

RIO TINTO

**PROGRAMME DE STABILISATION DES BERGES DU
LAC SAINT-JEAN 2018-2027**

**SUIVI DES COMMUNAUTÉS D'INVERTÉBRÉS BENTHIQUES AU
LAC SAINT-JEAN / RECHARGEMENT DE PLAGE EN LAC À
SAINT-HENRI-DE-TAILLON AU SITE 88.15.01 (2018-2019)**

RÉF. WSP : 191-11118-00

DATE : FÉVRIER 2020





RIO TINTO

**PROGRAMME DE
STABILISATION DES BERGES
DU LAC SAINT-JEAN 2018-2027**

**SUIVI DES COMMUNAUTÉS D'INVERTÉBRÉS
BENTHIQUES AU LAC SAINT-JEAN /
RECHARGEMENT DE PLAGE EN LAC À
SAINT-HENRI-DE-TAILLON AU SITE 88.15.01
(2018-2019)**

RÉF. WSP : 191-11118-00
DATE : FÉVRIER 2020

VERSION FINALE

WSP CANADA INC.
1125, BOUL. SACRÉ-CŒUR, BUREAU 202
SAINT-FÉLICIEN (QUÉBEC) G8K 1P6

TÉLÉPHONE : +1 418-679-2151
TÉLÉCOPIEUR : +1 418-679-9245

WSP.COM

SOMMAIRE EXÉCUTIF

À la suite des différentes rencontres de discussions tenues avec le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) et le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) dans le cadre du renouvellement du décret du Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean 2018-2027 (PSBLSJ), Rio Tinto s'est engagée à mettre en œuvre dès 2018, selon le calendrier des travaux, un programme de suivi visant à caractériser les communautés d'invertébrés benthiques. Les objectifs généraux de l'étude sont de :

- caractériser la communauté d'invertébrés benthiques avant et après trois types de travaux de stabilisation des berges au lac Saint-Jean, et ce, dans deux types de milieux, soit à l'embouchure de rivière et en lac;
- documenter l'impact de différents types de travaux de stabilisation des berges au lac Saint-Jean sur l'abondance des invertébrés benthiques.

L'objectif spécifique de cette étude vise à documenter les changements dans les communautés benthiques avant et après les travaux à l'intérieur d'un même site, et ce à trois profondeurs différentes soit la zone de marnage supérieure, la zone de marnage inférieure et la zone profonde. Le suivi ne vise pas à comparer les sites entre eux (ex. comparer le site « exposé » avec les sites témoins). Les résultats obtenus pour les sites témoins visent à documenter la variabilité naturelle interannuelle hors de la zone d'influence des travaux.

Le suivi spécifique doit être réalisé avant les travaux pour un site préalablement choisi (an 0 / état de référence) et approuvé par les autorités. Par la suite, le suivi se poursuit chaque année suivant les travaux, et ce, pendant 3 ans (an 1, an 2 et an 3). Le protocole d'échantillonnage a été établi en collaboration avec le MFFP et le MELCC. Une planification de suivi doit être déposée, l'être précédant chaque campagne d'inventaire.

Pour l'année 2018, il a été proposé et accepté de débuter le suivi pour un des six volets, soit **le rechargeement de plage en lac**. À la suite de l'analyse des différents sites de travaux de recharge prévus en 2018-2019 par Rio Tinto, le choix s'est arrêté sur une zone d'étude se situant au nord-est du lac Saint-Jean, près de la municipalité de Saint-Henri-de-Taillon. Ce secteur présente l'avantage d'offrir des sites où des travaux de stabilisation ont été effectués à l'automne 2018 au **site 88.15.01**, ainsi que certains sites qui n'ont jamais fait l'objet d'intervention au cours des 30 dernières années.

Le présent document présente les résultats de l'année de référence (2018) et de la 1^{re} année de suivi (2019) des invertébrés benthiques pour le rechargeement de plage en lac.

De manière générale pour tous les sites, les abondances des invertébrés benthiques se sont avérées faibles pour les deux années de suivi. La zone de marnage supérieure présente les densités d'organismes les plus faibles, suivi de la zone de marnage inférieure et de la zone profonde qui présentent toutes deux environ trois fois plus d'organismes. Pour l'ensemble des quatre sites suivis, la densité totale d'organismes était similaire entre l'année de référence (2018) et l'année suivant la réalisation des travaux de recharge (2019).

Dans la zone de marnage supérieure en 2018, trois stations n'ont présenté aucun organisme alors qu'en 2019, c'est cinq stations sur les 20 échantillonnées. Toutes ces stations étaient localisées aux sites témoins. Dans la zone de marnage inférieure en 2018, trois stations n'ont présenté aucun organisme alors qu'en 2019, c'est seulement deux stations. Toutes étaient localisées au site témoin TRPL1. En 2018 et 2019, des organismes ont été observés dans l'ensemble des stations pour la zone profonde. La faible abondance d'organisme n'a pas permis de calculer plusieurs indices descriptifs des communautés présentes et plusieurs analyses statistiques n'ont pu être effectuées.

Les résultats des suivis 2018 et 2019 ont permis de démontrer la présence d'une importante variabilité naturelle interannuelle. En effet, il y avait moins de taxons différents par site en 2019 qu'en 2018, et ce, pour tous les sites (richesse taxonomique). La zone de marnage supérieure présente le nombre de taxons le plus faible, suivi de la zone de marnage inférieure et de la zone profonde.

Pour la zone de marnage supérieure au site « exposé », il y avait un moins grand nombre de taxons différents (richesse taxonomique) en 2019 qu'en 2018 et aussi une moins grande abondance d'organismes à l'intérieur de chaque type de taxons (similarité des organismes). La zone témoin TRPL2 présentait également une moins grande abondance de chaque type de taxons en 2019.

Pour la zone de marnage inférieure au site exposé, c'est le contraire. Il y avait un plus grand nombre différent de taxons en 2019 qu'en 2018 et aussi une plus grande abondance d'organismes de chaque type de taxons. Pour la zone de marnage inférieure au témoin TRPL3, une plus grande diversité (nombre de taxon et importance des organismes dans les taxons dans l'échantillon) a été notée en 2019 ainsi qu'une plus grande abondance d'organismes de chaque type de taxons (similarité des organismes).

Finalement pour la zone profonde aux sites témoin TRPL2 et TRPL3, elle présentait une moins grande abondance d'organismes de chaque type de taxons en 2019 qu'en 2018.

Enfin, les résultats obtenus lors des suivis au site « exposé » ne permettent pas de démontrer de différence spécifique avant et après les travaux de recharge de plage en lac. Certaines différences (baisse et hausse dans les descripteurs des communautés) obtenues à différentes profondeurs d'eau pour le site « exposé » ont également été enregistrées pour des sites témoin ce qui démontre une variabilité naturelle et interannuelle importante dans la composition des communautés benthiques. Les autres suivis à venir prévus pour les deux prochaines années pourront apporter une meilleure compréhension de la dynamique de populations.

SIGNATURES

PRÉPARÉ PAR



Jérôme Plourde, biologiste M. Sc.
(données de 2018)

ET



Luc Bouchard, biologiste M. Sc.
Chargé de projet

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

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

ÉQUIPE DE RÉALISATION

RIO TINTO

Chargée de projet	Caroline Jolette, ingénierie
Technicien	Nicolas Thibeault

WSP CANADA INC.

Chargé de projet et rédaction	Luc Bouchard, biologiste, M. Sc.
Coordination et rédaction	Jérôme Plourde, biologiste, M. Sc.
Aviseur sr	Martin Larose, biologiste, B. Sc.
Travaux de terrain	Jean-Pierre Chabot, technicien de la faune Carl Gauthier, technicien de la faune Jérôme Plourde, biologiste M. Sc. Marie-Claude Julien, technicienne de la faune Anthony Séguin, technicien de la faune
Analyses statistiques	Camille Lavoie, biologiste B. Sc.
Cartographie	Hugues Gagnon, technicien en cartographie
Selecture et édition	Nancy Imbeault, technicienne en bureautique Nancy Laurent, technicienne en bureautique

LABORATOIRE SAB

Chargée de projet	Bernadette Jacquaz, directrice de laboratoire
-------------------	---

GDG ENVIRONNEMENT

Chargée de projet	Marie-Laure Escudero, directrice de laboratoire
-------------------	---

AGAT LABORATOIRES

Chargée de projet	Christine Jacques
-------------------	-------------------

Référence à citer :

WSP. 2020. *Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean 2018-2027 - Suivi des communautés d'invertébrés benthiques au lac Saint-Jean / rechargeement de plage en lac à Saint-Henri-de-Taillon au site 88.15.01 (2018-2019).* Rapport produit pour Rio Tinto. 80 p. et annexes.

TABLE DES MATIÈRES

1	CONTEXTE ET OBJECTIFS	1
2	MÉTHODOLOGIE.....	3
2.1	Zone d'étude	3
2.1.1	Site « exposé ».....	3
2.1.2	Sites témoins	4
2.2	Échantillonnage.....	7
2.2.1	Période d'inventaire.....	7
2.2.2	Méthode d'échantillonnage	7
2.3	Laboratoire.....	17
2.3.1	Tri.....	17
2.3.2	Identification	19
2.4	Analyses statistiques.....	19
2.4.1	Indicateurs d'effets retenus	19
2.4.2	Scénarios d'analyses statistiques	23
3	RÉSULTATS.....	27
3.1	Caractéristiques du site « exposé » et des sites témoins.....	27
3.2	Zone de marnage supérieure	28
3.2.1	Structure des communautés	28
3.2.2	Descripteurs des communautés.....	35
3.2.3	Analyses statistiques	37
3.3	Zone de marnage inférieure	43
3.3.1	Structure des communautés	43
3.3.2	Descripteurs des communautés.....	49
3.3.3	Analyses statistiques	51
3.4	Zone profonde	59
3.4.1	Structure des communautés	59
3.4.2	Descripteurs des communautés.....	65
3.4.3	Analyses statistiques	67
3.5	Synthèse des résultats	73
4	CONCLUSION	77
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	79

TABLEAUX

TABLEAU 1.	CLASSE GRANULOMÉTRIQUE SELON L'ÉCHELLE DE WENTWORTH	8
TABLEAU 2.	RÉSULTATS DU CONTRÔLE DE QUALITÉ SUR LE TRI DES ORGANISMES BENTHIQUES RÉCOLTÉS AU LAC SAINT- JEAN EN 2018 ET 2019	18
TABLEAU 3.	RÉSULTATS DU CONTRÔLE DE QUALITÉ DU FRACTIONNEMENT DES ÉCHANTILLONS LORS DU TRI DES ORGANISMES BENTHIQUES EN 2019.....	19
TABLEAU 4.	CARACTÉRISTIQUES DES SITES ET DES ZONES D'ÉCHANTILLONNAGE DU BENTHOS EN 2018	29
TABLEAU 5.	CARACTÉRISTIQUES DES SITES ET DES ZONES D'ÉCHANTILLONNAGE DU BENTHOS EN 2019	30
TABLEAU 6.	DENSITÉ D'ORGANISMES ET ABONDANCE RELATIVE PAR STATION POUR CHACUN DES SITES ÉCHANTILLONNÉS DANS LA ZONE DE MARNAGE SUPÉRIEURE EN 2018	33
TABLEAU 7.	DENSITÉ D'ORGANISMES ET ABONDANCE RELATIVE PAR STATION POUR CHACUN DES SITES ÉCHANTILLONNÉS DANS LA ZONE DE MARNAGE SUPÉRIEURE EN 2019	33
TABLEAU 8.	STATISTIQUES DESCRIPTIVES DES COMMUNAUTÉS D'INVERTÉBRÉS BENTHIQUES POUR LA ZONE DE MARNAGE SUPÉRIEURE EN 2018	35
TABLEAU 9.	STATISTIQUES DESCRIPTIVES DES COMMUNAUTÉS D'INVERTÉBRÉS BENTHIQUES POUR LA ZONE DE MARNAGE SUPÉRIEURE EN 2019	36
TABLEAU 10.	RÉSULTATS DES ANALYSES STATISTIQUES DES INDICATEURS DE COMMUNAUTÉS D'INVERTÉBRÉS BENTHIQUES POUR LA ZONE DE MARNAGE SUPÉRIEURE EN 2018 ET 2019	38
TABLEAU 11.	RÉSULTATS DES ANALYSES STATISTIQUES DE LA COMPOSITION TAXONOMIQUE DES COMMUNAUTÉS D'INVERTÉBRÉS BENTHIQUES POUR LA ZONE DE MARNAGE SUPÉRIEURE 2018 ET 2019	41
TABLEAU 12.	RÉSULTATS DES ANALYSES STATISTIQUES DE LA CONTRIBUTION DES TAXONS DES COMMUNAUTÉS	

	D'INVERTÉBRÉS BENTHIQUES POUR LA ZONE DE MARNAGE SUPÉRIEURE 2018 ET 2019	42
TABLEAU 13.	DENSITÉ D'ORGANISMES ET ABONDANCE RELATIVE PAR STATION POUR CHACUN DES SITES ÉCHANTILLONNÉS DANS LA ZONE DE MARNAGE INFÉRIEURE EN 2018.....	45
TABLEAU 14.	DENSITÉ D'ORGANISMES ET ABONDANCE RELATIVE PAR STATION POUR CHACUN DES SITES ÉCHANTILLONNÉS DANS LA ZONE DE MARNAGE INFÉRIEURE EN 2019.....	45
TABLEAU 15.	STATISTIQUES DESCRIPTIVES DES COMMUNAUTÉS D'INVERTÉBRÉS BENTHIQUES POUR LA ZONE DE MARNAGE INFÉRIEURE EN 2018.....	49
TABLEAU 16.	STATISTIQUES DESCRIPTIVES DES COMMUNAUTÉS D'INVERTÉBRÉS BENTHIQUES POUR LA ZONE DE MARNAGE INFÉRIEURE EN 2019.....	50
TABLEAU 17.	RÉSULTATS DES ANALYSES STATISTIQUES DES INDICATEURS DE COMMUNAUTÉS D'INVERTÉBRÉS BENTHIQUES POUR LA ZONE DE MARNAGE INFÉRIEURE EN 2018 ET 2019	53
TABLEAU 18.	RÉSULTATS DES ANALYSES STATISTIQUES DE LA COMPOSITION TAXONOMIQUE DES COMMUNAUTÉS D'INVERTÉBRÉS BENTHIQUES POUR LA ZONE DE MARNAGE INFÉRIEURE 2018 ET 2019	56
TABLEAU 19.	RÉSULTATS DES ANALYSES STATISTIQUES DE LA CONTRIBUTION DES TAXONS DES COMMUNAUTÉS D'INVERTÉBRÉS BENTHIQUES POUR LA ZONE DE MARNAGE INFÉRIEURE 2018 ET 2019	57
TABLEAU 20.	DENSITÉ D'ORGANISMES ET ABONDANCE RELATIVE PAR STATION POUR CHACUN DES SITES ÉCHANTILLONNÉS DANS LA ZONE PROFONDE EN 2018	63
TABLEAU 21.	DENSITÉ D'ORGANISMES ET ABONDANCE RELATIVE PAR STATION POUR CHACUN DES SITES ÉCHANTILLONNÉS DANS LA ZONE PROFONDE EN 2019	64
TABLEAU 22.	STATISTIQUES DESCRIPTIVES DES COMMUNAUTÉS D'INVERTÉBRÉS	

TABLEAU 23.	BENTHIQUES POUR LA ZONE PROFONDE EN 2018	65
	STATISTIQUES DESCRIPTIVES DES COMMUNAUTÉS D'INVERTÉBRÉS BENTHIQUES POUR LA ZONE PROFONDE EN 2019	66
TABLEAU 24.	RÉSULTATS DES ANALYSES STATISTIQUES DES INDICATEURS DE COMMUNAUTÉS D'INVERTÉBRÉS BENTHIQUES POUR LA ZONE PROFONDE 2018 ET 2019	68
TABLEAU 25.	RÉSULTATS DES ANALYSES STATISTIQUES DE LA COMPOSITION TAXONOMIQUE DES COMMUNAUTÉS D'INVERTÉBRÉS BENTHIQUES POUR LA ZONE PROFONDE 2018 ET 2019.....	71
TABLEAU 26.	RÉSULTATS DES ANALYSES STATISTIQUES DE LA CONTRIBUTION DES TAXONS DES COMMUNAUTÉS D'INVERTÉBRÉS BENTHIQUES POUR LA ZONE PROFONDE 2018 ET 2019.....	72

FIGURES

FIGURE 1.	GESTION DES NIVEAUX D'EAU DU LAC SAINT-JEAN DANS LE CADRE DU PSBLSJ 2018-2027	7
FIGURE 2.	ABONDANCE RELATIVE DES DIFFÉRENTS EMBRANCHEMENTS D'INVERTÉBRÉS BENTHIQUES IDENTIFIÉS DANS LA ZONE DE MARNAGE SUPÉRIEURE EN 2018 (HAUT) ET 2019 (BAS).....	31
FIGURE 3.	ABONDANCE RELATIVE DES DIFFÉRENTS TAXONS <i>INSECTA</i> POUR LES INVERTÉBRÉS BENTHIQUES IDENTIFIÉS DANS LA ZONE DE MARNAGE SUPÉRIEURE EN 2018 ET 2019	32
FIGURE 4.	CADRAGE NON MÉTRIQUE MULTIDIMENSIONNEL DES DENSITÉS D'INVERTÉBRÉS BENTHIQUES DÉNOMBRÉS DANS LA ZONE DE MARNAGE SUPÉRIEURE EN 2018 ET 2019	44
FIGURE 5.	ABONDANCE RELATIVE DES DIFFÉRENTS EMBRANCHEMENTS D'INVERTÉBRÉS BENTHIQUES IDENTIFIÉS DANS LA ZONE DE MARNAGE INFÉRIEURE EN 2018 (HAUT) ET 2019 (BAS).....	47
FIGURE 6.	ABONDANCE RELATIVE DES DIFFÉRENTS TAXONS <i>INSECTA</i> POUR	

FIGURE 7.	LES INVERTÉBRÉS BENTHIQUES IDENTIFIÉS DANS LA ZONE DE MARNAGE INFÉRIEURE EN 2018 (HAUT) ET 2019 (BAS).....	48
FIGURE 8.	CADRAGE NON MÉTRIQUE MULTIDIMENSIONNEL DES DENSITÉS D'INVERTÉBRÉS BENTHIQUES DÉNOMBRÉS DANS LA ZONE DE MARNAGE INFÉRIEURE EN 2018 ET 2019	58
FIGURE 9.	ABONDANCE RELATIVE DES DIFFÉRENTS EMBRANCHEMENTS D'INVERTÉBRÉS BENTHIQUES IDENTIFIÉS DANS LA ZONE PROFONDE EN 2018 (HAUT) ET 2019 (BAS)	60
FIGURE 10.	ABONDANCE RELATIVE DES DIFFÉRENTS TAXONS <i>MOLLUSCA</i> POUR LES INVERTÉBRÉS BENTHIQUES IDENTIFIÉS DANS LA ZONE PROFONDE EN 2018 (HAUT) ET 2019 (BAS)	61
FIGURE 11.	ABONDANCE RELATIVE DES DIFFÉRENTS TAXONS <i>INSECTA</i> POUR LES INVERTÉBRÉS BENTHIQUES IDENTIFIÉS DANS LA ZONE PROFONDE EN 2018 (HAUT) ET EN 2019 (BAS)	62
	CADRAGE NON MÉTRIQUE MULTIDIMENSIONNEL DES DENSITÉS D'INVERTÉBRÉS BENTHIQUES DÉNOMBRÉS DANS LA ZONE PROFONDE EN 2018 ET 2019	75

CARTES

CARTE 1.	LOCALISATION DES SITES D'INVENTAIRES 2018 ET 2019.....	5
CARTE 2.	SITE TÉMOIN ERPL - 2018-2019.....	9
CARTE 3.	SITE TÉMOIN TRPL1 - 2018-2019.....	11
CARTE 4.	SITE TÉMOIN TRPL2 - 2018-2019	13
CARTE 5.	SITE TÉMOIN TRPL3 - 2018-2019	15

ANNEXES

- 1** PROTOCOLE 2018-2019 POUR LE SUIVI DES COMMUNAUTÉS D'INVERTÉBRÉS BENTHIQUES AU LAC SAINT-JEAN
- 2** CHOIX DES SITES POUR LE SUIVI EN 2018 ET 2019
- 3** PLAN DES TRAVAUX DE RECHARGEMENT DE PLAGE EN LAC À SAINT-HENRI-DE-TAILLON AU SITE 88.15.01 (AUTOMNE 2018)
- 4** IDENTIFICATION DU BENTHOS, RAPPORTS DES EXPERTS



**5 GRANULOMÉTRIE ET CARBONE ORGANIQUE TOTAL,
CERTIFICATS D'ANALYSES**

1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

À la suite des différentes rencontres de discussions tenues avec le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) et le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) dans le cadre du renouvellement du décret du Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean 2018-2027 (PSBLSJ), Rio Tinto s'est engagée (lettre d'engagement du 13 novembre 2017) à mettre en œuvre dès 2018, selon le calendrier des travaux, un programme de suivi visant à caractériser les communautés d'invertébrés benthiques.

Les objectifs généraux de l'étude sont de :

- caractériser la communauté d'invertébrés benthiques avant et après trois types de travaux de stabilisation des berges au lac Saint-Jean, et ce, dans deux types de milieux, soit à l'embouchure de rivière et en lac;
- documenter l'impact de différents types de travaux de stabilisation des berges au lac Saint-Jean sur l'abondance des invertébrés benthiques.

Le programme de suivi général couvre trois types d'ouvrages répartis dans deux types de milieux différents. Les types de travaux visés par le suivi se répartissent ainsi sur six volets spécifiques, soit :

- le rechargement de plage à l'embouchure de rivière (suivi débuté en 2019);
- le rechargement de plage en lac (suivi débuté en 2018);
- la nouvelle structure (ex. épi ou brise-lames) à l'embouchure de rivière;
- la nouvelle structure (ex. épi ou brise-lames) en lac;
- le nouvel empierrement (ex. nouveau perré) à l'embouchure de rivière;
- le nouvel empierrement (ex. nouveau perré) en lac.

Il est prévu qu'un suivi des invertébrés benthiques soit réalisé pour chaque type d'ouvrage, pour un total de six suivis spécifiques. Le suivi spécifique doit être réalisé avant les travaux pour un site préalablement choisi (an 0 / état de référence) et approuvé par les autorités. Par la suite, le suivi se poursuit chaque année suivant les travaux, et ce, pendant 3 ans (an 1, an 2 et an 3).

Le protocole d'échantillonnage a été établi en collaboration avec le MFFP et le MELCC (annexe 1). Une planification de suivi doit être déposée l'été précédent chaque campagne d'inventaire.

Afin de débuter le programme de suivi, une proposition de choix de sites à suivre en 2018 a été déposée aux MELCC et MFFP (WSP 2018b). Pour l'année 2018, il a été proposé et accepté de débuter le suivi pour un des six volets, soit **le rechargement de plage en lac (le choix des sites pour l'année 2018 et 2019 est présenté à l'annexe 2)**. Pour la poursuite du programme de suivi, une proposition de choix de sites à suivre a été déposée le 30 août 2019 aux MELCC et MFFP pour approbation (WSP 2019b). Il a été proposé et accepté de débuter le suivi à compter de l'année 2019 pour un deuxième des six volets, soit **le rechargement de plage à l'embouchure de rivière**.

Le présent document constitue le second rapport de suivi (an 1) des invertébrés benthiques pour le **rechargement de plage en lac**. On y retrouve une description de la méthodologie d'échantillonnage ainsi qu'une présentation des résultats obtenus. Une conclusion complète le document.

2 MÉTHODOLOGIE

2.1 ZONE D'ÉTUDE

La zone d'étude a été définie en 2018 en fonction du site « exposé »¹ et de ses sites témoins associés. Le site « exposé » se définit comme un site où des travaux seront réalisés dans le cadre du PSBLSJ. Dans le cadre de la présente étude, des travaux de rechargement de plage en lac étaient visés. Le choix du site « exposé » a été effectué en se basant sur plusieurs critères environnementaux et géomorphologiques, soit :

- la composition granulométrique actuelle et future similaire au milieu naturel (sable);
- les travaux réalisés en rive du lac Saint-Jean;
- la possibilité de retrouver un site témoin similaire à proximité;
- la distance linéaire prévue pour le rechargement qui est suffisante pour réaliser cinq stations d'échantillonnage (minimalemen 100 m);
- l'absence de cours d'eau permanent dans un rayon de 500 m;
- l'absence de structures connexes (épis, perrés, brise-lames) dans un rayon de 1 km.

Les matériaux utilisés pour le rechargement de plage se limitent à deux catégories granulométriques. Le sable, d'une dimension variant entre 0,50 et 4,75 mm, est utilisé à des taux de rechargement qui varient en fonction des besoins évalués chaque année. Le gravillon, d'une dimension variant entre 1,50 et 8,00 mm en moyenne (avec un maximum de 19,00 mm), est lui aussi placé à des taux variant selon les besoins ponctuels à chaque secteur. Les rechargements en gravillon sont complétés par une couche de sable de 300 mm étendue sur une largeur de 8 m le long de la berge.

Suite à l'analyse des différents sites de travaux de rechargement prévus en 2018-2019 par Rio Tinto, le choix s'est arrêté sur une zone d'étude se situant au nord-est du lac Saint-Jean, près de la municipalité de Saint-Henri-de-Taillon (carte 1). Ce secteur présente l'avantage d'offrir des sites où des travaux de stabilisation ont été effectués à l'automne 2018 au site 88.15.01, ainsi que certains sites qui n'ont jamais fait l'objet d'intervention au cours des 30 dernières années.

2.1.1 SITE « EXPOSÉ »

Le site 88.15.01 est localisé dans la municipalité de Saint-Henri-de-Taillon au nord-est du lac Saint-Jean, près de Chemin sur le Lac, un secteur de villégiature développé presque exclusivement en rive. À l'exception des habitations directement situées sur les rives, l'intérieur des terres est majoritairement de type forestier. Les rives sont peu végétalisées et dominées par une plage de sable. Le site est rechargé de manière récurrente avec du sable depuis 1988. Le dernier rechargement a eu lieu en 2015. La dérive littorale s'effectue principalement envers le nord dans ce secteur. L'embouchure de la rivière Taillon est située à environ 1 km au nord du site. La pente du littoral est faible et on ne retrouve pas de végétation aquatique. Le substrat attendu dans ce secteur est le sable. Ce site présente l'avantage d'être à proximité de plusieurs sites témoins potentiels similaires où aucun travail de stabilisation n'a été réalisé par le passé. Le choix du site 88.15.01 respecte l'ensemble des critères

¹ Il est à noter qu'à l'an 0, aucun site n'est réellement exposé aux travaux, d'où la présence de guillemets entre le mot « exposé ». À partir de l'an 1, seul le site ayant eu des travaux devient un site « exposé ». Les autres sites demeurent des sites témoins sans travaux réalisés tout au long de la période de suivi.

prédéterminés pour la sélection du site « exposé » pour le rechargement de plage en lac. Ce site a été nommé ERPL pour « Exposé Rechargement Plage Lac ».

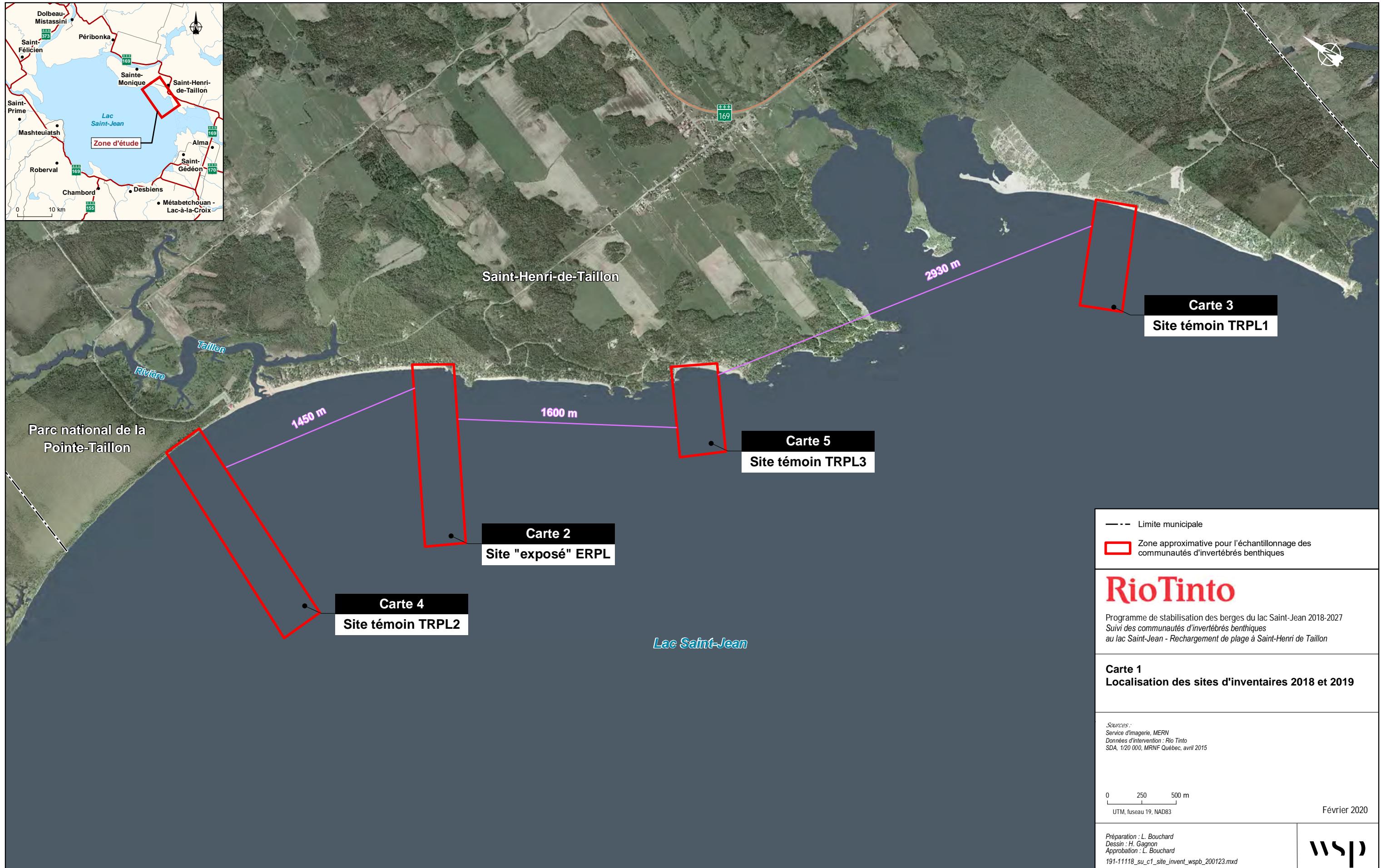
Les travaux réalisés à l'automne 2018 ont consisté en un rechargement de sable d'une dimension variant entre 0 et 5 mm, à un taux de 50 tonnes par mètre, sur une longueur d'environ 160 m avec une épaisseur variable d'environ 1,5 m en rive et dans la zone de marnage sur une largeur d'environ 25 m (annexe 3).

2.1.2 SITES TÉMOINS

L'objectif de cette étude vise à documenter les changements dans les communautés benthiques avant et après les travaux à l'intérieur d'un même site. Il ne vise pas à comparer les sites entre eux (ex. comparer le site « exposé » avec les sites témoins). Les résultats obtenus pour les sites témoins permettront de documenter la variabilité naturelle interannuelle hors de la zone d'influence des travaux. Un total de trois sites témoins ont été utilisés aux fins de comparaison. Ceux-ci ont été nommés TRPL pour « Témoin Rechargement Plage Lac », suivi d'un numéro séquentiel allant de 1 à 3. En plus des trois derniers critères énoncés ci-haut, la sélection des sites témoins a été réalisée afin de tenir compte des éléments suivants :

- Ne pas avoir fait l'objet de travaux antérieurement, ou à tout le moins pas d'interventions au cours des cinq dernières années. Il est à noter que cette condition apporte des défis liés à la sélection des sites témoins.
- Ne pas faire l'objet de travaux durant le suivi, à moins d'une situation urgente nécessitant une intervention pour corriger une source d'érosion ponctuelle importante résultant par exemple d'une tempête.
- Être localisé à bonne distance du site « exposé » afin de limiter les interférences provenant des travaux. De façon arbitraire, nous avons considéré qu'une distance minimale de 500 m devrait être respectée pour éviter l'effet des ouvrages.
- Présenter des caractéristiques similaires au niveau de la rive (densité d'habitations, présence ou absence d'affluent, type de végétation, état de la bande riveraine, etc.) que le site « exposé ».
- Présenter une composition granulométrique similaire au site « exposé ».
- Être situé dans un secteur similaire au site « exposé » en ce qui a trait aux forces érosives et l'exposition au vent.
- Être similaire au site « exposé » au niveau de la présence ou l'absence de végétation aquatique.
- Se retrouver dans un secteur où la bathymétrie est similaire (présence ou absence de fosse, rupture de pente, haut-fond, baie, etc.).

Les caractéristiques des sites « témoins » retenus sont présentées à l'annexe 2. Les trois sites témoins sont répartis dans des secteurs où aucune intervention récente n'a été réalisée. Le site TRPL1 est situé dans le secteur de la plage Wilson. Le site TRPL2 se retrouve dans le secteur du parc national de la Pointe-Taillon. Enfin, le site TRPL3 se retrouve dans le secteur de Chemin sur le Lac à un endroit où le dernier rechargement de sable a été réalisé en 1989. Tous ces sites se retrouvent dans la municipalité de Saint-Henri-de-Taillon. Outre le site TRPL2 qui est situé dans le parc national et qui ne présente aucune habitation en rive, les deux autres sites se retrouvent dans des secteurs de villégiature développés presque exclusivement en rive. À l'exception des habitations directement situées sur les rives, l'intérieur des terres est majoritairement de type forestier. Les rives sont peu végétalisées et dominées par une plage de sable. La dérive littorale s'effectue soit vers le nord (TRPL3), soit vers le sud (TRPL2) ou dans les deux directions (TRPL1). On ne retrouve aucun cours d'eau permanent à proximité des sites. La pente du littoral est faible et on ne retrouve pas de végétation aquatique. Le substrat attendu dans chacun des sites est le sable. Les sites témoin 1 à 3 se retrouvent respectivement à une distance de 2,6 km, 1,5 km et 1,8 km du site « exposé » retenu.



2.2 ÉCHANTILLONNAGE

2.2.1 PÉRIODE D'INVENTAIRE

L'automne est généralement la période recommandée pour réaliser des inventaires d'invertébrés benthiques (Jones *et al.* 2007; MDDEFP 2013). À cette période, les communautés benthiques présentent la plus forte richesse. La composition en espèces et en abondance est le reflet des conditions d'été et certains stades juvéniles sont plus développés, ce qui facilite l'identification. D'autre part, selon le PSBLSJ (figure 1), le niveau d'eau pourra atteindre un niveau maximum de 16 pieds et un minimum de 14 pieds entre le 24 juin et le 1^{er} septembre, ce qui permet d'avoir une zone de marnage supérieure inondée. Le niveau maximum passera à 15,5 pieds dès le 1^{er} septembre. Entre le 8 et le 21 septembre, la contrainte du niveau minimum du lac sera abaissée graduellement de 14 pieds à 13 pieds. Par la suite, le niveau du lac pourra encore être abaissé jusqu'à 12 pieds jusqu'au 31 décembre.

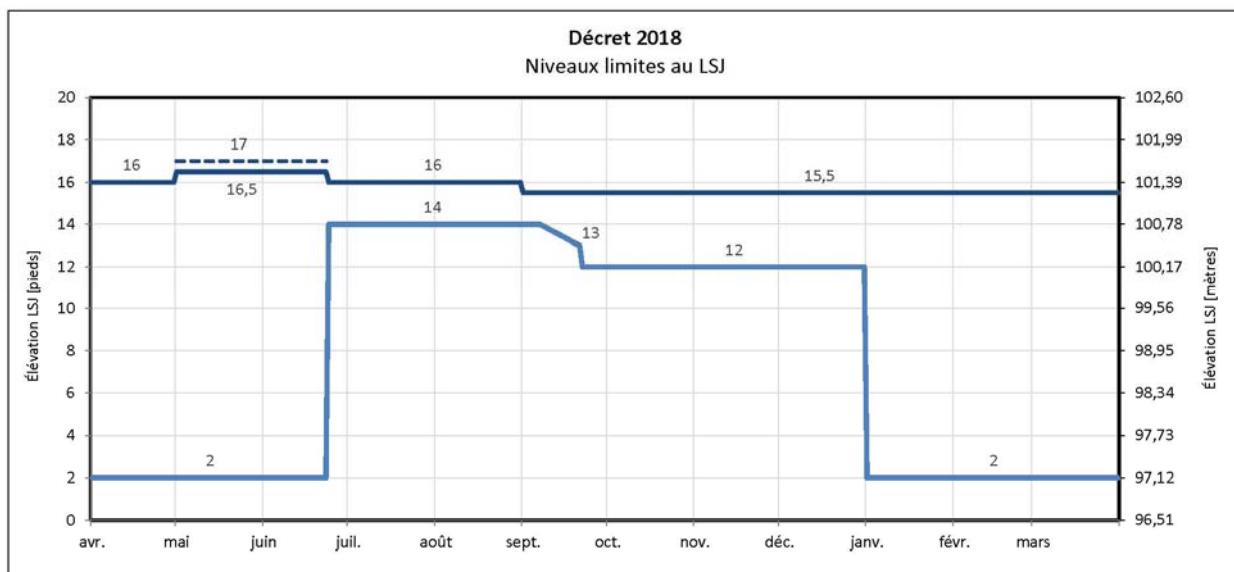


Figure 1. Gestion des niveaux d'eau du lac Saint-Jean dans le cadre du PSBLSJ 2018-2027

Une seule période d'échantillonnage a été réalisée afin d'éviter les variations saisonnières. Les échantillons de chaque site ont été prélevés entre le 12 et le 14 septembre 2018 et entre le 4 et le 7 septembre 2019.

2.2.2 MÉTHODE D'ÉCHANTILLONNAGE

Étant donné que l'étude de Valentine (1989) soulignait des différences significatives entre la zone de marnage supérieure et la zone profonde, les stations ont été placées dans différentes strates de profondeur d'eau correspondant aux cotes d'élévation du lac Saint-Jean. Les trois strates de profondeur suivantes ont été échantillonnées, soit :

- la zone de marnage supérieure (cote d'élévation supérieure à 100,2 m);
- la zone de marnage inférieure (cote d'élévation entre 98 et 100,2 m);
- la zone profonde (cote d'élévation inférieure à 96 m).

Au total, cinq stations d'échantillonnage par zone (strates de profondeur) ont été inventoriées pour chaque site, pour un total de 15 stations par site. La localisation des stations est présentée sur les cartes 2 à 5. Une fois au site d'échantillonnage, les stations ont été positionnées à des endroits qui présentaient des caractéristiques similaires au niveau de la granulométrie, de la profondeur et de la végétation aquatique.

Les coordonnées géographiques des stations d'échantillonnage ont été relevées au moyen d'un appareil GPS Garmin 62s, avec correction différentielle WAAS, offrant généralement une précision de l'ordre de 2 à 3 m. La profondeur a été relevée à l'aide d'un sonar portatif Marcum LX-I (en 2018) et un Echomap Ultra 106 sv (en 2019) et validée au terrain avec une corde graduée pour la zone de marnage.

En 2019, les stations d'échantillonnage de la zone de marnage supérieure ont été relocalisées suite aux rechargements (ajout de matériel granulaire) tout en conservant la même profondeur d'eau que l'année de référence, soit 2018.

À chaque station, une fois l'embarcation ancrée, trois sous-échantillons de benthos ont été prélevés à l'aide d'une petite benne Ponar (superficie couverte de 0,023 m²) munie d'un treillis de 500 µm. Chaque sous-échantillon a été regroupé afin de constituer un échantillon composite, ce qui permet d'augmenter la superficie couverte. Chaque sous-échantillon de benthos était composé de deux coups de benne. Une superficie de 0,14 m² a ainsi été échantillonnée à chaque station. Au total, 60 échantillons de benthos ont été prélevés et analysés.

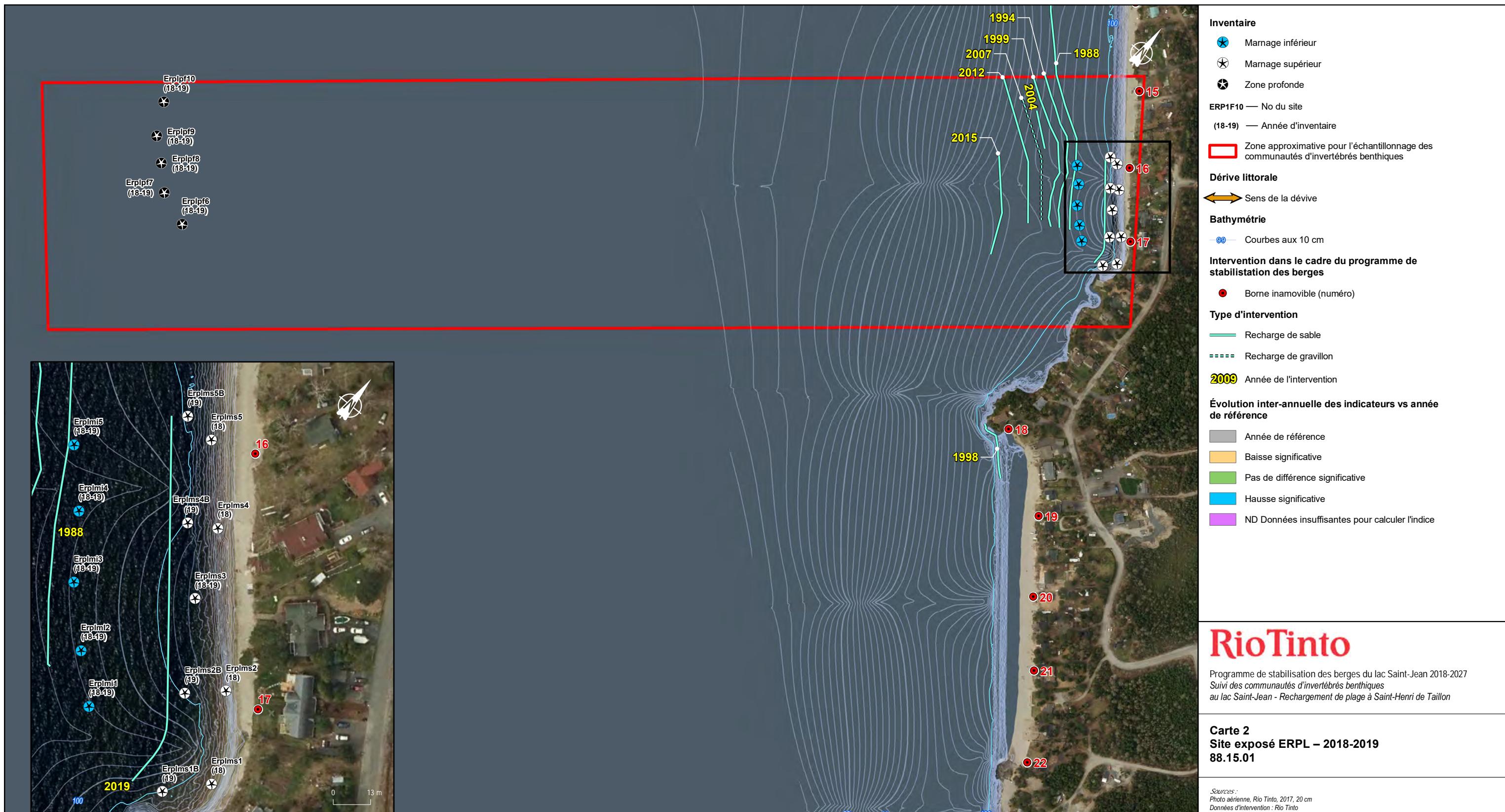
Une fois récoltés, les échantillons ont été tamisés à l'aide d'un tamis de 500 µm afin de conserver uniquement les organismes prélevés. Par contre, un fractionnement a été nécessaire lorsque le refus du tamis contenait encore beaucoup de substrat. Dans ces cas, la quantité de refus était trop élevée pour les analyses, notamment lorsque le substrat était dominé par le sable grossier. Pour réaliser le fractionnement, le refus qui contenait encore beaucoup de sable était étalé uniformément au fond d'un bac à poisson rectangulaire à fond plat divisé en six parts égales. Dépendamment de la quantité de refus, entre une et trois parts (fraction 1/2, 1/4 ou 1/6) étaient prélevées afin de remplir un pot de 1,5 litre. Cette portion représentait ainsi l'échantillon à analyser. La fraction du refus prélevée était notée afin d'ajuster les calculs d'abondance subséquemment.

