est pas commencé dans les 18 mois suivant la remise de ce rapport, WSP Canada Inc. devrait être consultée pour confirmer que ses recommandations sont encore valables.

Les commentaires, interprétations et recommandations présentés dans ce rapport sont basés sur une évaluation limitée des conditions souterraines comme décrit ailleurs dans ce texte et sont formulés dans le seul et unique but d'orienter la conception du projet. À moins d'avis contraire, les interprétations, commentaires et les recommandations présentés dans ce rapport ont été formulés à la lumière de nos connaissances concernant les conditions du site, l'utilisation courante et/ou prévue du site, les règlements, normes et critères en vigueur, les règles et pratiques professionnelles reconnues et acceptées au moment de l'étude, et en tenant compte dans tous les cas de l'emplacement du site. Les références aux lois et règlements contenues dans ce rapport sont fournies à titre indicatif, sur une base technique. Comme les lois et règlements sont sujets à interprétation, WSP Canada Inc. recommande au Client de consulter ses conseillers juridiques afin d'obtenir les avis appropriés.

Comme certains détails du projet envisagé peuvent ne pas être connus de WSP Canada Inc. au moment de la remise de ce rapport, il est recommandé que WSP Canada Inc. soit consultée lors de l'élaboration des plans et devis reliés aux considérations géotechniques afin de s'assurer qu'ils demeurent conformes à l'intention et aux recommandations de ce rapport.

Il est aussi recommandé que les services de WSP Canada Inc. soient retenus durant la phase de construction afin de confirmer que les conditions souterraines sur l'ensemble du site ne diffèrent pas de façon significative de celles évoquées dans ce rapport et que les activités de construction n'ont aucun impact négatif sur les considérations géotechniques liées à la conception. À cet égard, il importe de souligner que le contrôle des eaux superficielles et/ou souterraines est fréquemment requis comme mesure temporaire ou permanente lors de la construction. Une mauvaise conception du drainage et/ou de l'assèchement peut avoir des conséquences néfastes. De même, les conditions souterraines peuvent être substantiellement modifiées par les activités de construction (circulation de machinerie, excavation, enfoncement de pieux, dynamitage, etc.) ayant cours sur le site ou sur les terrains adjacents ainsi que par l'exposition des sols aux intempéries (gel, sécheresse, pluie, etc.).

WSP Canada Inc. ne pourra être tenue responsable de conditions souterraines imprévisibles ni de leurs impacts sur les coûts de construction et l'échéancier de réalisation des travaux. WSP Canada Inc. ne pourra être tenue responsable de dommages résultant de conditions qui lui seraient inconnues, de l'inexactitude de données provenant d'autres sources que WSP Canada Inc. et de changements ultérieurs aux conditions du site. WSP Canada Inc. n'acceptera aucune responsabilité pour les effets de mesures de drainage et/ou d'assèchement à moins d'avoir été spécifiquement consultée et impliquée dans la conception et le suivi du système de drainage et/ou d'assèchement. WSP Canada Inc. ne pourra être tenue responsable de dommages résultant de toute modification future aux règlements, normes ou critères applicables de même que de toute utilisation faite du présent rapport par un tiers et/ou à des fins autres que celles pour lesquelles il a été rédigé, de perte de valeur réelle ou perçue du site ni de l'échec d'une quelconque transaction en raison des informations factuelles contenues dans ce rapport.

Le Client de même que tout entrepreneur réalisant des travaux qui s'inspirent de ou qui pourraient avoir une incidence sur les considérations géotechniques évoquées dans ce rapport doivent informer WSP

CONDITIONS GÉNÉRALES ET LIMITATIONS  
RAPPORT GÉOTECHNIQUE

Canada Inc. ainsi que l'ingénieur concepteur de tout événement, activité, information, découverte passée, présente ou future susceptible de modifier les conditions souterraines décrites dans ce rapport et leur offrir la possibilité de réviser leurs recommandations ainsi que les plans de construction. Cette obligation couvre aussi le cas où les conditions rencontrées sur le site différeraient de façon significative de celles anticipées dans ce rapport, soit en raison de la variabilité naturelle des conditions souterraines ou en raison d'activités de construction. Il est entendu que la reconnaissance d'un changement des conditions du sol et du roc nécessite qu'un examen soit effectué sur le site par un professionnel qualifié et expérimenté dans la pratique de la géotechnique.

### ÉVALUATION DES CONDITIONS SOUTERRAINES

Les travaux d'investigation souterraine effectués par WSP Canada Inc. et décrits dans ce rapport ont été réalisés conformément aux règles et pratiques professionnelles reconnues et acceptées au moment de leur réalisation. À moins d'avis contraire, les résultats de travaux antérieurs ou simultanés, provenant d'autres sources que WSP Canada Inc., cités et/ou utilisés dans ce rapport sont considérés comme ayant été obtenus en respectant les règles et pratiques professionnelles reconnues et acceptées et comme étant valides.

Les horizons de sols et de roc étant souvent de composition et de géométrie très variables, les descriptions de sondage ne permettent donc que d'estimer approximativement leurs caractéristiques et profils réels. Les contacts entre les différents horizons de sols et/ou de roc sont souvent graduels et, conséquemment, leurs emplacements sur les descriptions de sondage relèvent d'une certaine interprétation. De même, la classification et l'identification des sols et du roc impliquent une certaine part de jugement. Les descriptions de sol et de roc apparaissant dans ce rapport s'appuient sur des méthodes de classification et d'identification communément acceptées et rejoignent les exigences normales de la pratique professionnelle habituelle de la géotechnique. Par ailleurs, il importe de souligner que la précision des données recueillies et leur interprétation sont tributaires de différents facteurs dont la méthode de sondage, l'espacement entre les sondages, la profondeur d'investigation, la méthode d'échantillonnage, la fréquence d'échantillonnage de même que l'uniformité des conditions souterraines. Certains de ces facteurs, comme la méthode de sondage, l'espacement entre les sondages, la profondeur d'investigation, la méthode d'échantillonnage et la fréquence d'échantillonnage peuvent eux-mêmes être tributaires de contraintes physiques, budgétaires ou d'échéancier convenues avec le Client.

Dans tous les cas, on doit considérer que les résultats obtenus et présentés dans ce rapport ne s'appliquent qu'aux endroits où ont été réalisés les sondages, qu'aux profondeurs d'échantillonnage indiquées et qu'au moment de l'étude. Les conditions souterraines interprétées, tant physiques que quantitatives ou qualitatives, peuvent varier sensiblement entre et au-delà des sondages réalisés et des profondeurs d'échantillonnage indiquées.

Les mesures et caractéristiques de l'eau souterraine présentées dans ce rapport ne sont valables que pour les endroits et les dates spécifiées. Ces conditions peuvent en effet varier selon les saisons, les années ou en raison d'activités ou d'événements sur le site à l'étude ou sur des terrains adjacents.





[wsp.com](http://wsp.com)

# APPENDIX

## RQC3-9

COMPENSATION PLAN FOR WETLANDS  
AND AQUATIC ENVIRONMENTS





GROUPE MINIER WINDFALL

## PROJET MINIER WINDFALL

### PLAN DE COMPENSATION DES MILIEUX HUMIDES ET HYDRIQUES

TERRITOIRE D'EEEYOU ISTCHEE BAIE-JAMES

JANVIER 2026

RÉFÉRENCE WSP : CA0023271.9538

VERSION FINALE







GROUPE MINIER WINDFALL

**PROJET MINIER WINDFALL**  
**PLAN DE COMPENSATION DES**  
**MILIEUX HUMIDES ET HYDRIQUES**

TERRITOIRE D'EEYOU ISTCHEE BAIE-JAMES

VERSION FINALE

RÉFÉRENCE WSP : CA0023271.9538

JANVIER 2026

WSP CANADA INC.  
1135, BOULEVARD LEBOURGNEUF  
QUÉBEC (QUÉBEC) G2K 0M5  
CANADA

TÉLÉPHONE : +1-418-623-2254  
TÉLÉCOPIEUR : +1-418-624-1857

WSP.COM



---

# SIGNATURES

## PRÉPARÉ PAR



---

Mathieu Ferland, B. Sc.  
Professionnel en environnement

16 janvier 2026

---

Date



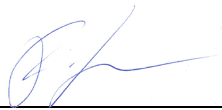
---

Annie Maloney, B. Sc.  
Biologiste

16 janvier 2026

---

Date



---

François Gagnon  
Chargé de projet

16 janvier 2026

---

Date

## RÉVISÉ PAR



---

Marie-Hélène Brisson, biologiste  
Directrice de projet

16 janvier 2026

---

Date

---

# LIMITATIONS

WSP Canada Inc. (« WSP ») a préparé ce rapport uniquement pour son destinataire Groupe Minier Windfall, conformément à la convention de consultant convenue entre les parties. Advenant qu'une convention de consultant n'ait pas été exécutée, les parties conviennent que les Modalités générales à titre de consultant de WSP régiront leurs relations d'affaires, lesquelles vous ont été fournies avant la préparation de ce rapport.

Ce rapport est destiné à être utilisé dans son intégralité. Aucun extrait ne peut être considéré comme représentatif des résultats de l'évaluation.

Les conclusions présentées dans ce rapport sont basées sur le travail effectué par du personnel technique, entraîné et professionnel, conformément à leur interprétation raisonnable des pratiques d'ingénierie et techniques courantes et acceptées au moment où le travail a été effectué.

Le contenu et les opinions exprimées dans le présent rapport sont basés sur les observations et/ou les informations à la disposition de WSP au moment de sa préparation, en appliquant des techniques d'investigation et des méthodes d'analyse d'ingénierie conformes à celles habituellement utilisées par WSP et d'autres ingénieurs/techniciens travaillant dans des conditions similaires, et assujettis aux mêmes contraintes de temps, et aux mêmes contraintes financières et physiques applicables à ce type de projet.

WSP dénie et rejette toute obligation de mise à jour du rapport si, après la date du présent rapport, les conditions semblent différer considérablement de celles présentées dans ce rapport; cependant, WSP se réserve le droit de modifier ou de terminer ce rapport sur la base d'informations, de documents ou de preuves additionnels.

WSP ne fait aucune représentation relativement à la signification juridique de ses conclusions.

La divulgation de tout renseignement faisant partie du présent rapport relève uniquement de la responsabilité de son destinataire. 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 suivant l'utilisation de ce rapport ou quant aux dommages pouvant découler d'une décision ou mesure prise basée sur le présent rapport.

WSP a exécuté ses services offerts au destinataire de ce rapport conformément à la convention de consultant convenue entre les parties tout en exerçant le degré de prudence, de compétence et de diligence dont font habituellement preuve les membres de la même profession dans la prestation des mêmes services ou de services comparables à l'égard de projets de nature analogue dans des circonstances similaires. Il est entendu et convenu entre WSP et le destinataire de ce rapport que WSP n'offre aucune garantie, expresse ou implicite, de quelque nature que ce soit. Sans limiter la généralité de ce qui précède, WSP et le destinataire de ce rapport conviennent et comprennent que WSP ne fait aucune représentation ou garantie quant à la suffisance de sa portée de travail pour le but recherché par le destinataire de ce rapport.

En préparant ce rapport, WSP s'est fié de bonne foi à l'information fournie par des tiers, comme indiqué dans le rapport. WSP a raisonnablement présumé que les informations fournies étaient correctes et WSP ne peut donc être tenu responsable de l'exactitude ou de l'exhaustivité de ces informations.

Les bornes et les repères d'arpentage utilisés dans ce rapport servent principalement à établir les différences d'élévation relative entre les emplacements de prélèvement et/ou d'échantillonnage et ne peuvent servir à d'autres fins. Notamment, ils ne peuvent servir à des fins de nivelage, d'excavation, de construction, de planification, de développement, etc.

Les conditions générales d'un site ne peuvent être extrapolées au-delà des zones définies et des emplacements de prélèvement et d'échantillonnage. Les conditions d'un site entre les emplacements de prélèvement et d'échantillonnage peuvent différer des conditions réelles. La précision et l'exactitude de toute extrapolation et spéculation au-delà des emplacements des prélèvements et d'échantillonnage dépendent des conditions naturelles, de l'historique de développement du site et des changements entraînés par la construction et des autres activités sur le site. De plus, l'analyse a été effectuée pour les paramètres chimiques et physiques déterminés seulement, et il ne peut pas être présumé que d'autres substances chimiques ou conditions physiques ne sont pas présentes. WSP ne fournit aucune garantie et ne fait aucune représentation contre les risques environnementaux non décelés ou contre des effets négatifs causés à l'extérieur de la zone définie.

L'original du fichier électronique que nous vous transmettons sera conservé par WSP pour une période minimale de dix ans. WSP n'assume aucune responsabilité quant à l'intégrité du fichier qui vous est transmis et qui n'est plus sous le contrôle de WSP. Ainsi, WSP n'assume aucune responsabilité quant aux modifications faites au fichier électronique suivant sa transmission au destinataire.

Ces limitations sont considérées comme faisant partie intégrante du présent rapport.

---

# CLIENT

## GROUPE MINIER WINDFALL

Vice-présidente, Environnement et  
Relations communautaires

Andréanne Boisvert, géographe, M.A.

---

# ÉQUIPE DE RÉALISATION

## WSP CANADA INC. (WSP)

Directrice de projet	Marie-Hélène Brisson, biologiste
Chargé de projet	François Gagnon
Rédaction	Mathieu Ferland, biologiste Annie Maloney, biologiste
Cartographie	Jonathan Roy, tech. géomatique
Édition	Cathia Gamache

## RÉFÉRENCE À CITER

WSP. 2026.     Projet minier windfall. Plan de compensation des milieux humides et hydriques. Territoire d'Eeeyou Istchee Baie-James. Rapport produit pour Groupe Minier Windfall. Référence WSP : CA0023271.9538. 67 pages et annexes.



# TABLE DES MATIÈRES

<b>1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Milieu récepteur .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>Description des milieux naturels autour de Windfall.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2</b>	<b>Pertes des milieux humides et hydriques .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Projet de restauration / création / amélioration .....</b>	<b>7</b>
<b>3.1</b>	<b>Description de la démarche compensatoire.....</b>	<b>7</b>
<b>3.2</b>	<b>Résultats .....</b>	<b>8</b>
<b>3.3</b>	<b>Autres pistes étudiées .....</b>	<b>8</b>
<b>3.4</b>	<b>Projet 1 – Programme de biodiversité.....</b>	<b>11</b>
3.4.1	Objectifs du programme de biodiversité .....	11
3.4.2	Zone d'étude .....	12
3.4.3	Revue de littérature sur les effets des feux de forêt sur les milieux naturels.....	12
3.4.4	Études environnementales sur les effets des feux de forêt.....	14
3.4.5	Échéancier proposé.....	17
3.4.6	Résultats 2025 .....	19
<b>3.5</b>	<b>Projet 2 – Reboisement des accès aux pylônes .....</b>	<b>20</b>
<b>3.6</b>	<b>Projet 3 – Nettoyage des débris sur le site Souart .....</b>	<b>31</b>
<b>3.7</b>	<b>Proposition de projets de compensation .....</b>	<b>35</b>
3.7.1	Projet 4 – Site minier abandonné de Certac .....	35
3.7.2	Projet 5 – Banc d'emprunt BNE59428 .....	41
3.7.3	Projet 6 – Chemin d'accès Osborne-Bell .....	55
3.7.4	Programme de suivi des possibles projets de compensation .....	62
<b>4</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>65</b>
	<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>67</b>



## **Tableaux**

Tableau 1	Bilan des impacts permanents du Projet sur les milieux humides et hydriques.....	5
Tableau 2	Échéancier des études environnementales – Programme de biodiversité.....	17
Tableau 3	Espèces fauniques à statut particulier présentes ou potentiellement présentes dans la zone d'étude locale .....	22
Tableau 4	Superficie des milieux aquatiques, humides et terrestres après les aménagements proposés .....	50
Tableau 5	Bilan des gains de milieux humides et hydriques .....	65

## **Photos**

Photo 1	Cassettes d'épinette noire .....	21
Photo 2	Plant d'épinette planté .....	21
Photo 3	État du site avant les travaux de nettoyage.....	32
Photo 4	État du site avant les travaux de nettoyage.....	32
Photo 5	État du site avant les travaux de nettoyage.....	32
Photo 6	Travaux de nettoyage .....	32
Photo 7	Travaux de nettoyage .....	32
Photo 8	Site après les travaux de nettoyage .....	32
Photo 9	Tour complet du site minier Certac; vue depuis l'est.....	36
Photo 10	Tour complet du site minier Certac; vue depuis l'ouest.....	36
Photo 11	Site A – Ouverture dans la clôture et enseigne décrochée (avant) .....	36
Photo 12	Site A – Ouverture dans la clôture et enseigne décrochée (avant) .....	36
Photo 13	Site A – Ouverture dans la clôture et enseigne décrochée (après).....	37
Photo 14	Site B – Bris de la clôture (avant) .....	37
Photo 15	Site B – Bris de la clôture (après).....	37
Photo 16	Site B – Bris de la clôture (après).....	37
Photo 17	Site C – Enseigne décrochée (avant).....	37
Photo 18	Site C – Enseigne décrochée (après).....	37
Photo 19	Secteur ouest du banc d'emprunt (secteur A).....	42
Photo 20	Secteur est du banc d'emprunt (secteur B).....	42

---

### **Figure**

Figure 1	Coupes au banc d'emprunt BNE 59428 .....	45
Figure 2	Coupe-type des aménagements proposés.....	52

---

### **Cartes**

Carte 1	Localisation des options de compensation à l'étude .....	9
Carte 2	Localisation des travaux de reboisement des accès aux pylônes .....	25
Carte 3	Milieu naturel restauré au site Souart.....	33
Carte 4	Interventions réalisées au site Certac .....	39
Carte 5	Aménagement de milieux humides au banc d'emprunt BNE59428 .....	43
Carte 6	Restauration du chemin d'accès Osborne-Bell.....	57

---

### **Annexes**

<b>A</b>	<b>Revue de littérature – Effets des feux de forêt sur les habitats fauniques</b>
<b>B</b>	<b>Résumé des consultations</b>
<b>C</b>	<b>Présentation PowerPoint du programme de biodiversité</b>
<b>D</b>	<b>Dossier photographique</b>

# 1 Introduction

En tant que société d'exploration minière et de mise en valeur de propriétés de ressources de métaux précieux, Groupe Minier Windfall (GMW) souhaite mettre en exploitation un complexe minier comprenant une mine souterraine, afin d'y extraire de l'or et de procéder à son traitement sur place.

Le projet minier Windfall (le Projet) est situé au nord du 49<sup>e</sup> parallèle dans la région administrative du Nord-du-Québec, sur des terres de la catégorie III du territoire d'Eeyou Istchee Baie-James. Le site minier se trouve à environ 270 km de la ville de Val-d'Or et à 115 km à l'est de la ville de Lebel-sur-Quévillon (carte 1), une région reconnue pour ses gisements d'or, de cuivre et de zinc.

Le Projet est soumis à la procédure provinciale d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement en vertu de l'article 153 du chapitre II de la Loi sur la qualité de l'environnement (LQE; L.R.Q., c. Q 2), qui documente les dispositions applicables à la région de la Baie-James et du Nord québécois, en lien avec la convention du même nom. Conformément à cette procédure, l'étude d'impact sur l'environnement (ÉIE) a été déposée au ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) en mars 2023. Le Projet n'est pas assujéti à une évaluation environnementale fédérale sous la Loi sur l'évaluation d'impact (L.C., 2019, ch. 28, art. 1) en application du Règlement sur les activités concrètes (art. 18, alinéa c), puisque la production prévue de cette nouvelle mine d'or est de moins de 5 000 tonnes par jour (t/j).

Bien que le Projet ne soit pas soumis au Règlement sur la compensation pour l'atteinte aux milieux humides et hydriques (L.R.Q., C. Q-2, r. 9.1) considérant qu'il se situe au nord du 49<sup>e</sup> parallèle, GMW s'est efforcé d'intégrer la démarche « éviter-minimiser-compenser » tout au long de l'élaboration du Projet. L'analyse des variantes et les mesures d'atténuation élaborées dans le cadre de l'ÉIE ont, dans un premier temps, visé l'évitement et la minimisation des impacts sur les milieux humides et hydriques. Le présent plan de compensation des milieux humides et hydriques, qui reprend des volets du programme de biodiversité, s'inscrit dans la finalité de cette démarche.

Ce programme a été réalisé conformément aux éléments de discussion échangés les 20 mai 2025 et le 8 décembre 2025 avec la Direction de l'évaluation environnementale des projets industriels et miniers ainsi qu'avec la Direction régionale de l'Abitibi-Témiscamingue / Nord-du-Québec du MELCCFP. Des éléments d'amélioration ont été ajoutés à la suite des discussions échangées le 6 janvier 2026 avec la Direction de la restauration des sites miniers du ministère des Ressources naturelles et des Forêts.



## 2 Milieu récepteur

---

### 2.1 Description des milieux naturels autour de Windfall

La végétation et les milieux humides ont été inventoriés dans le cadre de la réalisation de l'étude d'impact du Projet à l'échelle de la zone d'étude locale du milieu biophysique, soit sur une superficie de 2 500 ha (WSP, 2023a). Cette analyse a été réalisée avant les grands feux de 2023 qui ont considérablement modifié le portrait du paysage. Une proportion non négligeable des milieux alors identifiés sont maintenant devenus des milieux dénudés/en régénération. Pour l'instant, aucune cartographie des impacts de ces feux n'est disponible, la description des milieux se fera donc sur ce qui existait avant les feux. La zone d'étude locale se situe dans le sud du domaine bioclimatique de la pessière à mousses caractérisé par un couvert forestier nettement dominé par l'épinette noire et une strate arbustive largement constituée par des espèces de la famille des Éricacées.

Les milieux naturels les plus représentés dans la zone d'étude sont les milieux humides qui occupent 1 122,04 ha, soit 44,88 % du territoire de la zone d'étude, suivis des milieux terrestres (933,20 ha, soit 37,20 % du territoire). Les milieux hydriques (lacs) couvrent 306,28 ha, soit 12,25 % de la zone d'étude. Enfin, la zone d'étude comprend des milieux anthropiques (141,67 ha, soit 5,67 %) regroupant principalement les installations existantes associées aux activités d'exploration minière.

Des 1 122,04 ha occupés par les milieux humides, 79,32 % (soit 889,98 ha) sont constitués de tourbières ombrotrophes ouvertes (bogs) et de tourbières ombrotrophes boisées (bogs), ce qui constitue une partie significative du territoire. Les inventaires ont permis de confirmer que ces tourbières ombrotrophes possèdent les caractéristiques typiques des milieux humides et des tourbières retrouvées sur l'ensemble du territoire jamésien. Ce type de tourbières ouvertes est généralement peu diversifié et dominé par des espèces de la famille des Éricacées (telles que le thé du Labrador [*Rhododendron groenlandicum*], le cassandre caliculé [*Chamaedaphne calyculata*], le kalmia à feuilles étroites [*Kalmia angustifolia*] et le bleuet à feuilles étroites [*Vaccinium angustifolium*]). Les principales espèces présentes dans la strate herbacée sont la smilacine trifoliée (*Maianthemum trifolium*), le quatre-temps (*Cornus canadensis*), la chicouté (*Rubus chamaemorus*) et les carex. Les tourbières minérotrophes ouvertes (fens), pour la plupart situées en bordure de cours d'eau, renferment quant à elles une plus grande diversité d'espèces herbacées et arbustives. Ces tourbières riveraines plus diversifiées présentent une flore particulièrement riche, notamment constituée de plantes de la famille des Cypéracées.

Les tourbières minérotrophes ouvertes sont établies sur 118,45 ha, soit 4,74 % du territoire de la zone d'étude. Des tourbières boisées de type ombrotrophe (237,71 ha, soit 9,51 %) et minérotrophe (13,00 ha, soit 0,52 %) sont également présentes sur le territoire à l'étude. Les épinettes noires (*Picea mariana*) et les mélèzes laricins (*Larix laricina*) sont les principales espèces d'arbres observées dans ces milieux. La zone d'étude se caractérise par un principal massif de milieux humides composé d'une prédominance de tourbières, constituant une mosaïque continue des différents types décrits précédemment.

Les milieux de régénération et de plantation couvrent la plus grande superficie parmi les milieux terrestres retrouvés dans la zone à l'étude (sur 463,76 ha, soit 18,55 % du territoire). Ces milieux résultent des activités d'exploitation forestière. Deux groupements de début de succession (régénération arbustive conifère et régénération indéterminée) se distinguent dans la zone d'étude (450,26 ha, soit 18,01 %). Les différents peuplements de résineux (355,61 ha, soit 14,22 %) constituent le deuxième milieu terrestre le plus observé. Ceux-ci sont principalement constitués de pessières noires à mousses (247,19 ha, soit 9,89 %). Leur strate arborescente est composée majoritairement d'épinette noire en association, à l'occasion, avec quelques bouleaux à papier (*Betula papyrifera*) ou pins gris (*Pinus banksiana*). De même que dans les groupements en régénération, les espèces dominantes des strates arbustives et herbacées de la pessière noire à mousses sont le thé du Labrador, le bleuet à feuilles étroites, le bleuet fausse-myrtille (*Vaccinium myrtilloides*) et le kalmia à feuilles étroites ainsi que le quatre-temps et le maianthème du Canada. Une pessière noire à lichens a également été répertoriée sur une superficie de 6,71 ha (0,27 %). Les différents peuplements mixtes (boisés mixtes indéterminés et sapinières à bouleau blanc) couvrent une superficie totale de 66,54 ha (2,66 %).

Enfin, des groupements de feuillus, dominés par le bouleau blanc, sont présents de façon éparse dans la zone d'étude (42,66 ha, soit 1,71 %). Aucune aire protégée ou autre aire de conservation (EFE, refuge biologique, etc.) n'est présente dans la zone d'étude locale du milieu biophysique.

Par ailleurs, sur les huit espèces floristiques à statut particulier pouvant être présentes dans la zone d'étude, deux espèces possèdent un potentiel considéré comme étant moyen, soit le pigamon pourpré (*Thalictrum dasycarpum*) et le saule de McCalla (*Salix maccalliana*); les autres espèces (6) ayant un potentiel de présence faible. Or, les groupes d'essences ou les types écologiques les plus susceptibles de soutenir des communautés d'espèces menacées, vulnérables ou susceptibles d'être ainsi désignées (EMVS) sont absents dans la zone d'inventaire, et la majorité des groupements (humides et terrestres) présentent un faible potentiel d'occurrence pour les EMVS. Les inventaires de terrain confirment cette réalité, puisqu'aucune EMVS n'a été observée dans la zone d'inventaire sur les 391 stations d'inventaire réalisées entre 2016 et 2021.

De plus, une attention particulière avait alors été accordée aux espèces exotiques envahissantes (EEE) considérées prioritaires ou à surveiller au Québec ainsi qu'aux milieux particulièrement propices aux EEE, tels que les bords de routes, chemins forestiers, milieux anthropiques, lieux perturbés et les milieux à proximité de ces milieux. Au cours des inventaires, aucune EEE n'a été notée dans la zone.

Enfin, lors de l'inventaire floristique, une attention particulière a également été portée à la présence de plantes d'intérêt pour les Cris. Au total, 36 des plantes observées au terrain sont utilisées par les Cris. Il s'agit de huit espèces arborescentes, 21 espèces arbustives, six espèces herbacées et une espèce invasculaire muscinale. Toutes ces espèces sont considérées comme communes dans la zone d'étude et dans cette partie du territoire québécois.

---

## 2.2 Pertes des milieux humides et hydriques

Globalement, le projet engendrera la perte de 48,73 ha de milieux humides et hydriques. Le tableau suivant détaille les pertes d'habitat par type.

**Tableau 1 Bilan des impacts permanents du Projet sur les milieux humides et hydriques**

Impact	Milieu	Classe	Catégorie	Type	Superficie (ha)	
<b>Empiètement permanent</b>	Hydrique	Littoral	Cours d'eau		0,03	
			Ligne naturelle des hautes eaux	Tourbière minérotrophe ouverte	0,29	
				Marécage arbustif	0,03	
			<b>Sous-total</b>		<b>0,35</b>	
		Rive	Milieu forestier	Mixte		0,17
				Régénération et plantation		0,15
				Résineux		0,32
			Milieu humide	Marécage arbustif		0,25
				Tourbière minérotrophe boisée		0,05
				Tourbière minérotrophe ouverte		0,01
				Tourbière ombrotrophe boisée		0,01
			Non forestier	Anthropique		0,01
			<i>Sous-total</i>		<i>0,96</i>	
		<b>Sous-total</b>			<b>1,31</b>	
Humide			Marécage arborescent		1,62	
			Marécage arbustif		2,80	
			Tourbière minérotrophe boisée		3,68	
			Tourbière minérotrophe ouverte		12,16	
			Tourbière ombrotrophe boisée		2,39	
			Tourbière ombrotrophe ouverte		24,77	
			<b>Sous-total</b>		<b>47,42</b>	
<b>TOTAL</b>				<b>48,73</b>		



# 3 **Projet de restauration / création / amélioration**

---

## 3.1 **Description de la démarche compensatoire**

Plusieurs options ont été considérées comme projet potentiel afin de servir de compensation pour les pertes des milieux humides et hydriques dans le cadre du Projet. Cette section brosse le portrait sommaire pour chaque option étudiée et les gains potentiels pour l'environnement associés à chacun.

Le Projet se trouve dans un environnement largement composé de milieux naturels. Les perturbations et les pressions anthropiques environnantes se limitent à quelques sites d'exploration et d'exploitation minière, des bancs d'emprunt, des routes forestières et des lignes de transmission d'électricité. Les opportunités de restauration de milieux humides impactés disponibles s'avèrent faibles.

La majorité des milieux humides caractérisés dans le secteur du Projet font partie de complexes de milieux humides et ceux-ci sont généralement hydroconnectés. Ainsi, la connectivité écologique entre les milieux humides et au sein des écosystèmes présents à l'échelle régionale est une composante importante à prendre en compte dans l'élaboration du plan de compensation.

Les sources d'informations suivantes ont été consultées afin de localiser des sites de compensation potentiels :

- le registre des titres miniers du Québec (GESTIM) (MRNF, 2025a);
- le système d'information géominière du Québec (SIGÉOM) (MRNF, 2025b);
- le visionnement d'images aériennes sur GoogleEarth et sur le site web Forêt Ouverte du Gouvernement du Québec (MRNF, 2025c);
- des rapports détaillant des sites potentiels produits dans le cadre d'autres projets;
- la carte interactive des sites contaminés sous la responsabilité de l'état (Gouvernement du Québec, 2025);
- la carte et liste des sites miniers abandonnés sous la responsabilité réelle de l'État (MRNF, 2025d).

À ces bases de données s'ajoutent les consultations qui ont été réalisées dans les milieux autochtones et allochtones touchés par le projet minier dans le cadre du programme de biodiversité. Les résultats de ces consultations sont disponibles en annexe du programme de biodiversité (WSP, 2023b).

De plus, le COMEX est d'avis qu'un promoteur peut présenter un projet de restauration déjà réalisé dans son plan de compensation de MHH. Afin que ces projets soient considérés, les éléments suivants seront pris en considération :

- Le COMEX se réserve le droit de questionner les projets pour bien en comprendre la portée.
- GMW doit décrire suffisamment les projets réalisés pour que ceux-ci puissent être reconnus. La description des projets réalisés comprenant : description du projet, cartes, photos avant et après, inventaires, suivi existants et/ou suivis à prévoir.

- GMW doit bien démontrer les gains environnementaux obtenus grâce à ces projets déjà réalisés. Ces projets seront évalués de la même manière que le reste du programme de compensation, le « pointage » accordé à ces projets sera déterminé en fonction de la qualité des projets, peu importe le moment de réalisation (avant le projet minier ou non).
- GMW doit s’assurer qu’il n’avait aucune obligation, de lui ou d’une autre partie prenante, à restaurer ces sites.

Ainsi, les projets présentés sont le fruit de ces recherches documentaires ainsi que la documentation nécessaire permettant d’évaluer un projet précédemment réalisé.

---

## 3.2 Résultats

Au total, six projets de compensation potentiels ont été identifiés, lesquels sont détaillés dans les sections suivantes. Le projet 1 consiste en un programme de biodiversité, soit une combinaison de diverses campagnes de suivi de la biodiversité à des fins d’acquisition de connaissances, qui s’échelonne sur plusieurs années. Les projets 2, 3 et 4 sont des projets déjà complétés, soit des projets de plantation, de nettoyage et de réparation d’infrastructures. Les projets 5 et 6 sont des projets potentiels de compensation de milieux humides, soit la restauration d’un ancien banc d’emprunt ou d’un chemin d’accès.

Tous les projets se situent à l’intérieur de la région administrative du Nord-du-Québec, à l’exception du projet 3 qui se situe dans la région administrative de l’Abitibi-Témiscamingue. Cependant, celui-ci se trouve sur un site dont les claims d’exploration appartiennent à GMW. La localisation de l’ensemble des sites de compensation potentiels est présentée sur la carte 1.

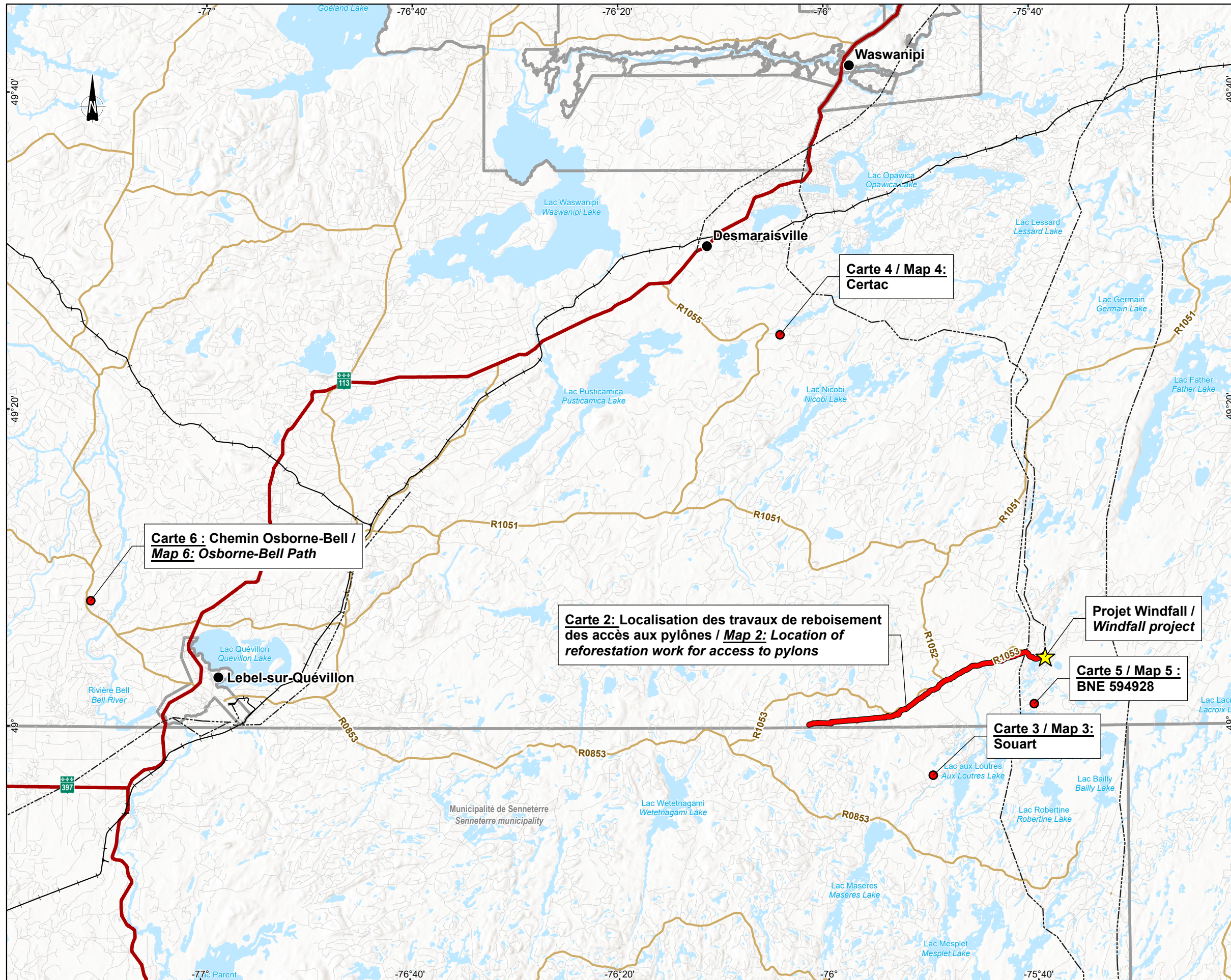
---

## 3.3 Autres pistes étudiées

En mai 2025, un glissement de terrain s’est produit sur le territoire de la Première Nation des Cris de Waswanipi (PNCW), qui a provoqué l’assèchement soudain du lac Rouge (Blacksmith, 2025). En conséquence, certains membres de la communauté ont perdu accès à leur site de trappes, de chasse et de pêche. Sensible à cette réalité et considérant que le lac soit situé à moins de 30 km au nord-est du site minier, GMW a évalué l’option de réaliser un projet visant les pertes d’habitat.

Cependant, l’actuelle méconnaissance des causes du glissement de terrain et des solutions à mettre en place afin de réaménager le lac de manière sécuritaire et permanente oblige GMW à ne pas considérer ce site comme piste de compensation.

Par ailleurs, un projet de compensation pour les pertes de l’habitat du poisson conviendrait davantage à cet endroit.



- Municipalité / Municipality
- Limites administratives / Administration Boundaries**
- ▭ Municipalité ou territoire équivalent (TE) / Municipality or Equivalent Territory (ET)
- Infrastructures connexes / Related Infrastructure**
- - - Ligne de transport d'énergie / Power transmission line
- Chemin de fer / Railway
- Réseau routier / Road Network**
- Route principale / Main road
- Chemin forestier principal / Main forestry road
- Chemin forestier secondaire
- Réseau hydrographique / Hydrographique Network**
- Plan d'eau / Waterbody



Projet Windfall – Plan de compensation des milieux humides et hydriques – Version 02 /  
 Windfall Project – Wetland and Water Compensation Plan – Version 02  
 Site minier Windfall, Eeyou Istchee Baie-James (Québec) /  
 Windfall Mining Site, Eeyou Istchee Baie-James (Quebec)

**Carte 1 / Map 1**  
**Localisation des options de compensation à l'étude /**  
**Location of compensation options under study**

**Sources :**  
 AOréseau+, Réseau routier, MERN Québec, 2020-03  
 GRHQ, Réseau hydroïque, 2021  
 CanVec+, 1/250 000, RN Can, 2014  
 BDTA, 1/250 000, MRN Québec, 2002  
 BDGA, 1/5 000 000, MRN Québec, 2012  
 SDA, 1/20 000, MERN Québec, 2020

0 4,5 9 Km  
 NAD 1983 MTM 9

2025-12-22

Préparation / Preparation : M. Ferland  
 Dessin / Drawing : J. Roy  
 Vérifié par / Verification : F. Gagnon  
 CA0023271\_9538\_pc\_mhh\_cx\_autres\_251222.aprx  
 CA0023271\_9538\_pc\_mhh\_c1\_143\_loc\_sites\_251222



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. / Boundary accuracy and measurements shown on this document are not to be used for engineering or land delineation purposes. No land analysis was carried out by a land surveyor.



---

## 3.4 **Projet 1 – Programme de biodiversité**

Dans l'étude d'impact sur l'environnement de mars 2023, GMW avait annoncé vouloir développer un programme ayant pour objectif de valoriser la biodiversité et les espèces à statut en considérant les besoins réels des communautés. Initialement, le programme de biodiversité s'inscrivait dans la finalité de cette démarche, en agissant comme « Plan de compensation des milieux humides et hydriques ». Il visait ainsi l'atteinte du principe d'aucune perte nette sur la biodiversité. Les activités d'acquisition de connaissances et de suivi au niveau de l'habitat aquatique qui faisaient partie du programme de biodiversité au départ visaient aussi à compenser les pertes indirectes sur l'habitat du poisson qui pourraient être engendrées par le Projet. Au cours de 2023, les feux de forêt dans la région ont fait évoluer les priorités du milieu vu la nature et l'ampleur des événements dans le secteur à proximité de Windfall (Bergeron et Martel, 2023). Le programme de biodiversité se définit comme un programme volontaire visant à évaluer les pertes et changements en matière de biodiversité à la suite des feux de forêt de 2023. Ce dernier a été développé de concert avec les communautés d'accueil du territoire pour répondre à des questionnements concrets des Cris et Jamésiens qui ont été impactés par les feux de 2023.

---

### 3.4.1 **Objectifs du programme de biodiversité**

Le programme de biodiversité a pour objectif principal de compenser la perte de milieux naturels occasionnée par le Projet par le biais d'un programme aligné avec le contexte actuel et répondant aux préoccupations de la communauté autochtone concernée par le Projet. Ses objectifs spécifiques sont les suivants :

- Améliorer la compréhension de l'effet des feux de forêt sur les habitats fauniques terrestres et aquatiques dans les environs du Projet.
- Documenter les effets principaux des feux de forêt sur les milieux naturels et sur la biodiversité par le biais d'une revue de littérature.
- Identifier les effets des feux de forêt à court et moyen terme sur le milieu physique, les habitats naturels ainsi que sur la faune terrestre et aquatique (p. ex. altération de la physicochimie de l'eau, modification de la composition des espèces végétales et fauniques, etc.) dans une zone d'étude dite élargie, c'est-à-dire un peu plus grande que la zone d'étude locale du milieu biophysique.
- Intégrer les intérêts et préoccupations des maîtres de trappe et de leur famille, ainsi que des populations locales comme les membres de la PNCW et les Quévillonnais dans le développement du programme de biodiversité.

L'élaboration du programme de biodiversité s'inscrit dans un processus de consultation continu auprès des membres de la PNCW et des Quévillonnais et sera donc adaptée en fonction de la rétroaction de la population locale.

Il propose, d'une part, des études complémentaires pour documenter les effets des modifications des milieux terrestres, humides et hydriques sur la faune et cherche, d'autre part, à répondre aux préoccupations formulées par la communauté autochtone concernée par le Projet.

Les quatre principaux volets du programme de biodiversité sont les suivants :

1. Revue de littérature sur les effets des feux de forêt sur les milieux naturels.

2. Études environnementales complémentaires sur les composantes où des effets sont attendus et/ou valorisées par les membres de la PNCW :
    - a. eau de surface;
    - b. végétation et milieux humides (écotoxicologie, diversité et évolution des peuplements forestiers);
    - c. faune terrestre (faune aviaire, lièvre d'Amérique [*Lepus americanus*] et caribou forestier [*Rangifer tarandus*]);
    - d. benthos.
  3. Résumé des consultations auprès des populations locales.
  4. Présentation des résultats du programme de biodiversité aux communautés hôtes du Projet (an 1).
- 

### **3.4.2 Zone d'étude**

La zone d'étude élargie retenue pour documenter les effets des feux de forêt sur les composantes biophysiques ciblées couvre une superficie approximative de 53 560 ha (535,6 km<sup>2</sup>). Elle englobe la zone d'étude locale du milieu biophysique utilisée pour établir l'état de référence lors l'ÉIE, mais couvre aussi des secteurs non impactés par les feux de forêt en dehors de la zone d'influence des activités d'exploration avancée du Projet (hors de l'axe des vents dominants).

---

### **3.4.3 Revue de littérature sur les effets des feux de forêt sur les milieux naturels**

Les changements climatiques sont susceptibles d'accroître la fréquence et la sévérité des feux de forêt, du fait de l'augmentation globale des températures, de l'allongement des périodes de sécheresse et de la modification de la composition des espèces végétales. La région du Nord-du-Québec, et particulièrement le secteur de Lebel-sur-Quévillon, a été fortement impactée par des feux de forêt d'envergure à l'été 2023. Dans le contexte où cette région, dominée par la forêt boréale, risque d'être de plus en plus affectée par des feux, il importe d'identifier les effets principaux des feux de forêt sur les milieux naturels pour mieux comprendre le contexte d'insertion du Projet. La présente revue de littérature est une première étape du programme de biodiversité de GMW, qui vise à documenter ces effets afin d'identifier les composantes qui devraient faire l'objet d'études environnementales complémentaires aux environs du site du Projet.

Selon la littérature consultée, l'amplitude des effets des feux de forêt est très variable en fonction des conditions initiales du milieu (végétation, faune, géologie et structure du sol, perturbations antérieures, etc.), de la sévérité et de l'intensité des feux. Les tendances observées permettent toutefois d'identifier des effets généraux sur le sol, l'eau de surface, la végétation ainsi que la faune terrestre et aquatique.

Les feux de forêt peuvent altérer les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. Le dénudement des sols et la déposition de cendres peuvent, d'une part, contribuer à l'imperméabilisation et à la compaction des sols, accentuant les phénomènes de ruissellement et d'érosion. La déposition d'une couche de cendre de même que la combustion de la végétation et de la matière organique peuvent, d'autre part, conduire à une augmentation du pH, à la modification des réserves de nutriments (N, P, K, K<sub>2</sub>O) et à l'augmentation de la concentration des métaux lourds (Cd, Cr, Cu, Mn, Mg, Zn, Fe, Al, Si, Ni, Co, As) dans le sol.

L'augmentation du ruissellement est susceptible d'augmenter les débits de crues et les débits moyens dans les cours d'eau des zones affectées. Le ruissellement, combiné à l'érosion des sols ainsi qu'à l'apport de cendres et de débris ligneux, peut également altérer la qualité de l'eau de surface. Les effets répertoriés concernent l'augmentation des MES et de la turbidité, de la concentration des métaux lourds, du pH, du carbone organique dissous et des certains nutriments ainsi que la diminution de l'oxygène dissous. Les feux de forêt peuvent par ailleurs provoquer une augmentation de la température des cours d'eau et plans d'eau à court terme après le passage du feu, et à moyen terme du fait de la diminution du couvert végétal. L'ampleur des effets sur l'eau de surface dépend de la superficie du bassin versant et de l'importance du réseau hydrographique.

Les effets des feux de forêt sur la végétation sont fortement liés à la sévérité des feux. Les premiers effets constatés sont la réduction de la densité des arbres et du couvert de la canopée ainsi que la modification de l'abondance et de la diversité des espèces. Certaines espèces pionnières peuvent rapidement recoloniser les sites brûlés, alors que d'autres espèces sont moins résilientes et prendront plus de temps à se régénérer (p. ex. lichen). Dans la forêt boréale, les jeunes stades de succession sont dominés par les feuillus (peuplier faux-tremble [*Populus tremuloides*] et bouleau à papier). Dans le contexte où les feux de forêt sont de plus en plus intenses et sévères et où les conditions sont plus sèches et chaudes, une transition d'une dominance de conifères vers une dominance de feuillus est observée en Amérique du Nord. Certaines études indiquent, à ce sujet, une perte de résilience de l'épinette noire. Finalement, l'augmentation des concentrations et de la biodisponibilité des métaux dans le sol peut accroître l'adsorption et l'absorption des métaux par les plantes.

La modification des habitats affecte la faune terrestre en fonction des différents cycles de succession. De manière générale, une diminution globale du nombre d'espèces est observée dans les deux premières années. L'altération des habitats entraîne, comme pour la végétation, une modification de la composition des espèces. Les premières années suivant le feu, l'abondance de micromammifères et d'originaux est plus élevée. Les micromammifères profitent notamment de la reprise rapide des herbacées et des abris créés par les débris ligneux. Les originaux sont quant à eux rapidement de retour sur les sites perturbés (quelques mois plus tard) pour profiter de l'importante quantité de fourrage. Une diminution de la richesse et de l'abondance des oiseaux, des chiroptères, des lièvres, des canidés, des mustélidés et des caribous est toutefois observée au cours des premières années suivant le feu. La diversité et la richesse de la faune aviaire augmentent généralement de 3 à 5 ans après le feu. L'abondance du lièvre augmente pour sa part au fil de la reprise de la végétation de la strate arbustive, lorsqu'un couvert adéquat est rétabli. Le caribou a quant à lui tendance à délaisser les sites brûlés en raison du long temps de récupération du lichen, sa principale source de nourriture.

Les effets sur la faune aquatique sont plus marqués dans les mois suivant le feu, notamment en raison de l'augmentation de la température et des matières en suspension (MES) ainsi que de la diminution de l'oxygène dissous. Les modifications qui persistent dans le temps sont celles qui influenceront toutefois davantage sur la capacité de récupération des communautés aquatiques. En raison des plus grands apports de nutriments, une croissance rapide d'algues et de la densité des communautés de benthos est généralement observée. Cette densité élevée de benthos peut perdurer pendant 15 à 20 ans.

La revue de littérature complète est présentée à l'annexe A.

---

### 3.4.4 Études environnementales sur les effets des feux de forêt

Les études environnementales complémentaires du programme de biodiversité visent à documenter les effets des feux de forêt sur les composantes de l'environnement valorisées ou susceptibles d'être affectées aux environs du site du Projet. Les composantes retenues ont été discutées avec des membres de la PNCW, ainsi qu'avec des conseillers municipaux de Lebel-sur-Quévillon. Les commentaires, intérêts, suggestions et préoccupations ont ainsi été entendus et considérés lors d'une rencontre tenue avec la PCNW à Waswanipi le 6 novembre 2023 et lors de la participation à une séance du conseil municipal élargi de Lebel-sur-Quévillon le 8 novembre 2023(annexes B et C).

Lors de la consultation avec la communauté de Waswanipi, certains membres ont mentionné l'intérêt d'étudier le lynx en parallèle avec le lièvre d'Amérique. Considérant que le lynx est l'un des prédateurs principaux du lièvre, l'inventaire du lièvre permettra d'évaluer de manière indirecte la potentielle présence du lynx dans les différents milieux étudiés. Il a ainsi été décidé de ne pas intégrer d'inventaire spécifique au lynx pour le moment, mais de réévaluer la pertinence lorsque le programme de biodiversité sera mis en œuvre.

#### 3.4.4.1 Eau de surface

Certains des effets répertoriés des feux de forêt sur l'eau de surface sont l'augmentation de la turbidité, de la température, du pH et de certains métaux, ainsi que la diminution de l'oxygène dissous, qui sont causées par le ruissellement, l'érosion des sols et la déposition de cendres dans les cours d'eau et plans d'eau. Considérant que la qualité de l'eau a été analysée dans plusieurs plans d'eau de la zone d'étude locale du milieu biophysique pour l'état de référence de l'ÉIE, des analyses complémentaires subséquentes aux feux de forêt sont suggérées pour déterminer si des perturbations ont été engendrées. L'analyse des modifications des paramètres physicochimiques de l'eau de surface permettra, notamment, d'évaluer si une dégradation de la qualité de l'habitat de la faune aquatique est observable et dans quels délais les conditions initiales de l'eau de surface peuvent se rétablir.

#### 3.4.4.2 Végétation et milieux humides

### Écotoxicologie des plantes valorisées par les utilisateurs du territoire

Après un feu de forêt, l'augmentation de la concentration des métaux dans le sol et de la biodisponibilité pour les végétaux peut conduire à une augmentation de la concentration des métaux dans les plantes. L'étude écotoxicologique des plantes traditionnellement valorisées par les utilisateurs cris du territoire permettra, en ce sens, d'évaluer la teneur en métaux dans les parties consommées. En fonction des consultations tenues avec les maîtres de trappe et leurs familles dans le cadre de l'ÉIE, les deux espèces ciblées sont le bleuet (*Vaccinium spp*) et le thé du Labrador.

### Évolution des peuplements forestiers

Étant donné l'importance des forêts au niveau de la biodiversité faunique et floristique, l'évolution du couvert végétal arborescent et arbustif des différents peuplements forestiers retrouvés dans le paysage local et ayant été affectés par les feux sera étudiée.

## Diversité des espèces végétales

Selon la littérature consultée, les feux de forêt peuvent entraîner une modification de la diversité des espèces végétales en fonction des espèces pionnières et des conditions initiales du milieu, de la sévérité des feux et des stades de succession. L'étude de la diversité des espèces végétales permettra d'évaluer les effets à court et moyen termes en relevant les modulations de la recolonisation par les espèces floristiques composant les différentes strates du couvert (arborescente, arbustive, herbacée, muscinale) des peuplements forestiers suivis.

### 3.4.4.3 Faune terrestre

#### Faune aviaire

L'un des effets répertoriés des feux de forêt sur la faune aviaire est la diminution de la richesse et de l'abondance au cours des premières années. La diversité des espèces peut aussi différer en fonction des modifications des habitats et des préférences des espèces (p. ex. préférence pour les habitats ouverts et chicots).

Deux options sont présentées afin de répondre à l'objectif principal, qui est de valider l'effet des feux de forêt ayant sévi sur le territoire en 2023 sur les communautés de la faune aviaire. Ces méthodes d'inventaire sont décrites dans cette section.

#### Lièvre d'Amérique

Comme pour la faune aviaire, les feux de forêt peuvent entraîner une diminution de l'abondance de lièvres d'Amérique au cours des premières années suivant le feu. L'objectif principal de l'étude sur le lièvre d'Amérique est d'évaluer l'importance de cet effet en fonction de la sévérité du feu.

#### Caribou

GMW est présentement en discussion avec le MELCCFP pour participer à une étude plus approfondie du déplacement des caribous pour un groupe détaché de la harde Assinaca ayant été répertorié au sud du site du Projet.

Le programme de suivi discuté pourrait inclure l'ajout de colliers télémétriques avec prise de données à des intervalles plus rapprochés, afin de mieux comprendre les trajets empruntés entre ce groupe et la harde Assinica. Considérant la nature sensible des données colligées, les résultats ne seront toutefois pas publiés.

### 3.4.4.4 Benthos

Les feux de forêt peuvent avoir pour effet d'augmenter la densité et de modifier la composition des communautés de macroinvertébrés benthiques (benthos). La modification des communautés de benthos entraîne des répercussions sur la chaîne alimentaire, notamment sur la faune aquatique. Comme pour l'eau de surface, des prélèvements ont déjà été effectués sur le site du Projet pour établir l'état de référence dans le cadre de l'ÉIE. Pour le programme de biodiversité, il est suggéré d'échantillonner des stations où des données ont déjà été prélevées. Les échantillons récoltés dans des zones affectées et non affectées par le feu pourront ainsi être comparés aux résultats de l'état de référence.



### 3.4.5 Échéancier proposé

Tableau 2 Échéancier des études environnementales – Programme de biodiversité

Études environnementales	Phase d'échantillonnage en vrac												Phase de construction			Phase d'exploitation										Phase de fermeture			
	2024*												2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039		
	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc																	
<b>Milieu physique</b>																													
Eau de surface														X		X		X											
<b>Végétation et milieux humides</b>																													
Écotoxicologie des plantes														X	X			X											
Diversité des espèces végétales														X	X			X											
Évolution des peuplements forestiers														X	X			X											
<b>Faune terrestre</b>																													
Faune aviaire														X	X			X											
Lièvre d'Amérique														X	X			X											
Chiroptères																	X												
Caribou																													
<b>Faune aquatique et benthos</b>																													
Benthos														X	X			X											
Ichtyofaune																	X												
<b>Livrable</b>																													
Rapport final																													

**Notes:**  
\* Les périodes d'inventaire seront les mêmes pour l'ensemble des années étudiées.

Légende	
	Période d'inventaire
	Suivi dès la présence d'un effluent
X	Note technique (suivant un inventaire)
★	Rapport Final



---

### 3.4.6 Résultats 2025

En mars 2025, les résultats de la première année du programme de biodiversité ont été présentés aux communautés hôtes du Projet, notamment lors de deux séances publiques : le 25 mars aux membres de la communauté crie de Waswanipi et le 26 mars à Lebel-sur-Quévillon (annexe C). L'objectif était d'informer les populations locales et de recueillir leurs commentaires pour ajuster ou améliorer le programme dans les années à venir. Ces rencontres, conçues de manière participative, ont permis aux participants de réagir aux résultats présentés par WSP, de valider leur pertinence et d'exprimer leurs propres observations sur le territoire.

Voici un résumé des différents résultats à la suite des campagnes d'inventaires de 2024. Les résultats des campagnes de 2025 pourront être communiqués lorsqu'ils seront disponibles.

#### *Eau de surface*

En ce qui concerne l'eau de surface, l'analyse des modifications des paramètres physicochimiques permet d'évaluer qu'aucune dégradation significative de la qualité de l'habitat de la faune aquatique n'est observable. De plus, soit l'impact des feux était minime, soit les délais de retour aux conditions initiales de l'eau de surface étaient d'un an et moins.

#### *Végétation et milieux humides*

##### *Écotoxicologie des plantes valorisées par les utilisateurs du territoire*

La composition en métaux des plantes semble avoir subi une légère modification, mais les niveaux observés ne posent pas de risque immédiat pour la santé humaine. Un suivi continu des concentrations de certains métaux sera utile pour évaluer les niveaux de concentrations au fil des années.

##### *Évolution des peuplements forestiers*

Les inventaires visant à étudier l'évolution des peuplements forestiers en 2024 ont permis de récolter des données sur 24 différents sites et d'évaluer l'impact du feu de 2023 sur ces milieux. La détermination de la sévérité des feux faite à partir de la cartographie correspond en majorité à celle observée au terrain, car seulement trois stations ont vu leur niveau de sévérité changer.

##### *Diversité des espèces végétales*

Lors des inventaires réalisés en 2021, ce sont neuf espèces végétales arborescentes, 40 espèces arbustives et 55 espèces non ligneuses qui ont été recensées au terrain. À la suite du passage du feu, les inventaires de 2024 ont permis d'identifier quatre espèces végétales arborescentes, 29 espèces arbustives et 32 espèces non ligneuses. Ces résultats étaient attendus à la suite des perturbations sur le territoire.

#### *Faune terrestre*

##### *Faune aviaire*

Les inventaires d'avifaune de 2024 ont recensé un total de 61 espèces d'oiseaux. Les feux de forêt ont eu un impact varié sur leur richesse, densité et abondance, avec une réduction notable dans les zones plus sévèrement touchées. Les peuplements en régénération sans feu montrent les densités et abondances les plus élevées.

## *Lièvre d'Amérique*

Les résultats de cette étude montrent que la présence du lièvre d'Amérique est influencée par les feux de forêt et la composition de l'habitat. Les essences feuillues, particulièrement le bouleau à papier, jouent un rôle crucial dans l'alimentation du lièvre d'Amérique, tandis que les essences résineuses offrent une protection hivernale. Les parcelles non touchées par les feux présentent une densité plus élevée de crottins, indiquant une population de lièvres plus abondante. Cependant, des signes de présence de lièvres sont observés dans les parcelles brûlées également.

## *Grande faune*

Lors des inventaires visant l'avifaune et le lièvre d'Amérique, un caribou forestier solitaire a été observé de façon opportuniste le 23 juin 2024 à 12 h 17 en bordure d'un chemin forestier, à environ 7 km du site Windfall. La présence du caribou forestier est documentée dans ce secteur. GMW et le MELCCFP ont conclu une entente de partenariat en 2024 permettant ainsi l'utilisation des données de colliers télémétriques de caribous, au nombre de quatre, localisés dans le secteur. Les données recueillies permettront également de visualiser en temps réel si les secteurs brûlés en 2023 sont utilisés par le caribou forestier sur une durée de 3 ans.

## *Benthos*

De façon générale, une abondance et une richesse plus élevées ont été répertoriées dans les plans d'eau impactés, contrairement à la zone de référence. Du côté des communautés benthiques du lac SN4, le feu semble avoir débalancé la répartition des espèces avec une dominance marquée de l'embranchement des hexapodes. Le suivi de la richesse, de la densité et de l'abondance des communautés benthiques dans les milieux affectés par des feux permettra de mettre en évidence les effets à long terme.

---

## **3.5 Projet 2 – Reboisement des accès aux pylônes**

Le projet 2 consiste au reboisement des accès aux pylônes électriques composant la ligne électrique entre le poste électrique de Lebel-sur-Quévillon et le site Windfall. Rappelons que le tracé initial de la ligne électrique alimentant le site Windfall était prévu entre Lebel-sur-Quévillon et Windfall. À ce moment, l'initiateur du projet était Hydro-Québec. GMW a réalisé de manière volontaire les travaux de reboisement. Il n'y avait aucune obligation de reboiser les accès aux sites des pylônes. Les sites reboisés se situent dans la région administrative du Nord-du-Québec, sur des terres de la catégorie III du territoire d'Eeyou Istchee Baie-James. Plusieurs chemins temporaires ont été aménagés en 2021 pour permettre l'accès aux pylônes lors des campagnes d'investigation préliminaires qui auraient mené la construction de la ligne.

Les travaux de reboisement ont été réalisés en septembre 2023 (carte 2). Toutes les superficies et tous les plants d'épinette noire prévus ont été reboisés, soit 13,6 ha et 33 000 plants (photos 1 et 2). Des photographies additionnelles, montrant le milieu en 2022 avant les travaux et les photos de 2023 après et pendant sont disponibles à l'annexe D.

La qualité des travaux a été évaluée à 96 %, ce qui est supérieur au seuil de 92 % prévu au devis. L'objectif était de reboiser tout en ayant un minimum d'impact sur l'environnement et sur les milieux humides. Ainsi, il n'y a eu aucune préparation de terrain et les microsites propices avec du sol minéral étaient rares. Aucune contamination de sols n'était présente, la gestion des matières résiduelles était standard. Le camion de l'entrepreneur contenait tous les équipements nécessaires et prévus dans les documents SSE (trousse de premiers soins, trousse de déversement, extincteur, etc.). Aussi, aucune trace ou ornière significative n'a été faite par le véhicule qui livrait les plants sur le terrain (VTT 6 roues motrices). L'entrepreneur était bien équipé et adaptait ses méthodes en fonction des sites rencontrés.