Les échantillons de chaque station ont été conservés séparés dans une solution d'éthanol à 80 % dans des bocaux à couvercle étanche jusqu'à leur traitement au laboratoire.

Un échantillon de sédiments a également été récolté dans chaque zone afin d'analyser la composition granulométrique selon l'échelle de Wentworth (tableau 1) ainsi que le contenu en carbone organique total (COT).

Tableau 1. Classe granulométrique selon l'échelle de Wentworth

Nom de la classe granulométrique	Classe de taille (diamètre en mm)
Argile	<0,004
Silt	0,004 - 0,062
Sable	0,063 - 2,0
Gravier	2 - 4
Cailloux	4 - 64
Galets	64 - 256
Blocs	>256

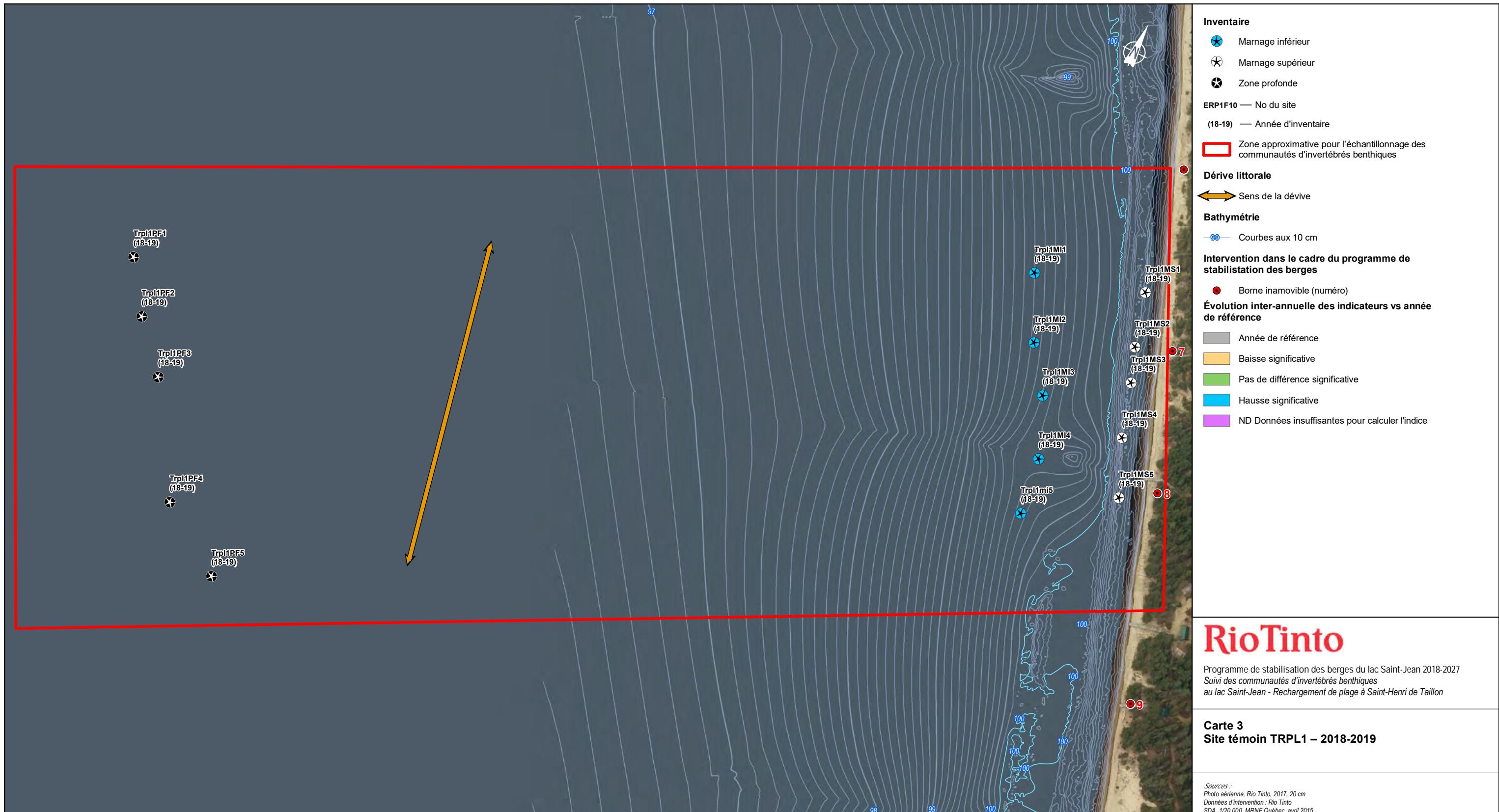


Site	Station	Densité totale (nb organismes/ m ²)				Richesse taxonomique (nb de taxons)				Indice de diversité de Shannon-Wiener (Nb organismes vs taxons)				Indice d'équitableté de Shannon-Wiener				Indice de similarité (Coefficient de Bray-Curtis)				Indice EPT/C				Permanova (Composition taxonomique)				
		2018 (REF)	2019 (An1)	2020 (An2)	2020 (An3)	2018 (REF)	2019 (An1)	2020 (An2)	2020 (An3)	2018 (REF)	2019 (An1)	2020 (An2)	2020 (An3)	2018 (REF)	2019 (An1)	2020 (An2)	2020 (An3)	2018 (REF)	2019 (An1)	2020 (An2)	2020 (An3)	2018 (REF)	2019 (An1)	2020 (An2)	2020 (An3)	2018 (REF)	2019 (An1)	2020 (An2)	2020 (An3)	
Site "exposé" ERPL	Zone de marnage supérieur	145	137	X	X	2,4	1,2	X	X	1,03	1,03	X	X	0,74	0,74	X	X	1,00	0,86	X	X	0,21	0,21	X	X	X	X	X	X	
	Zone de marnage inférieur	304	209	X	X	2,0	2,8	X	X	0,86	1,18	X	X	0,72	0,79	X	X	0,56	0,61	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Zone profonde	129	181	X	X	6,8	5,4	X	X	2,12	1,67	X	X	0,77	0,68	X	X	0,33	0,43	X	X	1,38	0,94	X	X	X	X	X	X	X

Les valeurs représentent une moyenne des 5 échantillons, les résultats détaillés sont présentés dans le rapport.
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.

WSP

Préparation : L. Bouchard
Dessin : H. Gagnon
Approbation : L. Bouchard
191-1118-00_su_C2_ERPL_wspb_200206.mxd



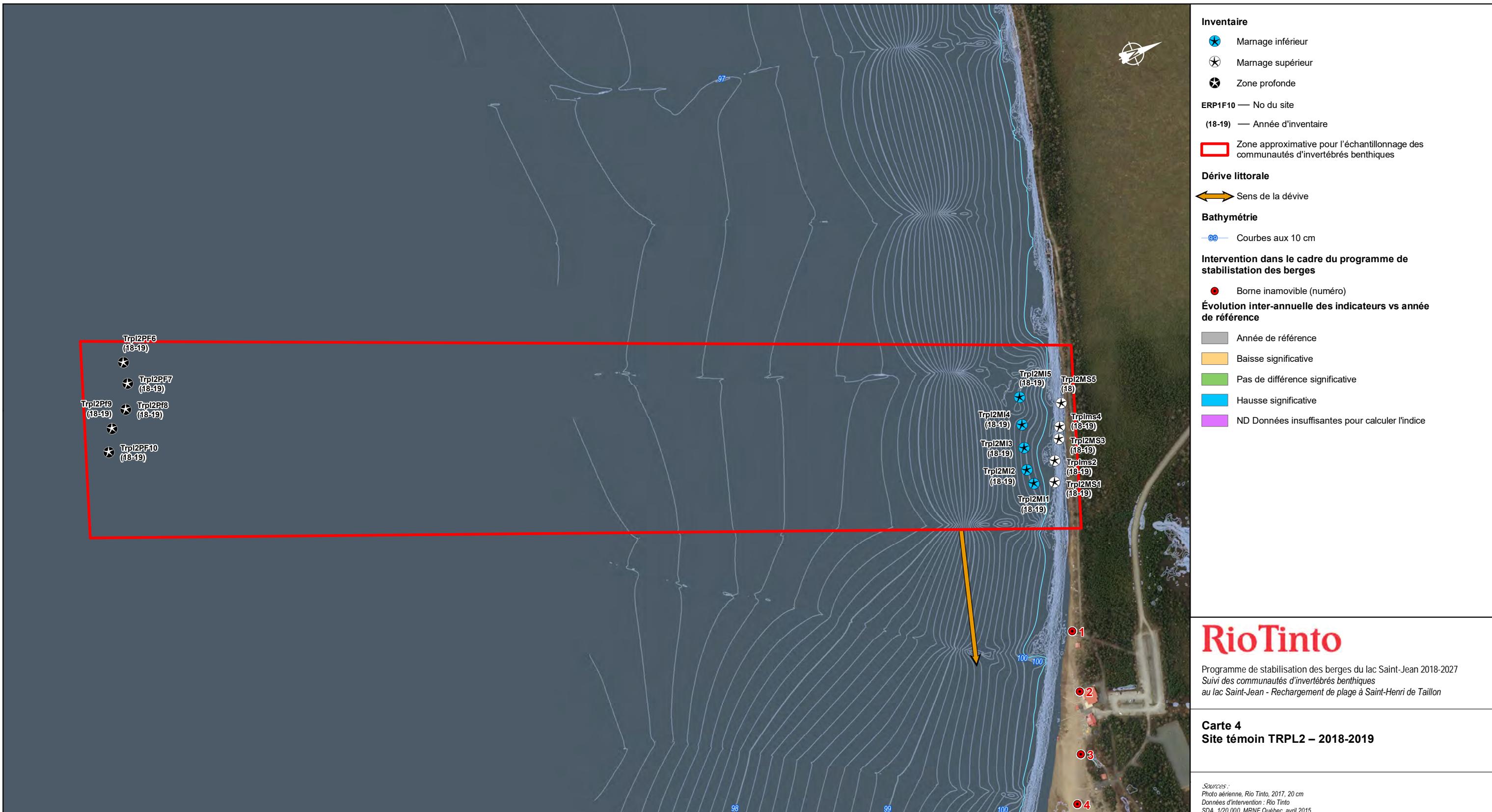
Site	Station	Densité totale (nb organismes/ m ²)				Richesse taxonomique (nb de taxons)				Indice de diversité de Shannon-Wiener (Nb organismes vs taxons)				Indice d'équitableté de Shannon-Wiener				Indice de similarité (Coefficient de Bray-Curtis)				Indice EPT/C				Permanova (Composition taxonomique)			
		2018 (REF)	2019 (An1)	2020 (An2)	2021 (An3)	2018 (REF)	2019 (An1)	2020 (An2)	2021 (An3)	2018 (REF)	2019 (An1)	2020 (An2)	2021 (An3)	2018 (REF)	2019 (An1)	2020 (An2)	2021 (An3)	2018 (REF)	2019 (An1)	2020 (An2)	2021 (An3)	2018 (REF)	2019 (An1)	2020 (An2)	2021 (An3)	2018 (REF)	2019 (An1)	2020 (An2)	2021 (An3)
Site témoin TRPL 1	Zone de marnage supérieur	42	6	X	X	1,8	0,4	X	X	1,20		X	X	0,82		X	X	1,00	0,80	X	X	0,24		X	X			X	X
	Zone de marnage inférieur	3	9	X	X	0,4	0,6	X	X			X	X			X	X	0,82	X	X			X	X			X	X	
	Zone profonde	122	164	X	X	5,6	5,8	X	X	1,81	1,85	X	X	0,75	0,75	X	X	0,31	0,33	X	X	3,00	0,80	X	X			X	X

Les valeurs représentent une moyenne des 5 échantillons, les résultats détaillés sont présentés dans le rapport.

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.

Préparation : L. Bouchard
Dessin : H. Gagnon
Approbation : L. Bouchard
191-1118-00_su_C3_TRPL1_wspb_200203.mxd

WSP



Site	Station	Densité totale (nb organismes/ m ²)				Richesse taxonomique (nb de taxons)				Indice de diversité de Shannon-Wiener (Nb organismes vs taxons)				Indice d'équitableté de Shannon-Wiener				Indice de similarité (Coefficient de Bray-Curtis)				Indice EPT/C				Permanova (Composition taxonomique)			
		2018 (REF)	2019 (An1)	2020 (An2)	2021 (An3)	2018 (REF)	2019 (An1)	2020 (An2)	2021 (An3)	2018 (REF)	2019 (An1)	2020 (An2)	2021 (An3)	2018 (REF)	2019 (An1)	2020 (An2)	2021 (An3)	2018 (REF)	2019 (An1)	2020 (An2)	2021 (An3)	2018 (REF)	2019 (An1)	2020 (An2)	2021 (An3)	2018 (REF)	2019 (An1)	2020 (An2)	2021 (An3)
Site témoin TRPL 2	Zone de marnage supérieur	19	43	X	X	1,8	1,4	X	X	1,59	0,58	X	X	0,88	0,58	X	X	1,00	0,28	X	X	2,00		X	X			X	X
	Zone de marnage inférieur	174	133	X	X	3,6	3,4	X	X	1,02	1,15	X	X	0,64	0,69	X	X	0,41	0,55	X	X			X	X			X	X
	Zone profonde	70	93	X	X	4,6	3,4	X	X	1,89	1,22	X	X	0,90	0,78	X	X	0,37	0,39	X	X	1,43	3,00	X	X			X	X

Les valeurs représentent une moyenne des 5 échantillons, les résultats détaillés sont présentés dans le rapport.

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.

WSP

Préparation : L. Bouchard
Dessin : H. Gagnon
Approbation : L. Bouchard
191-11118-00_su_C4_TRPL2_wspb_200131.mxd



Site	Station	Densité totale (nb organismes/ m ²)				Richesse taxonomique (nb de taxons)				Indice de diversité de Shannon-Wiener (Nb organismes vs taxons)				Indice d'équitableté de Shannon-Wiener				Indice de similarité (Coefficient de Bray-Curtis)				Indice EPT/C				Permanova (Composition taxonomique)			
		2018 (REF)	2019 (An1)	2020 (An2)	2021 (An3)	2018 (REF)	2019 (An1)	2020 (An2)	2021 (An3)	2018 (REF)	2019 (An1)	2020 (An2)	2021 (An3)	2018 (REF)	2019 (An1)	2020 (An2)	2021 (An3)	2018 (REF)	2019 (An1)	2020 (An2)	2021 (An3)	2018 (REF)	2019 (An1)	2020 (An2)	2021 (An3)	2018 (REF)	2019 (An1)	2020 (An2)	2021 (An3)
Site témoin TRPL3	Zone de marnage supérieur	46	46	X	X	1,8	0,8	X	X	1,21	1,23	X	X	0,88	0,94	X	X	1,00	0,94	X	X	1,50		X	X		X	X	
	Zone de marnage inférieur	270	352	X	X	2,0	2,0	X	X	0,76	1,23	X	X	0,59	0,89	X	X	0,44	0,70	X	X			X	X		X	X	
	Zone profonde	343	430	X	X	7,8	6,6	X	X	1,76	1,86	X	X	0,63	0,70	X	X	0,56	0,45	X	X	0,78	0,65	X	X			X	X

Les valeurs représentent une moyenne des 5 échantillons, les résultats détaillés sont présentés dans le rapport.

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.

Préparation : L. Bouchard
Dessin : H. Gagnon
Approbation : L. Bouchard
191-1118-00_su_C5_TRPL3_wspb_200131.mxd

WSP

2.3 LABORATOIRE

Les travaux au laboratoire ont essentiellement consisté à trier au binoculaire et, dans la mesure du possible, à identifier les organismes jusqu'au niveau du genre. En 2018, le tri et l'identification des organismes benthiques ont été réalisés par les Laboratoires SAB situés à Longueuil (personne-reponsable : Mme Bernadette Jacquaz). En 2019, le tri et l'identification des organismes benthiques ont été réalisés par GDG Environnement (personne-reponsable : Marie-Laure Escudero, directrice de laboratoire).

La méthodologie d'analyse est basée sur des protocoles que les Laboratoires SAB utilisent depuis des années, dont celui des études du suivi des effets sur l'environnement aquatique par les mines de métaux et les papetières par Environnement Canada. Cette approche rejoint en tout point celle utilisée par le U.S. Geological Survey (Moulton *et coll.* 2000) sauf pour le sous-échantillonnage. Par contre, étant donné que les échantillons présentaient une faible densité d'organismes, le sous-échantillonnage n'a pas été requis.

2.3.1 TRI

2018

Au laboratoire, les échantillons ont été rincés à l'eau claire dans des tamis superposés ayant des ouvertures de mailles de 2 000, 1 000 et 500 µm. Les fractions grossières retenues par le tamis de 2 000 µm ont été triées à l'aide d'une loupe éclairante. Pour ce qui est de la fraction plus fine (1 000 et 500 µm), la partie organique a tout d'abord été séparée de la partie sable (inorganique) étant donné la forte quantité de sable contenue dans les échantillons. La méthode utilisée en est une d'éluviation. Elle consistait à rincer et mettre en suspension les sédiments plus légers (organiques) en les brassant. On prélevait par la suite la partie organique pendant qu'elle flottait encore. Le tri de la partie organique de la fraction fine a été effectué en totalité à l'aide d'une loupe binoculaire. L'efficacité de l'éluviation a été vérifiée sur la partie inorganique de plusieurs échantillons. Aucun organisme n'y a été trouvé.

Les organismes récoltés dans les échantillons ont été dénombrés et regroupés selon les grands groupes taxinomiques. Ils ont été conservés dans l'alcool à 70 % glyciné pour une identification ultérieure.

Un contrôle de qualité du tri a été effectué sur 10 % des échantillons (six) et consistait en un tri des matières organiques conservées par une personne autre que le trieur d'origine. Les résultats du contrôle de qualité sont présentés au tableau 2.

2019

Au laboratoire, les échantillons ont été rincés à l'eau claire dans des tamis superposés ayant des ouvertures de mailles de 4 000, 2 000, 1 000 et 500 µm. Les fractions grossières retenues par les tamis de 4 000 et 2 000 µm ont été triées en totalité à l'aide d'une loupe éclairante. Pour ce qui est des fractions plus fines (1 000 et 500 µm), l'approche dépendait de la composition des échantillons.

La plupart des échantillons étaient composés d'une forte quantité de sable et de gravier. Pour faciliter le tri de ces échantillons, la partie organique et la partie sable (inorganique) ont tout d'abord été séparées.

La méthode utilisée est l'éluviation. Cette méthode, qui combine lavage et décantation, consiste à rincer et mettre en suspension les sédiments plus légers (organiques) en les brassant. On prélève ensuite la partie organique plus légère pendant qu'elle flotte encore. Le tri de la partie organique de la fraction fine a été effectué en totalité pour la majorité des échantillons sous une loupe binoculaire.

L'efficacité de l'éluviation a été vérifiée sur la partie inorganique (sable/gravier) de plusieurs échantillons. Aucun organisme n'y a été trouvé.

Plus d'une dizaine d'échantillons contenaient beaucoup de matière organique, avec de la matière fibreuse. Pour huit d'entre eux, un sous-échantillonnage des fractions fines a été effectué. Les fractions grossières ont été triées au complet.

La méthode utilisée était basée sur le poids des sous-échantillons. Elle consistait à homogénéiser le refus du tamis dans un tamis à mailles de 500 µm, d'en retirer l'eau et de prélever une fraction qui était pesée pour estimer la proportion (%) à analyser. Le sous-échantillon correspondait à la quantité de matériel qui pouvait être analysée dans un temps raisonnable de 8 à 10 heures.

Au moins 25 % de l'échantillon était trié. La ou les autres fractions sont conservées pour d'éventuels tests de contrôle de qualité. La liste des échantillons sous-échantillonnés est donnée au tableau 2. Le nombre d'organismes retrouvés dans les sous-échantillons a été ramené au nombre total contenu dans l'échantillon en multipliant par l'inverse de la fraction analysée.

Les organismes récoltés dans les échantillons ont été dénombrés et regroupés selon les grands groupes taxinomiques. Ils ont été conservés dans l'alcool à 70 % glycériné à 5 % pour une identification ultérieure.

Un contrôle de qualité du tri a été effectué sur 10 % des échantillons (12) et consistait en un tri des matières organiques conservées par une autre personne que le trieur d'origine. Les résultats du contrôle de qualité du tri sont présentés au tableau 2. Le critère de tri accepté implique qu'au plus 10 % du nombre total d'organismes aient été manqués.

Tableau 2. Résultats du contrôle de qualité sur le tri des organismes benthiques récoltés au lac Saint-Jean en 2018 et 2019

Échantillon	Nombre total d'organismes triés	Nombre d'organismes oubliés	Pourcentage d'organismes oubliés
2018			
ERPL-MS5	2	0	0,0
TRPL2-MI2	18	0	0,0
TRPL1-PF1	19	1	5,3
TRPL2-PF1	45	1	2,2
TRPL2-PF2	9	0	0,0
TRPL2-PF3	26	1	3,8
2019			
TRPL1 PF4	17	1	5,9
TRPL3 MS2	7	0	0,0
TRPL1 MS3	8	0	0,0

Pour valider la méthode de sous-échantillonnage en 2019, une analyse de variabilité a été effectuée sur un échantillon (tableau 3). Ce contrôle de qualité du fractionnement a été réalisé sur 10 % des échantillons fractionnés (un échantillon). Ainsi, le tri de trois fractions de 33 % de l'échantillon a été effectué. Les trois fractions ont donc été triées au complet. L'erreur a été estimée avec la formule suivante :

$$(Nombre estimé par la fraction / Nombre estimé dans l'échantillon complet \times 100) - 100$$

Le critère d'un protocole de fractionnement implique que les nombres d'organismes dénombrés dans les trois fractions ne doivent pas différer de plus de 20 % entre chacune. Les résultats du contrôle de qualité du fractionnement sont présentés au tableau 3.

Tableau 3. Résultats du contrôle de qualité du fractionnement des échantillons lors du tri des organismes benthiques en 2019

Fraction (%)	Nombre trié	Nombre estimé	Erreur (%)
33,3	224	672	6,5
33,3	194	582	-7,8
33,3	213	639	1,3
Total dans l'échantillon	100	631	
<i>Erreur absolue</i>			5,2

2.3.2 IDENTIFICATION

L'évaluation taxinomique des organismes benthiques a été effectuée à partir des clés d'identification citées dans Merritt *et coll.* (2008) et dans Thorp et Covich (2010). Les organismes ont été généralement identifiés à la famille. Dans certains cas plus faciles d'identification, le niveau taxonomique a été plus précis. Les nématodes n'ont pas pu être identifiés plus précisément puisque ce groupe taxonomique nécessite une méthodologie d'échantillonnage et de préservation particulière. Dans le cas des organismes zooplanctoniques, ils ont été identifiés aux groupes *Copepoda* ou *Cladocera*. Les organismes identifiés *Ostracoda* étaient abîmés et n'ont donc pas été identifiés plus loin. Une collection de référence a également été montée pour référence ultérieure. Les rapports de l'expert sont présentés à l'annexe 4.

2.4 ANALYSES STATISTIQUES

La diversité et également la distribution des communautés benthiques sont modulées à la fois par des facteurs abiotiques et biotiques. La disponibilité des ressources (ex. productivité du milieu), l'environnement physicochimique (ex. oxygène dissous, température) et la localisation spatiale (ex. baie, proximité de la rive, profondeur) comptent parmi les facteurs abiotiques. Les facteurs biotiques, quant à eux, font référence aux interactions entre les organismes, notamment la compétition et la prédation (Gray et Elliott 2009; Roy 2014).

Les données relatives au benthos proviennent du dénombrement d'organismes de différents groupes taxonomiques contenus dans des échantillons prélevés aux sites témoin et « exposé ». Pour les besoins de l'étude, les taxons faisant partie du zooplancton n'ont pas été inclus dans les analyses. Pour décrire, analyser et comparer les communautés benthiques, différentes mesures unidimensionnelles (descripteurs de communauté) ont été mises à contribution.

2.4.1 INDICATEURS D'EFFETS RETENUS

Les indicateurs utilisés afin d'évaluer si les travaux de stabilisation ont un effet sur la communauté d'invertébrés benthiques sont les suivants :

- la densité totale;
- la richesse taxonomique (*note : pour cette étude le terme taxon désigne le niveau taxonomique le plus précis identifié*);
- l'indice de diversité de Shannon-Wiener;
- l'indice d'équitabilité de Shannon-Wiener;
- l'indice de similarité (coefficient de Bray-Curtis);
- l'indice Éphéméroptère-Plécoptère-Trichoptère/Chironomides (EPT/C);

- l'indice de perte de communauté;
- le pourcentage de contribution des dominants.

DENSITÉ TOTALE ET RICHESSE

La densité des organismes et la richesse spécifique sont des indicateurs très sensibles aux conditions environnementales naturelles et aux perturbations résultant de l'introduction de polluants. Précisons que ces paramètres, dont plus particulièrement l'abondance des organismes, peuvent également varier considérablement dans les milieux non contaminés. Une richesse taxonomique élevée est habituellement indicatrice de la bonne santé d'un cours d'eau. La richesse augmente généralement avec l'augmentation de la qualité de l'eau ainsi qu'avec la diversité et la qualité des habitats. Il est donc important de comparer des milieux où les habitats sont semblables (Grall et Coïc 2006; Environnement Canada 2012; MDDEFP 2013).

La densité totale des invertébrés correspond au nombre total de spécimens capturés par station, toutes catégories taxonomiques confondues, exprimé par unité de surface (nombre d'invertébrés/m²). Quant à la richesse, elle correspond au nombre de taxons (famille ou autre) capturés à chaque station. Les valeurs de densité et de richesse ont été calculées pour chaque station. La richesse moyenne a été calculée pour chaque zone. Pour les Spongillidae et les Paludicellidae, comme il s'agit de colonie, ceux-ci n'ont pas été multipliés par la fraction de l'échantillon.

INDICE DE DIVERSITÉ DE SHANNON-WIENER

L'indice de diversité rend compte de la composition d'un écosystème, en termes de nombre d'espèces et de leur abondance relative. Cet indice constitue en fait une mesure globale des proportions des différentes espèces présentes dans un échantillon. Il permet de caractériser la diversité des biocénoses et donne un premier aperçu de la santé des écosystèmes. L'indice de diversité diminue quand la communauté est dominée par un nombre réduit d'espèces. Une valeur faible traduit généralement des conditions de vie particulières qui favorisent l'établissement de seulement quelques espèces (Pelletier 2002; MDDEFP 2013).

L'utilité de la composition spécifique, comme paramètre indicateur de la qualité du milieu, repose essentiellement sur un phénomène généralement observé, à savoir que les milieux non perturbés supportent des communautés comportant un grand nombre d'espèces et où aucune d'entre elles n'est plus abondante que les autres. Plusieurs facteurs de stress peuvent altérer la composition spécifique en rendant le milieu impropre à la survie de certaines espèces ou en donnant à d'autres un avantage compétitif. Toutefois, il est important de signaler que plusieurs facteurs naturels font que certains milieux particulièrement contraignants supportent également des communautés dominées par une ou quelques espèces adaptées aux conditions rigoureuses. Ces facteurs confondants peuvent être contournés en échantillonnant des milieux semblables, d'où l'importance, encore une fois, de bien sélectionner les zones de référence en fonction des caractéristiques des zones exposées afin que les habitats soient comparables.

De nombreux indices existent afin d'évaluer la diversité taxonomique. L'indice de diversité Shannon-Wiener est le plus couramment utilisé dans les études de macroinvertébrés benthiques (MDDEFP 2013). Cet indice tient compte du nombre d'individus de chacun des taxons. Bien que différentes bases de logarithme puissent être utilisées dans le calcul de cet indice, l'utilisation du logarithme en base 2 est recommandée. La valeur 3,322 devant la formule permet de convertir le log₁₀ en log₂. Le calcul de l'indice de diversité de Shannon-Wiener a été estimé selon l'équation suivante :

$$H' = -3,322 \sum_i^s p_i \log(p_i)$$

Où :

- H' = indice de diversité de Shannon-Wiener
s = nombre total de taxons à la station
p_i = proportion du i^e taxon à la station

La valeur de cet indice a été calculée pour chaque station et la moyenne et l'écart type ont été estimés pour chaque zone. Une valeur élevée de l'indice correspond à une communauté composée de plusieurs taxons dont les densités sont semblables, ce qui correspond habituellement à des conditions favorables du milieu. À l'inverse, une valeur faible traduit des conditions de vie difficiles qui permettent à peu d'espèces de s'établir. De plus, en l'absence de compétition, ces espèces sont souvent présentes en grand nombre (Dajoz 1982 *In* MDDEFP 2013). Quel que soit le groupe taxinomique, l'indice de Shannon-Wiener est compris entre moins de 1 et 4,5 de façon générale.

INDICE D'ÉQUITABILITÉ DE SHANNON-WIENER

Les principaux indices d'équitabilité consistent le plus souvent à établir le rapport entre la diversité mesurée et la diversité théorique maximale pour une taille d'échantillon et un nombre d'espèces données (Grall et Coïc 2006). L'évaluation de l'équitabilité (ou régularité) permet de comparer les diversités de deux peuplements ayant des nombres d'espèces différents (Dajoz 1982 *In* MDDEFP 2013). Elle constitue le rapport entre la répartition des taxons obtenus par l'indice de diversité de Shannon-Wiener (H') et une distribution fictive équitable de ces mêmes taxons (MDDEFP 2013).

La valeur obtenue varie entre 0 et 1, où 0 indique que la totalité de l'effectif est concentrée dans un même taxon et 1 que tous les taxons possèdent une même abondance. L'équitabilité a été calculée pour chaque station et la valeur moyenne ainsi que l'écart type ont été calculés pour chaque zone. L'équitabilité a été estimée selon l'équation suivante :

$$J' = \frac{-3,322 \sum_i^s p_i \log(p_i)}{3,322 \cdot \log(S)}$$

Où :

- J' = équitabilité
p_i = abondance relative du i^e genre à la station
s = nombre total de genres identifiés à la station

INDICE DE SIMILARITÉ (COEFFICIENT DE BRAY-CURTIS)

La plupart des descripteurs des communautés d'invertébrés dont il est question ci-dessus constituent des mesures de la densité totale et de la richesse des taxons et ne fournissent aucune information quantitative sur les types d'organismes présents. L'utilisation d'un indice de similarité est donc également recommandée, car il résume en un seul chiffre la différence globale de la structure des communautés entre les sites de référence et les sites exposés. En outre, il ne repose sur aucune prémissse concernant la nature de la communauté et varie dans une seule direction. Parmi les divers indices disponibles, le coefficient de Bray-Curtis est le plus fiable selon de nombreux auteurs. Il est également peu affecté par la nature des communautés comparées et les différences ont la même contribution au calcul du coefficient, sans égard à l'abondance du taxon (Environnement Canada 2012).

Le coefficient de Bray-Curtis est un coefficient de dissimilarité qui varie de 0 (deux sites possédant des descripteurs identiques) à 1 (deux sites totalement différents). La valeur du coefficient rend compte du degré d'association entre les sites (Environnement Canada 2012).

L'indice de Bray-Curtis mesure le pourcentage de différence entre les sites et la mesure de distance se calcule selon l'équation suivante :

$$B - C = \frac{\sum_{i=1}^n |y_{i1} - y_{i2}|}{\sum_{i=1}^n (y_{i1} + y_{i2})}$$

Où :

$B - C$ = dissimilarité de Bray-Curtis entre les sites 1 et 2

y_{i1} = nombre d'invertébrés du genre i au site 1

y_{i2} = nombre d'invertébrés du genre i au site 2

n = nombre total de genres présents dans les deux sites

La dissimilarité de Bray-Curtis a ainsi été calculée sur tous les échantillons d'une même année à partir d'une médiane de référence qui provient des sites témoins pour chaque taxon et pour chaque station. Par la suite la moyenne et l'écart type par zone sera analysé à l'aide d'une PERMANOVA (voir plus loin).

INDICE EPT/C

L'indice EPT/C a été calculé pour chaque strate de profondeur. Cet indice correspond au nombre d'éphéméroptères, de plécoptères et de trichoptères sur le nombre de chironomides. Cet indice peut s'avérer utile afin d'évaluer l'intégrité des milieux aquatiques. Les éphéméroptères, les plécoptères et les trichoptères sont sensibles à la qualité de l'eau et de façon générale, leur nombre tend à diminuer dans les milieux perturbés. Au contraire, les chironomides (détritivores) sont plus tolérants. Un nombre peu élevé de taxons de EPT est généralement lié à une augmentation des perturbations. Ainsi, le rapport EPT/C est généralement inférieur dans les milieux perturbés.

INDICE DE PERTE DE COMMUNAUTÉ

La perte de taxons benthiques dans un site d'étude par rapport à un site de référence est mesurée à l'aide de l'indice de perte de communauté. Les valeurs vont de 0 à « l'infini » et augmentent à mesure que le degré de dissimilitude entre les sites augmente (Plafkin *et al.* 1989 *In* Mandaville 2002). Pour cette étude, le calcul de l'indice a été adapté pour valider la perte de taxons entre deux années pour le même site. L'indice se calcule selon l'équation suivante :

$$\text{Perte communautaire} = \frac{d - a}{e}$$

Où :

a = nombre de taxons communs aux deux années pour le même site

d = nombre total de taxons présents dans le site pour l'année de référence

e = nombre total de taxons présents dans le site pour l'année étudiée

Dans cette étude, l'indice de perte de communauté a été déterminé en comparant le nombre total de taxons présents dans la zone étudiée (« e ») au nombre de taxons présents dans le même site lors de l'année de référence (« d »). Ceci a été fait pour tenir compte de la variation qui se produit entre les années.

POURCENTAGE DE CONTRIBUTION DES DOMINANTS

Le pourcentage de contribution de la famille dominante ou pourcentage de dominance (%DF) est égal à l'abondance de la famille numériquement dominante par rapport au nombre total d'organismes dans l'échantillon. Cet indice indique l'état actuel de l'équilibre communautaire au niveau familial. Par exemple,

une communauté dominée par relativement peu de familles aurait une valeur %DF élevée, ce qui indique que la communauté est sous l'influence du stress environnemental (Plafkin *et al.* 1989 *In* Mandaville 2002).

CADRAGE NON MÉTRIQUE MULTIDIMENSIONNEL

Afin de visualiser graphiquement les différences entre les sites et ainsi avoir un portrait de la communauté benthique, un cadrage non métrique multidimensionnel a été utilisé. Le but de cette représentation est de rassembler l'information provenant de multiples dimensions (ex. l'abondance de chacun des taxons) et de la ramener à deux dimensions afin que les données puissent être visualisées et interprétées. En réalité, l'analyse de l'abondance de chaque taxon prise séparément ne permet pas de bien comprendre les différences dans les communautés. Pour chaque taxon présent dans la communauté, un axe ou dimension peut s'ajouter à un graphique standard représentant les densités d'organismes, mais l'analyse devient impossible après trois dimensions. Le principe d'un cadrage non métrique multidimensionnel est que chaque dimension représente la densité d'un taxon. Une matrice de similarité entre les stations en fonction des densités des taxons est construite afin d'attribuer une position dans un espace à x dimensions où x est le nombre total de taxons présents dans la communauté étudiée. Le nombre de dimensions est ensuite réduit afin de permettre la visualisation sur un graphique standard à deux axes. Ces opérations d'ordination sont réalisées à l'aide de logiciel de statistique spécialisé.

Le niveau d'ajustement du modèle ou la distorsion de la représentation en deux dimensions est appelé le stress. Plus le stress du cadrage est élevé, plus la représentation des points provient d'un agencement aléatoire. Un niveau de stress inférieur à 0,2 permet une interprétation de la représentation selon Clarke (1993). Il est important de noter que les valeurs des axes n'ont pas de signification précise et que l'orientation du graphique est arbitraire. Par contre, la distance entre chacun des sites peut être interprétée.

Une fois les analyses réalisées, la répartition des sites et des variables est affichée sur le cadrage afin de mieux comprendre les différences entre les communautés. Lorsque les sites présentent des communautés très différentes, ceux-ci seront très éloignés l'un de l'autre sur le graphique. D'autre part, lorsqu'un site se différencie d'un autre en raison d'une variable en particulier, ce site se rapprochera de cette variable alors que l'autre s'en éloignera.

2.4.2 SCÉNARIOS D'ANALYSES STATISTIQUES

Des analyses statistiques ont été effectuées afin de vérifier la présence de différence significative entre les résultats obtenus à l'année 1 du suivi après la réalisation des travaux de recharge (2019) avec l'année de référence (2018). Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel R (v.3.6.2).

INDICATEURS DES COMMUNAUTÉS

Les analyses de comparaison de moyenne avec le test de Student ont été réalisées pour les indicateurs préalablement déterminés, soit :

- la densité;
- la richesse taxonomique;
- l'indice de diversité de Shannon-Wiener;
- l'indice d'équitabilité de Shannon-Wiener;
- l'indice de similarité (coefficient de Bray-Curtis);
- le ratio EPT/C.

Concernant le ratio EPT/C, les analyses ont été effectuées seulement sur la zone profonde (PF). En effet, le faible nombre de ces groupes taxonomiques dans les zones de marnage supérieure et inférieure donnaient lieu à un ratio de 0 pour la majorité des échantillons, ne permettant pas la réalisation d'analyses statistiques.

Afin de valider si les données respectaient les conditions d'application de normalité et d'homoscédasticité de la variance, les tests de normalité de Shapiro-Wilk et de Levene ont été appliqués. De plus, la distribution normale des échantillons a été évaluée en complémentarité avec le test de Shapiro-Wilk en visualisant la distribution des résidus avec la fonction « *qqnorm* ». Dans le cas où une ou plusieurs conditions n'étaient pas respectées, la transformation en log10 des données était alors effectuée. Si les conditions de normalité n'étaient toujours pas respectées, le test non paramétrique de Mann-Withney était alors utilisé sur les données transformées ou non transformées, selon le cas. Les données non transformées étaient privilégiées lorsque les valeurs des descripteurs comportaient plusieurs valeurs de 0. Dans le cas où les deux conditions n'étaient pas respectées malgré la transformation de données, le test de Kolmogorov-Smirnov était utilisé en complémentarité au test non paramétrique de Mann-Withney afin de valider la comparaison des descripteurs entre les années. Bien que moins sensible, le test de Kolmogorov-Smirnov est robuste puisqu'il s'agit d'un test non paramétrique permettant de déterminer si deux séries de données diffèrent de manière significative sans avoir recours aux valeurs de variance ou d'écart type ou de moyenne (Environnement Canada 2012).

Finalement, les comparaisons qui comportaient un nombre d'échantillons ≤ 3 dans un des deux groupes, soit TRPL1-MI, TRPL1-MS et TRPL3-MS, ont été effectuées à l'aide du test de Kolmogorov-Smirnov seulement. Conformément au *Guide technique pour l'étude du suivi des effets sur l'environnement aquatique par les mines de métaux* (Environnement Canada 2012), les valeurs de α et de β ont été fixées à 0,1 pour les tests statistiques. De plus, la puissance statistique ($1-\beta$) a été calculée pour les tests paramétriques de Student selon la formule présentée dans le guide technique d'Environnement Canada (2012), soit :

— pour les données transformées :

$$t\beta = \sqrt{\left(\frac{n}{2\left(\frac{ET}{SCEz}\right)^2} - t\alpha\right)}$$

Où :

n = taille de l'échantillon

$t\alpha$ = valeur du t de Student (test bilatéral) à $n-1$ degrés de liberté (niveau de signification de 0,1)

$t\beta$ = valeur du t de Student (test unilatéral) à $n-1$ degrés de liberté (niveau de signification de 0,1)

ET = écart type

$SCEz$ = $\log(f+1)$, où f = seuil critique d'effet (SCE)

— pour les données non transformées :

$$t\beta = \sqrt{\left(\frac{n}{2\left(\frac{CV}{SCE}\right)^2} - t\alpha\right)}$$

Où :

n = taille de l'échantillon de la zone de référence

CV = coefficient de variation de la zone référence

La puissance statistique permet d'établir si le plan d'échantillonnage recueille suffisamment d'informations pour permettre l'établissement de décisions. Ce test est en fonction de la taille de l'échantillon, de la variabilité et de la différence des valeurs des paramètres entre les groupes. Il évalue la probabilité (β) de commettre une erreur de type II, c'est-à-dire de ne pas trouver de différence alors qu'il y en a une et la valeur obtenue en

pourcentage indique le degré de confiance du résultat statistique. Le seuil établi à 90 % assure donc que les conclusions du test statistique sont satisfaisantes pour les analyses ayant obtenu un résultat non significatif. Dans le cas où la puissance est inférieure à 90 %, les données sont interprétées avec une certaine incertitude quant à la possibilité qu'une différence ne soit pas détectée en raison de la taille des échantillons. Dans le cas où un effet est détecté, il faut conclure que l'effet est réel, puisque la probabilité de ne pas trouver de différence est écartée. Finalement, le test non paramétrique de Mann-Withney ne permet pas l'utilisation de ces formules pour calculer la puissance de ce test et n'a donc pas fait l'objet des calculs.

COMPOSITION TAXONOMIQUE

La composition taxonomique des communautés d'invertébrés de l'année 1 du suivi (2019) a été comparée avec l'année de référence (2018) à l'aide du test de permutations multiples de la variance (PERMANOVA), basé sur l'indice de Bray-Curtis. Le test de PERMANOVA ne requiert pas la vérification de conditions d'applications au préalable, mais il est toutefois recommandé d'évaluer l'homogénéité multivariée de la dispersion (c'est-à-dire la variance) entre les groupes afin de déterminer si le résultat n'est pas influencé par la dispersion des valeurs. Pour ce faire, la dispersion a été évaluée à l'aide de la fonction « *Betadisper* ». Dans le cas où la dispersion des variances s'avère non homogène, aucune transformation n'est requise. Toutefois, il n'est pas possible de discriminer si une différence identifiée à l'aide du test de PERMANOVA provient de la distribution ou bien de la composition taxonomique.

CONTRIBUTION DES TAXONS

La contribution relative (%) des taxons à la similarité/dissimilarité entre l'année 1 du suivi (2019) et l'année de référence (2018) a été évaluée avec le test de « *Similarity percentage* » ou SIMPER. Ce test permet de déterminer les taxons qui apportent une contribution importante dans la similarité ou la dissimilarité entre deux années. Le ratio de la déviation standard sur la contribution moyenne (%) du taxon peut être utilisé afin de déterminer les taxons qui peuvent être qualifiés de « bons discriminateurs ». De manière générale, un ratio élevé ($> 1,5$) indique que la contribution de l'espèce x est constante au sein d'un même groupe. Ainsi, la valeur seuil de 1,5 du ratio a été utilisée afin de déterminer les taxons qui contribuent de manière homogène à la similarité/ dissimilarité entre les groupes (Clarke et Warwick 2001).

VISUALISATION GRAPHIQUE DES COMMUNAUTÉS

Des cadrages non métriques multidimensionnels ont été réalisés afin de visualiser graphiquement les différences entre les sites et avoir un portrait de la communauté. Cette représentation permet notamment de rassembler de l'information provenant de multiples dimensions telles que l'abondance de chacun des taxons et de les ramener sur deux dimensions afin que les données puissent être visualisées et interprétées. Une matrice de similarité entre les stations est construite afin d'attribuer une position dans un espace à x dimensions, où x est le nombre total de taxons présents dans une communauté étudiée. Par la suite, le nombre de dimensions est réduit afin de permettre la visualisation sur un graphique standard à deux axes.

Afin d'évaluer le niveau d'ajustement du modèle, la variable de stress est utilisée. Une valeur faible ($< 0,2$) du stress indique que l'agencement des points est non aléatoire et permet une interprétation de la représentation (Clarke 1993). De plus, il est important de noter que les valeurs des axes n'ont pas de signification précise. Toutefois, la distance entre chacun des sites peut être interprétée, où les sites plus proches ont une composition taxonomique plus similaire que les sites plus éloignés.

3 RÉSULTATS

3.1 CARACTÉRISTIQUES DU SITE « EXPOSÉ » ET DES SITES TÉMOINS

Une caractérisation sommaire a été effectuée afin de décrire chacun des sites chaque année. Les caractéristiques physicochimiques de l'eau, telles que la température de l'eau, l'oxygène dissous, la conductivité spécifique et le pH, ont été mesurées pour chaque site et dans chaque strate de profondeur (tableaux 4 et 5). La granulométrie et le contenu des sédiments en carbone organique total (COT) ont été évalués en laboratoire (tableaux 4 et 5). Les certificats d'analyses sont présentés à l'annexe 5.

En rive, chacun des secteurs échantillonnés présente une plage de sable sur plusieurs mètres de longueur jusqu'au talus qui est relativement abrupt. Pour le site « exposé » et le site témoin TRPL3, les talus se caractérisent par des terrains résidentiels plus ou moins végétalisés. Pour les sites témoins TRPL1 et TRPL2, les talus se caractérisent par une bande riveraine végétalisée et dépourvue d'habitations.

En considérant les strates de profondeur séparément, les paramètres physicochimiques mesurés lors de la campagne d'échantillonnage sont similaires entre les trois sites témoins et le site « exposé », et ce, pour les deux années de suivi. Les concentrations en oxygène dissous, la température de l'eau, la conductivité et le pH sont très similaires pour chacun des sites. Le caractère oligotrophe (peu productif) du lac fait en sorte que les concentrations de nutriments relativement faibles et les niveaux de productivité peu élevés limitent la disponibilité de la nourriture et donc la productivité de la communauté benthique. En général, l'eau du lac Saint-Jean est légèrement acide (WSP 2015). Certaines valeurs sont même inférieures aux critères du MELCC (2019) et des recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement (CCME 2019). Toutefois, ces valeurs de pH sont couramment observées dans les lacs de la région.

Au niveau de l'oxygène dissous, des valeurs inférieures à 5 mg/L ont été observées dans la zone de marnage inférieure et la zone profonde du site témoin TRPL3, dans la zone profonde du site « exposé » ainsi que dans la zone de marnage supérieure du site témoin TRPL1 en 2018. Selon les critères de qualité de l'eau de surface pour la protection de la vie aquatique du MELCC, les concentrations en oxygène dissous ne devraient pas être inférieures à 4 mg/L pour les organismes d'eaux chaudes (ex. meuniers, grand brochet) et 5 mg/L pour les organismes d'eaux froides (ex. salmonidés, lotte) lorsque la température de l'eau est de 20 °C. Ces faibles valeurs s'expliquent possiblement par des eaux relativement chaudes en raison de l'été particulièrement chaud qui a été observé en 2018. En effet, au moment de l'inventaire à la mi-septembre, la température de l'eau en surface dépassait 20 °C. Des eaux chaudes durant la saison estivale favorisent la productivité biologique et ainsi la consommation d'oxygène par les organismes vivants dans le plan d'eau. Le brassage automnal causé par l'air froid et les vents dominants en septembre permet de réoxygénier l'ensemble de la colonne d'eau. Au moment de l'inventaire, le brassage n'était pas encore débuté. Il est à noter qu'en termes de pourcentage de saturation en oxygène, les valeurs obtenues ne sont pas limitantes pour la faune aquatique. Cette situation n'a pas été observée en 2019, les eaux du lac étant plus froides.

Visuellement, les échantillons prélevés dans les deux zones étaient dominés par le sable. La végétation était complètement absente des sites d'échantillonnage et le substrat était très uniforme. L'analyse des échantillons en laboratoire a permis de constater que le sable était la classe granulométrique la plus importante pour tous les sites et toutes les strates échantillonnées. On remarque certains changements dans la composition granulométrique entre l'année 2018 et 2019 (tableaux 4 et 5). Pour le site « exposé » le sable et le gravier dominent toujours (86 % et 91 %), mais avec une plus grande proportion de gravier en 2019 (9 % vs 49 %), ce qui est normal considérant la nature des matériaux rechargés (0-5 mm) qui couvrent ces deux classes granulométriques. On observe une certaine variabilité naturelle dans la zone de marnage puisque l'on retrouve

une variation de près de 10 % dans la présence de la catégorie sable pour la zone de marnage inférieure au site témoin TRPL1 ainsi que pour la zone de marnage supérieure au site TRPL3 localisé à l'extérieur de la zone des travaux.

Des valeurs élevées de COT peuvent indiquer la présence d'hydrocarbures, de cellulose, de sucre ou de tout autre composé carboné susceptible de modifier les communautés benthiques. Le contenu en COT des échantillons prélevés affiche des valeurs très similaires pour toutes les zones pour les deux années. Ces valeurs sont très faibles (inférieures à 1,4 %). Ainsi, la fraction organique n'apporte pas de biais entre les échantillons prélevés.

3.2 ZONE DE MARNAGE SUPÉRIEURE

Pour chacun des sites, cinq stations d'échantillonnage ont été réalisées. Au moment de l'échantillonnage, les profondeurs à ces stations variaient entre 0,3 et 0,75 m (cote d'élévation variant entre 100,3 et 100,75 m). À chaque site, la distance entre chacune des stations varie entre 20 et 40 m (moyenne de 32 m). Ces stations se situent à proximité du rivage à une distance généralement inférieure à 5 m.

3.2.1 STRUCTURE DES COMMUNAUTÉS

En 2018, sur les 20 stations échantillonnées dans la zone de marnage supérieure, trois stations n'ont présenté aucun organisme (TRPL1-MS2, TRPL2-MS3 et TRPL3-MS5), ce qui représente 15 % des échantillons. En 2019, cinq stations n'ont présenté aucun organisme (TRPL1-MS1, TRPL1-MS4, TRPL1-MS5, TRPL3-MS4 et TRPL3-MS5), ce qui représente 25 % des échantillons.

En 2018, on retrouve la présence de sept embranchements d'organismes (figure 2) et de 14 taxons différents (tableau 6). Les sites sont généralement dominés par les insectes, à l'exception du site témoin TRPL2 qui est dominé par les mollusques, suivi des insectes. En 2019, seuls trois embranchements et quatre taxons ont été inventoriés et la famille des insectes est toujours nettement dominante, sauf pour le site témoin TRPL1 où les mollusques sont légèrement plus présents (tableau 7). On peut donc constater une diminution dans la diversité des organismes entre les deux années, tant pour les sites témoins que le site « exposé ». On remarque également une variabilité intra-annuelle notamment au site témoin TRPL2 qui présente une bonne présence de mollusques en 2018 contrairement aux autres sites qui sont dominés par les insectes. En 2019, c'est le site TRPL1 qui se démarque avec une présence similaire des mollusques et des insectes.

Au niveau du taxon des insectes (figure 3), les principales familles recensées en 2018 sont celles des diptères/nématocères (exclusivement des chironomides) suivi des trichoptères et des éphéméroptères. Plus précisément au niveau des trichoptères, mentionnons la dominance des *Leptoceridae* suivi de *Philopotamidae*, de *Hydroptilidae* et de *Hydropsychidae*. Au niveau des éphéméroptères, la famille dominante est celle de *Caenidae* alors que quelques organismes appartenant au *Baetiscidae* ont été récoltés (tableau 6). Les sites témoins TRPL2 et TRPL3 se distinguent par une plus forte présence de trichoptères et sont les seuls à présenter des éphéméroptères. Le site témoin TRPL2 se distingue avec les trois taxons d'insectes représentés de façon presque similaire. En 2019, la situation pour les insectes est nettement différente, car seuls les diptères (*Ceratopogonidae* ou chironomides) ont été inventoriés dans la zone de marnage supérieure pour l'ensemble des sites (témoins et « exposé ») (tableau 7).

Tableau 4. Caractéristiques des sites et des zones d'échantillonnage du benthos en 2018

Site	Station ¹	Date	Heure	Prof. d'eau échant. (m)	Temp. de l'eau (°C)	Oxygène dissous (mg/L)	Oxygène dissous (%)	Conduct. spé. (µS/cm)	pH	Granulométrie (%)				COT (%) ²
										Limon/ Argile	Sable	Gravier	Cailloux	
ERPL	MS-5	12-sept	16:50	Surface	21,2	8,2	91	21,3	6,0	1,3	77,2	9,2	12,3	<0,05
	MI-5	13-sept	08:50	1,1	19,2	8,8	89	21,3	5,9	0,7	99,3	-	-	<0,05
	PF-10	14-sept	15:10	5,3	18,1	4,8	75	19,8	7,2	3,1	96,9	-	-	0,13
TRPL1	MS-5	13-sept	16:35	Surface	24,5	4,9	86	24,7	7,5	0,5	99,5	-	-	<0,05
	MI-5	14-sept	08:17	1,4	18,3	5,5	81	20,1	6,3	0,7	99,3	-	-	<0,05
	PF-5	14-sept	08:37	5,1	18,0	5,1	81	19,9	6,6	5,0	95,0	-	-	0,10
TRPL2	MS-1	13-sept	12:23	Surface	21,2	5,2	87	22,1	6,2	1,0	99,0	-	-	<0,05
	MI-1	13-sept	13:00	1,5	20,2	5,1	85	21,5	6,8	0,5	99,5	-	-	0,06
	PF-10	14-sept	14:35	5,2	19,4	5,0	82	20,9	6,9	8,4	91,6	-	-	0,10
TRPL3	MS-5	14-sept	10:32	Surface	20,2	5,0	84	24,1	6,4	0,1	84,3	8,9	6,7	<0,05
	MI-5	14-sept	11:25	1,3	20,0	4,9	81	21,7	6,4	0,1	97,1	2,8	-	<0,05
	PF-5	14-sept	13:00	5,5	17,8	4,8	77	21,9	6,1	1,1	98,9	-	-	0,12

1 Une station physicochimique a été échantillonnée par strate de profondeur. À cette station, un échantillon supplémentaire de substrat a été prélevé afin de déterminer la granulométrie et le COT.

MS : zone de marnage supérieure; MI : zone de marnage inférieure; PF : zone profonde.

2 COT : carbone organique total.

Tableau 5. Caractéristiques des sites et des zones d'échantillonnage du benthos en 2019

Site	Station ¹	Date	Heure	Prof. d'eau échant. (m)	Temp. de l'eau (°C)	Oxygène dissous (mg/L)	Oxygène dissous (%)	Conduct. spéc. (µS/cm)	pH	Granulométrie (%)				COT (%) ²
										Limon/ Argile	Sable	Gravier	Cailloux	
ERPL	MS-5	4-sept	14:45	Surface	17,1	10,6	110	23	7,3	8,1	42,3	49,6	0	0,42
	MI-5	6-sept	9:50	1,25	13,9	11,2	109	25	7,8	0,21	99,8	-	-	0,3
	PF10	6-sept	11:50	6	13,5	10,9	105	22	7,5	1,7	98,2	0,09	-	0,11
TRPL1	MS-5	4-sept	10:45	Surface	15,4	10,7	107	22	7,1	1,5	98,26	0,21	-	0,27
	MI-1	4-sept	12:00	1,5	16,2	10,4	106	22	7,3	10	90	-	-	1,36
	PF-5	4-sept	13:25	6	16,33	10,4	106	22	7,1	4,54	95,46	-	-	0,42
TRPL2	MS-5	6-sept	13:48	0,6	17,1	10,8	112	22	7,6	1,5	91,4	7,1	-	0,54
	MI-1	6-sept	13:15	1,3	16,3	10,7	109	22	7,4	1,6	98,2	0,2	-	0,06
	PF-6	6-sept	16:40	6	13	10,9	104	21	7,2	3,4	96,6	-	-	1,12
TRPL3	MS-5	7-sept	9:25	0,8	14	10,8	105	22	7,2	4,3	73,2	22,5	-	0,07
	MI-1	7-sept	9:40	1,5	14	10,7	103	21	7,2	0,4	97,5	2,1	-	0,26
	PF-5	7-sept	11:30	6,3	13,7	10,4	100	22	6,8	4,38	95,62	-	-	0,27

¹ Une station physicochimique a été échantillonnée par strate de profondeur. À cette station, un échantillon supplémentaire de substrat a été prélevé afin de déterminer la granulométrie et le COT.

MS : zone de marnage supérieure; MI : zone de marnage inférieure; PF : zone profonde.

² COT : carbone organique total.

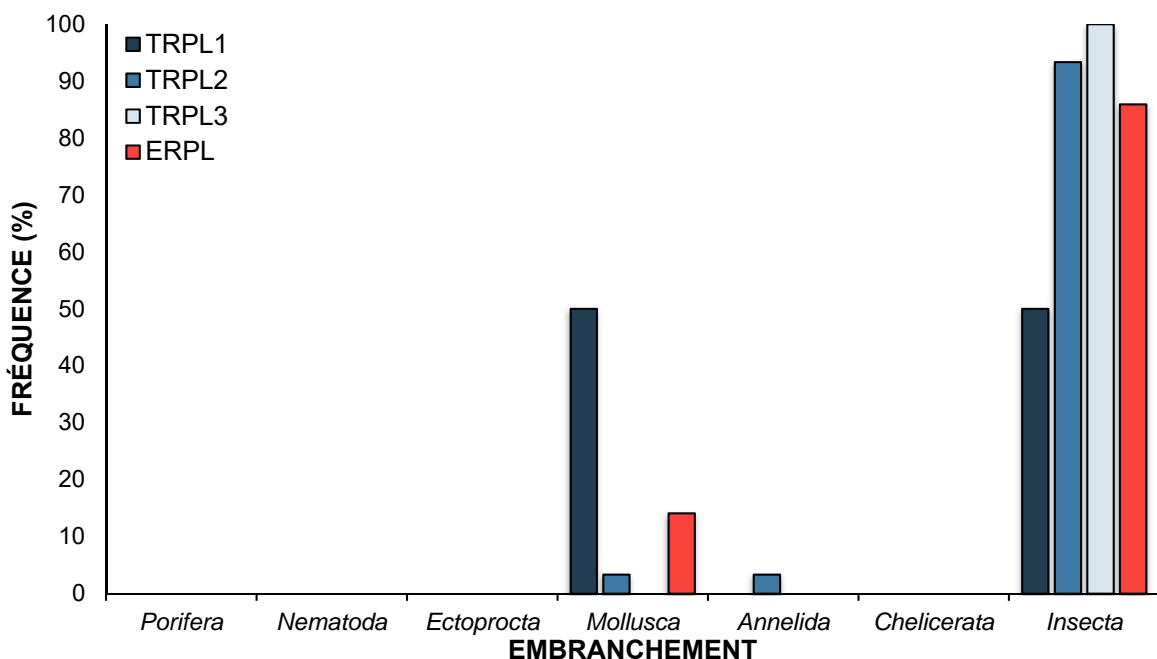
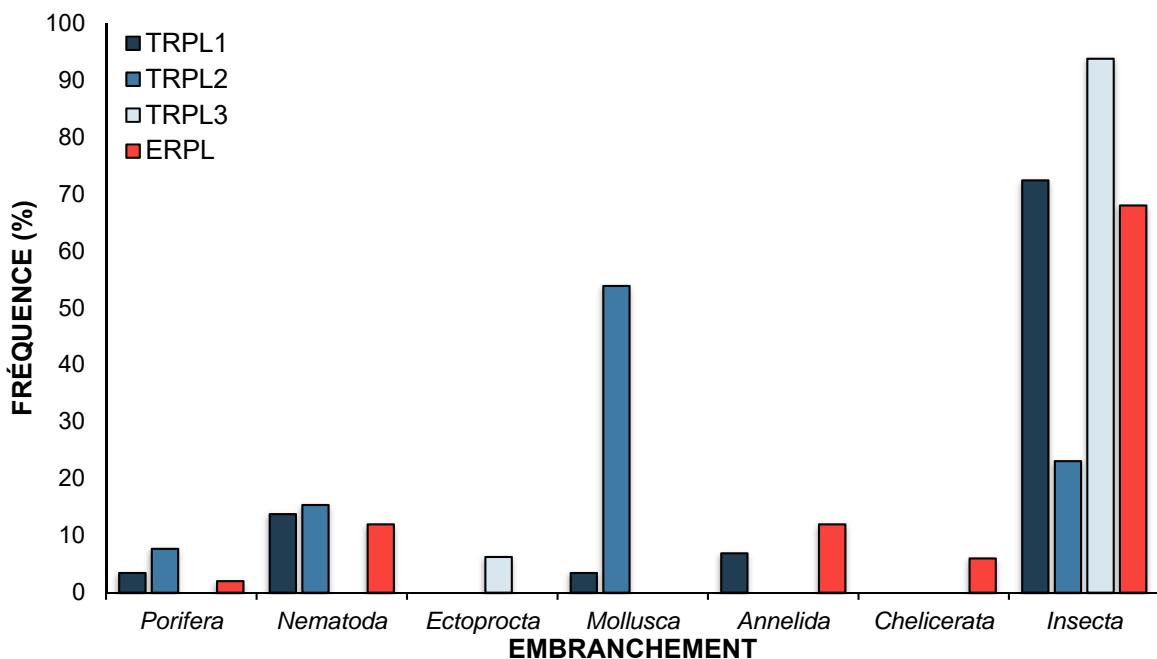


Figure 2. Abondance relative des différents embranchements d'invertébrés benthiques identifiés dans la zone de marnage supérieure en 2018 (haut) et 2019 (bas)

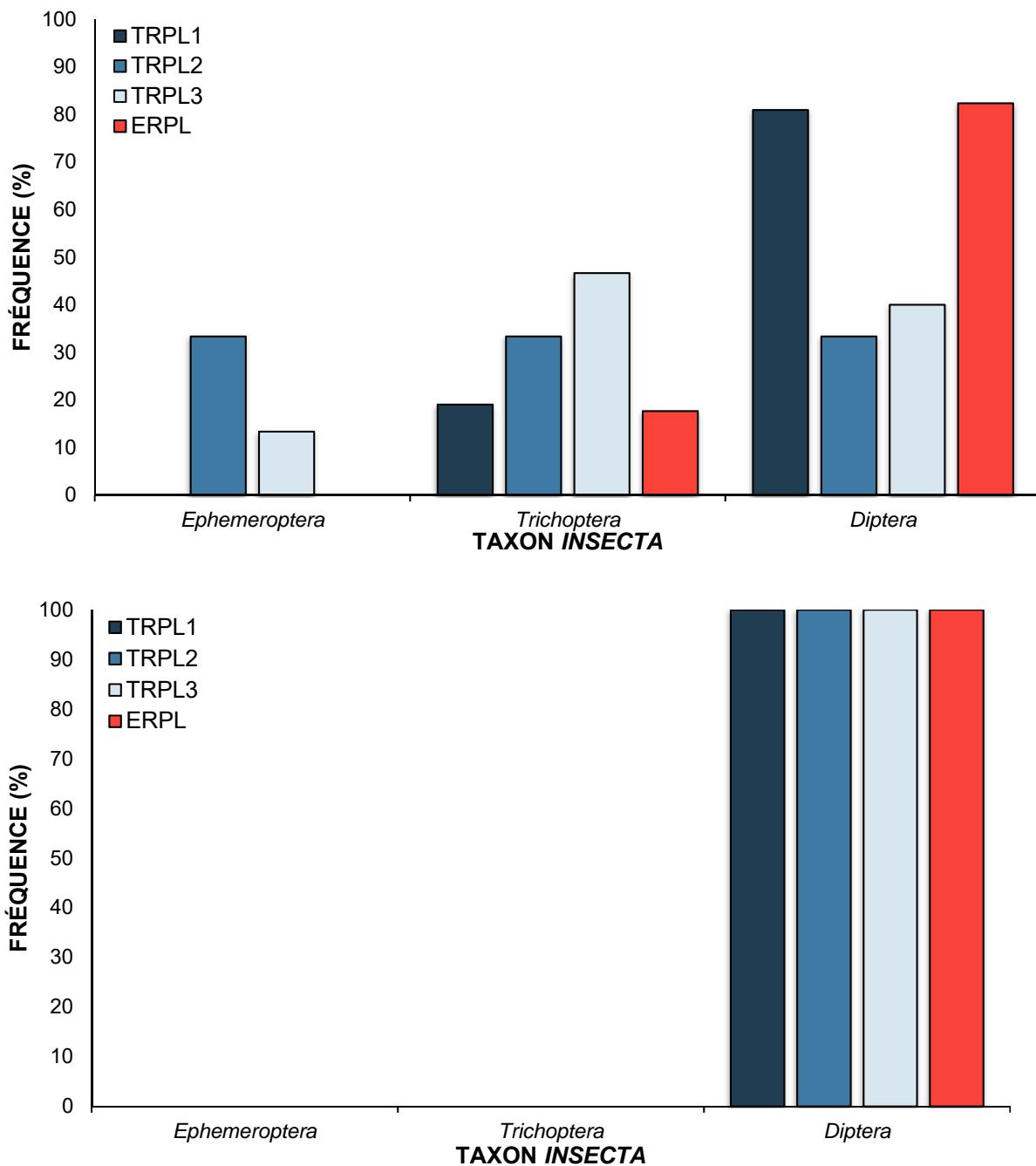


Figure 3. Abondance relative des différents taxons *Insecta* pour les invertébrés benthiques identifiés dans la zone de marnage supérieure en 2018 et 2019

Tableau 6. Densité d'organismes et abondance relative par station pour chacun des sites échantillonnes dans la zone de marnage supérieure en 2018

Organisme	Site témoin TRPL1							Site témoin TRPL2							Site témoin TRPL3							Site « exposé » ERPL							
	MS1	MS2	MS3	MS4	MS5	Dens. moy. (nb/m²)	Abond. rel. (%)	MS1	MS2	MS3	MS4	MS5	Dens. moy. (nb/m²)	Abond. rel. (%)	MS1	MS2	MS3	MS4	MS5	Dens. moy. (nb/m²)	Abond. rel. (%)	MS1	MS2	MS3	MS4	MS5	Dens. moy. (nb/m²)	Abond. rel. (%)	
<i>PORIFERA</i>																													
<i>Spongillidae</i>	7					1	3						7	1	8										7		3	2	
<i>NEMATODA</i>						29	6	14	7	7				3	15									43		43	17	12	
<i>ECTOPROCTA</i>																													
<i>Paludicellidae</i>																													
<i>MOLLUSCA</i>																													
<i>Sphaeriidae</i>						7		1	3	29			7	14	10	54													
<i>ANNELIDA</i>																													
<i>Naididae</i>	7							1	3																87		17	12	
<i>Lumbriculidae</i>						7		1	3																				
<i>CHELICERATA</i>																													
<i>Lebertiidae</i>																											43	9	6
<i>ARTHROPODA</i>																													
<i>Caenidae</i>																													
<i>Baetiscidae</i>													7		1	8													
<i>Hydropsychidae</i>						29	6	14																					
<i>Hydroptilidae</i>																											43	9	19
<i>Leptoceridae</i>													7	1	8											43	43		
<i>Philopotamidae</i>																												17	12
<i>Chironomidae (Larves)</i>	7		58		58	25	59						7	1	8	29		29	29		17	38		130	58	174	43	81	56
Sous-total	21	0	65	7	116			43	7	0	7	35			29	93	65	43	0					223	173	58	181	86	

Tableau 7. Densité d'organismes et abondance relative par station pour chacun des sites échantillonnes dans la zone de marnage supérieure en 2019

Organisme	Site témoin TRPL1							Site témoin TRPL2							Site témoin TRPL3							Site « exposé » ERPL							
	PF1	PF2	PF3	PF4	PF5	Dens. moy. (nb/m²)	Abond. rel. (%)	PF1	PF2	PF3	PF4	PF5	Dens. moy. (nb/m²)	Abond. rel. (%)	PF1	PF2	PF3	PF4	PF5	Dens. moy. (nb/m²)	Abond. rel. (%)	PF1	PF2	PF3	PF4	PF5	Dens. moy. (nb/m²)	Abond. rel. (%)	
<i>MOLLUSCA</i>																													
<i>Sphaeriidae</i>		14				3	50	7						1	3										97		19	14	
<i>ANNELIDA</i>														7	1	3													
<i>Lumbriculidae</i>																													
<i>ARTHROPODA</i>																													
<i>Ceratopogonidae</i>														0	116	29										29	63		
<i>Chironomidae (Larves)</i>			14			3	50	14	7	7	7	167	41	93	58	29	0				17	38	39	58	58	145	290	118	86
Sous-total	0	14	14	0	0			22	7	7	7	174			58	145	29	0	0					135	58	58	145	290	

3.2.2 DESCRIPTEURS DES COMMUNAUTÉS

En 2018, les densités d'organismes les plus élevées ont été obtenues au site « exposé » avec une moyenne de 145 org./m² (tableau 8). En effet, plusieurs chironomides ont été récoltés à ce site. Par contre, au site témoin TRPL2, la densité d'organismes est plutôt faible avec seulement 19 org./m². En 2019, on retrouve sensiblement la même situation avec 137 org./m² au site « exposé », mais c'est le site témoin TRPL1 qui présente la densité la plus faible (6 org./m²) (tableau 9).

La richesse taxonomique, qui présente le nombre de taxons différents par site, est plus élevée en 2018 qu'en 2019, ce qui concorde avec la réduction importante du nombre d'embranchements et de taxons discutés plus tôt. En 2018, le site « exposé » présentait la richesse taxonomique moyenne la plus élevée (2,4), suivi des sites témoins à 1,8. En 2019, la richesse taxonomique varie entre 0,4 à 1,4, le site témoin TRPL2 présente la richesse la plus élevée suivie du site « exposé ».

Tableau 8. Statistiques descriptives des communautés d'invertébrés benthiques pour la zone de marnage supérieure en 2018

Site	Station	Fraction analysée	Densité totale (nb/m ²)	Richesse taxonomique	Indice de diversité de Shannon-Wiener	Indice d'équitableté de Shannon-Wiener	Indice de similarité (coefficient de Bray-Curtis)	Indice EPT/C	Contribution des dominants (%)
Site « exposé » ERPL	MS1	0,17	225	5	2,07	0,89	1		
	MS2	0,17	174	2	0,81	0,81	1		
	MS3	0,5	58	1	n. d.	n. d.	1		
	MS4	0,17	181	2	0,24	0,24	1		
	MS5	0,17	87	2	1,00	1,00	1		
Moyenne			145	2,4	1,03	0,74	1	0,21	59
Site témoin TRPL1	MS1	1	22	3	1,58	1,00	1		
	MS2	1	0	0	n. d.	n. d.	n. d.		
	MS3	1	65	2	0,50	0,50	1		
	MS4	1	7	1	n. d.	n. d.	1		
	MS5	0,25	116	3	1,50	0,95	1		
Moyenne			42	1,8	1,20	0,82	1	0,24	53
Site témoin TRPL2	MS1	1	43	3	1,25	0,79	1		
	MS2	1	7	1	n. d.	n. d.	1		
	MS3	1	0	0	n. d.	n. d.	n. d.		
	MS4	1	7	1	n. d.	n. d.	1		
	MS5	1	36	4	1,92	0,96	1		
Moyenne			19	1,8	1,59	0,88	1	2,00	38
Site témoin TRPL3	MS1	0,25	29	1	n. d.	n. d.	1		
	MS2	0,17	94	3	1,31	0,83	1		
	MS3	0,25	65	3	1,39	0,88	1		
	MS4	0,25	43	2	0,92	0,92	1		
	MS5	0,17	0	0	n. d.	n. d.	n. d.		
Moyenne			46	1,8	1,21	0,88	1	1,50	56
n. d. : Données insuffisantes pour calculer l'indice.									

Tableau 9. Statistiques descriptives des communautés d'invertébrés benthiques pour la zone de marnage supérieure en 2019

Site	Station	Fraction analysée	Densité totale (nb/m ²)	Richesse taxonomique	Indice de diversité de Shannon-Wiener	Indice d'équitabilité de Shannon-Wiener	Indice de similarité (coefficient de Bray-Curtis)	Indice EPT/C	Contribution des dominants (%)
Site « exposé » ERPL	MS1	0,38	135	2	0,86	0,86	0,90		
	MS2	0,25	58	1	n. d.	n. d.	0,78		
	MS3	0,13	58	1	n. d.	n. d.	0,78		
	MS4	0,25	145	1	n. d.	n. d.	0,90		
	MS5	0,13	290	1	n. d.	n. d.	0,95		
	Moyenne		137	1,2	n. d.		0,86	n. d.	86
Site témoin TRPL1	MS1	1,00	0	0	n. d.	n. d.	1,00		
	MS2	1,00	14	1	n. d.	n. d.	0,67		
	MS3	1,00	14	1	n. d.	n. d.	0,33		
	MS4	1,00	0	0	n. d.	n. d.	1,00		
	MS5	1,00	0	0	n. d.	n. d.	1,00		
	Moyenne		6	0,4	n. d.		0,80	n. d.	60
Site témoin TRPL2	MS1	1,00	22	2	0,92	0,92	0,50		
	MS2	1,00	7	1	n. d.	n. d.	0,00		
	MS3	1,00	7	1	n. d.	n. d.	0,00		
	MS4	1,00	7	1	n. d.	n. d.	0,00		
	MS5	1,00	174	2	0,25	0,25	0,92		
	Moyenne		43	1,4	0,58	0,58	0,28	n. d.	93
Site témoin TRPL3	MS1	0,25	58	1	n. d.	n. d.	0,78		
	MS2	0,25	145	2	0,72	n. d.	0,90		
	MS3	0,25	29	1	n. d.	n. d.	1,00		
	MS4	0,25	0	0	n. d.	n. d.	1,00		
	MS5	0,25	0	0	n. d.	n. d.	1,00		
	Moyenne		46	0,8	n. d.	n. d.	0,94	n. d.	38
<i>n. d. : Données insuffisantes pour calculer l'indice.</i>									

Pour la zone de marnage supérieure, l'indice de diversité de Shannon-Wiener et l'indice d'équitabilité de Shannon-Wiener n'ont pu être calculés en raison de données insuffisantes. L'indice de similarité (coefficient de Bray-Curtis) fournit une information quantitative sur les types d'organismes présents (nombre de taxons et d'organismes de chaque taxon présents). En 2018, les valeurs de 1 obtenues pour la zone de marnage supérieure indiquent que les sites témoins et « exposé » sont différents en ce qui concerne la similarité des organismes à l'intérieur du même site. En 2019, les valeurs inférieures indiquent une plus grande similarité dans les organismes, notamment au site témoin TRPL2 avec une valeur de 0,28. Ce résultat concorde avec la réduction importante du nombre d'embranchements et de taxons discutés plus tôt pour le site de marnage supérieur entre les deux années.

L'indice EPT/C correspond au nombre d'éphéméroptères, de plécoptères et de trichoptères, des taxons plus sensibles de façon générale sur le nombre de chironomides, des organismes plus tolérants. Pour 2018, les valeurs obtenues sont variables (entre 0,21 et 1,5) et ne semblent pas indiquer de tendance. Les sites témoins TRPL2 et TRPL3 sont semblables avec 33 et 40 % de chironomides. Aux sites TRPL1 et « exposé » les chironomides sont encore plus présents avec 81 et 82 % pour ces sites. L'indice EPT/C n'a pu être calculé en 2019 puisque seuls des chironomides ont été retrouvées pour tous les sites.

L'indice de perte de communauté présente la perte de taxons entre l'année du suivi (2019) et l'année de référence (2018) pour le même site. Les valeurs obtenues pour la zone de marnage supérieure sont élevées (entre 1,67 et 2,5), ce qui laisse présager une certaine variabilité naturelle. Le site « exposé » présente également une valeur élevée (2,5). Le nombre de taxons inventoriés en 2019 est plus faible (1 à 2 taxons) pour

l'ensemble des sites comparativement à l'année de suivi de référence avant les travaux (2018) où l'on retrouvait de 1 à 5 taxons. Ce résultat concorde avec la réduction importante du nombre de taxons discutés plus tôt pour le site de marnage supérieur entre les deux années.

Le pourcentage de contribution des dominants (taxon dominant en nombre comparativement au nombre total) indique l'état actuel de l'équilibre entre les différents taxons représentés. De façon générale, les valeurs obtenues pour la zone de marnage supérieure sont moins variables en 2018 (entre 38 et 56 %) qu'en 2019 (38 à 93 %) et ne semblent pas indiquer de tendance. Tous les sites sont dominés par les chironomides, exception faite de la dominance des *sphaeriidae* pour le site témoin TRPL1 en 2019.

3.2.3 ANALYSES STATISTIQUES

Des analyses statistiques ont été effectuées afin de vérifier la présence de différence significative entre les résultats obtenus à l'année 1 du suivi après la réalisation des travaux de recharge (2019) avec l'année de référence (2018) pour la zone de marnage supérieure. Le tableau 10 présente le sommaire des résultats obtenus.

INDICATEURS DE COMMUNAUTÉ

Pour la zone de marnage supérieure, seulement 14 analyses statistiques ont permis d'obtenir des résultats concernant les indicateurs de communautés d'invertébrés benthiques en raison du faible nombre d'organismes et de la présence d'échantillons vides, pour les quatre sites à l'étude, ce qui correspond à seulement 50 % des possibilités (28 résultats possibles).

Les analyses statistiques ayant pu être effectuées avec les résultats associés aux indicateurs de communauté pour la zone de marnage supérieure ont révélé quelques différences significatives pour les mêmes sites (témoins et « exposé ») entre l'année de suivi après la réalisation des travaux de recharge (2019) et l'année de référence (2018). Ainsi, les résultats montrent une différence significative entre les communautés d'invertébrés benthiques avant les travaux et l'année suivante pour la richesse taxonomique et l'indice de similarité (coefficient de Bray-Curtis) au site « exposé » ainsi que pour l'indice de similarité (coefficient de Bray-Curtis) pour le site témoin TRPL2. Ces résultats confirment que la diversité des organismes (richesse taxonomique) et la représentativité (similarité) des organismes présents sont différentes en 2019 par rapport à 2018 pour le site « exposé » et pour le site témoin TRPL2.

Au-delà d'une puissance statistique de 90 %, on peut affirmer qu'aucune différence significative n'est présente. Pour les autres résultats ne présentant pas de différence en une puissance <90%, le résultat est à prendre avec réserve.

Les autres analyses statistiques ne montrent pas de différence significative entre les communautés d'invertébrés benthiques avant les travaux et l'année suivante, tant pour le site « exposé » que pour les sites témoins pour la zone de marnage supérieure.

COMPOSITION TAXONOMIQUE

L'analyse statistique effectuée avec les résultats associés à la structure des communautés benthiques provenant de l'indice de similarité (PERMANOVA à partir du coefficient de Bray-Curtis) permet de comparer la variabilité des résultats des communautés en comparaison avec la médiane de référence qui provient des sites témoins. Cette analyse a révélé une différence significative pour la zone de marnage supérieure (tableau 11). Ainsi, la distribution ou la composition taxonomique des communautés benthiques est différente pour le site témoin TRPL2 entre l'année de suivi après la réalisation des travaux de recharge (2019) et l'année de référence (2018) avec une valeur de p de 0,067. Cette différence démontre la présence d'une certaine variabilité naturelle interannuelle dans la zone de marnage supérieure concernant la distribution ou la composition taxonomique des communautés et concorde avec la différence identifiée au niveau de l'indice de similarité de Bray-Curtis obtenue pour ce site.

Tableau 10. Résultats des analyses statistiques des indicateurs de communautés d'invertébrés benthiques pour la zone de marnage supérieure en 2018 et 2019

Paramètre statistique	Densité totale (nb*m ²)	Richesse taxonomique	Indice de diversité de Shannon-Wiener	Indice d'équitableté de Shannon-Wiener	Indice de similarité (coefficients de Bray-Curtis)
Site « exposé » - ERPL-MS					
Moyenne	145	2	1,03	0,74	1,00
Écart type	70	2	0,76	0,34	0
Étendue (min - max)	58 - 225	1 - 5	0,24 - 2,07	0,24 - 1,00	1,00 - 1,00
Médiane	174	2	0,91	0,85	1,00
Site « exposé » - ERPL-MS					
Moyenne	137	1	0,86	0,86	0,86
Écart type	95	0	n. d.	n. d.	0,08 (0,04)
Étendue (min - max)	58 - 290	1 - 2	0,86 - 0,86	0,86 - 0,86	0,78 - 0,95
Médiane	135	1	0,86	0,86	0,90
Site « exposé » - ERPL-MS					
<i>Résultats des comparaisons statistiques (2018 vs 2019)</i>					
Test de Kolmogorov-Smirnov (valeur de p) ¹	0,8186	0,3291	1	1	0,01348
Test de Shapiro-Wilk (valeur de p) ¹	0,316	0,006282	n. d.	n. d.	0,003948
Test de Levene (valeur de p) ¹	0,754	0,4733	n. d.	n. d.	0,05624
Retrait de données aberrantes	Non	Non	n. d.	n. d.	Non
Test utilisé	Test de Student	Test Mann-Withney (log10)	n. d.	n. d.	Test de Mann-Withney (log10)
Valeur de p ¹	0,8872	0,08326	n. d.	n. d.	0,00729
Différence significative	Non	Oui	n. d.	n. d.	Oui
Puissance statistique ^{3 et 4}	100,00%	N/A	n. d.	n. d.	N/A
Site témoin - TRPLI-MS					
2018					
Moyenne	42	2	1,20	0,82	1,00
Écart type	48	1	0,6	0,27	0
Étendue (min - max)	0 - 116	0 - 3	0,50 - 1,58	0,50 - 1,00	1,00 - 1,00
Médiane	22	2	1,50	0,95	1,00
Site témoin - TRPLI-MS					
2019					
Moyenne	6	0	n. d.	n. d.	0,80
Écart type	8	1	n. d.	n. d.	0,3
Étendue (min - max)	0 - 14	0 - 1	n. d.	n. d.	0,33 - 1,00
Médiane	0	0	n. d.	n. d.	1,00

Tableau 10. Résultats des analyses statistiques des indicateurs de communautés d'invertébrés benthiques pour la zone de marnage supérieure en 2018 et 2019 (suite)

Paramètre statistique	Densité totale (nb*m ²)	Richesse taxonomique	Indice de diversité de Shannon-Wiener	Indice d'équitableté de Shannon-Wiener	Indice de similarité (coefficients de Bray-Curtis)
Site témoin - TRPL1-MS		Résultats des comparaisons statistiques (2018 vs 2019)			
Test de Kolmogorov-Smirnov (valeur de p) ¹	0,4413	0,4413	n. d.	n. d.	1
Test de Shapiro-Wilk (valeur de p) ¹	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Test de Levene (valeur de p) ¹	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Retrait de données aberrantes	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Test utilisé	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Valeur de p ¹	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Différence significative	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Puissance statistique ^{3 et 4}	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Site témoin - TRPL2-MS		2018			
Moyenne	19	2	1,59	0,88	1,00
Écart type	20	2	0,47	0,12	0
Étendue (min - max)	0 - 43	0 - 4	1,25 - 1,92	0,79 - 0,96	1,00 - 1,00
Médiane	7	1	1,59	0,88	1,00
Site témoin - TRPL2-MS		2019			
Moyenne	43	1	0,58	0,58	0,28
Écart type	73	1	0,47	0,47	0,42
Étendue (min - max)	7 - 174	1 - 2	0,25 - 0,92	0,25 - 0,92	0,00 - 0,92
Médiane	7	1	0,58	0,58	0,00
Site témoin - TRPL2-MS		Résultats des comparaisons statistiques (2018 vs 2019)			
Test de Kolmogorov-Smirnov (valeur de p) ¹	1	0,8186	0,8186	0,9883	0,08152
Test de Shapiro-Wilk (valeur de p) ¹	3,697	0,108	0,0008224	0,001394	0,002127
Test de Levene (valeur de p) ¹	0,5358	0,2415	0,452	0,931	0,7664
Retrait de données aberrantes	Non	Non	Non	Non	Non
Test utilisé	Test de Mann-Withney	Test de Student	Test de Mann-Withney	Test de Mann-Withney	Test de Mann-Withney
Valeur de p ¹	0,8237	0,6195	0,7241	0,8933	0,05821
Différence significative	Non	Non	Non	Non	Oui
Puissance statistique ^{3 et 4}	N/A	81,00%	N/A	N/A	N/A
Site témoin - TRPL3-MS		2018			
Moyenne	46	2	1,21	0,88	1,00
Écart type	36	1	0,25	0,04	0
Étendue (min - max)	0 - 94	0 - 3	0,92 - 1,39	0,83 - 0,92	1,00 - 1,00
Médiane	43	2	1,31	0,88	1,00

Tableau 10. Résultats des analyses statistiques des indicateurs de communautés d'invertébrés benthiques pour la zone de marnage supérieure en 2018 et 2019 (suite)

Paramètre statistique	Densité totale (nb*m ²)	Richesse taxonomique	Indice de diversité de Shannon-Wiener	Indice d'équitabilité de Shannon-Wiener	Indice de similarité (coefficients de Bray-Curtis)
Site témoin - TRPL3-MS					
Moyenne	46	1	0,72	0,72	0,94
Écart type	60	1	N/A	N/A	0,1
Étendue (min - max)	0 - 145	0 - 2	0,72 - 0,72	0,72 - 0,72	0,78 - 1,00
Médiane	29	1	0,72	0,72	1,00
Site témoin - TRPL3-MS					
<i>Résultats des comparaisons statistiques (2018 vs 2019)</i>					
Test de Kolmogorov-Smirnov (valeur de p) ¹	1	0,8186	0,5	0,9272	1
Test de Shapiro-Wilk (valeur de p) ¹	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Test de Levene (valeur de p) ¹	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Retrait de données aberrantes	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Test utilisé	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Valeur de p ¹	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Différence significative	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Puissance statistique ^{3 et 4}	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.