Depuis l'inventaire de terrain effectué à l'été 2024, plusieurs sites se sont régénérés naturellement en cerisier de Pennsylvanie (*Prunus pensylvanica*), bouleau à papier, épinette noire et pin gris. Ces germinations spontanées complètent le reboisement, ce qui vient conjointement créer des habitats potentiels pour la faune locale, faune qui pourrait être composée d'espèces à statut particulier. Aucun suivi additionnel n'est prévu en lien avec cette activité.

Par ailleurs, les différents travaux, inventaires et recherches réalisés lors de l'étude d'impact sur l'environnement ont permis de dresser une liste d'espèces fauniques à statut dont la présence a été soit confirmée dans le secteur de Windfall ou non. Le tableau 3 présente cette liste. Comme les activités de reboisement ont été effectuées à proximité du site, cette liste demeure valide. Du nombre d'espèces confirmées, la présence de cinq espèces jugées « En voie de disparition » selon la juridiction fédérale et, selon la réglementation québécoise, deux espèces jugées « menacée » et trois classées « vulnérable ». Les travaux de reboisement n'ont pas été menés dans le but de recréer un habitat spécifique en lien avec la présence de ces espèces mais la plantation permettra, à terme, de générer des habitats de qualité.

Soulignons également que les activités de reboisement ont été présentées aux utilisateurs du territoire préalablement à la réalisation des travaux. Ces travaux ont aussi été discutés avec les citoyens de Lebel-sur-Quévillon qui avaient des préoccupations quant à la responsabilité d'Hydro-Québec dans ce dossier. À la suite de la confirmation qu'Hydro-Québec n'avait aucune obligation légale d'effectuer des travaux de reboisement, GMW s'est engagé de manière volontaire à reboiser le secteur.



**Photo 1**      **Cassettes d'épinette noire**



**Photo 2**      **Plant d'épinette planté**

**Tableau 3** Espèces fauniques à statut particulier présentes ou potentiellement présentes dans la zone d'étude locale

Nom français	Nom scientifique	Statut		Présence confirmée dans la zone d'étude locale du projet Windfall (Oui / Non)	Ordre
		Québec <sup>1</sup>	Canada <sup>2</sup>		
Rainette faux-grillon boréale	<i>Pseudacris maculata</i>	SDMV	–	Non	Herpétofaune
Salamandre à quatre orteils	<i>Hemidactylum scutatum</i>	SDMV	–	Non	
Tortue serpentine	<i>Chelydra serpentina</i>	–	P	Non	
Tortue des bois	<i>Glyptemys insculpta</i>	V	M	Non	
Aigle royal	<i>Aquila chrysaetos</i>	V	NEP	Non	Faune aviaire
Arlequin plongeur	<i>Histrionicus histrionicus</i>	V	P	Non	
Bécasseau maubèche <i>rufa</i>	<i>Calidris canutus rufa</i>	M	– (COSEPAC : P)	Non	
Bécasseau roussâtre	<i>Tryngites subruficollis</i>	–	P	Non	
Engoulevent d'Amérique	<i>Chordeiles minor</i>	SDMV	P	Oui	
Engoulevent bois-pourri	<i>Antrostomus vociferus</i>	SDMV	M (COSEPAC : P)	Non	
Faucon pèlerin <i>anatum</i>	<i>Falco peregrinus anatum</i>	V	NEP	Oui	
Faucon pèlerin <i>tundrius</i>	<i>Falco peregrinus tundrius</i>	SDMV	NEP		
Garrot d'Islande (population de l'Est)	<i>Bucephala islandica</i>	V	P	Non	
Goglu des prés	<i>Dolichonyx oryzivorus</i>	–	M (COSEPAC : P)	Non	
Grèbe esclavon	<i>Podiceps auritus</i>	M	– (COSEPAC : P)	Non	
Gros-bec errant	<i>Coccythraustes vespertinus</i>	–	P	Oui	
Hibou des marais	<i>Asio flammeus</i>	SDMV	P (COSEPAC : M)	Non	
Hirondelle de rivage	<i>Riparia riparia</i>	–	M	Non	
Hirondelle rustique	<i>Hirundo rustica</i>	–	M (COSEPAC : P)	Oui	
Moucherolle à côtés olive	<i>Contopus cooperi</i>	V	P	Oui	
Paruline du Canada	<i>Cardellina canadensis</i>	SDMV	M (COSEPAC : P)	Oui	
Phalarope à bec étroit	<i>Phalaropus lobatus</i>	–	P	Non	
Pygargue à tête blanche	<i>Haliaeetus leucocephalus</i>	V	NEP	Oui	
Quiscale rouilleux	<i>Euphagus carolinus</i>	SDMV	P	Oui	

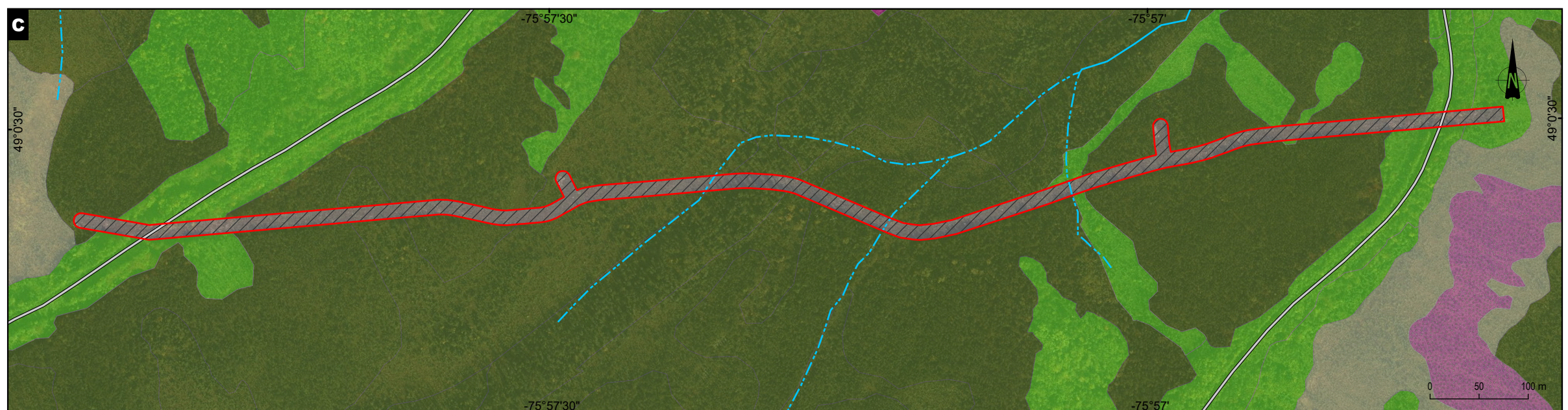
Nom français	Nom scientifique	Statut		Présence confirmée dans la zone d'étude locale du projet Windfall (Oui / Non)	Ordre
		Québec <sup>1</sup>	Canada <sup>2</sup>		
Campagnol des rochers	<i>Microtus chrotorrhinus</i>	SDMV	–	Non	Mammifères
Campagnol-lemming de Cooper	<i>Synaptomys cooperi</i>	SDMV	–	Non	
Caribou forestier	<i>Rangifer tarandus caribou</i>	V	M	Oui	
Belette pygmée	<i>Mustela nivalis</i>	SDMV	NEP	Non	
Petite chauve-souris brune	<i>Myotis lucifugus</i>	M	EVD	Oui	Chiroptères
Chauve-souris nordique	<i>Myotis septentrionalis</i>	M	EVD	Oui	
Chauve-souris argentée	<i>Lasionycteris noctivagans</i>	SDMV	– (COSEPAC : EVD)	Oui	
Chauve-souris cendrée	<i>Lasiurus cinereus</i>	SDMV	– (COSEPAC : EVD)	Oui	
Chauve-souris rousse (de l'Est)	<i>Lasiurus borealis</i>	V	– (COSEPAC : EVD)	Oui	

Notes : Les espèces potentiellement présentes dans la zone d'étude locale ont été ciblées par d'une recherche documentaire dans le cadre de l'étude d'impact réalisée en 2023. Cette recherche documentaire consistait en la réalisation d'une revue de littérature et la consultation de bases de données géospatiales dans un rayon de 100 km du centroïde de la zone d'étude.

1 : Statut de l'espèce au Québec (juillet 2025) : SDMV : susceptible d'être désignée comme menacée ou vulnérable; V : Vulnérable; M : menacée.

2 : Statut de l'espèce au Canada (LEP) (juillet 2025) : P : Préoccupante, M : Menacée, EVD : espèce en voie de disparition, NEP : Non en péril.





**Plan de compensation / Compensation Plan**

Limites des travaux de reboisement / Limits of reforestation work

**Composantes de l'écosystème / Ecosystem Components**

**Milieus terrestres / Terrestrial Environments**

- Mixte / Mixed-wood
- Résineux / Softwood
- Régénération / Regeneration

**Milieus humides et hydriques / Wetlands and Hydrous Environments**

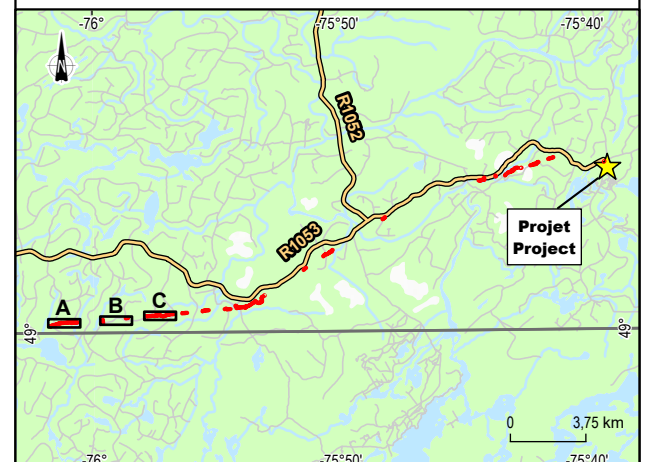
- Marécage arborescent / Treed swamp
- Marécage arbustif / Shrubby swamp
- Tourbière minérotrophe ouverte / Open fen
- Marais / Marsh
- Cours d'eau intermittent / Intermittent Watercourse
- Cours d'eau permanent / Permanent Watercourse

**Autres milieux / Other Environments**

- Milieu faiblement perturbé par l'activité humaine

**Réseau routier / Road Network**

- Chemin forestier secondaire / Secondary forest road



**Projet Windfall – Plan de compensation des milieux humides et hydriques – Version 02 / Windfall Project – Wetland and Water Compensation Plan – Version 02**

Site minier Windfall, Eeyou Istchee Baie-James (Québec) / Windfall Mining Site, Eeyou Istchee Baie-James (Quebec)

**Carte 2A / Map 2A**  
**Localisation des travaux de reboisement des accès aux pylônes / Location of reforestation work for access to pylons**

**Sources :**  
 AQRéseau+, Réseau routier, MERN Québec, 2020-03  
 WSP, Infrastructures version CAWL-301-G-0602-AU, 2025  
 CanVec, 1/250 000, RNCan, 2014  
 SDA, 1/20 000, MERN Québec, 2020  
 Inventaire écoforestier, MRNF, 2024  
 Mosaïque d'orthophotographie de l'inventaire écoforestier, MRNF, 2023

**Projection / Projection :**  
 NAD 1983 MTM 9

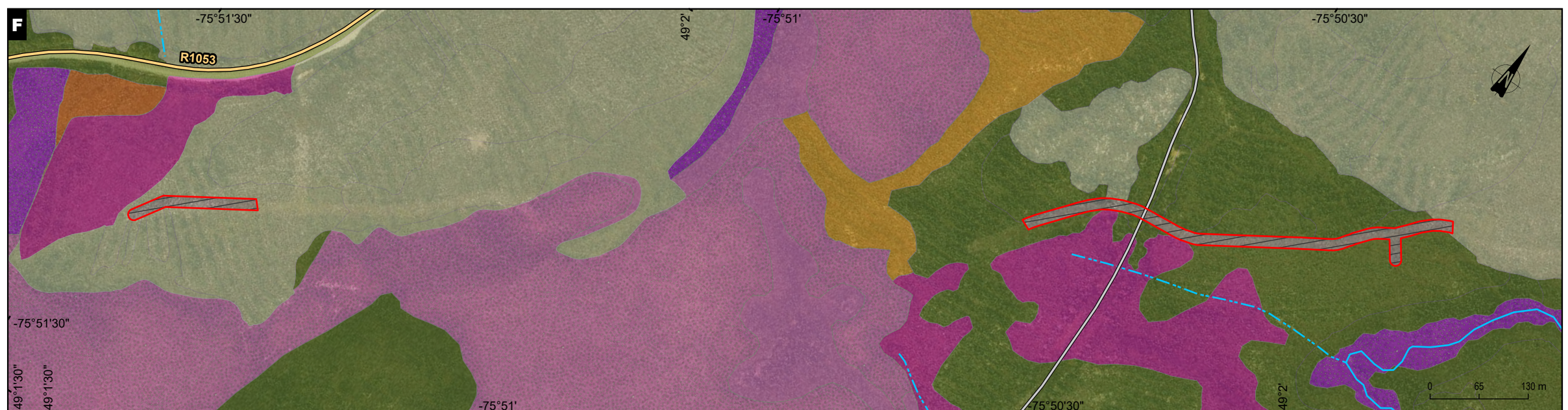
2025-12-22

**Préparation / Preparation :** M. Ferland  
**Dessin / Drawing :** J. Roy  
**Vérifié par / Verification :** F. Gagnon  
 CA0023271\_9538\_pc\_mhh\_c2x\_reboisement\_251222.aprx  
 CA0023271\_9538\_pc\_mhh\_c2A\_144\_reboisement\_251222



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. / Boundary accuracy and measurements shown on this document are not to be used for engineering or land delineation purposes. No land analysis was carried out by a land surveyor.





**Composantes de l'écosystème / Ecosystem Components**

**Milieux terrestres / Terrestrial Environments**

- Mixte / Mixed-wood
- Résineux / Softwood
- Régénération / Regeneration

**Milieux humides et hydriques / Wetlands and Hydrous Environments**

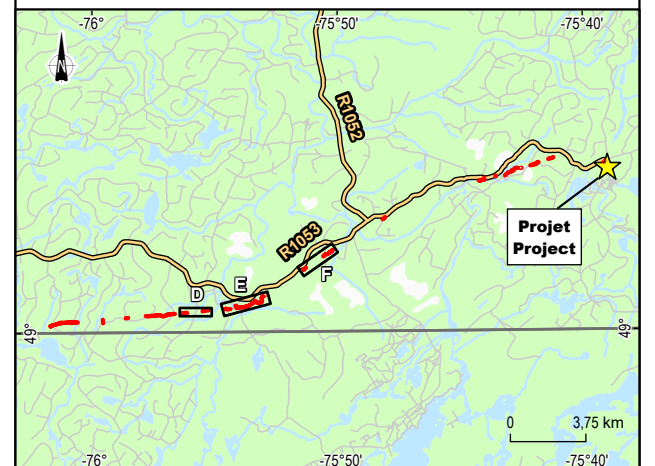
- Marécage arborescent / Treed swamp
- Marécage arbustif / Shrubby swamp
- Tourbière minérotrophe ouverte / Open fen
- Tourbière ombrotrophe boisée / Treed bog
- Tourbière ombrotrophe ouverte / Open bog
- Marais / Marsh
- Cours d'eau intermittent / Intermittent Watercourse
- Cours d'eau permanent / Permanent Watercourse

**Autres milieux / Other Environments**

- Dénudé et semi-dénudé sec / Bare and semi-bare dry
- Gravière / Gravel pit
- Milieu faiblement perturbé par l'activité humaine

**Réseau routier / Road Network**

- Chemin forestier principal / Main forestry road
- Chemin forestier secondaire / Secondary forest road



**Projet Windfall – Plan de compensation des milieux humides et hydriques – Version 02 /**  
**Windfall Project – Wetland and Water Compensation Plan – Version 02**  
 Site minier Windfall, Eeyou Istchee Baie-James (Québec) /  
 Windfall Mining Site, Eeyou Istchee Baie-James (Quebec)

**Carte 2B / Map 2B**  
**Localisation des travaux de reboisement des accès aux pylônes / Location of reforestation work for access to pylons**

**Sources :**  
 AQRéseau+, Réseau routier, MERN Québec, 2020-03  
 WSP, Infrastructures version CAWL-301-G-0602-AU, 2025  
 CanVec, 1/250 000, RNCan, 2014  
 SDA, 1/20 000, MERN Québec, 2020  
 Inventaire écoforestier, MRNF, 2024  
 Mosaïque d'orthophotographie de l'inventaire écoforestier, MRNF, 2023

Projection / Projection :  
 NAD 1983 MTM 9 2025-12-22

Préparation / Preparation : M. Ferland  
 Dessin / Drawing : J. Roy  
 Vérifié par / Verification : F. Gagnon  
 CA0023271\_9538\_pc\_mhh\_c2x\_reboisement\_251222.aprx  
 CA0023271\_9538\_pc\_mhh\_c2B\_145\_reboisement\_251222







**Composantes de l'écosystème / Ecosystem Components**

**Milieux terrestres / Terrestrial Environments**

- Mixte / Mixed-wood
- Résineux / Softwood
- Régénération / Regeneration

**Milieux humides et hydriques / Wetlands and Hydrous Environments**

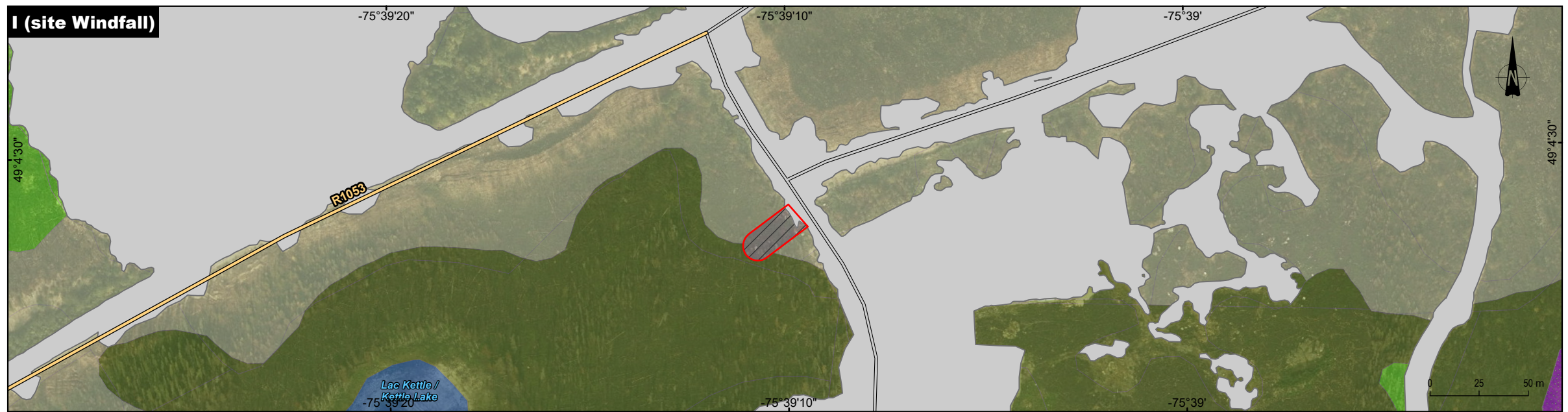
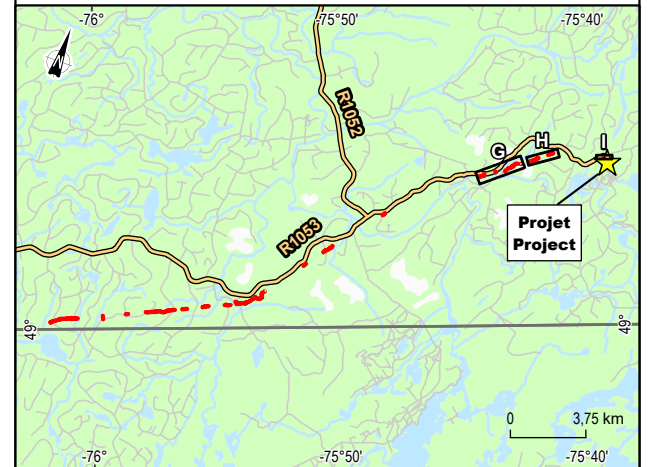
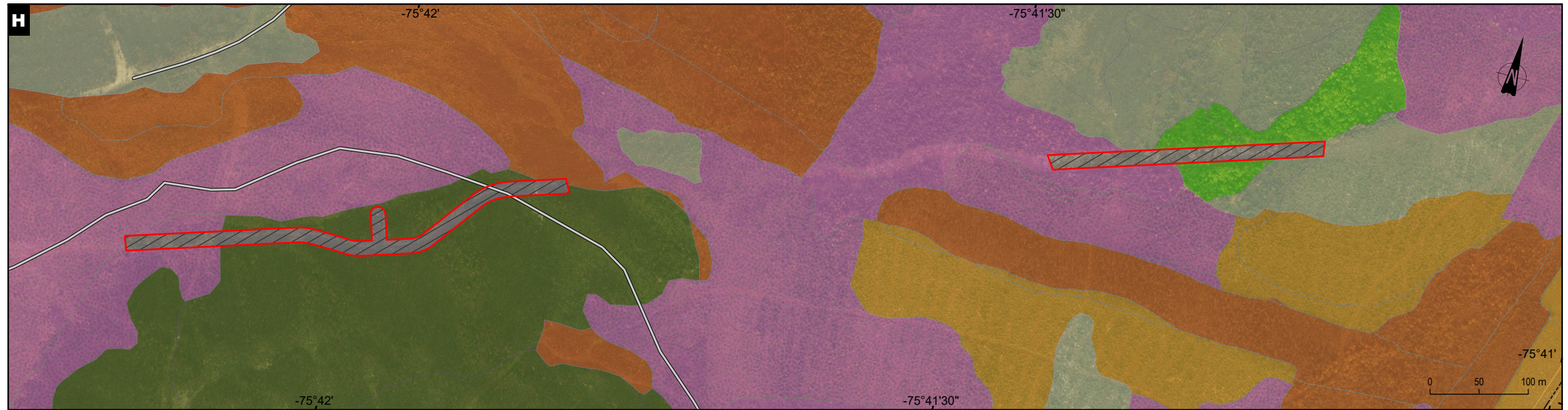
- Marécage arborescent / Treed swamp
- Marécage arbustif / Shrubby swamp
- Tourbière ombrotrophe boisée / Treed bog
- Tourbière ombrotrophe ouverte / Open bog
- - - Cours d'eau intermittent / Intermittent Watercourse
- Cours d'eau permanent / Permanent Watercourse
- Plan d'eau / Waterbody

**Autres milieux / Other Environments**

- Anthropique / Anthropogenic
- Dénudé et semi-dénudé sec / Bare and semi-bare dry
- Milieu faiblement perturbé par l'activité humaine

**Réseau routier / Road Network**

- Chemin forestier principal / Main forestry road
- Chemin forestier secondaire / Secondary forest road



**Projet Windfall – Plan de compensation des milieux humides et hydriques – Version 02 /**  
**Windfall Project – Wetland and Water Compensation Plan – Version 02**  
 Site minier Windfall, Eeyou Istchee Baie-James (Québec) /  
 Windfall Mining Site, Eeyou Istchee Baie-James (Quebec)

**Carte 2C / Map 2C**  
**Localisation des travaux de reboisement des accès aux pylônes / Location of reforestation work for access to pylons**

**Sources :**  
 AQRéseau+, Réseau routier, MERN Québec, 2020-03  
 WSP, Infrastructures version CAWL-301-G-0602-AU, 2025  
 CanVec, 1/250 000, RNCan, 2014  
 SDA, 1/20 000, MERN Québec, 2020  
 Inventaire écoforestier, MRNF, 2024  
 Mosaïque d'orthophotographie de l'inventaire écoforestier, MRNF, 2023

**Projection / Projection :**  
 NAD 1983 MTM 9 2025-12-22

Préparation / Preparation : M. Ferland  
 Dessin / Drawing : J. Roy  
 Vérifié par / Verification : F. Gagnon  
 CA0023271\_9538\_pc\_mhh\_c2x\_reboisement\_251222.aprx  
 CA0023271\_9538\_pc\_mhh\_c2c\_146\_reboisement\_251222

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. / Boundary accuracy and measurements shown on this document are not to be used for engineering or land delineation purposes. No land analysis was carried out by a land surveyor.



---

## 3.6 **Projet 3 – Nettoyage des débris sur le site Souart**

Le projet 3 consiste au nettoyage des débris se trouvant sur le site Souart. Découvert en 1949, l'indice Souart est un site ayant fait l'objet de plusieurs travaux d'exploration minière pour la recherche d'or et de métaux de base. Le site est localisé dans la MRC de Senneterre dans la région administrative de l'Abitibi-Témiscamingue. Il se situe à 100 % sur les terres de la Couronne dont les claims sont actuellement détenus par GMW. La localisation du site est présentée sur la carte 3. GMW n'avait aucune obligation légale de réaliser les travaux de nettoyage des débris sur le site Souart, ceux-ci ont été effectués de manière volontaire. Par ailleurs, le site Souart se trouve sur un haut topographique en milieu terrestre de type résineux avec roc affleurant. Il est entouré de milieux humides plus précisément de tourbières ombrotrophes ouverte ou boisée.

À la fin du mois de mai 2023, durant des travaux d'exploration minière, l'équipe de GMW a pris connaissance de l'état des lieux. Les travaux passés ont mené à l'abandon de matériel sur le terrain, dont la structure en métal du puits d'exploration historique Nubar abandonné en 1950 (Joly, 1990), ainsi que certains éléments plus récents, notamment un véhicule tout terrain à trois roues. À ce moment, des photos du secteur avaient été prises (photos 3, 4 et 5) et un programme de nettoyage du site, couvrant une superficie d'environ 5,5 ha de milieux terrestres et humides (carte 2), avait été proposé par souci de bonnes pratiques environnementales. Aucune investigation de sol n'a été effectuée, il est ainsi impossible de statuer sur le niveau de contamination des sols (ou l'absence de contamination). Les importants feux de forêt à l'été 2023 ont obligé la mise sur pause du projet jusqu'à l'été 2024.

Le maître de trappe de la zone 19 a été informé de la tenue des travaux. Il n'avait aucune préoccupation particulière à rapporter à GMW.

L'équipe de GMW a débuté le nettoyage du site à l'été 2024. Ces travaux ont nécessité la mobilisation de deux travailleurs durant 3 jours et ils se sont réalisés de manière hélicoptée dû à la localisation géographique du site. L'indice Souart se situe à environ 1 km d'une route forestière et est entouré de milieux humides. La première étape a été de regrouper au même endroit toutes les matières résiduelles trouvées dans le secteur pour rendre plus efficace le transport de celles-ci. Les déchets de petites tailles ont été mis dans des sacs de transport ayant une capacité d'environ 1 m<sup>3</sup>, tandis que les plus gros morceaux ont été placés sur de grands filets pour être transportés par hélicoptère à l'aide d'une élingue (photos 6 et 7). Au total, sept sacs et cinq filets contenant principalement du métal ont été déplacés du site jusqu'à la route forestière la plus près. Le déplacement de tout ce matériel a représenté environ 10 h de vol d'hélicoptère incluant la mobilisation des travailleurs. Les matières résiduelles sorties vers le chemin forestier ont ensuite été transportées par camion vers des lieux de disposition appropriés.

À l'automne 2024, deux travailleurs de GMW sont retournés sur le site en hélicoptère pour installer une sécurisation temporaire autour de l'ancien puits d'exploration Nubar (photo 8). L'ensemble des travaux a nécessité 11 h d'hélicoptère en plus de la mobilisation de deux employés de GMW durant quatre jours, de l'utilisation d'une petite excavatrice hélicoptable style « Spider » et du coût de disposition des matières résiduelles.

Les activités de nettoyage du site Souart, à l'intérieur du secteur montré à la carte 3 ont permis de restaurer des habitats potentiels. En effectuant le rapatriement de tous les débris de cette zone, GMW a remis l'environnement à son état naturel. Les espèces à statut listées dans le tableau 3 sont celles qui seraient susceptibles de se retrouver dans le secteur Souart. Aucun suivi additionnel n'est prévu en lien avec ces travaux.



**Photo 3**      **État du site avant les travaux de nettoyage**



**Photo 4**      **État du site avant les travaux de nettoyage**



**Photo 5**      **État du site avant les travaux de nettoyage**



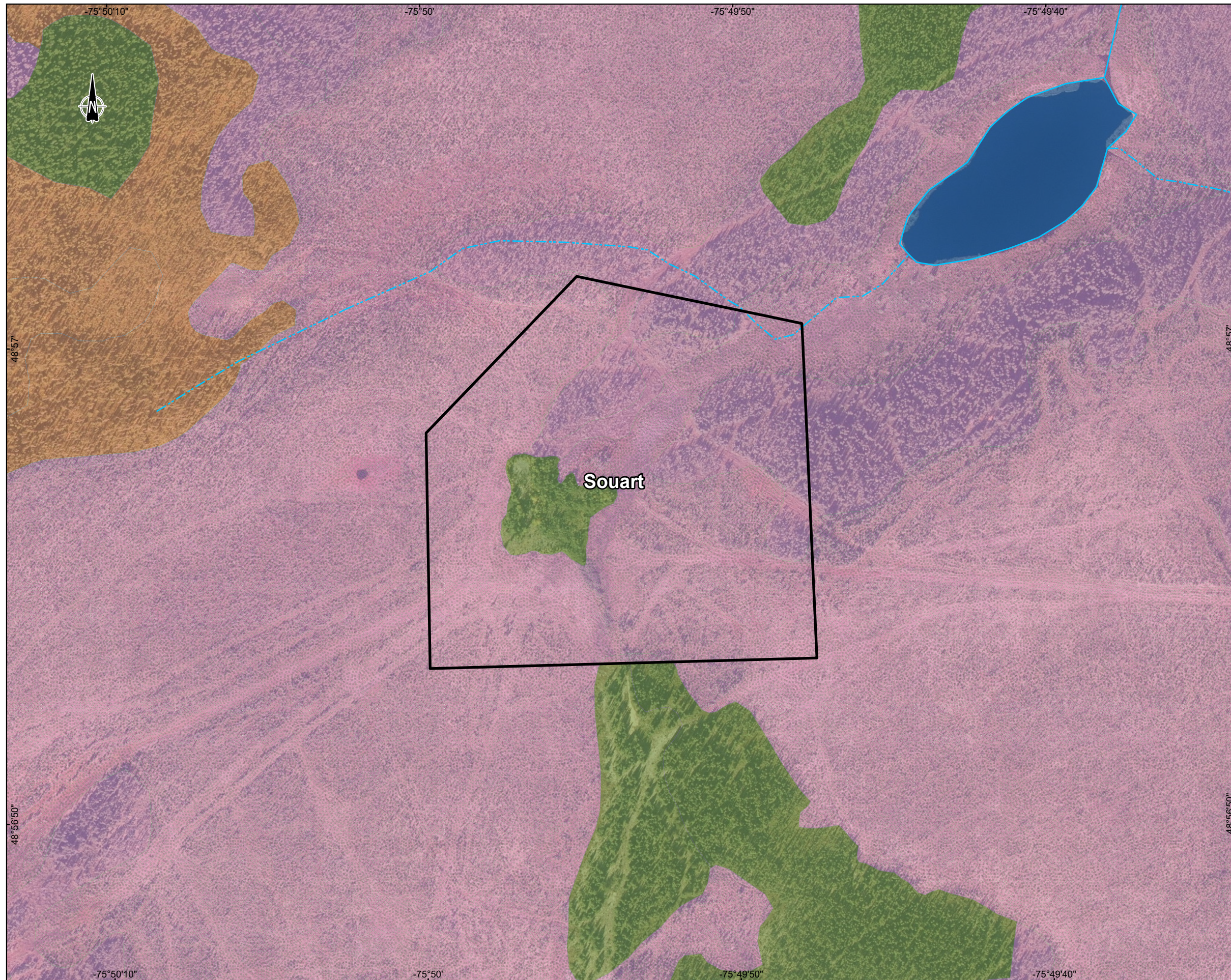
**Photo 6**      **Travaux de nettoyage**



**Photo 7**      **Travaux de nettoyage**



**Photo 8**      **Site après les travaux de nettoyage**



Localisation du site / Site location

**Plan de compensation / Compensation Plan**

Zone des travaux / Construction zone

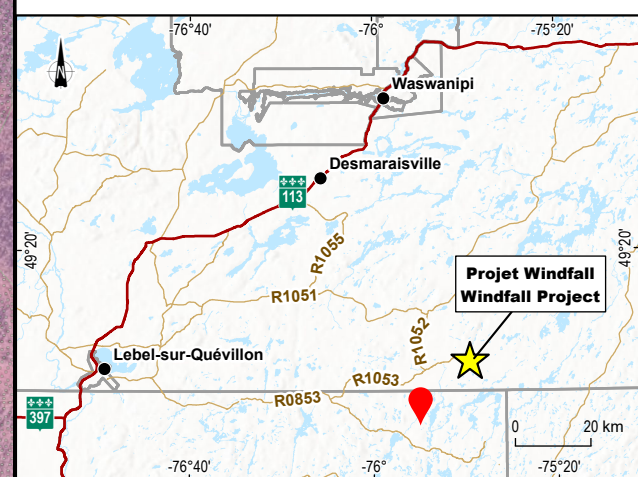
**Composantes de l'écosystème / Ecosystem Components**

Milieus terrestres / Terrestrial Environments

- Résineux / Softwood

Milieus humides et hydriques / Wetlands and Hydrous Environments

- Marécage arborescent / Treed swamp
- Tourbière ombrotrophe boisée / Treed bog
- Tourbière ombrotrophe ouverte / Open bog
- Cours d'eau intermittent / Intermittent Watercourse
- Cours d'eau permanent / Permanent Watercourse
- Plan d'eau / Waterbody



Projet Windfall – Plan de compensation des milieux humides et hydriques – Version 02 /  
 Windfall Project – Wetland and Water Compensation Plan – Version 02

**GOLD FIELDS**

Site minier Windfall, Eeyou Istchee Baie-James (Québec) /  
 Windfall Mining Site, Eeyou Istchee Baie-James (Quebec)

**Carte 3 / Map 3**  
**Milieu naturel restauré au site Souart /**  
**Restored Natural Environment at the Souart Site**

Sources :

- AQRéseau+, Réseau routier, MERN Québec, 2020-03
- Inventaire écoforestier, MRNF, 2024
- GRHQ, Réseau hydrique, 2021
- Gold Fields, Orthophotographie du banc Bonterra, 2025
- SDA, 1/20 000, MERN Québec, 2020
- CanVec+, 1/250 000, RN Can, 2014
- Mosaïque d'orthophotographie de l'inventaire écoforestier, MRNF, 2023

0 25 50 m

NAD 1983 MTM 9

2025-12-22

Préparation / Preparation : M. Ferland  
 Dessin / Drawing : J. Roy  
 Vérifié par / Verification : F. Gagnon  
 CA0023271\_9538\_pc\_mhh\_cx\_autres\_251222.aprx  
 CA0023271\_9538\_pc\_mhh\_cx\_147\_compensation\_251222

**wsp**

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. / Boundary accuracy and measurements shown on this document are not to be used for engineering or land delineation purposes. No land analysis was carried out by a land surveyor.



---

## 3.7 Proposition de projets de compensation

Dans une volonté de réaliser une compensation adéquate et à l'ampleur des effets qu'engendra le Projet, GMW a identifié trois projets additionnels avec de fort potentiel de réhabilitation environnementale, soit le site minier abandonné de Certac – Phase II (Projet 4) et les sites du banc d'emprunt BNE59428 (Projet 5) et du chemin d'accès Osborne (Projet 6). À la lumière de l'analyse des données recueillies et des commentaires reçus par le MELCCFP, le MRNF ou le COMEX, GMW sera en position de statuer à savoir lequel ou lesquels de ces projets représenteront la meilleure option de compensation, le tout basé sur une série de facteurs tels que l'évaluation du potentiel de réussite des travaux de réhabilitation.

---

### 3.7.1 *Projet 4 – Site minier abandonné de Certac*

Le 6 janvier 2026, GMW a rencontré le MRNF pour discuter des opportunités en lien avec le site Certac. Ainsi, le Projet 4 consiste à effectuer une caractérisation de phase II sur le site Certac afin de vérifier la présence et l'étendue d'une éventuelle contamination. Le rapport présentera les recommandations pour les étapes suivantes de la réhabilitation du site. À la suite de cette étude, il sera possible de valider si des travaux additionnels pourraient être réalisés. Ces travaux ne sont pas inclus dans le projet proposé, mais pourrait remplacer les projets subséquents si un fort potentiel de restauration d'habitat est évalué. Il est à noter que des travaux de sécurisation du site Certac ont été effectués en 2023. Ces interventions font partie intégrante du projet de compensation.

Le site minier abandonné de Certac est localisé dans la région administrative du Nord-du-Québec sur des terres de catégorie III du territoire d'Eeyou Istchee Baie James dans le nord du Québec. Ce site a été exploité de 1976 à 1978 pour ses ressources en or. Certac fait maintenant partie de la liste des sites miniers abandonnés en responsabilité réelle au passif au titre des sites contaminés. La superficie du site représenté est de 2 ha sur la carte 4 ci-dessous. Le site Certac est situé sur les claims d'exploration de GMW. Il est composé de milieux terrestres de types boisés : de feuillus, de type mixte ou de résineux.

En novembre 2022, GMW a été informé par le MRNF que la clôture de sécurité ceinturant le site Certac était endommagée. Comme l'hiver arrivait et que le couvert de neige était déjà présent, l'inspection du site a été reportée au printemps 2023. GMW a réalisé de bonne foi les travaux de sécurisation du site minier abandonné Certac.

Le 7 mai 2023, deux employés de GMW se sont rendus sur le site Certac. Afin d'évaluer la situation, ceux-ci ont procédé à une inspection visuelle complète du secteur, notamment de la clôture grillagée (photos 9 et 10). La délimitation du site sur la carte représente le tracé effectué par les employés de GMW lors des travaux d'inspection. Les irrégularités ont été observées par GMW à deux endroits (Sites A et B). Également, une enseigne « Danger ouverture profonde » était décrochée (Site C). Les réparations ont été effectuées la même journée par l'équipe de GMW. La description des travaux effectués pour chaque site est présentée ci-dessous.

- Au Site A, la partie du bas de la clôture était ouverte, car les boulons tenant les collets avaient été dévissés (photo 11). L'enseigne « Danger ouverture profonde » était décrochée tout près. La clôture grillagée tient maintenant solidement et le portail est sécurisé (photos 12 et 13). L'enseigne a été replacée.
- Au Site B, il y avait un bris dans la clôture, car les collets avaient été coupés (photo 14). La clôture grillagée tient maintenant solidement et le portail est sécurisé (photos 15 et 16).
- Au Site C, la partie du haut d'une enseigne « Danger ouverture profonde » était décrochée (photo 17). Elle a été remise en place (photo 18).



**Photo 9** Tour complet du site minier Certac; vue depuis l'est



**Photo 10** Tour complet du site minier Certac; vue depuis l'ouest



**Photo 11** Site A – Ouverture dans la clôture et enseigne décrochée (avant)



**Photo 12** Site A – Ouverture dans la clôture et enseigne décrochée (avant)



**Photo 13**      **Site A – Ouverture dans la clôture et enseigne décrochée (après)**



**Photo 14**      **Site B – Bris de la clôture (avant)**



**Photo 15**      **Site B – Bris de la clôture (après)**



**Photo 16**      **Site B – Bris de la clôture (après)**

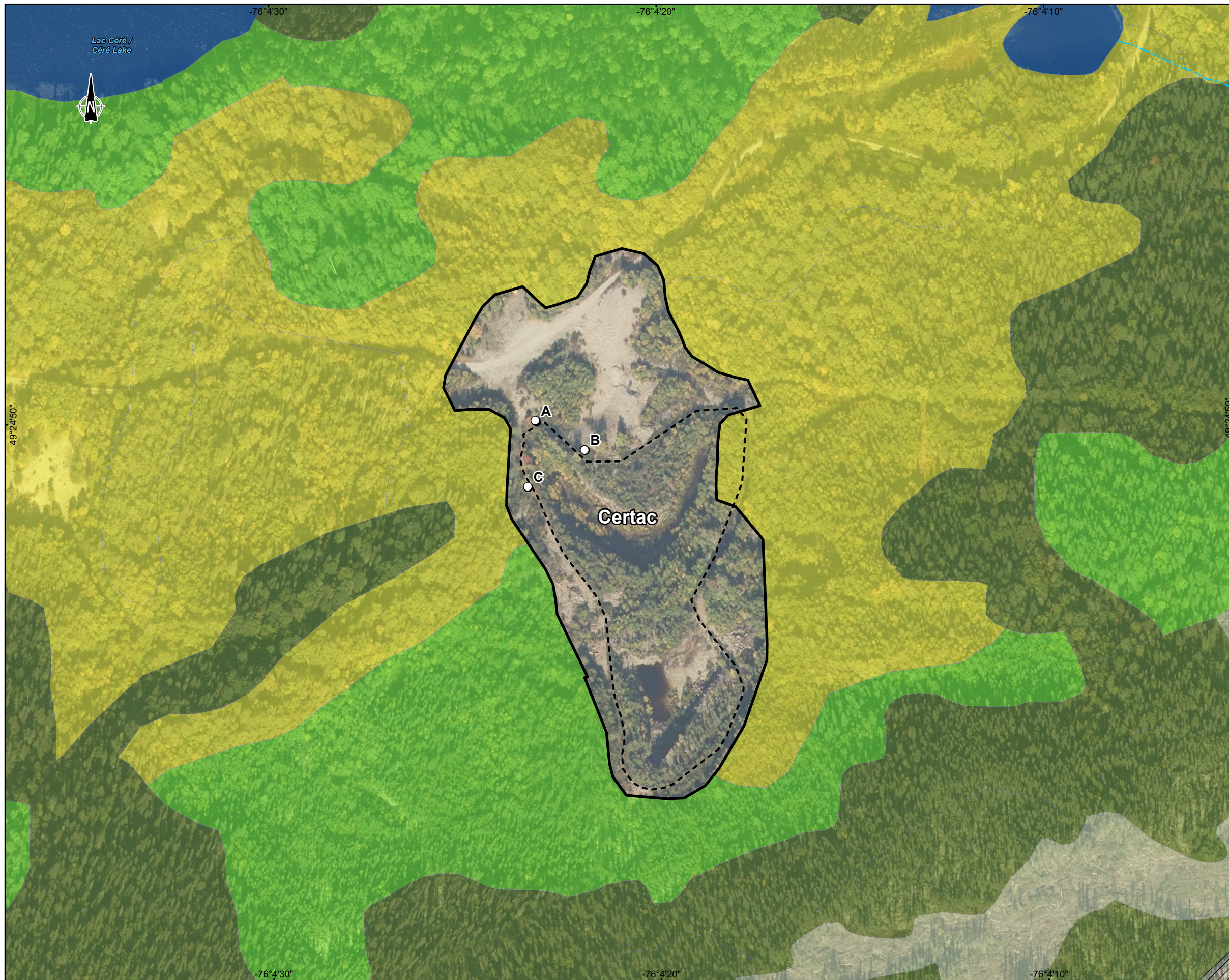


**Photo 17**      **Site C – Enseigne décrochée (avant)**



**Photo 18**      **Site C – Enseigne décrochée (après)**





**Localisation du site / Site location**  
 Localisation du site / Site location

**Plan de compensation / Compensation Plan**  
 Site Certac / Certac site

**Infrastructures / Infrastructure**  
 Clôture / Fence  
 Site / Site

**Composantes de l'écosystème / Ecosystem Components**

**Milieux terrestres / Terrestrial Environments**

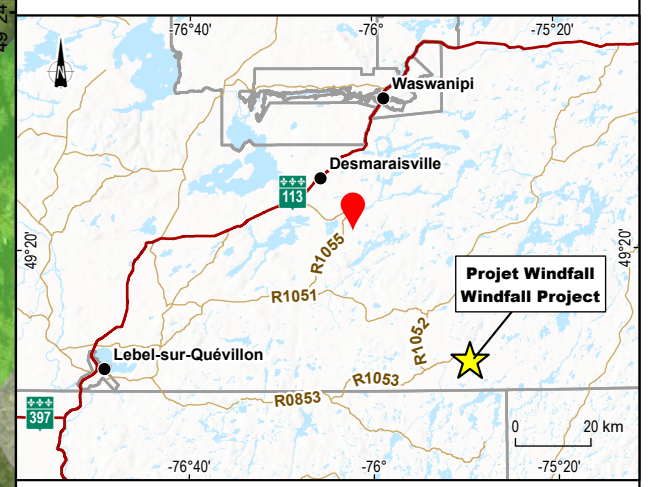
- Feuillu / Deciduous
- Mixte / Mixed-wood
- Résineux / Softwood
- Régénération / Regeneration

**Milieux hydriques / Hydrous Environments**

- Cours d'eau intermittent / Intermittent Watercourse
- Cours d'eau permanent / Permanent Watercourse
- Plan d'eau / Waterbody

**Autres milieux / Other Environments**

- Anthropique / Anthropogenic
- Dénudé et semi-dénudé sec / Bare and semi-bare dry



**Projet Windfall – Plan de compensation des milieux humides et hydriques – Version 02 / Windfall Project – Wetland and Water Compensation Plan – Version 02**  
 Site minier Windfall, Eeyou Istchee Baie-James (Québec) / Windfall Mining Site, Eeyou Istchee Baie-James (Québec)

**Carte 4 / Map 4**  
**Interventions réalisées au site Certac / Interventions carried out at the Certac Site**

**Sources :**  
 ACRéseau+, Réseau routier, MERN Québec, 2020-03  
 Inventaire écoforestier, MRNF, 2024  
 GRHQ, Réseau hydrique, 2021  
 Gold Fields, Orthophotographie du banc Bonterra, 2025  
 SDA, 1/20 000, MERN Québec, 2020  
 CanVec+, 1/250 000, RN Can, 2014  
 Mosaïque d'orthophotographie de l'inventaire écoforestier, MRNF, 2023

0 20 40 m  
 NAD 1983 MTM 9 2025-12-22

Préparation / Preparation : M. Ferland  
 Dessin / Drawing : J. Roy  
 Vérifié par / Verification : F. Gagnon  
 CA0023271\_9538\_pc\_mhh\_cx\_autres\_251222.aprx  
 CA0023271\_9538\_pc\_mhh\_cx\_147\_compensation\_251222

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. / Boundary accuracy and measurements shown on this document are not to be used for engineering or land delineation purposes. No land analysis was carried out by a land surveyor.



---

### 3.7.2 **Projet 5 – Banc d’emprunt BNE59428**

Le projet 5 consiste en la restauration du banc d’emprunt portant le titre minier actif BNE59428 au site 32G04-71. Le site est localisé dans la région administrative du Nord-du-Québec sur des terres de catégorie III du territoire d’Eeyou Istchee Baie James, rattaché aux terres assignées aux membres de la PNCW, plus spécifiquement sur l’aire de trappage W25B. Le banc d’emprunt d’une superficie totale de 1,5 ha se situe à un peu moins de 5 km au sud du site Windfall. Il est traversé par une route forestière, le séparant en deux sections (voir carte 5 et 6).

Le banc d’emprunt est sous bail d’exploitation jusqu’au 31 mars 2028 par l’entreprise UB Phoenix Corp., donc aucune restauration ne sera possible d’ici la fin de sa période d’exploitation. L’entreprise détenant les droits à ce bail aura l’obligation légale de restaurer, c’est-à-dire de procéder au régalage et à l’ensemencement. Une contrainte à l’exploitation concernant la présence d’hirondelle de rivage est inscrite au dossier de l’exploitant. Cependant, une vérification avec le MELCCFP a conclu que la note serait générique et qu’aucune présence d’hirondelle de rivage n’a été répertorié sur le site. GMW propose de prendre en charge cette restauration en effectuant des travaux supplémentaires pour recréer un milieu humide.

Une rencontre virtuelle avec le maître de trappe du terrain W25B et sa conjointe, M. Marshall Icebound et Mme Judy Trapper, a eu lieu le 8 mai 2025 afin de vérifier son utilisation actuelle ou future de ce banc d’emprunt. Ce dernier a indiqué ne plus utiliser ce banc d’emprunt pour la pratique de leurs activités traditionnelles et ne plus utiliser les matériaux disponibles pour des travaux. Ils sont tous les deux favorables à l’idée de convertir ce banc d’emprunt en milieu humide.

De l’accumulation d’eau a été observée à deux endroits dans le banc d’emprunt à la suite d’une visite au terrain en 2025, soit des côtés ouest (A) et est (B) de la route (photos 19 et 20). La présence d’eau indique que ces secteurs pourraient être des emplacements intéressants pour la création de milieux humides lors de la restauration. Des espèces végétales de typiques des marais et des marécages pourraient y être implantées afin d’accélérer la reprise végétale du site. Une visite plus approfondie permettrait d’identifier et de caractériser les milieux à restaurer afin de voir si des endroits peuvent être laissé tel quel ou être utilisé pour la restauration. Les superficies des milieux à restaurer seraient d’environ 1,1 ha à l’est et 0,4 ha à l’ouest du chemin forestier.

#### **Description du site**

Le site est entouré de peuplement résineux en régénération de moins de 4 m tenant leur origine d’une coupe avec protection de la régénération effectuée en 1997 et 1998 et d’un feu de forêt ayant sévit en 2023 au nord. Le dépôt de surface en place est un dépôt fluvio-glaciaire ou juxta-glaciaire recouvert d’une couche organique de moins d’un mètre au nord du banc d’emprunt. Le roc sous-jacent est constitué de basalte, de basalte andésitique et d’andésite transitionnel. Il s’agit d’une fosse profonde entourée de talus abrupts d’une hauteur de 5 à 7 m, entre les élévations 395 m et 402 m. Lors des visites du 17 octobre 2025 et du 20 mai 2025 (image drone), de l’eau a pu être observée dans les zones les plus basses du banc d’emprunt, des deux côtés de la route qui correspondrait probablement à l’élévation 396 m. Aucun lien hydrique n’a été trouvé entre les étangs du banc d’emprunt et le réseau de drainage local. Un petit lac à 100 m à l’est atteindrait approximativement l’élévation de 396 m et un milieu humide inondé à 30 m au nord-ouest se situerait à l’élévation de 396 m. On peut déduire que la nappe phréatique s’approche de cette élévation.



**Photo 19**      **Secteur ouest du banc d'emprunt  
(secteur A)**



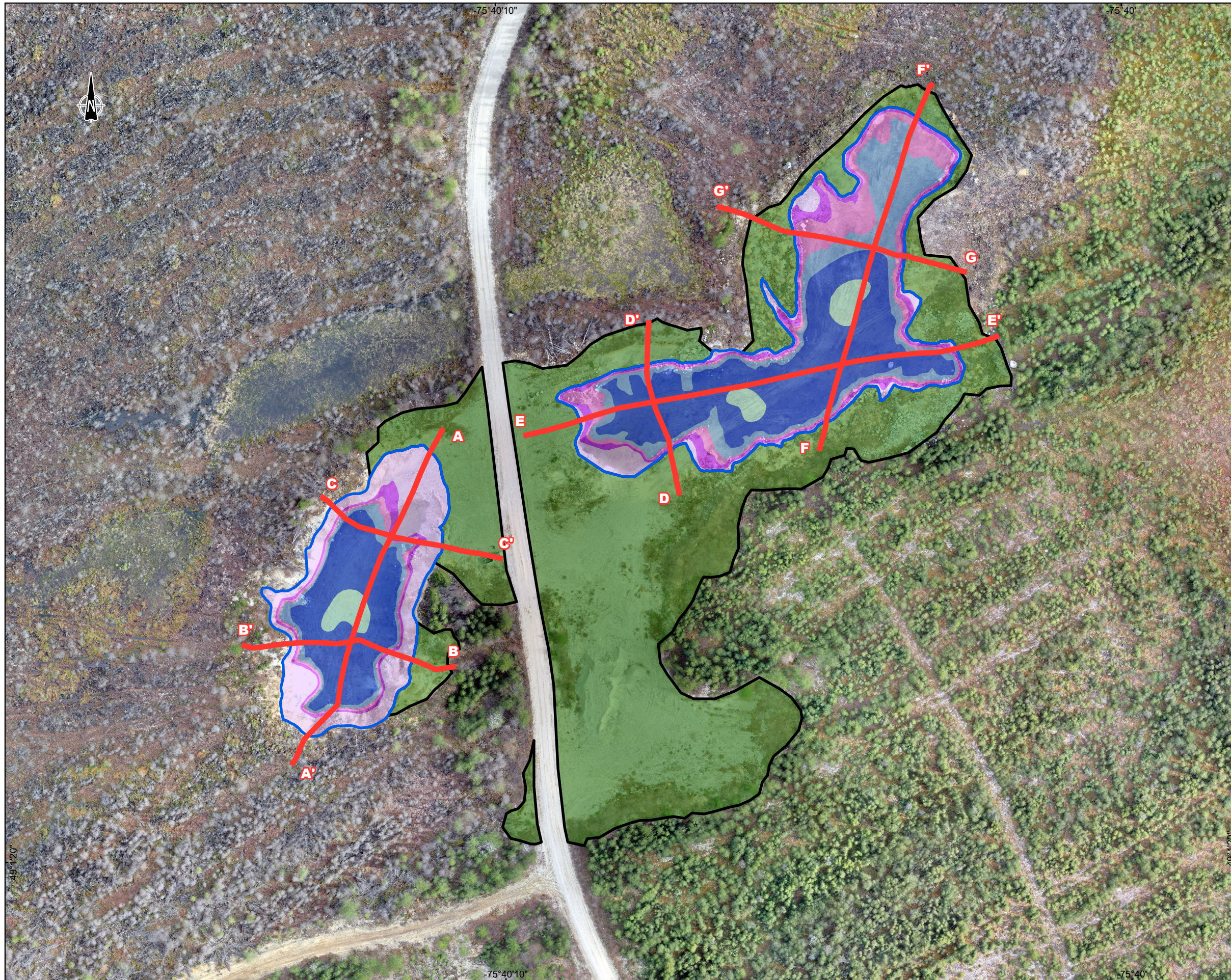
**Photo 20**      **Secteur est du banc d'emprunt  
(secteur B)**












### **Concept d'aménagement compensatoire**

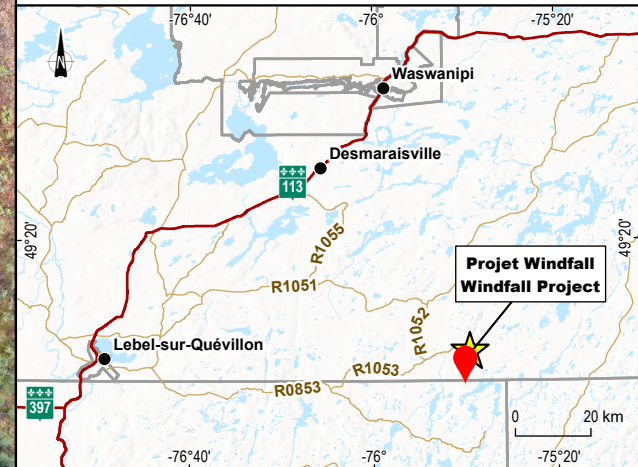
Le concept d'aménagement compensatoire proposé consiste à créer des mosaïques de milieux humides et de milieux terrestres qui formeront des complexes au sein des milieux naturels adjacents. Il a été élaboré dans le but de satisfaire aux exigences réglementaires en ce qui concerne la compensation pour la perte de milieux humides. Outre cet objectif de nature légale, le choix des mesures proposées tient compte d'autres facteurs :


- La faisabilité technique, qui représente un facteur déterminant puisqu'elle est largement responsable des chances de succès des mesures compensatoires.
- Les facteurs écologiques, qui comprennent le rétablissement des fonctions et services écologiques, notamment la biodiversité.
- L'acceptabilité sociale, qui se traduit principalement par l'adéquation entre le projet et l'utilisation possible par le maître de trappe. Des aménagements de milieux humides et terrestres favorisant la faune comme la bernache du Canada, la gélinotte huppée, le lièvre d'Amérique et la sauvagine en général seront favorisés.

Le concept de compensation respecte aussi la section VII du Règlement sur les carrières et sablières (chapitre Q2, r7) qui prévoit l'aménagement de plans d'eau.