¹ Seuil de significativité établi à 0,1.

² Pour les indicateurs de la communauté benthique, le seuil critique est établi à +/- 2 écarts types comparés à la zone de référence.

³ Puissance statistique calculée selon les recommandations du Guide technique d'Environnement Canada (2012). Les valeurs de puissance > 90 % sont indiquées en gras.

⁴ N/A : ne peut être calculé pour les tests non paramétriques ET n'est pas applicable lorsqu'une différence significative est obtenue.

n. d. : ne peut être calculé en raison du nombre insuffisant de données.

Tableau 11. Résultats des analyses statistiques de la composition taxonomique des communautés d'invertébrés benthiques pour la zone de marnage supérieure 2018 et 2019

Paramètre statistique	Composition taxonomique
Site « exposé » - ERPL1-MS	Résultats des comparaisons statistiques (2018 vs 2019)
Betadisper (valeur de p) ¹	0,456
Retrait de données aberrantes	Non
Test utilisé	PERMANOVA
Valeur de p ¹	0,119
Différence significative	Non
Site témoin - TRPL1-MS	Résultats des comparaisons statistiques (2018 vs 2019)
Betadisper (valeur de p) ¹	0,9347
Retrait de données aberrantes	Non
Test utilisé	PERMANOVA
Valeur de p ¹	n. d.
Différence significative	Non
Site témoin - TRPL2-MS	Résultats des comparaisons statistiques (2018 vs 2019)
Betadisper (valeur de p) ¹	0,055 ²
Retrait de données aberrantes	Non
Test utilisé	PERMANOVA
Valeur de p ¹	0,06667
Différence significative	Oui
Site témoin - TRPL3-MS	Résultats des comparaisons statistiques (2018 v vs 2019)
Betadisper (valeur de p) ¹	0,819
Retrait de données aberrantes	Non
Test utilisé	PERMANOVA
Valeur de p ¹	0,167
Différence significative	Non

1 Seuil de significativité a établi à 0,1.
 2 La dispersion n'est pas homogène entre les résultats des deux années, mais le nombre de données est suffisant.
 n. d. : Ne peut être calculé en raison du nombre insuffisant de données.

CONTRIBUTION DES TAXONS

Pour la zone de marnage supérieur, l'analyse statistique de la contribution relative des taxons à la similarité/dissimilité entre l'année de suivi après la réalisation des travaux de recharge (2019) et l'année de référence (2018) avec le test de SIMPER démontre que seuls les chironomides contribuent d'une façon significative et constante entre les échantillons d'un même groupe à la similarité/dissimilité entre les années au site TRPL2. Pour les autres sites, aucune espèce ne se démarque (ratio >1,5) (tableau 12).

Les résultats démontrent qu'il existe une variabilité naturelle intragroupe dans la contribution des taxons des communautés d'invertébrés benthiques tant pour le site « exposé » que pour les sites témoins pour la zone de marnage supérieure.

Tableau 12. Résultats des analyses statistiques de la contribution des taxons des communautés d'invertébrés benthiques pour la zone de marnage supérieure 2018 et 2019

	Contribution moyenne (%)	Déviation standard	Ratio	Abondance moy. 2018 (%)	Abondance moy. 2019 (%)	Contribution individuelle (%)	Contribution cumulative (%)	
Espèce¹								
				Site « exposé » - ERPL-MS				
<i>Chironomidae</i>	20,0	16,2	1,2	61,0	85,7	42,9	42,9	
<i>Sphaeriidae</i>	7,1	14,6	0,5	0,0	14,3	15,3	58,2	
<i>Nematoda(P)</i>	6,7	9,9	0,7	13,3	0,0	14,3	72,5	
<i>Leptoceridae</i>	4,2	5,4	0,8	8,3	0,0	8,9	81,4	
<i>Spongillidae</i>	3,7	4,6	0,8	7,3	0,0	7,9	89,3	
<i>Naididae</i>	3,3	6,8	0,5	6,7	0,0	7,1	96,4	
<i>Lebertiidae</i>	1,7	3,4	0,5	3,3	0,0	3,6	100,0	
Espèce¹								
				Site témoin - TRPL1-MS				
<i>Sphaeriidae</i>	25,0	26,7	0,9	25,0	50,0	37,9	37,9	
<i>Chironomidae</i>	25,0	17,5	1,4	43,1	50,0	37,9	75,8	
<i>Spongillidae</i>	4,2	7,7	0,5	8,3	0,0	6,3	82,1	
<i>Naididae</i>	4,2	7,7	0,5	8,3	0,0	6,3	88,4	
<i>Nematoda(P)</i>	3,1	5,8	0,5	6,3	0,0	4,7	93,2	
<i>Hydropsychidae</i>	3,1	5,8	0,5	6,3	0,0	4,7	97,9	
<i>Lumbriculidae</i>	1,4	2,6	0,5	2,8	0,0	2,1	100,0	
Espèce¹								
				Site témoin - TRPL2-MS				
<i>Chironomidae</i>	43,7	8,0	5,5	5,0	92,5	48,6	48,6	
<i>Sphaeriidae</i>	24,2	17,8	1,4	51,7	6,7	26,9	75,5	
<i>Nematoda(P)</i>	14,6	21,3	0,7	29,2	0,0	16,2	91,7	
<i>Spongillidae</i>	2,5	4,4	0,6	5,0	0,0	2,8	94,4	
<i>Leptoceridae</i>	2,5	4,4	0,6	5,0	0,0	2,8	97,2	
<i>Baetiscidae</i>	2,1	3,7	0,6	4,2	0,0	2,3	99,5	
<i>Lumbriculidae</i>	0,4	0,9	0,5	0,0	0,8	0,5	100,0	
Espèce¹								
				Site témoin - TRPL3-MS				
<i>Ceratopogonidae</i>	30,0	22,6	1,3	0,0	60,0	38,3	38,3	
<i>Chironomidae</i>	23,3	17,9	1,3	50,0	40,0	29,8	68,1	
<i>Paludicellidae</i>	8,3	8,7	1,0	16,7	0,0	10,6	78,7	
<i>Philopotamidae</i>	8,3	8,7	1,0	16,7	0,0	10,6	89,4	
<i>Caenidae</i>	4,2	7,5	0,6	8,3	0,0	5,3	94,7	
<i>Hydropsytilidae</i>	4,2	7,5	0,6	8,3	0,0	5,3	100,0	

¹ Les espèces sont présentées au niveau de la famille. Dans le cas contraire, le niveau taxonomique est indiqué entre parenthèses.

(P) = Phylum

En rouge : Ratio > 1,5

CADRAGE NON MÉTRIQUE MULTIDIMENSIONNEL

La représentation obtenue par le cadrage non métrique multidimensionnel permet de rassembler l'information provenant de multiples dimensions (ex. l'abondance de chacun des taxons) et de la ramener à deux dimensions afin que les données puissent être visualisées et interprétées.

Les résultats du cadrage non métrique multidimensionnel (figure 4) effectué sur les échantillons de la zone de marnage supérieure montrent un certain regroupement des échantillons selon les années. Le résultat est plus visible pour le site TRPL2 où une différence significative dans la composition des invertébrés benthiques a été observée à la baisse (tableau 8). Bien qu'une distinction puisse être faite entre les échantillons de 2018 et 2019 sur le cadrage, la disposition plus éparses des échantillons des autres zones supporte les résultats précédents, indiquant que les communautés d'invertébrés sont plus semblables entre les années pour le site « exposé » ainsi que les sites témoin TRPL1 et TRPL3.

3.3 ZONE DE MARNAGE INFÉRIEURE

Pour chacun des sites, cinq stations d'échantillonnage ont été réalisées. Au moment de l'échantillonnage, les profondeurs à ces stations variaient entre 1,25 et 1,8 m (cote d'élévation variant entre 99,05 et 99,6 m). À chaque site, la distance entre chacune des stations varie entre 19 et 47 m (moyenne de 33 m). Ces stations se situent à une distance du rivage variant entre 40 et 75 m.

3.3.1 STRUCTURE DES COMMUNAUTÉS

En 2018, sur les 20 stations échantillonnées dans la zone de marnage inférieure, trois stations n'ont présenté aucun organisme (TRPL1-MI2, TRPL1-MI3 et TRPL1-MI4), ce qui représente 15 % des échantillons. En 2019, deux stations n'ont présenté aucun organisme (TRPL1-MI4 et TRPL1-MI5), ce qui représente 10 % des échantillons.

En 2018, on retrouve la présence de cinq embranchements d'organismes (figure 5) et de dix taxons différents (tableau 13). Les sites sont généralement dominés par les insectes, à l'exception du site témoin TRPL1 qui est dominé par les mollusques, suivi des insectes. Le site TRPL2 se démarque par la présence de mollusque et d'insectes représentés de façon presque similaire. Le site témoin TRPL3 ne présente aucun mollusque et la plus forte présence d'insectes. En 2019, quatre embranchements et sept taxons différents ont été inventoriés et le taxon des insectes est toujours nettement dominante, mais maintenant pour l'ensemble des sites. Le site témoin TRPL1 ne présente maintenant que des insectes (tableau 14).

Au niveau du taxon des insectes (figure 6), les diptères, presque exclusivement des chironomides, dominent tous les sites en 2018 et 2019. Seuls quelques trichoptères sont présents au site « exposé » en 2019. En somme, on observe peu de diversité dans le principal taxon dominant (les insectes) pour la zone de marnage inférieure.

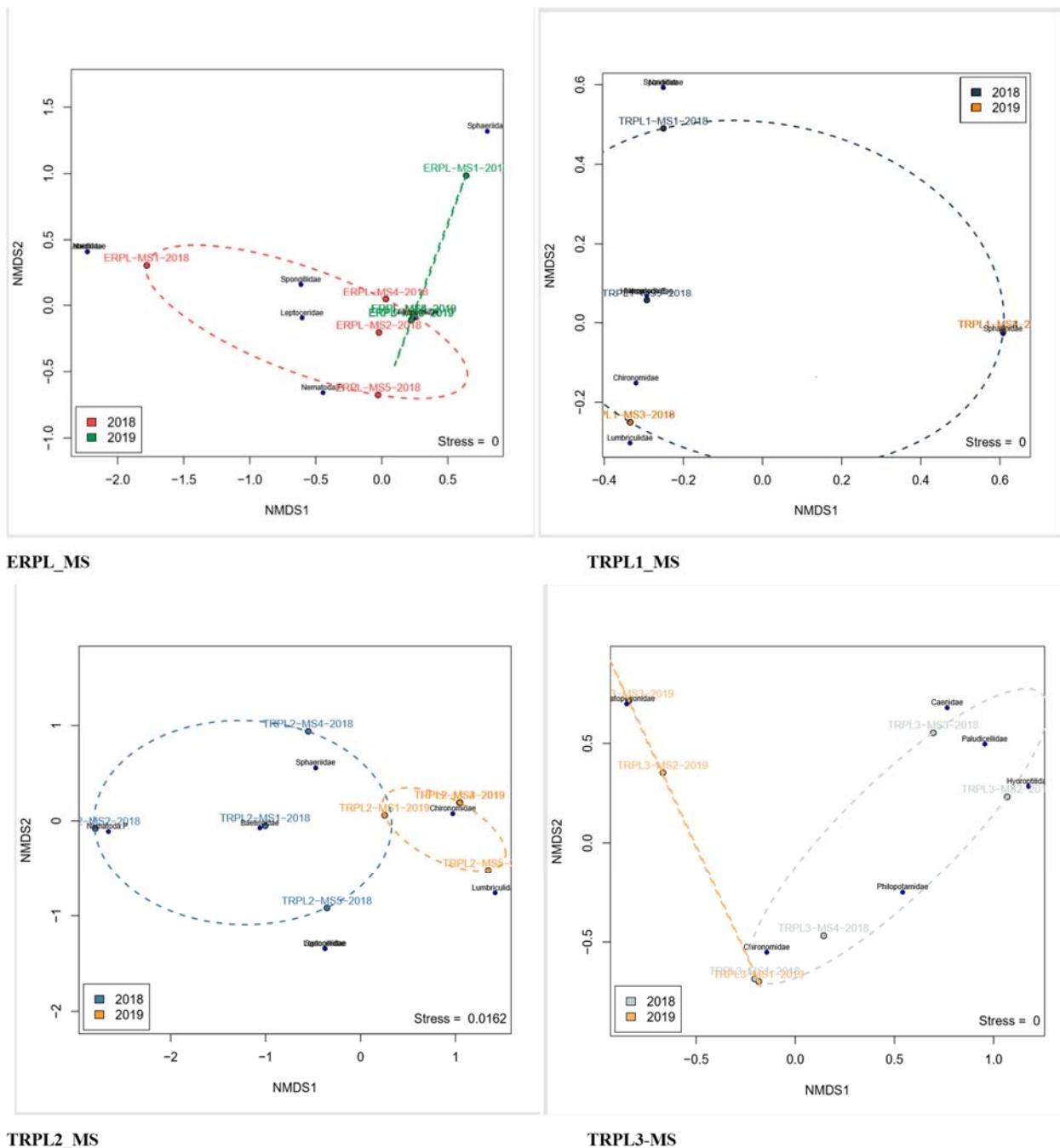


Figure 4. Cadrage non métrique multidimensionnel des densités d'invertébrés benthiques dénombrés dans la zone de marnage supérieure en 2018 et 2019

Tableau 13. Densité d'organismes et abondance relative par station pour chacun des sites échantillonnés dans la zone de marnage inférieure en 2018

Organisme	Site témoin TRPL1							Site témoin TRPL2							Site témoin TRPL3							Site « exposé » ERPL							
	MI1	MI2	MI3	MI4	MI5	Dens. moy. (nb/m²)	Abond. rel. (%)	MI1	MI2	MI3	MI4	MI5	Dens. moy. (nb/m²)	Abond. rel. (%)	MI1	MI2	MI3	MI4	MI5	Dens. moy. (nb/m²)	Abond. rel. (%)	MI1	MI2	MI3	MI4	MI5	Dens. moy. (nb/m²)	Abond. rel. (%)	
NEMATODA								14			14	7	7	4			43		29		14	5			130		58	38	12
MOLLUSCA																													
<i>Sphaeriidae</i>	7					1	50	7	29	14	29	22	20	12											29	87		23	8
ANNELIDA																													
<i>Naididae</i>																			29		6	2	29					6	2
<i>Tubificidae</i>											7		1	1															
CHELICERATA																													
<i>Hygrobatidae</i>											7		1	1															
<i>Limnesiidae</i>											7		7	3	2														
ARTHROPODA																													
<i>Caenidae</i>																			29		6	2							
<i>Philopotamidae</i>																			43		9	3							
<i>Ceratopogonidae</i>											7		1	1															
<i>Chironomidae</i> (Larves)						7	1	50	22	94	72	413	94	139	80	174	261	174	348	217	235	87	29	261	217	159	522	238	78
Sous-total	7	0	0	0	7			43	130	86	484	123				174	304	174	435	260				58	290	434	159	580	

Tableau 14. Densité d'organismes et abondance relative par station pour chacun des sites échantillonnés dans la zone de marnage inférieure en 2019

Organisme	Site témoin TRPL1							Site témoin TRPL2							Site témoin TRPL3							Site « exposé » ERPL									
	MI1	MI2	MI3	MI4	MI5	Dens. moy. (nb/m²)	Abond. rel. (%)	MI1	MI2	MI3	MI4	MI5	Dens. moy. (nb/m²)	Abond. rel. (%)	MI1	MI2	MI3	MI4	MI5	Dens. moy. (nb/m²)	Abond. rel. (%)	MI1	MI2	MI3	MI4	MI5	Dens. moy. (nb/m²)	Abond. rel. (%)			
NEMATODA																			36	7	2										
MOLLUSCA																															
<i>Unionidae</i>									7	10		3	3																		
<i>Sphaeriidae</i>								14	7	10	14	9	7												87	0	10	23	29	30	14
ANNELIDA									7	7		3	2				362		72	21											
<i>Tubificidae</i>																															
ARTHROPODA																															
<i>Leptoceridae</i>																												14		3	1
<i>Ceratopogonidae</i>									7	22	58	22	22		16	217		36	72	65	19	29	145		23	14	65	19			
<i>Chironomidae</i> (Larves)	14	22	7			9	100	29	210	51	174	14	96	72	130	72	471	326	36	207	59	145	406	48	58	14	207	59			
Sous-total	14	22	7	0	0			36	239	87	251	51				348	72	471	725	145				261	551	58	104	58			

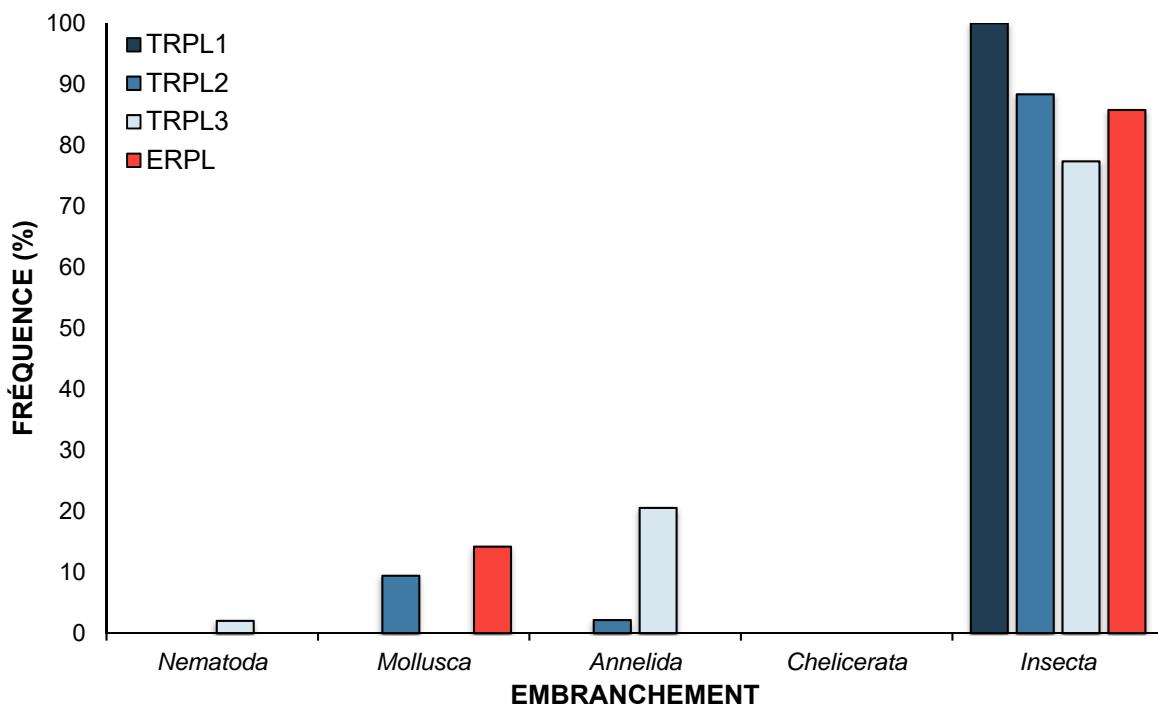
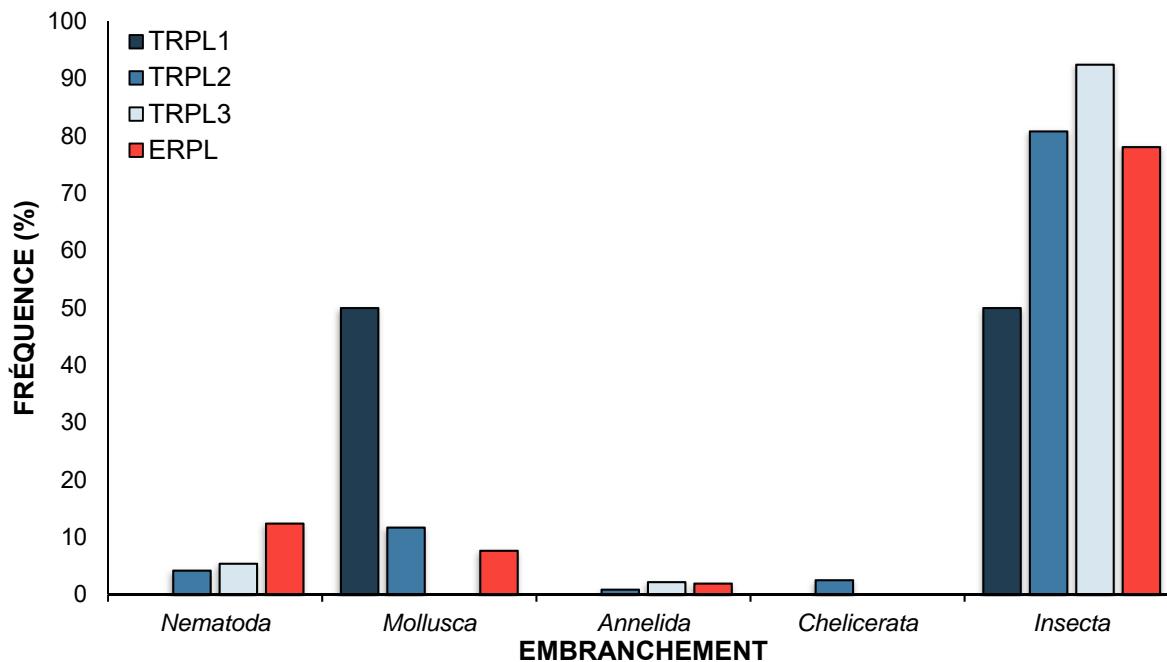


Figure 5. Abondance relative des différents embranchements d'invertébrés benthiques identifiés dans la zone de marnage inférieure en 2018 (haut) et 2019 (bas)

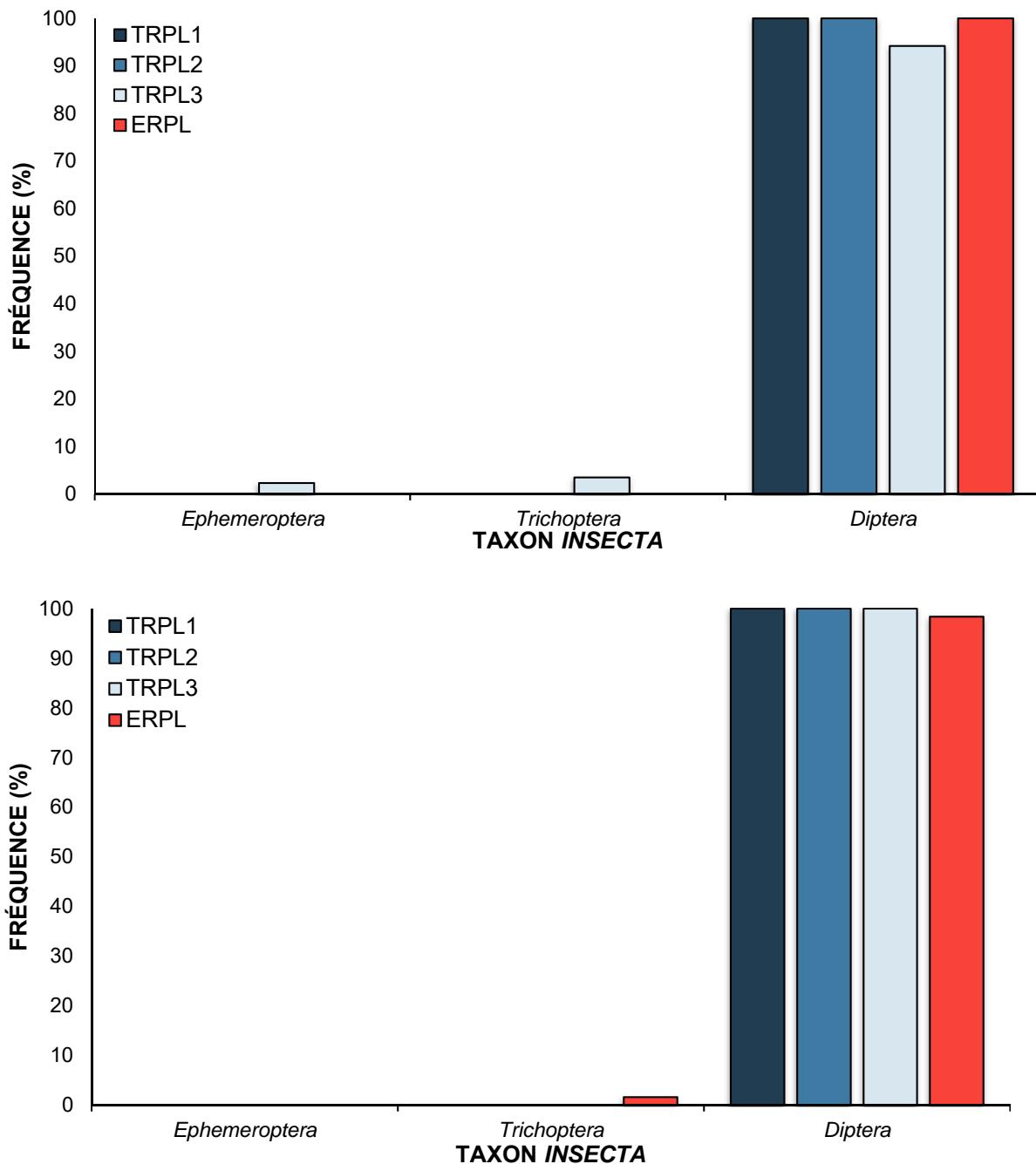


Figure 6. Abondance relative des différents taxons *Insecta* pour les invertébrés benthiques identifiés dans la zone de marnage inférieure en 2018 (haut) et 2019 (bas)

3.3.2 DESCRIPTEURS DES COMMUNAUTÉS

En 2018, les densités moyennes d'organismes les plus élevées ont été obtenues au site « exposé » avec 304 org./m² (suivi tout de même de près par le site TRPL3 avec 270 org./m² [tableau 15]). Plusieurs chironomides ont été récoltés à ces sites. Au site témoin TRPL1, la densité moyenne d'organismes est très faible avec seulement 3 org./m². En 2019, le site TRPL3 domine cette fois avec 352 org./m², suivi du site « exposé » avec 304 org./m². La densité moyenne d'organismes au site TRPL1 est toujours très faible avec seulement 9 org./m² (tableau 16).

La richesse taxonomique moyenne en 2018 (nombre de taxons différents) est variable avec des valeurs entre 0,4 et 3,6 selon les sites. En 2019 on observe une augmentation de la richesse aux sites « exposé » et témoin TRPL1, une légère baisse au site TRPL2 et un statu quo au site TRPL3.

Tableau 15. Statistiques descriptives des communautés d'invertébrés benthiques pour la zone de marnage inférieure en 2018

Site	Station	Fraction analysée	Densité totale (nb/m ²)	Richesse taxonomique	Indice de diversité de Shannon-Wiener	Indice d'équitableté de Shannon-Wiener	Indice de similarité (coefficients de Bray-Curtis)	Contribution des dominants (%)
Site « exposé » ERPL	MI1	0,25	58	2	1,00	1,00	0,62	
	MI2	0,25	290	2	0,47	0,47	0,51	
	MI3	0,17	435	3	1,49	0,94	0,64	
	MI4	0,5	159	1	n. d.	n. d.	0,26	
	MI5	0,25	580	2	0,47	0,47	0,72	
Moyenne			304	2	0,86	0,72	0,55	50
Site témoin TRPL1	MI1	1	7	1	n. d.	n. d.	n. d.	
	MI2	1	0	0	n. d.	n. d.	n. d.	
	MI3	1	0	0	n. d.	n. d.	n. d.	
	MI4	1	0	0	n. d.	n. d.	n. d.	
	MI5	1	7	1	n. d.	n. d.	n. d.	
Moyenne			3	0,4				80
Site témoin TRPL2	MI1	1	43	3	1,46	0,92	0,68	
	MI2	1	130	3	1,05	0,66	0,16	
	MI3	1	87	2	0,65	0,65	n. d.	
	MI4	1	486	7	0,95	0,34	0,68	
	MI5	1	123	3	0,98	0,62	0,13	
Moyenne			174	3,6	1,02	0,64	0,41	87
Site témoin TRPL3	MI1	0,17	174	1	n. d.	n. d.	0,30	
	MI2	0,17	304	2	0,59	0,59	0,53	
	MI3	0,25	174	1	n.d	n.d.	0,30	
	MI4	0,25	435	4	1,04	0,52	0,64	
	MI5	0,17	261	2	0,65	0,65	n. d.	
Moyenne			270	2	0,76	0,59	0,44	78
n. d. : Données insuffisantes pour calculer l'indice.								

Tableau 16. Statistiques descriptives des communautés d'invertébrés benthiques pour la zone de marnage inférieure en 2019

Site	Station	Fraction analysée	Densité totale (nb/m ²)	Richesse taxonomique	Indice de diversité de Shannon-Wiener	Indice d'équitableté de Shannon-Wiener	Indice de similarité (coefficient de Bray-Curtis)	Indice de perte de communauté (2018-2019)	Contribution des dominants (%)
Site « exposé » ERPL	MI1	0,25	261	3	1,35	0,85	0,76		
	MI2	0,50	565	3	0,98	0,62	0,88		
	MI3	0,75	58	2	0,65	0,65	0,23		
	MI4	0,63	104	3	1,44	0,91	0,48		
	MI5	0,50	58	3	1,50	0,95	0,69		
	Moyenne		209	2,8	1,18	0,79	0,61	0,5	64
Site témoin TRPL1	MI1	1	14	1	n. d.	n. d.	0,43		
	MI2	1	22	1	n. d.	n. d.	1,00		
	MI3	1	7	1	n. d.	n. d.	0,67		
	MI4	1	0	0	n. d.	n. d.	1,00		
	MI5	1	0	0	n. d.	n. d.	1,00		
	Moyenne		9	0,6			0,82	1	100
Site témoin TRPL2	MI1	1	36	2	0,72	0,72	0,20		
	MI2	1	239	4	0,71	0,36	0,74		
	MI3	1	87	4	1,55	0,78	0,41		
	MI4	0,75	251	4	1,22	0,61	0,75		
	MI5	1	51	3	1,56	0,98	0,67		
	Moyenne		133	3,4	1,15	0,69	0,55	0,8	72
Site témoin TRPL3	MI1	0,17	348	2	0,95	0,95	0,81		
	MI2	0,20	72	1	n. d.	n. d.	0,33		
	MI3	0,20	471	1	n. d.	n. d.	0,86		
	MI4	0,20	725	3	1,23	0,78	0,90		
	MI5	0,20	145	3	1,50	0,95	0,60		
	Moyenne		352	2,0	1,23	0,89	0,70	0,75	59

n. d. : Données insuffisantes pour calculer l'indice.

L'indice de diversité de Shannon-Wiener rend compte de la composition d'un écosystème, en matière de nombre d'espèces et de leur abondance relative (nombre de taxon et d'organismes de chaque taxon). De façon générale pour la zone de marnage inférieure, les valeurs autour de 1 indiquent une communauté benthique peu diversifiée et dominée par un nombre restreint d'individus. En effet, les chironomides sont nettement dominants pour tous les sites et pour les deux années. Les valeurs obtenues pour les sites témoins sont similaires et elles augmentent légèrement en 2019 pour tous les sites. Le résultat pour le site témoin TRPL1 n'a pu être calculé en raison du nombre restreint de données (de même que les autres indices pour ce site pour la zone de marnage inférieure).

L'indice d'équitableté de Shannon-Wiener (nombre de taxon et importance de chaque taxon) vise à établir le rapport entre la diversité mesurée et la diversité théorique maximale pour une taille d'échantillon et un nombre d'espèces donné. De façon générale pour la zone de marnage inférieure, une valeur autour de 0,7 indique une abondance relativement uniforme entre les taxons représentés. Les valeurs obtenues sont similaires entre les sites et entre les années 2018 et 2019 et semblent avoir augmenté légèrement en 2019 au site témoin TRPL3.

L'indice de similarité (coefficient de Bray-Curtis) fournit une information quantitative sur les types d'organismes présents. De façon générale pour la zone de marnage inférieure, une valeur autour de 0,5 indique que les sites sont moyennement similaires concernant le type d'organismes présents. Les valeurs obtenues sont

similaires entre les sites et elles augmentent légèrement en 2019 pour tous les sites, de façon encore plus marquée au site témoin TRPL3.

L'indice EPT/C n'a pu être calculé en raison du nombre restreint de données.

L'indice de perte de communauté présente la perte de taxons entre l'année du suivi (2019) et l'année de référence (2018) pour le même site. Les valeurs obtenues pour la zone de marnage inférieure sont légèrement variables entre les sites témoins (entre 0,75 et 1, ce qui représente un taxon en moins ou en plus), ce qui laisse présager une certaine homogénéité. Le site « exposé » présente une valeur plus basse (0,5) et le nombre de taxons impliqué est vraiment faible (quatre pour les deux années, dont deux en commun).

Le pourcentage de contribution des dominants (taxon dominant en nombre comparativement au nombre total) indique l'état actuel de l'équilibre entre les différents taxons représentés. De façon générale pour la zone de marnage inférieure, les valeurs sont relativement élevées et uniformes (59 à 100 %) pour les sites témoins et plus faibles pour le site « exposé » (50 à 64 %). Il n'y a pas de tendance entre les années puisque deux sites présentent une hausse (site « exposé » et site témoin TRPL3) et les autres une baisse. Tous les sites sont dominés par les chironomides.

3.3.3 ANALYSES STATISTIQUES

Des analyses statistiques ont été effectuées afin de vérifier la présence de différence significative entre les résultats obtenus à l'année 1 du suivi après la réalisation des travaux de recharge (2019) avec l'année de référence (2018) pour la zone de marnage inférieure. Le tableau 17 présente le sommaire des résultats obtenus.

INDICATEURS DE COMMUNAUTÉ

Pour la zone de marnage inférieure, 18 analyses statistiques ont permis d'obtenir des résultats concernant les indicateurs de communautés d'invertébrés benthiques pour les quatre sites à l'étude ce qui correspond à 90 % des possibilités.

De façon générale, l'analyse statistique effectuée avec les résultats associés aux indicateurs de communauté pour la zone de marnage inférieure n'a révélé aucune différence significative pour les mêmes sites (témoins et « exposé ») entre l'année de suivi après la réalisation des travaux de recharge (2019) et l'année de référence (2018). Au-delà d'une puissance statistique de 90 %, on peut affirmer qu'aucune différence significative n'est présente. Par contre, lorsque la puissance statistique évaluée est insuffisante (< 90 %), il est possible qu'une différence soit présente, mais que les conditions d'analyse ne permettent pas de la détecter. Cette condition se retrouve dans la plupart des cas soit pour huit résultats sur les neuf analyses effectuées où le calcul a pu être effectué, soit dans 88 % des situations. Pour ces résultats ne présentant pas de différence, le résultat est donc à prendre avec réserve.

Par contre, trois différences significatives ont été obtenues. La première différence calculée présente une augmentation de la richesse taxonomique au site « exposé ». La seconde différence calculée concerne l'indice de diversité de Shannon-Wiener pour le site témoin TRPL3 qui présente également une hausse. Pour l'indice d'équitabilité de Shannon-Wiener au site TRPL3, les conditions d'application de normalité et d'homoscédasticité de la variance ne sont pas respectées et le résultat est à prendre avec réserve. Finalement les résultats présentent une différence significative pour l'indice de similarité (coefficient de Bray-Curtis) pour le site témoin TRPL3 qui présente aussi une hausse.

Les autres analyses statistiques démontrent qu'il n'existe pas de différence significative entre les communautés d'invertébrés benthiques avant les travaux et l'année suivante, tant pour le site « exposé » que pour les sites témoins pour la zone de marnage inférieure.

COMPOSITION TAXONOMIQUE

L'analyse statistique effectuée avec les résultats associés à la structure des communautés benthiques provenant de l'indice de similarité (PERMANOVA à partir du coefficient de Bray-Curtis) permet de comparer la variabilité des résultats des communautés en comparaison avec la médiane de référence qui provient des sites témoins. Cette analyse a révélé une différence significative pour la zone de marnage inférieure. Ainsi, la distribution ou la composition taxonomique des communautés benthiques est différente pour le site « exposé » entre l'année de suivi après la réalisation des travaux de rechargement (2019) et l'année de référence (2018) avec une valeur de p de 0,041 (tableau 18). Cette différence démontre la présence d'une variabilité interannuelle dans la zone de marnage inférieure concernant la distribution ou la composition taxonomique des communautés au site « exposé » aux travaux et concorde avec la différence identifiée au niveau d'une augmentation de la richesse taxonomique obtenue pour ce site.

Par contre, cette différence n'a pas été constatée au site témoin TRPL3 même si une différence significative avait été obtenue pour l'indice de diversité de Shannon-Wiener et l'indice de similarité (coefficient de Bray-Curtis) suggérant une augmentation de la diversité de la communauté benthique, ce qui indique que la différence était moins marquée.

CONTRIBUTION DES TAXONS

Pour la zone de marnage inférieure, l'analyse statistique de la contribution relative des taxons à la similarité/dissimilarité entre l'année de suivi après la réalisation des travaux de rechargement (2019) et l'année de référence (2018) avec le test de SIMPER démontre que pour le site « exposé » deux taxons sont particulièrement responsables du patron de similarité/dissimilarité (ratio > 1,5) pour ce site; les *Chironomidae* étant le plus important avec 33,2 % de contribution, suivi à 19,8 % de contribution pour les *Ceratopogonidae* (tableau 19). Pour le site témoin TRPL2, le taxon étant identifié comme un bon discriminateur appartient aux *Sphaeriidae* avec une contribution de 17,3 % à la communauté. Pour le site TRPL3, les *Chironomidae* contribuent à 43,7 % à la similarité entre les deux années.

Les résultats démontrent qu'il existe une variabilité naturelle intragroupe dans la contribution des taxons des communautés d'invertébrés benthiques, tant pour le site « exposé » que les sites témoins pour la zone de marnage inférieure.

Tableau 17. Résultats des analyses statistiques des indicateurs de communautés d'invertébrés benthiques pour la zone de marnage inférieure en 2018 et 2019

Paramètre statistique	Densité totale (nb*m ²)	Richesse taxonomique	Indice de diversité de Shannon-Wiener	Indice d'équitabilité de Shannon-Wiener	Indice de similarité (coefficient de Bray-Curtis)
Site « exposé » - ERPL-MI					
Moyenne	304	2	0,86	0,72	0,55
Écart type	209	1	0,49	0,29	0,18
Étendue (min - max)	58 - 580	1 - 3	0,47 - 1,49	0,47 - 1,00	0,26 - 0,72
Médiane	290	2	0,73	0,70	0,62
Site « exposé » - ERPL-MI					
Moyenne	209	3	1,18	0,79	0,61
Écart type	216	0	0,36	0,15	0,26
Étendue (min - max)	58 - 565	2 - 3	0,65 - 1,50	0,62 - 0,95	0,23 - 0,88
Médiane	104	3	1,35	0,85	0,69
Site « exposé » - ERPL-MI					
<i>Résultats des comparaisons statistiques (2018 vs 2019)</i>					
Test de Kolmogorov-Smirnov (valeur de <i>p</i>) ¹	0,8186	0,3291	0,635	0,635	0,873
Test de Shapiro-Wilk (valeur de <i>p</i>) ¹	0,1234	0,003296	0,1121	0,1029	0,4862
Test de Levene (valeur de <i>p</i>) ¹	0,8097	0,4212	0,0368	0,5025	0,5453
Retrait de données aberrantes	Non	Non	Non	Non	Non
Test utilisé	Test de Student (log10)	Test de Mann-Withney (log10)	Test de Mann-Withney	Test de Student	Test de Student
Valeur de <i>p</i> ¹	0,4199	0,08326	0,9021	0,2825	0,6851
Différence significative	Non	Oui	Non	Non	Non
Puissance statistique ^{3 et 4}	16,0%	N/A	N/A	89,14%	50,55%
Site témoin - TRPLI-MI					
2018					
Moyenne	3	0	n. d.	n. d.	0,96
Écart type	4	1	n. d.	n. d.	0,07
Étendue (min - max)	0 - 7	0 - 1	n. d.	n. d.	0,86 - 1,00
Médiane	0	0	n. d.	n. d.	1,00
Site témoin - TRPLI-MI					
2019					
Moyenne	9	1	n. d.	n. d.	0,82
Écart type	9	1	n. d.	n. d.	0,26
Étendue (min - max)	0 - 22	0 - 1	n. d.	n. d.	0,43 - 1,00
Médiane	7	1	n. d.	n. d.	1,00

Tableau 17. Résultats des analyses statistiques des indicateurs de communautés d'invertébrés benthiques pour la zone de marnage inférieure en 2018 et 2019 (suite)

Paramètre statistique	Densité totale (nb*m ²)	Richesse taxonomique	Indice de diversité de Shannon-Wiener	Indice d'équitabilité de Shannon-Wiener	Indice de similarité (coefficient de Bray-Curtis)
Site témoin - TRPL1-MI		Résultats des comparaisons statistiques (2018 vs 2019)			
Test de Kolmogorov-Smirnov (valeur de <i>p</i>) ¹	0,8186	1	n. d.	n. d.	1
Test de Shapiro-Wilk (valeur de <i>p</i>) ¹	0,01139	0,000254	n. d.	n. d.	0,0008016
Test de Levene (valeur de <i>p</i>) ¹	0,172	1	n. d.	n. d.	0,8386
Retrait de données aberrantes	Non	Non	n. d.	n. d.	Non
Test utilisé	Test de Mann-Withney	Test de Mann-Withney	n. d.	n. d.	Test de Mann-Withney (log10)
Valeur de <i>p</i> ¹	0,3661	0,6312	n. d.	n. d.	1
Différence significative	Non	Non	n. d.	n. d.	Non
Puissance statistique ^{3 et 4}	N/A	N/A	n. d.	n. d.	N/A
Site témoin - TRPL2-MI		2018			
Moyenne	174	4	1,02	0,64	0,41
Écart type	178	2	0,29	0,21	0,31
Étendue (min - max)	43 - 486	2 - 7	0,65 - 1,46	0,34 - 0,92	0,13 - 0,68
Médiane	123	3	0,98	0,65	0,42
Site témoin - TRPL2-MI		2019			
Moyenne	133	3	1,15	0,69	0,55
Écart type	104	1	0,42	0,23	0,24
Étendue (min - max)	36 - 251	2 - 4	0,71 - 1,56	0,36 - 0,98	0,20 - 0,75
Médiane	87	4	1,22	0,72	0,67
Site témoin - TRPL2-MI		Résultats des comparaisons statistiques (2018 vs 2019)			
Test de Kolmogorov-Smirnov (valeur de <i>p</i>) ¹	1	0,8186	0,873	0,873	0,3571
Test de Shapiro-Wilk (valeur de <i>p</i>) ¹	0,7481	0,2046	0,7842	0,9658	0,05086
Test de Levene (valeur de <i>p</i>) ¹	0,7016	0,8083	0,8611	0,5883	0,6335
Retrait de données aberrantes	Non	Non	Non	Non	Non
Test utilisé	Test de Student (log10)	Test de Student (log10)	Test de Student	Test de Student	Test de Mann-Withney (log10)
Valeur de <i>p</i> ¹	0,6979	0,9899	0,4157	0,3578	0,2222
Différence significative	Non	Non	Non	Non	Non
Puissance statistique ^{3 et 4}	16,4%	19,82%	25,16%	45,73%	N/A
Site témoin - TRPL3-MI		2018			
Moyenne	270	2	0,76	0,59	0,44
Écart type	108	1	0,24	0,07	0,17
Étendue (min - max)	174 - 435	1 - 4	0,59 - 1,04	0,52 - 0,65	0,30 - 0,64
Médiane	261	2	0,65	0,59	0,41

Tableau 17. Résultats des analyses statistiques des indicateurs de communautés d'invertébrés benthiques pour la zone de marnage inférieure en 2018 et 2019 (suite)

Paramètre statistique	Densité totale (nb*m ²)	Richesse taxonomique	Indice de diversité de Shannon-Wiener	Indice d'équitabilité de Shannon-Wiener	Indice de similarité (coefficient de Bray-Curtis)
Site témoin - TRPL3-MI	2019				
Moyenne	352	2	1,23	0,89	0,70
Écart type	262	1	0,27	0,1	0,24
Étendue (min - max)	72 - 725	1 - 3	0,95 - 1,50	0,78 - 0,95	0,33 - 0,90
Médiane	348	2	1,23	0,95	0,81
Site témoin - TRPL3-MI	Résultats des comparaisons statistiques (2018 vs 2019)				
Test de Kolmogorov-Smirnov (valeur de <i>p</i>) ¹	0,8186	1	0,2	0,635 ⁵	0,3291
Test de Shapiro-Wilk (valeur de <i>p</i>) ¹	0,9561	0,05684	0,7202	0,002782 ⁵	0,6163
Test de Levene (valeur de <i>p</i>) ¹	0,1952	1	0,2984	0,08773 ⁵	0,9385
Retrait de données aberrantes	Non	Non	Non	Non ⁵	Non
Test utilisé	Test de Student (log10)	Test de Mann-Withney (log10)	Test de Student (log10)	Test de Mann-Withney (log10) ⁵	Test de Student
Valeur de <i>p</i> ¹	0,9385	1	0,03444	0,7012 ⁵	0,05275
Différence significative	Non	Non	Oui	Non ⁵	Oui
Puissance statistique ^{3 et 4}	17,4%	N/A	N/A	N/A	28,44%

¹ Seuil de significativité établi à 0,1.
² Pour les indicateurs de la communauté benthique, le seuil critique est établi à +/- 2 écarts types comparés à la zone de référence.
³ Puissance statistique calculée selon les recommandations du Guide technique d'Environnement Canada (2012). Les valeurs de puissance > 90 % sont indiquées en gras.
⁴ N/A : ne peut être calculé pour les tests non paramétriques et n'est pas applicable lorsqu'une différence significative est obtenue.
^{n. d.} : ne peut être calculé en raison du nombre insuffisant de données.
⁵ Les conditions d'application de normalité et d'homoscédasticité de la variance ne sont pas respectées.

Tableau 18. Résultats des analyses statistiques de la composition taxonomique des communautés d'invertébrés benthiques pour la zone de marnage inférieure 2018 et 2019

Paramètre statistique	Composition taxonomique
<i>Site « exposé » - ERPL-MI</i>	<i>Résultats des comparaisons statistiques (2018 vs 2019)</i>
Betadisper (valeur de p) ¹	0,841
Retrait de données aberrantes	Non
Test utilisé	PERMANOVA
Valeur de p ¹	0,041
Différence significative	Oui
<i>Site témoin - TRPL1-MI</i>	<i>Résultats des comparaisons statistiques (2018 vs 2019)</i>
Betadisper (valeur de p) ¹	0,008333
Retrait de données aberrantes	Non
Test utilisé	n. d.
Valeur de p ¹	n. d.
Différence significative	n. d.
<i>Site témoin - TRPL2-MI</i>	<i>Résultats des comparaisons statistiques (2018 vs 2019)</i>
Betadisper (valeur de p) ¹	0,281
Retrait de données aberrantes	Non
Test utilisé	PERMANOVA
Valeur de p ¹	0,163
Différence significative	Non
<i>Site témoin - TRPL3-MI</i>	<i>Résultats des comparaisons statistiques (2018 v vs 2019)</i>
Betadisper (valeur de p) ¹	0,001 ²
Retrait de données aberrantes	Non
Test utilisé	PERMANOVA
Valeur de p ¹	0,171 ²
Différence significative	Non

1

Seuil de significativité a établi à 0,1.

2

La dispersion n'est pas homogène entre les résultats des deux années, mais le nombre de données est suffisant.

n. d. :

Ne peut être calculé en raison du nombre insuffisant de données.

Tableau 19. Résultats des analyses statistiques de la contribution des taxons des communautés d'invertébrés benthiques pour la zone de marnage inférieure 2018 et 2019

	Contribution moyenne (%)	Déviation standard	Ratio	Abondance moy. 2018 (%)	Abondance moy. 2019 (%)	Contribution individuelle (%)	Contribution cumulative (%)
<i>Espèce¹</i>							
<i>Chironomidae</i>	14,2	9,7	1,5	76,0	58,2	33,4	33,4
<i>Sphaeriidae</i>	10,6	7,9	1,3	6,0	24,4	24,9	58,3
<i>Ceratopogonidae</i>	8,4	5,0	1,7	0,0	16,8	19,8	78,2
<i>Naididae</i>	5,0	10,2	0,5	10,0	0,0	11,8	90,0
<i>Nematoda(P)</i>	4,0	6,0	0,7	8,0	0,0	9,4	99,4
<i>Leptoceridae</i>	0,3	0,5	0,5	0,0	0,5	0,6	100,0
<i>Espèce¹</i>							
<i>Site « exposé » - ERPL-MI</i>							
<i>Sphaeriidae</i>	12,5	13,7	0,9	50,0	0,0	50,0	50,0
<i>Chironomidae</i>	12,5	13,7	0,9	50,0	100,0	50,0	100,0
<i>Espèce¹</i>							
<i>Site témoin - TRPL1-MI</i>							
<i>Chironomidae</i>	10,0	8,4	1,2	73,7	64,8	29,6	29,6
<i>Ceratopogonidae</i>	9,4	8,0	1,2	0,0	18,8	27,7	57,2
<i>Sphaeriidae</i>	5,9	2,9	2,0	15,9	9,4	17,3	74,6
<i>Nematoda(P)</i>	4,2	6,4	0,7	8,4	0,0	12,4	87,0
<i>Tubificidae</i>	2,3	3,9	0,6	0,3	4,6	6,9	93,9
<i>Unionidae</i>	1,2	1,7	0,7	0,0	2,4	3,6	97,5
<i>Limnesiidae</i>	0,7	1,1	0,6	1,4	0,0	2,1	99,6
<i>Hygrobatiidae</i>	0,2	0,3	0,5	0,3	0,0	0,4	100,0
<i>Espèce¹</i>							
<i>Site témoin - TRPL3-MI</i>							
<i>Chironomidae</i>	18,2	12,2	1,5	89,8	61,5	43,7	43,7
<i>Ceratopogonidae</i>	11,7	13,8	0,8	0,0	23,5	28,2	71,8
<i>Tubificidae</i>	5,0	10,2	0,5	0,0	10,0	12,0	83,8
<i>Nematoda(P)</i>	3,8	4,5	0,8	4,2	5,0	9,0	92,8
<i>Philopotamidae</i>	1,7	3,4	0,5	3,3	0,0	4,0	96,8
<i>Naididae</i>	0,7	1,4	0,5	1,3	0,0	1,6	98,4
<i>Caenidae</i>	0,7	1,4	0,5	1,3	0,0	1,6	100,0

¹ Les espèces sont présentées au niveau de la famille. Dans le cas contraire, le niveau taxonomique est indiqué entre parenthèses.

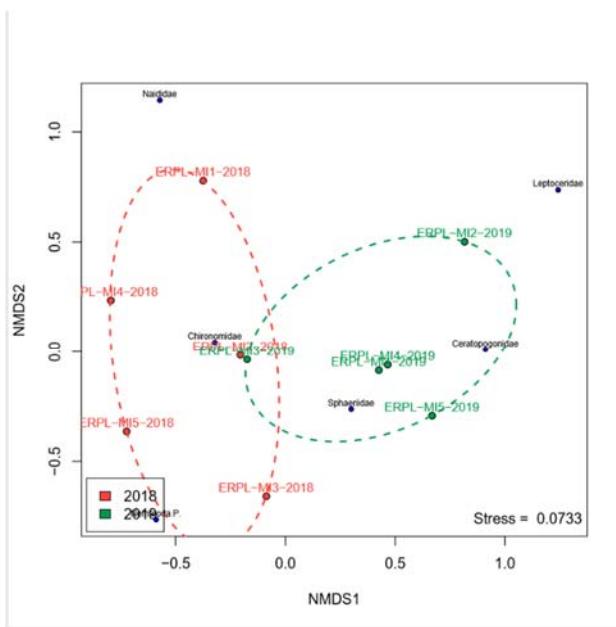
(P) = Phylum

En rouge : Ratio > 1,5

CADRAGE NON MÉTRIQUE MULTIDIMENSIONNEL

La représentation obtenue par le cadrage non métrique multidimensionnel permet de rassembler l'information provenant de multiples dimensions (ex. l'abondance de chacun des taxons) et de la ramener à deux dimensions afin que les données puissent être visualisées et interprétées.

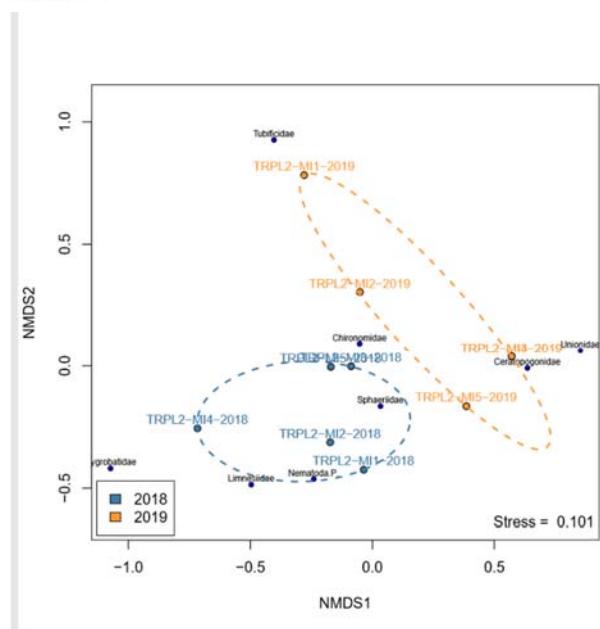
Les résultats du cadrage non métrique multidimensionnel (figure 7) effectué sur les échantillons de la zone de marnage inférieure montrent un regroupement des échantillons selon les années, notamment pour le site « exposé » et le site témoin TRPL3 où une différence significative dans la composition des invertébrés benthiques à la hausse été observée. En ce qui concerne la zone TRPL1, le faible nombre d'échantillons n'a pas permis l'élaboration d'une analyse de cadrage sur ces échantillons. Bien qu'une distinction puisse être faite entre les échantillons de 2018 et 2019 pour TRPL2, la contribution des *Chironomidae* à la similarité entre les deux années est suffisante pour ne pas engendrer de différence significative dans la composition taxonomique. Finalement, le chevauchement des échantillons de la zone TRPL3 confirme la forte similarité dans la composition de la communauté d'invertébrés benthiques entre les deux années.



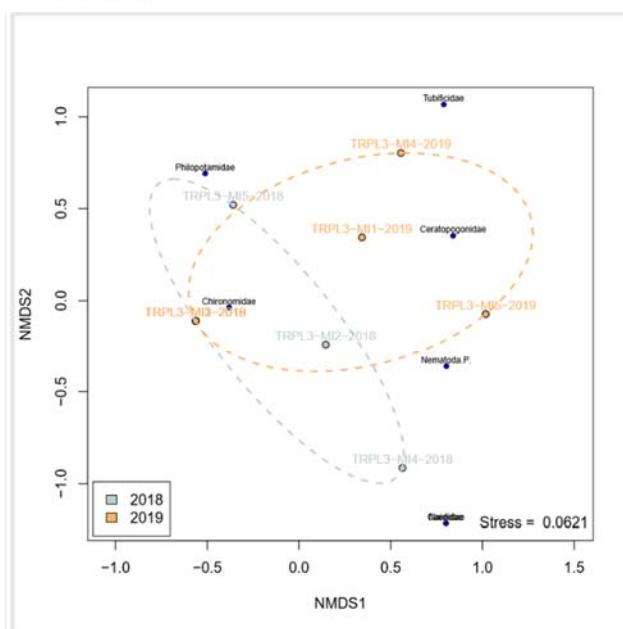
ERPL_MI

n. d. : Ne peut être calculé en raison du nombre insuffisant de données.

TRPL1_MI



TRPL2_MI



TRPL3_MI

Figure 7. Cadrage non métrique multidimensionnel des densités d'invertébrés benthiques dénombrés dans la zone de marnage inférieure en 2018 et 2019

3.4 ZONE PROFONDE

Pour chacun des sites, cinq stations d'échantillonnage ont été réalisées. Au moment de l'échantillonnage, les profondeurs à ces stations variaient entre 5,6 et 6,7 m (cote d'élévation variant entre 95,0 et 96 m). À chaque site, la distance entre chacune des stations varie entre 19 et 47 m (moyenne de 33 m). Ces stations sont relativement éloignées du rivage avec une distance variant entre 370 et 1 540 m.

3.4.1 STRUCTURE DES COMMUNAUTÉS

En 2018 et 2019, des organismes ont été observés dans l'ensemble des stations.

En 2018, on retrouve la présence de six embranchements d'organismes (figure 8) et de 21 taxons différents (tableau 20). Les sites sont généralement dominés par le taxon des mollusques, suivi des insectes. En 2019, on retrouve cinq embranchements et 14 taxons ont été inventoriés (tableau 21). Le taxon des mollusques domine toujours, suivie des insectes et des annélides représentés de façon assez similaire. On remarque également une variabilité interannuelle importante notamment aux sites témoin TRPL2 et TRPL3, avec des changements importants pour les trois principaux embranchements (mollusques, annélides et insectes) entre les deux années.

Au niveau des mollusques, la famille des *Sphaeriidae* domine largement sur les *Unionidae* en 2018 qui sont un peu plus présents aux sites témoin TRPL2 et TRPL3 (figure 9). En 2019, seuls des *Sphaeriidae* ont été inventoriés pour tous les sites.

Au niveau du taxon des insectes en 2018 et 2019 (figure 10), les principales familles recensées sont dominées par les trichoptères suivis de près par les diptères. Plus précisément au niveau des trichoptères, mentionnons la dominance des taxons *Leptoceridae*, suivi de *Molannidae*. Au niveau des diptères, le taxon dominant est celui de *Chironomidae* alors que quelques organismes appartenant au taxon *Ceratopogonidae* ont également été récoltés (tableau 9). Les trichoptères sont beaucoup plus présents en 2019 au site TRPL et les éphéméroptères sont présents à un seul site chaque année, soit aux sites témoin TRPL3 en 2018 et TRPL1 en 2019.

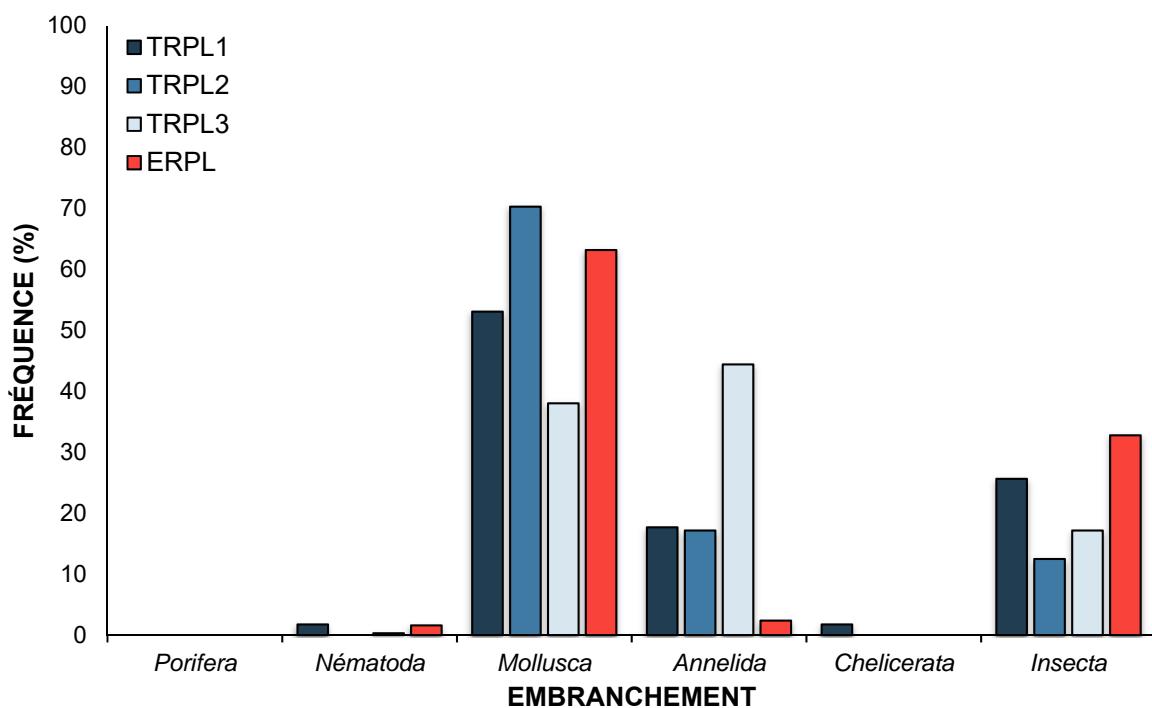
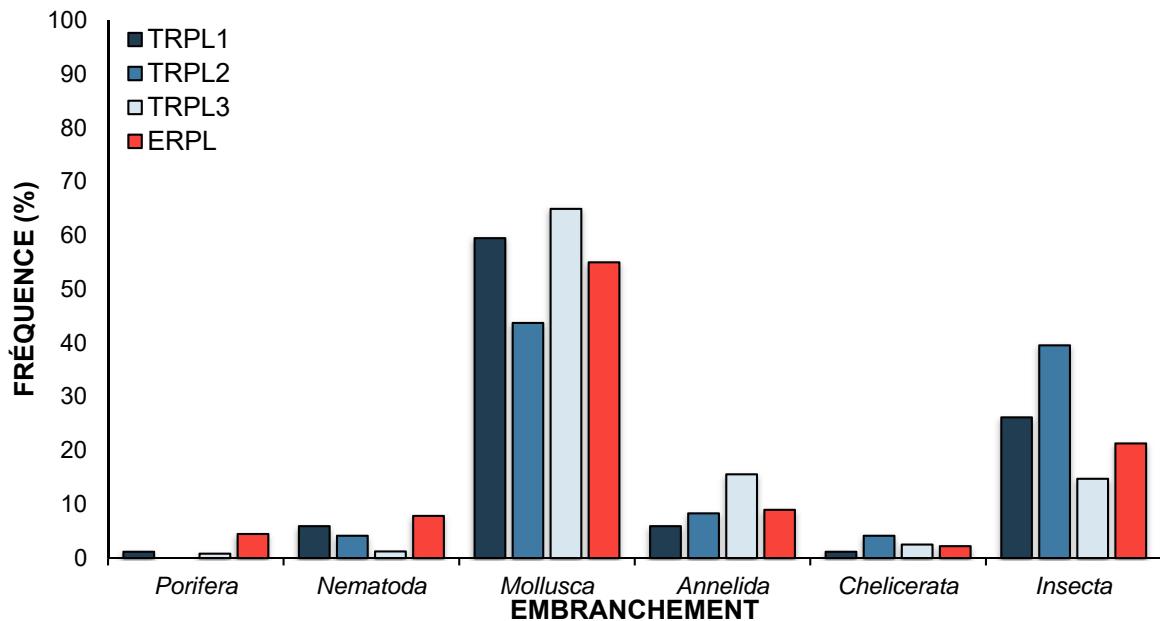


Figure 8. Abondance relative des différents embranchements d'invertébrés benthiques identifiés dans la zone profonde en 2018 (haut) et 2019 (bas)

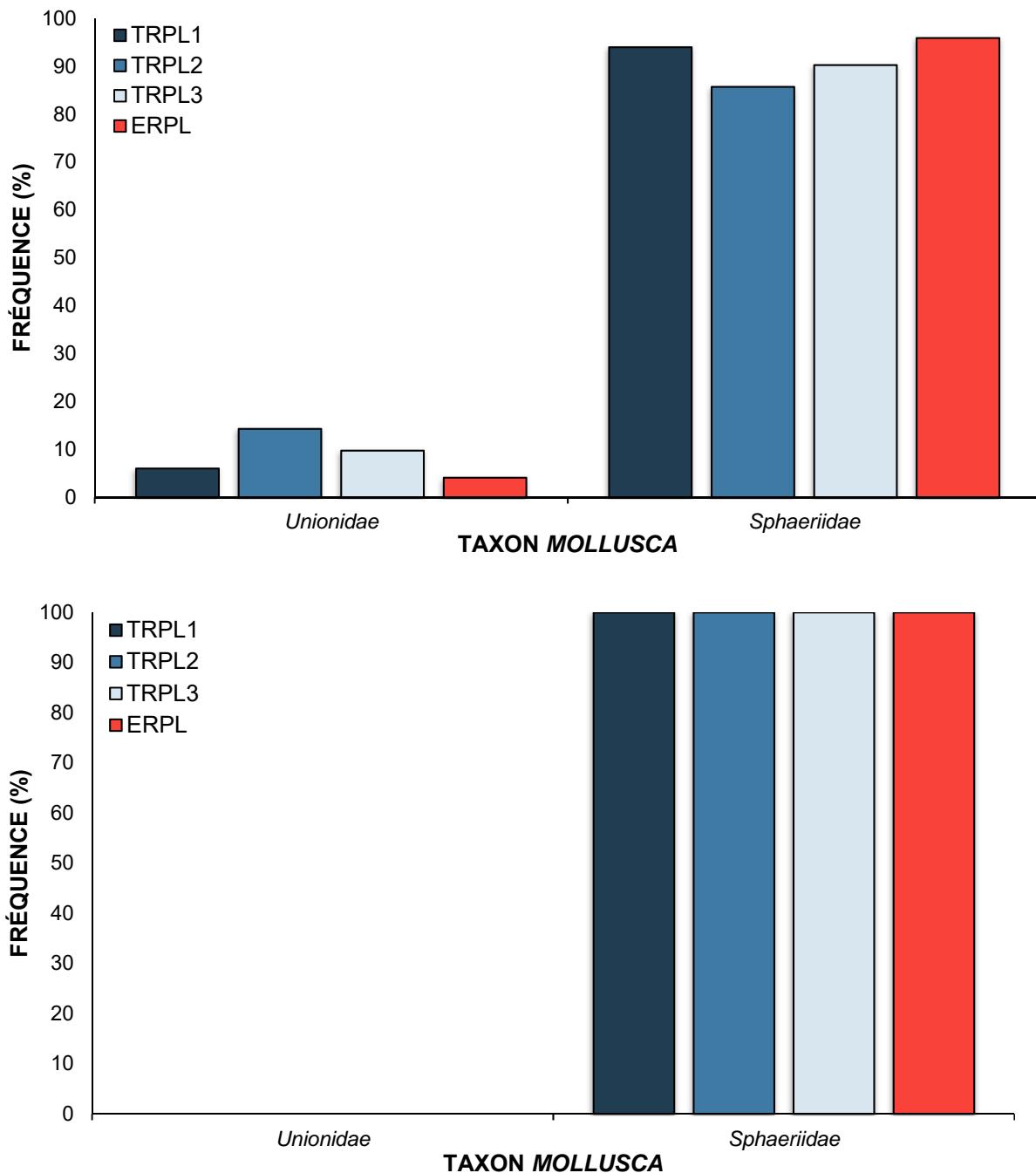


Figure 9. Abondance relative des différents taxons *Mollusca* pour les invertébrés benthiques identifiés dans la zone profonde en 2018 (haut) et 2019 (bas)

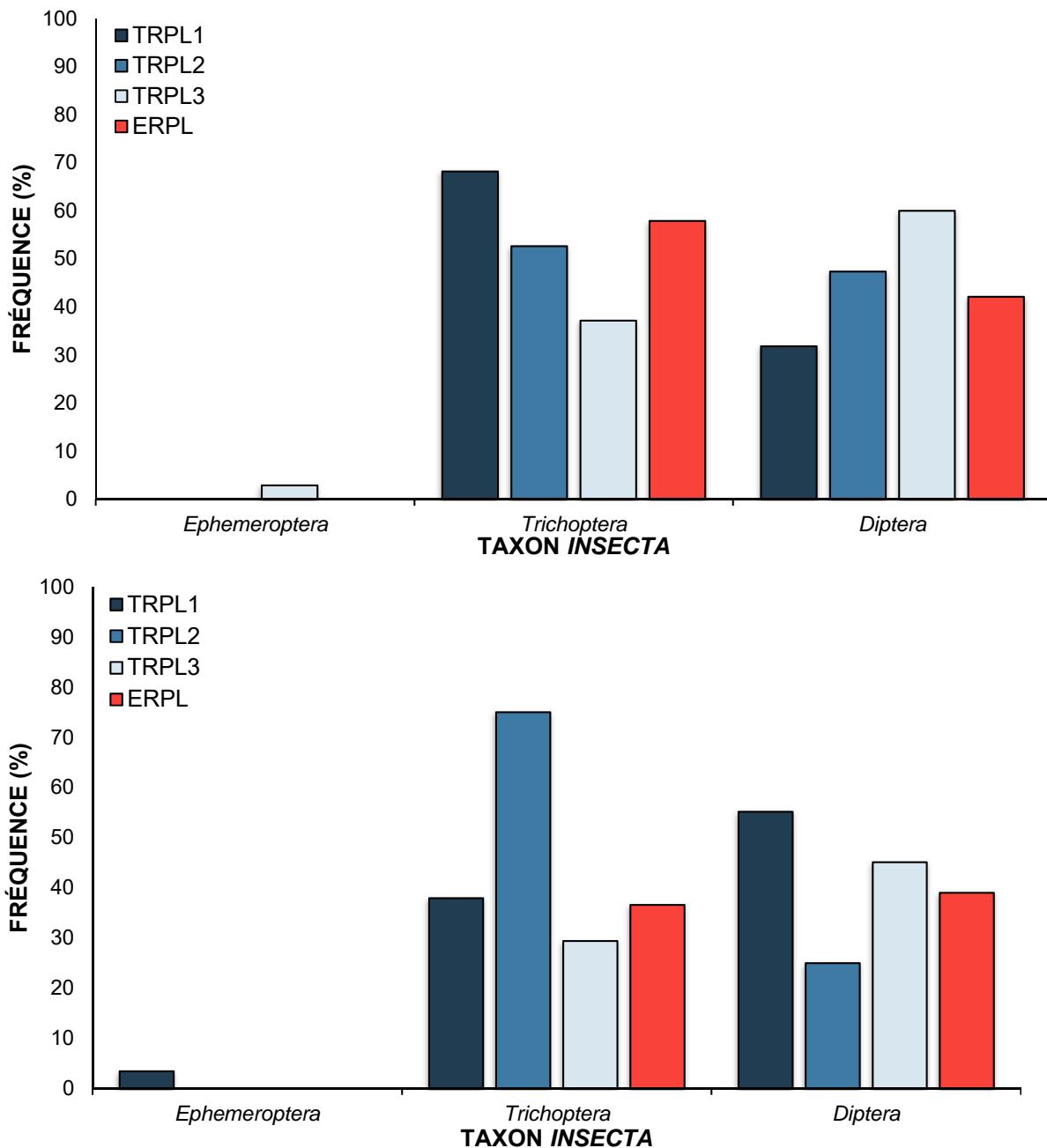


Figure 10. Abondance relative des différents taxons *Insecta* pour les invertébrés benthiques identifiés dans la zone profonde en 2018 (haut) et en 2019 (bas)

Tableau 20. Densité d'organismes et abondance relative par station pour chacun des sites échantillonnés dans la zone profonde en 2018

Organisme	Site témoin TRPL1							Site témoin TRPL2							Site témoin TRPL3							Site « exposé » ERPL								
	PF1	PF2	PF3	PF4	PF5	Dens. moy. (nb/m²)	Abond. rel. (%)	PF6	PF7	PF8	PF9	PF10	Dens. moy. (nb/m²)	Abond. rel. (%)	PF1	PF2	PF3	PF4	PF5	Dens. moy. (nb/m²)	Abond. rel. (%)	PF6	PF7	PF8	PF9	PF10	Dens. moy. (nb/m²)	Abond. rel. (%)		
<i>PORIFERA</i>																														
<i>Spongillidae</i>					7	1	1												7	7	3	1			7	7	7	6	4	
<i>NEMATODA</i>	14		14		7	7	6				14		3	4				7	7	7	4	1		7	14	14	7	10	8	
<i>MOLLUSCA</i>																														
<i>Unionidae</i>	7	7	7			4	4	7			14		4	6				58	22	14	14	22	6			7	7	3	2	
<i>Sphaeriidae</i>	58	58	87	43	94	68	56	14	29		58	29	26	38	51	384	203	87	283	201	59	51	94	36	58	101	68	53		
<i>ANNELIDA</i>																														
<i>Sabellidae</i>													14	3	4															
<i>Enchytraeidae</i>																				7	1	0								
<i>Lumbriculidae</i>	7				7	3	2												7	1	0					7	1	1	1	
<i>Tubificidae</i>		7	14			4	4				14		3	4				43	123	14	72	51	15	22	7		14	9	7	
<i>Glossiphoniidae</i>																										7		1	1	
<i>CHELICERATA</i>																														
<i>Hygrobatidae</i>			7			1	1			7			1	2	7			14			4	1								
<i>Limnesiidae</i>													7				7		7	3	1					7		1	1	
<i>Mideopsidae</i>													7		1	2			7		1	0		7				1	1	
<i>ARTHROPODA</i>																			7		1	0								
<i>Ephemerellidae</i>																		7		1	0									
<i>Hydropsychidae</i>																		7		1	0									
<i>Hydroptilidae</i>																		7		1	0									
<i>Leptoceridae</i>	43	22		14	7	17	14	7	14	14	7		9	13			58			7	13	4			7	22		14	9	7
<i>Molannidae</i>	7	7	7			4	4	7			14		4	6	7	7				3	1	14		7		14	7	6		
<i>Phryganeidae</i>													7	1	2															
<i>Ceratopogonidae</i>		14				3	2		7		7		3	4			7			1	0									
<i>Chironomidae (Larves)</i>		7	14	14		7	6	14	14		22		10	15			58	21		50	22	6	14	7	14	14	7	12	9	
<i>Empididae</i>																	14			3	1									
Sous-total	136	122	150	71	122			49	64	21	100	107			65	657	383	143	461				115	143	114	93	171			

Tableau 21. Densité d'organismes et abondance relative par station pour chacun des sites échantillonnés dans la zone profonde en 2019

Organisme	Site témoin TRPL1							Site témoin TRPL2							Site témoin TRPL3							Site « exposé » ERPL								
	PF1	PF2	PF3	PF4	PF5	Dens. moy. (nb/m²)	Abond. rel. (%)	PF6	PF7	PF8	PF9	PF10	Dens. moy. (nb/m²)	Abond. rel. (%)	PF1	PF2	PF3	PF4	PF5	Dens. moy. (nb/m²)	Abond. rel. (%)	PF6	PF7	PF8	PF9	PF10	Dens. moy. (nb/m²)	Abond. rel. (%)		
<i>NEMATODA</i>			14			3	2								7					1	0		7	7	0	0	0	3	2	
<i>MOLLUSCA</i>																														
<i>Unionidae</i>										14				3	3	7	14	7	7	7	2				29	7	7	9	5	
<i>Sphaeriidae</i>	87	65	29	72	181	87	53	14	14	72	101	109	62	67	101	145	181	87	268	157	36	7	72	94	152	203	106	58		
<i>ANNELIDA</i>																														
<i>Naididae</i>										14				3	3															
<i>Lumbriculidae</i>				14		3	2						14	3	3	7	0	7	0	14	6	1			14		3	2		
<i>Tubificidae</i>	7	22	43	0	58	26	16	14		22	0	14	10	11	203	43	80	65	529	184	43						7	1	1	
<i>CHELICERATA</i>																														
<i>Lebertiidae</i>		7		7		3	2																							
<i>ARTHROPODA</i>																														
<i>Ephemeridae</i>				7		1	1																							
<i>Leptoceridae</i>	22	7	14	22	0	13	8	0	7	14	7	14	9	9	7	22	22	22	36	22	5	29	22	22	7	14	19	10		
<i>Molannidae</i>		7	0	0	0	1	1																			14		3	2	
<i>Phryganeidae</i>		7	0	0	0	1	1																							
<i>Ceratopogonidae</i>		7	0	0	0	1	1									7	29	29	29	19	4	22	43	7			14	8		
<i>Chironomidae (Larves)</i>	14	43	22	7	14	19	12			7	7	0	3	3	22	14	80	7	43	33	8	29	50	21		14	20	11		
<i>Corixidae</i>						7	1	1																						
Sous-total	130	166	123	109	283			29	22	145	130	138			355	275	406	181	928			94	210	174	181	246				

3.4.2 DESCRIPTEURS DES COMMUNAUTÉS

En 2018, les densités d'organismes les plus élevées ont été obtenues au site témoin TRPL3 avec en moyenne 343 org./m², soit principalement des mollusques (tableau 22). Aux autres sites, la densité d'organismes est plus faible et relativement similaire entre les stations avec des valeurs moyennes variant entre 70 et 129 org./m² (tableau 23). En 2019, on retrouve sensiblement la même situation avec 430 org./m² au site témoin TRPL3, le total le plus élevé.

La richesse taxonomique (nombre de taxons différents) est beaucoup plus élevée que dans les autres strates de profondeur avec une valeur variant entre 4,6 et 7,8 en 2018 selon les sites. En 2019, la richesse taxonomique est un peu plus faible variant entre 3,4 et 6,6 dans l'ensemble, ce qui est tout de même plus élevé comparativement à la zone de marnage (supérieure et inférieure).

Tableau 22. Statistiques descriptives des communautés d'invertébrés benthiques pour la zone profonde en 2018

Site	Station	Fraction analysée	Densité totale (nb/m ²)	Richesse taxonomique	Indice de diversité de Shannon-Wiener	Indice d'équitableté de Shannon-Wiener	Indice de similarité (coefficient de Bray-Curtis)	Indice EPT/C	Contribution des dominants (%)
Site « exposé » ERPL	PF6	1	116	6	2,22	0,86	0,36		
	PF7	1	145	7	1,82	0,65	0,31		
	PF8	1	116	8	2,73	0,91	0,36		
	PF9	1	94	5	1,70	0,73	0,20		
	PF10	1	174	8	2,11	0,70	0,44		
	Moyenne		129	6,8	2,12	0,77	0,33	1,38	53
Site témoin TRPL1	PF1	1	138	6	2,06	0,80	0,35		
	PF2	1	123	7	2,28	0,81	n. d.		
	PF3	1	152	7	2,06	0,73	0,33		
	PF4	1	72	3	1,37	0,86	0,18		
	PF5	1	123	5	1,26	0,54	0,38		
	Moyenne		122	5,6	1,81	0,75	0,31	3,00	56
Site témoin TRPL2	PF6	1	51	5	2,24	0,96	0,37		
	PF7	1	65	4	1,84	0,92	0,33		
	PF8	1	22	2	0,92	0,92	n. d.		
	PF9	1	101	5	1,81	0,78	0,38		
	PF10	1	109	7	2,66	0,95	0,41		
	Moyenne		70	4,6	1,89	0,90	0,37	1,43	37
Site témoin TRPL3	PF1	1	65	3	0,99	0,62	0,33		
	PF2	1	659	12	2,19	0,61	0,77		
	PF3	1	384	7	1,75	0,62	0,66		
	PF4	1	145	6	1,87	0,72	0,44		
	PF5	1	464	11	2,02	0,58	n. d.		
	Moyenne		343	7,8	1,76	0,63	0,55	0,78	59
n. d. :		Données insuffisantes pour calculer l'indice.							

Tableau 23. Statistiques descriptives des communautés d'invertébrés benthiques pour la zone profonde en 2019

Site	Station	Fraction analysée	Densité totale (nb/m ²)	Richesse taxonomique	Indice de diversité de Shannon-Wiener	Indice d'équitabilité de Shannon-Wiener	Indice de similarité (coefficient de Bray-Curtis)	Indice EPT/C	Indice de perte de communauté (2018-2019)	Contribution des dominants (%)
Site « exposé » ERPL	PF6	1	94	5	2,10	0,91	0,69			
	PF7	1	210	7	2,41	0,86	0,42			
	PF8	1	174	6	1,97	0,76	0,26			
	PF9	1	181	4	0,87	0,44	0,41			
	PF10	1	246	5	1,01	0,44	0,36			
Moyenne			181	5,4	1,67	0,68	0,43	0,94	0,67	58
Site témoin TRPL1	PF1	1	130	4	1,40	0,70	0,08			
	PF2	1	167	9	2,57	0,81	0,52			
	PF3	1	123	5	2,19	0,94	0,39			
	PF4	1	109	4	1,38	0,69	0,24			
	PF5	1	290	7	1,72	0,61	0,42			
Moyenne			164	5,8	1,85	0,75	0,33	0,80	0,42	53
Site témoin TRPL2	PF6	1	29	2	1,00	1,00	0,65			
	PF7	1	22	2	0,92	0,92	0,73			
	PF8	1	145	6	2,12	0,82	0,18			
	PF9	1	130	4	1,10	0,55	0,24			
	PF10	1	138	3	0,95	0,60	0,16			
Moyenne			93	3,4	1,22	0,78	0,39	3,00	1	67
Site témoin TRPL3	PF1	1	355	7	1,68	0,60	0,47			
	PF2	1	275	7	2,12	0,76	0,33			
	PF3	1	413	8	2,24	0,75	0,50			
	PF4	1	181	4	1,59	0,80	0,18			
	PF5	1	928	7	1,67	0,60	0,74			
Moyenne			430	6,6	1,86	0,70	0,45	0,65	1,33	43

L'indice de diversité de Shannon-Wiener (nombre de taxon et importance des taxons dans l'échantillon) rend compte de la composition d'un écosystème, en matière de nombre d'espèces et de leur abondance relative. De façon générale pour la zone profonde, les valeurs inférieures à 2 indiquent une communauté benthique peu diversifiée et dominée par un nombre restreint d'individus. Pour cette zone, ce sont les mollusques qui dominent, contrairement aux insectes. Les valeurs obtenues pour les sites témoins sont similaires entre les années 2018 et 2019. L'indice obtenu pour le site « exposé » était légèrement supérieur en 2018 comparativement aux sites témoins (2,1 vs 1,7) et il semble inférieur en 2019 comparativement à 2018 au même site (2,12 vs 1,67).

L'indice d'équitabilité de Shannon-Wiener vise à établir le rapport entre la diversité mesurée et la diversité théorique maximale pour une taille d'échantillon et un nombre d'espèces donné. De façon générale pour la zone profonde, une valeur autour de 0,7 indique une abondance relativement uniforme entre les taxons représentés. Les valeurs obtenues sont similaires entre les sites et entre les années 2018 et 2019.

L'indice de similarité (coefficients de Bray-Curtis) fournit une information quantitative sur les types d'organismes présents (nombre de taxon et d'organismes de chaque taxon). De façon générale pour la zone profonde, une valeur autour de 0,4 indique que les sites sont moyennement similaires concernant le type d'organismes présents. Les valeurs obtenues sont similaires entre les sites et entre les années 2018 et 2019.

L'indice EPT/C correspond au nombre d'éphéméroptères, de plécoptères et de trichoptères, des taxons plus sensibles de façon générale sur le nombre de chironomides, des organismes plus tolérants. Les valeurs obtenues pour la zone profonde sont très variables (entre 0,65 et 3), similaires entre les sites et entre les années 2018 et 2019 et ne semblent pas indiquer de tendance. Les trichoptères sont bien présents tout comme les chironomides.

L'indice de perte de communauté présente la perte de taxons entre l'année du suivi (2019) et l'année de référence (2018) pour le même site. Les valeurs obtenues pour la zone profonde sont variables entre les sites témoins (entre 0,42 qui représente un taxon de plus et 1,33 qui représente 10 taxons de moins). Le site « exposé » se situe au centre en matière de valeur (0,67 ce qui représente trois taxons de moins).

Le pourcentage de contribution des dominants (taxon dominant en nombre comparativement au nombre total) indique l'état actuel de l'équilibre entre les différents taxons représentés. De façon générale pour la zone profonde, une valeur autour de 50 % (entre 37 et 67 %) indique que les sites sont moyennement dominés par les *Sphaeriidae* qui est le taxon d'organismes dominant pour l'ensemble des sites. Les valeurs obtenues sont similaires entre les sites et entre les années 2018 et 2019.

3.4.3 ANALYSES STATISTIQUES

Des analyses statistiques ont été effectuées afin de vérifier la présence de différence significative entre les résultats obtenus à l'année 1 du suivi après la réalisation des travaux de recharge (2019) avec l'année de référence (2018) pour la zone profonde. Le tableau 24 présente le sommaire des résultats obtenus.

INDICATEURS DE COMMUNAUTÉ

Pour la zone profonde, toutes les analyses statistiques ont permis d'obtenir des résultats concernant les indicateurs de communautés d'invertébrés benthiques pour les quatre sites à l'étude.

L'analyse statistique effectuée avec les résultats associés aux indicateurs de communauté pour la zone profonde n'a révélé aucune différence significative pour les mêmes sites (témoins et « exposé ») entre l'année de suivi après la réalisation des travaux de recharge (2019) et l'année de référence (2018). Au-delà d'une puissance statistique de 90 %, on peut affirmer qu'aucune différence significative n'est présente. Par contre, lorsque la puissance statistique évaluée est insuffisante (< 90 %) il est possible qu'une différence soit présente, mais que les conditions d'analyse ne permettent pas de la détecter. Cette condition se retrouve pour huit résultats sur les 20 analyses effectuées, soit dans 40 % des situations. Pour ces autres résultats ne présentant pas de différence, le résultat est à prendre avec réserve. Les résultats de l'analyse pour la richesse taxonomique et l'indice d'équitabilité de Shanon-Wiener présentent tous une puissance statistique suffisante.