-  Localisation du site / Site location
-  Coupe de profil / Profil section
- Plan de compensation / Compensation Plan**
-  Zone d'aménagement de milieux humides / Wetland management area
-  Zone d'aménagement de milieux terrestres / Borrow pit management area
- Aménagement de milieux humides / Wetland Restoration**
-  Eau profonde / Deep water
-  Eau peu profonde / Shallow water
-  Marais / Marsh
-  Marécage bas / Low marsh
-  Marécage haut / Upper marsh
-  Îlot / Island
- Aménagement de milieux terrestres / Wetland Restoration**
-  Milieu terrestre / Terrestrial environment



 **Projet Windfall – Plan de compensation des milieux humides et hydriques – Version 02 / Windfall Project – Wetland and Water Compensation Plan – Version 02**  
 Site minier Windfall, Eeyou Istchee Baie-James (Québec) / Windfall Mining Site, Eeyou Istchee Baie-James (Quebec)

**Carte 5 / Map 5**  
**Aménagement de milieux humides au banc d'emprunt BNE 59428 / Wetland Management at BNE 59428 Borrow Pit**

**Sources :**  
 ACRéseau+, Réseau routier, MERN Québec, 2020-03  
 Inventaire écoforestier, MRNF, 2024  
 GRHQ, Réseau hydrique, 2021  
 Gold Fields, Orthophotographie du banc Bonterra, 2025  
 SDA, 1/20 000, MERN Québec, 2020  
 CanVec+, 1/250 000, RN Can, 2014  
 Mosaïque d'orthophotographie de l'inventaire écoforestier, MRNF, 2023

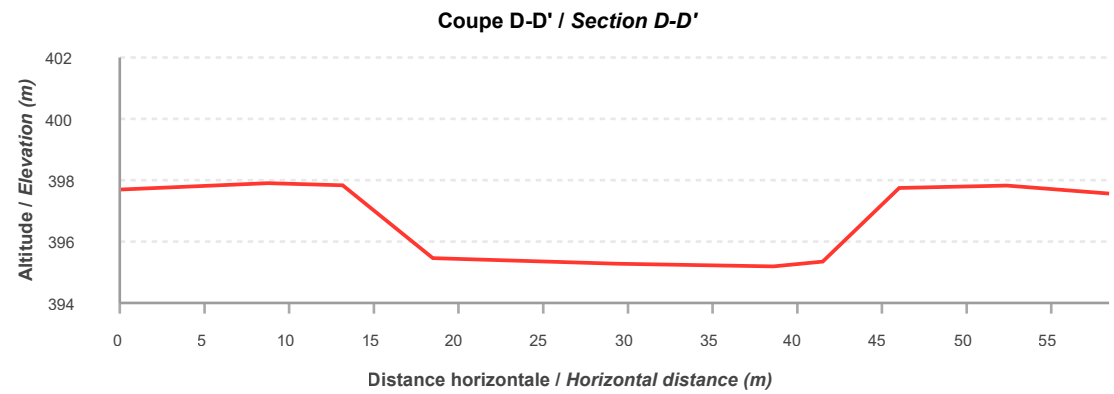
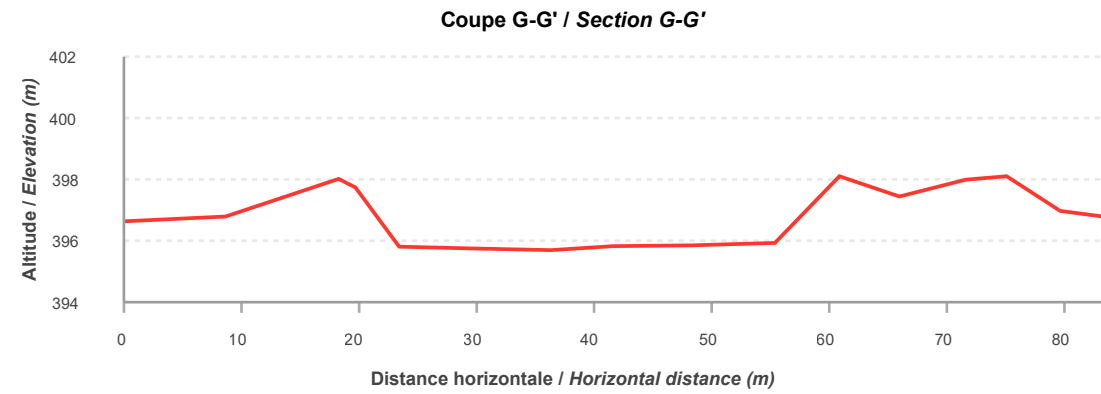
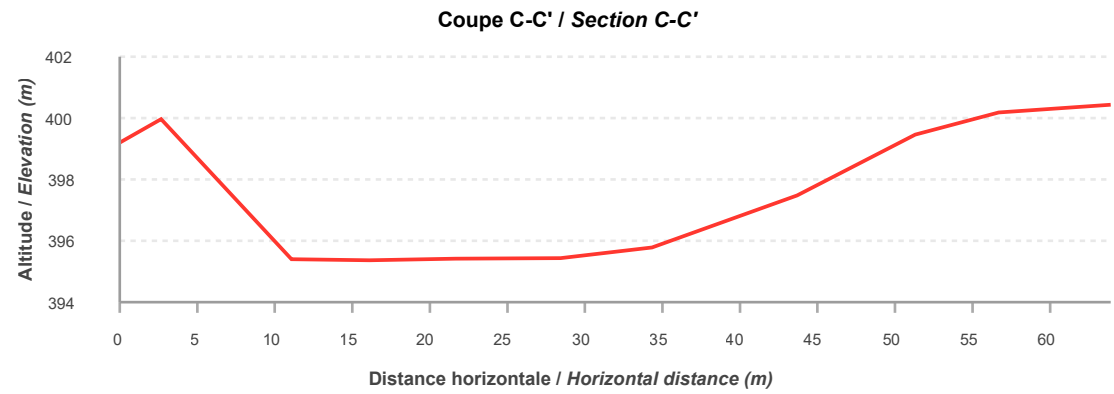
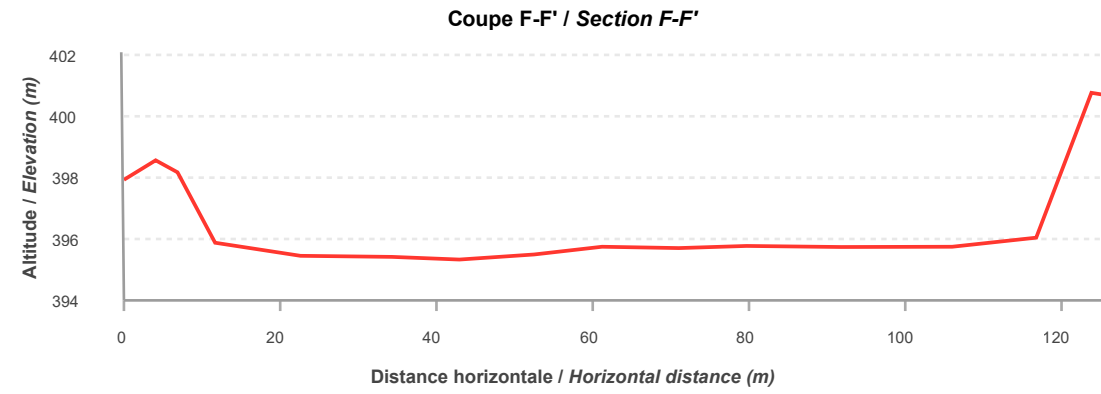
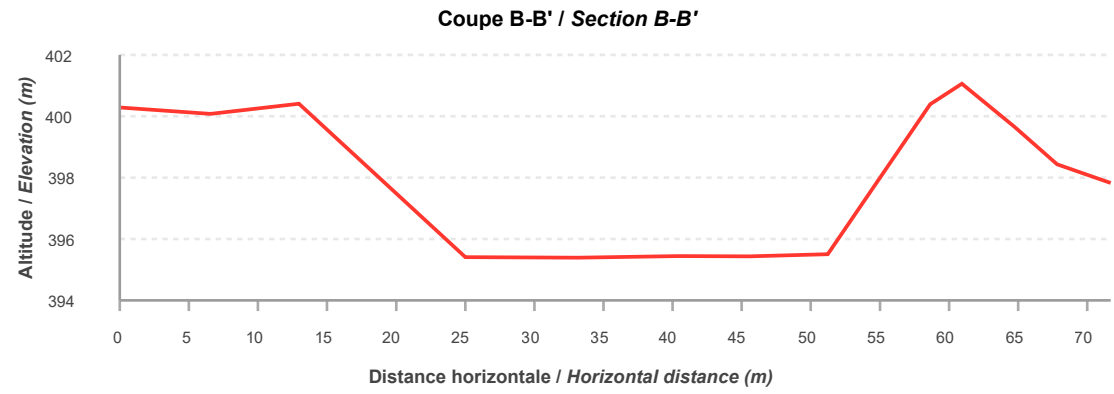
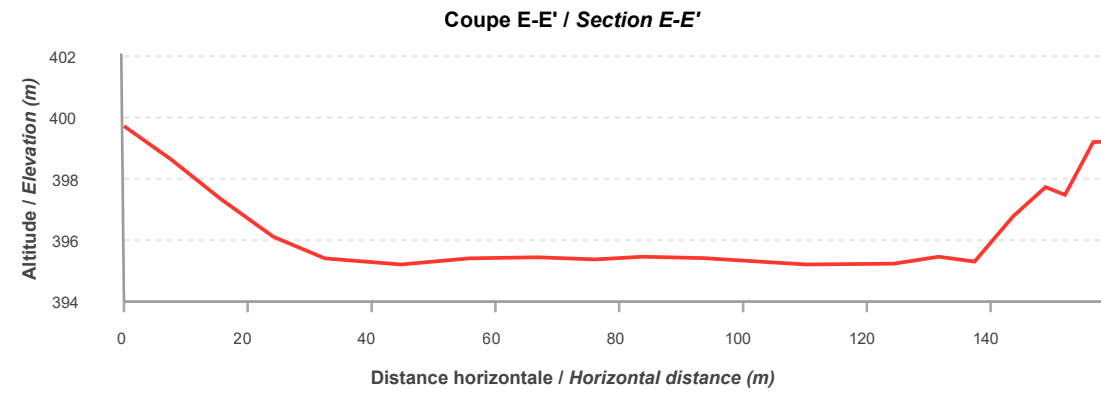
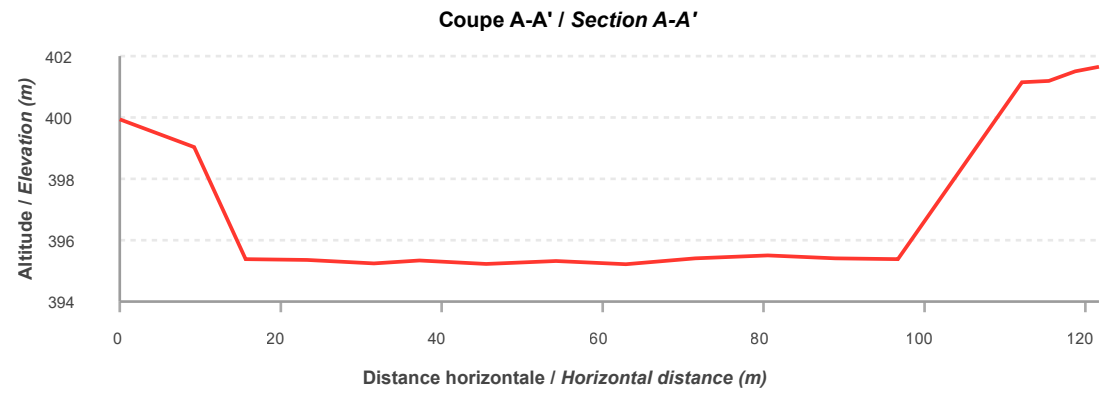
0 10 20 m  
 NAD 1983 MTM 9 2025-12-22


Préparation / Preparation : M. Ferland  
 Dessin / Drawing : J. Roy  
 Vérifié par / Verification : F. Gagnon  
 CA0023271\_9538\_pc\_mhh\_cx\_autres\_251222.aprx  
 CA0023271\_9538\_pc\_mhh\_cx\_147\_compensation\_251222



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. / Boundary accuracy and measurements shown on this document are not to be used for engineering or land delineation purposes. No land analysis was carried out by a land surveyor.





 **Projet Windfall – Plan de compensation des milieux humides et hydriques – Version 02 /**  
**Windfall Project – Wetland and Water Compensation Plan –**  
**Version 2**  
 Site minier Windfall, Eeyou Istchee Baie-James (Québec) /  
 Windfall Mining Site, Eeyou Istchee Baie-James (Quebec)

**Figure 1 / Figure 1**  
**Coupes au au banc d'emprunt BNE 59428 /**  
**Sections at BNE 59428 Borrow Pit**

2025-11-22

Préparation / Preparation : M. Ferland  
 Dessin / Drawing : V. Venne  
 Vérifié par / Verification : F. Gagnon  
 CA0023271\_9538\_pc\_mhh\_cX\_autres\_251113.aprx  
 CA0023271\_9538\_pc\_mhh\_c6\_133\_coupes\_Bonterra\_251113.ai



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. / Boundary accuracy and measurements shown on this document are not to be used for engineering or land delineation purposes. No land analysis was carried out by a land surveyor.



Finalement, le concept d'aménagement élaboré pour les gravières A et B s'appuie sur la présence actuelle de plans d'eau sur une partie importante des sites. Il vise à tirer avantage d'un niveau d'eau élevé pour y aménager des milieux humides d'une plus grande valeur écologique que les plans d'eau existants. L'objectif consiste à créer, dans chacune des deux gravières, un complexe comprenant une mosaïque de milieux humides composée d'étangs, de marais et de marécages, d'îlots ainsi que des milieux terrestres.

## Critère de conception

Le concept d'aménagement compensatoire a été élaboré en s'appuyant sur une série de critères et de caractéristiques ainsi qu'en fonction d'hypothèses posées sur la base des données disponibles.

### Sols

En ce qui concerne les sols, l'objectif est de procurer aux plantes des conditions propices à leur établissement et leur croissance. Il s'agit d'un élément important pour assurer le succès des mesures compensatoires. L'utilisation de sols indigènes améliore de plus la biologie du sol, l'introduction d'espèces adaptées au site et la diversité biologique. Les sols des milieux humides de la région comportent généralement une couche de matière organique en surface. Par contre, des travaux antérieurs réalisés dans des conditions comparables ont montré qu'il est possible de pallier l'absence de matière organique par une fertilisation appropriée dans les zones de marécage et les milieux terrestres (Bougie et Bouchard, 2006). La terre végétale, la tourbe, les matières résiduelles fertilisantes et le bois raméal fragmenté (BRF) issu d'espèces feuillues sont aussi des options de remplacement acceptables.

L'ajout de matière organique sera considéré uniquement s'il est possible d'en trouver des sources à proximité en raison des émissions de carbone associées au transport et du coût élevé du camionnage. Pour l'instant, aucune source n'a été repérée à proximité du site. De plus, un feu de forêt qui a eu lieu en 2023 a considérablement dégradé les milieux environnants. Une reconnaissance au terrain permettrait d'améliorer les possibilités d'en identifier. Cependant, une certaine quantité de mort-terrain provenant des réserves en prévision de la restauration de la mine à 5 km au nord pourra être utilisée. Il reste à analyser les quantités nécessaires.

### Végétation et milieux humides

Les trois types de milieux humides (étangs, marais et marécage) et les milieux terrestres qui seront aménagés feront l'objet de mesures de végétalisation afin d'accélérer la stabilisation du substrat et d'établir des communautés végétales en équilibre avec les conditions anticipées. L'objectif à court terme consiste à mettre en place les éléments propres à amorcer un processus menant à l'établissement d'une couverture végétale sur l'ensemble des superficies visées, à l'exception des zones aquatiques.

L'établissement de communautés végétales représentatives des milieux similaires de la région du site minier de Windfall est visé. Pour y parvenir, le choix des espèces se base sur :

- le rapport sectoriel sur la végétation de l'étude d'impact du projet minier Windfall (WSP, 2022) ;
- les espèces qui s'établissent spontanément dans les sablières et gravières ainsi que dans des milieux humides de référence situés à proximité ;
- les besoins en habitat des espèces importantes pour les cris ;
- l'utilisation de certaines espèces produisant des petits fruits pour attirer la faune ;
- l'expérience acquise dans des projets similaires.

La végétalisation a aussi comme objectif d'établir un couvert végétal rapidement afin de diminuer les risques d'implantation d'espèces exotiques envahissantes.

La répartition des types de milieux humides s'appuie sur les indices relevés à partir des photographies aériennes, des relevés LiDAR existants et de relevé d'arpentage effectué en octobre 2025 :

- les étangs (>0,3 à 2 m de profondeur en étiage) correspondent aux zones de profondeur moyenne ;
- les eaux peu profondes correspondent aux zones qui sont submergées en permanence, mais sous une faible profondeur d'eau (<0,3 m en permanence) ;
- les marais ou des tourbières ouvertes se localisent dans la zone où le sol demeure saturé d'eau et qui peut être submergée périodiquement chaque année, en particulier durant la période printanière et lors de fortes précipitations ;
- les marécages se situent entre le marais et la limite des hautes eaux, une zone qui subit des inondations moins fréquentes et de plus courtes durées que le marais. On distingue les marécages arbustifs bas et les marécages arbustifs hauts. Les premiers sont plus bas en altitude et supportent des arbustes de petite taille tels que le myrique baumier (*Myrica gale*). Les marécages arbustifs hauts sont un peu plus hauts et ils sont végétalisés par des arbustes de plus grande taille comme l'aulne rugueux.

Les milieux terrestres se trouvent au-delà des marécages dans les zones qui ne sont jamais submergées. Ils se trouvent à la périphérie des sites ou forment des îlots au sein des plans d'eau. Ces milieux serviront également de zone tampon et contribueront à la protection des milieux humides.

On ne prévoit aucune mesure de végétalisation pour les zones d'eau profonde.

### Niveau d'eau

Selon les résultats des relevés au terrain, le concept d'aménagement pourra proposer la création de deux zones distinctes en fonction de la profondeur d'eau. Une première zone de faible profondeur est déterminée par le seuil de 30 cm sous la limite d'étiage. On estime que la profondeur n'y dépasse pas 1 m en période de crue. Cette zone forme un palier en pente douce et correspond à l'étang. Il s'agit de la zone utilisée par les canards barboteurs et qui comporte de la végétation (Fondation de la faune, 1996a).

La zone d'eau profonde va du seuil de 30 cm à plus de 1 m sous la limite des eaux en période d'étiage, mais la profondeur totale varie selon la topographie actuelle de chaque site. Cette profondeur garantit la présence d'eau libre en période hivernale. La zone d'eau profonde est utilisée par les espèces de canards plongeurs et devrait demeurer en eau libre en surface.

### Configuration

La configuration des milieux humides comprend la topographie et la configuration des lignes de rivage. On vise la création d'une topographie en pente douce pour tous les milieux, dans la mesure du possible.

La configuration visera à maximiser les surfaces occupées par les eaux peu profondes, soit la zone 0 à -0,3 m, en créant des paliers en pente douce ou en remplissant certaines portions des fosses, ainsi que les marais dans la zone de 0 à 0,3 m au-dessus du seuil d'étiage, en excavant de petites dépressions sur les berges. Ces pentes douces contribuent à assurer la stabilité des pentes et du rivage surtout en période de haut niveau d'eau et augmentent la capacité d'emmagasinement de l'eau (CPP Environmental, 2017). Les eaux peu profondes et les marais sont importants du point de vue de l'habitat et de la biodiversité et comportent une végétation herbacée responsable de la filtration des eaux de ruissellement.

En ce qui concerne la ligne de rivage, l'objectif du concept d'aménagement est de maximiser le rapport entre la longueur des berges et la superficie des étangs en créant des rivages irréguliers et en favorisant la création d'îlots (CPP Environmental, 2017). Ce type de configuration limite la formation et la force des vagues, ce qui contribue à la stabilité des berges. Les berges découpées permettent aussi une isolation visuelle qui est favorable à la nidification de la sauvagine et contribue à l'abondance de la végétation et des invertébrés aquatiques (Bolduc et coll., 2005).

### *Autres éléments de l'habitat*

Le concept d'aménagement pour les milieux humides compensatoires prévoit la mise en place d'éléments dans le but, entre autres, d'augmenter la diversité d'habitat et de favoriser l'utilisation des sites par la faune. Ainsi, on ajoutera des roches et des débris ligneux (branchage, tronc d'arbre) dans les différents milieux afin de créer des abris pour l'herpétofaune (Fondation de la faune, 1996b). Les débris ligneux disposés en bordure des étangs et en partie dans l'eau absorbent l'énergie des vagues et favorisent la stabilité des berges, surtout aux premiers stades avant l'établissement des plantes. Ces débris contribuent aussi à augmenter le carbone dans l'eau qui soutient la prolifération des micro-organismes qui forment la base de la chaîne trophique.

La création d'îlots au centre des étangs créés s'ajoute aux aménagements prévus. En effet, des îles, des îlots et des boutons peuvent être construits dans ces milieux afin de procurer abri, site de repos ou de nidification aux canards et bernaches qui fréquentent le secteur. Ces aménagements augmentent de plus les rivages et les surfaces de milieux humides aménagés.

### **Concept proposé**

La conception des milieux humides a pris en compte la maximisation des zones de marais-marécages et d'eau peu profonde, une mesure qui augmente la capacité de rétention en eau des sites et la régularisation des niveaux d'eau. À plus long terme, l'accumulation de matière organique dans les milieux humides et terrestres favorisera également la rétention d'eau sur les sites. Pour ce faire, le niveau de référence du niveau d'eau a été établi à 395 m d'élévation pour les deux secteurs. Cependant, de plus amples observations seraient nécessaires pour confirmer cette hypothèse. Advenant la détermination d'une élévation différente, des ajustements pourront être effectués en conservant les proportions et les références types d'élévation.

L'ensemble des aménagements proposés amèneront plusieurs améliorations. L'établissement d'un couvert végétal sur l'ensemble des sites améliorera la qualité de l'eau par la filtration des eaux de ruissellement et la stabilisation des berges. La création de trois îlots permettra la création de milieux favorables à la nidification de la sauvagine. Ils seront entourés d'eau de façon permanente afin de les protéger des prédateurs. La végétalisation, la configuration des eaux peu profondes (étangs) et l'aménagement spécifique à chaque site créeront des conditions favorables à l'utilisation des sites par la faune et autres espèces.

La croissance des plants qui seront introduits dans les milieux humides et terrestres entrainera la séquestration du carbone. À plus long terme, les espèces arbustives et arborescentes auront, une fois arrivées à maturité, un effet non négligeable sur le microclimat des deux sites qui deviendra plus tempéré. L'ombre et la fraîcheur que procurent les arbres et les arbustes contribueront également à limiter la hausse de la température de l'eau dans les étangs.

La superficie totale des milieux aménagés est de 22 805,56 m<sup>2</sup>, dont 9 401,04 m<sup>2</sup> de milieux humides et 13 404,52 m<sup>2</sup> de milieux terrestres. Plus précisément, le projet de compensation estime l'aménagement de 5 221,10 m<sup>2</sup> d'étang, 1 066,59 m<sup>2</sup> de marais, 2 731,18 m<sup>2</sup> de marécages et 382,16 m<sup>2</sup> d'îlot.

Le bilan des superficies de milieux humides créées pour chacun des sites est présenté au tableau 4.

**Tableau 4 Superficie des milieux aquatiques, humides et terrestres après les aménagements proposés**

Site	Superficie de chaque type de milieu (m <sup>2</sup> )					
	Étang	Marais	Marécage	Îlot	Zone terrestre / Rive	Total
A	1 523,37	155,67	1 584,03	155,74	11 486,04	14 904,85
B	3 697,74	910,91	1 147,16	226,42	1 918,48	7 900,71
Total	5 221,11	1 066,58	2 731,19	382,16	13 404,52	22 805,56

#### Site A

Les aménagements prévus pour le site (carte 5 et figure 1) totalisent 14 749,11 m<sup>2</sup> et sont composé de :

- une zone composée de marais et de marécages de respectivement 155,67 m<sup>2</sup> et 1 584,03 m<sup>2</sup>, répartis autour de la section d'eau peu profonde ;
- une zone d'eau peu profonde de 5 221,10 m<sup>2</sup> atteignant la profondeur de 0,3 m et une zone profonde de 253,04 m<sup>2</sup> d'une profondeur de plus de 0,3 m ;
- un îlot de 155,74 m<sup>2</sup> comprenant un marais et un marécage ;
- une zone boisée d'environ 11 486, 04 m<sup>2</sup>, principalement de zones tampons autour des milieux humides et dans les portions hautes situées au centre du site.

On vise les élévations suivantes pour les aménagements :

- étang permanent : sous la cote 396,0 m ;
- marais : entre les cotes 396,0 m et 396,3 m ;
- marécage : entre les cotes 396,3 m et 397,0 m ;
- milieu terrestre : au-dessus de la cote 397,0 m.

#### Site B

Les aménagements prévus pour le site (carte 5 et figure 1) totalisent 7 674,29 m<sup>2</sup> et sont composés de :

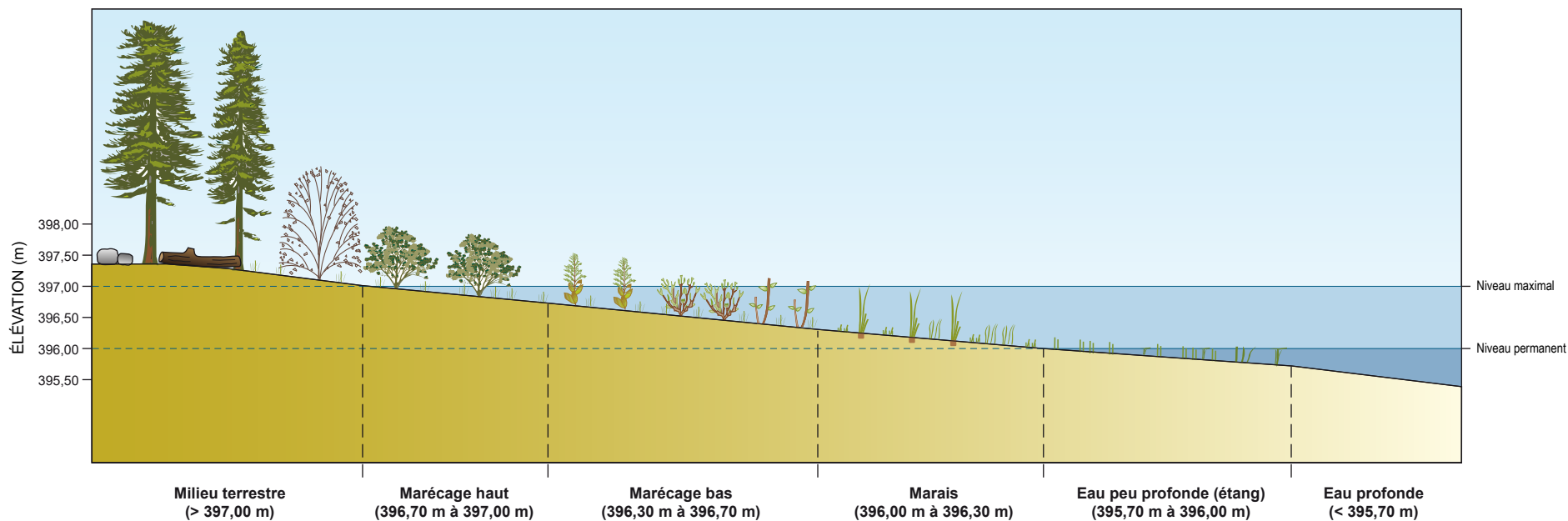
- une zone composée de marais et de marécages de respectivement 910,91 m<sup>2</sup> et 1 147,16 m<sup>2</sup>, répartis autour de la section d'eau peu profonde ;

- une zone d'eau peu profonde de 1 229,48 m<sup>2</sup> atteignant la profondeur de 0,3 m et une zone profonde de 2 398,26 m<sup>2</sup> d'une profondeur de plus de 0,3 m;
- deux îlots de 226,41 m<sup>2</sup> comprenant un marais et un marécage ;
- une zone boisée d'environ 1 918,48 m<sup>2</sup>, principalement de zones tampons autour des milieux humides et dans les portions hautes situées au centre du site.

On vise les élévations suivantes pour les aménagements :

- étang permanent : sous la cote 396,0 m ;
- marais : entre les cotes 396,0 m et 396,3 m ;
- marécage : entre les cotes 396,3 m et 397,0 m ;
- milieu terrestre : au-dessus de la cote 397,0 m.

Figure 2 – Coupe-type des aménagements proposés



Aménagement faunique	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tas de roches, billots, branchages</li> </ul>
Milieu terrestre (> 397,00 m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Épinette noire (<i>Picea mariana</i>), amélanchier (<i>Amelanchier sp.</i>), aulne crispé (<i>Alnus crispa</i>), bouleau (<i>Betula sp.</i>), peuplier (<i>Populus sp.</i>), plantation en rangs de plants en boutures, en contenant ou en multicellules</li> <li>• Ensemencement</li> </ul>
Marécage haut (396,70 à 397,00 cm)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aulne rugueux (<i>Alnus incana, subsp. Rugosa</i>), cornouiller stolonifère (<i>Cornus stolonifera</i>), plantation en rangs de plants en boutures ou en multicellules</li> <li>• Ensemencement</li> </ul>
Marécage bas (396,30 à 396,70 cm)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Saule (<i>Salix sp.</i>), myrique baumier (<i>Myrica gale</i>), spirée à larges feuilles (<i>Spiraea latifolia</i>), plantation en rangs de plants en boutures ou en multicellules</li> <li>• Ensemencement</li> </ul>
Marais (396,00 à 396,30 cm)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jonc (<i>Juncus sp.</i>), scirpe (<i>Scirpus sp.</i>), carex (<i>Carex sp.</i>), Glycerie du Canada (<i>Glyceria canadensis</i>), plantation en îlots de 50 plants en divisions de boutures, mottes racinaires, transplants ou jeunes plants en multicellules</li> </ul>
Eau peu profonde (étang) (395,70 à 396,00 cm)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potamot émergé (<i>Potamogeton epiphydrus</i>), plantation en îlots de 50 plants en mottes racinaires ou jeunes plants en multicellules</li> </ul>

## Mise en place de l'aménagement compensatoire

La mise en place d'aménagements impliquera plusieurs étapes, qui seront définies plus en détail lorsque les concepts finaux auront été réalisés. Les travaux à réaliser comprendront notamment le retrait des débris et des matériaux incompatibles avec les aménagements sur les sites, l'excavation et le nivellement des surfaces, l'apport de matière organique si possible, la plantation ou l'ensemencement, la fermeture des chemins d'accès ou l'aménagement de sentiers alternatifs pour contrôler l'accès des VTT.

### Travaux de nivellement

#### Site A

Des travaux de reconfiguration de la topographie seront effectués dans différentes zones du site afin d'en augmenter le potentiel pour la création de milieux humides. Les différentes zones sont illustrées sur la carte 5 :

- Excavation du fond de l'étang dont la partie la plus profonde se situera à un niveau permettant la conservation d'eau à longueur d'année (395,0 m).
- Création d'un îlot au milieu de l'étang avec les déblais de l'excavation du fond de l'étang jusqu'à atteindre l'élévation associée aux marécages (396,7 m).
- Adoucissement des talus au nord, à l'ouest et au sud :
  - en bordure de l'étang, la rive sera élargie et adoucie pour optimiser la présence de marais recherchée par la sauvagine, surtout dans la partie est (entre les cotes 396,0 m et 396,3 m).

Les quantités de remblais et de déblais seront équilibrées afin de limiter le transport de matériau.

#### Site B

- Excavation du fond de l'étang dont la partie la plus profonde se situera à un niveau permettant la conservation d'eau à longueur d'année (395,0 m).
- Création de deux îlots au milieu de l'étang avec les déblais de l'excavation du fond de l'étang jusqu'à atteindre l'élévation associée aux marécages (396,7 m).
- Adoucissement des talus au nord, à l'est et au sud :
  - en bordure de l'étang, la rive sera élargie et adoucie pour optimiser la présence de marais recherchée par la sauvagine, surtout dans la partie ouest (entre les cotes 396,0 m et 396,3 m).

Les quantités de remblais et de déblais seront équilibrées afin de limiter le transport de matériau.

### Travaux de végétalisation

Les plans d'aménagements et les schémas de plantation seront produits ultérieurement, lorsque les sites auront fait l'objet de l'ensemble des relevés. Néanmoins, une approche similaire à celle envisagée pour d'autres projets de même nature devrait s'appliquer.

Pour les zones d'eau peu profonde, les travaux viseront à aménager des îlots de 1 m x 5 m de végétaux, avec une équidistance entre les plants de 0,3 m, sur au plus 20 % de la surface. Pour les zones de marais ou de marécages, une approche similaire sera utilisée, mais avec des îlots de plus grandes dimensions (5 m x 10 m). Des espèces herbacées seront utilisées pour les marais, alors que des espèces herbacées et arbustives seront implantées pour les marécages. La surface couverte par les plantations variera de 20 % pour les marais à 80 % pour les marécages. Finalement, les surfaces restantes, à l'extérieur des zones humides, seront plantées d'essences arbustives ou arborescentes, espacées de 1 à 3 m, sur l'ensemble de la zone.

Plusieurs espèces végétales seront privilégiées pour l'aménagement des sites. Les espèces choisies seront des espèces indigènes représentatives du secteur environnant (WSP, 2022). Des espèces à petits fruits comme la viorne comestible (*Viburnum edule*), le sorbier d'Amérique (*Sorbus americana*) et l'amélanchier du Canada (*Amelanchier canadensis*) seront incluses, mais de façon éparse au travers des plantations.

### Zones d'eau peu profonde

Les zones d'eau peu profonde dans la région de la mine de Windfall présentent généralement une faible diversité floristique, dont peu sont produites en pépinière. Les principales espèces sont le grand nénuphar jaune (*Nuphar variegata*), des potamots (*Potamogeton* sp.), des rubaniers (*Sparganium* sp.) et certaines espèces de carex et de joncs.

### Marais et marécages

Les marais de la zone ont une flore similaire à celle des tourbières minérotrophes riveraines, sauf qu'ils sont généralement situés sur un substrat de nature minérale plutôt que tourbeuse. La strate arbustive des marais sera composée principalement de myrique baumier, de cassandre caliculé, d'andromède glauque (*Andromeda polifolia* var. *latifolia*) et de kalmia à feuilles d'andromède (*Kalmia polifolia*).

La strate herbacée sera composée d'une grande variété d'espèces retrouvées dans les marais de la zone dont les plus communes sont la calamagrostide du Canada (*Calamagrostis canadensis* var. *canadensis*), de nombreux carex dont le carex trisperme (*Carex trisperma*), le carex aquatique (*Carex aquatilis*) et le carex oligosperme (*Carex oligosperma*), la smilacine trifoliée et la ronce pubescente (*Rubus pubescens*).

Les marécages créés seront composés d'une végétation ligneuse arbustive vraisemblablement soumise à des inondations saisonnières et caractérisés par une nappe phréatique élevée et une circulation d'eau enrichie de minéraux dissous. La strate arbustive de marécages sera dominée par le saule à feuilles de poirier (*Salix pyrifolia*) accompagné d'aulne rugueux (*Alnus incana* subsp. *rugosa*) et de myrique baumier.

Les végétaux seront installés directement dans l'eau et dans le sol en place. Les niveaux d'eau présents lors des travaux viendront préciser la localisation exacte des types d'espèces selon leurs exigences écologiques.

Le choix des végétaux se fera à l'étape de la préparation des plans et devis pour construction. Le choix sera présenté aux utilisateurs du territoire pour qu'ils valident si d'autres espèces pourraient être intéressantes considérant leur proximité au site. Les végétaux pourront provenir de transplantations ou de division de boutures ou de mottes racinaires prélevées sur des sites à proximité où elles sont déjà en abondance, ou à partir de jeunes plants en multicellules ou en contenants de petits calibres achetés en pépinière.

### Milieux terrestres

Pour la strate arborescente, le mélèze laricin, l'épinette noire et le sapin baumier (*Abies balsamea*) seront privilégiés. Pour la strate arbustive, les principales espèces suggérées seront le saule à feuilles de poirier accompagné de la viorne comestible.

---

### 3.7.3 **Projet 6 – Chemin d'accès Osborne-Bell**

Le projet 6 consiste en la restauration du chemin d'accès au site d'exploration d'Osborne-Bell se trouvant à environ 17 km au nord-ouest de la ville de Lebel-sur-Quévillon. Le site est localisé dans la région administrative du Nord-du-Québec sur des terres de catégorie III du territoire d'Eeyou Istchee Baie James dans le nord du Québec. Il s'agit d'un ancien chemin d'exploration pour du forage, d'une longueur d'environ 800 m. Trois embranchements secondaires se connectant au chemin Osborne-Bell seraient aussi retirés afin de rétablir le milieu humide préalablement présent (carte 6).

#### **Description du site**

Le site se situe à environ 3,5 km de la scierie Comtois au nord-ouest de Lebel-sur-Quévillon. Le site où se retrouve le chemin d'accès comporte trois écosystèmes soit un marécage arborescent à l'entrée du chemin, une tourbière minérotrophe boisée au nord et une tourbière minérotrophe ouverte au sud. Des opérations forestières ont eu lieu en 2008 et ont mené à l'ouverture du milieu qui définit la tourbière ouverte. La pessière noire domine les trois écosystèmes avec la présence de mélèze laricin. Les dépôts en place sont constitués d'un dépôt lacustre ou glaciolacustre (faciès d'eau peu profonde) avec un dépôt organique de moins d'un mètre au centre. Ces dépôts se retrouvent au-dessus de roche volcanique intermédiaire et mafique, de granite et de granodiorite.

La superficie à restaurer serait d'environ 7 500 m<sup>2</sup>, ce qui comprend le chemin principal et les trois chemins secondaires tels qu'illustrés sur la carte 6. Le volume de remblai à retirer est estimé à 2 850 m<sup>3</sup>, sur la base des données obtenues.

#### **Concept d'aménagement**

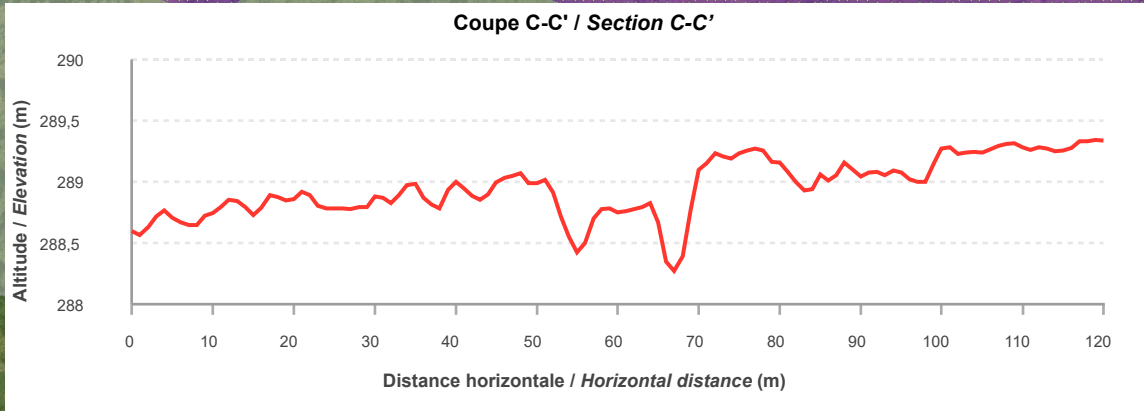
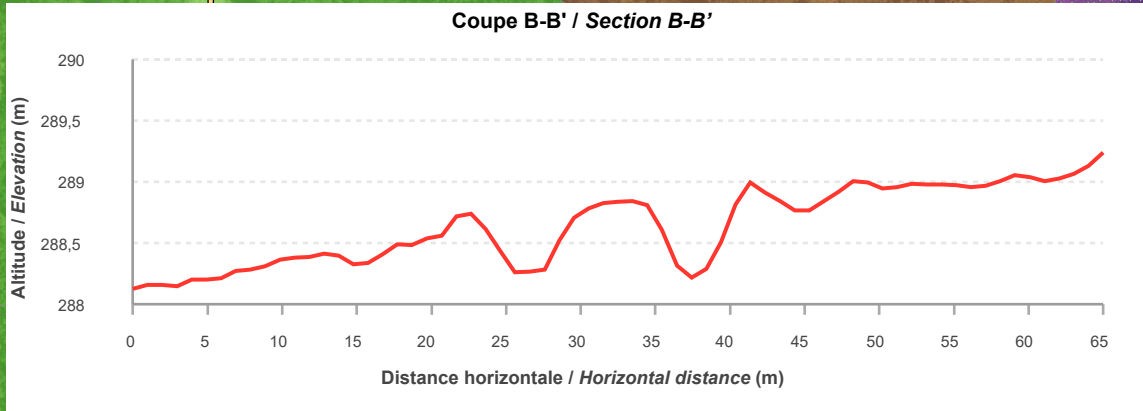
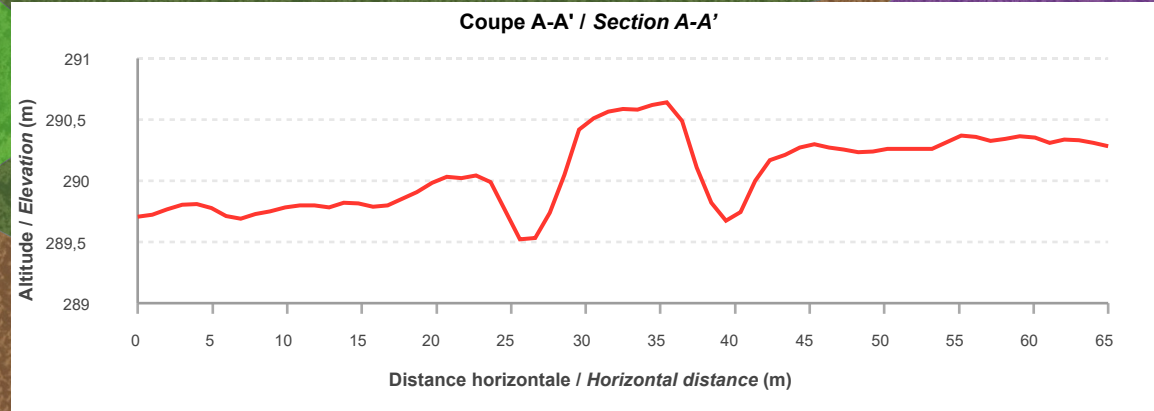
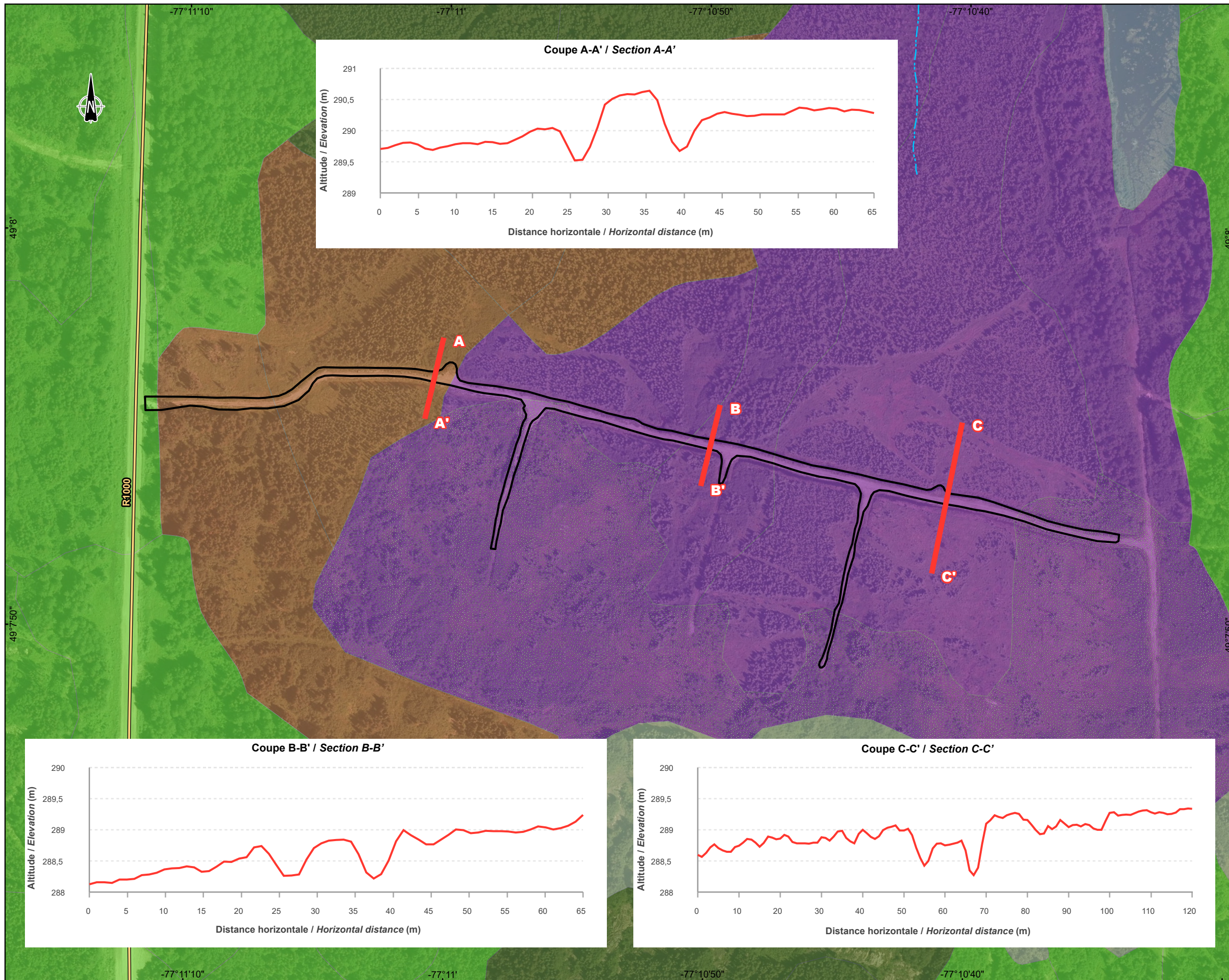
La restauration de tourbières perturbées par la mise en place de chemins est relativement récente. La construction de routes impacte les tourbières réceptrices sur plusieurs aspects (Guérin, 2022). Leur construction affecte :

- l'homogénéité spatiale de la nappe phréatique en limitant la circulation de l'eau dans la tourbière;
- l'établissement des conditions favorables aux communautés végétales recherchées en perturbant les caractéristiques hydrologiques et d'élévation nécessaires pour leur implantation; et
- les conditions physico-chimiques du site en place par l'impact du substrat minéral.

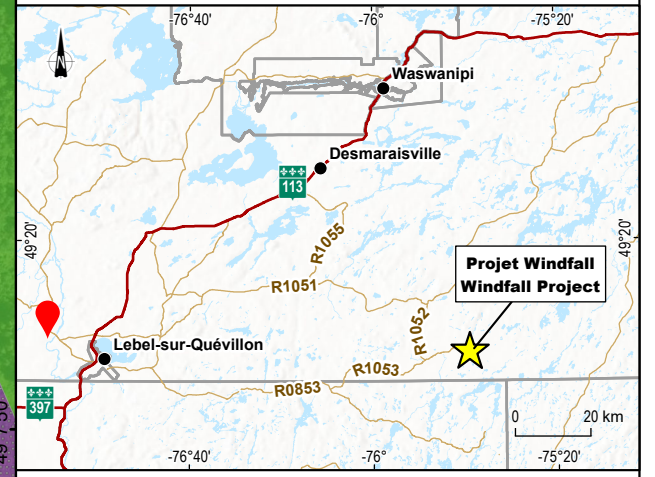
Ce ne sont donc pas seulement les superficies affectées qui bénéficieraient d'une restauration, mais bien toute la tourbière. Ainsi, un programme de restauration doit donc tenir compte de ces trois facteurs pour être efficace, favoriser le retour des communautés végétales et améliorer l'ensemble de l'écosystème. À ces fins, les travaux consisteraient principalement au retrait de la matière granulaire qui constitue le chemin d'accès actuel et au nivellement du sol afin de recréer l'aspect naturel du milieu et de restaurer les paramètres hydrologique et biologique de la tourbière.

Selon Landry et Rochefort (2011) l'impact des fossés, dont ceux en bordure des chemins, peut se faire ressentir jusqu'à 60 m en surface et jusqu'à 200 m en profondeur à l'intérieur de la tourbière. Cependant, l'impact le plus marquant à l'intérieur des 25 premiers mètres. La profondeur de la nappe phréatique est aussi plus basse près des routes comparativement aux milieux intacts ce qui affecte plusieurs paramètres des tourbières tels que la présence de différents types de végétation privilégiant des conditions plus sèches.





- Localisation du site / Site location
- Coupe de profil / Profil section
- Plan de compensation / Compensation Plan**
- Emprise à restaurer / Takeover to restore
- Composantes de l'écosystème / Ecosystem Components**
- Milieux terrestres / Terrestrial Environments**
- Mixte / Mixed-wood
- Résineux / Softwood
- Régénération / Regeneration
- Milieux humides et hydriques / Wetlands and Hydrous Environments**
- Marécage arborescent / Treed swamp
- Tourbière minérotrophe boisée / Treed fen
- Tourbière minérotrophe ouverte / Open fen
- Eau peu profonde / Shallow water
- Milieux hydriques / Hydrous Environments**
- Cours d'eau intermittent / Intermittent Watercourse
- Réseau routier / Road Network**
- Chemin forestier principal / Main forestry road



Projet Windfall – Plan de compensation des milieux humides et hydriques – Version 02 /  
 Windfall Project – Wetland and Water Compensation Plan – Version 02  
 Site minier Windfall, Eeyou Istchee Baie-James (Québec) /  
 Windfall Mining Site, Eeyou Istchee Baie-James (Québec)

**Carte 6 / Map 6**  
**Osborne-Bell / Osborne-Bell**

**Sources :**  
 AQRéseau+, Réseau routier, MERN Québec, 2020-03  
 Inventaire écoforestier, MRNF, 2024  
 GRHQ, Réseau hydrique, 2021  
 Gold Fields, Orthophotographie du banc Bonterra, 2025  
 SDA, 1/20 000, MERN Québec, 2020  
 CanVec+, 1/250 000, RN Can, 2014  
 Mosaïque d'orthophotographie de l'inventaire écoforestier, MRNF, 2023

0 30 60 m  
 NAD 1983 MTM 9

2025-12-22

Préparation / Preparation : M. Ferland  
 Dessin / Drawing : J. Roy  
 Vérifié par / Verification : F. Gagnon  
 CA0023271\_9538\_pc\_mhh\_cx\_autres\_251222.aprx  
 CA0023271\_9538\_pc\_mhh\_cx\_147\_compensation\_251222



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. / Boundary accuracy and measurements shown on this document are not to be used for engineering or land delineation purposes. No land analysis was carried out by a land surveyor.



Selon la littérature, au moins trois options de restaurations ont déjà été testées dans des environnements comparables. La plus fréquente est le retrait des matériaux mis en place pour la construction du chemin, le comblement avec de la tourbe et la restauration du couvert végétal (Guérin, 2022). Cette méthode, communément appelée restauration par remplacement du matériel minéral est une méthode éprouvée, mais qui demande le transport de beaucoup de matériel minéral. Une seconde option consiste en la restauration du couvert végétal directement sur la couche minérale travaillée et abaissée : celle-ci a obtenu des résultats mitigés puisque les conditions de croissances de la sphaigne n’y étaient pas optimales (Guérin, 2022). La dernière option utilisait la tourbe sous la fondation du chemin et en bordure pour enfouir les matériaux du chemin ou une partie de ceux-ci dans la fondation. À ce jour, les résultats de la troisième option soit la méthode de restauration par l’enfouissement sous déblai tourbeux sont probants et la méthode relativement peu coûteuse (Pouliot, 2018 et Isabel, 2022). Plusieurs conditions doivent cependant être remplies pour que la méthode puisse être appliquée.

Plusieurs caractéristiques des chemins d’accès en forêt amènent des contraintes différentes à la restauration. Ainsi, le chemin peut avoir été construit par-dessus la tourbière en place ou sur la couche minérale après excavation de la matière organique. Cette caractéristique influence la disponibilité de matériel de comblement pour effectuer la restauration et les manipulations qui devront alors être effectuées. Ensuite, l’âge du chemin ou son degré de fréquentation amène une compaction du sol qui amplifie les problèmes de circulation d’eau. Une scarification des matériaux granulaires laissés en place ou de la tourbe compactée sous la fondation du chemin peut alors être nécessaire. Aussi, le matériel utilisé (type de roche, granulométrie, utilisation de géotextile, de fascine, etc.) amène des spécificités essentielles à connaître avant de statuer sur le type de restauration qui devra être effectuée. Finalement, la disponibilité de sites d’entreposage pour le matériel à excaver et les réserves de matériel organique pour la restauration influenceront également l’option qui sera choisie.

## Critères de conception

Le concept d’aménagement compensatoire a été élaboré en s’appuyant sur une série de critères et de caractéristiques ainsi qu’en fonction d’hypothèses posées sur la base des données disponibles.

### Sols

L’objectif est ici de chercher à reconstruire les parties de l’écosystème afin qu’il fonctionne de manière similaire à ceux de la tourbière en place afin de satisfaire les critères d’homogénéité spatiale de la nappe phréatique et des conditions hydrologique et d’élévation favorables aux communautés végétales. Les sols restaurés devront donc permettre la libre circulation de l’eau souterraine, élever la nappe phréatique et favoriser l’établissement des espèces végétales associées aux tourbières. Les sols compactés devront être ameublés surtout si une partie du sol minéral reste en place.

Une épaisseur minimale de 50 cm de matière organique est généralement nécessaire pour assurer le succès de la restauration et de la revégétalisation (Quinty et Rochefort, 2003). Cependant, des expérimentations avec des épaisseurs moindres ont parfois donné de bons résultats. Le type de restauration choisi influencera l’épaisseur de matière organique à utiliser qui pourrait être visée.

## Végétation et milieux humides

Les types de milieux humides qui seront aménagés feront l'objet de mesure de végétalisation afin d'accélérer et de favoriser la reprise des communautés végétales souhaitées et d'établir des communautés végétales en équilibre avec les conditions anticipées. Pour s'harmoniser avec le milieu en place, deux méthodes de végétalisation seront effectuées. Concernant les tourbières minérotrophes boisée et ouverte, l'utilisation de la méthode de transfert de couche muscinale (MTCM) développée par le Groupe de recherche en écologie des tourbières (GRET) qui permet la réintroduction active d'espèces végétales de tourbières sera utilisée (Quinty et Rochefort, 2003). Cette méthode permet le retour de plus de 80 % des espèces qui forment le matériel végétal et limite l'introduction d'espèce invasive. Cette méthode utilise des sites « donneurs », préférablement situés à proximité du site à restaurer. La superficie de sites donneurs doit environ atteindre le dixième du site à restaurer. Aucune plantation ne serait effectuée dans les tourbières. Les conditions de restauration d'une tourbière rendent le milieu impropre à l'établissement de plants. L'épinette noire pourrait éventuellement coloniser le site, mais le succès des plantations serait trop hasardeux pour l'envisager. Le taux de survie des arbres plantés dans des sites mal drainés est largement inférieur à celui dans les sites bien drainés puisque le drainage insuffisant nuit au développement et à la croissance des racines. La proximité de sites naturels et l'utilisation de matériel local comprenant déjà plusieurs espèces permettront l'établissement d'une flore diversifiée et adaptée au milieu.

Concernant le marécage arborescent, la végétalisation se limitera à l'utilisation de plants d'épinette noire et de mélèze laricin puisque le retour des conditions hydrologiques antérieures à la mise en place du chemin forestier devrait être le critère déterminant pour le succès de la restauration. La proximité des sites naturels et l'utilisation de matériel organique local comme terre de surface favoriseront l'établissement d'espèces compagnes herbacées et arbustives adaptées au site.

## Niveau d'eau

Afin de favoriser la montée de la nappe phréatique et l'établissement de conditions hydrologiques favorables à l'établissement d'une couche muscinale associée aux tourbières, le comblement des fossés bordant le chemin du chemin s'avère essentiel. Il ne s'agit donc pas seulement de remplacer et de combler la fondation du chemin, mais aussi de combler les fossés en bordure des chemins qui drainent la tourbière.

Après le comblement et avant la végétalisation, le sol doit aussi être nivelé et aplani afin d'améliorer les conditions de croissances des sphaignes. En effet, la création de microdépressions en végétalisation de plantes herbacées et arbustives est souvent conseillée afin de créer des microhabitats favorables à la croissance de ces plantes. Dans le cas des sphaignes, c'est tout le contraire qui est observé. Les microbuttes créées en parallèle sont trop sèches pour l'établissement des sphaignes. Le résultat est qu'une partie seulement des surfaces devient favorable à leur croissance. Une surface plane, ni bombée, ni concave, obtient une plus grande proportion de surface favorable.

## Concept proposé

La méthode de restauration par l'enfouissement sous déblai tourbeux (MESDT) serait ici la méthode préconisée pour la restauration du chemin d'accès Osborne-Bell. Cette méthode est moins dispendieuse que celle par remplacement du matériel minéral (MRMM) et plus efficace que la restauration du couvert végétal directement sur la couche minérale travaillée et abaissée. Cependant, pour pouvoir être effectuée, la quantité de matériel minéral à enfouir doit être assez faible pour permettre la mise en place d'environ 50 cm de tourbe par-dessus le minéral. La profondeur de la tourbière doit donc aussi être assez élevée pour permettre l'enfouissement du matériel.

Advenant l'impossibilité d'utiliser la méthode MESDT, la seconde option serait la MRMM ou une combinaison des deux. Dans ce cas, un endroit doit être trouvé pour recevoir le matériel excavé. Il est permis de croire que le matériel est exempt de contaminant et qu'une carrière pourrait recevoir le matériel. Le banc d'emprunt 32F03-4 et 32F03-5 située à environ 3 km au sud-ouest pourrait convenir. Le dernier utilisateur y est PF-Résolu Canada, le propriétaire de la scierie Comtois à l'est du banc d'emprunt qui l'a exploité jusqu'en mars 2025.

Une option intéressante qui permettrait d'augmenter la biodiversité du milieu serait la création de mares. Un grand nombre d'espèces de plantes et d'insectes ne se retrouvent que dans ou autour des mares. Déjà, les fossés en place de chaque côté du chemin montrent la présence d'eau. L'excavation de matériel granulaire permettra déjà de créer des dépressions qui peuvent s'apparenter à des mares. Il reste à savoir si les conditions en place sont propices à l'installation de tels aménagements. Pour être viables et utiles, quelques critères doivent cependant être respectés :

- Il est suggéré de créer des mares de 75 à 150 m<sup>2</sup> afin de pouvoir servir de refuge à différentes espèces fauniques.
- Les mares doivent avoir une profondeur de plus d'un mètre pour permettre la présence d'eau pendant l'été, mais en gardant une épaisseur de tourbe entre le fond de la mare et la couche minérale afin d'éviter l'enrichissement de la tourbe et de l'eau ce qui favorise les espèces nuisibles.
- La création de rives avec des pentes variées favorise la biodiversité.

En bordure du chemin du Moulin, dans le marécage arborescent, l'objectif ne serait pas le même. Une restauration classique soit l'excavation du chemin en place, l'épandage de terre végétale en surface, le blocage des canaux et la plantation d'épinette noire et de mélèze laricin serait suffisante.

### *Planification des travaux*

Les travaux à réaliser seront décrits dans des plans et devis, sur la base de concepts finaux d'aménagement qui auront été établis. Ces documents décriront en détail la nature des travaux de restauration à faire, la période de réalisation de ceux-ci, les modes de gestion et les volumes de déblais à gérer, la nature et la quantité du matériel requise pour rétablir les fonctions des milieux humides restaurés et, au besoin, le choix et la quantité de végétaux si des plantations sont requises.

### **Mise en place de l'aménagement compensatoire**

La mise en place d'aménagements impliquera plusieurs étapes, qui seront définies plus en détail lorsque les concepts finaux auront été réalisés. Les travaux à réaliser comprendront notamment le retrait d'une partie ou de la totalité des matériaux granulaires, le comblement des canaux résiduels, l'excavation de matériel organique, le nivellement des surfaces, le transfert de couches muscinales et la plantation.

### *Travaux d'excavation et de nivellement*

La MESDT effectue la majorité des aménagements en un seul passage. Les travaux sont réalisés à l'aide d'une excavatrice se déplaçant exclusivement sur le chemin d'accès. Le travail est effectué en répétant chacune des étapes sur de petites sections de chemin d'environ 5 mètres, selon la portée du bras de l'excavatrice. D'abord, les matériaux granulaires sont retirés et empilés derrière la machinerie, sur le chemin d'accès. La tourbe sous-jacente, lorsque présente, est ensuite excavée puis empilée à proximité, créant ainsi une dépression. Les matériaux granulaires derrière l'excavatrice sont ensuite redéposés dans la dépression, puis recouverts de la tourbe préalablement excavée ainsi que celle possiblement disponible dans les buttes en bordure de fossés. Les fossés sont ensuite comblés et la surface nivelée mécaniquement à la même élévation que la surface environnante à l'aide du godet de l'excavatrice.

Pour la MRMM, les étapes sont simplifiées, mais nécessitent l'utilisation d'un camion-benne. L'excavation est réalisée à l'aide d'une excavatrice qui ne circule que sur le chemin d'accès. Les matériaux granulaires sont excavés et déposés dans le camion-benne positionné à l'arrière de l'excavatrice. La tourbe sous-jacente peut alors être décompactée et la tourbe présente dans les buttes peut être redistribuée dans la dépression créée par l'excavation du matériel granulaire. Les fossés sont ensuite comblés et la surface nivelée mécaniquement à la même élévation que la surface environnante à l'aide du godet de l'excavatrice. Une fois rempli, le camion-benne peut disposer du matériel à l'endroit convenu.

### **Travaux de végétalisation**

Les plans d'aménagements et les schémas de plantation seront produits ultérieurement, lorsque les sites auront fait l'objet de l'ensemble des relevés. Néanmoins, une approche similaire à celle envisagée pour d'autres projets de même nature devrait s'appliquer.

La végétalisation après excavation et nivellement sera effectuée principalement par un transfert de couche muscinale dans la section tourbière et en second lieu par une plantation dans la section marécage arborescent.

Pour effectuer un transfert de couche muscinale, un site donneur doit préalablement être trouvé. Considérant qu'un rapport de 1 : 10 (superficie donneur : surface à restaurer) est rationnel, ce serait donc environ 750 m<sup>2</sup> de surface de tourbière qui devrait être prélevée. Le site donneur devra être composé majoritairement de sphaigne, mais aussi d'autres mousses comme le polytric dressé (*Polytrichum strictum*) et peu d'arbres. Une reconnaissance terrain serait nécessaire pour identifier les sites disponibles. La tourbière minérotrophe ouverte du site à l'étude serait une option facilement accessible à étudier.

Le matériel prélevé doit alors être déchiqueté pour permettre son épandage à raison d'environ 1 à 2 cm d'épaisseur sur toute la surface. La surface doit alors être protégée par un paillis constitué de paille afin de contrôler l'évaporation et diminuer la température au niveau du matériel épandu. Une quantité d'environ 3 000 kg/ha est recommandée ce qui devrait permettre d'apercevoir le sol ou certains fragments de plantes au travers de la paille. Pour plus de détails, veuillez consulter le *Guide de restauration des tourbières* (2003) par Quinty et Rochefort.

Pour terminer, le secteur de marécage arborescent sera planté d'épinette noire et de mélèze laricin. Les plantations s'effectueront en conservant une distance d'environ 2,5 m entre les plants, sur un minimum de deux ou trois rangs. Les essences seront mélangées pour reproduire une diversité retrouvée naturellement sur le site. Autant que possible, des plantations en ligne droite devront être évitées pour plutôt suivre le profil naturel du site.

---

### **3.7.4 Programme de suivi des possibles projets de compensation**

Le suivi débutera dans l'année suivant la réalisation des travaux pour le projet de banc d'emprunt et du chemin Osborne-Bell. Le suivi minimal se réalisera par la suite aux années 3 et 5 après la réalisation des travaux pour chaque site. Les éléments suivants feront l'objet du suivi :

- Délimitation de la surface du milieu humide (pour le site du banc d'emprunt BNE59428 et réalisée selon la méthode botanique).
- Caractérisation sommaire du sol (profondeur de la nappe, présence d'érosion - déposition).
- Taux de survie des arbres et arbustes.

- Densité et identification des espèces arbustives, herbacées et muscinales (pourcentage de recouvrement de chaque strate végétale) à l'échelle de parcelles permanentes.
- Prise de photographies représentatives de chaque site, avec des coordonnées permettant la prise de photographies aux mêmes endroits durant toute la durée du suivi.
- Détection de plantes exotiques envahissantes sur les sites restaurés.

Certains problèmes importants relevés à la suite du suivi nécessiteront la mise en place de mesures correctives lors de la même année :

- Mortalité supérieure à 50 % des plantations.
- Faible reprise de la végétation arbustive, herbacée ou muscinale.
- Présence d'espèces exotiques envahissantes.

Le suivi réalisé devra permettre d'identifier les causes sous-jacentes ayant entraîné ces problèmes et les mesures à mettre en place pour les corriger. Ces mesures comprennent notamment le remplacement des plants morts par des espèces plus adaptées aux conditions environnementales des sites, la plantation d'espèces herbacées ou arbustives ou le contrôle d'espèces exotiques envahissantes.



## 4 Conclusion

Considérant le fort appui du milieu, GMW souhaite conserver le programme de biodiversité comme mesure principale de compensation pour les pertes de milieux humides et hydriques (Projet 1). Les projets de restauration des accès aux pylônes de la ligne électrique (Projet 2), aux sites abandonnés de Souart (Projet 3) et Certac (Projet 4), qui ont été effectués sans que des obligations n’y soient rattachées, sont aussi des initiatives à considérer comme des gains au bilan de compensation.

Le projet 4 pourra être bonifié et comptabilisera aussi dans les initiatives possibles pour la prise en charge des obligations de l’État vue que le site Certac est enregistré comme site minier abandonné. Les projets 5 et 6 sont deux options que GMW propose pour ses efforts de réhabilitation du milieu. À la suite des échanges tenus le 8 décembre 2025, les deux ont été discutés et sont potentiellement retenus comme options de compensation. Des échanges ont eu lieu avec le MRNF le 6 janvier 2026 concernant le site Certac. GMW pourrait examiner la possibilité de faire des interventions additionnelles à Certac en remplacement aux projets 5 et 6, à la suite de la phase II, si ces interventions sont jugées plus intéressantes en termes de restauration d’habitat.

Le tableau 5 résume les gains issus des différentes activités de reboisement et activités de remise en état du site. Bien que le programme de biodiversité soit l’engagement le plus important auprès de la communauté et la mesure principale de compensation des milieux humides et hydriques, les gains réalisés par ce volet sont difficilement quantifiables. Ces gains ne doivent pas pour autant être négligés et doivent être considérés dans le bilan global du plan de compensation. De plus, les engagements que pourraient prendre GMW pour prendre en charge les responsabilités de l’État dans la restauration du site minier Certac (considéré comme site minier orphelin) sont non quantifiables comme comptabiliseraient dans le bilan global du projet,

**Tableau 5 Bilan des gains de milieux humides et hydriques**

Projet	Gains (ha) (milieu humide)	Gains (ha) (milieu terrestre)
<b>Projet principal</b>		
Projet 1 – Programme de biodiversité	Non quantifiable	Non quantifiable
<b>Projets réalisés</b>		
Projet 2 – Reboisement des accès aux pylônes	2,20	11,44
Projet 3 – Nettoyage des débris sur le site Souart	0,52	0,35
Projet 4 – Site minier abandonné de Certac	N/A	2,00
Bilan	2,72	13,79
	16,51	
<b>Options de compensation</b>		
Projet 4 – Site minier abandonné de Certac	Non quantifiable	Non quantifiable
Projet 5 – Banc d’emprunt BNE59428	0,94	1,34
Projet 6 – Chemin d’accès Osborne-Bell	0,75	N/A
Bilan	1,69	1,34



# Références bibliographiques

- ATLAS DES OISEAUX NICHEURS DU QUÉBEC. (AONQ). 2021. *Indices de nidification (explications)*. Regroupement Québec Oiseaux, Service canadien de la faune d'Environnement Canada et Études d'Oiseaux Canada. Québec, Canada. En ligne : [[https://www.atlasoiseaux.qc.ca/explications\\_indices\\_fr.jsp](https://www.atlasoiseaux.qc.ca/explications_indices_fr.jsp)].
- BERGERON, E. et M.-È. MARTEL. 2023. « Dix fois plus d'hectares ont brûlé au Canada en 2023 que sur toute une décennie ». *Le Devoir*, 6 juillet 2023. En ligne : <https://www.ledevoir.com/environnement/794141/dix-fois-plus-d-hectares-ont-brule-au-canada-en-2023-que-sur-toute-une-decennie>. Consulté le 12 septembre 2023.
- BIBBY, C. J. et N. BURGESS. 1992. *Bird Census Techniques*. Academic Press, London. 257 p.
- BLACKSMITH, V. 2025. 'Complete drainage' of lake cuts off Cree hunting territory near Waswanipi, Que. CBC. Consulté en juin 2025. En ligne : <https://www.cbc.ca/news/canada/north/lake-drainage-land-collapse-waswanipi-lake-rouge-lake-doda-1.7539994>.
- BLANCHETTE, P., S. DESJARDINS, M. Poirier, J. LEGRIS, P. LARUE. 2003. *Utilisation par le lièvre d'Amérique de peuplements traités par éclaircie précommerciale dans le domaine de l'érablière à bouleau jaune et de la pessière à mousses*. Société de la faune et des parcs du Québec, Direction de la recherche sur la faune. 63 p.
- BLONDEL, J., C., FERRY et B. FROCHOT. 1981. *Point counts with unlimited distance*. In: Ralph C.J., Scott J.M. (eds.). Estimating numbers of terrestrial birds. Study in Avian Biology, 6: 414-420.
- BOLDUC, F., D. BOUCHARD, M. ABBOTT et C. FORTIN. 2005. *Aménagement hydroélectrique de la Péribonka. Programme de compensation pour les milieux humides et la fonction d'habitat pour la sauvagine. Tome 2 : aménagements proposés pour le maintien de la productivité en sauvagine*. Rapport pour Hydro-Québec, Division Équipement. Québec FORAMEC inc., 155 p. et annexes.
- BOUGIE, É. et D. BOUCHARD. 2006. *Aménagement hydroélectrique de la Péribonka. Compensation pour la sauvagine : revitalisation de la zone 2 du dépôt H*. Programme présenté à Hydro-Québec, Division Équipement. Québec, FORAMEC inc., 40 p. et annexes.
- CHEVEAU, M., LAURIAN, C. et BLANCHETTE, P. 2021. *Guide d'aménagement de l'habitat du lièvre d'Amérique au Québec*. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de l'expertise sur la faune terrestre, l'herpétofaune et l'avifaune, et Fondation de la faune du Québec, Québec. 60 p.
- CPP ENVIRONMENTAL. 2017. *Guide for in situ reclamation in the oil sands region of Alberta. Reclaiming aggregate and borrow excavations associated with EPEA approvals to water bodies*. Canada's Oil Sands Innovation Alliance (COSIA). 51p.
- CUMMINS, K.W., MERRITT R.W. et BERG., M.B. 2008. *An introduction to the aquatic insects of North America*. 4<sup>e</sup> édition, Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, USA. 1214 p.

- CUSSON, M., M.-H. ST-LAURENT, J. FERRON et A. CARON, 2001. *Utilisation à court terme de trois types de forêt résiduelle par le lièvre d'Amérique (Lepus americanus) en forêt boréale*. Rimouski, Université du Québec à Rimouski pour le ministère des Ressources naturelles du Québec et la Société de la faune et des parcs du Québec, code diffusion 2001-3080. 81 p.
- FONDATION DE LA FAUNE DU QUEBEC. 1996a. *Aménagement d'un étang pour la sauvagine. Aménagement des boisés et terres privées pour la faune*. Guides techniques no. 11, 8 p.
- FONDATION DE LA FAUNE DU QUEBEC. 1996 b. *Aménagement de milieux pour les amphibiens et les reptiles. Aménagement des boisés et terres privées pour la faune*. Guides techniques no. 10, 8 p.
- GODBOUT, G., M. POIRIER et R. LAFOND. 2001. *Méthode de caractérisation du cycle d'abondance du lièvre à l'aide du dénombrement de crottins, à des fins de gestion des animaux à fourrure*. Société de la faune et des parcs du Québec. Direction du développement de la faune et Direction de l'aménagement de la faune de l'Abitibi-Témiscamingue. Québec. 50 p.
- GOUVERNEMENT DU QUÉBEC. 2025. *Sites contaminés sous la responsabilité de l'État*. En ligne : <https://mern-dgig.maps.arcgis.com/apps/instant/interactivelegend/index.html?appid=54bdfb0c9c0f4953a953e4fa00e9055b&locale=fr>.
- GUÉRIN, P. 2022. *Restauration d'une communauté végétale avec potentiel d'accumulation de tourbe sur substrat minéral d'une tourbière perturbée par une route*. Université Laval, Québec, Canada. 83 p. et annexes.
- ISABEL, C. 2022. *Restauration d'une tourbière à sphaignes perturbée par une infrastructure routière en région éloignée*. Université Laval, Québec, Canada. 80 p. et annexes
- JOLY, M., 1990. *Géologie de la région du lac aux Loutres et du lac Lacroix*. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, MB 90-42, 55 p.
- LACHANCE, D., G. FORTIN et G. DUFOUR TREMBLAY. 2021. *Identification et délimitation des milieux humides du Québec méridional – version décembre 2021*, Québec, ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction adjointe de la conservation des milieux humides, 70 p. + annexes. En ligne : <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/rives/guide-identif-dellimit-milieux-humides.pdf>.
- LANDRY, J. et L. ROCHEFORT. 2011. *Le drainage des tourbières : impacts et techniques de remouillage*. Groupe de recherche en écologie des tourbières. Université Laval, Québec, 53 p.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MELCC). 2022. *Critères de qualité de l'eau de surface*. En ligne : [https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/criteres\\_eau/index.asp](https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.asp). Consulté en mars 2022.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE (MRNF).1994. *Le point d'observation écologique : normes techniques*. En ligne : [mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/inventaire/le-point-observation-ecologique-normes-tech-34.pdf](http://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/inventaire/le-point-observation-ecologique-normes-tech-34.pdf).

- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DES FORÊTS (MRNF) 2025a. *GESTIM, le système de gestion des titres miniers*. Consulté en juin 2025. En ligne : <https://mrnf.gouv.qc.ca/mines/titres-miniers/gestim-systeme-gestion-titres-miniers/#:~:text=Au%20Qu%C3%A9bec%2C%20la%20gestion%20des,r%C3%A9els%20et%20immobiliers%20du%20Qu%C3%A9bec>.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DES FORÊTS (MRNF) 2025b. *Système d'information géominière du Québec, carte interactive*. Consulté en juin 2025. En ligne : [http://sigeom.mines.gouv.qc.ca/signet/classes/I1108\\_afchCarteIntr](http://sigeom.mines.gouv.qc.ca/signet/classes/I1108_afchCarteIntr).
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DES FORÊTS (MRNF) 2025c. *Carte interactive Forêt Ouverte*. Consultée en juin 2025. En ligne : <https://www.foretouverte.gouv.qc.ca>.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DES FORÊTS (MRNF) 2025d. *Carte et liste des sites miniers abandonnés sous la responsabilité réelle de l'État*. Consulté en juin 2025. En ligne : <https://mrnf.gouv.qc.ca/mines/restauration-miniere/liste-des-sites-miniers-abandonnes/>.
- POULIOT, K. 2018. *Les routes minérales en tourbières à sphaignes: restauration par enfouissement*. Université Laval, Québec, Canada. 59 p. et annexes.
- QUINTY, F. et L. ROCHEFORT. 2003. *Guide de restauration des tourbières, deuxième édition*. Association canadienne de mousse de sphaigne et Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick. Québec, Québec. 98 p. et annexes
- RALPH, C. J., J. R. SAUER et S. DROEGE. 1995. *Monitoring Bird Populations by Point Counts*. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-149. Albany, CA: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. 187 p.
- SANEXEN SERVICES ENVIRONNEMENTAUX INC. 2018. *Projet mine de lithium Baie-James, évaluation des risques toxicologiques à la santé humaine*. Document présenté à Galaxy Lithium (Canada) Inc. 254 pages.
- SANEXEN SERVICES ENVIRONNEMENTAUX INC. 2022. *Projet Galaxy Lithium, Volet 1 — Établissement de l'état initial de la chair de castor - Préparation du protocole d'échantillonnage et d'analyse*. Document présenté à WSP Canada. 13 pages.
- SOCIÉTÉ DE PROTECTION DES FORÊTS CONTRE LE FEU (SOPFEU). 2023. *Accueil*. Consulté le 12 septembre 2023. En ligne : <https://sopfeu.qc.ca/>.
- THORP, J.H. et A.P. Covich. 2010. *Ecology and classification of North American freshwater invertebrates*, 3<sup>e</sup> édition, Elsevier Science, Amsterdam, Pays-Bas. 1 088 p.
- WSP. 2022. *Projet minier Windfall. Rapport sectoriel - Végétation*. Rapport produit pour minière Osisko inc. Référence WSP : 201-11330-19. 24 pages et annexes.
- WSP. 2023a. *Projet minier Windfall. Étude d'impact sur l'environnement*. Rapport produit pour minière Osisko inc. Référence WSP : 201-11330-19. Pagination multiple et annexes.
- WSP. 2023b. *Projet minier Windfall. Programme de biodiversité – Résumé des consultations. Territoire d'Eeyou Istchee Baie-James*. Rapport produit pour Groupe Minier Windfall. Référence WSP : CA0004658.7070. 8 pages.



# ANNEXE

# A

REVUE DE LITTÉRATURE –  
EFFETS DES FEUX DE  
FORÊT SUR LES HABITATS  
FAUNIQVES



GROUPE MINIER WINDFALL

## PROJET MINIER WINDFALL

### REVUE DE LITTÉRATURE - EFFET DES FEUX DE FORÊTS SUR LES HABITATS FAUNIQUES

NOVEMBRE 2023

RÉFÉRENCE WSP : CA0004658.7070







GROUPE MINIER WINDFALL

# PROJET MINIER WINDFALL

REVUE DE LITTÉRATURE - EFFET  
DES FEUX DE FORÊTS SUR LES  
HABITATS FAUNIQUES

RÉFÉRENCE WSP : CA0004658.7070

NOVEMBRE 2023

WSP CANADA INC.  
1135, BOULEVARD LÉBOURGNEUF  
QUÉBEC (QUÉBEC) G2K 0M5  
CANADA

T : +1-418-780-9444  
F : +1-418-780-9434

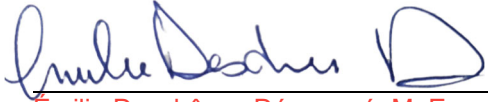
WSP.COM



---

# SIGNATURES

PRÉPARÉ PAR



Emilie Deschênes Dénomé, M. Env.  
Chargée de projet

16 novembre 2023

Date

RÉVISÉ PAR



Marie-Hélène Brisson, biologiste  
Directrice de projet

16 novembre 2023

Date

---

# LIMITATIONS

WSP Canada Inc. (« WSP ») a préparé ce rapport uniquement pour son destinataire Groupe Minier Windfall, conformément à la convention de consultant convenue entre les parties. Advenant qu'une convention de consultant n'ait pas été exécutée, les parties conviennent que les Modalités générales à titre de consultant de WSP régiront leurs relations d'affaires, lesquelles vous ont été fournies avant la préparation de ce rapport.

Ce rapport est destiné à être utilisé dans son intégralité. Aucun extrait ne peut être considéré comme représentatif des résultats de l'évaluation.

Les conclusions présentées dans ce rapport sont basées sur le travail effectué par du personnel technique, entraîné et professionnel, conformément à leur interprétation raisonnable des pratiques d'ingénierie et techniques courantes et acceptées au moment où le travail a été effectué.

Le contenu et les opinions exprimées dans le présent rapport sont basés sur les observations et/ou les informations à la disposition de WSP au moment de sa préparation, en appliquant des techniques d'investigation et des méthodes d'analyse d'ingénierie conformes à celles habituellement utilisées par WSP et d'autres ingénieurs/techniciens travaillant dans des conditions similaires, et assujettis aux mêmes contraintes de temps, et aux mêmes contraintes financières et physiques applicables à ce type de projet.

WSP dénie et rejette toute obligation de mise à jour du rapport si, après la date du présent rapport, les conditions semblent différer considérablement de celles présentées dans ce rapport; cependant, WSP se réserve le droit de modifier ou de terminer ce rapport sur la base d'informations, de documents ou de preuves additionnels.

WSP ne fait aucune représentation relativement à la signification juridique de ses conclusions.

La divulgation de tout renseignement faisant partie du présent rapport relève uniquement de la responsabilité de son destinataire. 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 suivant l'utilisation de ce rapport ou quant aux dommages pouvant découler d'une décision ou mesure prise basée sur le présent rapport.

WSP a exécuté ses services offerts au destinataire de ce rapport conformément à la convention de consultant convenue entre les parties tout en exerçant le degré de prudence, de compétence et de diligence dont font habituellement preuve les membres de la même profession dans la prestation des mêmes services ou de services comparables à l'égard de projets de nature analogue dans des circonstances similaires. Il est entendu et convenu entre WSP et le destinataire de ce rapport que WSP n'offre aucune garantie, expresse ou implicite, de quelque nature que ce soit. Sans limiter la généralité de ce qui précède, WSP et le destinataire de ce rapport conviennent et comprennent que WSP ne fait aucune représentation ou garantie quant à la suffisance de sa portée de travail pour le but recherché par le destinataire de ce rapport.

En préparant ce rapport, WSP s'est fié de bonne foi à l'information fournie par des tiers, comme indiqué dans le rapport. WSP a raisonnablement présumé que les informations fournies étaient correctes et WSP ne peut donc être tenu responsable de l'exactitude ou de l'exhaustivité de ces informations.

Les bornes et les repères d'arpentage utilisés dans ce rapport servent principalement à établir les différences d'élévation relative entre les emplacements de prélèvement et/ou d'échantillonnage et ne peuvent servir à d'autres fins. Notamment, ils ne peuvent servir à des fins de nivelage, d'excavation, de construction, de planification, de développement, etc.

L'original du fichier électronique que nous vous transmettons sera conservé par WSP pour une période minimale de dix ans. WSP n'assume aucune responsabilité quant à l'intégrité du fichier qui vous est transmis et qui n'est plus sous le contrôle de WSP. Ainsi, WSP n'assume aucune responsabilité quant aux modifications faites au fichier électronique suivant sa transmission au destinataire.

Ces limitations sont considérées comme faisant partie intégrante du présent rapport.

---

# CLIENT

## GROUPE MINIER WINDFALL

Vice-présidente, Environnement et  
Relations communautaires

Andréanne Boisvert, géographe, M.A.

Directrice Environnement

Vanessa Millette, géographe, M. Sc. Env.

---

# ÉQUIPE DE RÉALISATION

## WSP CANADA INC. (WSP)

Directrice de projet

Marie-Hélène Brisson, biologiste

Chargée de projet

Émilie Deschênes Dénomé, M. Env.

Traitement de texte et édition

Linette Poulin

## RÉFÉRENCE À CITER

WSP. 2023.   Projet Minier Windfall. Revue de littérature - Effet des feux de forêts sur les habitats fauniques. Rapport produit pour Groupe Minier Windfall. Référence WSP : CA0004658.7070. 35 pages et annexes.



# TABLE DES MATIÈRES

<b>1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
1.1	Mise en contexte du projet .....	1
1.2	Situation des feux de forêt .....	1
1.3	Objectifs du mandat .....	2
<b>2</b>	<b>Méthodologie .....</b>	<b>7</b>
2.1	Paramètres généraux .....	7
2.2	Paramètres spécifiques .....	7
<b>3</b>	<b>Résultats et discussions .....</b>	<b>9</b>
<b>3.1</b>	<b>Effets des feux de forêt sur le milieu physique.....</b>	<b>9</b>
3.1.1	Sols .....	9
3.1.2	Hydrologie .....	12
3.1.3	Qualité de l'eau de surface .....	13
<b>3.2</b>	<b>Effets des feux de forêt sur la végétation et les milieux humides .....</b>	<b>15</b>
3.2.1	Perturbation de la végétation .....	15
3.2.2	Recolonisation et cycles de succession des espèces .....	17
<b>3.3</b>	<b>Effets des feux de forêt sur la faune terrestre et les habitats .....</b>	<b>20</b>
3.3.1	Effets généraux des feux de forêt sur la faune terrestre .....	20
3.3.2	Effets spécifiques des feux de forêt sur les espèces terrestres .....	22
<b>3.4</b>	<b>Effets des feux de forêt sur la faune aquatique, le benthos et les habitats .....</b>	<b>26</b>
3.4.1	Modification des habitats aquatiques .....	26
3.4.2	Benthos .....	27
3.4.3	Faune aquatique.....	27
<b>4</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>29</b>
	<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>31</b>

---

## Carte

Carte 1-1	Indice de sévérité des feux de forêts 2023.....	5
-----------	---	---



# 1 Introduction

---

## 1.1 Mise en contexte du projet

En tant que société d'exploration minière et de mise en valeur de propriétés de ressources de métaux précieux, Groupe Minier Windfall (GMW) souhaite mettre en exploitation un complexe minier comprenant une mine souterraine, afin d'y extraire de l'or et de procéder à son traitement sur place.

Le projet minier Windfall (le Projet) est situé au nord du 49<sup>e</sup> parallèle dans la région administrative du Nord-du-Québec, sur des terres de la catégorie III du territoire d'Eeyou Istchee Baie-James. Le site minier se trouve à environ 270 km de la ville de Val-d'Or et à 115 km à l'est de la ville de Lebel-sur-Quévillon (carte 1) par la route, une région reconnue pour ses gisements d'or, de cuivre et de zinc.

Le Projet est soumis à la procédure provinciale d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement en vertu de l'article 153 du chapitre II de la Loi sur la qualité de l'environnement (LQE; L.R.Q., c. Q 2), qui documente les dispositions applicables à la région de la Baie-James et du Nord québécois, en lien avec la convention du même nom. Le Projet n'était pas assujéti à une évaluation environnementale fédérale sous la Loi sur l'évaluation d'impact (L.C., 2019, ch. 28, art. 1) en application du Règlement sur les activités concrètes (art. 18, alinéa c), puisque la production prévue de cette nouvelle mine d'or est de moins de 5 000 tonnes par jour (t/jour).

---

## 1.2 Situation des feux de forêt

En juillet 2023, la superficie de forêts affectée par les feux au Canada était plus de 10 fois supérieure à la moyenne d'hectares brûlés par décennie (Bergeron et Martel, 2023). Le Québec était à ce moment la province canadienne la plus touchée par les feux de forêt. Le mois de juin a été le plus aride des cent dernières années au Québec avec 49 mm de pluie (MELCCFP<sup>1</sup>, 2023). Le site Windfall a été encore plus sec avec moins de 30 mm de pluie à la station météorologique du site, dont 20 mm dans les trois dernières journées du mois. Ces périodes de sécheresse hors du commun ont créé des conditions favorables au déclenchement de sévères feux de forêt. Dans le Nord-du-Québec, ce sont des millions d'hectares de forêt qui ont été ravagés par des feux au cours de l'été 2023.

Le territoire entourant la ville de Lebel-sur-Quévillon et la communauté crie de Waswanipi a été lourdement impacté par des feux de forêt d'envergure. Un feu à proximité de la limite *est* de la ville a été considéré hors de contrôle pendant plusieurs semaines, forçant l'évacuation des résidents à deux reprises, de même que de la communauté de Waswanipi incommodée par la fumée des feux. Au total, ce feu a affecté plus de 480 000 hectares (ha) de forêt (SOPFEU, 2023). Une importante proportion des milieux naturels et anthropiques aux abords du chemin forestier menant au Projet (chemin R1050 [R1000] jusqu'au kilomètre 12, chemin R0853 [R5000] jusqu'au kilomètre 66, puis chemin R1053 [R6000] jusqu'au kilomètre 112 - Windfall) a ainsi été perturbée. Plusieurs camps et lieux de villégiatures ont été ravagés par l'incendie, incluant environ 28 camps appartenant à des membres de la Première Nation des Cris de Waswanipi (PNCW) (communication personnelle, 2023).

---

<sup>1</sup> Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs. Anciennement le ministère de l'Environnement du Québec (MENV), le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) et le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC).

Le Projet s'est également trouvé au cœur d'un feu de forêt d'une superficie totale de plus de 110 000 ha qui a démarré au nord du site le 1<sup>er</sup> juin 2023 (SOPFEU, 2023). En plus de provoquer l'arrêt des activités pendant plusieurs semaines, ce feu a significativement perturbé les milieux naturels sur l'ensemble de la portion ouest du site. Certains équipements du Projet ont été endommagés (toile de dôme, contenu dans des conteneurs, etc.), mais les principaux bâtiments servant aux travaux d'exploration avancée (échantillonnage en vrac) sont demeurés intacts (campement, carothèques, dômes d'entreposage, unité de traitement de l'eau, garage, etc.). Une diminution des sources d'approvisionnement d'eau souterraine (eau potable) a par ailleurs été observée au site. Un des puits d'eau potable utilisés a été complètement asséché.

L'élévation globale des températures, les variations du régime de précipitations, les plus longues périodes de sécheresse ainsi que la modification de la composition et de la répartition des espèces végétales qui caractérisent les changements climatiques sont notamment en cause de l'augmentation de la fréquence et de la sévérité des feux de forêt. Dans ce contexte où les changements climatiques sont susceptibles d'influencer le régime des feux de forêt et de contribuer à la fréquence et à la sévérité des feux de forêt, il apparaît pertinent d'identifier les effets principaux de ceux-ci sur les milieux naturels dans l'objectif de faire progresser les connaissances sur le sujet et de mitiger les impacts lorsque possible.

---

## 1.3 Objectifs du mandat

Considérant la proportion importante de milieux naturels perturbés dans la zone d'étude locale du milieu biophysique du Projet (carte 1-1), ainsi que les risques d'augmentation de la fréquence et de l'ampleur des feux de forêt en raison des changements climatiques, GMW a mandaté WSP Canada Inc. (WSP) pour effectuer une revue de littérature sur les effets des feux de forêt sur les habitats fauniques terrestres et aquatiques.

Les échanges qui ont eu lieu entre GMW et les utilisateurs du territoire/membres de la communauté crie durant la période active des feux de forêt ont mené au mandat de revue de la littérature sur les feux. Dans le but de fournir des réponses aux questions qui ont été adressées à l'équipe de GMW, il est ressorti qu'il était important de mieux comprendre les possibles impacts des feux et de les communiquer aux utilisateurs.

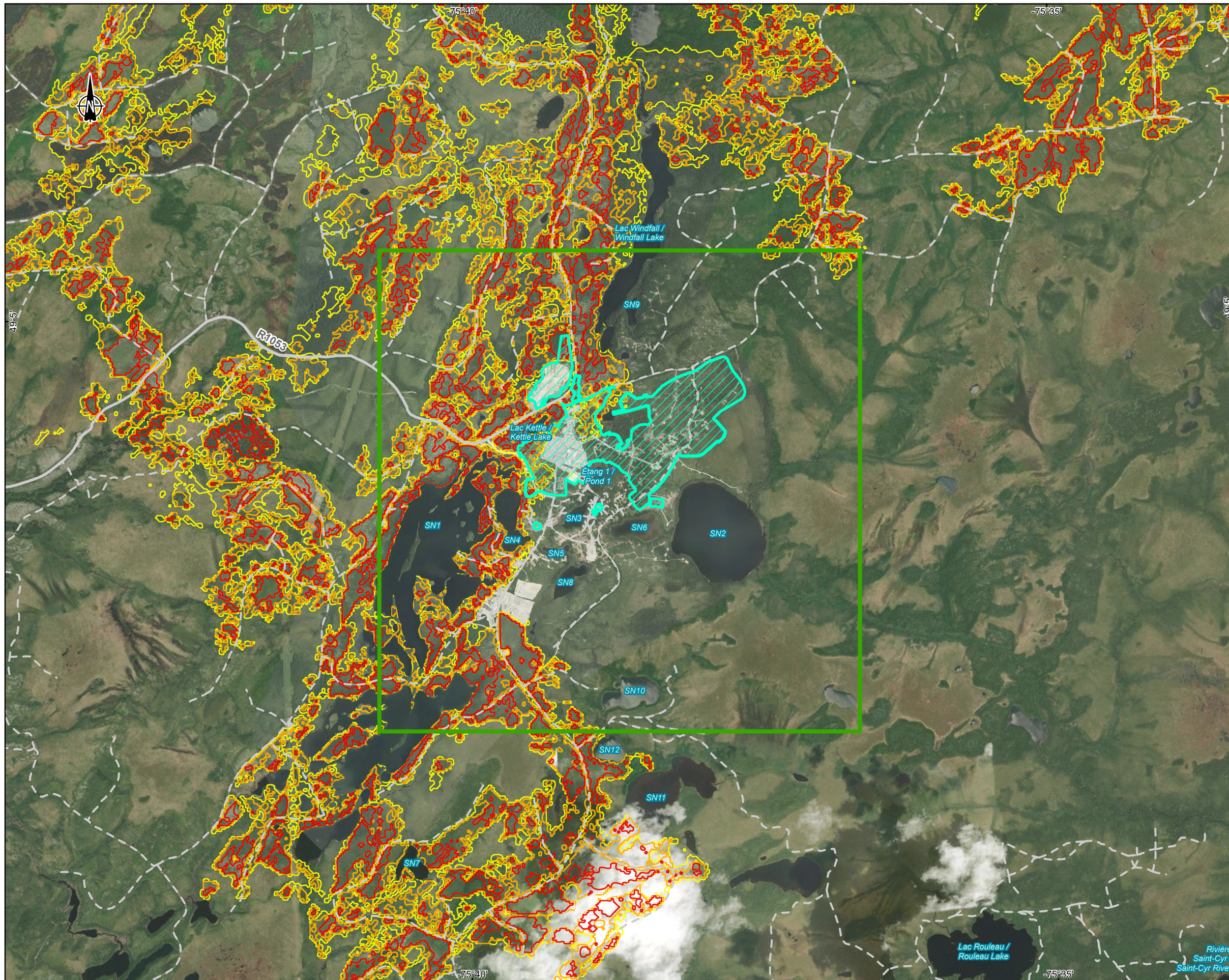
Cette revue de littérature s'inscrit comme premier volet du programme de biodiversité que GMW souhaite implanter. Le programme de biodiversité de GMW se veut un programme de compensation pour la perte qu'occasionnera le Projet sur le milieu naturel. En effet, selon l'empreinte du Projet, c'est 64,94 ha d'habitat en milieu terrestre qui sera perdu (64,29 ha d'empiètement permanent et 0,65 ha d'empiètement temporaire) et 48,16 ha en milieux humides et hydriques (47,20 ha d'empiètement permanent et 0,96 ha d'empiètement temporaire) à l'intérieur de la zone d'étude du Projet. À l'extérieur de la zone d'étude locale du milieu biophysique, l'aménagement de banc d'emprunt induira une perte de 19,96 ha de milieux terrestres. Bien que le Projet ne soit pas assujéti au Règlement sur la compensation pour l'atteinte aux milieux humides et hydriques (L.R.Q., C. Q-2, r. 9.1) considérant qu'il se situe au nord du 49<sup>e</sup> parallèle, GMW tient à faire sa part en compensant par le biais de recherche pour l'acquisition de connaissances scientifiques, tout en proposant des moyens pour favoriser la reprise de la biodiversité. Ainsi, le programme de biodiversité a pour objectif, notamment, de mieux comprendre les effets des feux de forêt sur les habitats fauniques terrestres et aquatiques par le biais de cette revue de littérature et d'études environnementales complémentaires, mais aussi de voir comment il est possible de préserver ou de contribuer à la protection de la biodiversité.

La revue de littérature permettra de comprendre ce qui se passe pour la faune et les habitats quand survient un feu de forêt. Elle vise à documenter le processus et la vitesse de régénération de la végétation ainsi que le temps requis pour le retour de la faune, en fonction des espèces. Une meilleure compréhension des effets, tant sur le milieu physique que sur le milieu biologique, est ainsi attendue.

Les objectifs spécifiques de la revue de littérature sont les suivants :

- documenter l'effet des feux de forêt sur le milieu physique (sol et eau de surface);
- documenter l'effet des feux de forêt et de la modification du milieu physique sur la faune terrestre et aquatique, ainsi que sur les habitats.





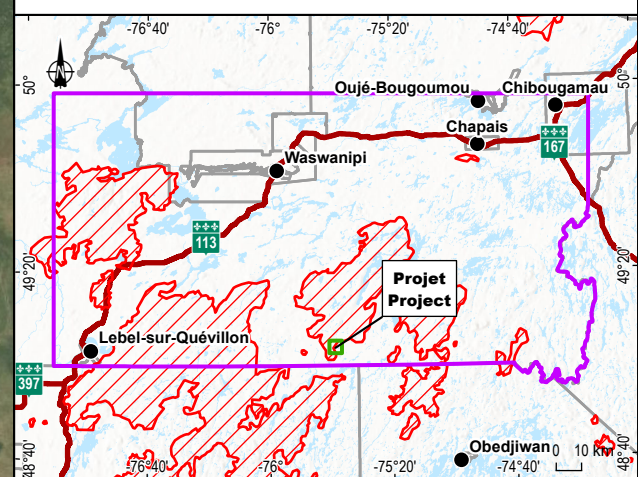
Limite administrative / Administrative boundary  
 Zone d'étude du milieu biophysique / Biophysical study area  
 Zone d'étude régionale / Regional study area  
 Zone d'empiètement des infrastructures projetées / Footprint of planned infrastructures  
 Limite approximative des feux de 2023 / Approximate limit of the 2023 fires (SOPFEU, 2023)

**Indice de sévérité des feux 2023 / 2023 Fires Severity Index**

Faible / Low  
 Moyenne-faible / Moderate-low  
 Modéré-élevé / Moderate-high  
 Élevé / High

**Réseau routier / Road Network**

Route principale / Main road  
 Chemin forestier principal / Main forestry road  
 Chemin forestier secondaire / Secondary forestry path



**WINDFALL**  
 GROUPE MINIER

Projet minier Windfall - Addenda 1 - Réponses aux recommandations et commentaires du MELCCFP /  
 Windfall Mining Project - Addendum 1 - Responses to MELCCFP Recommendations and comments

Site minier Windfall, Eeyou Istchee Baie-James (Québec) /  
 Windfall Mining Site, Eeyou Istchee Baie-James (Québec)

**Carte 1-1 / Map 1-1**  
**Indice de sévérité des feux de forêts 2023 / 2023 Fires Severity Index**

**Sources :**  
 BDTQ, 1/20 000, MRNF Québec, 2007  
 BNDT, 1/250 000, RINCAN, 2007  
 AQRéseau+, Réseau routier, MERN Québec, 2020-03  
 SDA, 1/20 000, MERN Québec, 2019-01  
 SOPFEU, Carte interactive, Feux éteints, 2023  
 Osisko, Orthophotographie du site, résolution de 20 cm, 2022  
 ESRI, World Imagery, Résolution de 0,5 m, 2012-06

0 0,43 0,86 km  
 MTM, Fuseau 9 / Zone 9, NAD83

2023-11-21

Préparation / Preparation : M.-H. Brisson  
 Dessin / Drawing : J. Roy  
 Vérifié par / Verification : M.-H. Brisson  
 CA0004658\_7070\_MAJ\_C1-1\_254\_SeveriteFeu\_231121.aprx  
 CA0004658\_7070\_MAJ\_C1-1\_254\_SeveriteFeu\_231121

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. / Boundary accuracy and measurements shown on this document are not to be used for engineering or land delineation purposes. No land analysis was carried out by a land surveyor.



## 2 Méthodologie

### 2.1 Paramètres généraux

La présente revue de littérature couvre les articles scientifiques et la littérature publiés durant la période 1990-2023. La recherche inclut les documents publiés en anglais et en français.

La recherche est structurée par paliers et comporte les niveaux de mots-clés suivants :

- Termes génériques ;
- Termes spécifiques à chaque composante.

Chaque palier comporte une série de mots-clés séparée par le terme booléen « OU » et chacun de ces paliers est relié par le terme booléen « ET ». Les mots-clés du premier palier sont les mêmes pour toutes les composantes. Les requêtes en anglais sont présentées au tableau 2-1.

**Tableau 2-1** Requête en anglais pour le premier palier de la revue de littérature

Catégorie	Requête
Termes génériques	(Forest Fire OR Wildfire OR Fire Regime OR Fire Adaptation)

### 2.2 Paramètres spécifiques

La revue de littérature pour les composantes spécifiques suit la méthodologie d'une revue systématique. Dans un premier temps, la requête en palier a été effectuée à l'aide des moteurs de recherche spécialisés. Ensuite, les résumés ont été révisés afin de ne sélectionner que les documents pertinents. Finalement, les documents ont été lus et synthétisés. Les mots-clés spécifiques qui s'ajoutent au premier niveau de la section 2.1 sont présentés au tableau 2-2.

**Tableau 2-2** Requête en anglais pour le deuxième palier de la revue de littérature

Catégorie	Requête
Milieu physique	(Soil Quality OR Water Quality OR River Geomorphology OR Runoff OR Erosion OR Soil Sterilization)
Végétation et milieux humides	(Plant Disturbance OR Flora Disturbance OR Vegetation Destruction OR Species Competition OR Pioneer Species OR Native Species OR Vegetation Recovery OR Plant Recovery OR Resprouting OR Postfire Recruitment)
Faune terrestre et habitat	(Terrestrial Wildlife Habitat OR Terrestrial Fauna Habitat OR Terrestrial Wildlife* OR Terrestrial Fauna* OR Native Species OR Terrestrial Wildlife Diversity OR Terrestrial Fauna Diversity OR Terrestrial Wildlife Abundance OR Terrestrial Fauna Abundance OR Terrestrial Wildlife Movement)
Faune aquatique et habitat	(Aquatic Wildlife Habitat OR Aquatic Fauna Habitat OR Fish Habitat OR Fish* OR Aquatic Wildlife* OR Aquatic Fauna* OR Native Species OR Aquatic Wildlife Diversity OR Aquatic Fauna Diversity OR Fish Diversity OR Aquatic Wildlife Abundance OR Aquatic Fauna Abundance OR Fish Abundance OR Aquatic Wildlife Movement OR Aquatic Fauna Movement OR Fish Movement)



## 3 Résultats et discussions

---

### 3.1 Effets des feux de forêt sur le milieu physique

Les conditions du milieu biologique, de même que la biodiversité, sont étroitement liées aux composantes du milieu physique. Pour évaluer les effets de feux de forêt sur la végétation et la faune, il est ainsi nécessaire d'identifier les modifications du milieu physique qui sont générées par les feux.

---

#### 3.1.1 Sols

##### 3.1.1.1 Propriétés physiques

Les feux de forêt peuvent modifier les propriétés physiques des sols. L'ampleur des altérations est toutefois fonction de la stabilité inhérente des propriétés affectées ainsi que des températures auxquelles elles sont soumises. La structure du sol et sa perméabilité peuvent être altérées à des températures relativement basses, mais en fonction de sa minéralogie, la texture du sol est seulement susceptible d'être modifiée à des températures très élevées. Les principales propriétés physiques du sol pouvant être impactées par les feux de forêt sont la texture du sol, la structure et la porosité (Neary *et al.*, 2005). La modification des propriétés physiques des sols peut accentuer les phénomènes de ruissellement de surface et d'érosion.

La texture du sol est caractérisée par un assemblage de constituants inorganiques qui se trouve dans la fraction minérale du sol. Elle est fonction, notamment, de la proportion de particules de sable (0,05 à 2 mm de diamètre), de silt (0,005 à 0,05 mm de diamètre) et d'argile (moins de 0,002 mm de diamètre). Les composantes inorganiques présentent un seuil de résistance élevé aux hautes températures et sont généralement peu affectées par les feux de forêt. L'argile peut toutefois se modifier lorsque la surface du sol minéral est soumise à des températures élevées (400 °C), ce qui peut conduire à un affaissement de la structure du sol. Il est à noter que lors d'un feu de forêt d'intensité élevée, les températures peuvent atteindre plus de 500 °C (Neary *et al.*, 2005).

La structure du sol est relative à la disposition des particules primaires en agrégats selon différents arrangements. L'humus joue un rôle central dans la structure du sol en agissant comme complexe liant avec les particules minérales pour former des agrégats. La structure du sol a pour principales fonctions de faciliter l'infiltration et la percolation de l'eau dans le profil du sol, ce qui limite le ruissellement de surface et l'érosion. L'agencement de la matière organique et des particules minérales contribue à la capacité d'adsorption de cations et à la capacité de rétention des nutriments dans le sol (Neary *et al.*, 2005).

Les feux de forêt peuvent significativement affecter la structure du sol. Considérant que la matière organique se concentre près de la surface, elle est grandement exposée à la chaleur produite lors de la combustion des parties aériennes de la végétation. L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des feux de forêt peut conduire à la réduction de la matière organique dans le sol et à l'exposition du sol minéral.

La transformation de la matière organique par le feu s'accompagne, d'autre part, d'une diminution de l'épaisseur de la couche de terre arable ainsi que d'une modification des réserves de nutriments et de la structure de cette couche.

Selon une étude réalisée en Russie (Krasnoshchekov *et al.*, 2013), la structure de la couche de terre arable sous le couvert d'une forêt de pins non perturbée est composée de débris de végétaux (70 %), d'aiguilles (5,4 %), de feuilles (0,3 %), d'herbes (3,6 %) et de fractions grossières (branches, écorces) (20,7 %). En contrepartie, il a été observé que la couche de terre arable dans une forêt de pins affectée par un feu présentait une plus grande proportion d'aiguilles (20 %) et les fractions grossières étaient largement dominantes (40 %). Des feuilles (0,4 %) et de l'herbe (2,5 %) étaient toujours présentes, alors qu'une proportion de charbon (4,5 %) et de poussières (32,6 %) s'ajoutait à la composition de cette couche de sol.

La valeur seuil de modification de la matière organique se situe à des températures plutôt basses. Des températures entre 50 et 60 °C entraînent la destruction d'une part importante des microorganismes du sol, ce qui réduit la quantité et la taille des espaces interstitiels dans le sol (DeBano, 1990). La diminution de ces espaces interstitiels abaisse les taux d'infiltration et de percolation de l'eau dans le profil de sol. À des températures de plus de 200 °C, la matière organique est distillée alors qu'à plus de 350 °C, elle est carbonisée. La combustion de la matière organique peut aussi conduire à un état de sol hydrofuge du fait de la compaction du sol, accentuant la diminution de l'infiltration. En déplaçant les particules de sol en surface et la cendre accumulée, les pluies abondantes contribuent aussi à l'obstruction des pores du sol et à sa compaction. Le ruissellement de surface peut s'en trouver augmenté, accentuant ainsi l'érosion de surface (Neary *et al.*, 2005; Jager *et al.*, 2021).

L'accumulation de cendre modifie également les propriétés physiques du sol. Les résultats des études sur le sujet divergent toutefois. Comme mentionné aux paragraphes précédents, l'incorporation de cendres peut obstruer les pores du sol et réduire le taux d'infiltration et la percolation (Neary *et al.*, 2005; Bodi *et al.*, 2012). En contrepartie, une étude conclut que l'addition de cendres dans le sol peut aussi augmenter la rétention de l'eau en favorisant une homogénéisation sur une certaine portion du paysage (Ebel *et al.*, 2012). Il a aussi été démontré qu'une couche de cendre de plus de 5 mm d'épaisseur pouvait réduire l'imperméabilité du sol en augmentant la pression hydraulique et le contact entre l'eau et le sol. Le phénomène de ruissellement peut donc soit être accentué ou réduit par l'effet d'accumulation de la cendre, en fonction de l'épaisseur de la couche, du type de sol et des conditions météorologiques (Neary *et al.*, 2005).

En plus d'induire des effets sur la perméabilité du sol, les feux de forêt augmentent la proportion de sols dénudés et diminuent le couvert de la canopée, ce qui laisse les sols davantage exposés aux intempéries (Moody *et al.*, 2013). Ces facteurs combinés contribuent également à l'augmentation du ruissellement de surface et de l'érosion.

L'amplitude des modifications des propriétés physiques du sol est fonction de plusieurs facteurs, incluant le seuil de température des propriétés du sol et l'intensité des feux de forêt.

### 3.1.1.2 Propriétés chimiques et biologiques

#### Propriétés chimiques

La modification des propriétés chimiques du sol est grandement fonction de l'intensité des feux de forêt et de la température atteinte. Les feux de faible intensité affectent majoritairement la partie aérienne de la végétation et exercent une influence minimale sur les propriétés chimiques des sols. Ils peuvent néanmoins provoquer une légère augmentation du pH, des nutriments et de certains métaux lourds (Khanna *et al.*, 1994; Marozas *et al.*, 2013). Les feux de forêt d'intensité modérée ou élevée ont pour leur part des conséquences plus marquées sur la composition chimique du sol. Ils sont plus susceptibles d'affecter les composantes inorganiques du sol à une température de plus de 500 °C (Khanna *et al.*, 1994).

Ils peuvent augmenter le pH, augmenter ou diminuer les réserves et spéciations des nutriments et augmenter significativement la concentration de métaux lourds dans le sol (Mackenzie *et al.*, 2004; Certini, 2005).

Les modifications chimiques engendrées par les feux de forêt dépendent, notamment, de la quantité totale de combustible brûlé, du type de combustible et du degré de combustion. Le degré de combustion de la matière organique influence les réserves de nutriments qui pourront soit se volatiliser ou être transformés dans une forme hautement profitable pour les microorganismes et la végétation. L'azote (N) est l'un des nutriments les plus affectés par le feu. Il se volatilise à des températures relativement basses. (Neary *et al.*, 2005). Plusieurs études ont toutefois démontré une augmentation des concentrations d'azote (N) à moyen terme, de quatre à cinq ans après le feu (Marozas *et al.*, 2013; Krasnoshechekov *et al.*, 2013).

Une haute combustion (450 °C) peut aussi fortement réduire les concentrations de carbone organique dans les cendres et augmenter la portion minérale. La fraction minérale restante est susceptible de présenter un pH élevé en solution. L'incorporation des cendres dans le sol peut ainsi temporairement augmenter le pH et modifier la concentration de nutriments (Bodi *et al.*, 2014). L'augmentation du pH est souvent plus marquée immédiatement après un feu d'intensité élevée, lorsqu'une combustion complète est réalisée et que les cendres sont fortement basiques (oxydes, hydroxydes et carbonates de potassium [K], calcium [Ca] et magnésium [Mg]) (Mitic *et al.*, 2015). Le pH peut cependant diminuer après les premières précipitations en raison de l'effet de dissolution et de lessivage. Il est à noter que les métaux sont plus solubles dans un environnement acide, avec des valeurs de pH basses.

Des études ont noté une augmentation significative de calcium (Ca), de magnésium (Mg) et de potassium (K), ainsi qu'une faible hausse de sodium (Na), d'aluminium (Al), de fer (Fe), de manganèse (Mn), de zinc (Zn) et de silicium (Si) après la déposition d'une couche de cendre au sol (Andreu *et al.*, 1996; Pereira *et al.*, 2013; Khanna *et al.*, 1994). En contrepartie, les cendres entraînées par le vent et le ruissellement peuvent induire une réduction des nutriments totaux dans l'écosystème (Raison *et al.*, 2009).

Selon une étude réalisée en Lituanie dans des peuplements de pins sylvestres (*pinus sylvestris*), des feux de surface de faible intensité n'ont démontré qu'une légère augmentation du pH et de l'azote (N) dans la matière organique, ainsi que de l'oxyde de potassium (K<sub>2</sub>O) et de certains métaux lourds (Cd, Cr, Cu, Mn, Zn et Fe) dans la portion minérale (Marozas *et al.*, 2013). Au cours de la première année suivant le feu, la concentration d'azote (N) dans la matière organique était plus faible au site brûlé qu'à l'emplacement de référence (non perturbé). Quatre ans plus tard, la concentration d'azote (N) au site affecté par le feu était toutefois plus élevée qu'au point de référence et excédait les concentrations de l'état initial (avant le feu). En concordance avec ces résultats, le ratio C/N était plus élevé la première année et plus faible quatre ans après le feu. La concentration d'oxyde de potassium (K<sub>2</sub>O) était pour sa part légèrement plus élevée après le feu, tant à l'année 1 qu'à l'année 4. Une augmentation de la concentration de certains métaux lourds (Cd, Cr, Cu, Mn, Zn et Fe) a été également observée dans la portion minérale de terre arable (0-5 cm) après le feu. Selon Marozas *et al.* (2013), la modification des propriétés chimiques du sol était toutefois peu significative.

Une autre étude réalisée dans une forêt de pins en Russie, au sud-ouest de la région Baikal, a démontré une augmentation de la concentration d'azote (N) et de métaux lourds (Fe, Al, Ca, Mg et Mn) dans le sol cinq ans après un feu de forêt d'intensité modérée. En contrepartie, les réserves de phosphore (P) et de potassium (K) avaient diminué (Krasnoshechekov *et al.*, 2013).

Plus récemment, Popovych et Gapalo (2021) ont effectué une étude sur la concentration de métaux lourds dans les sols suivant des feux dans des forêts de pins sylvestres (*pinus sylvestris*) et dans des prairies en Ukraine. Dans les quatre zones échantillonnées, les plus hautes concentrations de métaux lourds de formes mobiles étaient pour le nickel (Ni), le manganèse (Mn), le cobalt (Co), le cadmium (Cd) et l'arsenic (As). Ces hautes concentrations de métaux lourds se trouvaient dans les couches supérieures du sol.

Finalement, selon des recherches effectuées par Mitic *et al.* (2015) sur les effets des feux de forêt sur le sol et la concentration de métaux dans les plantes en Serbie, la majorité des échantillons de sols prélevés démontrait une augmentation des métaux dans le sol, sauf pour le cadmium (Cd).

## Propriétés biologiques

L'effet des feux de forêt sur les microorganismes du sol dépend de plusieurs facteurs, notamment de l'intensité du feu, des caractéristiques initiales du site et de la composition des communautés avant le feu (Neary *et al.*, 2005).

Considérant que la survie des microorganismes dépend directement de la composition et des systèmes du sol, l'un des aspects les plus déterminants est l'exposition à la chaleur (intensité et profondeur) de la portion organique qui modifie les propriétés physiques et chimiques du sol. Les feux de forêt peuvent induire des changements sur les populations microbiennes du sol en raison de la modification de la teneur en eau du sol et de l'augmentation de nutriments provenant de la combustion de la couche organique (Neary *et al.*, 1999). La récupération et la recolonisation des microorganismes après un feu de forêt peuvent d'autre part varier en fonction de la qualité et de la quantité du substrat ainsi que du recrutement dans les écosystèmes environnants. Dans le cas de perturbations sévères, le recrutement de la flore et de la faune du sol à partir des écosystèmes voisins est généralement essentiel au rétablissement des communautés de microorganismes. Finalement, il convient de noter que la biomasse microbienne est aussi influencée par les saisons, alors que des quantités plus importantes sont observées au printemps. Les suivis des communautés microbiennes du sol après un feu de forêt doivent donc considérer ce facteur (Mabuhay *et al.*, 2006).

Selon une étude de Mabuhay *et al.* (2006) effectuée au Japon, l'activité microbienne était plus élevée cinq mois après un feu de forêt. L'activité était toutefois plus faible dans les années ultérieures. Une des conclusions de l'étude était que 11 ans après le feu, la biomasse microbienne du sol était loin d'être retournée à des niveaux similaires aux conditions initiales.

---

### 3.1.2 Hydrologie

Les feux de forêt peuvent entraîner des modifications hydrologiques de l'approvisionnement en eau, notamment en raison de la mise à nu des sols, de l'imperméabilisation des sols et de la diminution de la canopée (interception de la pluie) qui affectent le ruissellement de surface (Bodí *et al.*, 2014; Ebel *et al.*, 2022). Conséquemment, l'augmentation du ruissellement élève le risque de crues soudaines en fonction des conditions météorologiques (Conedera *et al.*, 2003; Ebel *et al.*, 2022). Plus largement, les feux de forêt peuvent affecter les rendements annuels de l'eau, les débits moyens et de crues de même que les événements d'inondation (Neary *et al.*, 2001).

Le principal effet des feux de forêt sur l'hydrologie est l'augmentation marquée des débits de crues qui peuvent être jusqu'à 100 fois plus élevés que les débits de crues préalablement enregistrés. L'ampleur de l'augmentation des débits de crues est fonction de la sévérité des feux de forêt, des superficies affectées et de la taille des bassins versants. La hausse des débits de crues peut significativement affecter les conditions physiques des cours d'eau en augmentant l'érosion des berges (Neary *et al.*, 2001).

À plus long terme, les effets des feux de forêt sur l'hydrologie dépendent de l'intensité des précipitations qui peuvent induire une affluence de débris dans les rivières, notamment des débris de bois et des sédiments, particulièrement dans les secteurs qui présentent des pentes abruptes (Jager *et al.*, 2021).

Les apports de matériaux larges comme les débris de bois peuvent par ailleurs créer des bassins en aval qui contribuent à la déposition des sédiments, formant ainsi des plaines d'inondation et des terrasses (Benda *et al.*, 2004). À plus long terme, ces modifications hydrogéomorphologiques peuvent ralentir les débits moyens et créer des refuges pour la faune aquatique (Jager *et al.*, 2021).

La vitesse de régénération de la végétation influence la récupération des conditions hydrologiques en induisant un retour à la normale des taux d'infiltration, des débits moyens et de débits de crues (Kunze et Stednick, 2006; Heath et al., 2014; Nolan et al., 2015; Ebel et al., 2022).

---

### 3.1.3 Qualité de l'eau de surface

La qualité de l'eau de surface des plans d'eau et cours d'eau peut être significativement altérée par les feux de forêt. Les effets les plus immédiats sont l'augmentation de la température de l'eau et des apports de sédiments et cendres, ainsi qu'une modification des paramètres physicochimiques de l'eau de surface (Jager *et al.*, 2021). L'importance des effets sur la qualité de l'eau est également fonction de la sévérité des feux de forêt, mais pas nécessairement de l'intensité. La sévérité fait référence à la quantité ou superficie de végétation brûlée, alors que l'intensité réfère plutôt à la température atteinte. Ainsi, les feux plus sévères consomment davantage de combustibles, libérant davantage de nutriments et dénudant de plus grandes superficies de sol sujet à l'érosion (Neary *et al.*, 2005).

#### 3.1.3.1 Augmentation de la température de l'eau

Lors de feux de forêt sévères, la température des petits cours d'eau et plans d'eau peut s'élever rapidement. Dans certains cas, la fumée peut toutefois modérer l'augmentation de la température, en réduisant le rayonnement solaire. Selon certaines études, l'augmentation de la température dans les plans d'eau des secteurs affectés par les feux peut se maintenir durant plusieurs années en raison de la diminution de la végétation riveraine et du couvert de la canopée (Dunham et al., 2007; Schultz et al., 2017).

#### 3.1.3.2 Augmentation des débris, des matières en suspension et de la turbidité

Un des effets presque immédiats des feux de forêt est la déposition de cendres et de débris dans les eaux de surface. De grandes quantités de cendres et de particules peuvent être transportées dans les cours d'eau et se déposer dans les zones d'eau plus stagnante en aval (Jager *et al.*, 2021). Les événements de fortes précipitations peuvent ultérieurement accélérer le phénomène d'érosion des sols dénudés par le feu et ainsi augmenter la quantité de matières en suspension (MES) dans les cours d'eau, de même que la turbidité (Moody *et al.*, 2013). Une étude effectuée dans l'état du Nouveau-Mexique aux États-Unis suivant un feu de forêt de 63 400 ha d'intensité modérée à sévère a par ailleurs démontré que des inondations subséquentes ont provoqué des montées importantes de turbidité (jusqu'à 2500 NTU) (Dahm et al., 2015).

### 3.1.3.3 Modification des paramètres chimiques de l'eau de surface

Comme mentionné à la section 3.1.1. Les feux de forêt peuvent augmenter les concentrations de métaux et nutriments dans le sol (Jager *et al.*, 2021; Ebel *et al.*, 2022). Le ruissellement de surface amplifié transporte des métaux et des nutriments vers les cours d'eau et plans d'eau. Les cendres déposées et les particules de sols détachées par l'érosion contribuent d'autre part à la hausse des métaux et des nutriments dans l'eau de surface. La sévérité des feux de forêt conditionne en partie la charge de métaux dissous et totaux dans les cours d'eau.

Les feux de forêt sévères détruisent une très grande proportion de la végétation et de la matière organique, accentuant les phénomènes d'érosion et de ruissellement, en plus de diminuer l'immobilisation des métaux dans le sol et l'assimilation par les plantes. Le retour de la végétation suivant un feu de forêt influence ainsi le temps de récupération de la chimie des eaux de surface. Les concentrations de contaminants peuvent diminuer avec la reprise des végétaux qui réduisent l'érosion et immobilisent les métaux et nutriments dans les sols (Jager *et al.*, 2021).

Le mercure (Hg) fait partie de la liste des métaux pouvant présenter une augmentation de concentration dans les cours d'eau et plans d'eau après un feu de forêt. La présence de mercure dans l'habitat du poisson est une source de préoccupation puisque sous sa forme méthylée, le méthylmercure (MeHg) se bioaccumule dans la chair du poisson et pose un risque de consommation pour les utilisateurs du territoire. Considérant que les forêts sont un important puits de séquestration du Hg, les feux peuvent libérer du mercure par volatilisation ou par ruissellement. Bien qu'une proportion significative du Hg se volatilise dans l'atmosphère, les cendres en contiennent souvent d'importantes quantités qui pourront se retrouver dans les cours d'eau, par ruissellement de surface ou par l'érosion éolienne (Li *et al.*, 2022). Selon une étude effectuée dans un lac en aval du réseau hydrologique lors d'un feu de forêt dans la province d'Alberta au Canada, une augmentation de la bioaccumulation de MeHg a été observée dans l'écosystème aquatique (Kelly *et al.*, 2006). Les auteurs soutiennent que les résultats de l'étude démontrent que la cendre générée par des feux de forêt de faible intensité peut avoir des effets importants sur le cycle du mercure dans l'environnement aquatique.

Les études examinant l'influence des feux de forêt sur le pH de l'eau présentent des conclusions divergentes. Sur certains sites, une hausse du pH a été constatée alors que sur d'autres, c'est plutôt une diminution du pH qui est enregistrée. La hausse du pH, qui concorde avec les propriétés basiques de la cendre, est toutefois plus souvent répertoriée (Dahm *et al.*, 2015). Dans le cas des recherches effectuées par Dahm *et al.* (2015), une baisse du pH a été observée suivant des événements de crues après le feu de forêt de Las Conchas au Nouveau-Mexique. Selon les chercheurs, la baisse du pH peut s'expliquer par des périodes de turbidité très élevées où des quantités importantes de carbone noir étaient présentes dans le cours d'eau, provoquant une réaction biochimique en chaîne.

Les feux de forêt peuvent également conduire à une augmentation de carbone organique dissous (COD) dans les cours d'eau et les plans d'eau en raison de l'apport supplémentaire de MES et de la réaction de réduction de la couche détritique. Des recherches dans le sud-est des États-Unis ont permis d'observer que l'augmentation de COD à la suite d'un feu de forêt était plus marquée après un événement de fortes précipitations (Zang, 2017). L'étude de Dham (2015) réalisée au Nouveau-Mexique a par ailleurs démontré que des événements d'inondation peuvent conduire à une baisse importante de l'oxygène dissous dans l'eau de surface. Cette baisse d'oxygène dissous peut être associée à une plus grande demande chimique ou biologique. Les cendres se retrouvant dans l'eau peuvent contenir, notamment, des sulfures et des métaux réduits qui réagissent avec l'oxygène dissous, augmentant ainsi la demande chimique en oxygène. D'autre part, des quantités significatives de matières organiques partiellement oxydées par les feux de forêt peuvent se retrouver dans les cours d'eau et plan d'eau. La décomposition aérobie du COD par les microorganismes peut engendrer de fortes baisses d'oxygène dissous (Dahm *et al.*, 2015).

Selon une étude examinant les effets des feux de forêt sur 121 sites à travers le monde (Hampton *et al.*, 2022), une augmentation des concentrations de carbone (C), d'azote (N) et de phosphore (P) dans les cours d'eau a été constatée pour la majorité des sites. Pour 90 % des sites, les suivis ont été réalisés sur une période de 5 ans ou moins. Les résultats de cette méta-analyse ont par ailleurs démontré que le feu est susceptible d'altérer les spéciations de l'azote (N) et du phosphore (P) en augmentant en moyenne de 40 à 60 % la proportion de N et P en forme inorganique soluble. Les ratios C:N et C:P ont pour leur part diminué de 60 à 70 %. Une corrélation entre les périodes de crues et l'augmentation du phosphore (P) dans les cours d'eau après des feux de forêt a aussi été observée. La plupart des sites étudiés ont d'autre part répertorié une augmentation des concentrations de nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), d'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), de phosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), de carbone organique dissous (COD) et de MES. Selon Hampton *et al.* (2022), il est difficile d'évaluer le temps de récupération de la qualité de l'eau suivant un feu de forêt puisque la majorité des études sont effectuées sur de courtes périodes.

Une étude sur les plaines côtières du sud-est des États-Unis a aussi démontré une prolifération d'algues dans les plans d'eau suivant des feux de forêt (Zang, 2017). Cette prolifération d'algues, qui est généralement de courte durée, découle de la transformation des nutriments organiques par la chaleur vers des formes inorganiques disponibles pour la végétation. Une recherche effectuée dans les Rocheuses canadiennes a démontré des résultats concordant avec ces conclusions (Emelko *et al.*, 2016). La modification des spéciations de phosphore (P) vers des formes plus biodisponibles avec une diminution des ratios N:P suivant un feu de forêt a eu pour effet de faciliter la prolifération d'algues dans les cours d'eau.

En fonction de la sévérité des feux de forêt, des études ont démontré que la qualité de l'eau pouvait se rétablir entre 1 et 3 ans après le feu ou, dans d'autres cas, perdurer pendant plus de 10 ans (Rust *et al.*, 2018; Rust *et al.*, 2019). Selon Rust *et al.* (2018), les charges d'azote (N) dissous et de phosphore (P) dissous sont demeurées élevées pour au moins 5 ans après environ 30 % des feux de forêt étudiés dans l'ouest des États-Unis. Des altérations à long terme de la qualité de l'eau ont été rapportées lorsque la sévérité des feux était très élevée, lorsque la proportion de matière organique dans les sols était élevée avant les feux et que la végétation a pris du temps à se remettre.

---

## 3.2 Effets des feux de forêt sur la végétation et les milieux humides

---

### 3.2.1 Perturbation de la végétation

L'impact des feux de forêt sur la végétation et les milieux humides dépend, comme pour les sols (section 3.1.1), de la sévérité et de l'intensité des feux. D'un côté, la sévérité des feux de forêt influence la superficie du couvert végétal qui sera affecté. L'intensité a pour sa part des effets sur les propriétés chimiques des sols et sur l'absorption et l'adsorption de métaux et nutriments par les plantes.

#### 3.2.1.1 Pérennité des espèces, abondance et diversité

Les feux de surface, qui sont généralement de faible intensité, affectent principalement l'assemblage des espèces végétales au sol. Ils peuvent favoriser le développement d'une flore herbacée et augmenter la concentration de nutriments disponibles dans le sol à court terme (Jayen *et al.*, 2006).

Selon l'étude de Marozas *et al.* (2013) dans des peuplements de pins sylvestres (*pinus sylvestris*) en Lituanie, le nombre moyen d'espèces par mètre carré a diminué significativement au cours de la première année suivant un feu de forêt de surface de faible sévérité. En contrepartie, le nombre moyen d'espèces a augmenté au cours des années subséquentes pour atteindre un niveau plus élevé que le site de référence (non affecté) à la quatrième année suivant le feu.