Les autres analyses statistiques démontrent qu'il n'existe pas de différence significative entre les communautés d'invertébrés benthiques avant les travaux et l'année suivante, tant pour le site « exposé » que pour les sites témoins pour la zone profonde.

Tableau 24. Résultats des analyses statistiques des indicateurs de communautés d'invertébrés benthiques pour la zone profonde 2018 et 2019

Paramètre statistique	Densité totale (nb*m ²)	Richesse taxonomique	Indice de diversité de Shannon-Wiener	Indice d'équitabilité de Shannon-Wiener	Indice de similarité (coefficients de Bray-Curtis)	Indice EPT/C
Site « exposé » - ERPL-PF						
Moyenne	129	7	2,12	0,77	0,33	1,38
Écart type	31	1	0,4	0,11	0,09	N/A
Étendue (min - max)	94 - 174	5 - 8	1,70 - 2,73	0,65 - 0,91	0,20 - 0,44	N/A
Médiane	116	7	2,11	0,73	0,36	N/A
Site « exposé » - ERPL-PF						
Moyenne	181	5	1,67	0,68	0,43	0,94
Écart type	56	25	0,69	0,23	0,16	N/A
Étendue (min - max)	94 - 246	4 - 7	0,87 - 2,41	0,44 - 0,91	0,26 - 0,69	N/A
Médiane	181	5	1,97	0,76	0,41	N/A
Site « exposé » - ERPL-PF						
<i>Résultats des comparaisons statistiques (2018 vs 2019)</i>						
Test de Kolmogorov-Smirnov (valeur de <i>p</i>) ¹	0,3291	0,8186	0,873	0,873	0,3291	0,6994
Test de Shapiro-Wilk (valeur de <i>p</i>) ¹	0,498	0,4102	0,1053	0,4359	0,1562	0,07878
Test de Levene (valeur de <i>p</i>) ¹	0,4462	0,6938	0,2223	0,3531	0,5256	0,3034
Retrait de données aberrantes	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Test utilisé	Test de Student	Test de Student	Test de Student	Test de Student	Test de Student	Test de Mann-Withney (log10)
Valeur de <i>p</i> ¹	0,1071	0,1083	0,4437	0,2483	0,2972	0,1367
Différence significative	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Puissance statistique ^{3 et 4}	100,0%	99,97%	17,70%	100,00%	28,96%	N/A
Site témoin - TRPLI-PF						
2018						
Moyenne	122	6	1,81	0,75	0,31	3,00
Écart type	30	2	0,46	0,13	0,09	N/A
Étendue (min - max)	72 - 152	3 - 7	1,26 - 2,28	0,54 - 0,86	0,18 - 0,38	N/A
Médiane	123	6	2,06	0,80	0,34	N/A
Site témoin - TRPLI-PF						
2019						
Moyenne	164	6	1,85	0,75	0,33	0,80
Écart type	74	2	0,52	0,13	0,17 (0,08)	N/A
Étendue (min - max)	109 - 290	4 - 9	1,38 - 2,57	0,61 - 0,94	0,08 - 0,52	N/A
Médiane	130	5	1,72	0,70	0,39	N/A

Tableau 24. Résultats des analyses statistiques des indicateurs de communautés d'invertébrés benthiques pour la zone profonde 2018 et 2019 (suite)

Paramètre statistique	Densité totale (nb*m ²)	Richesse taxonomique	Indice de diversité de Shannon-Wiener	Indice d'équitabilité de Shannon-Wiener	Indice de similarité (coefficients de Bray-Curtis)	Indice EPT/C
Site témoin - TRPL1-PF						
Test de Kolmogorov-Smirnov (valeur de p) ¹	0,8186	1	0,873	0,873	0,3571	0,9853
Test de Shapiro-Wilk (valeur de p) ¹	0,2264	0,7127	0,9704	0,2611	0,661	0,5033
Test de Levene (valeur de p) ¹	0,6323	0,6454	0,872	0,8121	0,8519	0,9422
Retrait de données aberrantes	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Test utilisé	Test de Student (log10)	Test de Student	Test de Student	Test de Student	Test de Student	Test de Student (log10)
Valeur de p ¹	0,2642	0,8743	0,986	0,8845	0,4662	0,6118
Différence significative	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Puissance statistique ^{3 et 4}	20,3%	99,99%	10,52%	100,00%	27,31%	8,27%
Site témoin - TRPL2-PF						
2018						
Moyenne	70	5	1,89	0,90	0,37	1,43
Écart type	36	2	0,64	0,07	0,03	N/A
Étendue (min - max)	22 - 109	2 - 7	0,92 - 2,66	0,78 - 0,96	0,33 - 0,41	N/A
Médiane	65	5	1,84	0,92	0,38	N/A
Site témoin - TRPL2-PF						
2019						
Moyenne	93	3	1,22	0,78	0,39	3,00
Écart type	62	2	0,51	0,2	0,27	N/A
Étendue (min - max)	22 - 145	2 - 6	0,92 - 2,12	0,55 - 1,00	0,16 - 0,73	N/A
Médiane	130	3	1,00	0,82	0,24	N/A
Paramètre statistique	Densité totale (nb*m ²)	Richesse taxonomique	Indice de diversité de Shannon-Wiener	Indice d'équitabilité de Shannon-Wiener	Indice de similarité (coefficients de Bray-Curtis)	Indice EPT/C
Site témoin - TRPL2-PF						
Résultats des comparaisons statistiques (2018 vs 2019)						
Test de Kolmogorov-Smirnov (valeur de p) ¹	0,3291	0,8186	0,3571	0,873	0,873	0,9251
Test de Shapiro-Wilk (valeur de p) ¹	0,157	0,3499	0,417	0,2529	0,7419	0,1901
Test de Levene (valeur de p) ¹	0,4831	1	0,4589	0,8236	0,3628	0,3124
Retrait de données aberrantes	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Test utilisé	Test de Student	Test de Student	Test de Student	Test de Student	Test de Student	Test de Student (log10)
Valeur de p ¹	0,4893	0,3089	0,5193	0,7674	0,5363	0,22
Différence significative	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Puissance statistique ^{3 et 4}	100,0%	99,96%	11,65%	99,89%	99,92%	5,67%
Site témoin - TRPL3-PF						
2018						
Moyenne	343	8	1,76	0,63	0,55	1,43
Écart type	241	4	0,46	0,05	0,2	N/A
Étendue (min - max)	65 - 659	3 - 12	0,99 - 2,19	0,58 - 0,72	0,33 - 0,77	N/A
Médiane	384	7	1,87	0,62	0,55	N/A

Tableau 24. Résultats des analyses statistiques des indicateurs de communautés d'invertébrés benthiques pour la zone profonde 2018 et 2019 (suite)

Paramètre statistique	Densité totale (nb*m ²)	Richesse taxonomique	Indice de diversité de Shannon-Wiener	Indice d'équitabilité de Shannon-Wiener	Indice de similarité (coefficients de Bray-Curtis)	Indice EPT/C
Site témoin - TRPL3-PF		2019				
Moyenne	430	7	1,86	0,70	0,45	0,65
Écart type	291	2	0,3	0,09	0,21	N/A
Étendue (min - max)	181 - 928	4 - 8	1,59 - 2,24	0,60 - 0,80	0,18 - 0,74	N/A
Médiane	355	7	1,68	0,75	0,47	N/A
Site témoin - TRPL3-PF		Résultats des comparaisons statistiques (2018 vs 2019)				
Test de Kolmogorov-Smirnov (valeur de <i>p</i>) ¹	0,873	0,8186	0,8571	0,873	1	0,8674
Test de Shapiro-Wilk (valeur de <i>p</i>) ¹	0,157	0,3743	0,2126	0,5825	0,7872	0,7127
Test de Levene (valeur de <i>p</i>) ¹	0,9625	0,1151	0,137	0,45	0,4732	0,3452
Retrait de données aberrantes	Non	Non	Oui (TRPL-PF1 2018)	Non	Non	Non
Test utilisé	Test de Student	Test de Student	Test de Student (log10)	Test de Student	Test de Student	Test de Student (log10)
Valeur de <i>p</i> ¹	0,621	0,5212	0,5776	0,2318	0,9736	0,5949
Différence significative	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Puissance statistique ^{3 et 4}	100,0%	99,99%	16,45%	90,96%	37,35%	5,51%

¹ Seuil de significativité établi à 0,1.
² Pour les indicateurs de la communauté benthique, le seuil critique est établi à +/- 2 écarts types comparés à la zone de référence.
³ Puissance statistique calculée selon les recommandations du Guide technique d'Environnement Canada (2012). Les valeurs de puissance > 90 % sont indiquées en gras.
N/A : Ne peut être calculé pour les tests non paramétriques et n'est pas applicable lorsqu'une différence significative est obtenue.

COMPOSITION TAXONOMIQUE

L'analyse statistique effectuée avec les résultats associés à la structure des communautés benthiques provenant de l'indice de similarité (PERMANOVA à partir du coefficient de Bray-Curtis) permet de comparer la variabilité des résultats des communautés en comparaison avec la médiane de référence qui provient des sites témoins. Cette analyse a révélé certaines différences significatives pour la zone profonde. Ainsi, la distribution ou la composition taxonomique des communautés benthiques est différente pour les sites témoin TRPL2 et TRPL3 entre l'année de suivi après la réalisation des travaux de recharge (2019) et l'année de référence (2018) avec des valeurs de p de 0,039 et de 0,02 (tableau 25). Ces différences démontrent la présence d'une variabilité naturelle interannuelle dans la zone profonde concernant la distribution ou la composition taxonomique des communautés. Cette différence confirme la tendance observée concernant les résultats associés à la diversité des communautés benthiques (richesse, indices de Shannon-Wiener) pour ces sites même si aucune différence significative n'avait été obtenue. Cette différence n'a pas été constatée au site « exposé » aux travaux et au site témoin TRPL1.

Tableau 25. Résultats des analyses statistiques de la composition taxonomique des communautés d'invertébrés benthiques pour la zone profonde 2018 et 2019

Paramètre statistique	Composition taxonomique
Site « exposé » - ERPL-PF	Résultats des comparaisons statistiques (2018 vs 2019)
Betadisper (valeur de p) ¹	0,247
Retrait de données aberrantes	Non
Test utilisé	PERMANOVA
Valeur de p ¹	0,228
Différence significative	Non
Site témoin - TRPL1-PF	Résultats des comparaisons statistiques (2018 vs 2019)
Betadisper (valeur de p) ¹	0,787
Retrait de données aberrantes	Non
Test utilisé	PERMANOVA
Valeur de p ¹	0,224
Différence significative	Non
Site témoin - TRPL2-PF	Résultats des comparaisons statistiques (2018 vs 2019)
Betadisper (valeur de p) ¹	0,157
Retrait de données aberrantes	Non
Test utilisé	PERMANOVA
Valeur de p ¹	0,039
Différence significative	Oui
Site témoin - TRPL3-PF	Résultats des comparaisons statistiques (2018 v vs 2019)
Betadisper (valeur de p) ¹	0,909
Retrait de données aberrantes	Non
Test utilisé	PERMANOVA
Valeur de p ¹	0,02
Différence significative	Oui
1	Seuil de significativité a établi à 0,1.

CONTRIBUTION DES TAXONS

Pour la zone profonde, l'analyse statistique de la contribution relative des taxons à la similarité/dissimilarité entre l'année de suivi après la réalisation des travaux de recharge (2019) et l'année de référence (2018) avec le test de SIMPER démontre que pour le site « exposé », trois taxons sont particulièrement responsables du patron de similarité/dissimilarité (ratio > 1,5) pour ce site; les mollusques de type *Sphaeriidae* étant les plus importants contribuant pour 30 % à la similarité entre les deux années (tableau 26). Pour les sites témoin TPPL1 et TRPL2, la situation est très différente alors que seuls les *Sphaeriidae* contribuent de façon importante et constante à travers les échantillons à la similarité/dissimilarité observée avec une contribution

respective de 22,4 % et 29,3 %. Pour le site TRPL3, la contribution se partage de façon importante entre les annélides de type *Tubificidae* (32,5 %) et les *Sphaeriidae* (26,5 %) avec une contribution moindre pour deux autres taxons comme pour le site « exposé ».

Tableau 26. Résultats des analyses statistiques de la contribution des taxons des communautés d'invertébrés benthiques pour la zone profonde 2018 et 2019

	Contribution moyenne (%)	Déviation standard	Ratio	Abondance moy. 2018 (%)	Abondance moy. 2019 (%)	Contribution individuelle (%)	Contribution cumulative (%)	
<i>Espèce^l</i>								
				<i>Site « exposé » - ERPL1-PF</i>				
<i>Sphaeriidae</i>	13,7	8,2	1,7	52,0	52,5	30,0	30,0	
<i>Leptoceridae</i>	5,2	4,3	1,2	6,4	12,7	11,3	41,3	
<i>Chironomidae</i>	5,1	3,6	1,4	9,9	13,1	11,3	52,6	
<i>Ceratopogonidae</i>	4,8	5,2	0,9	0,0	9,6	10,6	63,2	
<i>Tubificidae</i>	3,2	3,4	0,9	6,4	0,6	6,9	70,1	
<i>Nematoda(P)</i>	3,2	1,8	1,7	8,1	2,2	6,9	77,1	
<i>Molannidae</i>	2,6	2,4	1,1	5,4	1,6	5,8	82,9	
<i>Unionidae</i>	2,5	2,7	0,9	2,3	4,7	5,5	88,4	
<i>Spongillidae</i>	2,3	1,3	1,7	4,6	0,0	5,1	93,5	
<i>Lumbriculidae</i>	1,0	1,4	0,7	0,8	1,4	2,1	95,5	
<i>Limnesiidae</i>	0,8	1,6	0,5	1,5	0,0	1,7	97,2	
<i>Glossiphoniidae</i>	0,6	1,3	0,5	1,3	0,0	1,4	98,6	
<i>Mideopsidae</i>	0,6	1,3	0,5	1,3	0,0	1,4	100,0	
<i>Espèce^l</i>								
				<i>Site témoin - TRPL1-PF</i>				
<i>Sphaeriidae</i>	9,2	6,1	1,5	56,6	52,0	22,4	22,4	
<i>Tubificidae</i>	6,7	5,8	1,2	3,1	14,9	16,5	38,8	
<i>Lebertiidae</i>	5,2	5,7	0,9	9,8	2,2	12,7	51,5	
<i>Leptoceridae</i>	4,9	3,6	1,4	5,2	10,6	12,0	63,5	
<i>Chironomidae</i>	4,6	3,3	1,4	7,1	12,5	11,3	74,8	
<i>Nematoda(P)</i>	2,8	2,3	1,2	5,2	2,4	6,7	81,5	
<i>Unionidae</i>	1,6	1,3	1,2	3,2	0,0	3,9	85,4	
<i>Molannidae</i>	1,5	1,3	1,2	3,2	0,9	3,7	89,1	
<i>Ceratopogonidae</i>	1,5	2,2	0,6	2,4	0,9	3,5	92,7	
<i>Lumbriculidae</i>	1,2	1,4	0,9	2,2	1,0	3,0	95,7	
<i>Spongillidae</i>	0,6	1,2	0,5	1,2	0,0	1,4	97,1	
<i>Hygrobatidae</i>	0,5	1,0	0,5	1,0	0,0	1,2	98,3	
<i>Phryganeidae</i>	0,4	0,9	0,5	0,0	0,9	1,1	99,4	
<i>Corixidae</i>	0,3	0,5	0,5	0,0	0,5	0,6	100,0	
<i>Espèce^l</i>								
				<i>Site témoin - TRPL2-PF</i>				
<i>Sphaeriidae</i>	17,2	10,9	1,6	31,4	64,7	29,3	29,3	
<i>Leptoceridae</i>	10,0	10,0	1,0	22,0	11,9	17,0	46,3	
<i>Tubificidae</i>	7,4	8,9	0,8	2,7	15,1	12,6	58,9	
<i>Chironomidae</i>	6,9	5,2	1,3	14,2	2,1	11,7	70,6	
<i>Hygrobatidae</i>	3,3	6,8	0,5	6,7	0,0	5,7	76,3	
<i>Unionidae</i>	3,0	3,2	0,9	5,5	2,0	5,0	81,4	
<i>Molannidae</i>	2,9	3,6	0,8	5,7	0,0	4,9	86,2	
<i>Ceratopogonidae</i>	1,8	2,4	0,8	3,7	0,0	3,1	89,3	
<i>Nematoda(P)</i>	1,4	2,9	0,5	2,9	0,0	2,4	91,8	
<i>Sabellidae</i>	1,3	2,7	0,5	2,7	0,0	2,3	94,1	
<i>Lumbriculidae</i>	1,1	2,3	0,5	0,0	2,2	1,9	95,9	
<i>Naididae</i>	1,0	2,0	0,5	0,0	2,0	1,7	97,6	
<i>Mideopsidae</i>	0,7	1,5	0,5	1,4	0,0	1,2	98,9	
<i>Phryganeidae</i>	0,7	1,4	0,5	1,3	0,0	1,1	100,0	

Tableau 26. Résultats des analyses statistiques de la contribution des taxons des communautés d'invertébrés benthiques pour la zone profonde 2018 et 2019 (suite)

	Contribution moyenne (%)	Déviation standard	Ratio	Abondance moy. 2018 (%)	Abondance moy. 2019 (%)	Contribution individuelle (%)	Contribution cumulative (%)
Espèce ¹	Site témoin - TRPL3-PF						
<i>Tubificidae</i>	13,3	9,1	1,5	12,9	37,1	32,5	32,5
<i>Sphaeriidae</i>	10,8	6,6	1,6	62,0	40,4	26,5	59,0
<i>Chironomidae</i>	3,0	2,6	1,1	4,1	7,9	7,2	66,2
<i>Leptoceridae</i>	2,7	1,7	1,6	2,1	6,2	6,7	72,9
<i>Unionidae</i>	2,3	1,5	1,5	5,5	2,0	5,5	78,4
<i>Ceratopogonidae</i>	2,2	1,9	1,2	0,2	4,5	5,4	83,9
<i>Hygrobatiidae</i>	2,1	2,5	0,9	4,2	0,4	5,2	89,1
<i>Molannidae</i>	1,2	2,2	0,5	2,4	0,0	3,0	92,1
<i>Nematoda(P)</i>	0,8	0,9	1,0	1,5	0,5	2,0	94,1
<i>Spongiliidae</i>	0,7	1,0	0,7	1,3	0,0	1,6	95,7
<i>Lumbriculidae</i>	0,5	0,4	1,2	0,3	1,1	1,2	96,9
<i>Limnesiidae</i>	0,3	0,4	0,8	0,7	0,0	0,9	97,8
<i>Empididae</i>	0,2	0,4	0,5	0,4	0,0	0,5	98,3
<i>Mideopsidae</i>	0,2	0,4	0,5	0,4	0,0	0,5	98,8
<i>Enchytraeidae</i>	0,2	0,3	0,5	0,3	0,0	0,4	99,2
<i>Ephemerellidae</i>	0,1	0,2	0,5	0,2	0,0	0,3	99,5
<i>Hydropsychidae</i>	0,1	0,2	0,5	0,2	0,0	0,3	99,7
<i>Hydropsytilidae</i>	0,1	0,2	0,5	0,2	0,0	0,3	100,0

¹ Les espèces sont présentées au niveau de la famille. Dans le cas contraire, le niveau taxonomique est indiqué entre parenthèses.

(P) = Phylum

En rouge : Ratio > 1,5

Les résultats démontrent qu'il existe une variabilité naturelle dans la contribution des taxons des communautés d'invertébrés benthiques entre le site « exposé » et les sites témoins pour la zone profonde.

CADRAGE NON MÉTRIQUE MULTIDIMENSIONNEL

La représentation obtenue par le cadrage non métrique multidimensionnel permet de rassembler l'information provenant de multiples dimensions (ex. l'abondance de chacun des taxons) et de la ramener à deux dimensions afin que les données puissent être visualisées et interprétées.

Les résultats du cadrage non métrique multidimensionnel (figure 11) effectué sur les échantillons de la zone profonde montrent un regroupement des échantillons selon les années, notamment pour les sites TRPL2 et TRPL3, où une différence significative dans la composition des invertébrés benthiques a été observée à la baisse. Le site « exposé » montre également un certain regroupement selon les années bien qu'aucune différence de composition n'ait été observée, notamment en raison de la forte contribution des *Sphaeriidae* dont l'abondance relative est très similaire entre les deux années. Finalement, le chevauchement des échantillons de TRPL1 confirme la similarité dans la composition de la communauté d'invertébrés benthiques entre les deux années.

3.5 SYNTHÈSE DES RÉSULTATS

De manière générale, les abondances des invertébrés benthiques se sont avérées faibles pour les deux années de suivi. La zone de marnage supérieure présente les densités d'organismes les plus faibles, suivi de la zone de marnage inférieure et de la zone profonde qui présentent toutes deux environ trois fois plus d'organismes (environ 1 100 organismes comparativement à plus de 3 000). Aucune différence significative n'a été observée

concernant la densité totale d'organismes entre l'année de référence (2018) et l'année suivant la réalisation des travaux de rechargement (2019) pour le site « exposé » et l'ensemble des sites témoins.

Globalement, la richesse taxonomique était plus élevée en 2018 (entre 10 et 21 taxons) qu'en 2019 (entre 4 et 14 taxons). De façon générale, la zone de marnage supérieure présente le nombre de taxons le plus faible, suivi de la zone de marnage supérieure et de la zone profonde. Les données insuffisantes (faible abondance d'organisme) n'ont pas permis de calculer plusieurs indices descriptifs des communautés présentes. De ce fait, plusieurs analyses statistiques n'ont pu être effectuées. Les insectes, principalement des *Chironomidae*, dominent dans la zone de marnage (supérieure et inférieure) alors que les mollusques de type *Sphaeriidae* dominent la zone profonde.

Tel que mentionné dans l'étude de Valentine (1989), la zone de marnage est exposée à l'action du gel, au décapage par les glaces et au déferlement des vagues. En période estivale, l'utilisation anthropique de la zone de marnage supérieure par des activités récréatives est également susceptible d'altérer le substrat et ainsi faire varier les abondances de certains groupes taxonomiques.

ZONE DE MARNAGE SUPÉRIEURE

Dans la zone de marnage supérieure en 2018, trois stations n'ont présenté aucun organisme alors qu'en 2019, c'est cinq stations sur les 20 échantillonnées. Toutes ces stations étaient localisées aux sites témoins.

De façon générale pour la zone de marnage supérieure, on remarque une baisse importante du nombre d'organismes différents (taxons) en 2019, le nombre étant passé de 14 à 4 taxons. Pour les deux années, les sites sont généralement dominés par les insectes. En 2018 les insectes étaient représentés par 3 familles alors qu'en 2019 seuls les chironomides étaient présents. La diversité des organismes entre les deux années est donc plus basse, tant pour le site « exposé » que pour les sites témoins.

Les analyses statistiques pour les indicateurs de communauté démontrent une différence significative entre les communautés d'invertébrés benthiques avant les travaux de rechargement et l'année suivante pour la richesse taxonomique (nombre de taxons différents) et l'indice de similarité (nombre de taxon et d'organismes de chaque taxon) au site « exposé » ainsi que pour l'indice de similarité pour le site témoin TRPL2 pour la zone de marnage supérieure. Ces résultats confirment que la diversité des organismes (richesse taxonomique) et la similarité des organismes présents sont plus basses pour le site « exposé » et pour le site témoin TRPL2 en 2019.

L'analyse statistique effectuée avec les résultats associés à la structure des communautés benthiques provenant de l'indice de similarité (PERMANOVA) démontre une différence significative pour la distribution ou la composition taxonomique des communautés benthiques pour le site témoin TRPL2 avant les travaux de rechargement et l'année suivante pour la zone de marnage supérieure. Cette différence confirme la présence d'une certaine variabilité naturelle interannuelle dans la zone de marnage supérieure concernant la distribution ou la composition taxonomique des communautés et démontre que la diversité obtenue pour le site témoin TRPL2 est plus basse en 2019.

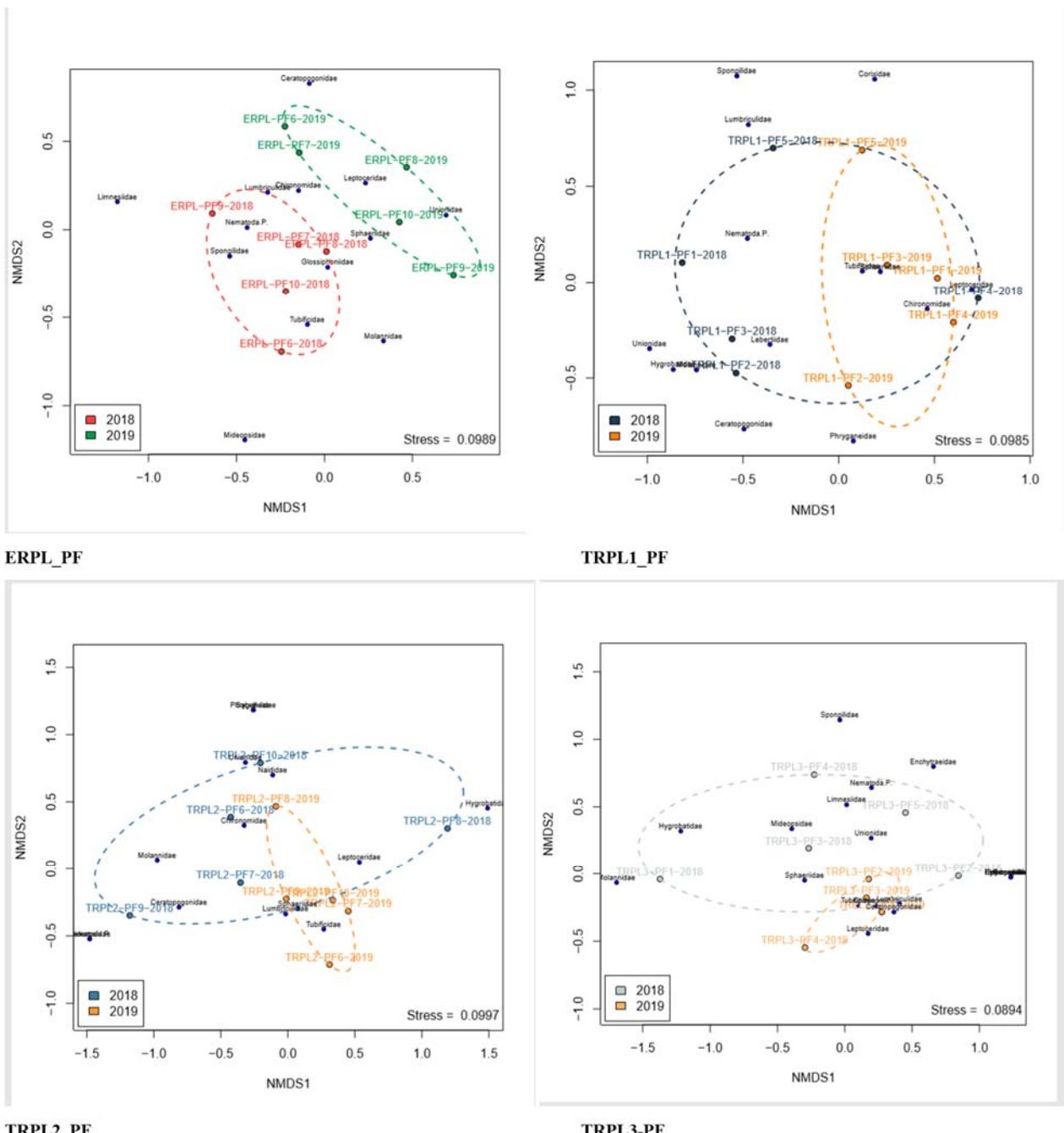


Figure 11. Cadrage non métrique multidimensionnel des densités d'invertébrés benthiques dénombrés dans la zone profonde en 2018 et 2019

ZONE DE MARNAGE INFÉRIEURE

Dans la zone de marnage inférieure en 2018, trois stations n'ont présenté aucun organisme alors qu'en 2019, c'est seulement deux stations. Toutes étaient localisées au site témoin TRPL1.

Pour la zone de marnage inférieure, on remarque également une réduction du nombre d'organismes différents (taxons) en 2019, mais moins importante, le nombre étant passé de 10 à 7 taxons. Les sites sont généralement dominés par les insectes avec peu de diversité; les chironomides sont dominants comme pour la zone de marnage supérieure. La richesse taxonomique moyenne est variable : elle a augmenté en 2019 aux sites « exposé » et témoin TRPL1, diminué au site TRPL2 et s'est maintenue au site TRPL3.

Les analyses statistiques pour les indicateurs de communauté démontrent une différence significative entre les communautés d'invertébrés benthiques avant les travaux de recharge et l'année suivante avec une augmentation de la richesse taxonomique (nombre de taxons différents) au site « exposé », pour la zone de marnage inférieure. Les analyses statistiques présentent également une différence significative indiquant une augmentation de la diversité entre les deux années de suivi pour le site témoin TRPL3. Les résultats présentent aussi une différence significative à la hausse pour l'indice de similarité (nombre de taxon et d'organismes de chaque taxon) pour le site témoin TRPL3. Ces résultats confirment que la diversité des organismes (richesse taxonomique) et la similarité des organismes présents sont plus élevées pour le site « exposé ». Les résultats démontrent également que la diversité et la représentativité (similarité) sont plus grandes pour le site témoin TRPL3 en 2019.

L'analyse statistique effectuée avec les résultats associés à la structure des communautés benthiques provenant de l'indice de similarité (PERMANOVA) démontre une différence significative pour la distribution ou la composition taxonomique des communautés benthiques pour le site « exposé » avant les travaux de recharge et l'année de suivante pour la zone de marnage inférieure. Cette différence confirme la présence d'une variabilité interannuelle dans la zone de marnage inférieure concernant la distribution ou la composition taxonomique des communautés et démontre que la diversité obtenue pour les sites « exposé » et TRPL3 est plus basse en 2019.

ZONE PROFONDE

En 2018 et 2019, des organismes ont été observés dans l'ensemble des stations pour la zone profonde. De façon générale on remarque également une réduction du nombre d'organismes différents (taxons) en 2019, le nombre étant passé de 21 à 14 taxons. Les sites sont généralement dominés par le taxon des mollusques, suivis des insectes. La diversité des organismes entre les deux années est donc plus faible, tant pour le site « exposé » que pour les sites témoins.

L'analyse statistique effectuée avec les résultats associés à la structure des communautés benthiques provenant de l'indice de similarité (PERMANOVA) démontre une différence significative pour la distribution ou la composition taxonomique des communautés benthiques pour les sites témoin TRPL2 et TRPL3 avant les travaux de recharge et l'année suivante pour la zone profonde. Cette différence confirme la présence d'une variabilité interannuelle dans la zone profonde concernant la distribution ou la composition taxonomique des communautés et démontre que la richesse taxonomique pour les sites témoin TRPL2 et TRPL3 est plus basse qu'en 2019.

4 CONCLUSION

Concernant les travaux de rechargement de plage en lac, trois sites témoins et un site « exposé » ont été inventoriés en 2018 afin de constituer l'état de référence pour le suivi des communautés d'invertébrés benthiques reliés au PSBLSJ. Ce suivi a permis de documenter les abondances naturelles des invertébrés benthiques dans le secteur de Saint-Henri-de-Taillon, et ce, pour trois strates de profondeur. Des travaux de rechargement de plage ont été effectués au site « exposé » à l'automne 2018. Les mêmes stations ont été inventoriées en 2019 après les travaux.

De manière générale, pour tous les sites, les abondances des invertébrés benthiques se sont avérées faibles pour les deux années de suivi. La zone de marnage supérieure présente les densités d'organismes les plus faibles, suivi de la zone de marnage inférieure et de la zone profonde qui présentent toutes deux environ trois fois plus d'organismes. Pour l'ensemble des quatre sites suivis, la densité totale d'organismes était similaire entre l'année de référence (2018) et l'année suivant la réalisation des travaux de recharge (2019). La faible abondance d'organisme n'a pas permis de calculer plusieurs indices descriptifs des communautés présentes et plusieurs analyses statistiques n'ont pu être effectuées.

Les résultats des suivis 2018 et 2019 ont permis de démontrer la présence d'une importante variabilité naturelle interannuelle. En effet, il y avait moins de taxons différents par site en 2019 qu'en 2018, et ce, pour tous les sites (richesse taxonomique). La zone de marnage supérieure présente le nombre de taxons le plus faible, suivi de la zone de marnage inférieure et de la zone profonde.

Pour la zone de marnage supérieure au site « exposé », il y avait un moins grand nombre de taxons différents (richesse taxonomique) en 2019 qu'en 2018 et aussi une moins grande abondance d'organismes à l'intérieur de chaque type de taxons (similarité des organismes). La zone témoin TRPL2 présentait également une moins grande abondance de chaque type de taxons en 2019.

Pour la zone de marnage inférieure au site exposé, c'est le contraire. Il y avait un plus grand nombre différent de taxons en 2019 qu'en 2018 et aussi une plus grande abondance d'organismes de chaque type de taxons. Pour la zone de marnage inférieure au témoin TRPL3, une plus grande diversité (nombre de taxon et importance des organismes dans les taxons dans l'échantillon) a été notée en 2019 ainsi qu'une plus grande abondance d'organismes de chaque type de taxons (similarité des organismes).

Finalement pour la zone profonde aux sites témoin TRPL2 et TRPL3, elle présentait une moins grande abondance d'organismes de chaque type de taxons en 2019 qu'en 2018.

Enfin, les résultats obtenus lors des suivis au site « exposé » ne permettent pas de démontrer de différence spécifique avant et après les travaux de recharge de plage en lac. Certaines différences (baisse et hausse dans les descripteurs des communautés) obtenues à différentes profondeurs d'eau pour le site « exposé » ont également été enregistrées pour des sites témoin ce qui démontre une variabilité naturelle et interannuelle importante dans la composition des communautés benthiques. Les autres suivis à venir prévus pour les deux prochaines années pourront apporter une meilleure compréhension de la dynamique de populations.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CLARKE, K.R. 1993. *Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure.* Australian journal of Ecology 18 :117-143.
- CLARKE, K.R. et R.M. WARWICK. Second edition 2001. *Change in marine communities : An approach to statistical analysis and interpretation.* 2nd Edition. Plymouth Marine Laboratory, UK. 165 p.
- CONSEIL CANADIEN DES MINISTRES DE L'ENVIRONNEMENT (CCME). 2019. *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement.* En ligne : <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/fr/index.html>. Consulté le 9 janvier 2019.
- ENVIRONNEMENT CANADA. 2012. *Guide pour l'étude du suivi des effets sur l'environnement par les mines de métaux.* Pagination multiple.
- GRALL, J. et N. Coïc. 2006. *Synthèse des méthodes d'évaluation de la qualité du benthos en milieu côtier.* Institut Universitaire Européen de la Mer, Université de Bretagne Occidentale, Laboratoire des sciences de l'Environnement marin. 91 p.
- GRAY J.S. et M. Elliot. 2009. *Ecology of Marine Sediments: From Science to Management.* Oxford University Press, Oxford, UK. 225 p.
- JONES, C., K.M. Somers, B. Craig et T.B. Reynoldson. 2007. *Ontario Benthos Biomonitoring Network Protocol Manual.* Ontario, Ministry of Environment.
- MANDAVILLE, S.M. 2002. *Benthic macroinvertebrates in freshwaters. Taxa tolerance values, metrics and protocols.* Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax. 47 p.
- MERRITT, R.W., K.W. Cummins et M.B. Berg eds. 2008. *An introduction to the aquatic insects of North America.* 4th ed., Kendall/Hunt, Dubuque, IA, 1158 pp.
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MDDEFP). 2013. *Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec – Cours d'eau peu profonds à substrat grossier, 2013.* Direction du suivi de l'état de l'environnement. ISBN 978-2-550-69169-3 (PDF), 2^e édition : 88 p. (incluant 6 ann.).
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MELCC). 2019. *Critères de qualité de l'eau de surface.* En ligne : http://www.environnement.gouv.qc.ca/EAU/criteres_eau. Consulté le 9 janvier 2019.
- MOULTON II, S.R., J.L. Carter, S.A. Grotheer, T.F. Cuffney et T.M. Short. 2000. *Methods of analysis by the U.S. Geological Survey National Water Quality Laboratory; processing, taxonomy, and quality control of benthic macroinvertebrate samples.* Open-file report 00-212. U.S. Geological Survey (USGS), Denver. 49 p.
- PELLETIER, L. 2002. *Le bassin de la rivière Saint-Maurice : les communautés benthiques et l'intégrité biotique du milieu, 1996.* Québec, ministère de l'Environnement, Direction du suivi de l'état de l'environnement, envirodoq n° ENV/2002/0291, rapport n° EA/2002-02, 85 p. et 4 annexes.
- ROY, V. 2014. *Étude des facteurs environnementaux structurant la diversité et la distribution des communautés benthiques de l'Arctique canadien.* Thèse de doctorat. Université du Québec à Rimouski. 275 p.
- THORP, J.H. et A.P. COVICH. 2010. *Ecology and classification of North American freshwater invertebrates,* Third edition. Elsevier Science. 1 088 pp.

- VALENTINE, M. 1989. *Étude de la densité et de la répartition de la faune ichtyenne et benthique du lac Saint-Jean*. Centre Écologique du Lac St-Jean inc., Saint-Félicien. 49 p. et annexes
- WSP. 2015. *Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean 2017-2026, Étude d'impact sur l'environnement*. Rapport produit pour Rio Tinto Alcan. Pagination multiple + annexes.
- WSP. 2018a. *Protocole préliminaire pour le suivi des communautés d'invertébrés benthiques au lac Saint-Jean*. Note technique présentée au MFFP et MDDELCC. 7 septembre 2018. 9 p.
- WSP. 2018b. *Suivi des communautés d'invertébrés benthiques au lac Saint-Jean – Choix de sites pour le suivi 2018*. Note technique présentée au MFFP et MDDELCC. 21 août 2018. 19 p.

ANNEXE

1

**PROTOCOLE 2018-2019 POUR
LE SUIVI DES COMMUNAUTÉS
D'INVERTÉBRÉS
BENTHIQUES AU LAC
SAINT-JEAN**



NOTE TECHNIQUE

CLIENT :	Rio Tinto	
PROJET :	PSBLSJ 2018-2027	Réf. WSP : 191-11118-00
OBJET :	Protocole 2018-2019 pour le suivi des communautés d'invertébrés benthiques au lac Saint-Jean	DATE : 29 août 2019
DESTINATAIRE :	Mme Caroline Jolette	
C.C. :	MFFP, MELCC Changements Août 2019 (voir dans le texte p. 4 et 6 à 8)	

1 MISE EN CONTEXTE

Suite aux différentes rencontres de discussions tenues avec le MELCC et le MFFP dans le cadre du renouvellement du décret du Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean 2018-2027 (PSBLSJ), Rio Tinto s'est engagée à mettre en œuvre, dès 2018 selon le calendrier des travaux, une caractérisation de la faune invertébrée benthique.

Le présent document constitue le protocole final ajusté suite aux commentaires reçus et discutés avec le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) et le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). Le protocole d'échantillonnage établi en collaboration avec le MFFP et le MELCC sera appliqué dans la première année de l'adoption du nouveau décret. Une planification de suivi sera déposée l'été précédent chaque campagne d'inventaire.

Les objectifs de l'étude sont de :

- Caractériser la communauté d'invertébrés benthiques avant et après trois types de travaux de stabilisation des berges au lac Saint-Jean et ce dans deux types de milieux, soit à l'embouchure de rivière et en lac.
- Documenter l'impact de différents types de travaux de stabilisation des berges au lac Saint-Jean sur l'abondance des invertébrés benthiques.

2 MÉTHODOLOGIE PROPOSÉE

Afin d'être conforme au décret, il est proposé de couvrir à l'aide du plan d'échantillonnage les trois types d'ouvrages répartis dans deux types de milieux différents. Pour bien cerner l'effet environnemental potentiel relié aux travaux, notamment dans le cadre des rechargements, il sera important de considérer si des rechargements ont déjà été réalisés à proximité du secteur par le passé, ainsi que la date de ces travaux qui pourraient déjà avoir modifié les conditions du secteur. Les types de travaux visés par le suivi sont :

- rechargement de plage à l'embouchure de rivière;
- rechargement de plage en lac;
- nouvelle structure (ex. épi ou brise-lames) à l'embouchure de rivière;
- nouvelle structure (ex. épi ou brise-lames) en lac;
- nouvel empierrement (ex. nouveau perré) à l'embouchure de rivière;
- nouvel empierrement (ex. nouveau perré) en lac.

Zone d'étude : La zone d'étude est variable en termes d'étendue et sera dépendante des types de travaux à réaliser.

Type de plan d'échantillonnage : Plusieurs plans d'échantillonnage permettent de détecter des changements associés à l'activité anthropique. La méthode « Before/After » (BA) implique la collecte d'informations avant la réalisation des travaux et une comparaison est réalisée avec ces données une ou plusieurs années suivant les travaux. Cette approche est simple d'utilisation et permet de suivre l'évolution des communautés benthiques.

Cette méthode n'implique généralement pas le suivi d'un site témoin. Néanmoins, afin d'avoir un portrait de la variabilité naturelle interannuelle, il est proposé d'inclure dans l'étude des sites témoins. La sélection des sites témoins permettra d'avoir un design s'approchant de celui « Before/After/Control/Impact » (BACI).

En ce qui concerne les sites témoins il est proposé d'utiliser trois sites témoins par type de travaux et par type de milieu. Ces sites témoins ne serviront pas à comparer les résultats obtenus avec les sites exposés aux travaux, mais constitueront des témoins des conditions générales qui permettront d'interpréter les variations interannuelles, si présentes, en condition autres que celles pouvant être associées aux différents types de travaux telles que la météo, les tempêtes, les niveaux d'eau, etc. Chaque site témoin fera l'objet d'une justification, d'une description sommaire des conditions ainsi qu'un historique des interventions dans le secteur.

Le design implique la prise d'échantillons dans les six sites en suivant le même protocole et en échantillonnant durant la même période avant et après la réalisation des ouvrages (Underwood 1991; Green 1979).

Période d'inventaire : L'automne est généralement la période recommandée pour réaliser des inventaires d'invertébrés benthiques (Jones et coll. 2007; MDDEFP 2013). À cette période, les communautés benthiques présentent la forte richesse. La composition en espèces et en abondance est le reflet des conditions d'été et certains stades juvéniles sont plus développés, ce qui facilite l'identification. D'autre part, selon le PSBLSJ, le niveau d'eau pourra atteindre un niveau maximum de 16 pieds et un minimum de 14 pieds entre le 24 juin et le 1er septembre, ce qui permettra d'avoir une zone de marnage supérieure complètement inondée. Le niveau maximum passera à 15,5 pieds dès le 1^{er} septembre. Entre le 8 et le 21 septembre, la contrainte du niveau minimum du lac sera abaissée graduellement de 14 pieds à 13 pieds. Par la suite, le niveau du lac pourra encore être abaissé jusqu'à 12 pieds jusqu'au 31 décembre. Pour ces raisons, il est donc proposé de réaliser l'inventaire à la fin de l'été ou au début de l'automne soit avant le 8 septembre.