Les feux de terre qui atteignent la couche de terre arable sont pour leur part considérés comme un des facteurs les plus destructeurs de la dynamique des forêts de pins. Ce type de feu, qui affecte le sol plus en profondeur, peut provoquer un dessèchement des arbres et altérer leur capacité vitale, en fonction de l'ampleur des dommages causés. Selon une étude réalisée en Russie, la capacité vitale des arbres peut être affaiblie au niveau de la croissance et du développement jusqu'à 5 ans après un feu (Krasnoshchekov *et al.*, 2013). Les conclusions de cette recherche ont permis de constater que la couronne des arbres de petites et moyennes tailles était toujours endommagée après 5 ans. Le meilleur indicateur de la capacité vitale des arbres demeure toutefois fonction de leur croissance. Selon les anneaux de croissance des arbres de petites et moyennes tailles étudiés, leur capacité vitale était nettement inférieure aux arbres se trouvant dans les zones non perturbées (Krasnoshchekov *et al.*, 2013).

Miller *et al.* (2018) ont quant à eux étudié l'impact des feux sur les communautés de lichens dans les forêts de conifères en Californie, aux États-Unis. Les résultats de leurs recherches démontrent que l'abondance et la diversité de lichens sont significativement affectées par des feux de sévérité modérée et élevée. Quinze (15) ans après le feu, le lichen avait très peu recolonisé les sites où le substrat avait brûlé. En contrepartie, les feux de faible sévérité sont peu susceptibles d'avoir des effets notables sur les communautés de lichens.

Les feux de forêt de faible sévérité peuvent entraîner la réduction de la densité d'arbres. Ce phénomène est fréquemment observé dans les forêts d'épinettes noires de l'est de l'Amérique du Nord. Dans cette région, les feux de forêt se répétant à courts intervalles peuvent limiter la disponibilité des graines et favoriser les transitions de forêt à canopée fermée vers des forêts ouvertes (Baltzer *et al.*, 2021; Jager *et al.*, 2021). La réduction de la densité des peuplements peut toutefois être favorable à un accroissement de la diversité des lichens (Miller *et al.*, 2018).

### **3.2.1.2 Absorption et adsorption de métaux et nutriments par les plantes**

Comme abordé à la section 3.1.1, les feux de forêt, particulièrement ceux d'intensité élevée, sont susceptibles d'altérer les propriétés chimiques du sol. Les principaux effets sont l'augmentation de la concentration des métaux lourds dans le sol, ainsi que la modification des réserves et des formes de nutriments.

Les métaux présents dans le sol peuvent être absorbés ou adsorbés par les plantes. Les résultats d'une étude en Serbie (Mitic *et al.*, 2015) ont notamment démontré une plus grande concentration de métaux dans les plantes suivant un feu de forêt en comparaison des sites non exposés. Le feu est susceptible de causer une légère augmentation de la biodisponibilité des métaux pour les plantes du fait des réactions biotiques et abiotiques d'oxydoréduction qui sont engendrées. Ces réactions contrôlent l'état d'oxydation des éléments et donc leur mobilité.

Certains métaux qui interviennent dans des réactions d'oxydoréduction sont nécessaires à la croissance et à la reproduction des plantes. Ils participent à plusieurs processus biologiques, y compris aux réactions de respiration et de photosynthèse. Le cuivre et le zinc sont notamment des micronutriments importants pour les plantes lorsqu'ils sont présents en faibles quantités dans les sols (Mitic *et al.*, 2015). Les hautes concentrations de métaux sont toutefois toxiques pour les végétaux ainsi que pour les utilisateurs du territoire, qui peuvent consommer certaines parties des plantes contaminées.

Des nutriments essentiels pour la croissance des végétaux, comme l'azote (N) et le phosphore (P), peuvent par ailleurs être transformés en forme plus facilement assimilable pour les plantes quand les feux de forêt ont pour effet d'augmenter le pH d'un sol antérieurement plus acide. Cette modification du pH et de la disponibilité des nutriments qui accroît la fertilité du sol peut ainsi favoriser la croissance des plantes (Mitic *et al.*, 2015).

---

## 3.2.2 Recolonisation et cycles de succession des espèces

### 3.2.2.1 Mécanismes de recolonisation

Après un feu de forêt, différents mécanismes interviennent pour engendrer la recolonisation d'un site par les espèces végétales les plus résilientes. Les deux principaux sont la reprise des tissus survivants et le recrutement de semis. La reprise des tissus est caractérisée par la faculté de la plante de produire de nouvelles pousses à partir de bourgeons dormants, et ce, même après l'entière combustion des tiges. Le recrutement de semis se caractérise par la capacité des espèces de générer des semences résistantes au feu qui germent après un incendie. Les graines peuvent se trouver dans la canopée ou être emmagasinées dans le sol (Pausas et Keeley, 2014). Le recrutement de semis dans les années suivant un feu de forêt est un facteur déterminant dans la composition des forêts matures boréales (Baltzer *et al.*, 2021).

### 3.2.2.2 Cycles de succession et dominance des espèces dans la forêt boréale

#### Milieux terrestres

L'augmentation de la fréquence et de la sévérité des feux de forêt du fait de la modification des conditions climatiques influence les cycles de succession, ainsi que la dominance des espèces. Dans la forêt boréale, la transition d'une dominance de conifères vers une dominance de feuillus est de plus en plus observée en raison de la modification du régime de feu (Jager *et al.*, 2021; Baltzer *et al.*, 2021; Dawe *et al.*, 2022).

Le cycle de succession dans la forêt boréale débute normalement avec la régénération du peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*), pour transitionner vers le pin entre 30 et 80 ans après le feu. La dominance revient ainsi normalement aux conifères au fil des années. La plus grande proportion de conifères rend toutefois la forêt plus sujette aux feux. La dominance du pin persiste quand les intervalles entre les feux sont plus longs (Jager *et al.*, 2021). Dans le contexte actuel où les feux sont plus fréquents et plus sévères, le remplacement des conifères se fait plutôt au profit du peuplier faux-tremble, du peuplier baumier (*Populus balsamifera* L.) et des espèces de bouleau (*Betula*) (Jager *et al.*, 2021; Baltzer *et al.*, 2021). Dans certains cas, la réduction du manteau de neige et le stress hydrique occasionnés par les températures plus chaudes et par des conditions plus sèches peuvent aussi favoriser le remplacement des conifères par des prairies (Jager *et al.*, 2021).

Bien que l'épinette noire (*Picea mariana*), largement présente dans la forêt boréale en Amérique du Nord, dépende du feu pour sa régénération, elle est de moins en moins résistante aux feux plus fréquents et de haute sévérité qui altèrent sa stratégie de régénération. Cette perte de résilience transparait dans la modification de la dominance lors des états successifs qui transitionnent vers les feuillus ou dans d'autres cas, vers le pin gris (*Pinus banksiana*). Ce changement de dominance engendre des impacts sur les écosystèmes et particulièrement sur les habitats de la grande faune et la séquestration du carbone (Baltzer *et al.*, 2021).

Selon une étude de Baltzer *et al.* (2021) abordant les effets des feux de forêt sur la forêt boréale en Amérique du Nord, l'épinette noire était résiliente sur la majorité des sites étudiés (62 %). La perte de résilience était toutefois commune et un échec de régénération a été répertorié pour 18 % des 1 140 sites. Il a été constaté que l'épinette noire était plus persistante sur les sites qui avaient conservé une épaisse couche de matière organique après le feu. Selon les chercheurs, l'épaisseur résiduelle de la couche de matière organique est un facteur déterminant du succès de régénération des arbres de la forêt boréale influençant la résilience des conifères et le potentiel d'expansion des feuillus. Les feux de forêt sévères sur les sites bien drainés peuvent suffisamment réduire la couche de matière organique pour favoriser la recolonisation par des espèces à croissance rapide, comme le peuplier faux-tremble et le bouleau. Certains sites favorisant l'accumulation de matière organique et préservant une bonne humidité peuvent toutefois servir de refuge pour l'épinette noire, même s'ils offrent un potentiel de croissance plus lent.

Dawe *et al.* (2022) ont de leur côté étudié l'impact des feux sur la végétation dans les forêts de pins gris des Territoires du Nord-Ouest au Canada. Selon les résultats de leurs recherches, l'assemblage des espèces d'arbres recrutées diffère des peuplements présents avant le feu sur la moitié des sites inventoriés. La dominance des espèces de la strate arborescente a ainsi considérablement changé dans les 5 ans suivant le feu. Plusieurs sites étudiés sont notamment passés d'une dominance d'épinette noire ou de pin gris vers une dominance de peuplier faux-tremble. La dominance du peuplier faux-tremble a été observée sur 41 % des sites 5 ans après le feu, alors que cette espèce ne représentait que 6 % de la strate arborescente avant l'incendie. Au total, 69 % des sites ont connu une augmentation de la proportion de feuillus après le feu. Il est possible que cette nouvelle dominance du peuplier faux-tremble soit transitoire et que suivant le cycle de succession habituel de la forêt mixte boréale, les conifères se rétablissent au cours de la dernière phase de succession. L'analyse des tendances climatiques de la région qui indique un réchauffement potentiel et une plus grande sécheresse porte toutefois à croire que ces changements dans la composition des peuplements forestiers persisteront dans le temps, particulièrement si la fréquence et la sévérité des feux continuent d'augmenter comme ailleurs au Canada.

Bien que la composition des semis d'arbres semble atteindre un équilibre seulement quelques années après le feu, certains peuplements pourraient connaître des changements de dominance encore plusieurs années après le feu. Par ailleurs, même si des peuplements ont conservé leur dominance initiale après le feu, l'étude de Dawe *et al.* (2022) a démontré que ces derniers subissent tout de même des changements au niveau de la densité qui conduit à une ouverture de la canopée. Dans certains cas, la densité des peuplements est demeurée faible après 5 ans.

De manière générale la persistance du couvert forestier dans la forêt boréale de l'Amérique du Nord dépend du recrutement immédiat et vigoureux de semis suivant un feu. Ce sont ainsi les premières années qui sont déterminantes pour le développement des peuplements. La qualité et l'ampleur du recrutement de semis sont fonction de la présence suffisante de propagules, de l'épaisseur et de la qualité de la couche de matière organique, ainsi que des conditions propices à la germination après le feu. Lorsque ces conditions ne sont pas réunies, la dominance des espèces peut être modifiée ou conduire à une conversion vers de la végétation non forestière (prairie). Les classes de sévérité des feux de forêt n'ont *a priori* qu'une influence négligeable sur la régénération des arbres (Dawe *et al.*, 2022).

Pour ce qui est des strates arbustives et herbacées, les perturbations occasionnées par les feux de forêt sur la densité et la composition de la végétation semblent se poursuivre au-delà de 5 ans. Un autre constat de l'étude de Dawe *et al.* (2022) est que la succession des assemblages des strates arbustives et herbacées après un feu de forêt varie entre les types de peuplements et contrairement à la strate arborée. Le couvert végétal pour ces strates a par ailleurs tendance à se densifier avec les années dans tous les types de peuplement.

Cela s'explique, notamment, par l'ouverture de la canopée et la diminution de la densité de la strate arborescente qui peuvent favoriser la croissance des espèces des sous-étages. Pour les forêts mixtes, l'augmentation de la couverture végétale vasculaire était selon cette étude dominée par des plantes herbacées.

Dans certains peuplements, les assemblages antérieurs de la strate arbustive ont largement conditionné la composition des espèces après le feu, alors que les espèces d'arbustes plus résilientes (*Salix pp*, *Betula spp* et *Alnus spp*) ont rapidement drageonné ou repoussé à partir de leur base brûlée. Pour les peuplements qui présentaient initialement moins d'espèces résilientes, les espèces de succession précoce ont permis une revégétalisation rapide grâce à la germination de banques de semences et à l'invasion (Dawe *et al.*, 2022).

Outre la présence d'espèces résilientes, les interactions biotiques peuvent également influencer la récupération et la composition de la végétation après un feu de forêt. Ces interactions sont notamment susceptibles d'expliquer les divergences de recolonisation dans les différents types de peuplements. Le broutage par la grande faune, comme l'original (*Alces alces*), peut par exemple influencer la régénération et la composition des espèces dans les années suivant un feu. La composition et la densité des communautés arbustives peuvent par ailleurs faciliter ou entraver le développement de la strate arborescente. La germination rapide et vigoureuse d'arbustes de type *Ericaceae* peut notamment entraver la croissance des arbres (Dawe *et al.*, 2022).

Comme abordé à la section 3.2.1.1, le nombre moyen d'espèces peut augmenter dans les années suivant un feu de forêt, notamment dans la strate herbacée. Selon l'étude effectuée par Marozas *et al.* (2013) en Lituanie, cette augmentation du nombre d'espèces était largement tributaire de la propagation d'espèces herbacées pionnières en début de succession. Contrairement aux espèces herbacées, les espèces de mousses sont moins résilientes et se régénèrent plus difficilement après un feu. Toujours selon les recherches de Marozas *et al.* (2013) dans une forêt de pins sylvestres, seulement deux espèces de mousse étaient présentes avant le feu (*Pleurozium schereberi* et *Hylocomium splendens*), mais couvraient près de 90 % de la végétation au sol. Quatre ans après le feu, ces espèces étaient toujours en déclin et le couvert des mousses était beaucoup plus faible (1 à 2 %). De nouvelles espèces de mousse avaient toutefois recolonisé les sites brûlés (*Dicranum polysetum*, *D. scoparium*, *Ceratodon purpureus*, *Polytrichum juniperinum*).

Le lichen a un rôle important dans l'écosystème forestier puisqu'il fournit jusqu'à 50 % de l'azote disponible pour les plantes. Il est par ailleurs une source de nourriture et de matériel de nidification pour plusieurs espèces de mammifères, d'oiseaux et d'invertébrés. Comme les espèces de mousse, les espèces de lichen sont peu résistantes aux feux de forêt. Les feux de forte sévérité sont susceptibles de consumer la presque totalité des lichens épiphytes qui vivent sur l'écorce des arbres. Même si certaines espèces peuvent s'établir rapidement sur le bois brûlé après un feu, les communautés peuvent prendre jusqu'à 100 ans pour retourner à une composition et une abondance similaire à celles avant le feu. Selon les relevés effectués dans le cadre de l'étude de Miller *et al.* (2018), une perte de diversité de lichen a été observée sur l'ensemble des sites affectés par des feux de haute sévérité, pour tous les échantillons prélevés entre 4 et 16 ans après les feux. Il y avait ainsi peu de recolonisation, même 15 ans après les feux. Les conditions plus sèches et plus chaudes survenant après la réduction du couvert de la canopée peuvent d'autre part nuire au rétablissement des communautés de lichen. La diversité de lichen augmente de fait avec l'augmentation du couvert de la canopée.

En contrepartie, les feux de faible sévérité qui réduisent la densité des peuplements sans trop affecter la canopée peuvent dans certains cas favoriser le rétablissement des communautés de lichen. Considérant la modification du régime de feu en raison des conditions climatiques, la diversité de lichen est appelée à diminuer.

La dégradation des communautés de lichen est susceptible d'affecter les populations d'ongulés (p. ex. caribou) qui s'en nourrissent, provoquant ainsi un changement de comportement ou un déplacement des espèces (Miller *et al.*, 2018).

### **Milieux humides**

Les effets des feux de forêt sur les milieux humides sont plus mitigés que sur les milieux terrestres. Les milieux humides boisés peuvent agir comme refuge pour certaines espèces de conifères. L'étude de Dawe *et al.* (2022) réalisée dans les Territoires du Nord-Ouest au Canada considérait, notamment, l'effet des feux de forêt dans des milieux humides boisés. Selon les résultats de leurs recherches, le recrutement des semis après un feu était plus faible dans les milieux humides boisés en comparaison des milieux terrestres. Ce plus bas taux de recrutement initial reflétait le faible couvert arborescent et les nappes phréatiques plus élevées avant le feu, deux facteurs limitants. Une augmentation du taux de recrutement a toutefois été observée dans les années subséquentes, de sorte à atteindre une densité de régénération similaire aux peuplements mixtes et de pins gris 5 ans après le feu. Une croissance de la proportion d'arbustes a notamment été répertoriée dans les milieux humides boisés, entre 3 et 5 ans après le feu. Selon Benschoter *et al.* (2015), les feux sont susceptibles d'améliorer le substrat pour la germination dans les milieux humides par la création de microsites, facilitant ainsi le recrutement au cours des premières années. Par ailleurs, les milieux humides boisés affectés par le feu présentaient un plus haut couvert de bryophytes et lichens dans les trois premières années suivant le feu. Cela s'explique, notamment, par le moins grand impact des feux de forêt dans ce type de milieu.

---

## **3.3 Effets des feux de forêt sur la faune terrestre et les habitats**

---

### **3.3.1 Effets généraux des feux de forêt sur la faune terrestre**

#### **3.3.1.1 Déplacement des espèces**

Deux types de réactions peuvent être enclenchées chez les espèces fauniques perturbées par les feux de forêt : elles peuvent se déplacer vers des zones non perturbées ou se mettre à l'abri sur place. Les mammifères pouvant parcourir de plus grandes distances, comme la grande faune, ont tendance à se déplacer pour éviter les impacts négatifs à court terme lors d'un feu de forêt. Ils vont ainsi fuir les zones affectées. Les espèces moins mobiles comme les micromammifères et l'herpétofaune chercheront en contrepartie à se réfugier dans des habitats riverains et dans les plans d'eau et les cours d'eau ou, dans certains cas, dans des terriers (Jager *et al.*, 2021).

#### **3.3.1.2 Modification de l'habitat et des ressources**

Comme abordé à la section 3.2, les feux de forêt ont des impacts multiples sur les milieux terrestres et humides. La modification de la végétation entraîne à son tour des effets sur la composition des habitats fauniques et sur la faune. Au cours des premières années suivant un feu, la densité de la strate arborescente et de la canopée est généralement diminuée. En contrepartie, le couvert végétal des strates arbustive et herbacée est augmenté (Choi *et al.*, 2014). Davantage de chicots se retrouvent par ailleurs sur les sites brûlés en raison de la combustion partielle des arbres.

La présence d'arbres résiduels vivants, de bois mort et de chicot peut faciliter le retour de la faune terrestre vers un état antérieur à la perturbation (Fisher et Wilkinson, 2005).

Au cours du cycle de succession forestière après un feu, la forêt boréale en Amérique du Nord traverse généralement plusieurs stades de développement. Selon Lee (2002), quatre stades peuvent être distingués : le stade d'initiation (0-10 ans), le stade d'établissement (11-25 ans), le stade d'aggradation (26-75 ans) et le stade mature/vieux (76-125 ans). Le stade d'initiation se caractérise par une forte réduction de la densité des arbres et de la canopée, avec une abondance de débris ligneux au sol. Au cours du stade d'établissement, les espèces d'arbustes et d'herbacées sont à la hausse alors que les graminées diminuent. Environ 25 ans après un feu (stade d'aggradation), la strate arborescente commence à récupérer alors que la densité des arbres et le couvert de la canopée augmentent. Finalement, le stade de maturité est caractérisé par une structure hétérogène de la canopée et des peuplements, de grands arbres, un sous-étage développé, des chicots ainsi que des débris ligneux au sol (Fisher et Wilkinson, 2005).

Même si les études réalisées peuvent être des indicateurs du temps de régénération et des mouvements de la faune, il convient de rappeler que les peuplements brûlés ne sont pas uniformes et diffèrent en fonction de l'intensité et de la sévérité du feu, ainsi que des conditions initiales. La variabilité de la quantité et de la distribution des résidus de feu (arbres résiduels, végétation non brûlée, chicots, débris ligneux, etc.) influence de manière significative l'assemblage des communautés de mammifères après un feu de forêt (Fisher et Wilkinson, 2005). Les troncs d'arbres au sol jouent un rôle important en créant des microclimats et en fournissant des abris contre les prédateurs, ainsi que des sites de nidification (Jager *et al.*, 2021). Ils peuvent toutefois également constituer des obstacles aux déplacements de certaines espèces.

Les feux de forêt qui sont de plus en plus intenses et sévères peuvent, d'autre part, créer de larges parcelles dépourvues d'arbres, de sorte à fragmenter la structure des habitats fauniques. Certaines espèces qui ne sont pas en mesure de franchir de longues distances d'un habitat à l'autre sont ainsi confinées aux parcelles résiduelles non brûlées. D'autres espèces peuvent toutefois profiter des paysages plus diversifiés en utilisant les parcelles brûlées à différentes intensités en fonction du type d'habitats requis au cours de leur cycle de vie (Jager *et al.*, 2021). Les prédateurs bénéficient par ailleurs d'une plus grande visibilité dans les parcelles brûlées, au désavantage de leurs proies qui sont plus exposées (Fredriksson *et al.*, 2023).

En plus de modifier les habitats, les feux de forêt modifient aussi la quantité et la diversité des ressources disponibles pour la faune (Fredriksson *et al.*, 2023). Les types de végétation à succession précoce comme les espèces de feuillus, d'arbustes et d'herbacées peuvent, par exemple, augmenter les réserves de nourriture pour certains mammifères comme les orignaux. La diminution significative d'espèces végétales moins résilientes au feu (p. ex. lichen) peut toutefois diminuer les ressources alimentaires de certaines espèces comme le caribou.

### 3.3.1.3 Diversité et abondance

Les effets des feux de forêt sur la diversité et l'abondance des espèces fauniques sont liés à l'ampleur des modifications engendrées sur les habitats et les ressources. Les feux de forêt de faible et moyenne intensité qui surviennent à courts intervalles peuvent former de nouveaux types d'habitats qui favorisent la diversité de certaines espèces. Les feux de forêt plus sévères et intenses peuvent toutefois altérer la qualité des habitats d'espèces moins résilientes qui subiront ainsi une baisse de diversité (Santosa et Kwatrina, 2020). La gestion de la forêt qui est effectuée après un feu de forêt (coupe d'arbres, élimination des débris ligneux, plantation, etc.) peut, d'autre part, influencer le rétablissement des communautés fauniques (Choi *et al.*, 2014).

Selon une étude de Santosa et Kwatrina en Indonésie (2020), une diminution du nombre d'espèces et de la richesse a été observée dans les deux premières années suivant un feu, sans toutefois causer d'extinction des communautés de mammifères. Le nombre d'espèces a toutefois augmenté après 4 ans, de sorte à être supérieur à celui des zones non perturbées. En contrepartie, le nombre d'individus était plus bas sur les sites brûlés que sur les sites non affectés.

De manière générale, des études dans la forêt boréale en Amérique du Nord ont répertorié que les micromammifères et les ongulés présentent une plus grande abondance peu de temps après un feu de forêt, qui diminue avec l'âge de régénération des peuplements. Les espèces de lynx et de lièvres sont quant à eux plus rares dans les jeunes peuplements et les forêts matures et plus abondantes dans les peuplements de mi-succession. Pour ce qui est des chiroptères, des sciuridés et des mustélidés, leur abondance s'accroît avec l'âge des peuplements (Fisher et Wilkinson, 2005).

---

### 3.3.2 Effets spécifiques des feux de forêt sur les espèces terrestres

#### 3.3.2.1 Faune aviaire

La sévérité des feux de forêt influence de manière significative les effets sur les communautés d'oiseaux nicheurs. Immédiatement après un feu, une baisse de la diversité et de l'abondance des espèces est généralement observée. Des déclin à court terme ont été répertoriés pour les espèces ayant une nidification au sol, probablement en raison des perturbations de la litière de feuilles et de la couverture arbustive (Greenberg *et al.*, 2018). Plusieurs études ont toutefois noté une importante augmentation de la richesse et de la diversité des espèces, ainsi que de l'abondance de 3 à 5 ans après des feux de forêt de moyenne et haute sévérité (Klaus *et al.*, 2010; Rush *et al.*, 2012; Rose and Simons, 2016; Greenberg *et al.*, 2023). Une augmentation des espèces d'oiseaux nichant dans des cavités a notamment été observée après des feux de haute sévérité en raison du plus grand nombre de chicots et de l'ouverture de la canopée (Greenberg *et al.*, 2023). Les oiseaux nicheurs adaptés aux feux, comme le pic à dos noir (*Picoides arcticus*), répondent d'ailleurs positivement aux perturbations récentes des feux de forêt puisqu'ils se nourrissent de larves exposées du fait de la combustion de l'écorce des arbres (Jager *et al.*, 2021).

Selon les résultats de l'étude de Greenberg *et al.* (2023) qui se déroulait dans le sud des Appalaches en Caroline du Nord aux États-Unis, les résultats pour la diversité, la richesse et l'abondance étaient deux fois plus élevés 3 ans après des feux de forêt de haute sévérité, en comparaison des secteurs non impactés. Une augmentation de ces paramètres a aussi été constatée sur les sites avec des feux de sévérité modérée, mais sur une plus longue période (4 ans après le feu). L'augmentation de ces paramètres était notamment associée à une importante mortalité des arbres et à la régénération d'arbustes, ainsi qu'à une affluence d'espèces dépendantes des perturbations (passerin indigo [*Passerina cyanea*], paruline à flancs marron [*Setophaga pensylvanica*] et tohi à flanc roux [*Pipilo erythrophthalmus*]) et de réactions neutres ou positives des autres espèces. L'ouverture de la canopée est en effet susceptible de favoriser l'établissement de plusieurs espèces qui utilisent ce type d'habitat. En contrepartie, les feux de forêt de faible sévérité ont peu d'influence sur les communautés d'oiseaux nicheurs (Greenberg *et al.*, 2023).

Choi *et al.* (2014) ont pour leur part étudié les effets des feux et de la gestion de la forêt après un feu sur les communautés d'oiseaux nicheurs dans une forêt de pins en Corée. Ils ont ainsi comparé l'abondance et la richesse des communautés dans des peuplements brûlés sans intervention après le feu, dans des peuplements brûlés et exploités (récolte du bois après le feu), ainsi que dans des peuplements non perturbés. Les principales activités effectuées après le feu sur les sites exploités étaient la récolte de tous les arbres morts et des chicots, le retrait des débris ligneux ainsi que la plantation de semis de pins.

Les résultats de leurs recherches indiquent que la richesse pour les communautés d'oiseaux nicheurs était plus élevée dans les peuplements non perturbés et qu'elle est demeurée la même pour les périodes étudiées (de 2 à 5 ans et 6 à 8 ans après le feu). La richesse était par ailleurs plus faible dans les peuplements brûlés et exploités, en comparaison des peuplements brûlés non exploités. Pour ce qui est de l'abondance, elle était également plus élevée dans les peuplements non perturbés, mais il n'y avait pas de différence significative entre les peuplements brûlés exploités et non exploités. Similairement à d'autres études, les résultats ont démontré une baisse de la diversité immédiatement après le feu, qui a par la suite augmenté au fil des années. Il n'y avait toutefois pas de réelle modification de l'abondance dans la décennie suivant le feu.

Selon Choi *et al.* (2014), les conclusions sur les plus faibles richesse et abondance observées pour les sites brûlés exploités indiquent que la gestion de la forêt après un feu entrave la restauration des communautés d'oiseaux forestiers qui sont plus pauvres et très différentes des communautés d'origine. L'exploitation forestière de récupération va à l'encontre de plusieurs bénéfiques écosystémiques qui découlent des perturbations liées aux feux de forêt. Elle entrave, notamment, la régénération de la végétation, réduit les ressources biologiques et les habitats rares après les perturbations et augmente l'altération des propriétés des sols et de l'eau.

### 3.3.2.2 Chiroptère

Comme pour les oiseaux, une diminution de l'abondance des chiroptères est généralement observée après un feu de forêt. L'activité des chiroptères sur les sites brûlés varie toutefois en fonction des espèces, de la sévérité du feu et de la densité des arbres restants. La majorité des espèces de chiroptères évitent a priori les forêts denses pour chercher de la nourriture. Elles se perchent souvent dans de grands arbres (vivants ou morts) qui présentent des cavités ou des portions d'écorces qui se détachent (Fisher et Wilkinson, 2005). Selon certaines recherches, les feux de forêt génèrent des chicots qui peuvent être utilisés par les chiroptères (Taillie *et al.*, 2021).

Les espèces qui favorisent les habitats ouverts pour la recherche de nourriture, soit les plus grandes espèces de chauves-souris, sont plus souvent répertoriées sur des sites après des feux de haute sévérité. Dans les forêts denses et fermées, les feux de forêt peuvent ainsi provoquer une augmentation de l'abondance des espèces adaptées aux habitats ouverts. En contrepartie, les espèces qui ont une plus grande tolérance aux habitats fermés, soit les espèces avec des ailes plus petites, plus larges et arrondies qui sont plus agiles dans les forêts denses, seront impactées plus négativement par les feux fréquents ou de hautes sévérités (Jager *et al.*, 2021; Taillie *et al.*, 2021).

Peu de recherches ont étudié les effets des feux de forêt sur les chiroptères en fonction des états de succession. De manière générale, l'activité des chauves-souris au cours du stade d'initiation (0-10 ans) semble se limiter à la recherche de nourriture. L'activité est aussi considérée faible au cours des stades d'établissement (11-25 ans) et d'aggradation (26-75 ans). Les chiroptères profitent ainsi davantage des vieilles forêts, où leur abondance est plus importante. Ils utilisent notamment les cavités dans des arbres de large diamètre et peuvent se déplacer plus facilement dans les vieux peuplements moins encombrés en raison de la canopée élevée (Fisher et Wilkinson, 2005).

Selon une étude réalisée par Taillie *et al.* (2021) en Floride aux États-Unis sur les effets des feux sur l'activité des chauves-souris, les variations étudiées correspondent davantage aux caractéristiques des habitats perturbés qu'aux régimes de feux. Les résultats de cette étude ont démontré que les chauves-souris étaient plus actives dans les forêts, où le couvert de la canopée était intermédiaire avec une densité plus grande de la strate arbustive qui permet un meilleur accès aux ressources. Dans les forêts très ouvertes, l'activité était moins importante en raison des ressources moins abondantes et de la plus grande exposition aux prédateurs.

La fréquence des feux de forêt est toutefois susceptible d'influencer l'abondance de chiroptères. Les conclusions de l'étude indiquent en effet que l'activité était plus élevée dans les forêts avec une plus grande fréquence de feux dans les 20 dernières années. Les causes de cette plus grande activité ne sont toutefois pas clairement identifiées, considérant la variabilité des effets de la fréquence des feux de forêt sur la composition et la structure de la végétation.

### 3.3.2.3 Grande faune

#### Original

Les orignaux présentent généralement une plus grande abondance peu de temps après les feux de forêt, qui diminue dans les stades de succession ultérieurs (Fisher et Wilkinson, 2005). Cette augmentation de l'abondance s'explique notamment du fait de la plus grande disponibilité de fourrage (semis de feuillus, arbustes et herbacées) dans les jeunes stades de succession. Les feux augmentent aussi la productivité et ont donc un impact sur la qualité du fourrage (Fredriksson *et al.*, 2023).

Selon une étude réalisée en Alaska par MacCracken et Vierreck (1990), des orignaux ont été observés sur un site brûlé seulement quelques mois après un feu de forêt et y sont demeurés dans les quatre années suivantes. Certains orignaux qui avaient une exposition limitée à des sites brûlés avant le feu ont par ailleurs élargi leur domaine vital pour y inclure des milieux affectés par le feu. Les peuplements de peupliers faux-trembles affectés par le feu présentaient une abondance de fourrage deux mois après l'incendie, qui était près de 10 fois plus élevée que dans les peuplements matures d'épinettes et de bouleaux.

Une autre étude effectuée dans le nord de la Suède a par ailleurs démontré que la disponibilité du fourrage était plus élevée sur des sites brûlés que sur des milieux non perturbés (Fredriksson *et al.*, 2023). Selon les résultats des recherches, les modifications sur la composition et la quantité de fourrage ont persisté pendant au moins 12 ans après le feu de forêt. Le broutage par les orignaux était plus important au cours de cette période.

Les orignaux peuvent en contrepartie être affectés par la plus grande exposition aux prédateurs dans les habitats plus ouverts (p. ex. jeunes stades de succession), ce qui peut influencer sur leur taux de survie et de reproduction pendant les premières années suivant un feu. Les taux de survie et de reproduction sont ainsi plus élevés dans les stades de mi-succession que dans le stade d'initiation (Fisher et Wilkinson, 2005).

#### Caribou

Le caribou (*Rangifer tarandus*) se nourrit principalement de lichen. Comme mentionné à la section 3.2.2, le lichen a une faible résilience aux feux de forêt et un temps de régénération très long. Selon leur sévérité, les feux de forêt ont généralement tendance à inhiber la croissance du lichen. Même si le caribou se nourrit aussi de végétation arbustive durant l'été, qui est plus abondante dans les secteurs brûlés, le manque de lichen comme source de nourriture hivernale pousse souvent le caribou à éviter les zones brûlées. Le bois mort qui s'accumule au sol sur les sites brûlés agit aussi comme barrière aux déplacements de la grande faune (Fisher et Wilkinson, 2005).

Selon une étude d'Arsenault *et al.* (1997), la consommation de lichen par les caribous est plus importante dans les peuplements de plus de 50 ans que dans les peuplements âgés de 1 à 15 ans et de 31 à 50 ans. La végétation serait ainsi plus propice au retour du caribou au cours du stade d'aggradation (26-75 ans). La présence des caribous semble toutefois être plus importante encore dans les forêts de plus de 90 ans.

Les effets négatifs des feux de forêt sur le caribou sont toutefois de courte durée et les impacts sur les populations qui ont de vastes domaines vitaux sont limités puisque les hardes ont tendance à se déplacer vers des habitats plus propices (Mahoney, 2000). En contrepartie, les feux de forêt peuvent aussi être bénéfiques pour les populations de caribous à long terme dans les plus vieux peuplements. Les mousses sont généralement plus présentes que les lichens dans les peuplements anciens (de plus de 150 ans). Les feux de forêt dans ce type de peuplement peuvent ainsi relancer la succession vers des forêts matures dominées par le lichen (Schaefer et Pruitt, 1991).

#### 3.3.2.4 Micromammifère

Comme les originaux, une plus grande abondance de micromammifères est constatée peu de temps après un feu de forêt et elle diminue au fil du vieillissement des peuplements perturbés. En général, la majorité des espèces de micromammifères recolonisent les secteurs brûlés au cours des semaines/mois suivant un feu. Les espèces généralistes dominent normalement les jeunes stades de succession alors que les espèces spécialisées dominent les stades ultérieurs. La diversité et la dominance varient donc en fonction du stade de succession. L'abondance diffère d'une espèce à l'autre, mais les diminutions sont généralement occasionnées par l'altération de la couche de débris ligneux au sol et des strates herbacées et arbustives. Les feux fréquents et sévères influencent par ailleurs davantage l'abondance que la diversité (Fisher et Wilkinson, 2005). Ils peuvent notamment inhiber la production de graines qui sont une source de nourriture pour les micromammifères (Jager *et al.*, 2021).

Peu de temps après le feu, les communautés de micromammifères au sein de la forêt boréale sont souvent dominées par la souris sylvestre (*Peromyscus maniculatus*), qui peut survivre à des feux de forêt de faible intensité. Étant un omnivore généraliste, la souris sylvestre se nourrit, notamment, de graines qui sont abondantes dans les forêts de conifères. Elle présente par ailleurs une abondance positivement associée au stade d'aggradation, dans les peuplements de 50 à 65 ans. Considérant que les graminées sont plus abondantes dans les jeunes stades de succession, les espèces des prairies comme le campagnol des champs (*Microtus pennsylvanicus*) et la souris sauteuse des champs (*Zapus hudsonius*) colonisent aussi rapidement les sites brûlés dans les premières années suivant un feu (Fisher et Wilkinson, 2005).

#### 3.3.2.5 Autres mammifères

Une diminution de l'abondance des sciuridés, des mustélidés, des canidés et des espèces de lièvres est généralement constatée après un feu de forêt. Les espèces de lynx et de lièvre utilisent davantage les peuplements de mi-succession, mais sont plus rares dans les jeunes ou vieux peuplements. Les sciuridés et les mustélidés connaissent pour leur part une augmentation d'abondance avec le vieillissement des peuplements et sont plus abondants au stade mature/vieux (76-125 ans). Les ours noirs (*Ursus americanus*) utilisent les jeunes stades de succession pour le fourrage, mais préfèrent les forêts matures pour la reproduction (Fisher et Wilkinson, 2005).

Le lièvre d'Amérique (*Lepus americanus*) présente une abondance souvent très basse immédiatement après un feu de forêt. Elle augmente toutefois rapidement au fur et à mesure que la végétation arbustive devient plus dense et est plus importante au cours du stade d'établissement (11-25 ans), alors que la végétation fournit un bon couvert. Le couvert arbustif agit notamment comme couvert thermique et comme protection contre les prédateurs. Le lièvre d'Amérique évite ainsi les habitats ouverts où il est plus exposé aux prédateurs. Son abondance diminue avec le vieillissement des peuplements et devient très basse dans les peuplements mixtes de 50 à 65 ans (Fisher et Wilkinson, 2005). Selon une étude de Hutchen et Hodges (2019), l'abondance du lièvre d'Amérique est par ailleurs plus variée dans les grandes parcelles brûlées, où elle est soit absente ou très élevée.

Les parcelles de forêt non affectées ou légèrement brûlées à l'intérieur de grande zone de feux facilitent le déplacement des lièvres vers des sites en régénération présentant une bonne densité de semis, favorisant ainsi leur abondance. La densité des jeunes arbres est en ce sens positivement corrélée à l'abondance de lièvre. En contrepartie, l'abondance du lièvre d'Amérique est faible dans les petites ou moyennes zones brûlées. La disponibilité d'habitats non perturbés adjacents à ces petites zones peut en partie expliquer le phénomène (Hutchen et Hodges, 2019).

Le loup gris (*Canis Lupus*) évite les zones récemment brûlées, mais y retourne relativement rapidement (Fisher et Wilkinson, 2005). Selon une étude en Alaska, les loups ont tendance à éviter les secteurs brûlés pendant les deux premières années suivant la perturbation, mais recommencent à utiliser ces zones au cours de la troisième année (Ballard *et al.*, 2000). L'utilisation des sites par les loups varie toutefois en fonction des saisons et l'abondance des proies.

Les espèces de renards recolonisent rapidement les jeunes stades de succession, mais ont une plus grande abondance lors du stade d'établissement (11-25 ans). Ils peuvent bénéficier des feux de forêt considérant qu'ils utilisent des habitats plus fragmentés. Leur abondance diminue toutefois avec le vieillissement des peuplements (Fisher et Wilkinson, 2005).

---

## 3.4 Effets des feux de forêt sur la faune aquatique, le benthos et les habitats

---

### 3.4.1 Modification des habitats aquatiques

Les effets des feux de forêt sur la faune aquatique sont plutôt indirects et sont fortement liés à l'altération des habitats. Comme abordé aux sections 3.1.2 et 3.1.3, les principaux effets concernent la modification du régime hydrologique (augmentation des débits de crues et modification des débits moyens), du fait du plus grand ruissellement ainsi que l'altération de la qualité de l'eau par l'apport de cendres et l'augmentation des MES et débris (Neary *et al.*, 2005). L'ampleur des effets est fonction de la sévérité et de l'intensité des feux de forêt, ainsi que de la superficie du bassin versant et des cours d'eau et plans d'eau affectés. L'influence sur les cours d'eau de tête de petits bassins versants est plus importante que sur les grandes rivières, considérant qu'une plus grande proportion du bassin versant adjacent est susceptible d'être affectée et que le ratio entre la marge du cours d'eau et le volume d'eau est élevé. Les plus grands bassins versants sont plus susceptibles de conserver leurs fonctions. Une plus grande proportion de la forêt demeure en général non perturbée et la végétation riveraine peut ainsi poursuivre son rôle de stabilisation des berges, d'ombrage et de structure d'habitat (Mellon *et al.*, 2008).

À court terme, soit dans les mois suivant les feux de forêt, l'apport de cendres dans les cours d'eau peut avoir pour effet de stimuler la décomposition de matière par les microorganismes, de sorte à réduire l'oxygène dissous dans l'eau. La diminution de l'oxygène dissous peut en ce sens conduire à l'asphyxie de certaines espèces aquatiques. Au cours de la phase initiale et de manière intermittente après de fortes précipitations, l'apport de MES et de débris peut aussi avoir un effet négatif sur la productivité primaire et secondaire. À moyen et long termes, l'apport de carbone et de nutriments a toutefois pour effet de stimuler la production de végétation aquatique et l'abondance de benthos (Jager *et al.*, 2021).

Les impacts les plus importants pour la faune aquatique découlent des effets à long terme sur l'habitat, notamment du changement de température des cours d'eau en raison de la diminution du couvert végétal, des flux de boues chargées de cendres, de l'augmentation des débits de crues et de la plus grande sédimentation du fait de l'érosion accrue (Neary *et al.*, 2005).

---

### 3.4.2 Benthos

Après un feu de forêt, l'apport de nutriments et la plus grande exposition au soleil en raison de la réduction du couvert végétal sont susceptibles de stimuler la productivité primaire et donc la production d'algues. La transition vers l'autotrophie peut provoquer une modification dans la composition des groupes de macroinvertébrés benthiques (benthos), passant d'une dominance de déchetiseurs vers une dominance de filtreurs. La plus grande densité d'algues peut par ailleurs conduire à la présence plus importante de macroinvertébrés de type brouteur, résultant ainsi en une plus grande source de nourriture pour leurs prédateurs (Mellon *et al.*, 2008).

Selon l'étude de Mellon *et al.* (2008) réalisée dans le nord-est de l'état de Washington aux États-Unis suivant un feu de forêt de haute intensité, la densité de benthos était significativement plus élevée sur les sites brûlés que sur les sites non perturbés. La diversité de benthos était toutefois plus faible dans les cours d'eau des zones affectées par le feu. Les conclusions de l'étude indiquent par ailleurs que l'effet sur les communautés de benthos des cours d'eau en tête de bassin versant est plus important dans les forêts exploitées ou gérées par rapport aux forêts moins perturbées. Dans ce type de milieu perturbé, l'effet des feux sur le benthos et les habitats aquatiques en aval peut perdurer pendant au moins deux ans après le feu. Une autre étude de Scrimgeour *et al.* (2001) a, pour sa part, démontré que la densité de benthos peut demeurer élevée jusqu'à 15 à 20 ans après un feu, avant de retourner à des valeurs similaires à l'état initial.

---

### 3.4.3 Faune aquatique

Les effets des feux de forêt sur la faune aquatique sont, comme les autres composantes, fonction de l'intensité et de la sévérité des feux, ainsi que de la superficie des bassins versants et de la taille des cours d'eau et plan d'eau. La capacité de récupération des communautés aquatiques est plus particulièrement dépendante de la sévérité du feu et de la proportion de forêts affectées dans le bassin versant (Jager *et al.*, 2021).

Les feux de forêt peuvent générer plusieurs effets négatifs pour les populations aquatiques. D'une part, l'augmentation de la température des cours d'eau peut affecter la thermorégulation des poissons, plus particulièrement des espèces d'eau froide. L'apport de cendres, la modification des propriétés physicochimiques des sols, l'érosion accrue et le plus grand ruissellement de surface peuvent par ailleurs altérer la qualité de l'eau. L'affluence de débris, de MES et de sédiments dans les cours d'eau est d'une part susceptible d'affecter la faune aquatique en augmentant la turbidité (réduction de pénétration de la lumière) et en conduisant à une réduction de l'oxygène dissous dans l'eau (Jager *et al.*, 2021). L'augmentation des concentrations de métaux dans l'eau peut aussi affecter la faune aquatique en altérant les processus biologiques et en se bioaccumulant. Le mercure (Hg) peut être particulièrement nocif puisqu'il change de spéciation (MeHg) et se bioaccumule facilement dans la chair du poisson (Kelly *et al.*, 2006). La contamination de l'eau par l'arsenic (As) peut par ailleurs inhiber la fertilité des poissons (Popovych et Gapalo, 2021).

La modification des débits des cours d'eau, notamment des débits de crues, impacte particulièrement les espèces migratrices qui dépendent des débits saisonniers récurrents pour leurs habitudes de reproduction et de migration. L'augmentation moyenne des débits peut toutefois conduire à des modifications hydrogéomorphologiques des rivières qui affectent les habitudes d'alimentation et de reproduction des espèces aquatiques en général (Jager *et al.*, 2021).

En contrepartie, les feux de forêt peuvent aussi, dans une certaine mesure, être bénéfiques pour les communautés aquatiques. L'augmentation de la densité de benthos dans les cours d'eau et plans d'eau affectés par les feux de forêt peut favoriser, par exemple, le rétablissement des populations de poissons qui s'en nourrissent (Jager *et al.*, 2021).

Comme pour la faune terrestre, la faune aquatique peut se déplacer ou se mettre à l'abri pour se protéger des feux de forêt. Les espèces migratoires ou plus mobiles s'adaptent souvent plus facilement puisqu'elles se déplacent vers des secteurs moins perturbés durant le feu et peuvent ensuite recoloniser les cours d'eau lorsque leurs conditions se stabilisent. Les espèces plus tolérantes ont pour leur part tendance à chercher des refuges dans les secteurs impactés. Des refuges thermiques peuvent être présents en fonction des apports d'eaux souterraines, de l'ombrage riverain et des variations topographiques. Les zones des cours d'eau qui sont protégées de la déposition de limon et les sédiments peuvent par ailleurs servir de refuge pour les invertébrés aquatiques (Jager *et al.*, 2021). Les espèces demeurant en place peuvent tolérer des températures plus élevées. Selon Neville *et al.* (2009), la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) peut survivre dans des cours d'eau affectés par des feux de forêt sévères.

La capacité des communautés aquatiques de récupérer des feux de forêt est liée au temps de régénération de la végétation riveraine. Le retour à un état similaire aux conditions initiales est aussi fonction de la fréquence des feux. La composition des espèces sur un site brûlé peut différer de l'état antérieur au feu si les perturbations hydrologiques se répètent et freinent la recolonisation des espèces ou si les bassins versants ou cours d'eau ont connu des modifications définitives (Jager *et al.*, 2021). Il est aussi possible que les communautés aquatiques ne récupèrent pas et ne reviennent pas aux conditions initiales après un feu de forêt sévère. La disparition de populations de poissons a déjà été observée dans des tronçons de cours d'eau fortement affectés par les feux (Dunham *et al.*, 2003). À long terme, la capacité de récupération dépend du succès de recolonisation par des populations de poissons dans des tronçons ou plans d'eau moins affectés du bassin versant. L'ampleur du réseau hydrographique et la connectivité des cours d'eau du bassin versant impacté peuvent par ailleurs favoriser la résilience des espèces aquatiques. Les petits réseaux hydrographiques avec des cours d'eau et plans d'eau isolés (p. ex. ceux qui sont isolés du cours d'eau principal par des chutes, des barrages anthropiques, des barrages de castors ou des débris) sont donc généralement plus fortement affectés et moins résilients (Jager *et al.*, 2021).

## 4 Conclusion

Les changements climatiques sont susceptibles d'accroître la fréquence et la sévérité des feux de forêt, du fait de l'augmentation globale des températures, de l'allongement des périodes de sécheresse et de la modification de la composition des espèces végétales. La région du Nord-du-Québec, et particulièrement le secteur de Lebel-sur-Quévillon, a été fortement impactée par des feux de forêt d'envergure à l'été 2023. Dans le contexte où cette région, dominée par la forêt boréale, risque d'être de plus en plus affectée par des feux de forêt, il importe d'identifier les effets principaux des feux de forêt sur les milieux naturels pour mieux comprendre le contexte d'insertion du Projet. La présente revue de littérature est une première étape du programme de biodiversité de GMW, qui vise à documenter ces effets afin d'identifier les composantes qui devraient faire l'objet d'études environnementales complémentaires aux environs du site du Projet.

Selon la littérature consultée, l'amplitude des effets des feux de forêt est très variable en fonction des conditions initiales du milieu (végétation, faune, géologie et structure du sol, perturbations antérieures, etc.), de la sévérité et de l'intensité des feux. Les tendances observées permettent toutefois d'identifier des effets généraux sur le sol, l'eau de surface, la végétation ainsi que la faune terrestre et aquatique.

Les feux de forêt peuvent altérer les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. Le dénudement des sols et la déposition de cendres peuvent, d'une part, contribuer à l'imperméabilisation et à la compaction des sols, accentuant les phénomènes de ruissellement et d'érosion. La déposition d'une couche de cendre de même que la combustion de la végétation et de la matière organique peuvent, d'autre part, conduire à une augmentation du pH, à la modification des réserves de nutriments (N, P, K, K<sub>2</sub>O) et à l'augmentation de la concentration des métaux lourds (Cd, Cr, Cu, Mn, Mg, Zn, Fe, Al, Si, Ni, Co, As) dans le sol.

L'augmentation du ruissellement causée est susceptible d'augmenter les débits de crues et les débits moyens dans les cours d'eau des zones affectées. Le ruissellement combiné à l'érosion des sols ainsi qu'à l'apport de cendres et de débris ligneux peut également altérer la qualité de l'eau de surface. Les effets répertoriés concernent l'augmentation des MES et de la turbidité, de la concentration des métaux, du pH, du carbone organique dissous et des certains nutriments ainsi que la diminution de l'oxygène dissous. Les feux de forêt peuvent par ailleurs provoquer une augmentation de la température des cours d'eau et plans d'eau à court terme après le passage du feu, et à moyen terme du fait de la diminution du couvert végétal. L'ampleur des effets sur l'eau de surface dépend de la superficie du bassin versant et de l'importance du réseau hydrographique.

Les effets des feux de forêt sur la végétation sont fortement liés à la sévérité des feux. Les premiers effets constatés sont la réduction de la densité des arbres et du couvert de la canopée ainsi que la modification de l'abondance et de la diversité des espèces. Certaines espèces pionnières peuvent rapidement recoloniser les sites brûlés, alors que d'autres espèces sont moins résilientes et prendront plus de temps à se régénérer (p. ex. lichen). Dans la forêt boréale, les jeunes stades de succession sont dominés par les feuillus (peuplier faux-tremble et bouleau). Dans le contexte où les feux de forêt sont de plus en plus intenses et sévères et où les conditions sont plus sèches et chaudes, une transition d'une dominance de conifères vers une dominance de feuillus est observée en Amérique du Nord. Certaines études indiquent, à ce sujet, une perte de résilience de l'épinette noire. Finalement, l'augmentation des concentrations et de la biodisponibilité des métaux dans le sol peut accroître l'adsorption et l'absorption des métaux par les plantes.

La modification des habitats affecte la faune terrestre en fonction des différents cycles de succession. De manière générale, une diminution globale du nombre d'espèces est observée dans les deux premières années. L'altération des habitats entraîne, comme pour la végétation, une modification de la composition des espèces. Les premières années suivant le feu, l'abondance de micromammifères et d'orignaux est plus élevée. Les micromammifères profitent notamment de la reprise rapide des herbacées et des abris créés par les débris ligneux. Les orignaux sont quant à eux rapidement de retour sur les sites perturbés (quelques mois plus tard) pour profiter de l'importante quantité de fourrage. Une diminution de la richesse et de l'abondance des oiseaux, des chiroptères, des lièvres, des canidés, des mustélidés et des caribous est toutefois observée au cours des premières années suivant le feu. La diversité et la richesse de la faune aviaire augmentent généralement de 3 à 5 ans après le feu. L'abondance du lièvre augmente pour sa part au fil de la reprise de la végétation de la strate arbustive, lorsqu'un couvert adéquat est rétabli. Le caribou a quant à lui tendance à délaisser les sites brûlés en raison du long temps de récupération du lichen, sa principale source de nourriture.

Les effets sur la faune aquatique sont plus marqués dans les mois suivant le feu, notamment en raison de l'augmentation de la température et des MES ainsi que de la diminution de l'oxygène dissous. Les modifications qui persistent dans le temps sont celles qui influenceront toutefois davantage sur la capacité de récupération des communautés aquatiques. En raison des plus grands apports de nutriments, une croissance rapide d'algues et de la densité des communautés de benthos est généralement observée. Cette densité élevée de benthos peut perdurer pendant 15 à 20 ans.

## Références bibliographiques

- ANDREU, V., RUBIO, J.L., FORTEZA, J. ET CERNI, R. 1996. « Post fire effects on soil properties and nutrient losses ». *International Journal of Wildland Fire*, vol.6, p. 53–58.
- ARSENEAULT, D., VILLENEUVE, N., BOISNEAU, C., LEBLANC, Y. ET DESHAYE, J. 1997. « Estimating lichen biomass and caribou grazing on the wintering grounds of northern Quebec: an application of fire history and Landsat data ». *Journal of Applied Ecology*, vol.34, p. 65–78.
- BALLARD, W.B., KRAUSMAN, P.R., BOE, S., CUNNINGHAM, S. ET WHITLAW, H.A. 2000. « Short-term response of grey wolves, *Canis lupus*, to wildfire in Northeastern Alaska ». *Canadian Field-Naturalist*, vol.114, p. 241–247.
- BALTZER, J. L., *et al.* 2021. « Increasing fire and the decline of fire adapted black spruce in the boreal forest ». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol.118 (45).
- BENDA, L., POFF, N.L., MILLER, D. DUNNE, T., REEVES, G., PRESS, G. ET POLLOCK, M. 2004. « The network dynamics hypothesis: How channel networks structure riverine habitats ». *Bioscience*, vol.54, p. 413-427
- BERGERON, E. ET MARTEL, M.-È. 2023. « Dix fois plus d’hectares ont brûlé au Canada en 2023 que sur toute une décennie ». *Le Devoir*, 6 juillet 2023. En ligne : <https://www.ledevoir.com/environnement/794141/dix-fois-plus-d-hectares-ont-brule-au-canada-en-2023-que-sur-toute-une-decennie>. Consulté le 12 septembre 2023.
- BODÍ, M.B., DOERR, S.H., CERDÀ, A. ET MATAIX-SOLERA, J. 2012. « Hydrological effects of a layer of vegetation ash on underlying wettable and water repellent soil ». *Geoderma*, vol.191, p. 14–23.
- BODÍ, M. B., MARTIN, D. A., BALFOUR, V. N. ET SANTÍN, C. 2014. « Wildland fire ash: production, composition and eco-hydro-geomorphic effects ». *Earth-Science Reviews*, vol.130, p. 103-127.
- CERTINI, G. 2005. « Effects of fire on properties of forest soils: a review ». *Oecologia*, vol.143, p. 1-10.
- CHOI, C.-Y., LEE, E.-J., NAM, H.-Y., LEE, W.-S. ET LIM, J.-H. 2014. « Temporal changes in the breeding bird community caused by post-fire treatments after the samcheok forest fire in korea ». *Landscape and Ecological Engineering*, vol.10 (1), p. 203–214.
- CONEDERA, M., PETER, L., MARXER, P., FORSTER, F., RICKENMANN, D. ET RE, L. 2003. « Consequences of forest fires on the hydrogeological response of mountain catchments: a case study of the Riale Buffaga, Ticino, Switzerland ». *Earth Surface Processes and Landforms*, vol.28 (2), p. 117–129.
- DAHM, C. N., CANDELARIA-LEY, R. I., REALE, C. S., REALE, J. K. ET VAN HORN, D. J. 2015. « Extreme water quality degradation following a catastrophic forest fire ». *Freshwater Biology*, vol.60 (12), p. 2584–2599.
- DAWE, D. A., PARISIEN, M.-A., VAN DONGEN, A. ET WHITMAN, E. 2022. « Initial succession after wildfire in dry boreal forests of northwestern North America ». *Plant Ecology: An International Journal*, vol.223 (7), p. 789–809.

- DEBANO, L.F. 1990. *Effects of fire on soil resource in Arizona chaparral. Effects of fire management of southwestern natural resources*. Gen. Tech. Rep. RM- 191. Fort Collins, United States. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station: 65–77.
- Dunham, J. Riemanm B. ET Chandler, G. 2003. « Influences of temperature and environmental variables on the distribution of bull trout within streams at the southern margin of its range ». *North American Journal of Fisheries Management*, vol.23, p.894-904.
- DUNHAM, J.B., ROSENBERGER, A.E., LUCE, C.H. ET RIEMAN, B.E. 2007. « Influences of wildfire and channel reorganization on spatial and temporal variation in stream temperature and the distribution of fish and amphibians ». *Ecosystems*, vol.10, p. 335-346.
- EBEL, B.A., MOODY, J.A. ET MARTIN, D.A. 2012. « Hydrologic conditions controlling runoff generation immediately after wildfire ». *Water Resources Research*, vol. 48 (3).
- EBEL, B.A., WAGENBRENNER, J.W., KINOSHITA, A.M. ET BLADON, K.D. 2022. « Hydrologic recovery after wildfire: A framework of approaches, metrics, criteria, trajectories, and timescales ». *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, vol.70 (4), p. 388-400.
- Emelko, M.B. *et al.* 2016. « Sediment-phosphorus dynamics can shift aquatic ecology and cause downstream legacy effects after wildfire in large river systems ». *Global Change Biology*, vol.22, p. 1168–1184.
- FISHER, J. et WILKINSON, L. 2005. « The response of mammals to forest fire and timber harvest in the north american boreal forest ». *Mammal Review*, vol.35 (1), p. 51–81.
- FREDRIKSSON, E., WALLGREN, M. ET LÖFROTH, T. 2023. « Wildfire and prescribed burning impact moose forage availability and browsing levels in the northern boreal forest ». *Scandinavian Journal of Forest Research*, vol.38 (1), p. 58–69.
- GREENBERG, C.H., TOMCHO, J., LIVINGS-TOMCHO, A., LANHAM, J.D., WALDROP, T.A., SIMON, D. ET HAGAN, D. 2018. « Long-term avian response to fire severity, repeated burning, and mechanical fuel reduction in upland hardwood forest ». *Forest Ecology and Management*, vol.424, p. 367–377.
- GREENBERG, C. H., MOORMAN, C. E., ELLIOTT, K. J., MARTIN, K., HOPEY, M., ET CALDWELL, P. V. 2023. « Breeding bird abundance and species diversity greatest in high-severity wildfire patches in central hardwood forests ». *Forest Ecology and Management*, vol.529.
- HAMPTON, T. B., LIN, S. ET BASU, N. B. 2022. « Forest fire effects on stream water quality at continental scales: a meta-analysis ». *Environmental Research Letters*, vol.17 (6).
- HEATH, J., CHAFER, C., VAN OGTROP, F. ET BISHOP, T. 2014. « Post-wildfire recovery of water yield in the Sydney Basin water supply catchments. An assessment of the 2001/2002 wildfires ». *Journal of Hydrology*, vol.519, p. 1428–1440.
- HUTCHEN, J. ET HODGES, K. E. 2019. « Impact of wildfire size on snowshoe hare relative abundance in southern british columbia, canada ». *Fire Ecology*, vol.15(1), p. 1–12.
- JAGER, H.I., LONG, J.W, MALISON, R.L., MURPHY, B.P., RUST, A. SILVA, L.G.M., SOLLMAN, R., STEEL, Z.L., BOWEN, M.D., DUNHAM, J.B., EBERSOLE, J.L. ET FLITCROFT, R.L. 2021. « Resilience of terrestrial and aquatic fauna to historical and future wildfire regimes in western North America ». *Ecology and Evolution*, vol.11 (18), p. 12259–12284.

- JAYEN, K., LEDUC, A. ET BERGERON, Y. 2006. « Effect of fire severity on regeneration success in the boreal forest of northwest Quebec, Canada », *Ecoscience*, vol.13 (2), p. 143–151.
- KELLY, E. N.; SCHINDLER, D. W.; ST LOUIS, V. L.; DONALD, D. B. ET VLADICKA, K. E. 2006. « Forest fire increases mercury accumulation by fishes via food web restructuring and increased mercury inputs ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol.103, p. 19380–19385.
- KHANNA, P.K., RAISON, R.J. ET FALKINER, R.A. 1994. « Chemical properties of ash derived from Eucalyptus litter and its effects on forests soils ». *Forest Ecology and Management*, vol.66, p. 107–125.
- KLAUS, N.A., RUSH, S.A., KEYES, T.S., PETRICK, J. ET COOPER, R.J. 2010. « Short-term effects of fire on breeding birds in southern Appalachian upland forests ». *Wilson Journal of Ornithology*, vol.122, p. 518–531.
- KRASNOSHCHIEKOV, Y. N., EVDOKIMENKO, M. D. ET CHEREDNIKOVA, Y. S. 2013. « Effect of fires on the ecosystems of subtaiga forest-steppe forests in the southwestern Baikal region ». *Contemporary Problems of Ecology*, vol.6 (5), p. 477–485.
- KUNZE, M.D. ET STEDNICK, J.D. 2006. « Streamflow and suspended sediment yield following the 2000 Bobcat fire, Colorado ». *Hydrological Processes*, vol.20, p. 1661–1681.
- LEE, P. (2002) « Stages of forest succession ». *The Ecological Basis for Stand Management Alberta*, p. 3.1–3.3.
- LI, H.-H., TSUI, M. T.-K., KU, P., CHEN, H., YIN, Z., DAHLGREN, R. A., PARIKH, S. J., WEI, J., HOANG, T. C., CHOW, A. T., CHENG, Z. ET ZHU, X.-M. 2022. « Impacts of forest fire ash on aquatic mercury cycling ». *Environmental Science & Technology*, vol.56 (16), p. 11835–11844.
- MABUHAY, J. A., ISAGI, Y. ET NAKAGOSHI, N. 2006. « Wildfire effects on microbial biomass and diversity in pine forests at three topographic positions ». *Ecological Research*, vol.21, p. 54–63.
- MACCRACKEN, J.G. ET VIREECK, L.A. 1990. « Browse regrowth and use by moose after fire in interior Alaska (USA) ». *Northwest Science*, vol.64, p. 11–18.
- MACKENZIE, M. D.; DELUCA, T. H. ET SALA, A. 2004. « Forest structure and organic horizon analysis along a fire chronosequence in the low elevation forests of western Montana ». *Forest Ecology and Management*, vol.203, p. 333–343.
- MAHONEY, S.P. 2000. « A Synthesis and Interpretation of the Biology of Woodland Caribou on the Island of Newfoundland ». Report for the Government of Newfoundland and Labrador, Inland Fish & Wildlife Division. Volume 14.
- MAROZAS, V., ARMOLAITIS, K.S. ET ALEINIKOVENĖ, J. 2013. « Changes of ground vegetation, soil chemical properties and microbiota following the surface fires in Scots pine forests ». *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, vol.21 (1), p. 67–75.
- MELLON, C., WIPFLI, M. ET LI, J. 2008. « Effects of forest fire on headwater stream macroinvertebrate communities in eastern Washington, USA ». *Freshwater Biology*, vol.53 (11), p. 2331–2343.
- MILLER, J. E. D., ROOT, H. T. ET SAFFORD, H. D. 2018. « Altered fire regimes cause long-term lichen diversity losses ». *Global Change Biology*, vol.24 (10), p. 4909–4918.

- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MELCCFP). 2023. *Faits saillants*. En ligne : <https://www.environnement.gouv.qc.ca/climat/Faits-saillants/2023/juin.htm#:~:text=Le%20total%20de%20pluie%20mensuel,au%20total%20de%20juin%201995>. Consulté le 9 novembre 2023.
- MITIC, V. D., STANKOV JOVANOVIĆ, V. P., ILIĆ, M. D. ET NIKOLIĆ MANDIĆ, S. D. 2015. « Impact of wildfire on soil characteristics and some metal content in selected plants species of geraniaceae family ». *Environmental Earth Sciences*, vol.73 (8), p. 4581–4594.
- MOODY, J. A., SHAKESBY, R. A., ROBICHAUD, P. R., CANNON, S. H. ET MARTIN, D. A. 2013. « Current research issues related to post-wildfire runoff and erosion processes ». *Earth-Science Reviews*, vol.122, p. 10-37.
- NEARY, D.G., KLOPATEK, C.C, DEBANO, L.F. ET FFOLLIOTT, P.F. 1999. « Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis ». *Forest Ecology Management*, vol.122, p. 51–71 .
- NEARY, D. G.; RYAN, K. C. ET DEBANO, L. F., 2005. *Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol.4. Ogden, United States Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 250 p.
- NEVILLE, H., DUNHAM, J. ROSENBERG, A., UMEK, J. ET NELSON, B. 2009. « Influence of Wildfire, Habitat Size and Connectivity on Trout in Headwater Streams Revealed by Patterns of Genetic Diversity ». *Transactions of the American Fisheries Society*, vol.138, p. 1314-1327.
- NOLAN, R.H., LANE, P.N., BENYON, R.G., BRADSTOCK, R.A. ET MITCHELL, P.J. 2015. « Trends in evapotranspiration and streamflow following wildfire in resprouting eucalypt forests ». *Journal of Hydrology*, vol.524, p. 614–624.
- PAUSAS, J. G. ET KEELEY, J. E. 2014. « Evolutionary ecology of resprouting and seeding in fire-prone ecosystems ». *New Phytologist*, vol.204 (1), p. 55-65.
- PEREIRA, P., ÚBEDA, X., MARTIN, D.A., MATAIX-SOLERA, J., CERDÀ, A. ET BURGUET, M. 2013. « Wildfire effects on extractable elements in ash from a Pinus pinaster forest in Portugal ». *Hydrological Processes*, vol.28 (11), p. 3681-3690.
- POPOVYCH, V. ET GAPALO, A. 2021. « Monitoring of Ground Forest Fire Impact on Heavy Metals Content in Edafic Horizons ». *Journal of Ecological Engineering*, vol.22 (5), p. 96-103.
- RAISON, R.J., KHANNA, P.K., JACOBSEN, K.L.S., ROMANYA, J. ET SERRASOLSES, I. 2009. « Effect of fire on forest nutrient cycles ». *Science Publishers*, pp. 225–256.
- ROSE, E.T. ET SIMONS, T.R. 2016. « Avian response to fire in pine-oak forests of Great Smoky Mountains National Park following decades of fire suppression ». *Condor 118*, p. 179–193.
- RUSH, S., KLAUS, N., KEYS, T., PETRICK, J. ET COOPER, R. 2012. « Fire severity has mixed benefits to breeding bird species in the southern Appalachians ». *Forest Ecology and Management*, vol.263, p. 94–100.
- RUST, A.J., HOGUE, T.S., SAXE, S. ET MCCRAY, J. 2018. « Post-fire water-quality response in the western United State ». *International Journal of Wildland Fire*, vol.27, p. 203-216.

- RUST, A.J., RANDELLE, J. TODD, A.S. ET HOGUE, T.S. 2019. « Wildfire impacts on water quality, macroinvertebrate, and trout populations in the Upper Rio Grande ». *Forest Ecology and Management*, vol.453, 117636.
- SANTOSA, Y ET KWATRINA, R.T. 2020. « Effect of forest fire on mammals: comparisons of species diversity on different time-period and area », vol.528 (1).
- SCHAEFER, J.A. ET PRUITT, W.O. JR. 1991. « Fire and woodland caribou in southeastern Manitoba (Canada) ». *Wildlife Monographs*, vol.116, p. 1–39.
- SCHULTZ, L.D. HECK, M.P., HOCKMAN-WERT, D., ALLAI, T., WENGER, S., COOK, N.A. ET DUNHAM, J.B. 2017. « Spatial and temporal variability in the effects of wildfire and drought on thermal habitat for a desert trout ». *Journal of Arid Environnements*, vol.145, p.60-68.
- SCRIMGEOUR, G.J. TONN, W.M. PASZKOWSKI, C.A. ET GOATER, C. 2001. « Benthic macroinvertebrate biomass and wildfires: Evidence for enrichment of boreal subarctic lakes ». *Freshwater Biology*, vol.46, p. 367-378.
- SOCIÉTÉ DE PROTECTION DES FORÊTS CONTRE LE FEU (SOPFEU). 2023. *Accueil*. En ligne : <https://sopfeu.qc.ca/>. Consulté le 12 septembre 2023.
- Taillie, P. J., Braun de Torrez, E. C., Potash, A. D., Boone IV, W. W., Jones, M., Wallrichs, M. A., Schellenberg, F., Hooker, K., Ober, H. K. et McClure, R. A. 2021. « Bat activity response to fire regime depends on species, vegetation conditions, and behavior ». *Forest Ecology and Management*, vol.502.
- Zhang, W. 2017. *Effects of Prescribed Forest Fire on Water Quality and Aquatic Biota in the Southeastern United States*. Theses, Clemson University. 82 p. et ann.



# ANNEXE

## B

### RÉSUMÉ DES CONSULTATIONS





GROUPE MINIER WINDFALL

## PROJET MINIER WINDFALL

### PROGRAMME DE BIODIVERSITÉ – RÉSUMÉ DES CONSULTATIONS

TERRITOIRE D'EEYOU ISTCHEE BAIE-JAMES

NOVEMBRE 2023

RÉFÉRENCE WSP : CA0004658.7070

VERSION FINALE







GROUPE MINIER WINDFALL

**PROJET MINIER WINDFALL  
PROGRAMME DE BIODIVERSITÉ –  
RÉSUMÉ DES CONSULTATIONS**

TERRITOIRE D'EEYOU ISTCHEE BAIE-JAMES

VERSION FINALE

RÉFÉRENCE WSP : CA0004658.7070

NOVEMBRE 2023

WSP CANADA INC.  
1135, BOULEVARD LEBOURGNEUF  
QUÉBEC (QUÉBEC) G2K 0M5  
CANADA

TÉLÉPHONE : +1-418-623-2254  
TÉLÉCOPIEUR : +1-418-624-1857

WSP.COM



---

# SIGNATURES

PRÉPARÉ PAR



Émilie Deschênes Dénommé, M. Env.  
Chargée de projet

20 novembre 2023

Date

RÉVISÉ PAR



Marie-Hélène Brisson, biologiste  
Directrice de projet

20 novembre 2023

Date

---

# LIMITATIONS

WSP Canada Inc. (« WSP ») a préparé ce rapport uniquement pour son destinataire Groupe Minier Windfall, conformément à la convention de consultant convenue entre les parties. Advenant qu'une convention de consultant n'ait pas été exécutée, les parties conviennent que les Modalités générales à titre de consultant de WSP régiront leurs relations d'affaires, lesquelles vous ont été fournies avant la préparation de ce rapport.

Ce rapport est destiné à être utilisé dans son intégralité. Aucun extrait ne peut être considéré comme représentatif des résultats de l'évaluation.

Les conclusions présentées dans ce rapport sont basées sur le travail effectué par du personnel technique, entraîné et professionnel, conformément à leur interprétation raisonnable des pratiques d'ingénierie et techniques courantes et acceptées au moment où le travail a été effectué.

Le contenu et les opinions exprimées dans le présent rapport sont basés sur les observations et/ou les informations à la disposition de WSP au moment de sa préparation, en appliquant des techniques d'investigation et des méthodes d'analyse d'ingénierie conformes à celles habituellement utilisées par WSP et d'autres ingénieurs/techniciens travaillant dans des conditions similaires, et assujettis aux mêmes contraintes de temps, et aux mêmes contraintes financières et physiques applicables à ce type de projet.

WSP dénie et rejette toute obligation de mise à jour du rapport si, après la date du présent rapport, les conditions semblent différer considérablement de celles présentées dans ce rapport; cependant, WSP se réserve le droit de modifier ou de terminer ce rapport sur la base d'informations, de documents ou de preuves additionnels.

WSP ne fait aucune représentation relativement à la signification juridique de ses conclusions.

La divulgation de tout renseignement faisant partie du présent rapport relève uniquement de la responsabilité de son destinataire. 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 suivant l'utilisation de ce rapport ou quant aux dommages pouvant découler d'une décision ou mesure prise basée sur le présent rapport.

WSP a exécuté ses services offerts au destinataire de ce rapport conformément à la convention de consultant convenue entre les parties tout en exerçant le degré de prudence, de compétence et de diligence dont font habituellement preuve les membres de la même profession dans la prestation des mêmes services ou de services comparables à l'égard de projets de nature analogue dans des circonstances similaires. Il est entendu et convenu entre WSP et le destinataire de ce rapport que WSP n'offre aucune garantie, expresse ou implicite, de quelque nature que ce soit. Sans limiter la généralité de ce qui précède, WSP et le destinataire de ce rapport conviennent et comprennent que WSP ne fait aucune représentation ou garantie quant à la suffisance de sa portée de travail pour le but recherché par le destinataire de ce rapport.

En préparant ce rapport, WSP s'est fié de bonne foi à l'information fournie par des tiers, comme indiqué dans le rapport. WSP a raisonnablement présumé que les informations fournies étaient correctes et WSP ne peut donc être tenu responsable de l'exactitude ou de l'exhaustivité de ces informations.

Les bornes et les repères d'arpentage utilisés dans ce rapport servent principalement à établir les différences d'élévation relative entre les emplacements de prélèvement et/ou d'échantillonnage et ne peuvent servir à d'autres fins. Notamment, ils ne peuvent servir à des fins de nivelage, d'excavation, de construction, de planification, de développement, etc.

L'original du fichier électronique que nous vous transmettons sera conservé par WSP pour une période minimale de dix ans. WSP n'assume aucune responsabilité quant à l'intégrité du fichier qui vous est transmis et qui n'est plus sous le contrôle de WSP. Ainsi, WSP n'assume aucune responsabilité quant aux modifications faites au fichier électronique suivant sa transmission au destinataire.

Ces limitations sont considérées comme faisant partie intégrante du présent rapport.

---

# CLIENT

## GROUPE MINIER WINDFALL

Directeur, Relations communautaires et ESG

Jean-François Belleau

Agent de liaison

Danny Happyjack

Vice-présidente, Environnement et Relations communautaires

Andréanne Boisvert, géographe, M.A.

---

# ÉQUIPE DE RÉALISATION

## WSP CANADA INC. (WSP)

Directrice de projet

Marie-Hélène Brisson, biologiste

Professionnelle, études d'impacts

Émilie Deschênes Dénomé, M. Env.

Édition

Linette Poulin

## RÉFÉRENCE À CITER

WSP. 2023.     Projet Minier Windfall. Programme de biodiversité – Résumé des consultations.  
Territoire d'Eeyou Istchee Baie-James. Rapport produit pour Groupe Minier Windfall.  
Référence WSP : CA0004658.7070. 8 pages.





# TABLE DES MATIÈRES

<b>1</b>	<b>Compte rendu de la consultation – Milieu autochtone</b> .....	<b>1</b>
1.1	Information de la consultation.....	1
1.2	Déroulement de la consultation.....	1
1.3	Questions et réponses.....	2
<b>2</b>	<b>Compte rendu de la consultation – Milieu allochtone</b> .....	<b>5</b>
2.1	Information de la consultation.....	5
2.2	Déroulement de la consultation.....	5
2.3	Questions et réponses.....	6

---

## **Tableaux**

Tableau 1-1	Consultation de la Première Nation des Cris de Waswanipi.....	1
Tableau 1-2	Faits saillants de la consultation de la PNCW.....	4
Tableau 2-1	Consultation de la ville de Lebel-sur-Quévillon .....	5
Tableau 2-2	Faits saillants de la consultation de Lebel-sur-Quévillon.....	8



# 1 Compte rendu de la consultation – Milieu autochtone

## 1.1 Information de la consultation

L'un des objectifs du programme de biodiversité du projet minier Windfall (le Projet) est d'intégrer les intérêts et préoccupations de la communauté dans le développement du programme. Pour ce faire, Groupe Minier Windfall (GMW) a réalisé des consultations auprès de la principale communauté concernée, soit la Première Nation des Cris de Waswanipi (PNCW). Le tableau 1-1 présente les informations de la consultation effectuée auprès de la communauté de Waswanipi.

**Tableau 1-1 Consultation de la Première Nation des Cris de Waswanipi**

INFORMATION DE LA CONSULTATION	
<b>Date:</b>	2023-11-06
<b>Horaire</b>	11 h 30 à 12 h : Rencontre avec la Cheffe de la PNCW
	12 h à 13 h : Rencontre avec le Directeur des Ressources naturelles de la PNCW
	18 h 20 à 19 h : Présentation du programme de biodiversité
	19 h à 19 h 40 : Séance de questions et réponses
<b>Lieu de la rencontre:</b>	Centre communautaire de Waswanipi
<b>Document:</b>	Présentation PowerPoint : Programme de biodiversité (annexe C du programme de biodiversité)
<b>Présents à la rencontre</b>	<b>Présentateur et facilitateur – Groupe Minier Windfall</b>
	– Jean-François Belleau, Directeur Relations communautaires & ESG
	– Danny Happyjack, Agent de liaison
	<b>Consultante - WSP</b>
	– Émilie Deschênes Dénomé, Professionnelle - Études d'impacts

## 1.2 Déroulement de la consultation

La présentation aux membres de la PNCW a débuté à 18 h 20. Au total, six personnes ont participé à l'activité de consultation. Le maître de trappage du terrain W25B et sa conjointe (M. Marshall Icebound et Mme Judy Trapper) étaient tous deux présents, de même qu'un maître de trappage d'un terrain plus au sud du projet, aussi accompagné de sa conjointe. Un autre membre de la PNCW était présent à la rencontre. Le maître de trappage du terrain W26 (M. William Dixon) est par ailleurs arrivé à la toute fin de la rencontre. Le représentant de GMW, M. Jean-François Belleau, lui a ainsi fait une présentation personnalisée.

M. Belleau a débuté la présentation en expliquant le contexte ayant conduit à l'élaboration du programme de biodiversité. Il a mentionné que l'objectif principal de la consultation était de recueillir leurs commentaires sur les études proposées. Il a aussi précisé que des rencontres individuelles avaient été tenues au cours de l'après-midi avec la Cheffe de la PNCW, Mme Irene Neeposh, et le Directeur des Ressources naturelles de la PNCW, M. Steven Blacksmith.

Il a poursuivi avec la présentation du programme de biodiversité (annexe C du programme de biodiversité) qui incluait les éléments suivants : une mise en contexte de la situation sur les feux de forêt, les objectifs du programme, les principaux effets des feux de forêt sur le milieu naturel, les études environnementales proposées ainsi que l'échéancier.

À la fin de la présentation, les participants ont été invités à poser leurs questions et émettre leurs commentaires. Le résumé des questions, commentaires, préoccupations et suggestions soulevés lors de la présentation et des consultations individuelles est présenté à la section 1.3.

---

## 1.3 Questions et réponses

Les commentaires reçus concernant le programme de biodiversité et sa présentation sont, dans l'ensemble, positifs. Les principales interventions ayant eu lieu lors de la présentation sont résumées ci-après.

- Au cours de la présentation, M. Belleau mentionne que la Cheffe a indiqué qu'il était difficile d'étudier le lièvre sans aussi étudier le lynx. Il demande aux participants s'ils jugent important de réaliser un suivi pour le lynx.
  - Une participante (Mme Trapper) répond qu'elle juge important d'étudier le lynx, car il fait toujours partie de leur alimentation.
- Une participante (Mme Trapper) suggère d'impliquer des membres de la communauté, particulièrement des jeunes, dans la collecte de données sur le terrain. Elle dit que ce pourrait être un moyen pour les jeunes d'apprendre comment effectuer des inventaires et des échantillonnages. Elle ajoute que cela pourrait être fait par le biais d'un programme spécifique développé en collaboration avec GMW.
  - M. Belleau mentionne que c'est une idée intéressante.
- La même participante propose que GMW participe à la journée carrière qui se déroule annuellement dans la communauté. Elle ajoute que ce pourrait être une bonne occasion de présenter ce programme spécifique pour les jeunes.
- Un participant indique qu'il possède un terrain de trappage au sud du lac Barry. Il mentionne que certains cours d'eau s'écoulent vers le sud, en direction de Senneterre, alors que d'autres s'écoulent vers le nord. Il se questionne sur l'effet des feux sur l'eau en fonction du sens d'écoulement des cours d'eau. Il précise qu'il n'a pas encore vu d'effet sur les cours d'eau de son terrain de trappe.
  - Une participante (Mme Trapper) mentionne que WSP a réalisé des études sur le sens d'écoulement des cours d'eau.
- L'agent de liaison de GMW (M. Danny Happyjack) mentionne qu'il a vu beaucoup plus d'originaux sur son terrain de trappage depuis le feu. Il mentionne qu'il a observé, lors du survol de son terrain de trappage en avion, qu'il y avait aussi beaucoup plus de surfaces rocheuses visibles. Il précise qu'environ 75 % de son terrain de trappage a été brûlé.
- Une participante (Mme Trapper) mentionne qu'il est plus facile de faire le suivi du lièvre et du lynx en hiver. Elle suggère de réaliser des études sur ces deux espèces au cours de la période hivernale.
- La même participante mentionne qu'elle a recommencé à trapper le lièvre depuis le feu, mais qu'elle n'a rien vu pour le moment. Elle dit que certains de ses secteurs de trappage ont été brûlés, mais qu'il y a des secteurs non brûlés à l'arrière. Elle ajoute qu'elle pourra voir si les lièvres reviennent d'ici quelques semaines.

- Cette même participante indique qu'elle a observé des traces de caribou à l'est du site depuis le feu.
- Le maître de trappage, M. William Dixon (W26), mentionne que jadis, son père avait coutume d'utiliser des secteurs brûlés qui étaient plus productifs pour les orignaux. Il mentionne qu'il n'a pas vu de différence pour la présence des orignaux sur son terrain de trappage depuis le feu de forêt. Il fait remarquer que les feux de forêts ont rendu plusieurs affleurements rocheux accessibles, ce qui peut faciliter la prospection.
- Ce même participant indique qu'il ne laissera pas les compagnies forestières couper les arbres brûlés sur son terrain de trappage. Il dit qu'il se servira des secteurs brûlés pour la cueillette de bleuets. Il mentionne que les orignaux et les ours sont déjà revenus près de son camp. Il ajoute que lorsque les arbres sont coupés dans les secteurs brûlés, qu'il ne voit plus d'ours et d'orignaux. Il indique que les arbres qui repoussent naturellement dans les secteurs brûlés grandissent plus vite que les arbres plantés.
- Le même participant mentionne qu'il a observé des orignaux qui mangeaient en bordure de la route dans un secteur non brûlé. Il ajoute qu'il a aussi vu sept loups près de son camp (dans un secteur brûlé).

La Cheffe de la PNCW s'est aussi dite satisfaite du programme de biodiversité présenté par GMW lors d'une rencontre individuelle. Elle a mentionné apprécier l'implication du maître de trappage du terrain W25B et de sa conjointe pour l'élaboration de l'étude sur les plantes (bleuet et thé du Labrador). Elle a toutefois suggéré d'ajouter le lynx dans les études puisqu'il est lié à la présence du lièvre.

Le Directeur des Ressources Naturelles de la PNCW (aussi rencontré individuellement) a suggéré d'ajouter une collaboration avec la communauté pour une étude sur l'orignal. Il a mentionné que la communauté souhaitait entreprendre une étude avec des colliers GPS et qu'elle était présentement en train de regarder pour le financement de cette étude.

Les faits saillants des questions, commentaires, préoccupations et suggestions soulevés lors de la consultation sont présentés par composante au tableau 1-2.

**Tableau 1-2 Faits saillants de la consultation de la PNCW**

Composante	Type d'intervention	Question / Commentaire / Préoccupation / Suggestion
<b>Effets des feux de forêt sur le milieu naturel et la faune</b>	Commentaire / Préoccupation	Préoccupation quant à l'effet des feux de forêt sur les cours d'eau au sud du projet. Mention qu'aucun effet n'a été observé jusqu'à maintenant.
	Commentaire	Observation d'un plus grand nombre d'orignaux sur un terrain de trappage brûlé sur 75 % de sa superficie. Meilleure visibilité de la roche au sol dans les secteurs brûlés.
	Commentaire	Mention de la reprise des activités de trappage du lièvre dans des secteurs brûlés, sans succès jusqu'à maintenant.
	Commentaire	Observation de traces de caribou à l'est du site Windfall depuis le feu.
	Commentaire	Mention que les secteurs brûlés étaient jadis reconnus comme des secteurs plus productifs pour les orignaux.
	Commentaire	Commentaire à l'effet qu'aucun changement n'a été observé quant au nombre d'orignaux observés sur l'un des terrains de trappage depuis le feu.
	Préoccupation / commentaire	Préoccupation quant aux possibles coupes forestières dans les secteurs brûlés. Mention que les arbres repoussent plus rapidement lorsqu'il n'y a pas de coupe, que les ours et orignaux reviennent plus rapidement et que ce sont des secteurs utilisés pour la cueillette de bleuets.
	Commentaire	Observation de sept loups près d'un camp de trappage, dans un secteur brûlé.
<b>Études environnementales</b>	Suggestion	Suggestion d'étudier le lynx en raison de son lien avec le lièvre (mentionné par une personne et corroboré par une deuxième).
	Suggestion	Suggestion de développer un programme pour impliquer les jeunes de la communauté lors des inventaires et échantillonnages sur le terrain.
	Suggestion	Suggestion de participer à la journée carrière de la communauté pour promouvoir ce potentiel programme d'implication des jeunes.
	Suggestion	Suggestion de réaliser le suivi du lièvre et du lynx en hiver puisque c'est une période plus propice.
	Suggestion	Suggestion d'un appui financier à la PNCW pour mettre en œuvre une étude sur les orignaux (avec colliers GPS).
<b>Développement du programme de biodiversité</b>	Commentaire	Mention de la satisfaction face au programme de biodiversité et à l'implication d'un maître de trappage et de sa conjointe pour le développement de l'étude sur les plantes (bleuet et thé du Labrador).

## 2 Compte rendu de la consultation – Milieu allochtone

### 2.1 Information de la consultation

Considérant la proximité du Projet avec la ville de Lebel-sur-Quévillon, GMW a également organisé une consultation pour le programme de biodiversité avec le conseil municipal et les citoyens. Les informations sur cette consultation sont présentées au tableau 2-1.

**Tableau 2-1 Consultation de la ville de Lebel-sur-Quévillon**

INFORMATION DE LA CONSULTATION	
<b>Date :</b>	2023-11-08
<b>Horaire :</b>	18 h à 18 h 30 : Présentation du programme de biodiversité 18 h 30 à 18 h 45 : Séance de questions et réponses
<b>Lieu de la rencontre :</b>	Salle du conseil municipal de Lebel-sur-Quévillon et Microsoft Teams
<b>Document :</b>	Présentation PowerPoint : Programme de biodiversité (annexe C du programme de biodiversité)
<b>Présents à la rencontre :</b>	<b>Présentateur – Groupe Minier Windfall</b> – Jean-François Belleau, Directeur Relations communautaires & ESG <b>Consultante - WSP</b> – Émilie Deschênes Dénomé, Professionnelle - Études d'impacts (via Microsoft Teams)

### 2.2 Déroulement de la consultation

La présentation au conseil municipal de Lebel-sur-Quévillon a débuté à 18 h. Cinq conseillers municipaux ainsi que le maire de Lebel-sur-Quévillon, M. Guy Lafrenière, étaient présents. Les citoyens avaient été invités à cette activité de consultation publique, qui se tenait lors d'une séance régulière du conseil municipal, par un communiqué diffusé sur les médias sociaux, mais aucune inscription n'a été enregistrée.

Le maire de Lebel-sur-Quévillon a ouvert la séance et invité le représentant de GMW à débiter sa présentation. Le représentant de GMW, M. Jean-François Belleau, s'est présenté et a mentionné qu'une consultante de WSP assistait à la rencontre via Microsoft Teams. Il a ensuite dévoilé le nouveau Logo de GMW au maire et aux conseillers municipaux en rappelant le contexte de fusion récente de l'entreprise. Il a poursuivi avec la présentation du programme de biodiversité (annexe C du programme de biodiversité) qui incluait les éléments suivants : une mise en contexte de la situation sur les feux de forêt, les objectifs du programme, les principaux effets des feux de forêt sur le milieu naturel, les études environnementales proposées, ainsi que l'échéancier.

À la fin de la présentation, les conseillers municipaux ont été invités à poser leurs questions et émettre leurs commentaires. Le résumé des questions et commentaires est présenté à la section 2.3. M. Belleau a rappelé que ce qui incitait GMW à développer ce programme sur la biodiversité était principalement dû au fait que la fréquence des feux de forêt était appelée à augmenter en raison des changements climatiques et que l'entreprise souhaitait, en ce sens, participer au développement des connaissances scientifiques appliquées au contexte régional.

M. Belleau a conclu la rencontre en proposant de revenir faire une présentation aux citoyens sur l'avancement du projet et sur le programme de biodiversité en 2024. Il a aussi mentionné qu'une nouvelle plateforme Web avec une salle virtuelle avait été développée pour présenter le projet à la collectivité.

---

## 2.3 Questions et réponses

Les commentaires reçus concernant le programme de biodiversité et sa présentation sont, dans l'ensemble, positifs. Le maire et les conseillers municipaux ont remercié GMW de s'être déplacé pour cette présentation. Le maire a mentionné que c'était à son avis un excellent programme à mettre en œuvre. Les principales interventions sont résumées ci-après.

- Un participant demande pourquoi il y a une diminution de l'oxygène pour les poissons après un feu de forêt.
  - M. Belleau et Mme Deschênes Dénommé expliquent que des nutriments se retrouvant dans les cendres ou les sols peuvent être transportés dans les cours d'eau lors d'événements de pluie. Ils mentionnent que l'apport de nutriments peut conduire à la croissance des algues qui consomment davantage d'oxygène, ce qui laisse moins d'oxygène disponible dans l'eau pour les poissons.
- Un participant demande pourquoi il peut y avoir moins d'épinette après un feu de forêt.
  - M. Belleau mentionne que l'épinette prend plus de temps à se régénérer et est donc moins présente dans les premières années suivant un feu.
- Un participant questionne s'il y aura un rapport des études environnementales en 2024, avant le rapport final en 2033.
  - M. Belleau répond que des rapports sommaires seront disponibles pour les années où il y aura des suivis sur le terrain.
- Un participant demande pourquoi GMW élabore ce programme de biodiversité, si c'est pour avoir des permis ou pour protéger les activités de la mine.
  - M. Belleau dit qu'ils ne sont pas obligés de le faire, mais que c'est souhaitable. Il mentionne que GMW voulait développer un programme qui soit pertinent pour la communauté dans le contexte actuel. Il ajoute que cela leur permettra également de faire la comparaison avec les zones qui sont exposées aux activités du projet.
- Un participant s'interroge sur la disponibilité de données comparables avant le feu pour les études qui seront réalisées.
  - M. Belleau mentionne qu'il n'y a pas de données antérieures pour le suivi des métaux dans les plantes.
- Un participant demande s'il y a des caribous près du site du Projet.
  - M. Belleau répond que certains ont été répertoriés à proximité.
  - Un autre participant indique se souvenir que des caribous avaient été observés à proximité du site.
  - M. Belleau mentionne que les études réalisées par GMW permettront d'avoir des données à plus long terme sur l'effet des feux. Il dit que même si les données sont collectées près du site, elles donneront des indications pour d'autres milieux similaires.

- Un participant demande si, lorsque parle de métaux, ce sont des métaux lourds.
  - Mme Deschênes Dénomme répond que les études font en partie référence aux métaux lourds.
- Un participant indique que, selon lui, les changements qui seront répertoriés et les études réalisées s'appliqueront ailleurs qu'au site de Windfall. Il mentionne que ce sera pertinent aussi pour le secteur de Lebel-sur-Quévillon puisque certains oiseaux qui se trouvent au site du Projet sont aussi présents dans les environs de la ville.
- Un participant demande s'il y a déjà eu des études sur l'effet des feux de forêt à Lebel-sur-Quévillon.
  - Un autre participant mentionne qu'il y avait eu certaines études sur la qualité de l'eau du lac Labrie lors d'un précédent feu, mais que les résultats n'ont pas été partagés.
  - M. Belleau mentionne qu'il y a probablement eu des études antérieures, mais que cela a été fait de manière isolée, sans que les résultats soient partagés.
- Un participant demande si le début des activités est prévu pour 2024.
  - M. Belleau dit que ce n'est pas nécessairement le cas.
- Un participant indique qu'il a vu plusieurs lièvres jusqu'au kilomètre 35 sur le chemin du Projet depuis le feu de cet été.
- Le maire émet le commentaire que c'est un excellent programme et que les citoyens auraient probablement été intéressés de voir cette présentation s'ils avaient eu une meilleure idée de ce qui allait être présenté. Il ajoute que c'est intéressant pour les utilisateurs du territoire puisque le feu est passé partout aux alentours de Lebel-sur-Quévillon.
  - M. Belleau mentionne qu'il pourrait revenir présenter le programme lorsqu'il sera plus définitif.

Les faits saillants des questions et commentaires soulevés lors de la consultation sont présentés par composante au tableau 2-2.

**Tableau 2-2 Faits saillants de la consultation de Lebel-sur-Quévillon**

<b>Composante</b>	<b>Type d'intervention</b>	<b>Question / Commentaire</b>
<b>Effets des feux de forêt sur le milieu naturel et la faune</b>	Question	Questionnement sur la diminution d'oxygène dans l'eau pour les poissons.
	Question	Questionnement sur la raison de la diminution de la présence d'épinette.
	Question	Questionnement sur la présence de caribous à proximité du site du Projet.
	Question	Questionnement sur la présence de métaux lourds à la suite des feux de forêt.
	Commentaire	Observation de plusieurs lièvres après les feux sur le chemin du site du Projet.
<b>Études environnementales</b>	Question	Questionnement sur la disponibilité de données avant le feu.
	Question	Questionnement sur la réalisation d'études antérieures sur l'effet des feux de forêt dans le secteur de Lebel-sur-Quévillon.
	Commentaire	Mention de la pertinence des études environnementales (p. ex. oiseaux) pour le secteur de Lebel-sur-Quévillon.
<b>Rapports et présentation des résultats</b>	Question	Questionnement sur la disponibilité d'un rapport présentant la conclusion des études en 2024.
<b>Raison d'être du programme de biodiversité</b>	Question	Questionnement sur la raison d'être du programme de biodiversité et sur la nécessité pour GMW de le développer (exigences réglementaires).
	Commentaire	Mention de l'excellence du programme et de l'intérêt probable des citoyens de Lebel-sur-Quévillon.
<b>Début des activités du Projet</b>	Question	Questionnement sur la date de début des activités minières du Projet.

# ANNEXE

# C

PRÉSENTATION  
POWERPOINT DU  
PROGRAMME DE  
BIODIVERSITÉ





# PROGRAMME DE BIODIVERSITÉ – AN 1

PROJET MINIER WINDFALL  
Présentée par Émilie D'Astous | Mars 2025



## Avec vous aujourd'hui



**Émilie D'Astous, biologiste**  
Chargée de projet, WSP



**Sarah Paradis**  
Conseillère en relation avec les  
communautés, WSP



**Jean-François Belleau**  
Directeur relations communautaires &  
ESG, Goldfields Windfall



# Plan de la présentation

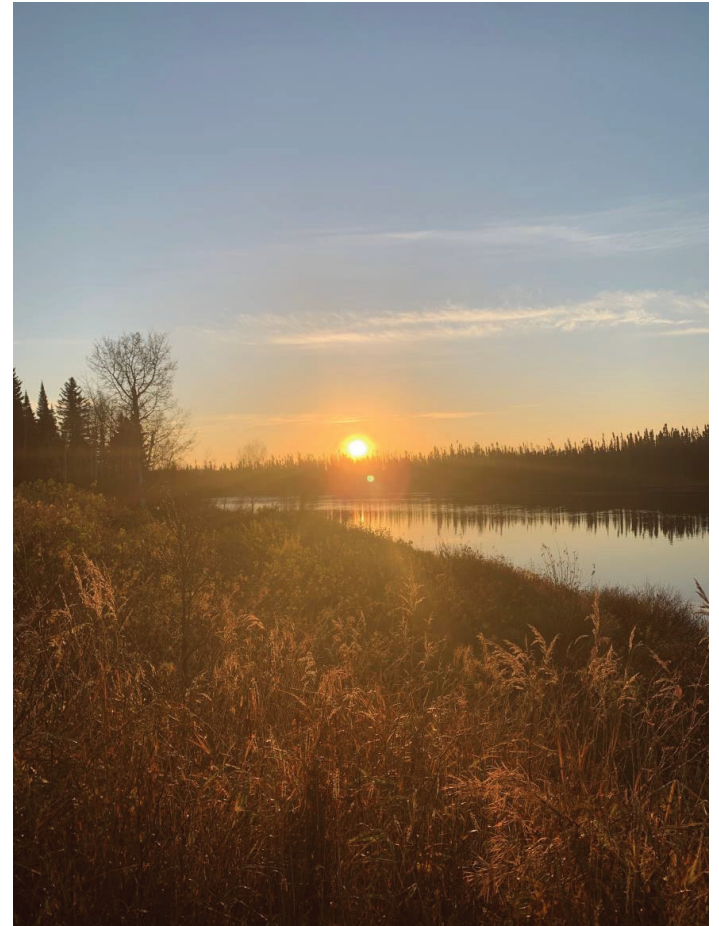
## 01 Contexte

## 03 Études environnementales sur les effets des feux de forêts

- Eau de surface
- Végétation
- Faune terrestre
- Organismes aquatiques

## 02 Programme de biodiversité : objectifs et élaboration

## 04 Discussions





# MISE EN CONTEXTE

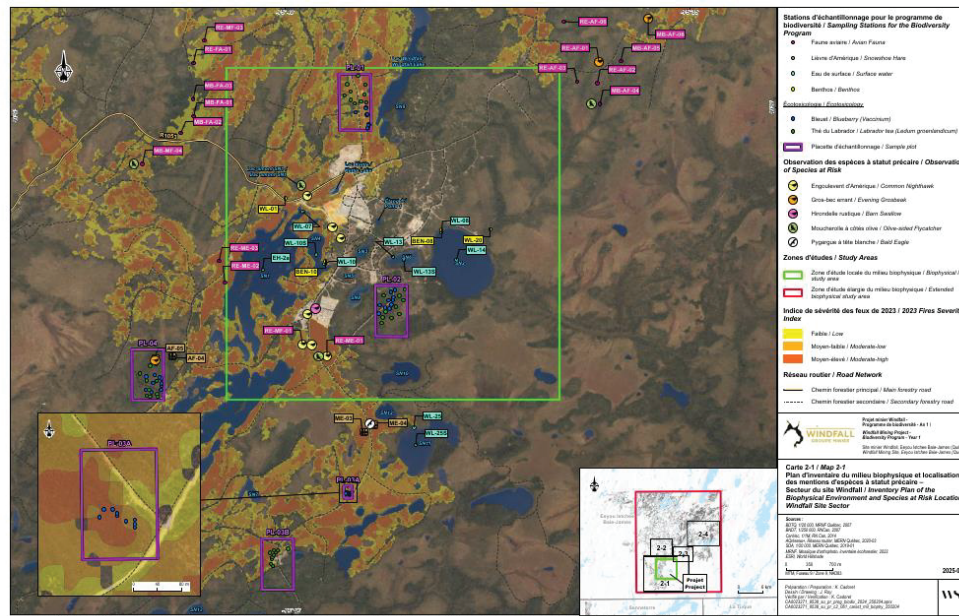




# Situation des feux de forêt dans le Nord du Québec

## Feu de forêt principal

- Proximité de la limite est de Lebel-sur-Quévillon
- Hors de contrôle pendant plusieurs semaines
- Résidents évacués deux fois, communauté de Waswanipi affectée par la fumée
- Plus de 480 000 ha de forêt (SOPFEU, 2023)



## Feu de forêt au projet Windfall

- Débuté le 1er juin 2023
- Plus de 110 000 ha touchés
- Arrêt des activités pendant plusieurs semaines/mois, perturbation des milieux naturels, dommages à certains équipements

## Impact sur les milieux naturels et anthropiques

- Chemins forestiers : Perturbation des abords du chemin R1050, R0853, et R1053
- Camps et villégiatures : Environ 28 camps de la Première Nation des Cris de Waswanipi détruits



# PROGRAMME DE BIODIVERSITÉ

WSP | Programme de biodiversité – An 1 | Mars 2025





# Un programme réfléchi et développé conjointement avec la communauté

## Préoccupations de la communauté

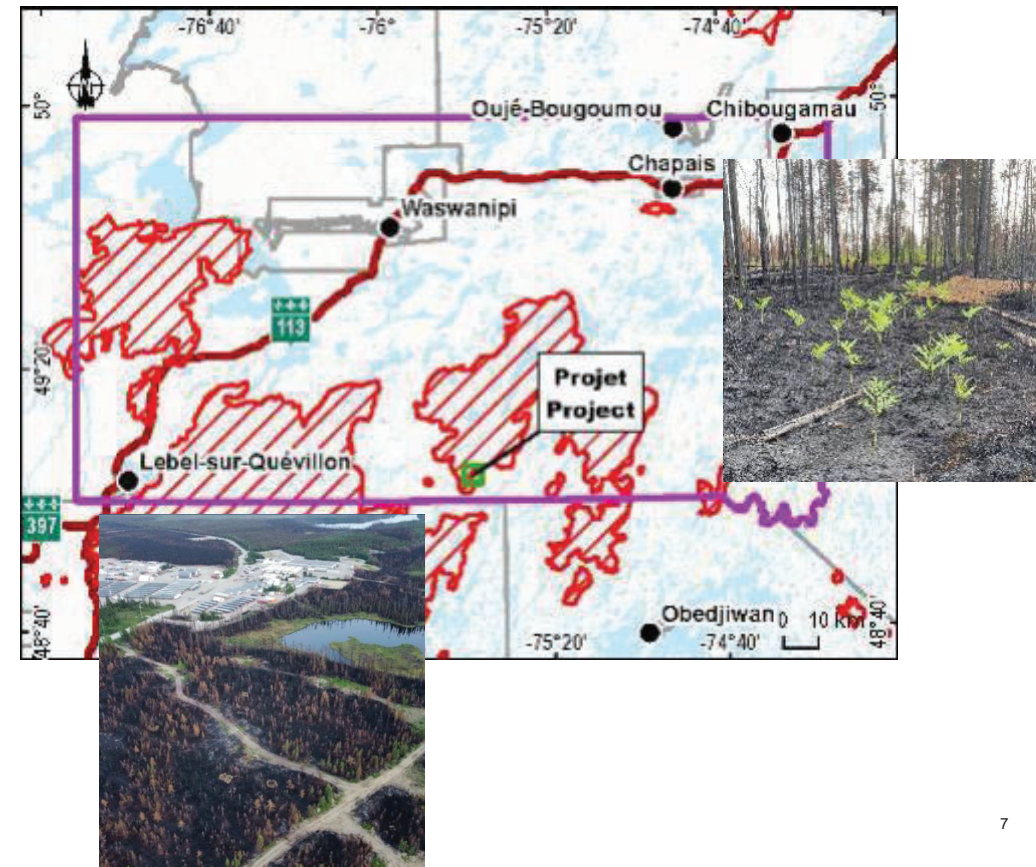
- Échanges de la communauté Crie avec les équipes de GMW pendant les feux
- Impact sur le milieu : Inquiétudes concernant les effets à long terme des feux sur la faune et la flore
- Retour à la normale : Questions sur le temps nécessaire pour la récupération de la nature

## Constats et défis pour répondre aux préoccupations

- Absence d'inventaires rigoureux : difficulté à détailler les conditions avant feu
- Analyse comparative: quasi impossible sans données précises

## Propositions

- Utilisation des connaissances précédentes recueillies au site Windfall au cours des années précédentes
- Objectif étant de préciser les écarts entre la situation avant et après les feux





# Objectifs du programme de biodiversité

- Améliorer la compréhension de l'effet des feux de forêt sur les habitats fauniques terrestres et aquatiques dans les environs du Projet.
- Documenter les effets principaux des feux de forêt sur les milieux naturels et sur la biodiversité par le biais d'une revue de littérature.
- Identifier les effets des feux de forêt à court et moyen terme sur le milieu physique, les habitats naturels ainsi que sur la faune terrestre et aquatique (p. ex. altération de la physico-chimie de l'eau, modification de la composition des espèces végétales et fauniques, etc.) dans une zone d'étude dite élargie, c'est-à-dire un peu plus grande que la zone d'étude locale du milieu biophysique.
- Intégrer les intérêts et préoccupations des maîtres de trappe et de leur famille, ainsi que des populations locales comme les membres de la PNCW et les Quévillonnais dans le développement du programme de biodiversité.





# REVUE DE LITTÉRATURE SUR LES EFFETS DES FEUX DE FORÊTS





# Effets des feux de forêts



## Variabilité des effets

- Dépendent des conditions initiales (végétation, faune, géologie, structure du sol, perturbations antérieures)
- Sévérité et intensité des feux

## Effets sur l'eau de surface

- Augmentation du ruissellement : débits de crues et moyens
- Altération de la qualité de l'eau : MES, turbidité, métaux lourds, pH, carbone organique dissous, nutriments, oxygène dissous
- Augmentation de la température des cours d'eau et plans d'eau

## Effets sur la végétation

- Réduction de la densité des arbres et du couvert de la canopée
- Modification de l'abondance et de la diversité des espèces
- Recolonisation rapide par certaines espèces pionnières, régénération lente pour d'autres (ex. lichen)
- Transition de dominance de conifères vers feuillus



# Effets des feux de forêts

## Effets sur la faune terrestre

- Espèces fauniques :
  - Diminution globale dans les deux premières années
  - Modification de la composition des espèces
- Mammifères :
  - Augmentation de l'abondance : micromammifères et orignaux
  - Augmentation de l'abondance du lièvre : lors de la reprise de la végétation arbustive
  - Déclin du caribou forestier : récupération lente du lichen
- Faune aviaire :
  - Augmentation de la diversité et de la richesse (3 à 5 ans après le feu)

## Effets sur la faune aquatique

- Effets marqués dans les mois suivant le feu :
  - Augmentation de la température et des MES
  - Diminution de l'oxygène dissous
- Modifications persistantes : influencent la capacité de récupération des communautés aquatiques
- Croissance rapide d'algues et densité élevée de benthos : observée pendant 15 à 20 ans





## ÉTUDES ENVIRONNEMENTALES SUR LES FEUX DE FÔRETS

*Première année de suivi et premières observations*

- Eau de surface
- Végétation
- Faune terrestre
- Organismes aquatiques





# Eau de surface

## Méthodologie

- Quatre lacs échantillonnés (feu : SN1 et SN4 et non impacté: SN2 et SN6)

## Tendances observées

- Feux n'ont pas modifié drastiquement la physico-chimie, la présence des nutriments ou des métaux
- Comparaison avec les années précédentes et les lacs de référence

## Recommandations

- Suivi après une pluie torrentielle afin de valider s'il y a un effet de lessivage des nutriments ou des métaux





## À partir de votre expérience sur le territoire...

- Avez-vous noté des changements de votre côté en lien avec les feux de forêts et l'eau de surface?
- Est-ce qu'il y a des changements plus marqués en fonction de la sévérité des feux?
- Après cette 1ère année, avez-vous des suggestions pour compléter ce programme en lien avec l'eau de surface?





# Végétation – Peuplement et diversité

## Méthodologie

- 24 stations d’inventaire (selon sévérité du feu)

## Tendances observées

- Strate arborescente : espèces bien adaptées aux feux :
  - Épinette noire (cônes s’ouvrent à la chaleur)
  - Pin gris
- Strate arbustive :
  - Bleuet fausse-myrtille et kalmia à feuilles étroites
- Strate herbacée :
  - Cornouiller du Canada
- Diversité floristique : augmente inversement proportionnelle à la sévérité des feux

## Recommandations

- Suivi de l’évolution des peuplements au fil du temps
- Suivi de l’évolution de la diversité floristique au fil du temps





# Végétation – Écotoxicologie

## Méthodologie

- 2 placettes brûlées (PL-01 et PL-03) et 2 placettes non brûlées (PL-02 et PL-04)

## Tendances observées

- Il n'existe pas de seuils à respecter (critères) pour les paramètres à analyser dans les tissus de bleuets et de thé du Labrador. Aucune norme n'est établie par le Conseil canadien des ministres de l'Environnement (CCME) ou par le MELCCFP.
- Les analyses servent à documenter les concentrations en métaux.
- Fruits de bleuets :
  - Croissance plus vigoureuse dans les secteurs exposés aux feux de forêt
  - Concentrations similaires pour les métaux, à l'exception de valeurs légèrement plus élevées en arsenic dans les zones brûlées
- Feuilles de thé du Labrador :
  - Concentrations plus faibles dans les zones brûlées, sauf pour le molybdène (micronutriment essentiel pour la croissance des plantes) et l'arsenic

## Recommandations

- Suivi de l'évolution des concentrations au fil du temps





## À partir de votre expérience sur le territoire...

- Avez-vous noté des changements de votre côté en lien avec les feux de forêts et la végétation?
- Est-ce qu'il y a des changements plus marqués en fonction de la sévérité des feux?
- Trouvez-vous qu'il y a plus ou moins d'espèces?
- Est-ce que la composition en espèces semble être différente?
- Après cette 1ère année, avez-vous des suggestions pour compléter ce programme en lien avec la végétation?





# Faune terrestre : avifaune

## Méthodologie

- 48 stations d'écoute (selon sévérité du feu : 24 en milieu boisé, 24 en régénération)

## Tendances observées

- 61 espèces de familles observées et 7 observations opportunistes
- Observations d'espèces à statut particulier :
  - Pygargue à tête blanche
  - Engoulevent d'Amérique
  - Gros-bec errant
  - Moucherolle à côtés olive
  - Quiscale rouilleux
  - Hirondelle rustique
- Diminution de la richesse, densité et abondance des oiseaux, plus marquée dans les zones brûlées sévèrement
- Présence d'espèces associées aux feux de forêts: pic à dos noir, moucherolle à côtés olive

## Recommandations

- Le suivi de la richesse, densité et abondance des populations d'oiseaux dans les milieux affectés par des feux de différentes sévérités permettra d'isoler les tendances notables à long terme





# Faune terrestre : lièvre d'Amérique

## Méthodologie

- 10 parcelles inventoriées (5 aucun feu, 5 brûlées)

## Tendances observées

- Signes de présence dans toutes les parcelles
- Observations opportunistes : 2 lièvres observés
- Signes de présence et abondance :
  - Moins fréquents dans les parcelles touchées par les feux
  - Diminution dans les premières années suivant un incendie

## Recommandations

- Suivi de l'évolution des habitats post-feu et, en parallèle, les tendances de populations du lièvre d'Amérique à partir des indicateurs de densité mesurés





# Faune terrestre : caribou forestier

## Partenariat GMW et MELCCFP (2024)

- Objectifs :
  - Documenter l'utilisation du territoire par les caribous forestiers
  - Visualiser en temps réel, sur une durée de 3 ans, la fréquentation des secteurs brûlés en 2023
- Déploiement à l'hiver 2024 de 4 colliers télémétriques
- Selon l'entente établie, les données ne peuvent pas être partagées
- Sur le terrain :
  - Observation de façon opportuniste en juin 2024 en bordure d'un chemin forestier, à environ 7 km du projet d'exploration avancée Windfall.





## À partir de votre expérience sur le territoire...

- Avez-vous noté des changements de votre côté en lien avec les feux de forêts et la faune terrestre?
- Est-ce qu'il y a des changements plus marqués en fonction de la sévérité des feux?
- Trouvez-vous qu'il y a plus ou moins d'espèces?
- Est-ce que la composition en espèces semble être différente?
- Après cette 1ère année, avez-vous des suggestions pour compléter ce programme en lien avec la faune terrestre?

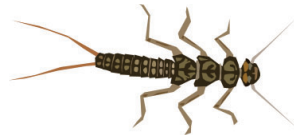




# Organismes aquatiques : benthos

## Méthodologie

- 2 cours d'eau 2 lacs inventoriés
  - Feu : cours d'eau CE-01 et lac SN4
  - Non impacté : cours d'eau SN2-T1 et lac SN2



## Tendances observées

- Plans d'eau impactés : abondance et richesse plus élevées



## Recommandations

- Le suivi de la richesse, densité et abondance des communautés benthiques dans les milieux affectés par des feux permettra de mettre en évidence les effets à long terme





## À partir de votre expérience sur le territoire...

- Avez-vous noté des changements de votre côté en lien avec les feux de forêts et les organismes aquatiques ou ceux qui s'en nourrissent (oiseaux, poissons, grenouilles)?
- Est-ce qu'il y a des changements plus marqués en fonction de la sévérité des feux?
- Est-ce que vous avez observé des changements au niveau de la pêche?
- Après cette 1ère année, avez-vous des suggestions pour compléter ce programme en lien avec les organismes aquatiques?





# Prochaines étapes

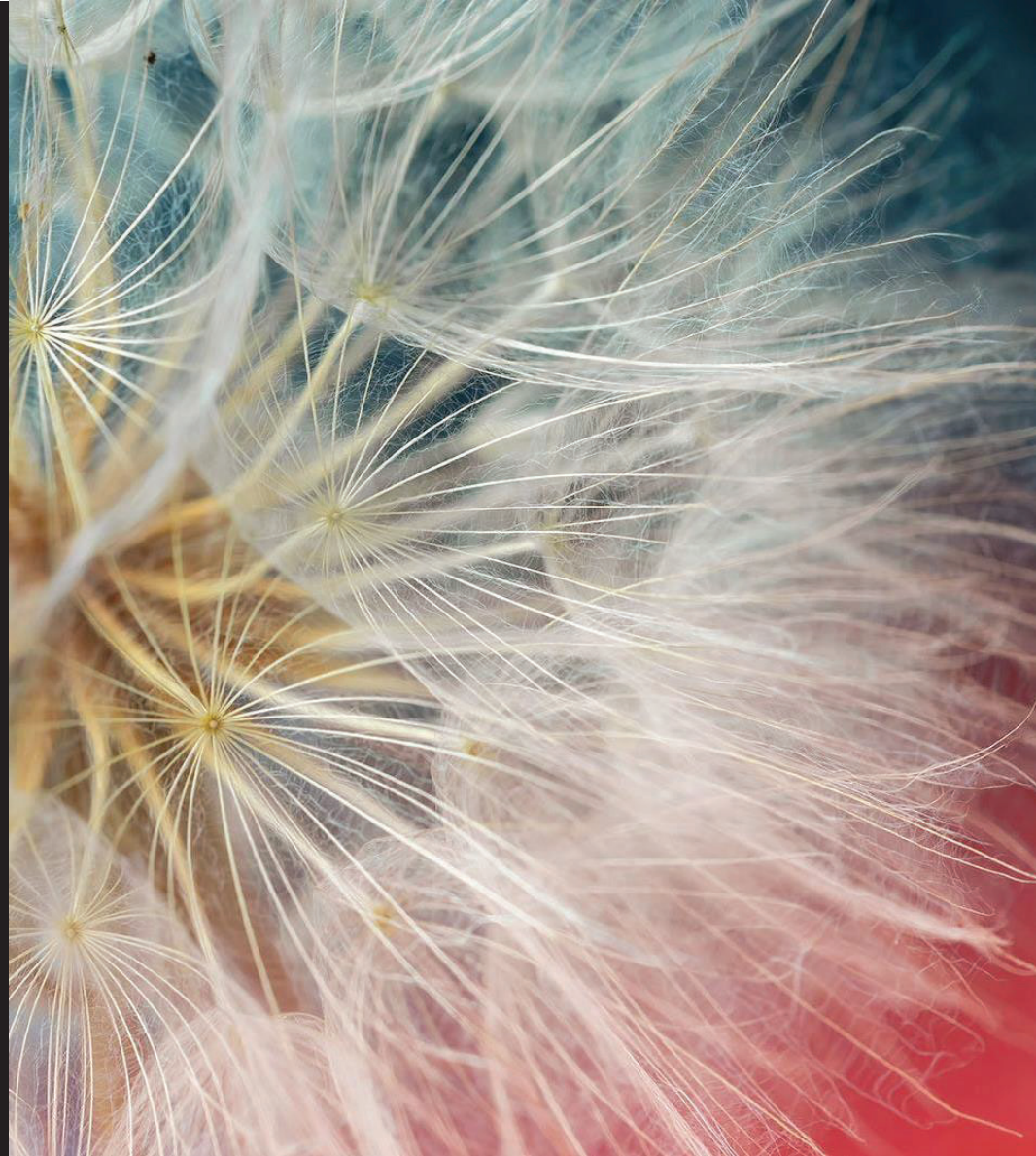
- Recueillir vos commentaires
- Échanger avec vous sur les résultats et les changements que vous avez vu sur le territoire depuis les feux
- Bonifier le programme en fonction de votre rétroaction pour l'an 2 du suivi à l'été 2025





# ÉCHANGES

WSP | Programme de biodiversité – An 1 | Mars 2025



wsp

# ANNEXE

# D

DOSSIER  
PHOTOGRAPHIQUE





## RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE

### AVANT REBOISEMENT



PHOTO 1



PHOTO 2



PHOTO 3



PHOTO 4



PHOTO 5



PHOTO 6

**APPRÈS REBOISEMENT**



**PHOTO 7**



PHOTO 8



PHOTO 9



PHOTO 10



PHOTO 11



PHOTO 12



PHOTO 13



PHOTO 14



PHOTO 15



PHOTO 16



PHOTO 17



PHOTO 18



PHOTO 19



PHOTO 20



# APPENDIX

## RQC3-11

TABLE OF CONTENTS OF THE  
WILDLIFE AND FLORA PROTECTION  
PROGRAM





Confidentiel

Groupe Minier Windfall Inc.

## Projet minier Windfall

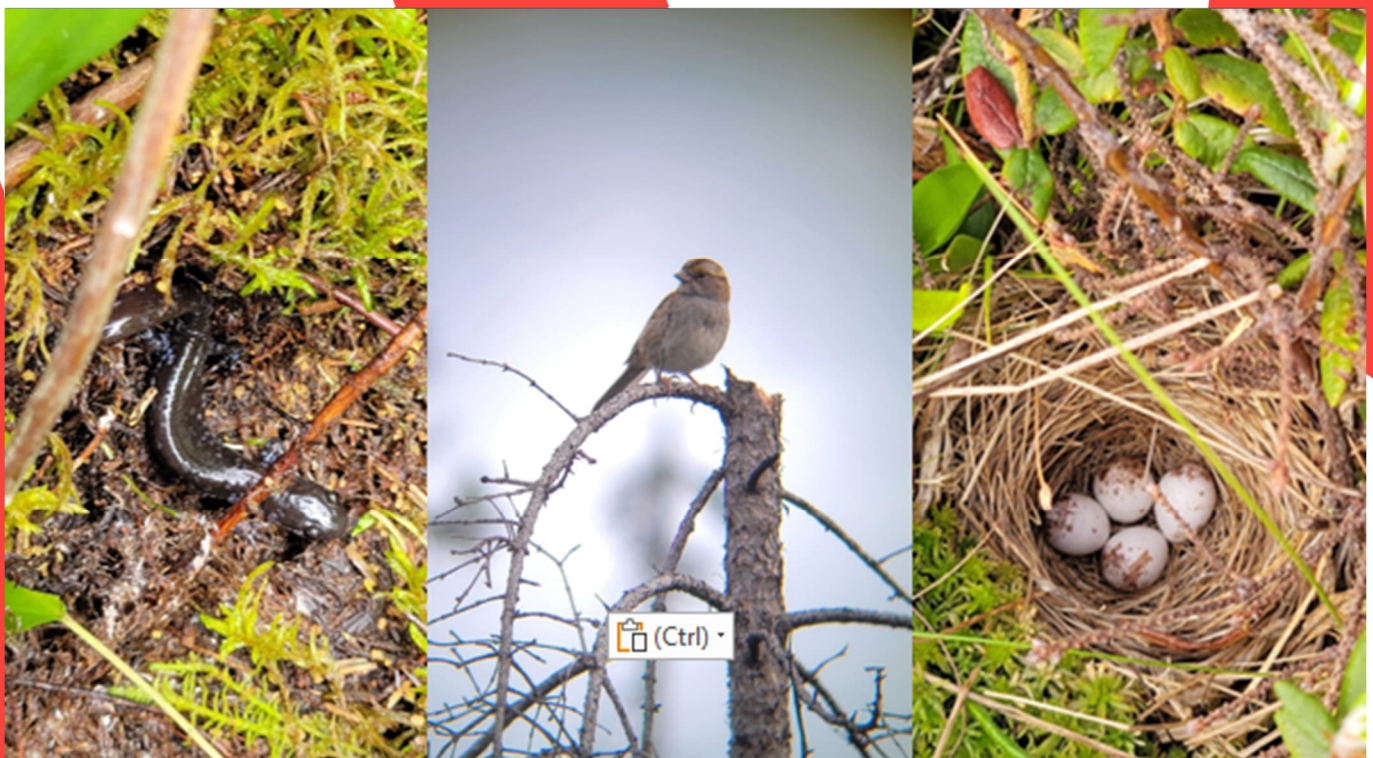
Plan de protection de la faune et de la flore

Territoire d'Eeyou Istchee Baie-James

DÉCEMBRE 2025

Référence WSP : CA0023271.9538

Document de travail





# TABLE DES MATIÈRES

<b>1</b>	<b>Mise en contexte .....</b>	<b>1</b>
1.1	Objectifs du plan de protection .....	1
1.2	Règlementation.....	1
1.3	Rôles et responsabilités .....	1
1.4	Moyens de sensibilisation relatifs à l'application du PPF .....	1
<b>2</b>	<b>Végétation et milieux humides .....</b>	<b>2</b>
2.1	État initial .....	2
2.2	Impacts du projet sur la composante .....	2
2.3	Mesures de protection de la faune et la flore .....	2
2.4	Mesure de surveillance et de contrôle des mesures d'atténuation .....	2
2.5	Plan de surveillance, de suivi ou de compensation .....	3
<b>3</b>	<b>Ichtyofaune .....</b>	<b>4</b>
3.1	État initial .....	4
3.2	Impacts du projet sur la composante .....	4
3.3	Mesures de protection de la faune et la flore .....	4
3.4	Mesure de surveillance et de contrôle des mesures d'atténuation .....	4
3.5	Plan de surveillance, de suivi ou de compensation .....	5
<b>4</b>	<b>Herpétofaune .....</b>	<b>6</b>
4.1	Impacts du projet sur la composante .....	6
4.2	Mesures de protection de la faune et la flore .....	6
4.3	Mesure de surveillance et de contrôle des mesures d'atténuation .....	6
4.4	Plan de surveillance, de suivi ou de compensation .....	6
<b>5</b>	<b>Faune aviaire .....</b>	<b>7</b>
5.1	Impacts du projet sur la composante .....	7
5.2	Mesures de protection de la faune et la flore .....	7
5.3	Mesure de surveillance et de contrôle des mesures d'atténuation .....	7
5.4	Plan de surveillance, de suivi ou de compensation .....	7
<b>6</b>	<b>Mammifère - Grande faune .....</b>	<b>8</b>
6.1	Impacts du projet sur la composante .....	8
6.2	Mesures de protection de la faune et la flore .....	8
6.3	Mesure de surveillance et de contrôle des mesures d'atténuation .....	8
6.4	Plan de surveillance, de suivi ou de compensation .....	8

<b>7</b>	<b>Mammifère – Autres espèces .....</b>	<b>9</b>
7.1	Impacts du projet sur la composante .....	9
7.2	Mesures de protection de la faune et la flore .....	9
7.3	Mesure de surveillance et de contrôle des mesures d’atténuation .....	9
7.4	Plan de surveillance, de suivi ou de compensation .....	9
<b>8</b>	<b>Chiroptère .....</b>	<b>10</b>
8.1	Impacts du projet sur la composante .....	10
8.2	Mesures de protection de la faune et la flore .....	10
8.3	Mesure de surveillance et de contrôle des mesures d’atténuation .....	10
8.4	Plan de surveillance, de suivi ou de compensation .....	10
	<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>11</b>

---

### **Tableaux**

Tableau 1 : Protection de la végétation et des milieux humides .....	2
Tableau 2 : Protection de l’ichtyofaune .....	4
Tableau 3 : Protection de l’herpétofaune .....	6
Tableau 4 : Protection de la faune aviaire .....	7
Tableau 5 : Protection des mammifères - Grande faune .....	8
Tableau 6 : Protection des mammifères – autres espèces .....	9
Tableau 7 : Protection des chiroptères .....	10

---

### **Figures**

---

### **Cartes**

---

### **Photos**

# 1 Mise en contexte

Introduction du Plan de protection de la faune et de la flore (PPFF)

---

## 1.1 Objectifs du plan de protection

- Protéger la faune et la flore
  - Réduire les impacts du projet
  - Respecter la réglementation
  - Rappel des engagements
  - Couverture des trois phases (construction, exploitation et fermeture) et en faire la distinction lorsque nécessaire
  - Que tout le personnel présent à la mine prenne part à la protection de la faune et de la flore et connaisse les procédures à suivre en cas de déversement, collision, etc.
  - Rapport et bilan disponibles à la population
- 

## 1.2 Règlementation

Tous les règlements reliés aux composantes faune et flore

Faire le lien avec les DA qui seront déposées

---

## 1.3 Rôles et responsabilités

Personnes responsables de l'entreprise : chaîne de communication

Responsabilité entrepreneur général

---

## 1.4 Moyens de sensibilisation relatifs à l'application du PPFF

Le plan prévoit également des activités de sensibilisation des travailleurs; des moyens de sensibilisation relatifs à l'application du PPFF, ainsi qu'un calendrier, sont présentés à l'annexe X du présent document.