Fréquence d'échantillonnage : Une seule période d'échantillonnage sera réalisée afin d'éviter les variations saisonnières. Les échantillons de chaque site seront prélevés durant la même semaine. Ce choix est supporté par les travaux de Valentine (1989) qui n'avait soulevé aucune différence significative en fonction de la période d'échantillonnage couvrant juin à octobre.

Variables à considérer dans la sélection des stations d'échantillonnage :

Différentes variables seront considérées pour réaliser les analyses et évaluer les effets des ouvrages sur les communautés benthiques.

- **Site « exposé » :** Le site « exposé » se définit comme un site où des ouvrages sont réalisés.
- **Sites témoins :** Les sites témoins permettront de documenter la variabilité naturelle interannuelle. Pour chaque type de conditions (lac et embouchure de rivière) et pour chaque type de travaux (rechargeement, structure et empierrement) trois sites témoins seront choisis; un exemple est présenté sur la figure 1. Le choix de sites témoins devra :
 - Ne doit pas avoir fait l'objet de travaux antérieurement, ou à tout le moins pas d'interventions au cours des 5 dernières années. Il est à noter que cette condition apporte des défis liés à la sélection des sites témoins.
 - Ne pas faire l'objet de travaux durant le suivi, à moins d'une situation urgente nécessitant une intervention pour corriger une source d'érosion importante ponctuelle résultant par exemple d'une tempête.
 - Être localisés à bonne distance des sites exposés afin de limiter les interférences provenant des travaux. De façon préliminaire, nous avons considéré qu'une distance minimale de 500 m devrait être respectée pour éviter l'effet des ouvrages.
 - Présenter des caractéristiques similaires au niveau de la rive (densité d'habitations, présence ou absence d'affluent, type de végétation, état de la bande riveraine, etc.) que les sites exposés.
 - Présenter une composition granulométrique similaire aux sites des travaux.
 - Être situés dans un secteur similaire aux sites exposés en ce qui a trait aux forces érosives et l'exposition aux vents.
 - Être similaires aux sites exposés au niveau de la présence ou l'absence de végétation aquatique.
 - Se retrouver dans un secteur où la bathymétrie est similaire (présence ou absence de fosse, rupture de pente, haut-fond, baie, etc.).

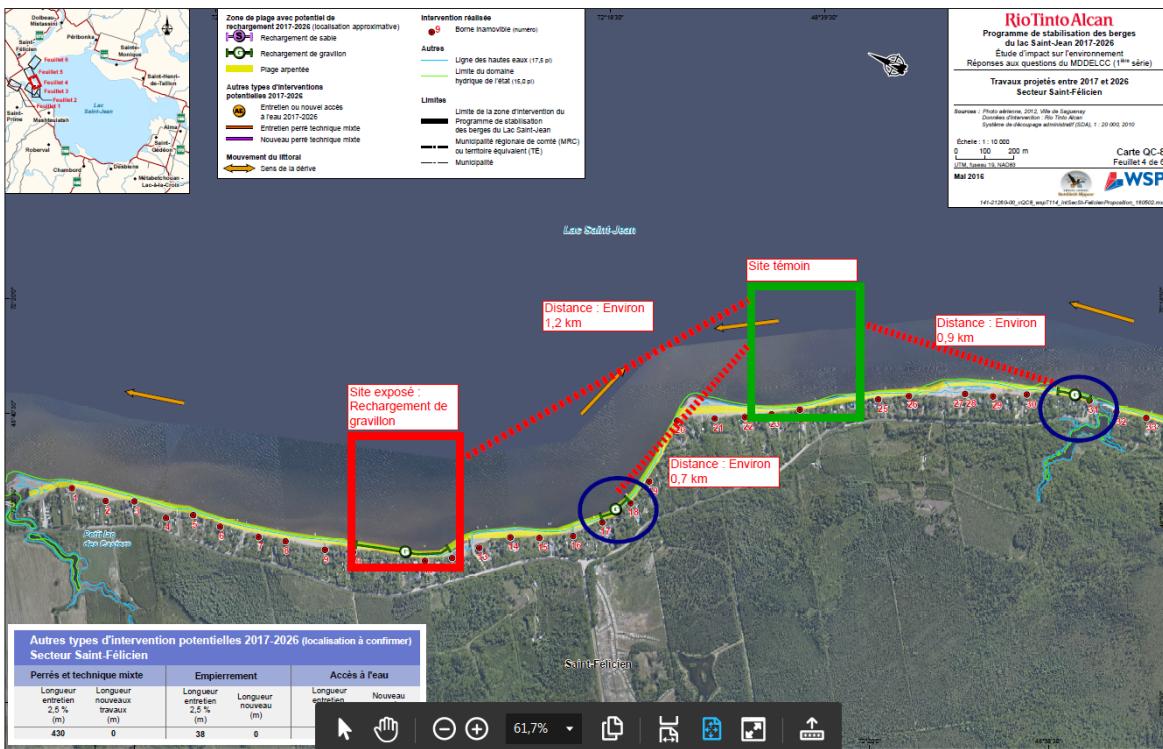


Figure 1. Exemple de sélection d'un site témoin

- **Variable ÉLÉVATION :** Étant donné que l'étude de Valentine (1989) soulignait des différences significatives entre la zone de marnage supérieure et la zone profonde, il est proposé de tenir compte de la profondeur d'eau (cote d'élévation) en échantillonnant des stations dans trois zones différentes soit :
 - la zone de marnage supérieure (cote d'élévation supérieure à 100,2 m);
 - la zone de marnage inférieure (cote d'élévation entre 98 et 100,2 m);
 - la zone profonde (cote d'élévation inférieure à 96 m ou profondeur maximale si élévation supérieure à 96 m).

Ces élévations seront traitées séparément dans les analyses statistiques. A l'année 0, les stations seront placées dans les zones requises en mesurant la profondeur de l'eau. Par la suite, si des modifications dans les élévations des stations ont lieu en raison de travaux de stabilisation, il est proposé de déplacer les stations afin d'obtenir les mêmes profondeurs qu'au site échantillonné lors de l'état de référence tout en étant le plus près possible de la station de référence. conserver les stations de manière fixe à partir de l'an 0 et de retourner à ces mêmes stations jusqu'à l'an 3 malgré les variations locales de profondeur.

En rivière, il est possible que la zone profonde n'atteigne pas l'élévation de 96 m. Si tel est le cas, la profondeur maximale retrouvée dans le chenal au large du site exposé constituera l'élévation retenue pour la zone profonde. Cette profondeur sera également recherchée aux zones profondes à échantillonner aux sites témoins (voir carte en exemple présentée en annexe).

- **Variable SUBSTRAT** : La variabilité associée au substrat ne sera pas considérée comme un facteur, mais sera intégrée lors de la sélection du site témoin. Ainsi, les sites exposés et témoin devront avoir un substrat similaire afin de limiter la variabilité des communautés d'invertébrés benthiques.
- **Variable ANNÉE** : Cette variable sera un facteur à considérer dans les analyses statistiques. L'échantillonnage des stations sera réalisé avant et après la réalisation des ouvrages selon le calendrier suivant :
 - An 0 : Avant de réaliser les travaux (ex. pour des travaux prévus à l'automne 2018 ou à l'hiver 2019 : échantillonnage en septembre 2018).
 - An 1 : À l'automne suivant la réalisation des travaux.
 - An 2 : Au deuxième automne suivant la réalisation des travaux.
 - An 3 : Au troisième automne suivant la réalisation des travaux.
- **Variable DISTANCE** : Tel que recommandé dans la section traitant de la sélection des sites témoins, la bathymétrie devrait être similaire entre les stations « exposées » et témoins afin d'éviter de retrouver des patrons de distribution des stations trop différents. Ce choix permettra de limiter le plus possible le biais associé à la distance avec la rive. Cette variable sera tout de même mesurée au terrain puis prise en compte lors de certaines analyses univariées.

Méthode d'échantillonnage : Il est proposé de placer, au total, cinq stations d'échantillonnage par élévation, et ce pour chaque site pour un total de 15 stations (figure 2). À chaque station, il est prévu de prélever trois sous-échantillons de benthos qui seront mis ensemble afin de constituer un échantillon composite pour augmenter la superficie couverte. Chaque sous-échantillon de benthos sera composé de deux coups de benne. Une superficie de 0,14 m² sera ainsi échantillonnée à chaque station. Un échantillon de sédiments sera également récolté afin d'analyser la composition granulométrique selon l'échelle de Wentworth. Les coordonnées géographiques des stations d'échantillonnage seront relevées au moyen d'un appareil GPS *Garmin 62s*, avec correction différentielle WAAS, offrant généralement une précision de l'ordre de 2 à 3 m.

La distance entre les stations pour les sites « exposés » sera ajustée en fonction de la longueur linéaire des travaux. Ainsi, pour un site de rechargement présentant une largeur de 200 m les stations seront également réparties sur toute la longueur (ex. 0 à 20 m, 20 à 60 m, 60 à 120 m, 120 à 180 m et 180 à 200 m). Pour une structure perpendiculaire à la rive tel un épi, deux stations seront réparties de chaque côté de la structure et distancées d'environ 20 m. Pour les sites témoins, l'espacement sera ajusté pour refléter la longueur des sites de travaux et selon les conditions du milieu avec un minimum de 20 m entre les stations.

Le même plan d'échantillonnage sera réutilisé pour chacune des stations témoins et pour tous les types d'ouvrage, et ce pour chaque année de suivi prévu (année 0 à année 3). Bref, le nombre de stations d'échantillonnage serait donc de 15 par sites pour six sites témoins généraux (lac et embouchure de rivière) et trois sites de travaux en lac et en rivière (rechargement et nouvelle structure et nouvel empierrement).

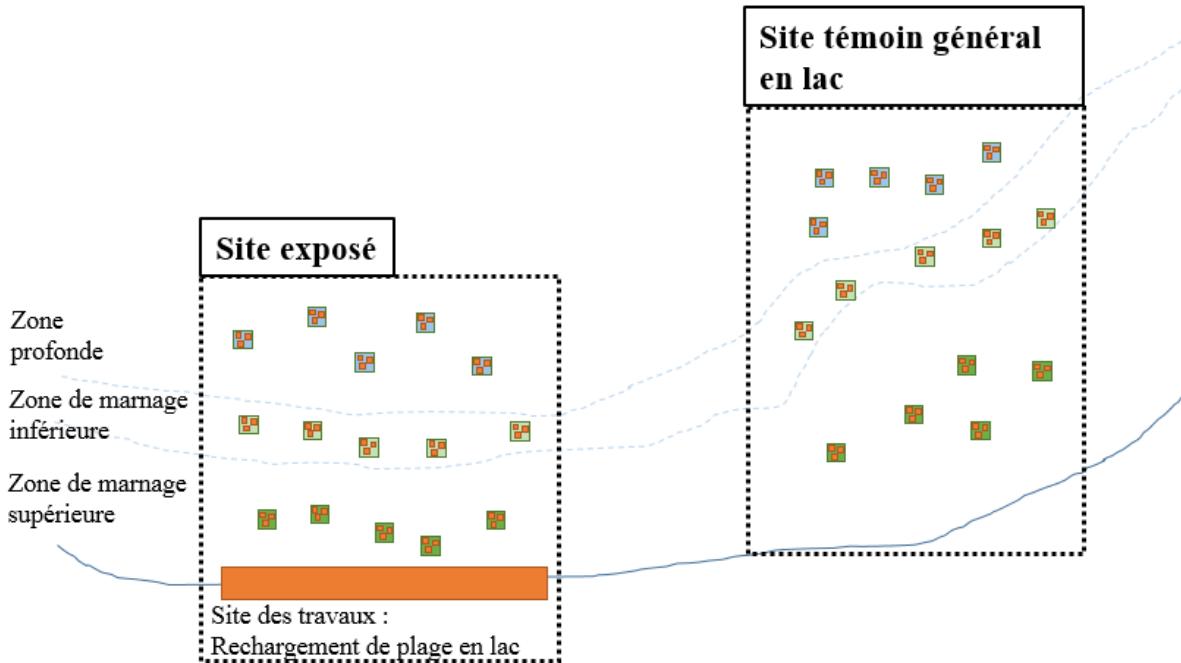


Figure 2. Exemple de plan d'échantillonnage pour un site des travaux (site « exposé ») et un site témoin (en lac)

Matériel d'échantillonnage : Une petite benne Ponar ($0,023 \text{ m}^2$) munie d'un treillis de $500 \mu\text{m}$ sera utilisée pour prélever les échantillons. Cet appareil permet de prélever les sept premiers centimètres de substrat. Ce type de benne est plus performant que le modèle Eckman qui présente des problèmes de fermeture en présence de substrat plus grossier.

Une fois récoltés, les échantillons seront tamisés à l'aide d'un tamis de $500 \mu\text{m}$ afin de conserver uniquement les organismes prélevés. Il est possible qu'une grande quantité de substrat soit récoltée et qu'un fractionnement soit nécessaire lorsque le refus du tamis contient encore beaucoup de substrat. Pour réaliser le fractionnement, le refus qui contient encore beaucoup de sable sera étalé uniformément au fond d'un bac rectangulaire à fond plat préalablement quadrillé. Dépendamment de la quantité de refus, une ou plusieurs parts seront prélevées afin de remplir un pot de $1,5 \text{ L}$. Cette portion représentera ainsi l'échantillon à analyser. La fraction du refus prélevée sera notée afin d'ajuster les calculs d'abondance subséquemment.

En présence de sable trop grossier ou de gravillon, il sera nécessaire d'appliquer la méthode d'élutriation afin de faciliter le tri des échantillons et la récolte des spécimens. L'élutriation est un procédé permettant de retirer une substance d'un mélange en procédant au lavage et à la décantation. Elle permet aux particules les plus légères, soit les débris organiques et les invertébrés benthiques, de se séparer des particules plus lourdes (substrat). Pour ce faire, un vortex est créé afin de pousser les organismes vers le haut (figure 3). Le substrat étant plus lourd, celui-ci demeure en place au fond du bocal. Le mélange est ensuite délicatement versé dans un tamis afin de récupérer les organismes. Cette opération est répétée

minimalemen t cinq fois en versant de l'eau propre sur le substrat. À la fin, une inspection visuelle du substrat est réalisée afin de s'assurer que les plus gros organismes ont été récupérés (ex : mollusques, gastéropodes). Une validation de contrôle/qualité du substrat sera réalisée sur 10 % des échantillons afin d'évaluer le pourcentage d'organismes qui n'ont pas été récupérés par cette méthode.



Figure 3. L'échantillon est brassé afin de créer un vortex dans l'eau. L'échantillon est ensuite versé dans un tamis afin de récolter uniquement les organismes qui remontent à la surface (figure tirée de Burres, 2010)

Les échantillons de chaque station seront conservés séparés dans une solution d'éthanol à 80 % dans des bocaux à couvercle étanche jusqu'à leur traitement au laboratoire.

Travaux de laboratoire : Le tri et l'identification des organismes benthiques seront réalisés par des professionnels qualifiés. Au laboratoire, les échantillons seront rincés à l'eau claire dans des tamis superposés. Les organismes récoltés seront dénombrés et regroupés selon les grands groupes taxonomiques. Un contrôle de la qualité du tri sera effectué sur certains échantillons par une personne autre que le trieur d'origine. Les méthodes utilisées lors du tri seront recommandées par les experts mandatés. L'identification taxonomique des organismes benthiques seront réalisés à l'aide de clés d'identification citées dans Merrit et coll. (2008) et dans Thorp et Covich (2010).

Niveau taxonomique pour l'identification : Le niveau d'identification proposé est celui de la famille et il pourra être précisé dans des cas plus faciles. Ce niveau taxonomique est celui recommandé par Jones et coll. (2007) pour ce genre d'étude.

La méthodologie d'analyse est basée sur des protocoles que les Laboratoires SAB inc (une firme spécialisée en analyse taxonomique) utilisent depuis des années dont celui des ESEE (Étude du suivi des effets sur l'environnement aquatique par les mines de métaux et les papetières) par Environnement Canada (1998 et 2002). Cette approche rejoint en tout point celle utilisée par U.S. Geological Survey (2000) sauf pour le sous-échantillonnage qui ne sera pas requis puisque les échantillons seront petits et peu riches. Une collection de référence sera également montée, mais non validée par une firme externe.

Indicateurs d'effet : Il est proposé d'utiliser plusieurs indicateurs d'effet afin d'évaluer l'effet potentiel des ouvrages sur les communautés d'invertébrés benthiques. Des indicateurs d'effet exprimant différents aspects de la structure des communautés benthiques seront utilisés pour évaluer la présence de différences avant et après les travaux. Ces indicateurs sont basés sur ceux recommandés dans le cadre de suivi biologique réalisé dans des cours d'eau (MDDEFP 2013). Les indicateurs d'effet proposés sont :

- densité totale;
- richesse taxonomique;
- indice de diversité de Shannon-Wiener;
- équitabilité de Simpson;
- coefficient de Bray-Curtis.

En raison de la faible abondance et de la faible diversité retrouvées lors du suivi réalisé en 2018, de nouveaux indices seront évalués et proposés dans un addenda au présent protocole suite à la réception des identifications taxonomiques du suivi à réaliser en 2019.

Analyses statistiques : Une combinaison d'analyses univariées et multivariées est proposée pour détecter la présence de différences significatives entre les sites et selon les années. Les analyses statistiques seront réalisées avec le logiciel R (R Core Team 2015), SYSTAT ou un équivalent. Les analyses seront réalisées en considérant le facteur ANNÉE. Sans s'y restreindre, les méthodes d'analyses envisagées sont les suivantes :

- **ANOVA** : Une analyse de variance sera réalisée pour chacun des indicateurs d'effet proposés. Les comparaisons seront réalisées pour chacune des élévations et pour chaque type d'ouvrage en utilisant une ANOVA à un seul facteur (facteur ANNÉE). Si des différences sont présentes au niveau de la distance avec la rive, le facteur distance sera également utilisé dans les analyses comme covariable.
- **PERMANOVA** : L'analyse de la structure des assemblages des communautés benthiques sera réalisée en utilisant l'indice de dissimilarité de Bray-Curtis. Les comparaisons seront réalisées pour chacune des élévations en utilisant des analyses de variance multivariées par permutation (PERMANOVA). L'analyse PERMANOVA permet l'application de modèles plus complexes avec ou sans interactions. De plus, cette méthode peut être utilisée avec différentes mesures de similarité telles que les valeurs réelles et non de rang (Grégoire et coll. 2014).
- **SIMPER** : La procédure SIMPER est utilisée pour calculer la contribution des espèces à la similarité moyenne (Bray-Curtis) d'un groupe à la condition que ce dernier comprenne au moins deux échantillons. Cette procédure permet d'identifier les espèces qui sont les plus importantes dans la création des patrons de similarité entre différents groupes d'échantillons (Clarke et Warwick 2001; Grégoire et coll. 2014).
- **nMDS** : Afin de visualiser graphiquement les différences, un cadrage non métrique multidimensionnel (nMDS) sera utilisé. Chaque dimension représentera un taxon. Le but de cette représentation est de rassembler l'information provenant de multiples dimensions (par exemple, l'abondance de chacun des taxons) et de la ramener à deux dimensions afin que les données puissent être visualisées et interprétées. Cette représentation utilise les rangs, ce qui la rend flexible pour plusieurs types de données. La figure 3 présente un exemple de représentation graphique possible dans le cadre de l'étude. Dans cet exemple, chaque point représente une station échantillonnée et son indice calculé en utilisant tous les taxons présents dans cette station. Plus les stations présentent des dissimilarités au niveau des assemblages des espèces, plus la distance qui sépare les points sera grande dans le cadrage. Ainsi, selon l'exemple présenté, pour la zone de marnage supérieure pour des travaux hypothétiques concernant des rechargements de plage, les assemblages des espèces de l'an 1 seraient différents des assemblages obtenus à l'an 0 alors que les assemblages de l'an 2 et l'an 3 se rapprocheraient de ceux obtenus à l'an 0. Des tests statistiques permettraient de confirmer la significativité des différences observées.

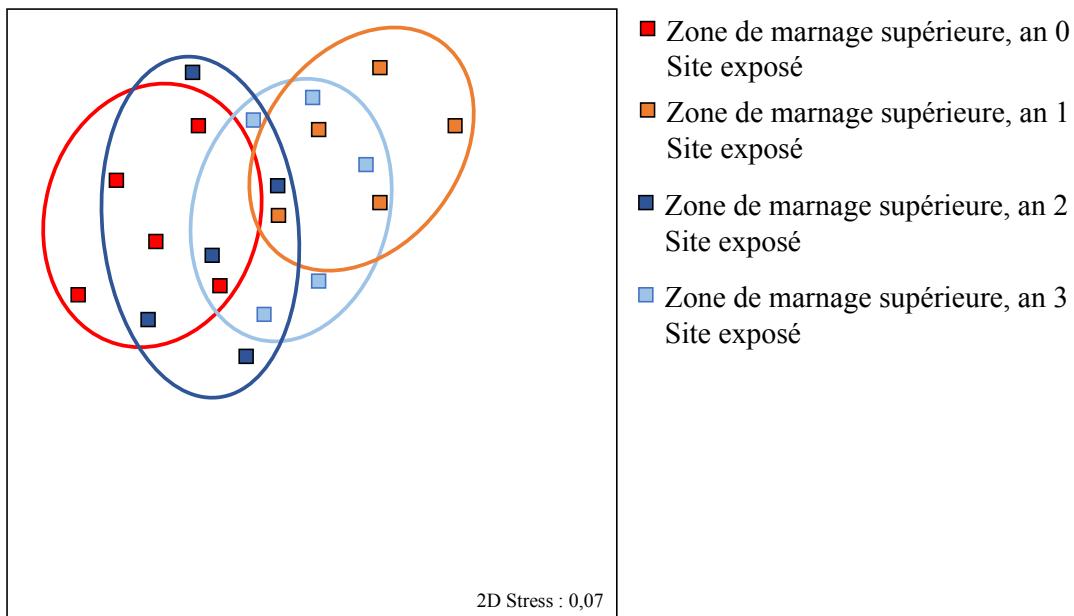


Figure 4. Exemple de cadrage non métrique multidimensionnel attendu dans le cadre de la présente étude représentant la comparaison pour les quatre années de suivi dans la zone de marnage supérieure pour un type d'ouvrage

Références

- BURRES, Erick. 2010. *Standard Operating Procedure (SOP) 3.5.2.2. Elutriation of Sandy Rapid Bioassessment Benthic Macro Invertebrate Samples*. In State Water Resources Control Board. 2018. Guidance Compendium for Watershed Monitoring and Assessment. SWAMP - Clean Water Team Citizen Monitoring Program. California Water Boards.
En ligne [https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/cwt_guidance.html]
- CLARKE, K.R. et R. M. Warwick. 2001. *Change in marine communities: an approach to statistical analyses and interpretation, 2nd edition*. PRIMER-E, Plymouth.
- GREEN, R.H. 1979. *Sampling Design and Statistical Methods for Environmental Biologists*, Wiley, Chichester.
- GRÉGOIRE, F., L. Girard et J.-L. Beaulieu. 2014. *Analyses de similarité appliquées sur les abondances de larves de poissons récoltées dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1983 et 2012*. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2014/080. v + 16 p.
- JONES, C., K.M. Somers, B. Craig et T.B. Reynoldson. 2007. *Ontario Benthos Biomonitoring Network Protocol Manual*. Ontario, Ministry of Environment.
- MERRIT, R.W., K.W. Cummins et M.B. Berg, eds. 2008. *An introduction to the aquatic insects of North America*. 4rd ed., Kendall/Hunt, Dubuque, IA, 1158 pp.
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MDDEFP). 2013. *Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec – Cours d'eau peu profonds à substrat grossier*, 2013. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-69169-3 (PDF), 2^e édition : 88 p. (incluant 6 ann.).

- R CORE TEAM. 2015. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- SMITH, Eric P. 2002. *BACI design*. Volume 1, pp. 141-148 dans EL-SHARAWI, Abdel H. ET PIEGORSH, Walter W. 2002. *Encyclopedia of Environmetrics*. 2nd edition. Wiley. 2502 p.
- THORP, J.H. et A.P. Covich. 2010. *Ecology and classification of North American freshwater invertebrates, Third edition*. Elsevier Science. 1088 pp.
- UNDERWOOD, A.J. 1999. *Beyond BACI : Experimental designs for detecting human environmental impacts on temporal variations in natural populations*. Aust. J. Mar. Freshwater Res. Vol. 42, pp 569-587.
- VALENTINE, M. 1989. *Étude de la densité et de la répartition de la faune ichtyenne et benthique du lac St-Jean*. Centre écologique du lac St-Jean Inc. 49 p. + annexes.

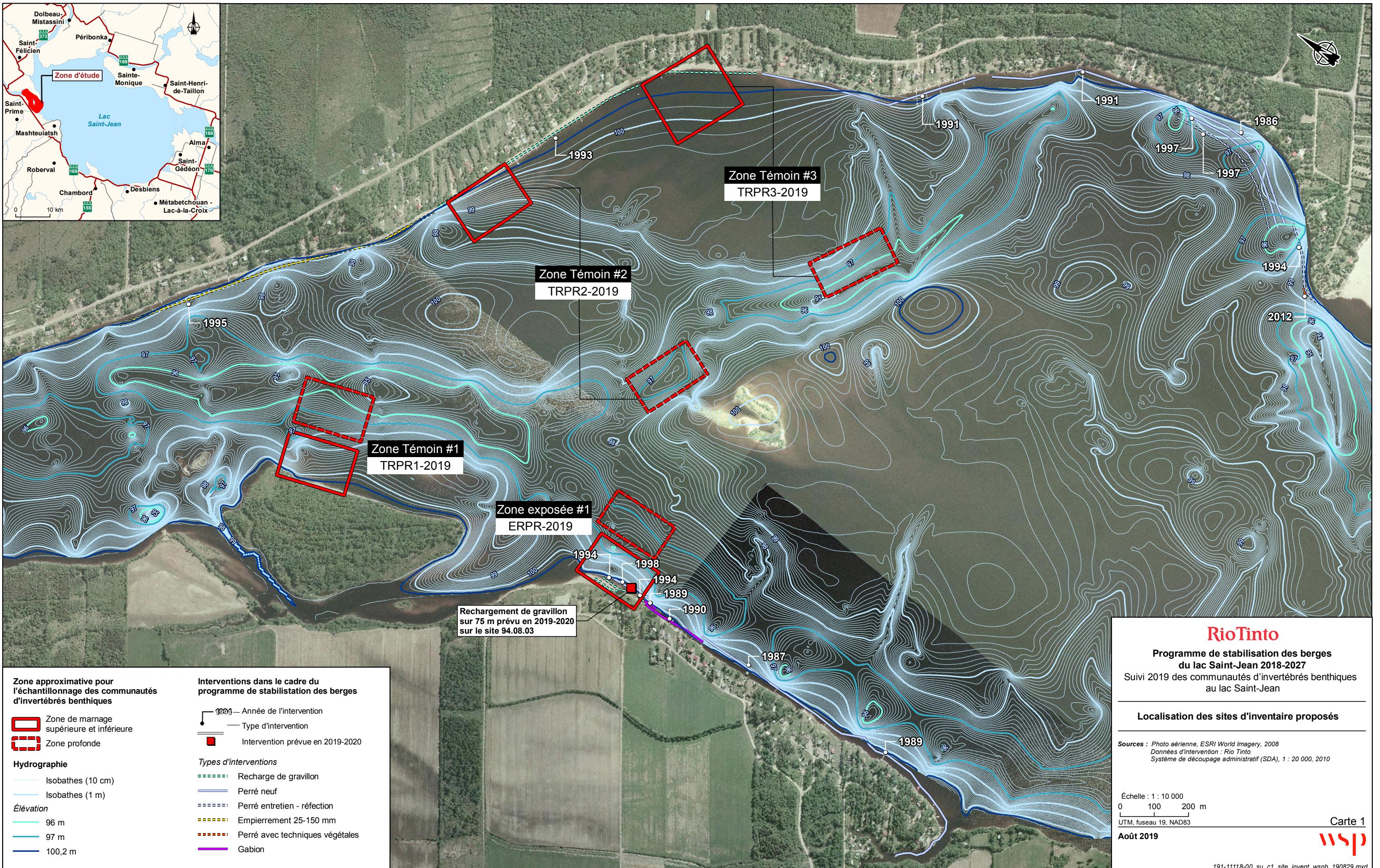
PRÉPARÉ PAR

Jérôme Plourde, biologiste M. Sc.
Études environnementales

RÉVISÉ PAR

Luc Bouchard, biologiste M. Sc.
Chargé de projet

ANNEXE A



ANNEXE

2

**CHOIX DES SITES POUR LE
SUIVI EN 2018 ET 2019**



NOTE TECHNIQUE

CLIENT :	Rio Tinto	
PROJET :	PSBLSJ 2018-2027	Réf. WSP : 181-03032-00
OBJET :	Suivi des communautés d'invertébrés benthiques au lac Saint-Jean – Choix de sites pour le suivi 2018	DATE : 21 août 2018
DESTINATAIRE : Mme Caroline Jolette		
C.C. : MFFP, MDDELCC		

1 MISE EN CONTEXTE

Suite aux différentes rencontres de discussions tenues avec le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) et le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) dans le cadre du renouvellement du décret du Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean 2018-2027 (PSBLSJ), Rio Tinto s'est engagée à mettre en œuvre, dès 2018 selon le calendrier des travaux, un suivi des communautés d'invertébrés benthiques au lac Saint-Jean.

Les objectifs de l'étude sont de :

- Caractériser la communauté d'invertébrés benthiques avant et après de trois types de travaux de stabilisation des berges au lac Saint-Jean, et ce, dans deux types de milieux, soit à l'embouchure de rivière et en lac.
- Documenter l'impact de différents types de travaux de stabilisation des berges au lac Saint-Jean sur l'abondance des invertébrés benthiques.

Le protocole final a été déposé le 20 juillet 2018 suite à des commentaires reçus et discutés avec le MFFP et le MDDELCC. Le protocole d'échantillonnage établi en collaboration avec le MFFP et le MDDELCC sera appliqué dans la première année de l'adoption du nouveau décret. Une planification de suivi doit être déposée l'été précédent chaque campagne d'inventaire en ce qui concerne le choix des sites.

Ce document présente les sites retenus pour le suivi 2018 qui sera axé sur **le rechargement de plage en lac**. On y retrouve une description des sites des travaux ainsi que des sites témoins retenus avec un argumentaire.

2 ZONE D'ÉTUDE

La zone d'étude se situe au nord-est du lac Saint-Jean, dans la municipalité de Saint-Henri-de-Taillon. Ce secteur présente l'avantage d'offrir des sites où des travaux de stabilisation seront effectués à l'hiver 2019 ainsi que des sites qui n'ont jamais fait l'objet d'intervention au cours des 30 dernières années.

2.1 CHOIX DU SITE « EXPOSÉ »

L'identification du site exposé a été effectuée en se basant sur plusieurs critères environnementaux et géomorphologiques, soit :

- composition granulométrique actuelle et future similaire au milieu naturel (sable);
- travaux réalisés en rive du lac Saint-Jean;
- distance linéaire prévue pour le rechargeement suffisamment élevée pour réaliser cinq stations d'échantillonnage (minimale 100 m);
- absence de cours d'eau permanent dans un rayon de 500 m;
- absence de structures connexes (épis, perrés, brise-lames) dans un rayon de 1 km;
- la possibilité de retrouver un site témoin similaire à proximité.

Les sites où des interventions en lien avec le PSBLSJ sont prévues en 2018 ainsi que l'analyse permettant de justifier la sélection du site « exposé » sont présentés au tableau 1 (annexe A).

2.1.1 SITE 88.15.01 – SITE ERPL-2018

Ce site est localisé dans la municipalité de Saint-Henri-de-Taillon au nord-est du lac Saint-Jean, près du Chemin sur le Lac, un secteur de villégiature développé presque exclusivement en rive (carte 1, annexe B). À l'exception des habitations directement situées sur les rives, l'intérieur des terres est majoritairement de type forestier. Les rives sont peu végétalisées et dominées par une plage de sable. Le site est rechargeé par Rio Tinto de manière récurrente avec du sable depuis 1988. Le dernier rechargement a eu lieu en 2015. Une avancée rocheuse au sud semble être la cause du déficit sédimentaire dans ce secteur. La dérive littorale s'effectue principalement envers le nord. L'embouchure de la rivière Taillon est située à environ 1 km au nord du site. La pente du littoral est faible et on ne retrouve pas de végétation aquatique. Le substrat attendu dans ce secteur est le sable fin. Ce site présente l'avantage d'être à proximité de plusieurs sites témoins potentiels similaires où aucun travaux de stabilisation n'a été réalisés par le passé.

2.2 CHOIX DES SITES TÉMOINS

En plus des critères énoncés ci-haut, l'identification de sites témoins a été réalisée en considérant les éléments suivants afin qu'il soit le plus similaire possible au site « exposé », tel que mentionné dans le protocole soumis préalablement au MFFP. Ainsi, un site témoin doit :

- Ne pas avoir fait l'objet de travaux antérieurement, ou à tout le moins pas d'interventions au cours des cinq dernières années. Il est à noter que cette condition apporte des défis liés à la sélection des sites témoins.
- Ne pas faire l'objet de travaux durant le suivi, à moins d'une situation urgente nécessitant une intervention pour corriger une source d'érosion importante ponctuelle résultant par exemple d'une tempête.
- Être localisé à bonne distance des sites exposés afin de limiter les interférences provenant des travaux. De façon préliminaire, nous avons considéré qu'une distance minimale de 500 m devrait être respectée pour éviter l'effet des ouvrages.

- Présenter des caractéristiques similaires au niveau de la rive (densité d'habitations, présence ou absence d'affluent, type de végétation, état de la bande riveraine, etc.).
- Présenter une composition granulométrique similaire aux sites des travaux.
- Être situés dans un secteur similaire aux sites exposés en ce qui a trait aux forces érosives et l'exposition aux vents.
- Être similaires aux sites exposés au niveau de la présence ou l'absence de végétation aquatique.
- Se retrouver dans un secteur où la bathymétrie est similaire (présence ou absence de fosse, rupture de pente, haut-fond, baie, etc.).

2.2.1 SITES TÉMOINS – SITES TRPL-2018

Les caractéristiques des sites « témoins » retenus sont présentées au tableau 1 (annexe A). Les trois sites témoins sont répartis dans des secteurs où aucune intervention récente n'a été réalisée (carte 2, Feuilles 1 à 3, annexe B). Le site TRPL1-2018 est situé dans le secteur de la plage Wilson. Le site TRPL2-2018 se retrouve dans le secteur du parc national de Pointe-Taillon. Enfin, le site TRPL3-2018 se retrouve dans le secteur de Chemin sur le Lac à un endroit où aucun travaux de stabilisation n'ont été réalisés depuis 1989 (rechargement de sable). Tous ces sites se retrouvent dans la municipalité de Saint-Henri-de-Taillon. Outre le site TRPL2-2018 qui est situé dans le parc national et donc qui ne présente aucune habitation en rive, les deux autres sites se retrouvent dans des secteurs de villégiature développés presque exclusivement en rive. À l'exception des habitations directement situées sur les rives, l'intérieur des terres est majoritairement de type forestier. Les rives sont peu végétalisées et dominées par une plage de sable. La dérive littorale s'effectue soit vers le nord (TRPL3-2018), soit vers le sud (TRPL2-2018) ou les deux directions (TRPL1-2018). On ne retrouve aucun cours d'eau permanent à proximité des sites. La pente du littoral est faible et on ne retrouve pas de végétation aquatique. Le substrat attendu dans chacun des sites est le sable fin.

Les sites témoins 1 à 3 se retrouvent respectivement à une distance de 4,4 km, 1,5 km et 1,8 km du site « exposé » retenu (carte 3).

PRÉPARÉ PAR

Jérôme Plourde, biologiste M. Sc.
Études environnementales

RÉVISÉ PAR

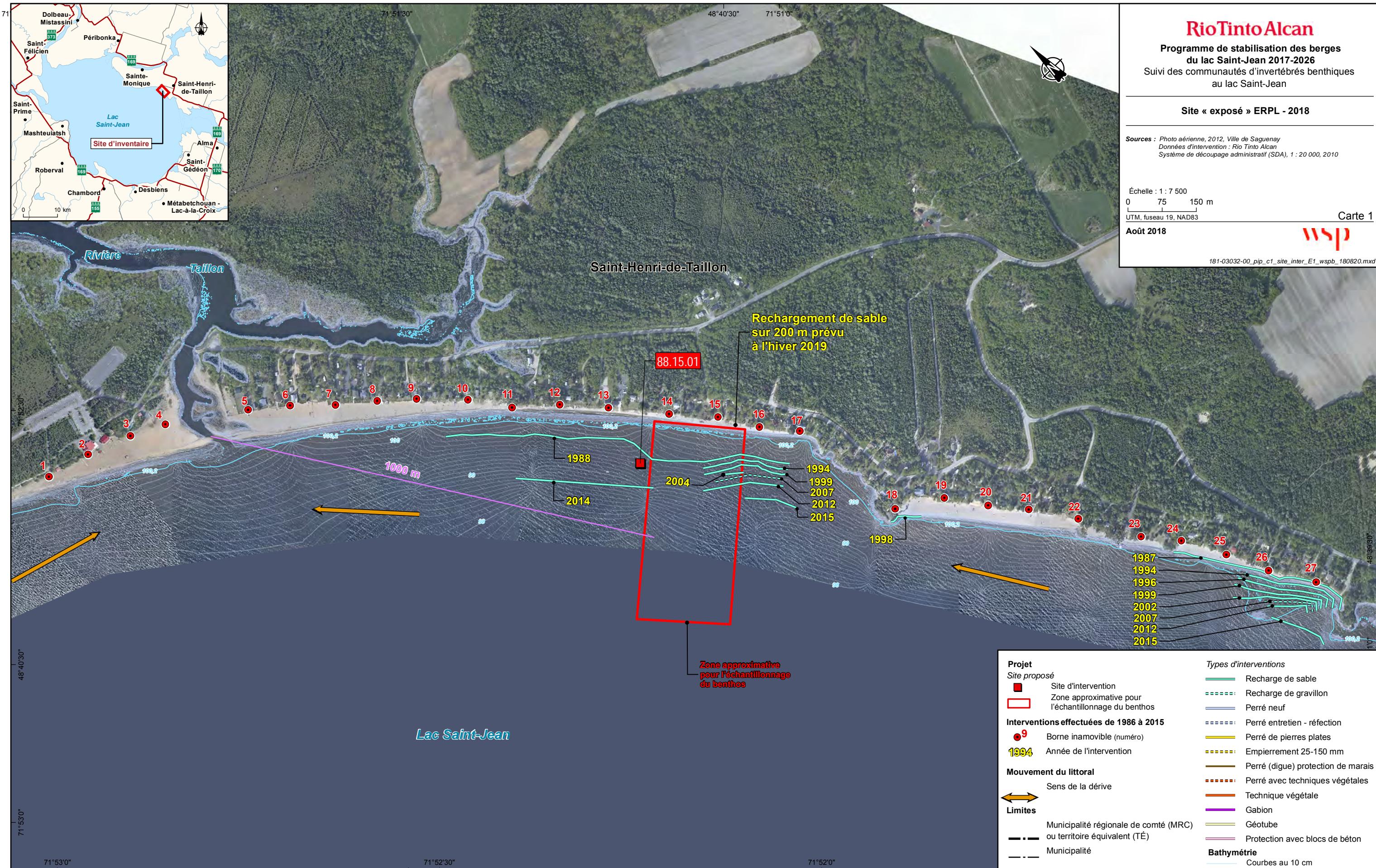
Luc Bouchard, biologiste M. Sc.
Charge de projet