## 2 Végétation et milieux humides

### 2.1 État initial

Description de l'état initial avec une carte avec les éléments sensibles présents dans la zone des travaux (illustrer les occurrences d'espèces à statut particulier, les habitats préférentiels de ces espèces, les milieux humides) avec les limites des travaux

### 2.2 Impacts du projet sur la composante

Décrire les activités qui ont un impact sur cette composante

### 2.3 Mesures de protection de la faune et la flore

Indiquer les mesures d'atténuation présentées dans l'EIE et les Réponses aux questions

### 2.4 Mesure de surveillance et de contrôle des mesures d'atténuation

- Sensibilisation / information des travailleurs
- Suivi des mesures par un surveillant de chantier spécialisé en environnement: journal photo géoréférencé
- Remplir les fiches, formulaires et les envoyer aux personnes responsables
- Protocoles en cas d'incidents : mortalité accidentelle, déversement, incendie, etc. (pour la faune)
- Plan d'action correctif en cas de non-conformité

Tableau 1 : Protection de la végétation et des milieux humides

Impacts	Mesures d'atténuation	Mesures de suivi et d'application des mesures d'atténuation	Fiche, formulaire, etc.
Destruction de milieux humides	Balisage, travaux sur sol gelé, restauration des aires de travail	Sensibiliser les travailleurs de ne pas circuler dans les milieux humides Assurer le suivi des aires de travail à restaurer dans un registre, s'assurer de la reprise de la végétation, Surveillant de chantier en environnement	Rencontre des travailleurs  Calculer les superficies restaurées versus les superficies initiales par un biologiste et intégrer dans un formulaire de suivi et carte

Déversements accidentels	Trousse, ravitaillement à 60 m de distance	Surveillant de chantier en environnement	Remplir les fiches de surveillance appropriée
Introduction d'EVEE	Nettoyage des engins de chantier	Surveillant de chantier en environnement	Remplir les fiches de surveillance appropriée

---

## 2.5 Plan de surveillance, de suivi ou de compensation

Plan de compensation, plan d'échantillonnage, etc. (référer au programme préliminaire de surveillance et de suivi déposé au MELCCFP)

# 3 Ichtyofaune

---

## 3.1 État initial

Description de l'état initial avec une carte avec les éléments sensibles présents dans la zone des travaux (illustrer les occurrences d'espèces à statut particulier, les habitats préférentiels de ces espèces, les milieux humides) avec les limites des travaux

---

## 3.2 Impacts du projet sur la composante

Décrire les activités qui ont un impact sur cette composante

---

## 3.3 Mesures de protection de la faune et la flore

Indiquer les mesures d'atténuation présentées dans l'EIE et les Réponses aux questions

---

## 3.4 Mesure de surveillance et de contrôle des mesures d'atténuation

- Sensibilisation / information des travailleurs
- Suivi des mesures par un surveillant de chantier spécialisé en environnement: journal photo géoréférencé
- Remplir les fiches, formulaires et les envoyer aux personnes responsables
- Protocoles en cas d'incidents : mortalité accidentelle, déversement, incendie, etc. (pour la faune)
- Plan d'action correctif en cas de non-conformité

**Tableau 2 : Protection de l'ichtyofaune**

Impacts	Mesures d'atténuation	Mesures de suivi et d'application des mesures d'atténuation	Fiche, formulaire, etc.

---

## **3.5 Plan de surveillance, de suivi ou de compensation**

Plan de compensation, plan d'échantillonnage, etc. (référer au programme préliminaire de surveillance et de suivi déposé au MELCCFP)

## 4 Herpétofaune

Description de l'état initial avec une carte avec les éléments sensibles présents dans la zone des travaux (illustrer les occurrences d'espèces à statut particulier, les habitats préférentiels de ces espèces, les milieux humides) avec les limites des travaux

### 4.1 Impacts du projet sur la composante

Décrire les activités qui ont un impact sur cette composante

### 4.2 Mesures de protection de la faune et la flore

Indiquer les mesures d'atténuation présentées dans l'EIE et les Réponses aux questions

### 4.3 Mesure de surveillance et de contrôle des mesures d'atténuation

- Sensibilisation / information des travailleurs
- Suivi des mesures par un surveillant de chantier spécialisé en environnement: journal photo géoréférencé
- Remplir les fiches, formulaires et les envoyer aux personnes responsables
- Protocoles en cas d'incidents : mortalité accidentelle, déversement, incendie, etc. (pour la faune)
- Plan d'action correctif en cas de non-conformité

Tableau 3 : Protection de l'herpétofaune

Impacts	Mesures d'atténuation	Mesures de suivi et d'application des mesures d'atténuation	Fiche, formulaire, etc.

### 4.4 Plan de surveillance, de suivi ou de compensation

Plan de compensation, plan d'échantillonnage, etc. (référer au programme préliminaire de surveillance et de suivi déposé au MELCCFP).

## 5 Faune aviaire

Description de l'état initial avec une carte avec les éléments sensibles présents dans la zone des travaux (illustrer les occurrences d'espèces à statut particulier, les habitats préférentiels de ces espèces, les milieux humides) avec les limites des travaux

### 5.1 Impacts du projet sur la composante

Décrire les activités qui ont un impact sur cette composante

### 5.2 Mesures de protection de la faune et la flore

Indiquer les mesures d'atténuation présentées dans l'EIE et les Réponses aux questions

### 5.3 Mesure de surveillance et de contrôle des mesures d'atténuation

- Sensibilisation / information des travailleurs
- Suivi des mesures par un surveillant de chantier spécialisé en environnement: journal photo géoréférencé
- Remplir les fiches, formulaires et les envoyer aux personnes responsables
- Protocoles en cas d'incidents : mortalité accidentelle, déversement, incendie, etc. (pour la faune)
- Plan d'action correctif en cas de non-conformité

Tableau 4 : Protection de la faune aviaire

Impacts	Mesures d'atténuation	Mesures de suivi et d'application des mesures d'atténuation	Fiche, formulaire, etc.

### 5.4 Plan de surveillance, de suivi ou de compensation

Plan de compensation, plan d'échantillonnage, etc. (référer au programme préliminaire de surveillance et de suivi déposé au MELCCFP)

## 6 Mammifère - Grande faune

Description de l'état initial avec une carte avec les éléments sensibles présents dans la zone des travaux (illustrer les occurrences d'espèces à statut particulier, les habitats préférentiels de ces espèces, les milieux humides) avec les limites des travaux

### 6.1 Impacts du projet sur la composante

Décrire les activités qui ont un impact sur cette composante

### 6.2 Mesures de protection de la faune et la flore

Indiquer les mesures d'atténuation présentées dans l'EIE et les Réponses aux questions

### 6.3 Mesure de surveillance et de contrôle des mesures d'atténuation

- Sensibilisation / information des travailleurs
- Suivi des mesures par un surveillant de chantier spécialisé en environnement: journal photo géoréférencé
- Remplir les fiches, formulaires et les envoyer aux personnes responsables
- Protocoles en cas d'incidents : mortalité accidentelle, déversement, incendie, etc. (pour la faune)
- Plan d'action correctif en cas de non-conformité

Tableau 5 : Protection des mammifères - grande faune

Impacts	Mesures d'atténuation	Mesures de suivi et d'application des mesures d'atténuation	Fiche, formulaire, etc.

### 6.4 Plan de surveillance, de suivi ou de compensation

Plan de compensation, plan d'échantillonnage, etc. (référer au programme préliminaire de surveillance et de suivi déposé au MELCCFP)

# 7 Mammifère – Autres espèces

Description de l'état initial avec une carte avec les éléments sensibles présents dans la zone des travaux (illustrer les occurrences d'espèces à statut particulier, les habitats préférentiels de ces espèces, les milieux humides) avec les limites des travaux

## 7.1 Impacts du projet sur la composante

Décrire les activités qui ont un impact sur cette composante

## 7.2 Mesures de protection de la faune et la flore

Indiquer les mesures d'atténuation présentées dans l'EIE et les Réponses aux questions

## 7.3 Mesure de surveillance et de contrôle des mesures d'atténuation

- Sensibilisation / information des travailleurs
- Suivi des mesures par un surveillant de chantier spécialisé en environnement: journal photo géoréférencé
- Remplir les fiches, formulaires et les envoyer aux personnes responsables
- Protocoles en cas d'incidents : mortalité accidentelle, déversement, incendie, etc. (pour la faune)
- Plan d'action correctif en cas de non-conformité

Tableau 6 : Protection des mammifères – autres espèces

Impacts	Mesures d'atténuation	Mesures de suivi et d'application des mesures d'atténuation	Fiche, formulaire, etc.

## 7.4 Plan de surveillance, de suivi ou de compensation

Plan de compensation, plan d'échantillonnage, etc. (référer au programme préliminaire de surveillance et de suivi déposé au MELCCFP).

## 8 Chiroptère

Description de l'état initial avec une carte avec les éléments sensibles présents dans la zone des travaux (illustrer les occurrences d'espèces à statut particulier, les habitats préférentiels de ces espèces, les milieux humides) avec les limites des travaux

### 8.1 Impacts du projet sur la composante

Décrire les activités qui ont un impact sur cette composante

### 8.2 Mesures de protection de la faune et la flore

Indiquer les mesures d'atténuation présentées dans l'EIE et les Réponses aux questions

### 8.3 Mesure de surveillance et de contrôle des mesures d'atténuation

- Sensibilisation / information des travailleurs
- Suivi des mesures par un surveillant de chantier spécialisé en environnement: journal photo géoréférencé
- Remplir les fiches, formulaires et les envoyer aux personnes responsables
- Protocoles en cas d'incidents : mortalité accidentelle, déversement, incendie, etc. (pour la faune)
- Plan d'action correctif en cas de non-conformité

Tableau 7 : Protection des chiroptères

Impacts	Mesures d'atténuation	Mesures de suivi et d'application des mesures d'atténuation	Fiche, formulaire, etc.

### 8.4 Plan de surveillance, de suivi ou de compensation

Plan de compensation, plan d'échantillonnage, etc. (référer au programme préliminaire de surveillance et de suivi déposé au MELCCFP)



wsp



# APPENDIX

# RQC3-19

MINERAL RESOURCES  
CONDEMNATION REPORTS



# APPENDIX

## RQC3-19-1

ASSESSMENT OF MINERAL POTENTIAL  
BENEATH THE EXPANSION OF THE  
WASTE ROCK PILE



# Évaluation du potentiel minéral sous l'agrandissement de la halde à stériles



Projet Windfall, Eeyou Iscthee Baie-James, Québec

Julien Avard, Chef Géologue, Geo. (OGQ#1887)

Décembre 2025 (révision 1)



**GOLD FIELDS**

Créer une valeur durable au-delà *de l'exploitation minière*

*Contenu*

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>4</b>
<b>GÉOLOGIE.....</b>	<b>5</b>
Lithologie.....	5
Altération .....	5
Structure .....	5
Minéralisation .....	5
<b>FORAGES &amp; TRAVAUX .....</b>	<b>6</b>
<b>POTENTIEL MINÉRAL.....</b>	<b>8</b>
<b>CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....</b>	<b>9</b>
<b>RÉFÉRENCES .....</b>	<b>10</b>
<b>MISE À JOUR ÉVALUANT UN PILIER DE 100 M : DÉCEMBRE 2025 .....</b>	<b>11</b>
Forage.....	11
Potentiel minéral.....	12
Conclusion et recommandations .....	13
<b>ANNEXES .....</b>	<b>14</b>
<b>ANNEXES (RÉVISION 1 : DÉCEMBRE 2025).....</b>	<b>18</b>

## Résumé

---

Le site prévu pour l'agrandissement de la halde à stériles du projet minier aurifère Windfall développé par le Groupe Minier Windfall Inc., détenu par Gold Fields Limited, a fait l'objet d'une évaluation de son potentiel minéral dans le pilier de surface de 30 m sous le socle rocheux. Le principal potentiel minéral correspond à la zone Windfall Nord traversant la partie sud du site prévu. La zone minéralisée de Windfall Nord correspond à des corridors métriques de remplacement orientés ENE, montrant une altération modérée en séricite-carbonate-pyrite, mis en place dans des volcaniques felsiques à intermédiaires et près de contacts avec des intrusifs felsiques porphyriques. Localement la zone de Windfall Nord montre une surimpression de l'altération en séricite-pyrite +/- silice sur des veines colloformes à carbonates d'épaisseur pluri-centimétriques à décimétriques. Les occurrences où la minéralisation de type remplacement juxtapose les veines colloformes montrent les meilleures teneurs avec localement plusieurs grains d'or visible. La zone Windfall a été découverte en 2019 par Osisko Mining Inc et a fait l'objet de campagnes de forage en 2019 et 2021 afin d'y définir le potentiel minéral et une maille de forage suffisante permettant d'y établir une estimation de ressources présumées et localement de ressources indiquées. Une portion mineure et non matérielle de ces ressources est concernée par le pilier de surface à condamner, soit 9 700 tonnes à 7,53 g/t Au pour un total de 2 357 onces d'or en ressources indiquées et 6 100 tonnes à 5,87 g/t Au pour un total 1 143 onces d'or en ressources présumées. Le corridor de la zone Windfall Nord et ses extensions a été suffisamment sondé pour considérer que les ressources minérales qui y sont estimées reflètent adéquatement le plein potentiel minéral du secteur.

Le potentiel minéral dans le pilier de surface sous l'agrandissement de la halde à stériles est faible et bien documenté. Il est recommandé, sur la base du potentiel minéral faible, de construire l'agrandissement de la halde à stériles du projet Windfall au site prévu.

## INTRODUCTION

---

Avec le projet minier aurifère Windfall, Groupe Minier Windfall Inc. (GMW) souhaite exploiter une mine d'or souterraine, 115 km à l'est de Lebel-sur-Quévillon, dans la région du Nord-du-Québec sur le territoire d'Eeyou Iscthee Baie-James. Le complexe minier prévoit l'agrandissement de la halde à stériles actuelle. Le site retenu pour l'agrandissement est situé jusqu'à environ 200 m au sud-ouest de la halde actuelle.

Ce rapport présente une synthèse des résultats de forages au diamant historiques (1999 à 2021) ainsi que les diverses informations géologiques du pilier de surface, correspondant aux 30 m verticaux sous le socle rocheux (Étude de faisabilité, 2023), du site retenu permettant d'en évaluer le potentiel minéral.

L'objectif du rapport est de déterminer si le secteur sous l'agrandissement projeté de la halde à stériles peut faire l'objet de condamnation du potentiel minéral aurifère.

# GÉOLOGIE

---

## Lithologie

Le secteur prévu de l'agrandissement de la halde à stériles est principalement caractérisé par des séquences de roches volcaniques mafiques-intermédiaires et felsiques. Ces roches volcaniques sont recoupées par quelques dikes porphyriques à yeux de quartz pré-minéralisation aurifère. Ces dikes sont sub-verticaux et principalement orientés ENE comme ailleurs sur le dépôt Windfall. Il y a aussi quelques dikes tardifs (post-minéralisation aurifère) orientés nord-est à pendage modéré vers le sud-est. Ces dikes tardifs sont généralement granulaires et montrent une hématisation modérée et pervasive. Une intrusion intermédiaire porphyrique avec des phénocristaux de feldspath est également présente dans la partie nord de l'agrandissement prévu. Cette unité lithologique est observée localement et n'est pas présente au cœur du dépôt Windfall.

## Altération

Les roches situées sous l'agrandissement prévu de la halde à stériles sont principalement affectées par une altération faible à modérée en chlorite-carbonate typiquement présente en fond dans la périphérie du dépôt Windfall. De petits corridors d'altération modérée en séricite (0,1 m à 10 m) sont localement observés, ceux-ci sont généralement associés avec des disséminations et filonnets de pyrite. Quelques occurrences locales d'altération pervasive en silice d'intensité forte à modérée sont également présentes dans les lentilles de la zone Windfall Nord. Ces occurrences sont généralement associées avec des veines irrégulières à quartz-carbonates décimétriques.

## Structure

La faille Northern traverse le nord de l'agrandissement prévu de la halde à stériles. Cette faille est caractérisée par une fracturation importante, du cisaillement et de la gouge localement. Dans le secteur de l'agrandissement, les forages n'y ont intersecté que quelques occurrences mineures de minéralisation en pyrite, celles-ci n'ayant retourné aucune valeur aurifère.

## Minéralisation

La zone minéralisée de Windfall Nord est principalement caractérisée par des corridors métriques à pluri-métriques de remplacement à séricite-pyrite, avec localement de la silicification surimprimant des veines précoces à carbonates montrant des textures colloformes. Les meilleurs intervalles minéralisés et les meilleures teneurs aurifères dans ce secteur sont associés à cette juxtaposition de zones de remplacement et de veines colloformes. Ces intervalles montrent localement des occurrences d'or visible. Les veines colloformes à carbonates agissent comme un piège chimique et structural favorisant la précipitation de l'or. Lorsque la minéralisation est distale aux veines colloformes et seulement caractérisée par du remplacement faible à modérée, elle montre des teneurs aurifères beaucoup plus faibles et sporadiques. Les veines colloformes préservées de la minéralisation de type remplacement, sont généralement stériles ou ne montrent que des teneurs anormales au mieux. L'essentiel du potentiel aurifère du secteur Windfall Nord est donc déterminé par l'intersection des veines colloformes et des corridors minéralisés de type remplacement. Étant donné la distribution irrégulière et discontinue des veines colloformes, le potentiel aurifère du secteur de Windfall Nord est considéré être limité et sporadique.

## FORAGES & TRAVAUX

---

Le secteur de la zone minéralisée de Windfall Nord, située environ 300 m au nord de la Main Zone, a été découvert en 2019 par Minière Osisko avec le forage systématique d'anomalies historiques de chargeabilité par polarisation provoquée situées en périphérie du dépôt Windfall. L'agrandissement de la halde à stériles du projet Windfall est située au-dessus de la zone minéralisée Windfall Nord.

Entre 1999 et 2006 quelques forages ont été réalisés dans le secteur de l'agrandissement prévu pour la halde à stériles, sans toutefois intersecter de minéralisation aurifère significative.

En 2019, un intervalle de veines colloformes associée à du remplacement en séricite-pyrite et avec localement des amas d'or visible, ayant retourné 393 g/t Au sur 2,2 m (incluant 1 725 g/t Au sur 0,5 m) à partir de 100,2 m dans le forage OSK-W-19-1883 a été découvert dans le secteur de Windfall Nord. Le secteur a ensuite fait l'objet d'une campagne de forage systématique afin d'y définir le potentiel minéral. Les forages réalisés en 2019 ont permis d'établir en 2020 (Murahwi et al. 2020) une première estimation de ressources présumées dans ce secteur.

Une autre campagne de forage a été réalisée en 2021 dans le secteur de Windfall Nord avec l'objectif de convertir une partie des ressources présumées en ressources indiquées. Le secteur de Windfall Nord ou sa périphérie située sous l'aire de l'agrandissement prévu de la halde à stériles n'a pas fait l'objet de forage de définition ou d'exploration depuis cette campagne en 2021 puisqu'il a été déterminé que le potentiel du secteur, malgré les occasionnelles hautes teneurs aurifères, est mineur et localisé.

Un total de 39 forages d'exploration pour 1 385 m a été réalisé dans le pilier de surface de 30 mètres sous l'agrandissement prévu de la halde à stériles. Plusieurs autres dizaines de forages supplémentaires ont également été forés en périphérie et permettent de caractériser le secteur (Figures 1 à 3).

Au total, il y a 1 320 échantillons de carotte de forage analysés pour l'or dans le pilier de surface. Ces échantillons ont retourné quelques valeurs aurifères dont 28 avec des valeurs supérieures à 1 g/t Au et 2 avec des valeurs supérieures à 10 g/t Au.

Résumé des principaux résultats aurifères dans le pilier de 30m :

- OSK-W-19-1883 : 3,47 g/t Au sur 1,8 m de 33,1 à 34,9 m; 5-10% de stringers de pyrite au contact entre une intrusion felsique et des volcaniques mafiques.
- OSK-W-19-1950 : 112 g/t Au sur 0,8 m de 32,3 à 33,1 m; Intrusion felsique altéré en séricite-silice avec 1-5% de pyrite disséminée et une trentaine de grains d'or visible associés à une veine de carbonates de 4 cm. (Figure 4.)
- OSK-W-19-1980 : 1,34 g/t Au sur 5 m de 12 à 17 m; Volcaniques intermédiaires séricitisées avec 3% pyrite disséminée et en stringers.
- OSK-W-21-2624 : 6,44 g/t Au sur 3,5 m de 16,5 à 20 m; Volcaniques intermédiaires séricitisées avec 3% pyrite disséminée et en amas
- OSK-W-21-2627 : 3,63 g/t Au sur 1,4 m de 36,6 à 38 m; Volcaniques intermédiaires séricitisées avec 3% pyrite disséminée et en amas

Le secteur a également été couvert en 1997 par une grille de levé géophysique de polarisation provoquée de 15,5 km de ligne. Le corridor de la zone Windfall Nord correspond à une anomalie de chargeabilité forte à modérée sur une longueur d'environ 400 m (Plante. L, 1997). Le levé n'a pas identifié d'autres anomalies de chargeabilité significative dans le secteur prévu de l'agrandissement de la halde à stériles.

## POTENTIEL MINÉRAL

La plus récente estimation des ressources minérales sur la zone minéralisée de Windfall Nord a été réalisée en 2022 avec une date effective au 7 juin 2022.

Le potentiel de Windfall Nord a été efficacement foré avec une maille espacée d'environ 50 à 100 m permettant d'y estimer des ressources présumées avec localement une maille plus serrée espacée de 20-25 m permettant d'estimer des ressources indiquées. La zone de Windfall Nord ainsi que ses périphéries et extensions sont suffisamment sondées pour considérer que l'estimation de ressources minérales reflète bien son potentiel minéral. Plus particulièrement dans le volume concerné par le pilier de surface sous l'agrandissement de la halde à stériles.

Estimation de ressources minérales concernées par le pilier sous l'agrandissement de la halde à stériles								
		Ressources indiquées				Ressources présumées		
Zone		Teneur de coupure à 3,5 g/t Au				Teneur de coupure à 3,5 g/t Au		
		Tonnes	Teneur (g/t Au)	Oz Au	Tonnes	Teneur (g/t Au)	Oz Au	
<b>Pilier Surface</b>	<b>Windfall Nord</b>	7004	9 700	7,53	2 357	6 100	5,87	1 143
	<b>0-30m</b>							

Tableau 1: ERM (2022) dans le pilier sous l'agrandissement de la halde à stériles

La condamnation du pilier de surface sous l'agrandissement de la halde à stériles prévue du projet Windfall concerne un total de 9 700 tonnes à une teneur moyenne de 7,53 g/t Au pour 2 357 onces d'or en ressources indiquées et 6 100 tonnes à 5,87 g/t Au pour 1 143 onces d'or (Figure 3). Cette estimation confirme que la quantité est marginale. Ces 2 357 onces d'or indiquées correspondent à environ 0,06 % des 4,05 millions d'onces indiquées incluses dans la plus récente estimation de ressources (Richard, 2022).

De plus, l'étude de faisabilité complétée sur le projet Windfall en 2022 n'a pas permis d'établir de réserves prouvées ou probables dans la zone minéralisée de Windfall Nord.

## CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

---

Il existe un potentiel minéral aurifère sous l'agrandissement prévu de la halde à stériles à Windfall correspondant à la zone de Windfall Nord. La zone minéralisée de Windfall Nord est connue depuis 2019 et a fait l'objet de campagnes significatives de forage en 2019 et en 2021 afin d'y définir le potentiel minéral et d'estimer des ressources minérales indiquées et présumées. Les forages réalisés permettent de bien établir les limites et caractéristiques du système minéralisé. Les meilleures occurrences minérales dans le secteur de Windfall Nord sont associées à des veines colloformes à carbonates affectées par une minéralisation subséquente de type remplacement à séricite-silice-pyrite. Bien que souvent accompagnées de plusieurs grains d'or visible et associées à des teneurs aurifères élevées, la nature irrégulière de ces veines colloformes rend le potentiel minéral limité et sporadique dans la zone Windfall Nord.

En conclusion, les connaissances géologiques actuelles permettent d'établir que le potentiel minéral dans le pilier de surface sous l'agrandissement de la halde à stériles projeté à Windfall est faible et adéquatement représenté par l'actuelle estimation de ressources indiquées et présumées.

**Sur la base de ce potentiel minéral faible et adéquatement documenté**, il est jugé que l'agrandissement prévu pour la halde à stériles est approprié.

Signé le 22 décembre 2025



---

Julien Avard, Chef Géologue, Geo. (OGQ#1887)

## RÉFÉRENCES

---

BBA et al. 2023, Feasibility Study for the Windfall Project, Eeyou Istchee James Bay, Québec, Canada, 668 pages

Murahwi et al. 2020, An updated mineral resource estimate for the Windfall Lake project, located in the Abitibi Greenstone Belt, Urban township, Eeyou Istchee James Bay, Québec, Canada

Plante, L. 1997, Induced Polarization Survey, Windfall Property, Urban Township, QC, (GM 55519)

Richard, P-L., 2022, Mineral Resource Estimate Update for the Windfall Project, Eeyou Istchee James Bay, Québec, Canada, 342 pages

## MISE À JOUR ÉVALUANT UN PILIER DE 100 M : DÉCEMBRE 2025

---

Cette mise à jour évalue le potentiel minéral sous l'agrandissement de la halde à stériles en considérant un pilier de 100 m comparativement au pilier de 30 m dans le rapport de condamnation initial et documenté dans l'étude de faisabilité (BBA et al.). Les descriptions des paramètres géologiques (lithologies, structures, altérations et minéralisation) demeurent sensiblement inchangées.

La principale différence est le recoupement partiel d'une plus importante partie des lentilles de la zone minéralisée de Windfall Nord (WFN-7002, WFN-7003, WFN-7004 et WFN-7005) par un pilier de 100m. Ces corridors minéralisés sont bien documentés par le forage et leurs limites sont bien définies. Les minéralisations de la zone Windfall Nord correspondent à de petits corridors sub-verticaux recoupant localement des veines précoces à textures colloformes. Ces caractéristiques de la minéralisation spécifiques à Windfall Nord continuent au-delà de 30 m verticaux. L'estimation des ressources minérales qui y est établie représente pleinement le potentiel de ces minéralisations.

### Forage

Il n'y a pas eu de nouveau forage dans l'aire de la halde à stériles et son agrandissement projeté depuis 2022. La densité de forages historiques documente adéquatement le secteur.

Au total, 53 forages d'exploration pour 4 969 m traversent le pilier de surface de 100 mètres sous l'aire de l'agrandissement projeté de la halde à stériles. Plusieurs autres dizaines de forages supplémentaires ont également été forés en périphérie et permettent de caractériser le secteur (Figures 5 à 7).

Au total, il y a 4 906 échantillons de carotte de forage analysés pour l'or dans le pilier de surface. Ces échantillons ont retourné quelques valeurs aurifères dont 126 avec des valeurs supérieures à 1 g/t Au et 18 avec des valeurs supérieures à 10 g/t Au. Les résultats aurifères significatifs correspondent tous aux corridors de la zone Windfall Nord et ont fait l'objet de suivis en forage conséquents et appropriés.

Résumé des principaux résultats aurifères additionnels dans le pilier de 30 à 100 m :

- OSK-W-19-1883 : 393 g/t Au sur 2,2 m (incl. 1725 g/t Au sur 0,5m) de 101,5 à 103,7 m; *Volcaniques intermédiaires fortement séricitisées et fuschitisées et localement silicifiées avec 5 % de pyrite disséminée, 1% de sphalérite et une centaine de grains d'or visible.*
- OSK-W-19-1906 : 14.1 g/t Au sur 1,0 m de 99,7 à 100,7 m; *Volcaniques intermédiaires modérément séricitisées et localement silicifiées avec 10% de pyrite disséminée et un grain d'or visible.*
- OSK-W-19-1943 : 5.46 g/t Au sur 2,0 m de 106,5 à 108,5 m; *Volcaniques felsiques cisailées et fortement silicifiées/séricitisées avec 10% de pyrite disséminée et une veine à quartz-pyrite de 23cm*
- OSK-W-21-2598 : 12.9 g/t Au sur 0,3 m de 85,1 à 85,4 m; *Volcaniques intermédiaires fortement séricitisées et localement silicifiées avec 5-8 % de pyrite disséminée et des veines centimétriques à quartz-tourmaline.*
- OSK-W-21-2604 : 12.1 g/t Au sur 2,3 m de 50,5 à 52,8 m; *Intrusifs felsiques à porphyres de quartz fortement silicifiés avec 5% de pyrite disséminée et veines à quartz-carbonates.*

Le suivi en forage indique que ces minéralisations aurifères sont localement développées et que leur potentiel d'extension latérale et verticale est limité.

## Potentiel minéral

Considérant un pilier de surface de 100 m sous l'agrandissement projeté de la halde à stériles, les parties supérieures de quatre lentilles de la zone minéralisée Windfall Nord (WFN-7002, 7003, 7004 et 7005) sont concernées (figures 5, 6 et 7). Des ressources minérales indiquées et présumées sont estimées dans les lentilles WFN-7002 et WFN-7004. Les minéralisations modélisées dans les lentilles WFN-7003 et WFN-7005 et recoupées par le pilier de 100 m, sont de faible teneur et sont entièrement estimées sous la teneur de coupure du projet établie à 3,5g/t Au. Elles ne constituent pas en conséquence de ressources minérales.

Estimation de ressources minérales concernées par le pilier de surface par l'empreinte de l'agrandissement projeté de la halde à stériles					
	Zone		Teneur de coupure à 3.5g/t Au		
			Tonnes	Teneur (g/t Au)	Oz Au
<b>Ressources indiquées</b>					
<b>Pilier Surface 0-30 m</b>	Windfall Nord	7004	9 700	7.56	2 357
<b>Pilier Surface 30-100 m</b>	Windfall Nord	7002	6 400	7.35	1 513
	Windfall Nord	7004	4 600	5.14	761
<i>Sous-total 30-100m</i>	<i>Windfall Nord</i>		<i>11 000</i>	<i>6.43</i>	<i>2 273</i>
<b>Total Indiquées</b>	<b>Windfall Nord</b>		<b>20 700</b>	<b>6.96</b>	<b>4 630</b>
<b>Ressources présumées</b>					
<b>Pilier Surface 0-30 m</b>	Windfall Nord	7004	6 100	5.83	1143
<b>Pilier Surface 30-100 m</b>	Windfall Nord	7002	400	3.64	47
	Windfall Nord	7004	8 500	5.58	1526
<i>Sous-total 30-100m</i>	<i>Windfall Nord</i>		<i>8900</i>	<i>5.49</i>	<i>1 572</i>
<b>Total Présumées</b>	<b>Windfall Nord</b>		<b>14 900</b>	<b>5.67</b>	<b>2716</b>

*Chiffres arrondis à la centaine; Établis à partir de l'ERM 2022*

Le pilier de 30 à 100 m sous l'agrandissement projeté de la halde à stériles concerne un total de 11 000 tonnes indiquées à une teneur moyenne de 6,43 g/t Au pour 2 273 onces d'or ainsi que 8 900 tonnes présumées à une teneur moyenne de 5,49 g/t Au pour 1 572 onces d'or. Ceci représente une quantité marginale de ressources. À titre comparatif, ces 2 273 onces d'or indiquées correspondent à environ 0,06 % des 4,05 millions d'onces mesurées-

indiquées incluses dans la plus récente estimation de ressources, tandis que les 1 572 onces présumées correspondent à environ 0,05% des 3,37 millions d’onces présumées (Richard et al., 2022). Le projet minier aurifère Windfall étant souterrain, ces ressources indiquées et présumées conservent une perspective raisonnable d’extraction rentable éventuelle, mais leur volume et quantité demeurent négligeables actuellement pour le projet Windfall.

Finalement, le pilier de 100 m sous l’agrandissement projeté de la halde à stériles ne possède aucune réserve minérale établie dans la plus récente étude de faisabilité (BBA et al. 2023).

### Conclusion et recommandations

Le potentiel minéral établi sous l’agrandissement projeté de la halde à stériles demeure limité, même en considérant un pilier élargi à 100 m. Seule la partie supérieure de la zone de Windfall Nord se trouve à l’intérieur de ce pilier étendu. Les ressources affectées demeurent cependant marginales et conservent, sous le pilier de 30 m, des perspectives raisonnables d’extraction rentable éventuelle dans le contexte d’opérations souterraines.

Bien qu’une quantité plus importante de ressources minérales se situe à l’intérieur d’un pilier de 100 m, il est noté que le potentiel minéral de la zone Windfall Nord a été sondé de manière adéquate. Il est jugé que l’estimation de ressources minérales reflète pleinement le potentiel aurifère du secteur. Malgré des ressources majoritairement en catégorie indiquée dans le pilier de 100 m, il n’a pas été possible d’y établir de réserves minérales étant donné la faible étendue de ces minéralisations et leur excentricité par rapport aux zones principales du dépôt Windfall.

Les connaissances géologiques actuelles permettent d’établir que le potentiel minéral dans le pilier de surface sous l’agrandissement projeté de la halde à stériles à Windfall est faible et bien reflété par l’estimation actuelle des ressources.

**En somme, sur la base d’un potentiel minéral faible et adéquatement documenté dans le pilier de 100 m, il est réitéré que l’emplacement prévu l’agrandissement projeté de la halde à stériles est approprié.**

Signé le 22 décembre 2025



The image shows a handwritten signature in blue ink that reads "Julien Avard". To the right of the signature is a circular blue stamp. The stamp contains the text "GÉOLOGUE / GEOLOGIST" at the top, "JULIEN AVARD" in the center, "# 01887" below the name, and "QUÉBEC" at the bottom. There are small stars on either side of the central text.

---

Julien Avard, Chef Géologue, Geo. (OGQ#1887)

## ANNEXES

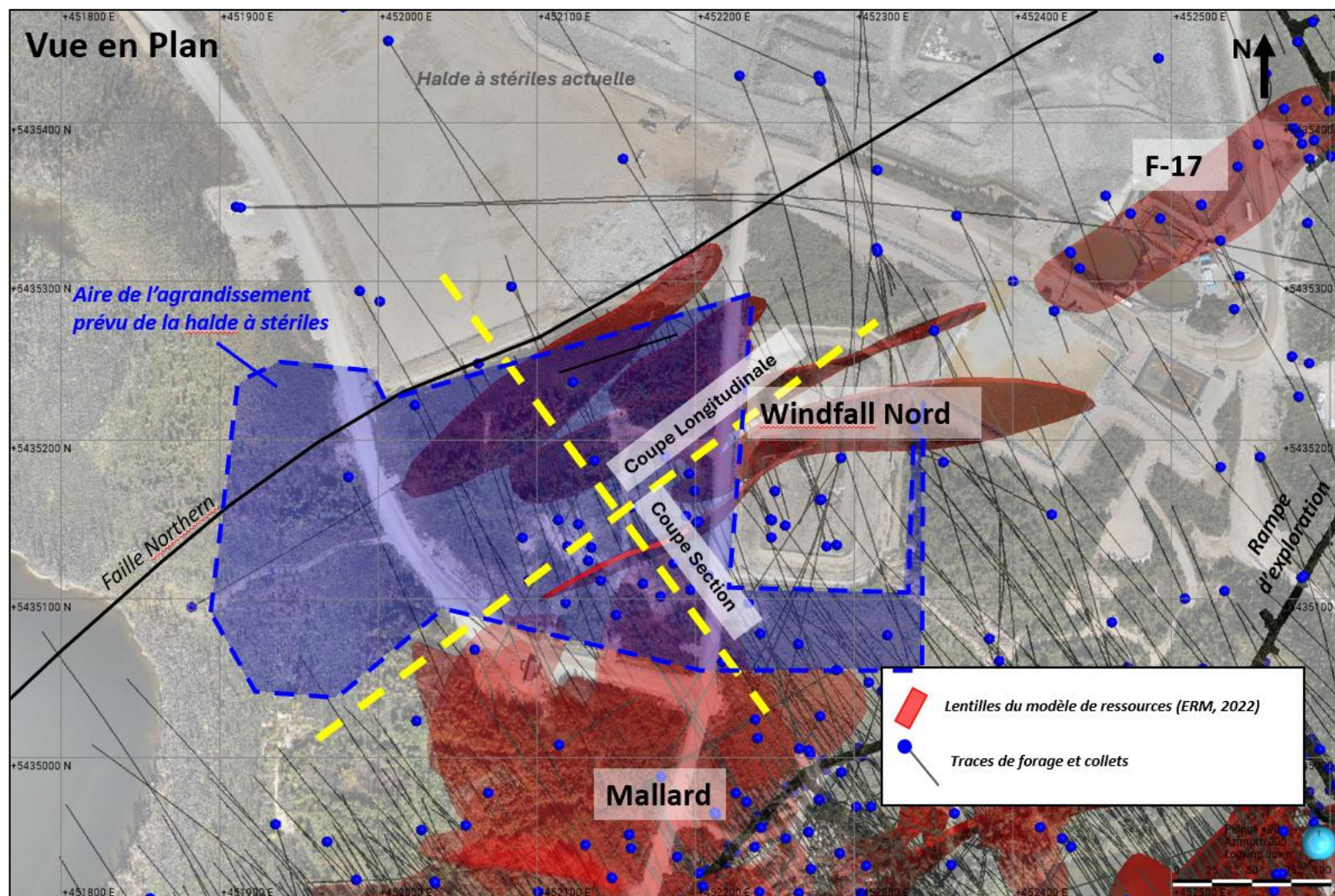


Figure 1 : Vue en plan de l'agrandissement prévu de la halde à stériles à Windfall avec les forages et les lentilles minéralisées.

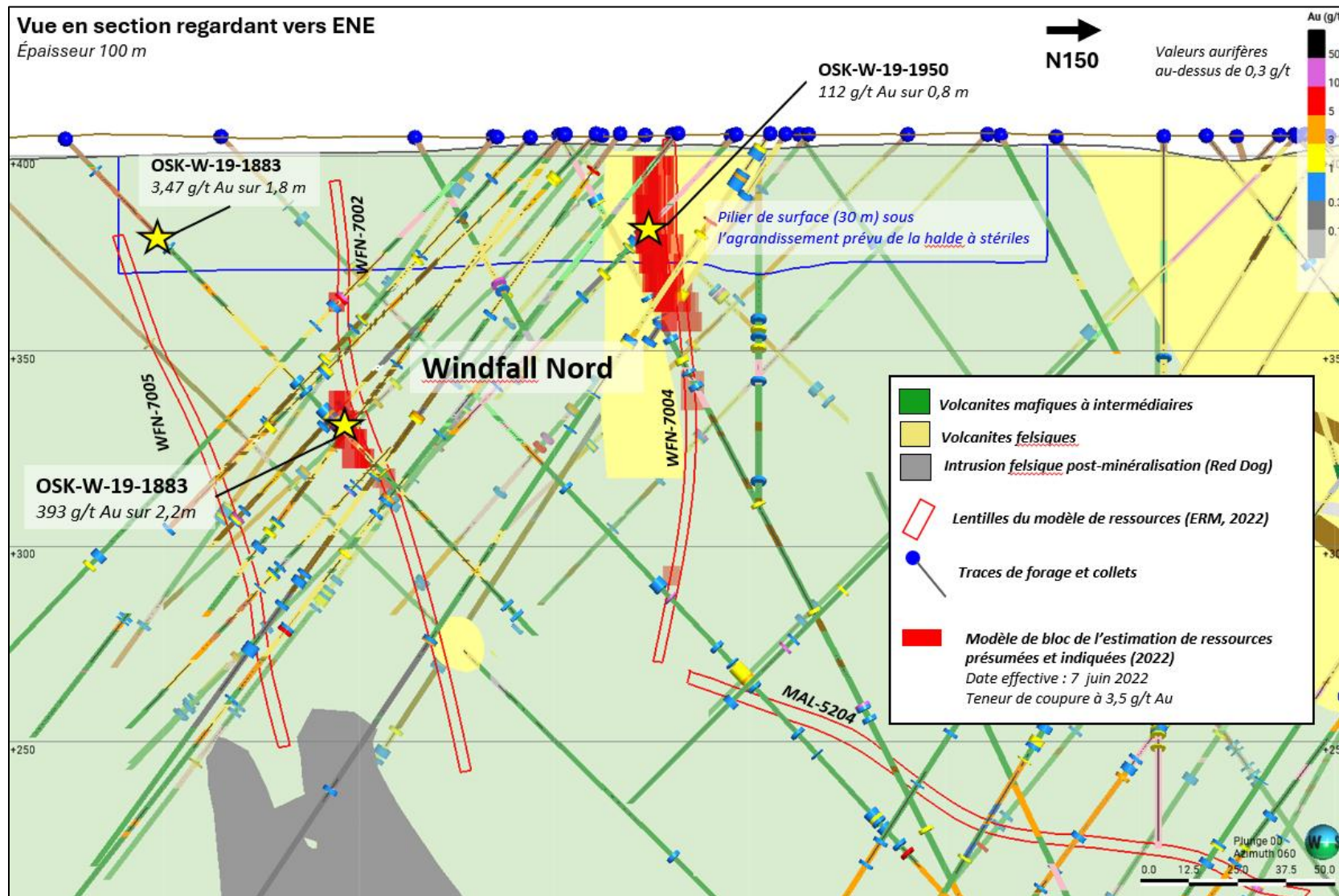


Figure 2 : Vue en section du pilier de surface sous l'agrandissement prévu de la halde à stériles.

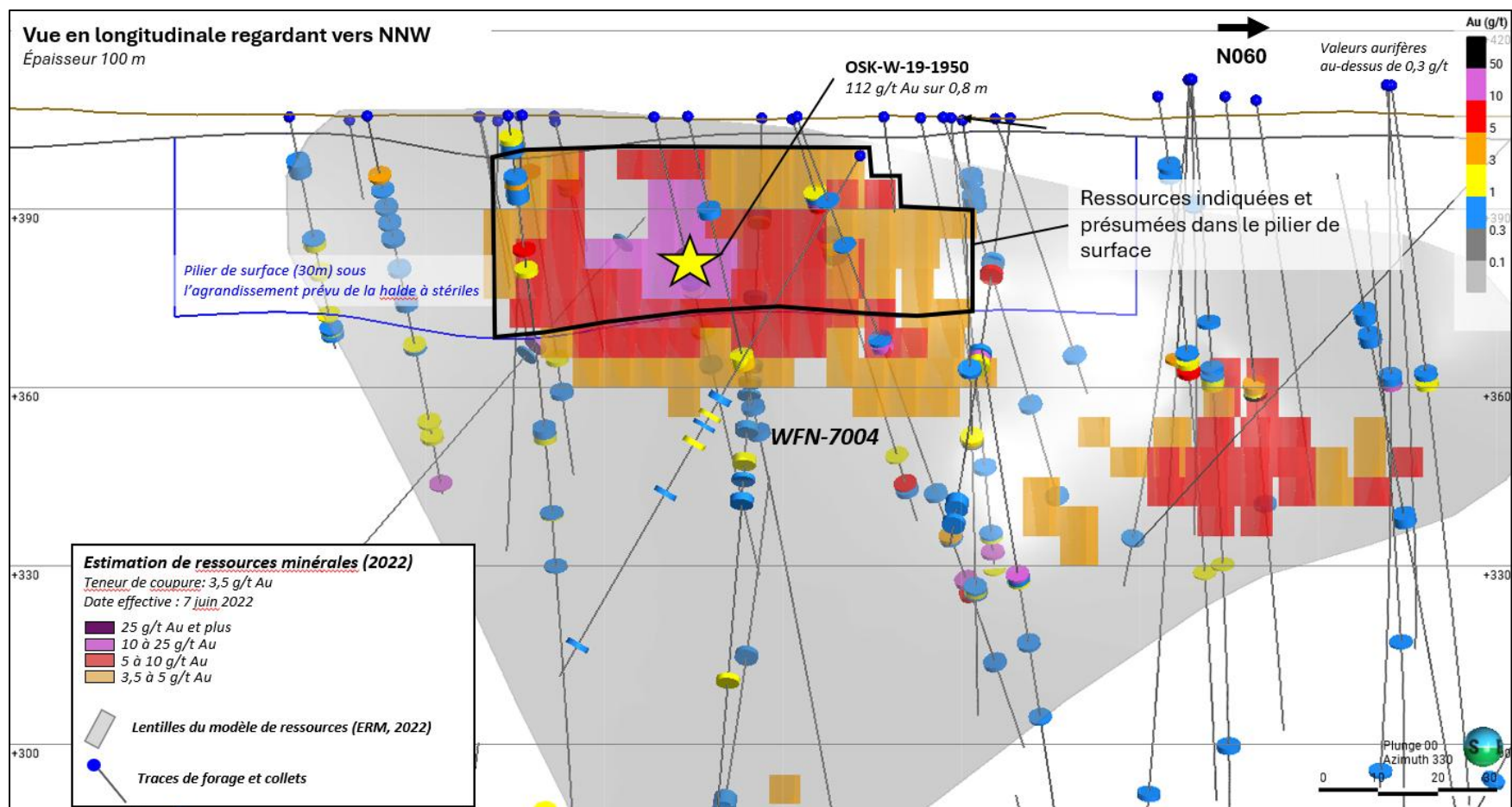


Figure 3 : Vue en coupe longitudinale du pilier de surface sous l'agrandissement prévu de la halde à stériles.

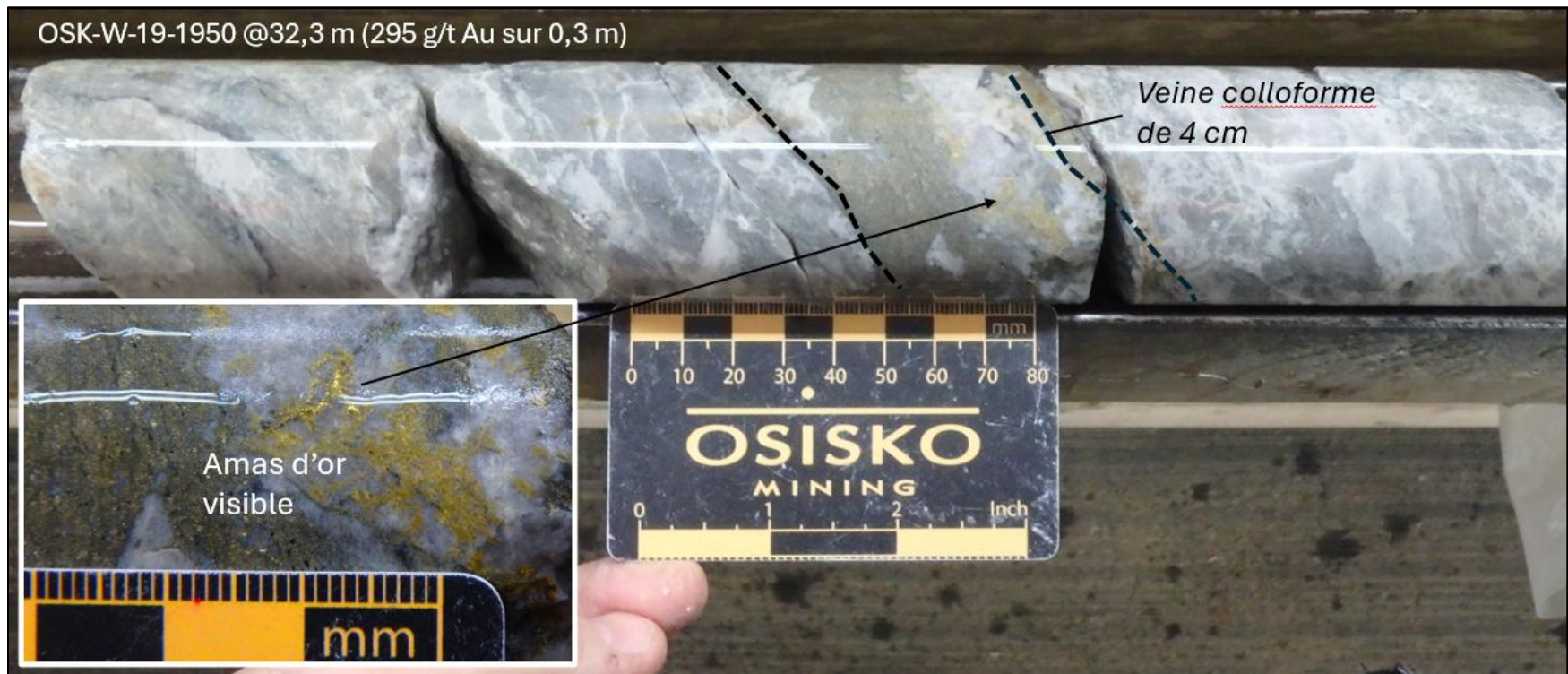


Figure 4 : Exemple de veine à carbonates de texture colloforme montrant localement des amas d'or visible lorsque superposée avec une minéralisation de type remplacement à séricite-silice-pyrite. Type de minéralisation observée très localement.

## ANNEXES (RÉVISION 1 : DÉCEMBRE 2025)

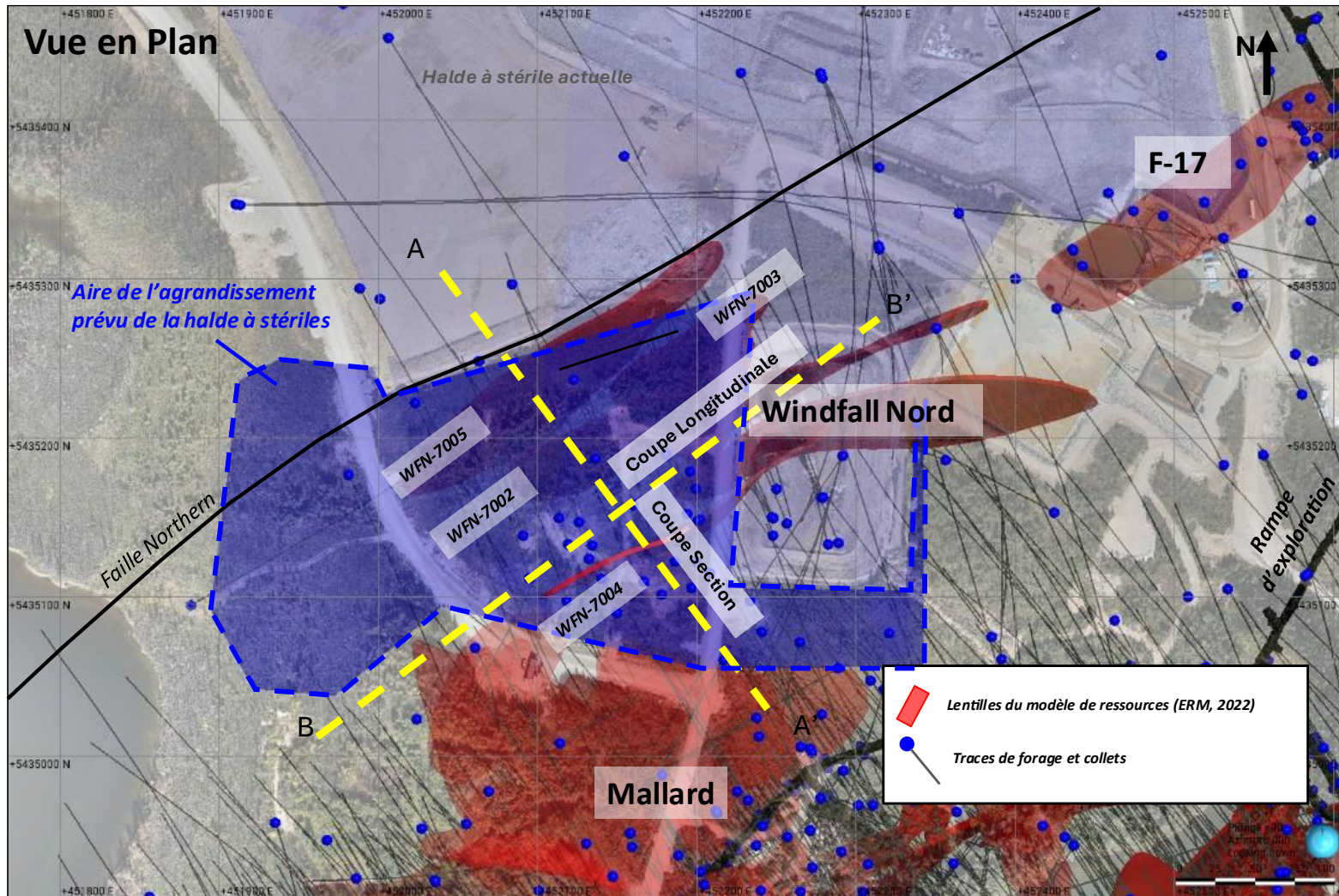


Figure 5 : Vue en plan de l'agrandissement prévu de la halde à stériles à Windfall avec les forages et les lentilles minéralisées.

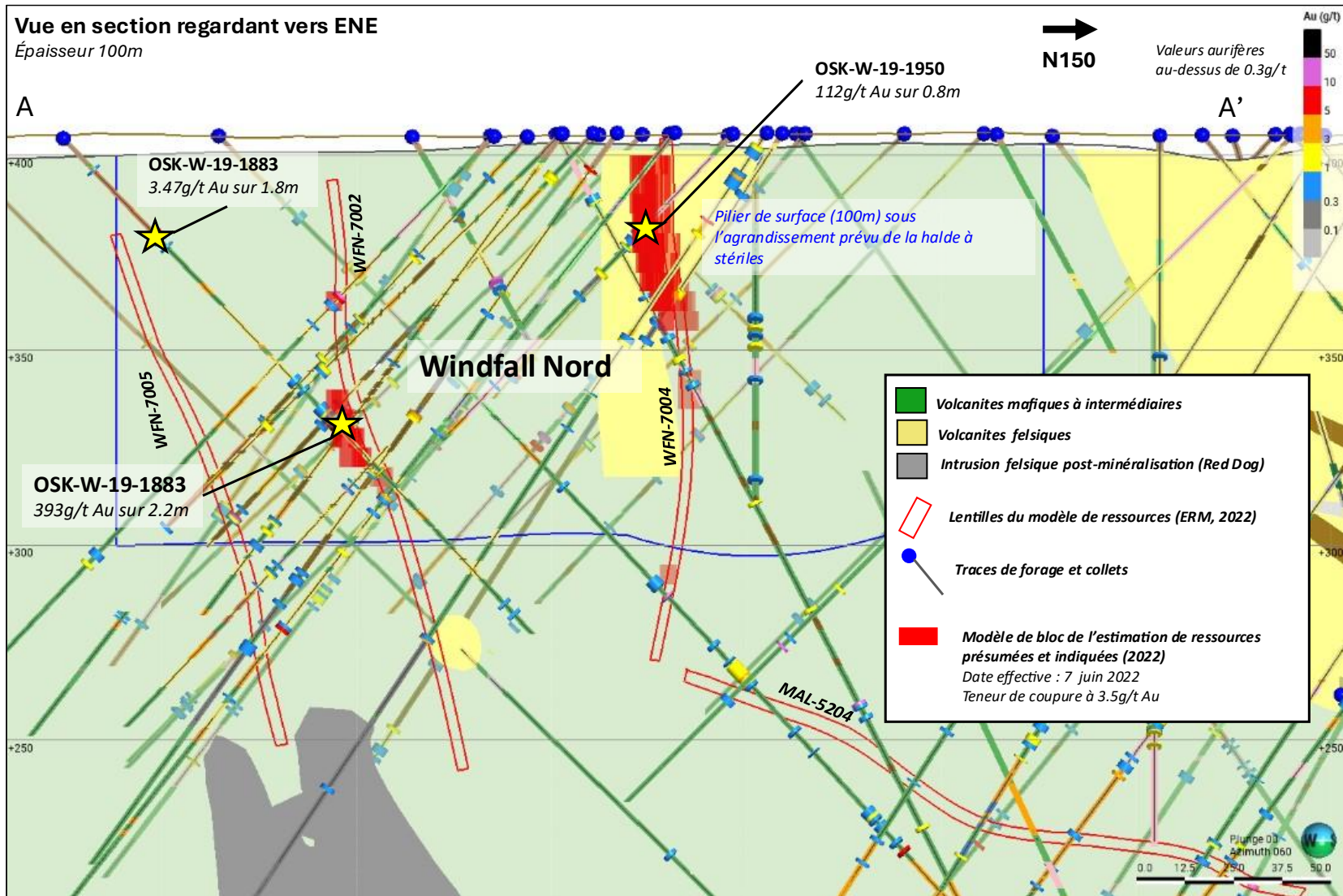


Figure 6 : Vue en section du pilier de surface sous l'agrandissement prévu de la halde à stériles.

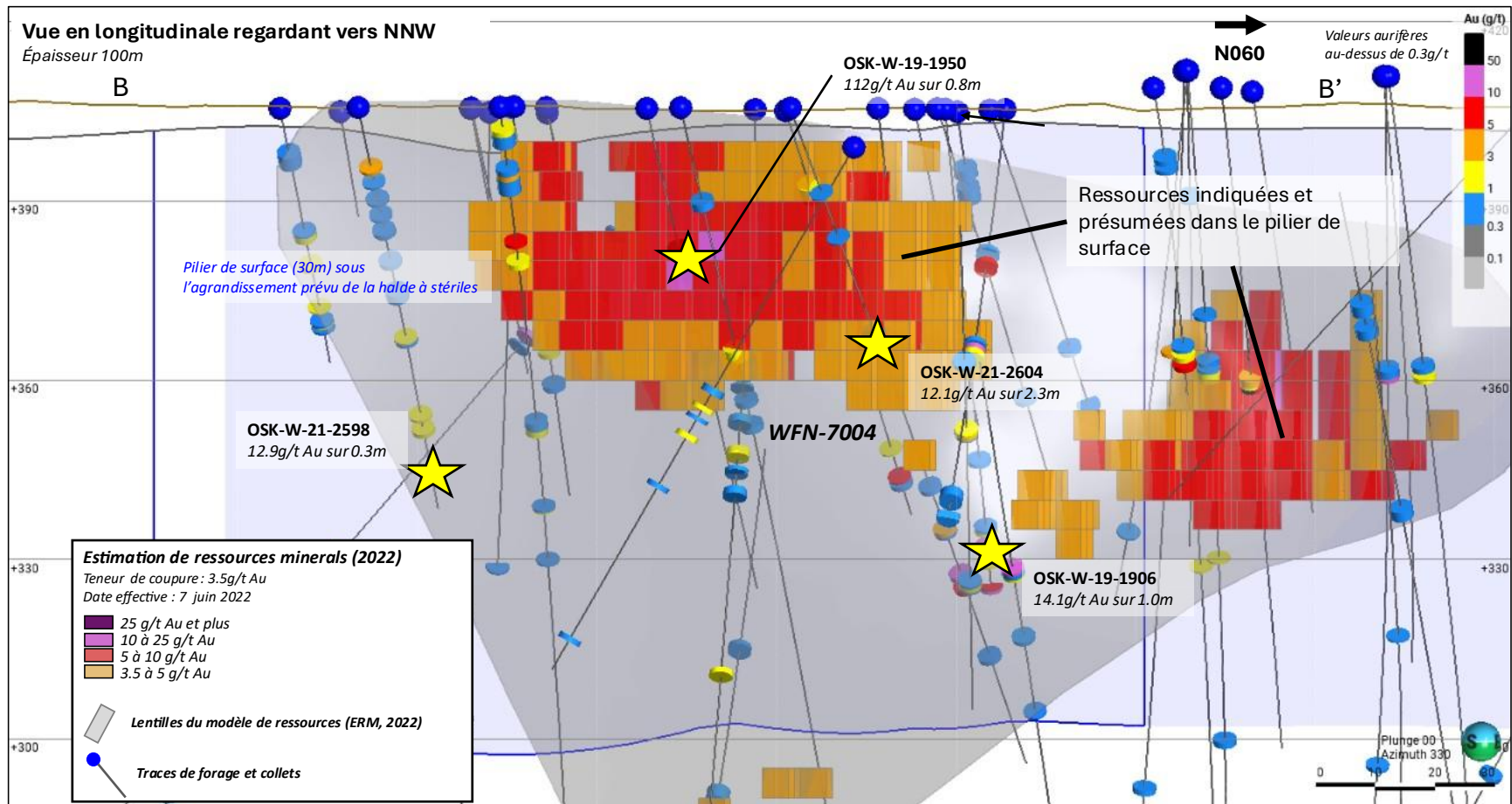


Figure 7 : Vue en coupe longitudinale du pilier de surface sous l'agrandissement prévu de la halde à stériles.

# APPENDIX

## RQC3-19-2

ASSESSMENT OF MINERAL POTENTIAL  
BENEATH THE MINE TAILINGS  
STORAGE FACILITY



# Évaluation du potentiel minéral sous le parc à résidus miniers



Projet Windfall, Eeyou Iscthee Baie-James, Québec

Julien Avar, Chef Géologue, Geo. (OGQ#1887)

Décembre 2025 (révision 1)



**GOLD FIELDS**

Créer une valeur durable au-delà *de l'exploitation minière*

## *Contenu*

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>4</b>
<b>GÉOLOGIE.....</b>	<b>5</b>
Lithologie.....	5
Altération .....	5
Structure .....	5
Minéralisation .....	5
<b>FORAGES &amp; TRAVAUX .....</b>	<b>7</b>
<b>POTENTIEL MINÉRAL.....</b>	<b>8</b>
<b>CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....</b>	<b>9</b>
<b>MISE À JOUR ÉVALUANT UN PILIER DE 100 M : DÉCEMBRE 2025 .....</b>	<b>10</b>
Forage.....	10
Potentiel minéral.....	11
Conclusion et recommandations .....	12
<b>RÉFÉRENCES .....</b>	<b>13</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>14</b>
<b>ANNEXES (RÉVISION 1 : DÉCEMBRE 2025).....</b>	<b>19</b>

## Résumé

---

Le site prévu pour le parc à résidus miniers du projet minier aurifère Windfall développé par le Groupe Minier Windfall Inc., détenu par Gold Fields Limited, a fait l'objet d'une évaluation de son potentiel minéral dans le pilier de surface de 30 m sous le socle rocheux. L'aire prévue pour le parc à résidus miniers est caractérisée par des séquences de roches volcaniques felsiques à intermédiaires-mafiques recoupées par des intrusions felsiques porphyriques ainsi qu'un gabbro définissant le flanc nord d'un plissement synforme plongeant vers l'ENE et observé à l'échelle du dépôt Windfall. La partie sud du secteur est caractérisée par une grande intrusion felsique et homogène de plusieurs centaines de mètres. Celle-ci est précoce à la minéralisation, mais a été considérablement forée et n'a pas retourné de résultats aurifères significatifs.

Le principal potentiel identifié dans le secteur correspond au corridor de la zone F-51 ainsi qu'à la zone FZN-6006. La zone FZN-6006 a été découverte en 2019 pendant une campagne de forages ciblant systématiquement les anomalies historiques de chargeabilité par polarisation provoquée. Cette zone a ensuite fait l'objet d'une campagne de forages de définition permettant d'établir les limites de la minéralisation et d'y estimer des ressources minérales indiquées. Une portion mineure et non matérielle de ces ressources est concernée par le pilier de surface à condamner, soit 3 200 tonnes à 3,89 g/t Au pour un total de 400 onces d'or indiquées.

Ainsi, le potentiel minéral dans le pilier de surface sous le parc à résidus miniers est faible et bien documenté. Il est recommandé, sur la base du potentiel minéral faible, de construire le parc à résidus miniers du projet Windfall au site prévu.

## INTRODUCTION

---

Avec le projet minier aurifère Windfall, Groupe Minier Windfall inc. (GMW) souhaite exploiter une mine d'or souterraine, 115 km à l'est de Lebel-sur-Quévillon, dans la région du Nord-du-Québec sur le territoire d'Eeyou Istchee Baie-James. Le complexe minier prévoit un parc à résidus miniers. Le site retenu pour le parc à résidus miniers est situé entre 600 m et 2 000 m à l'est du portail de la rampe d'exploration (nommé portail Principal).

Ce rapport présente une synthèse des résultats de forages historiques (2004 à 2023) ainsi que les diverses informations géologiques du pilier de surface, correspondant aux 30 m verticaux sous le socle rocheux (Étude de faisabilité, 2023), du site retenu permettant d'en évaluer le potentiel minéral.

L'objectif du rapport est de déterminer si le secteur sous le parc à résidus peut faire l'objet de condamnation du potentiel minéral.

## GÉOLOGIE

---

### Lithologie

Le secteur prévu du parc à résidus miniers est principalement caractérisé par des séquences de roches volcaniques mafiques-intermédiaires et felsiques. Dans la partie sud, on observe une importante intrusion felsique porphyrique à petits yeux de quartz qui est précoce à la minéralisation aurifère de Windfall. Cette intrusion plongeant modérément vers l'ENE, fait plusieurs centaines de mètres d'épaisseur et est située au centre d'un plissement synforme présent à l'échelle du dépôt. On observe dans la partie centrale du secteur des intrusions importantes de gabbros ainsi que plusieurs dikes felsiques à gros yeux de quartz recoupant les gabbros et roches volcaniques. Il y a également quelques intrusions felsiques tardives et post-minéralisation aurifère, surtout localisées dans la partie nord-est du parc à résidus et au nord de la zone minéralisée de F-51. Ces intrusions felsiques tardives, généralement à grain moyen et affectées par une hématisation pervasive, sont aussi appelées «Red Dog» sur le projet Windfall.

### Altération

Les roches situées sous le parc à résidus miniers sont principalement affectées par une altération faible à modérée en chlorite-carbonate typiquement présente en fond dans la périphérie du dépôt Windfall. Les zones minéralisées de F-51 et FZN-6006 présentent dans le secteur sont caractérisées par des corridors de 0,5 m à 5 m d'altération modérée en séricite-carbonates-pyrite avec localement de la silicification forte. On observe également de la fuschitisation modérée dans les zones minéralisées mises en place dans les gabbros.

Il y a également plusieurs intervalles d'altération faible à modérée en séricite-carbonates-pyrite surtout observés dans les 100 à 150 mètres au nord du corridor de F-51. Certains de ces intervalles retournent des valeurs aurifères isolées de moyenne teneur (entre 1 et 5 g/t Au), mais ne représentent pas un potentiel aurifère significatif.

### Structure

Le centre de l'aire prévue pour le parc à résidus miniers est traversé par le flanc nord d'un plissement synforme observé à l'échelle du dépôt Windfall. Ce synforme est défini dans le secteur par une intrusion de gabbro. La zone minéralisée F-51 est située sur le flanc nord du synforme, près du contact entre le gabbro et des intrusions felsiques ou des roches volcaniques.

La zone de déformation Masères, orientée ENE et plongeant fortement vers le SSE, traverse la limite sud de l'aire prévue pour le parc à résidus miniers. La faille Masères est caractérisée par un cisaillement ductile fort à intense et ayant généralement une épaisseur de 10 à 200 m. Le corridor de la faille Roméo traverse également le secteur au nord-ouest. La faille Roméo est tardive et recoupe toutes les lithologies ainsi que la minéralisation aurifère et les zones de déformation plus précoces comme la Masères. La faille Roméo est caractérisée par de la gouge de faille, des brèches et de la carotte concassée en forage.

### Minéralisation

La zone minéralisée de F-51 est principalement caractérisée par des corridors métriques à pluri-métriques de remplacement à forte altération en séricite-carbonate-fuschite-pyrite, localement accompagnés de silicification intense ainsi que de veines grises à quartz-pyrite pouvant faire entre 1 et 50 cm d'épaisseur. Ces veines grises sont

souvent accompagnées de grains d'or visible et correspondent aux meilleures teneurs aurifères dans le secteur. Il n'y a cependant pas de veines grises à quartz-pyrite observées dans le pilier de surface. Ces veines sont observées plus en profondeur dans la plongée de la zone F-51.

La zone FZN-6006 située dans la portion ouest de l'aire prévue pour le parc à résidus miniers correspond à un petit corridor de remplacement pluri-métrique montrant 10 à 25 % de pyrite disséminées et en stringers avec une séricitisation forte et une silicification irrégulière dans une roche volcanique intermédiaire.

En dehors des zones F-51 et FZN-6006, plusieurs autres intervalles minéralisés sont observés dans le secteur, mais surtout à proximité au nord de F-51. Toutefois, ces intervalles sporadiques sont généralement d'intensité plus faible ou isolée. Le potentiel minéral aurifère dans le secteur du parc à résidus miniers, en dehors de F-51 et FZN-6006, est considéré faible, voire nulle dans la partie plus au sud qui est dominée par l'intrusion felsique pré-minéralisation.

## FORAGES & TRAVAUX

---

La zone minéralisée de F-51, située environ 700 m au nord de la zone de Lynx, a été découverte en 2004 par Resources Murgor Inc. suivant le forage d'une anomalie de chargeabilité par polarisation provoquée (Desrochers, 2007). La zone de F-51 a ensuite fait l'objet de quelques forages entre 2004 et 2006 réalisés par Murgor Resources ainsi que quelques forages en 2012 réalisés par Eagle Hill Exploration Corp.

À la suite d'une campagne de re-description et de ré-évaluation des carottes historiques dans le secteur de F-51, une campagne de forage d'exploration significative, ciblant l'extension vers le nord-est et la plongée de la zone minéralisée F-51, a été réalisée en 2019 par Minière Osisko Inc. Cette campagne de forage, bien qu'elle ait permis d'identifier un contexte géologique favorable avec des volcaniques felsiques recoupées par des gabbros et des dikes felsiques similaires à ceux observés au cœur du dépôt Windfall, n'a pas retourné de résultats aurifères significatifs.

Une campagne de forage ciblant systématiquement les anomalies de chargeabilité par polarisation provoquée historique et non testée a également été réalisée en 2019. Cette campagne a permis la découverte de la zone minéralisée FZN-6006 localisée près de la surface et située dans la partie ouest de l'aire prévue pour le parc à résidus miniers.

En 2021, une campagne de forage a été réalisée sur la zone F-51 avec l'objectif d'y convertir les ressources présumées et de définir de nouvelles ressources indiquées dans sa périphérie proximale. Cette campagne de forage a permis la mise à jour en 2022 de l'estimation de ressources dans le secteur.

Plusieurs autres forages ont été réalisés entre 2017 et 2023 dans l'aire prévue pour le parc à résidus miniers, avec l'objectif de cibler la plongée en profondeur du système minéralisé de Lynx. Ces forages permettent une couverture régulière du secteur.

Un total de 234 forages d'exploration pour 7 722 m a été réalisé dans le pilier de surface de 30 mètres sous l'aire du parc à résidus miniers. Plusieurs autres dizaines de forages supplémentaires ont également été forés en périphérie et permettent de caractériser le secteur (Figures 1 à 5).

Au total, il y a 2 759 échantillons de carotte de forage analysés pour l'or dans le pilier de surface. Ces échantillons ont retourné quelques valeurs aurifères dont 12 avec des valeurs supérieures à 1 g/t Au et deux avec des valeurs supérieures à 10 g/t Au.

Résumé des principaux résultats aurifères dans le pilier de 30m :

- OSK-W-19-1929 : 3,95 g/t Au sur 2,0 m de 29,0 à 31,0 m; Volcaniques intermédiaires fortement séricitisées et lessivées avec 10-15 % de pyrite disséminée.
- OSK-W-19-1938 : 1,44 g/t Au sur 3,0 m de 38,4 à 41,4 m; Volcaniques intermédiaires modérément séricitisées avec 1 à 4 % de pyrite disséminée.
- OSK-W-19-1960 : 4,47 g/t Au sur 2,5 m de 36,5 à 39,0 m; Gabbro modérément séricitisé et fuschitisé avec 5 à 10 % de pyrite en amas et stringers.
- OSK-W-21-2501 : 4,40 g/t Au sur 0,9 m de 40,6 à 41,5 m; Intrusion felsique modérément séricitisée avec 1-2 % de stringers de pyrite.

Finalement, le secteur du parc à résidus miniers a fait l'objet d'un levé géophysique par polarisation provoquée en 2004. Plusieurs anomalies de chargeabilité ont été identifiées par ce levé. Chacune des anomalies présentes dans l'aire du parc à résidus miniers a été testée adéquatement par forage au cours des 20 dernières années.

## POTENTIEL MINÉRAL

La plus récente estimation des ressources minérales sur les différentes zones minéralisées F-Zones a été réalisée en 2022 avec une date effective au 7 juin 2022.

Le potentiel minéral de la zone F-51 et de la lentille FZN-6006 plus à l'ouest a été efficacement foré avec une maille espacée de 50 à 100 m permettant d'y estimer des ressources présumées avec localement une maille plus serrée espacée de 20-25 m permettant d'estimer des ressources indiquées. Les zones F-Zone ainsi que leurs périphéries et extensions sont suffisamment sondées pour considérer que l'estimation de ressources minérales reflète bien le potentiel minéral du secteur. **L'estimation de ressources dans les trois lentilles correspondant à la zone minéralisée de F-51 (FZN-6008, 6010 6011) est entièrement située en dessous du pilier de surface sous le parc à résidus miniers prévu.** L'étude de faisabilité (BBA et al., 2023) a permis d'établir des réserves probables dans la zone minéralisée F-51 situées sous le parc à résidus, celles-ci sont toutefois localisées à plus de 100 m sous le socle rocheux et qui seraient donc accessibles, si considérées économiquement viable dans le futur, par une exploitation souterraine.

Estimation de ressources minérales concernées dans le pilier de surface sous l'empreinte du parc à résidus miniers projeté					
		Ressources indiquées			
Zone		Teneur de coupure à 3,5 g/t Au			
		Tonnes	Teneur (g/t Au)	Oz Au	
<b>Pilier Surface 0-30m</b>	<b>F-Zones</b>	<b>6006</b>	3 200	3,89	400

La condamnation du pilier de surface sous le parc à résidus miniers prévu du projet Windfall concerne un total de 3 200 tonnes à une teneur moyenne de 3,89 g/t Au pour 400 onces d'or en ressources indiquées dans la zone FZN-6006. Cette estimation confirme que la quantité est marginale. Ces 400 onces d'or indiquées correspondent à environ 0,01 % des 4,05 millions d'onces indiquées incluses dans la plus récente estimation de ressources (Richard et al., 2022).

Les ressources indiquées dans la zone FZN-6006 n'ont pas permis d'établir de réserves probables, essentiellement en raison de la petite quantité de ressources associées et de l'excentricité importante par rapport au dépôt Windfall.

## CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

---

Il existe localement une zone minéralisée dans le pilier de surface de 30 m sous le parc à résidus miniers prévu. La zone minéralisée de F-51, connue depuis 2004, a fait l'objet de campagnes additionnelles de forages entre 2019 et 2023 permettant de bien y établir les limites et caractéristiques du système minéralisé qui s'y trouve près de la surface. L'entièreté des ressources estimées dans la zone F-51 sont situées en dessous du pilier de surface. Il y a cependant une petite quantité de ressources indiquées estimée dans la zone FZN-6006, située dans la partie ouest du secteur du parc à résidus miniers. Cette zone est marginale et son potentiel est adéquatement sondé.

Les connaissances géologiques actuelles permettent d'établir que le potentiel minéral dans le pilier de surface sous le parc à résidus miniers projeté à Windfall est faible et adéquatement représenté par l'actuelle estimation de ressources.

**En somme, sur la base du potentiel minéral faible et adéquatement documenté, il est jugé que l'emplacement prévu pour le parc à résidus miniers est approprié.**

Signé le 22 décembre 2025



---

Julien Avard, Chef Géologue, Geo. (OGQ#1887)

## MISE À JOUR ÉVALUANT UN PILIER DE 100 M : DÉCEMBRE 2025

---

Cette mise à jour évalue le potentiel minéral sous le parc à résidus miniers en considérant un pilier de 100 m comparativement au pilier de 30 m dans le rapport de condamnation initial et documenté dans l'étude de faisabilité (BBA et al.). Les descriptions des paramètres géologiques (lithologies, structures, altérations et minéralisation) demeurent inchangées.

La principale différence est le recoupement partiel du sommet des lentilles formant la zone minéralisée F-51 (FZN-6008 et 6011) et le recoupement complet de la lentille FZN-6006 par un pilier de 100m. Ces corridors minéralisés sont bien documentés par le forage et leurs limites sont bien définies. Les minéralisations des F-Zones correspondent à de petits corridors de veines étroites et cisailées avec des pendages forts ou sub-verticaux. L'estimation des ressources minérales qui y est établie représente le plein potentiel de ces minéralisations.

### Forage

À l'automne 2025, une campagne incluant 33 forages couvrant systématiquement toute la périphérie des infrastructures futures du projet Windfall pour les 100 premiers mètres verticaux a été réalisée. Ces forages ont été planifiés pour assurer une couverture de forage espacée au maximum de 150 m. Au total, 17 forages ont été réalisés dans l'aire prévue du parc à résidus miniers (Figures 6 et 7).

Une campagne de forages d'exploration a également ciblé le secteur au nord du parc à résidus miniers projeté. Trois forages réalisés dans le cadre de cette campagne ont partiellement sondé le secteur.

La description des carottes de forage de ces campagnes n'a pas détecté de minéralisation, ni d'altération significative dans le secteur. Les résultats à venir ne devraient pas modifier les conclusions du rapport.

Au total, 250 forages d'exploration pour 26 699 m traversent le pilier de surface de 100 mètres sous l'aire du futur parc à résidus miniers. Plusieurs autres dizaines de forages supplémentaires ont également été forés en périphérie et permettent de caractériser le secteur (Figures 6 à 10).

Au total, il y a 10 275 échantillons de carotte de forage analysés pour l'or dans le pilier de surface. Ces échantillons ont retourné quelques valeurs aurifères dont 77 avec des valeurs supérieures à 1 g/t Au et 12 avec des valeurs supérieures à 10 g/t Au. Les résultats aurifères significatifs correspondent tous aux corridors des F-Zones et ont fait l'objet de suivis en forage conséquents et appropriés.

Résumé des principaux résultats aurifères additionnels dans le pilier de 30 à 100 m :

- OSK-W-19-1912 : 6,62 g/t Au sur 3,8 m de 57,0 à 60,8 m; *Volcaniques intermédiaires fortement séricitisées et localement silicifiées avec 10-20 % de pyrite disséminée et en stringers. FZN-6006*
- OSK-W-19-1934 : 3,03 g/t Au sur 4,5 m de 57,3 à 61,8 m; *Volcaniques intermédiaires modérément séricitisées avec 2 à 8 % de pyrite disséminée et en stringers. FZN-6006*
- OSK-W-21-2504 : 7,19 g/t Au sur 1,9 m de 163,5 à 165,4 m; *Intrusifs mafiques modérément chloritisés et séricitisés avec 3 à 5 % de pyrite disséminée et en amas. FZN-6008*
- OSK-W-21-2573 : 4,12 g/t Au sur 1,5 m de 88,5 à 90,0 m; *Intrusifs mafiques cisailés modérément séricitisés et fuschitisés avec 5 à 8 % de pyrite en stringers et une veine à quartz-tourmaline (5 cm). FZN-6008*

- OSK-W-21-2580 : 7,21 g/t Au sur 1,5 m de 87,8 à 89,3 m; Intrusifs mafiques cisailées modérément séricitisés-silicifiés et fuschitisés avec 5 à 8 % de pyrite disséminée et une veine à quartz-tourmaline (2 cm). FZN-6008
- OSK-W-21-2582 : 16,3 g/t Au sur 2,3 m de 118,7 à 121,0 m; Intrusifs mafiques cisailées modérément séricitisés-silicifiés et fuschitisés avec 3 à 6 % de pyrite disséminée et veines à quartz-carbonates. FZN-6008

## Potentiel minéral

Considérant un pilier de surface de 100 m sous l'aire du futur parc à résidus miniers, la partie supérieure de deux lentilles de la zone minéralisée F-51 (FZN-6008 et 6011) ainsi que la totalité des lentilles FZN-6006 et FZN-6007 sont concernées (Figures 8, 9 et 10). Des ressources minérales indiquées et présumées sont estimées dans les lentilles FZN-6006 et FZN-6008. Les minéralisations modélisées dans les lentilles FZN-6007 et FZN-6011 et recoupées par le pilier de 100 m, sont de faible teneur et sont entièrement estimées sous la teneur de coupure du projet établie à 3,5g/t Au. Elles ne constituent pas en conséquence de ressources minérales.

### Estimation de ressources minérales concernées par le pilier de surface sous l'empreinte du parc à résidus miniers projeté

		Zone	Teneur de coupure à 3.5g/t Au		
			Tonnes	Teneur (g/t Au)	Oz Au
<b>Ressources indiquées</b>					
<b>Pilier Surface 0-30 m</b>	F-zones	6006	3 200	3.89	400
<b>Pilier Surface 30-100 m</b>	F-zones	6006	1 900	4.08	200
	F-zones	6008	8 200	4.68	1 200
<b>Sous-total</b>	F-zones		<b>10 200</b>	<b>4.52</b>	<b>1 500</b>
<b>Total Indiquées</b>	F-zones		<b>13 400</b>	<b>4.37</b>	<b>1 900</b>
<b>Ressources présumées</b>					
<b>Pilier Surface 0-30 m</b>	F-zones		<i>Pas des ressources présumées</i>		
<b>Pilier Surface 30-100 m</b>	F-zones	6008	9 400	5.03	1 500

Chiffres arrondis à la centaine; Établis à partir de l'ERM 2022

Le pilier de 30 à 100 m sous l'aire du parc à résidus miniers concerne un total de 10 200 tonnes indiquées à une teneur moyenne de 4,52 g/t Au pour 1 500 onces d'or ainsi que 9 400 tonnes présumées à une teneur moyenne de 5,03 g/t Au pour 1 500 onces d'or. Ceci représente une quantité marginale et non matérielle de ressources. À titre comparatif, ces 1 500 onces d'or indiquées correspondent à environ 0,04 % des 4,05 millions d'onces mesurées-

indiquées incluses dans la plus récente estimation de ressources, tandis que les 1 500 onces présumées correspondent à environ 0,05% des 3,37 millions d'onces présumées (Richard et al., 2022). Le projet minier aurifère Windfall étant souterrain, ces ressources indiquées et présumées conservent une perspective raisonnable d'extraction rentable éventuelle, mais leur volume et quantité demeurent négligeables actuellement pour le projet Windfall.

Finalement, le pilier de 100 m sous le parc à résidus miniers projeté ne possède pas de réserves minérales établies dans la plus récente étude de faisabilité (BBA et al. 2023).

### Conclusion et recommandations

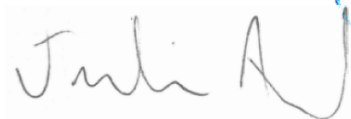
Le potentiel minéral établi sous le parc à résidus miniers projeté demeure limité, même en considérant un pilier élargi à 100 m. Seule la partie supérieure de la zone de F-51 ainsi que l'ensemble de la zone FZN-6006 se trouvent à l'intérieur de ce pilier étendu. Les ressources affectées demeurent cependant marginales et non matérielles.

Les forages additionnels réalisés lors des campagnes de l'automne 2025 ont apporté un appui supplémentaire à l'évaluation d'un faible potentiel minéral sous le parc à résidus miniers.

Les connaissances géologiques actuelles permettent d'établir que le potentiel minéral dans le pilier de surface sous le parc à résidus miniers projeté à Windfall est faible et bien reflété par l'actuelle estimation de ressources.

**En somme, sur la base du potentiel minéral faible et adéquatement documenté dans le pilier de 100 m, il est réitéré que l'emplacement prévu pour le parc à résidus miniers est approprié.**

Signé le 22 décembre 2025



---

Julien Avard, Chef Géologue, Geo. (OGQ#1887)

## RÉFÉRENCES

---

Abitibi Geophysics, 2004a. Resistivity / Induced Polarization survey, Windfall mining property, Fury Grid, northwestern Québec, Canada. Logistics and interpretation report

BBA et al. 2023, Feasibility Study for the Windfall Project, Eeyou Istchee James Bay, Québec, Canada, 668 pages

Desrochers, J-P.,2007. Report on the 2004 – 2006 Trenching and Drilling Programs on the Windfall Project, Barry Township, Quebec, Murgor Resources Inc.

Richard, P-L. et al., 2022, Mineral Resource Estimate Update for the Windfall Project, Eeyou Istchee James Bay, Québec, Canada, 342 pages

## ANNEXES

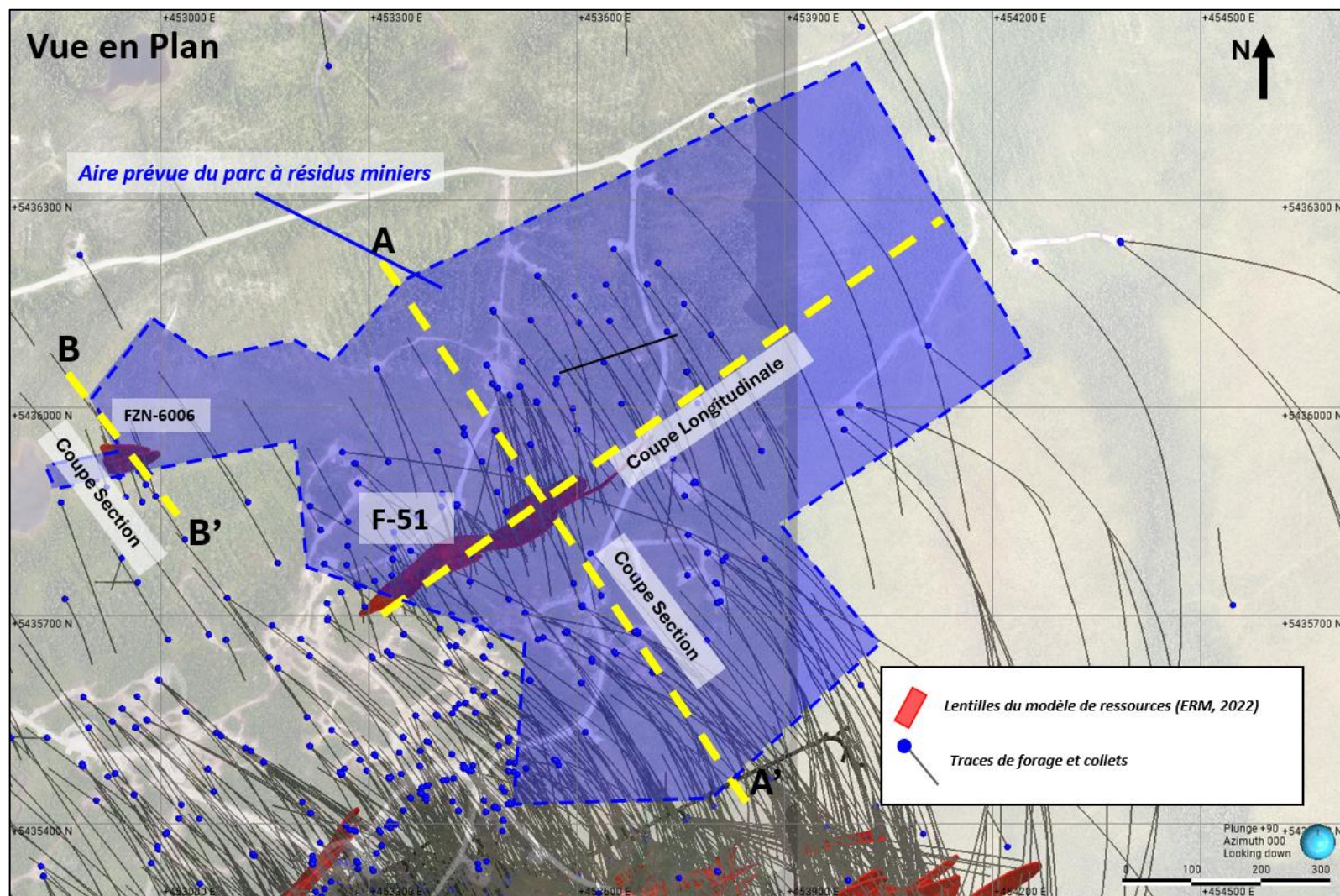


Figure 1 : Vue en plan du site prévu pour le parc à résidus miniers du projet Windfall avec les forages et les lentilles minéralisées.

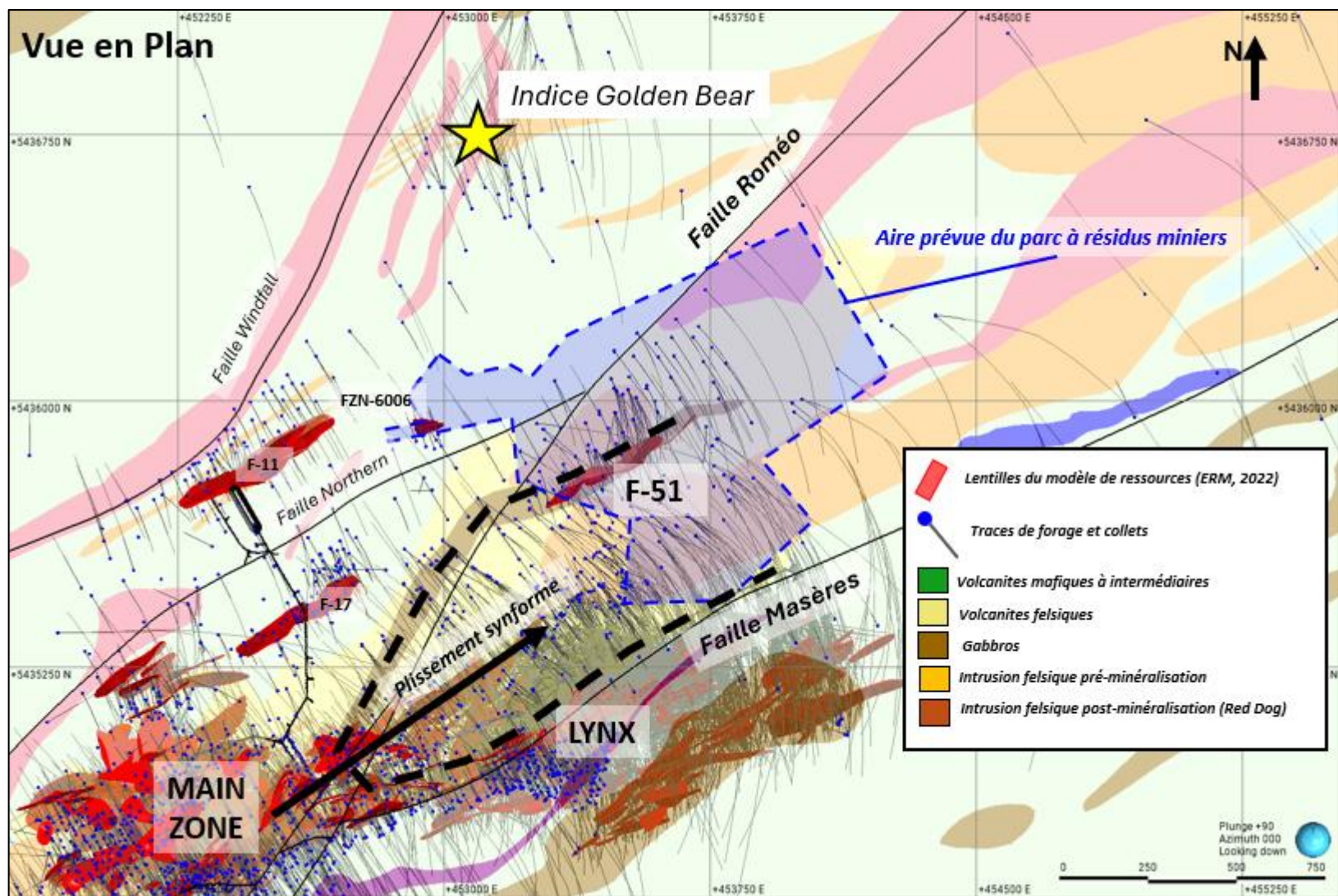


Figure 2: Vue en plan du site prévu pour le parc à résidus miniers du projet Windfall avec la carte géologique.

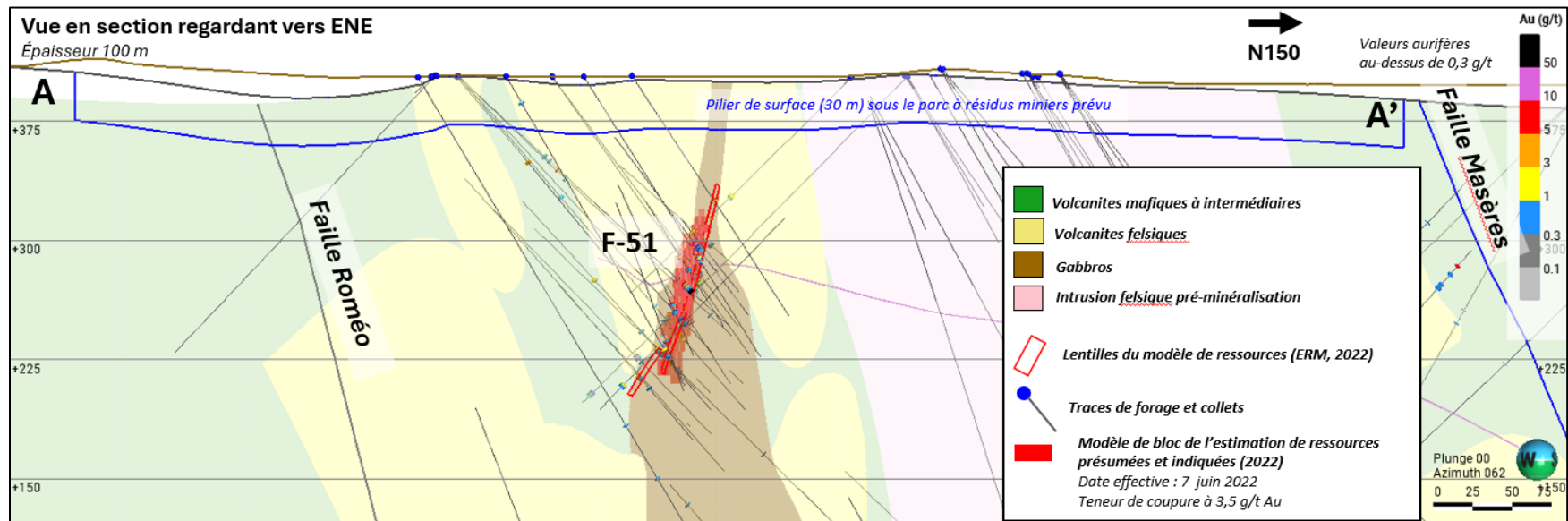


Figure 3 : Vue en section du pilier de surface dans le secteur du site prévu pour le parc à résidus miniers.

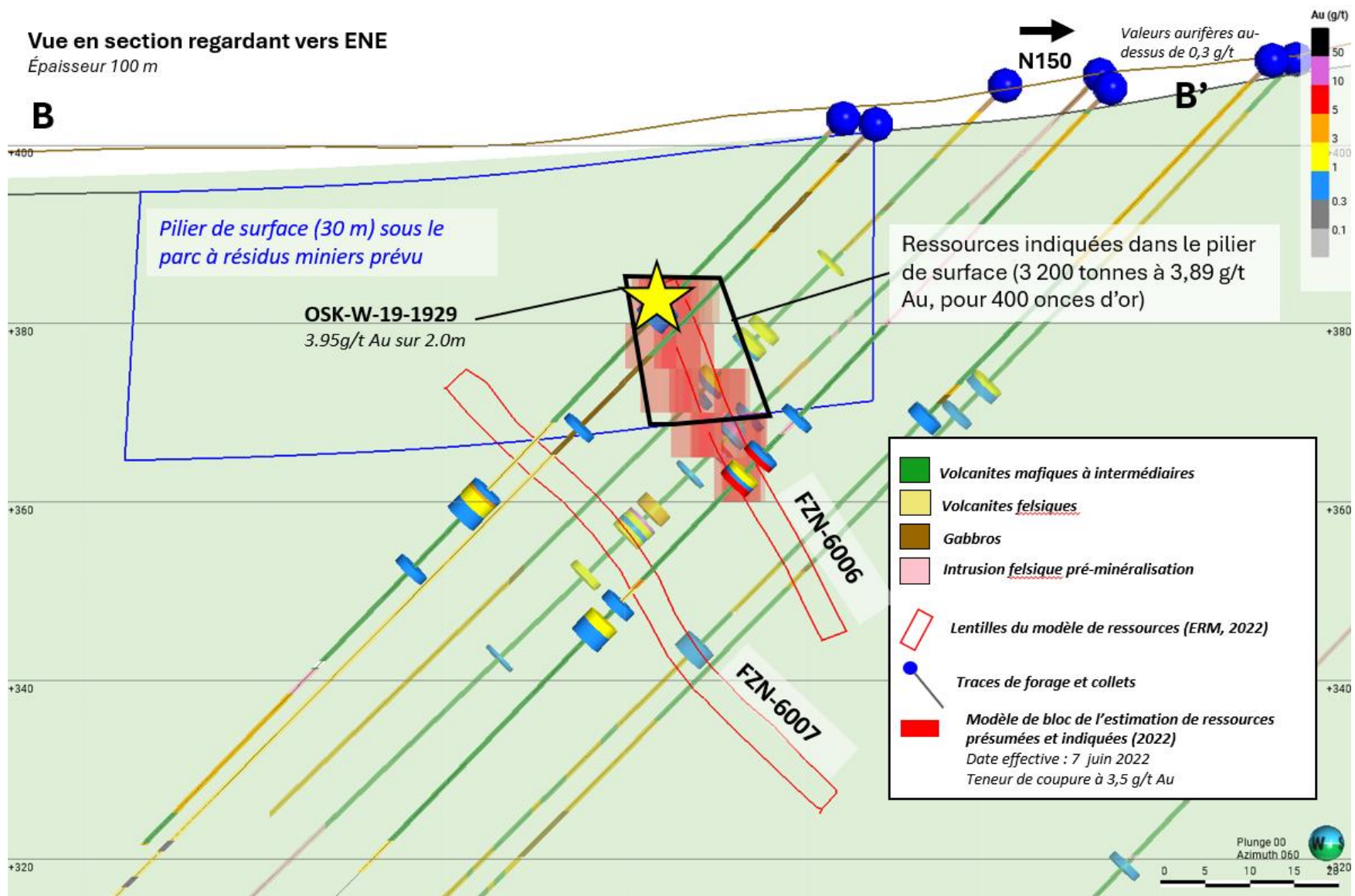


Figure 4 : Vue en section du pilier de surface dans le secteur du site prévu pour le parc à résidus miniers.

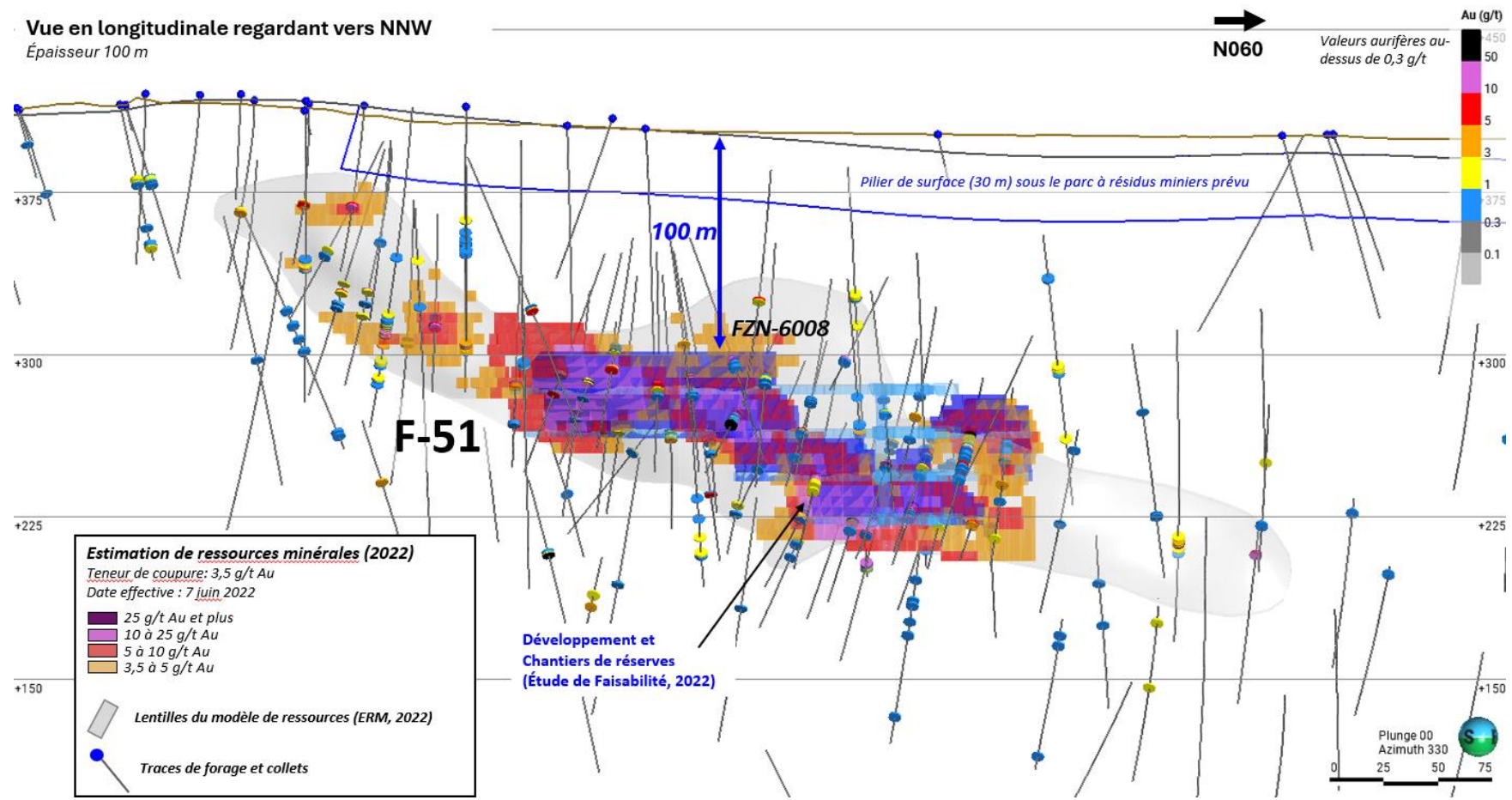


Figure 5 : Vue en coupe longitudinale du pilier de surface dans le secteur du site prévu pour le parc à résidus.

## ANNEXES (RÉVISION 1 : DÉCEMBRE 2025)

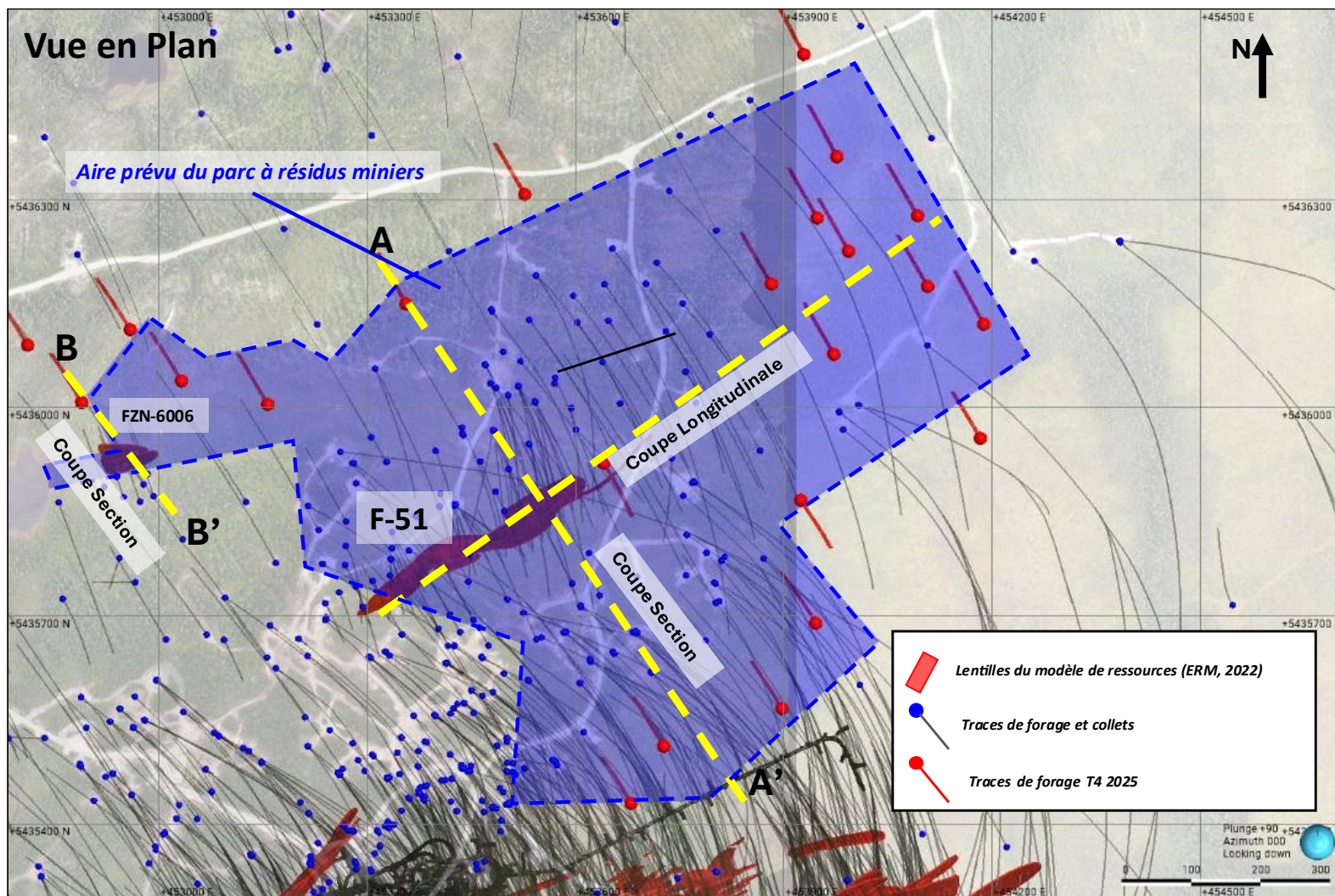


Figure 6 : Vue en plan du site prévu pour le parc à résidus miniers du projet Windfall avec les forages et les lentilles minéralisées.

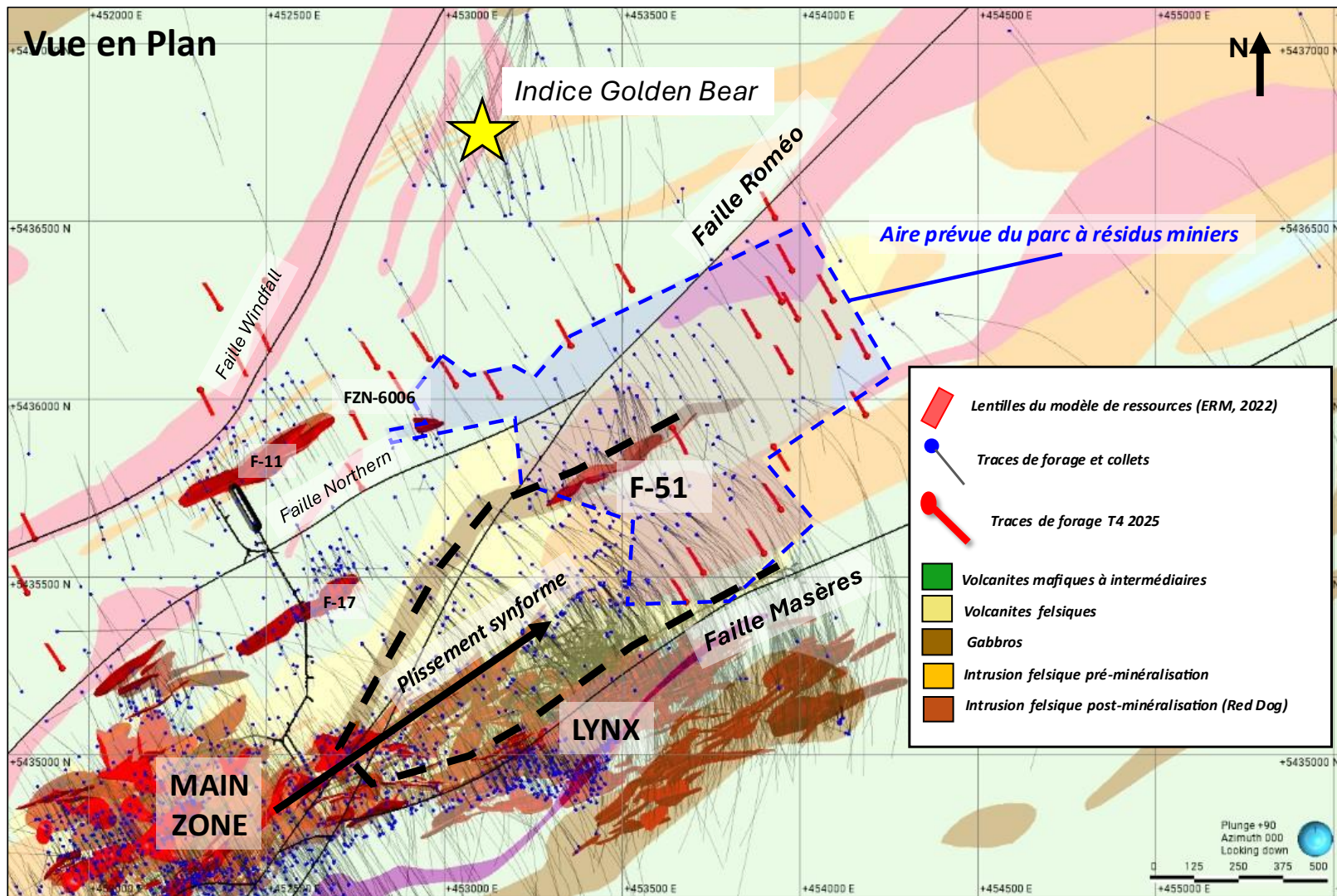


Figure 7: Vue en plan du site prévu pour le parc à résidus miniers du projet Windfall avec la carte géologique.

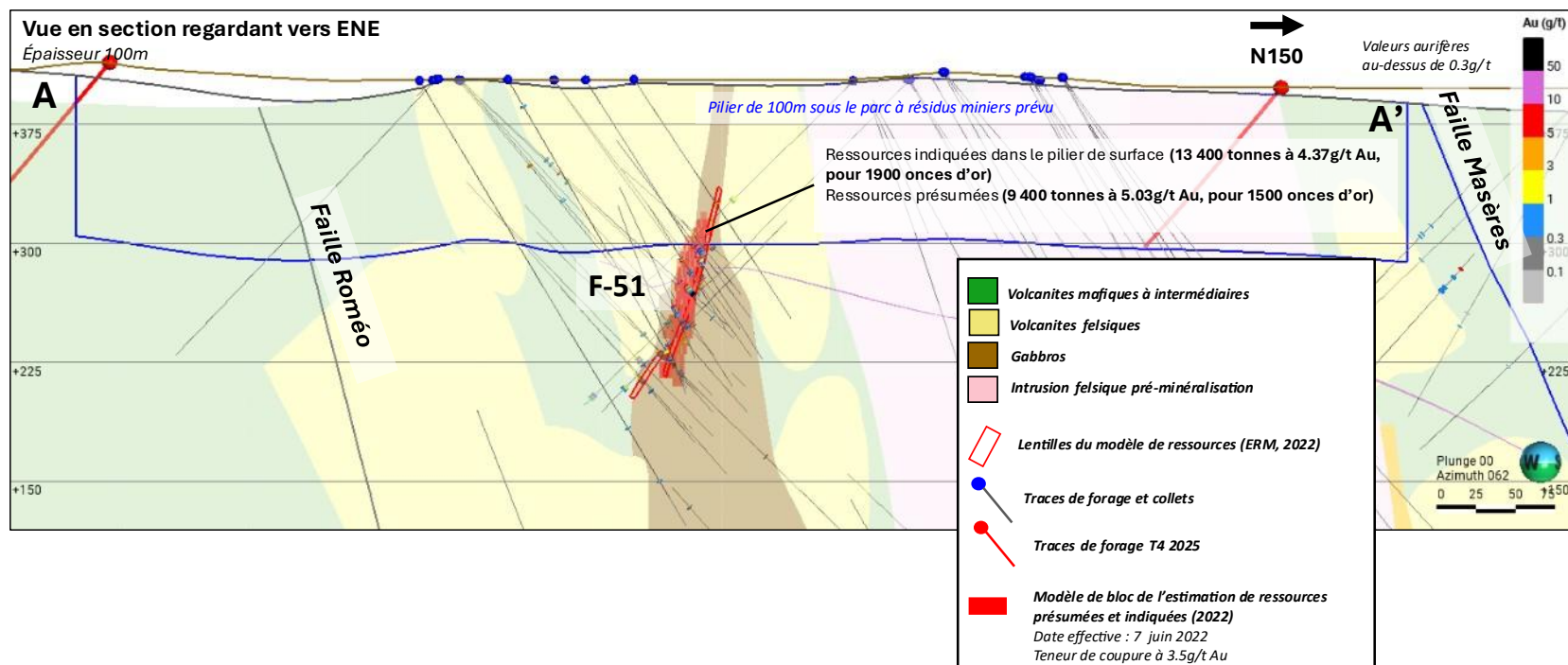


Figure 8 : Vue en section du pilier de surface dans le secteur du site prévu pour le parc à résidus miniers.

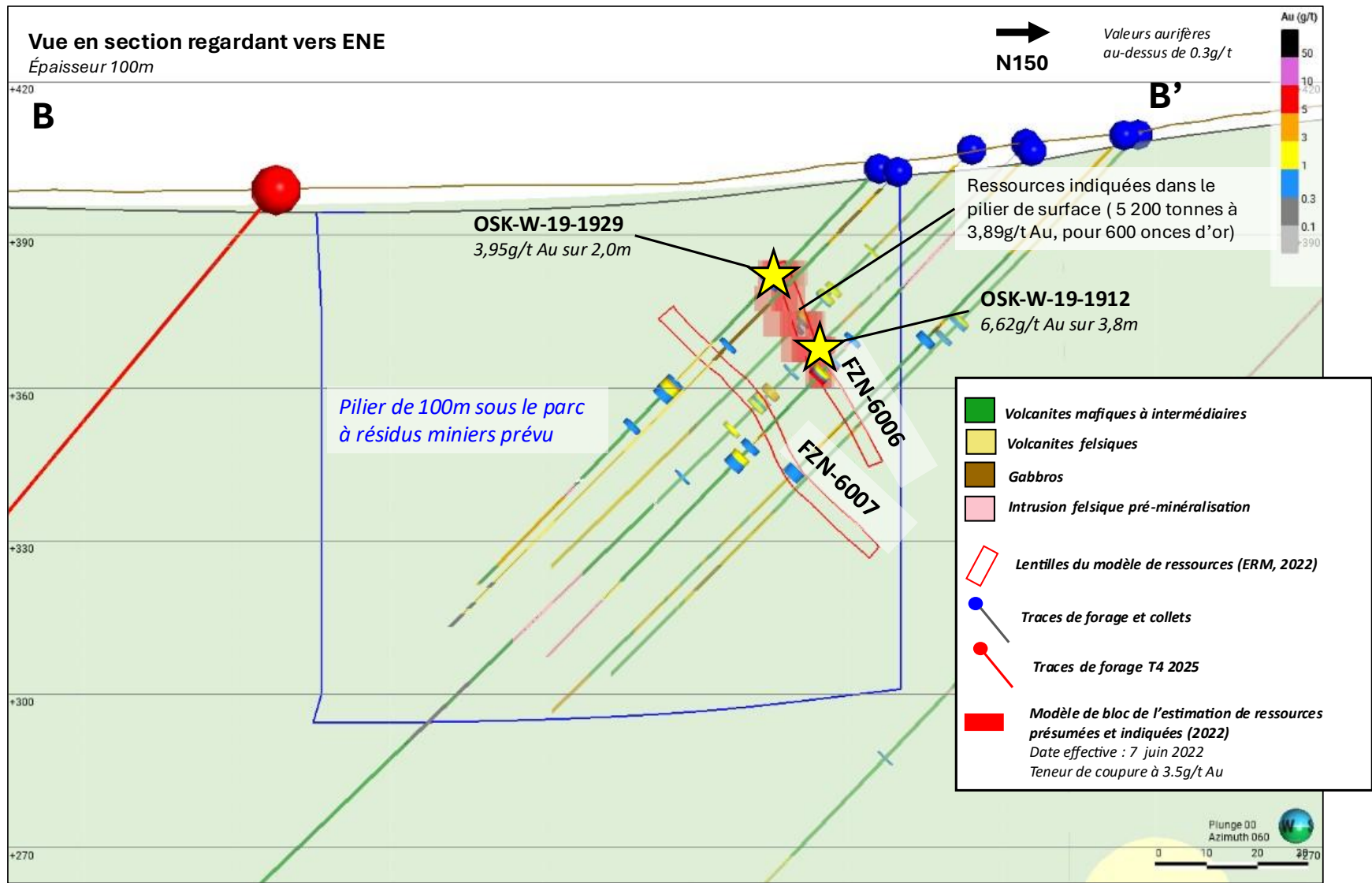


Figure 9 : Vue en section du pilier de surface dans le secteur du site prévu pour le parc à résidus miniers.

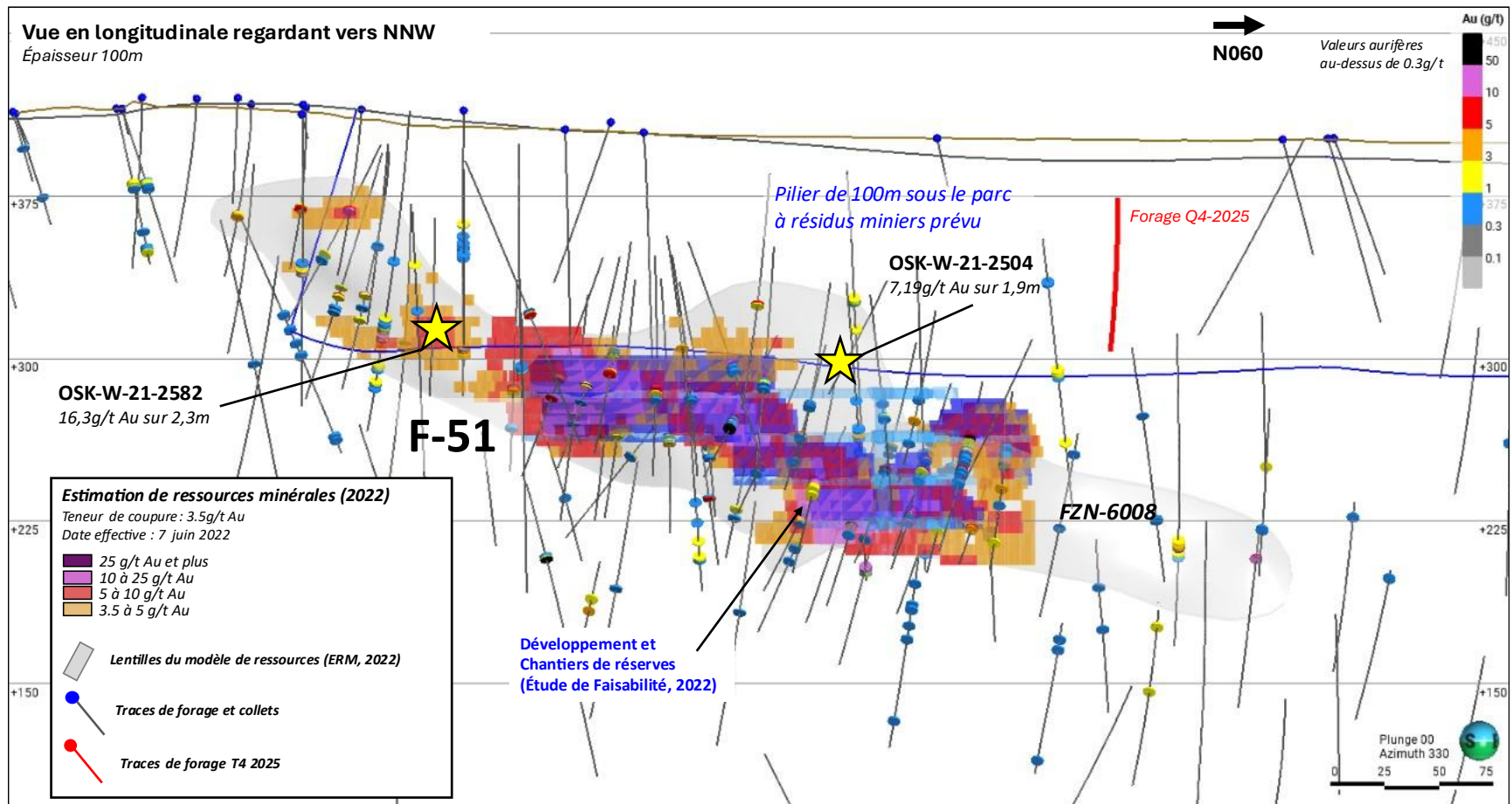


Figure 10 : Vue en coupe longitudinale du pilier de surface dans le secteur du site prévu pour le parc à résidus.