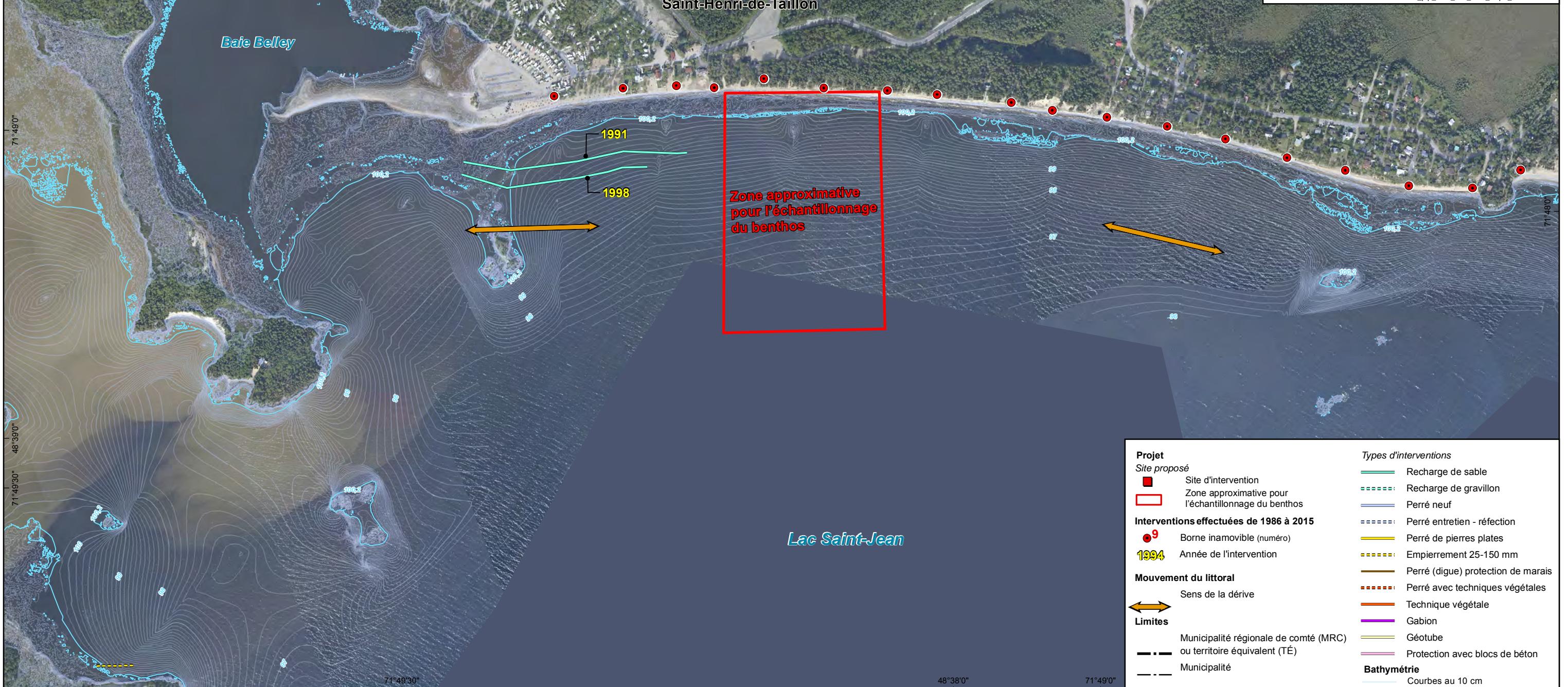
ANNEXE A

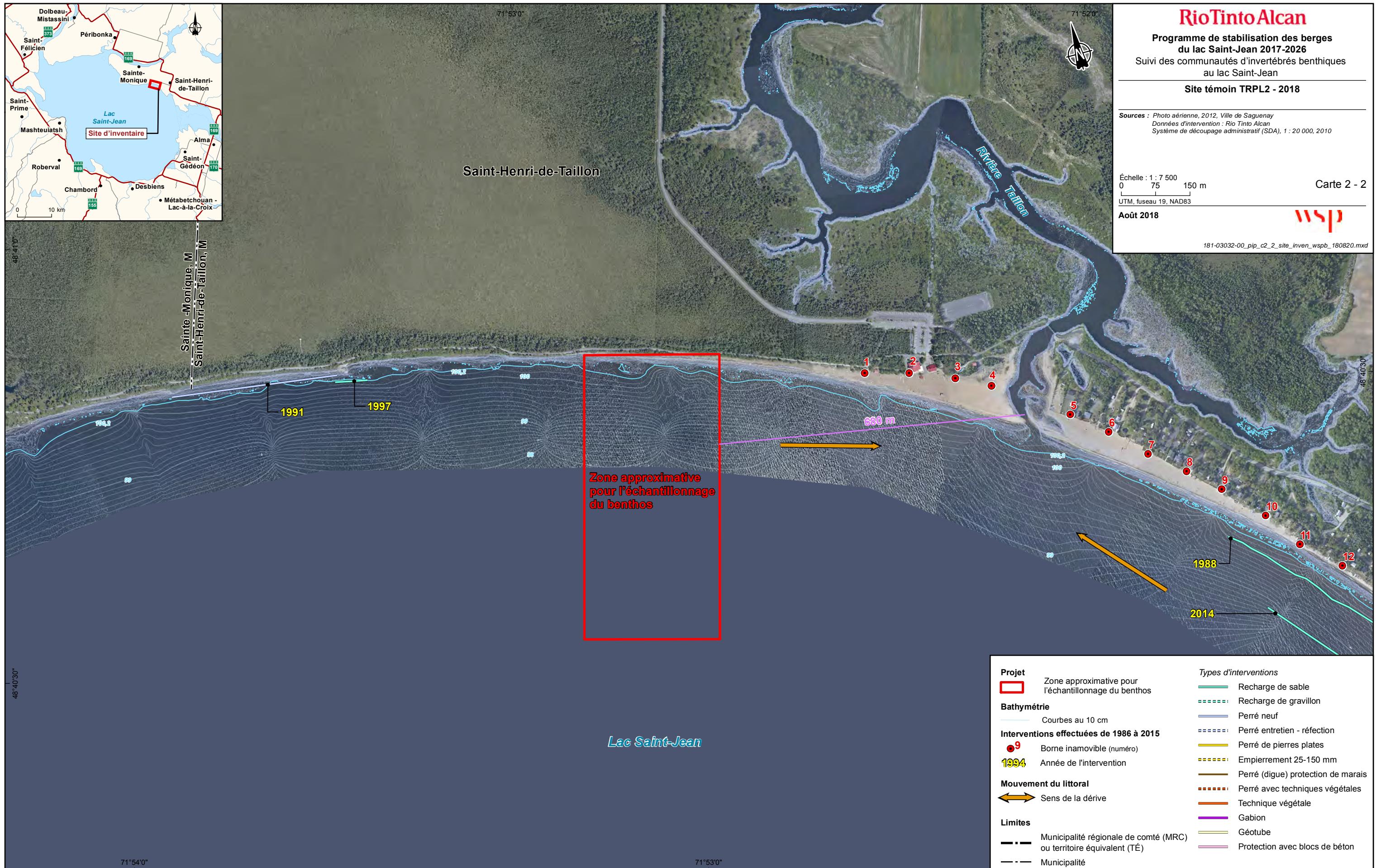
Tableau 1. Caractéristiques des sites des travaux prévus en 2018 et des sites témoins retenus

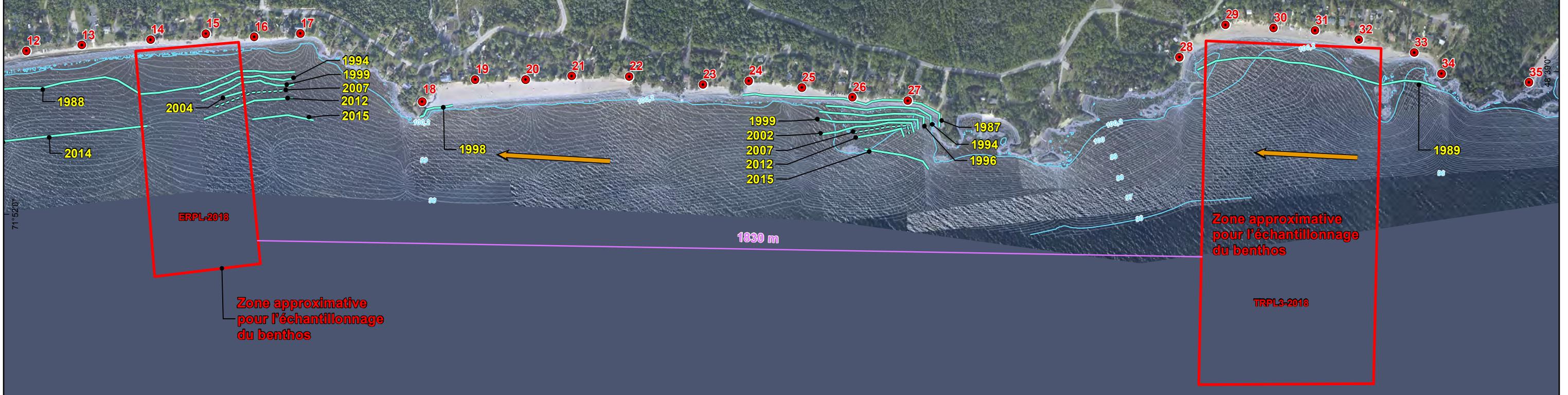
Site	Borne inamovible	Secteur	Municipalité	Type de travaux	Distance linéaire prévue pour les travaux	Date des derniers travaux réalisés	Description des derniers travaux réalisés à proximité	Densité d'habitations dans le secteur immédiat	Présence de cours d'eau permanent dans un rayon de 500 m	Type de milieu en rive	État de la bande riveraine	Composition granulométrique attendue	Végétation aquatique	Orientation géographique p/r au lac Saint-Jean	Force érosive	Présence de fosses ou d'îles	Pente du littoral	
Site « exposé »																		
98.02.01		Chemin des Bernaches	St-Gédéon	Rechargement de plage en lac	35 m		Travaux dans l'étang du Petit marais de St-Gédéon et non sur les rives du lac Saint-Jean											
93.02.02	30 à 32	St-Gédéon sur le lac	St-Gédéon	Rechargement de plage en lac	-		Présence d'épis et de la rivière La Belle-Rivière (travaux importants de reconfiguration du lit à venir) à proximité qui amèneront des facteurs confondants non négligeables											
91.03.01	-	Grand marais de Métabetchouan	Métabetchouan	Rechargement de plage en lac	250 m		Travaux dans l'étang du Grand marais et non sur les rives du lac Saint-Jean											
94.11.02	58 à 62	Racine-sur-Mer	Dolbeau-Mistassini	Rechargement de plage en lac	300 m		Présence de gravillons limite les possibilités de retrouver des sites témoins naturels présentant cette composition granulométrique											
88.11.01	1 à 11	Pointe Langevin	Dolbeau-Mistassini	Rechargement de plage en lac	550 m		Travaux situés à proximité de l'embouchure de la Petite rivière Péribonka et la rivière Péribonka qui amèneront des facteurs confondants non négligeables											
94.15.01	24 à 27	Chemin sur le Lac	Saint-Henri-de-Taillon	Rechargement de plage en lac	200 m		Ce site a fait l'objet d'un léger rechargement à l'hiver 2018.											
88.15.01	11 à 17	Rivière Taillon	Saint-Henri-de-Taillon	Rechargement de plage en lac	200 m	2015	Rechargement de sable	Élevée en rive, nulle ailleurs	Non, rivière Taillon à environ 1 km au nord-ouest	Villégiature et forestier	Exposé aux vagues, talus sablonneux	Sable	Aucune	Nord-Est	Présence d'une avancée rocheuse qui limite l'apport de sédiments et le transport sédimentaire vers le nord	Non	Faible	
Site témoin																		
T1	4 à 16	Plage Wilson	Saint-Henri-de-Taillon	-	-	1998	Rechargement de sable réalisé au nord du site	Nulle à élevée en rive, nulle ailleurs (présence d'un camping au nord)	Non, baies Belley et de la Pipe à plus de 1,5 km au nord et rivière Grande Décharge à 1,5 km au sud	Villégiature et forestier	Exposé aux vagues, talus sablonneux	Sable	Aucune	Nord-Est	Petite avancée rocheuse au sud; Dérive littorale vers le sud et le nord	Non	Faible	
T2	-	Parc national de la Pointe-Taillon	Saint-Henri-de-Taillon	-	-	1997	Brise-lames et rechargement de sable à l'ouest du site (>2 km)	Nulle	Non, rivière Taillon à environ 1 km au sud-est	Forestier et tourbière	Exposé aux vagues, talus sablonneux	Sable	Aucune	Nord-Est	Dérive littorale vers le sud	Non	Faible	
T3	28 à 34	Chemin sur le Lac (Est)	Saint-Henri-de-Taillon	-	-	1999	Rechargement de sable sur le site	Élevée en rive, nulle ailleurs	Non, baie de la Pipe à plus de 3 km	Villégiature et forestier	Exposé aux vagues, talus sablonneux	Sable	Aucune	Nord-Est	Entre deux avancées rocheuses; Dérive littorale vers le nord	Non	Faible	

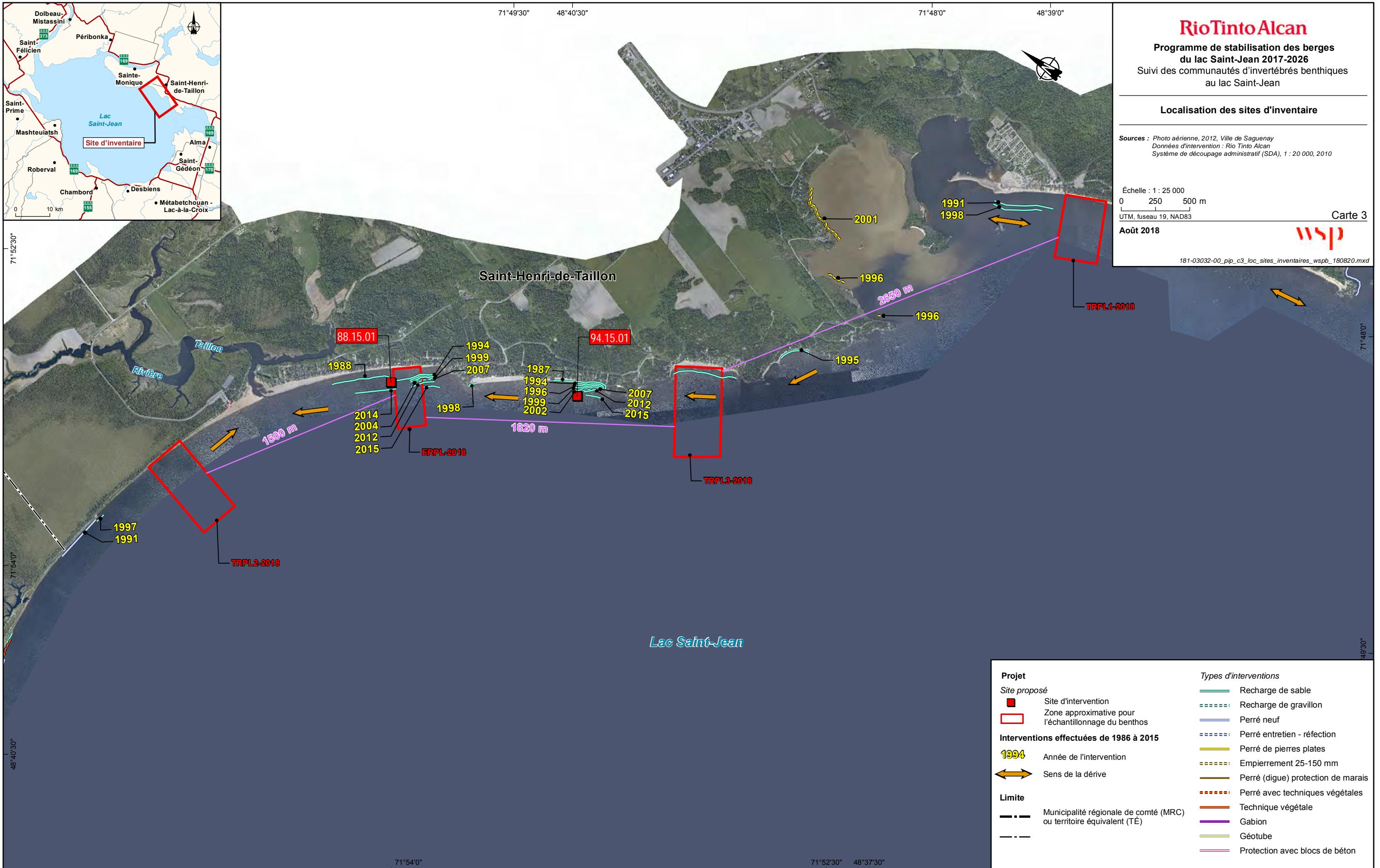
ANNEXE B











ANNEXE

3

**PLAN DES TRAVAUX DE
RECHARGEMENT DE PLAGE EN
LAC À SAINT-HENRI-DE-TAILLON
AU SITE 88.15.01 (AUTOMNE
2018)**

ANNEXE

4

**IDENTIFICATION DU BENTHOS,
RAPPORTS DES EXPERTS**

Laboratoires
SAB inc.

Référence: SAB: 118521

ANALYSE DU BENTHOS

Récolté au Lac St-Jean

Rapport final

préparé pour

WSP Chicoutimi

par

Bernadette Jacquaz
Laboratoires SAB Inc.
Longueuil

Décembre 2018

813 Bériault, #204
Longueuil, Québec J4G1X7
Téléphone 450-463-9666
courrier électronique bernadette.jacquaz@labsab.com

ÉQUIPE DE TRAVAIL

Chargée de projet, contrôle de qualité
et taxinomie

Bernadette Jacquaz (M.Sc.)

Taxinomie

Fernand Therrien (M.Sc.)

Tri

Karine Blain (B.Sc.)

Houda Bourghoud (B.Sc.)

Ariane Messier (DEC)

Daniel Auger (DEC)

ANALYSE EN LABORATOIRE

Tri

Au laboratoire, les échantillons ont été rincés à l'eau claire dans des tamis superposés ayant des ouvertures de mailles de 2000, 1000 et 500 µm. Les fractions grossières retenues par le tamis de 2000 µm ont été triées à l'aide d'une loupe éclairante. Pour ce qui est de la fraction plus fine (1000 et 500 µm), nous avons tout d'abord séparé la partie organique et la partie sable (inorganique) étant donné la forte quantité de sable contenue dans les échantillons. La méthode utilisée en est une d'élutriation. Elle consistait à rincer et mettre en suspension les sédiments plus légers (organiques) en les brassant. On prélevait par la suite la partie organique pendant qu'elle flottait encore. Le tri de la partie organique de la fraction fine a été effectué en totalité à l'aide d'une loupe binoculaire. L'efficacité de l'élutriation a été vérifiée sur la partie inorganique de plusieurs échantillons. Aucun organisme n'y a été trouvé.

Les organismes récoltés dans les échantillons ont été dénombrés et regroupés selon les grands groupes taxinomiques. Ils ont été conservés dans l'alcool à 70% glycériné pour une identification ultérieure.

Un contrôle de qualité du tri a été effectué sur 10 % des échantillons (7) et consistait en un tri des matières organiques conservées par une personne autre que le trieur d'origine. Les résultats du contrôle de qualité sont présentés au tableau 1.

Tableau 1. Résultats du contrôle de qualité sur le tri des organismes benthiques récoltés au Lac St-Jean en 2018

Échantillon	Nombre total d'organismes triés	Nombre oublié	Pourcentage oublié
ERPL MS5	2	0	0,0
TRPL2 MI2	18	0	0,0
TRPL1 PF1	19	1	5,3
TRPL2 PF1	45	1	2,2
TRPL2 PF2	9	0	0,0
TRPL2 PF3	26	1	3,8
TRPL2 PF10	15	1	6,7

Identification

L'évaluation taxinomique des organismes benthiques a été effectuée à partir des clés d'identification citées dans Merritt *et al.* (2008) et dans Thorp et Covich (2010). Les organismes ont été identifiés à la famille sauf les nématodes qui demandent une méthodologie d'échantillonnage et de préservation particulière pour une identification plus précise. Dans le cas des organismes zooplanctoniques, ils ont été laissés à Copepoda ou Cladocera. L'Ostracoda était abîmé donc n'a pas été identifié plus loin.

Saisi des données

Les données de dénombrement (nombre d'organismes benthiques identifiés) ont été saisies dans un fichier EXCEL sous forme de matrice qui présente les taxons sur les lignes et les échantillons sur les colonnes (tableau 2).

Collection de référence

Une collection de référence a été constituée en isolant quelques individus des différents taxons benthiques rencontrés dans les échantillons. Ces spécimens ont été conservés dans une solution d'alcool à 70 % glycériné. Les taxons représentés dans la collection de référence sont donnés au tableau 3.

Références

Merritt, R. W., Cummins, K. W. et M.B.Berg, eds. 2008. An introduction to the aquatic insects of North America. 4rd ed., Kendall/Hunt, Dubuque, IA, 1158 pp.

Thorp, J. H., Covich A. P. 2010. Ecology and classification of North American freshwater invertebrates, Third edition. Elsevier Science. 1088 pp.

Tableau 2.

Tableau 2

Tableau 2.

Tableau 2.

Rapport final : Analyse Benthique

02 Décembre 2019

Lac St-Jean (Projet # 1047)

Préparé pour WSP Chicoutimi



G.D.G. Environnement Ltée

430, rue St-Laurent
Trois-Rivières (Québec) G8T 6H3
T: (888) 567-8567 Fax (819) 373-6832
gdg.environnement@gdg.ca www.gdg.ca

Contact:

Marie-Laure Escudero
Marie-Laure.Escudero@gdg.ca
Cell.: 819-244-6194

ÉQUIPE DE TRAVAIL

Chargée de projet	.....	Marie-Laure Escudero (Ph.D., Mcb.A.)
Contrôle de qualité	.....	Bernadette Jacquaz (MSc.) Laboratoires SAB
Taxinomie	.....	André Leblanc (MSc.)
	.....	Marc-Antoine Perreault (B.Sc.)
	.....	Simon Pratte (DEC)
Lavage et tri	.....	Annie Michel (DEC; C. Env.)
	.....	Carol-Ann Leblanc (DEC)
	.....	Joël Boudreault (M.A.)
	.....	Marie-Hélène Bélanger-Morissette (B.Sc.)
	.....	Stéphanie Duchesne
	.....	Erika Gauthier (B.Sc.)

Table des matières

ANALYSE EN LABORATOIRE.....	4
1. Lavage et Tri	4
1.1. Échantillons sable et gravier	4
1.2. Échantillons organiques.....	4
1.2.1. Méthode de sous-échantillonnage.....	4
2. Contrôle de qualité du tri	5
3. Contrôle de qualité du fractionnement	5
4. Identification	6
5. Collection de référence	6
6. Saisie des données.....	6
7. Références.....	6
TABLEAUX	8
ANNEXE 1	13

Table des tableaux

Tableau 1 : Liste des échantillons (fractions fines) fractionnés lors du tri des organismes benthiques (Lac St-Jean, 2019).	9
Tableau 2 : Contrôle de qualité sur le tri des organismes benthiques (Lac St-Jean, 2019).	10
Tableau 3 : Résultats du contrôle de qualité du fractionnement des échantillons lors du tri des organismes benthiques (Lac St-Jean, 2019).	11
Tableau 4 : Collection de référence complémentaire des organismes benthiques récoltés (Lac St-Jean, 2019).....	12

ANALYSE EN LABORATOIRE

1. Lavage et Tri

Au laboratoire, les échantillons ont été rincés à l'eau claire dans des tamis superposés ayant des ouvertures de mailles de 4000, 2000, 1000 et 500 µm. Les fractions grossières retenues par les tamis de 4000 et 2000 µm ont été triées en totalité à l'aide d'une loupe éclairante. Pour ce qui est des fractions plus fines (1000 et 500 µm), l'approche dépendait de la composition des échantillons.

1.1. Échantillons sable et gravier

La plupart des échantillons étaient composés d'une forte quantité de sable et de gravier. Pour faciliter le tri de ces échantillons, nous avons tout d'abord séparé la partie organique et la partie sable (inorganique).

La méthode utilisée est l'*élutriation*. Cette méthode qui combine lavage et décantation, consiste à rincer et mettre en suspension les sédiments plus légers (organiques) en les brassant. On prélève ensuite la partie organique plus légère pendant qu'elle flotte encore. Le tri de la partie organique de la fraction fine a été effectué en totalité pour la majorité des échantillons sous un binoculaire.

L'efficacité de l'élutriation a été vérifiée sur la partie inorganique (sable/gravier) de plusieurs échantillons. Aucun organisme n'y a été trouvé.

1.2. Échantillons organiques

Plus d'une dizaine d'échantillons contenaient beaucoup de matière organique, avec de la matière fibreuse. Pour huit d'entre eux, nous avons procédé à un sous-échantillonnage des fractions fines. Les fractions grossières ont été triées au complet.

1.2.1. Méthode de sous-échantillonnage

La méthode utilisée était basé sur le poids des sous-échantillons. Elle consistait à homogénéiser le refus du tamis dans un tamis à maille de 500 µm, d'en retirer l'eau et de

prélever une fraction qui était pesée pour estimer la proportion (%) à analyser. Le sous-échantillon correspondait à la quantité de matériel qui pouvait être analysée dans un temps raisonnable de 8 à 10 heures.

Au moins 25 % de l'échantillon était trié. La ou les autres fractions sont conservées pour d'éventuels tests de contrôle de qualité. La liste des échantillons sous-échantillonnés est donnée au tableau 1. Le nombre d'organismes retrouvés dans les sous-échantillons a été ramené au nombre total contenu dans l'échantillon en multipliant par l'inverse de la fraction analysée.

Les organismes récoltés dans les échantillons ont été dénombrés et regroupés selon les grands groupes taxinomiques. Ils ont été conservés dans l'alcool à 70% glycériné à 5% pour une identification ultérieure.

2. Contrôle de qualité du tri

Un contrôle de qualité du tri a été effectué sur 10 % des échantillons (12) et consistait en un tri des matières organiques conservées par une autre personne que le trieur d'origine. Les résultats du contrôle de qualité du tri sont présentés au tableau 2. Le critère de tri accepté implique qu'au plus 10 % du nombre total d'organismes aient été manqués.

3. Contrôle de qualité du fractionnement

Pour valider la méthode de sous-échantillonnage, nous avons effectué une analyse de variabilité sur un échantillon (tableau 3). Ce contrôle de qualité du fractionnement a été réalisé sur 10% des échantillons fractionnés (1 échantillon). Ainsi, le tri de trois fractions de 33% de l'échantillon a été effectué. Les 3 fractions ont donc été triées au complet.

L'erreur a été estimée avec la formule suivante :

(nombre estimé par la fraction /nombre estimé dans l'échantillon complet X 100) – 100

Le critère d'un protocole de fractionnement implique que les nombres d'organismes dénombrés dans les 3 fractions ne doivent pas différer de plus de 20 % entre chacune.

Les résultats du contrôle de qualité du fractionnement sont présentés au tableau 3.

4. Identification

L'évaluation taxinomique des organismes benthiques a été effectuée à partir des clés d'identification citées dans Merritt *et al.* (2008) et dans Thorp et Covich (2010). Les organismes ont été identifiés à la famille sauf les nématodes qui demandent une méthodologie d'échantillonnage et de préservation particulière pour une identification plus précise. Dans le cas des organismes zooplanctoniques, ils ont été laissés à Copepoda ou Cladocera. L'Ostracoda était abîmé donc n'a pas été identifié plus loin.

5. Collection de référence

La collection de référence a été complétée par quelques individus de taxons non rencontrés en 2018. Ces spécimens ont été conservés dans une solution d'alcool à 70 % glycériné afin que l'identification soit validée par un taxinomiste indépendant, Mr Fernand Therrien. Les nouveaux taxons (14) représentés dans la collection de référence sont donnés au tableau 4. et les résultats de leur validation sont présentés à l'annexe 1.

Note : Selon le site de référence ITIS (<https://www.itis.gov/>), la famille des Macromiidae est maintenant regroupée dans celle des Corduliidae.

6. Saisie des données

Les données de dénombrement (nombre d'organismes benthiques identifiés) ont été saisies dans un fichier EXCEL sous forme de matrice qui présente les taxons sur les lignes et les échantillons sur les colonnes (tableau 5).

7. Références

Merritt, R. W., Cummins, K. W. et M.B.Berg, eds. 2008. An introduction to the aquatic insects of North America. 4rd ed., Kendall/Hunt, Dubuque, IA, 1158 pp.

Thorp, J. H., Covich A. P. 2010. Ecology and classification of North American freshwater invertebrates, Third edition. Elsevier Science. 1088 pp.

TABLEAUX

Tableau 1 : Liste des échantillons (fractions fines) fractionnés lors du tri des organismes benthiques (Lac St-Jean, 2019).

Échantillon	Station	% de sous-échantillonnage
BEN 019	ERPR MI2	25%
BEN 020	ERPR MI3	33%
BEN 021	ERPR MI4	33%
BEN 022	ERPR MI5	25%
BEN 088	TRPR1 MI1	50%
BEN 089	TRPR1 MI2	33%
BEN 090	TRPR1 MI3	33%
BEN 106	TRPR2 MI4	50%

Tableau 2 : Contrôle de qualité sur le tri des organismes benthiques (Lac St-Jean, 2019).

Échantillon	Station	Nombre total d'organismes triés	Nombre oublié	% manqué
BEN 014	ERPR PF2	53	3	5,7%
BEN 019 (T)	ERPR MI2	108	5	4,6%
BEN 019 (25%)	ERPR MI2	358	32	8,9%
BEN 026	TRPL1 PF4	17	1	5,9%
BEN 064	ERPR MS2	438	21	4,8%
BEN 066	ERPR MS4	677	38	5,6%
BEN 067	ERPR MS5	459	24	5,2%
BEN 068	TRPR1 PF1	89	7	7,9%
BEN 075	TRPR3 MS3	53	1	1,9%
BEN 097	TRPR2 MS5	120	2	1,7%
BEN 104	TRPR2 MI2	416	29	7,0%
BEN 109	TRPL3 MS2	7	0	0,0%
BEN 125	TRPL1 MS3	8	0	0,0%

Tableau 3 : Résultats du contrôle de qualité du fractionnement des échantillons lors du tri des organismes benthiques (Lac St-Jean, 2019).

Échantillon_Station	BEN018_ERPR MI1			
	Fraction (%)	Nbre trié	Nombre estimé	Erreur (%)*
	33,3	224	672,01	6,5
	33,3	194	582,01	-7,8
	33,3	213	639,01	1,3
Total dans l'échantillon	100	631	-	-
Erreur absolue (moyenne du sous- échantillon)	-	-	-	5,2

* Erreur= (nombre estimé par la fraction /nombre trié ou estimé dans l'échantillon complet X 100) - 100

Tableau 4 : Collection de référence complémentaire des organismes benthiques récoltés (Lac St-Jean, 2019).

Taxon	No de fiole
NEMERTEA	
Tetrastemmatidae	37
MOLLUSCA	
Gastropoda	
Hydrobiidae	32
Planorbidae	33
Valvatidae	34
ARTHROPODA	
Chelicerata	
Arachnida	
Acari	
Prostigmata	
Oxidae	35
Unionicolidae	36
Insecta	
Odonata	
Corduliidae	38
Gomphidae	39
Ephemeroptera	
Ephemeridae	40
Megaloptera	
Sialidae	41
Trichoptera	
Dipseudopsidae	42
Polycentropodidae	43
Coleoptera	
Elmidae	44
Lepidoptera	
Crambidae	45

ANNEXE 1

Résultats de la validation de la collection de référence

Tableau . Collection de référence complémentaire des organismes benthiques					
Taxon		No de fiole	Identification correcte	Identification fausse	Remarques
NEMERTEA	Tetrastemmatidae	37	x		
MOLLUSCA	Gastropoda				
	Hydrobiidae	32	x		
	Planorbidae	33	x		
	Valvatidae	34	x		
ARTHROPODA					
Chelicerata					
Arachnida	Acarina				
	Prostigmata				
	Oxidae	35	x		
	Unionicolidae	36	x		
Insecta	Odonata				
	Corduliidae	38		x	spécimen de Macromiidae
	Gomphidae	39	x		
	Ephemeroptera				
	Ephemeridae	40	x		
	Leptophlebiidae	46	x		
	Megaloptera				
	Sialidae	41	x		
	Trichoptera				
	Dipseudopsidae	42	x		
	Polycentropodidae	43	x		
	Coleoptera				
	Elmidae	44	x		
	Lepidoptera				
	Crambidae	45	x		

Validé par Fernand Therrien le 26 novembre 2019

F. Therrien

ANNEXE

5

**GRANULOMÉTRIE ET CARBONE
ORGANIQUE TOTAL,
CERTIFICATS D'ANALYSES**



NOM DU CLIENT: WSP CANADA INC
125, RUE RACINE EST
CHICOUTIMI, QC G7H1R5
(418) 698-4488

À L'ATTENTION DE: JEROME PLOURDE

N° DE PROJET: Suivi Benthos 2018PSBLS5

N° BON DE TRAVAIL: 18A386451

ANALYSE DES SOLS VÉRIFIÉ PAR: Amar Bellahsene, Chimiste

DATE DU RAPPORT: 2018-09-25

VERSION*: 1

NOMBRE DE PAGES: 6

Si vous désirez de l'information concernant cette analyse, S.V.P. contacter votre chargé de projets au (418) 266-5511.

*NOTES

Nous disposerons des échantillons dans les 30 jours suivants les analyses. S.V.P. Contactez le laboratoire si vous désirez avoir un délai d'entreposage.

NOM DU CLIENT: WSP CANADA INC

PRÉLEVÉ PAR: Jérôme Plourde

Certificat d'analyse

N° BON DE TRAVAIL: 18A386451

N° DE PROJET: Suivi Benthos 2018PSBLS5

350, rue Franquet
 Québec, Québec
 CANADA G1P 4P3
 TEL (418)266-5511
 FAX (418)653-2335
<http://www.agatlabs.com>

À L'ATTENTION DE: JEROME PLOURDE

LIEU DE PRÉLÈVEMENT:Lac Saint-Jean

Analyses inorganiques (sédiments)

DATE DE RÉCEPTION: 2018-09-17

DATE DU RAPPORT: 2018-09-25

Paramètre	IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON:			TRPL2 PF10	ERPL PF10	TRPL3 Mi3	TRPL3 MS5	ERPL MS5	TRPL2 M11	TRPL1 MS5	TRPL3 PF5
	Unités	C / N	LDR	MATRICE:	Sédiment	Sédiment	Sédiment	Sédiment	Sédiment	Sédiment	Sédiment
				DATE D'ÉCHANTILLONNAGE:	2018-09-14	2018-09-14	2018-09-14	2018-09-14	2018-09-12	2018-09-12	2018-09-13
Carbone organique total	%	0.05	0.10		0.13	<0.05	<0.05	0.05	0.06	<0.05	0.12
Paramètre	IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON:			TRPL1 PF5	TRPL2 MS1	ERPL Mi5	TRPL1 Mi5				
	Unités	C / N	LDR	MATRICE:	Sédiment	Sédiment	Sédiment	Sédiment			
				DATE D'ÉCHANTILLONNAGE:	2018-09-14	2018-09-13	2018-09-12	2018-09-14			
Carbone organique total	%	0.05	0.10		<0.05	<0.05	<0.05				

Commentaires: LDR - Limite de détection rapportée; C / N - Critères Normes

9554230-9554239 Une LDR plus élevée indique qu'une dilution a été effectuée afin de réduire la concentration des analytes ou de réduire l'interférence de la matrice.



Certifié par:

La procédure des Laboratoires AGAT concernant les signatures et les signataires se conforme strictement aux exigences d'accréditation ISO 17025:2005 comme le requiert, lorsque applicable, CALA, CCN et MDDELCC. Toutes les signatures sur les certificats d'AGAT sont protégées par des mots de passe et les signataires rencontrent les exigences des domaines d'accréditation ainsi que les exigences régionales approuvées par CALA, CCN et MDDELCC.

Certificat d'analyse

N° BON DE TRAVAIL: 18A386451

N° DE PROJET: Suivi Benthos 2018PSBLS5

350, rue Franquet
Québec, Québec
CANADA G1P 4P3
TEL (418)266-5511
FAX (418)653-2335
<http://www.agatlabs.com>

NOM DU CLIENT: WSP CANADA INC

PRÉLEVÉ PAR: Jérôme Plourde

À L'ATTENTION DE: JEROME PLOURDE

LIEU DE PRÉLÈVEMENT: Lac Saint-Jean

Analyses inorganiques - Granulométrie

DATE DE RÉCEPTION: 2018-09-17

DATE DU RAPPORT: 2018-09-25

Paramètre	IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON:			TRPL2 PF10	ERPL PF10	TRPL3 Mi3	TRPL3 MS5	ERPL MS5	TRPL2 M11	TRPL1 MS5	TRPL3 PF5
	Unités	C / N	LDR	MATRICE:	Sédiment	Sédiment	Sédiment	Sédiment	Sédiment	Sédiment	Sédiment
Granulométrie (Wentworth)	NA	NA	Annexe	Annexe	Annexe	Annexe	Annexe	Annexe	Annexe	Annexe	Annexe
Paramètre	IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON:			TRPL1 PF5	TRPL2 MS1	ERPL Mi5	TRPL1 Mi5				
	Unités	C / N	LDR	MATRICE:	Sédiment	Sédiment	Sédiment				
Granulométrie (Wentworth)	NA	NA	Annexe	Annexe	Annexe	Annexe	Annexe				

Commentaires: LDR - Limite de détection rapportée; C / N - Critères Normes



Certifié par:

La procédure des Laboratoires AGAT concernant les signatures et les signataires se conforme strictement aux exigences d'accréditation ISO 17025:2005 comme le requiert, lorsque applicable, CALA, CCN et MDDELCC. Toutes les signatures sur les certificats d'AGAT sont protégées par des mots de passe et les signataires rencontrent les exigences des domaines d'accréditation ainsi que les exigences régionales approuvées par CALA, CCN et MDDELCC.



AGAT

Laboratoires

350, rue Franquet
Québec, Québec
CANADA G1P 4P3
TEL (418)266-5511
FAX (418)653-2335
<http://www.agatlabs.com>

Contrôle de qualité

NOM DU CLIENT: WSP CANADA INC

N° DE PROJET: Suivi Benthos 2018PSBLS5

PRÉLEVÉ PAR: Jérôme Plourde

N° BON DE TRAVAIL: 18A386451

À L'ATTENTION DE: JEROME PLOURDE

LIEU DE PRÉLÈVEMENT:Lac Saint-Jean

Analyse des Sols

Date du rapport:			DUPLICATA			MATÉRIAU DE RÉFÉRENCE						BLANC FORTIFIÉ			ÉCH. FORTIFIÉ		
PARAMÈTRE	Lot	N° éch.	Dup #1	Dup #2	% d'écart	Blanc de méthode	% Récup.	Limites		% Récup.	Limites		% Récup.	Limites			
			Inf.	Sup.	Inf.			Inf.	Sup.		Inf.	Sup.		Inf.	Sup.		

Analyses inorganiques (sédiments)

Carbone organique total	9554230	0.10	0.10	NA	< 0.05	102%	80%	120%	NA	80%	120%	NA	80%	120%
-------------------------	---------	------	------	----	--------	------	-----	------	----	-----	------	----	-----	------

Commentaires: NA : Non applicable

NA dans l'écart du duplicata indique que l'écart n'a pu être calculé car l'un ou les deux résultats sont < 5x LDR.

NA dans le pourcentage de récupération de l'échantillon fortifié indique que le résultat n'est pas fourni en raison de l'hétérogénéité de l'échantillon ou de la concentration trop élevée par rapport à l'ajout.

NA dans le blanc fortifié ou le MRC indique qu'il n'est pas requis par la procédure.

Le pourcentage de récupération du MRC peut être en dehors du critère d'acceptabilité de 80-120%, s'il est conforme à l'écart du certificat du matériau de référence.

Analyses inorganiques (sédiments)

Carbone organique total	9554241	< 0.05	< 0.05	0.0	< 0.05	100%	80%	120%	NA	80%	120%	86%	80%	120%
-------------------------	---------	--------	--------	-----	--------	------	-----	------	----	-----	------	-----	-----	------

Commentaires: NA : Non applicable

NA dans l'écart du duplicata indique que l'écart n'a pu être calculé car l'un ou les deux résultats sont < 5x LDR.

NA dans le pourcentage de récupération de l'échantillon fortifié indique que le résultat n'est pas fourni en raison de l'hétérogénéité de l'échantillon ou de la concentration trop élevée par rapport à l'ajout.

NA dans le blanc fortifié ou le MRC indique qu'il n'est pas requis par la procédure.

Le pourcentage de récupération du MRC peut être en dehors du critère d'acceptabilité de 80-120%, s'il est conforme à l'écart du certificat du matériau de référence.

Certifié par:



La procédure des Laboratoires AGAT concernant les signatures et les signataires se conforme strictement aux exigences d'accréditation ISO 17025:2005 comme le requiert, lorsque applicable, CALA, CCN et MDDELCC. Toutes les signatures sur les certificats d'AGAT sont protégées par des mots de passe et les signataires rencontrent les exigences des domaines d'accréditation ainsi que les exigences régionales approuvées par CALA, CCN et MDDELCC.

**AGAT**

Laboratoires

350, rue Franquet
Québec, Québec
CANADA G1P 4P3
TEL (418)266-5511
FAX (418)653-2335
<http://www.agatlabs.com>

Sommaire de méthode

NOM DU CLIENT: WSP CANADA INC

N° BON DE TRAVAIL: 18A386451

N° DE PROJET: Suivi Benthos 2018PSBLS5

À L'ATTENTION DE: JEROME PLOURDE

PRÉLEVÉ PAR: Jérôme Plourde

LIEU DE PRÉLÈVEMENT:Lac Saint-Jean

PARAMÈTRE	PRÉPARÉ LE	ANALYSÉ LE	AGAT P.O.N.	RÉFÉRENCE DE LITTÉRATURE	TECHNIQUE ANALYTIQUE
Analyse des Sols					
Carbone organique total	2018-09-24	2018-09-24	INOR-101-6057F	MA. 405-C 1.1	TITRAGE
Granulométrie (Wentworth)	2018-09-19	2018-09-21	INOR-161-6031F, non accrédité MDDELCC	MA. 100 - Gran. 2.0	TAMISAGE



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 18A386451

No échantillon : 9554230

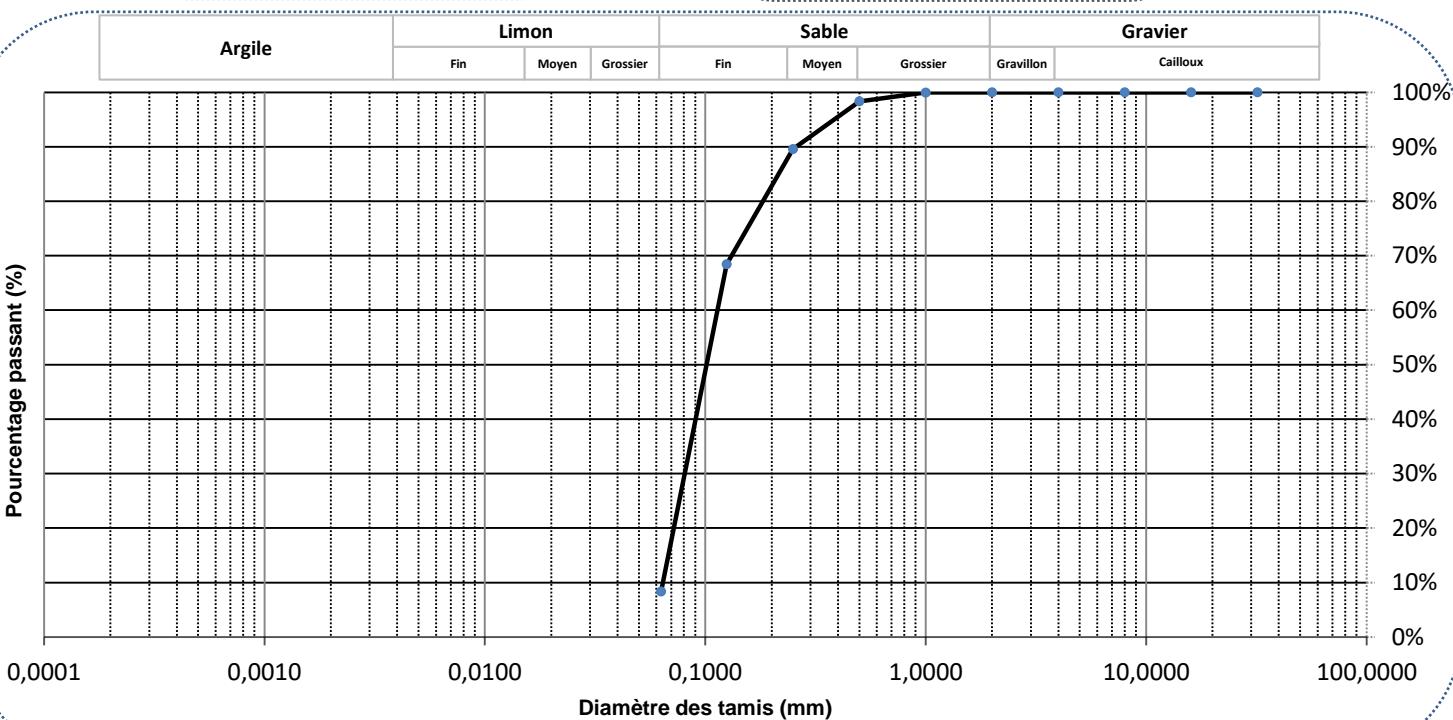
Version du certificat :

Client : WSP CANADA INC

Votre référence : TRPL2 PF10

Granulométrie Tamis (mm)	Pourcentage Passant (%)
32	100,0%
16	100,0%
8	100,0%
4	100,0%
2	100,0%
1	99,9%
0,500	98,3%
0,250	89,6%
0,125	68,4%
0,063	8,4%

Sédimentométrie Diamètre équivalent (µm)	Pourcentage Passant (%)
32	100,0%
16	100,0%
8	100,0%
4	100,0%
2	100,0%
1	99,9%
0,500	98,3%
0,250	89,6%
0,125	68,4%
0,063	8,4%



Commentaires :

Gravier (2-32mm) : 0,00%
Sable (0.063-<2mm) : 91,64%

Limon,Argile (<63um) 8,36%

Date : 2018-09-24



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 18A386451

No échantillon : 9554232

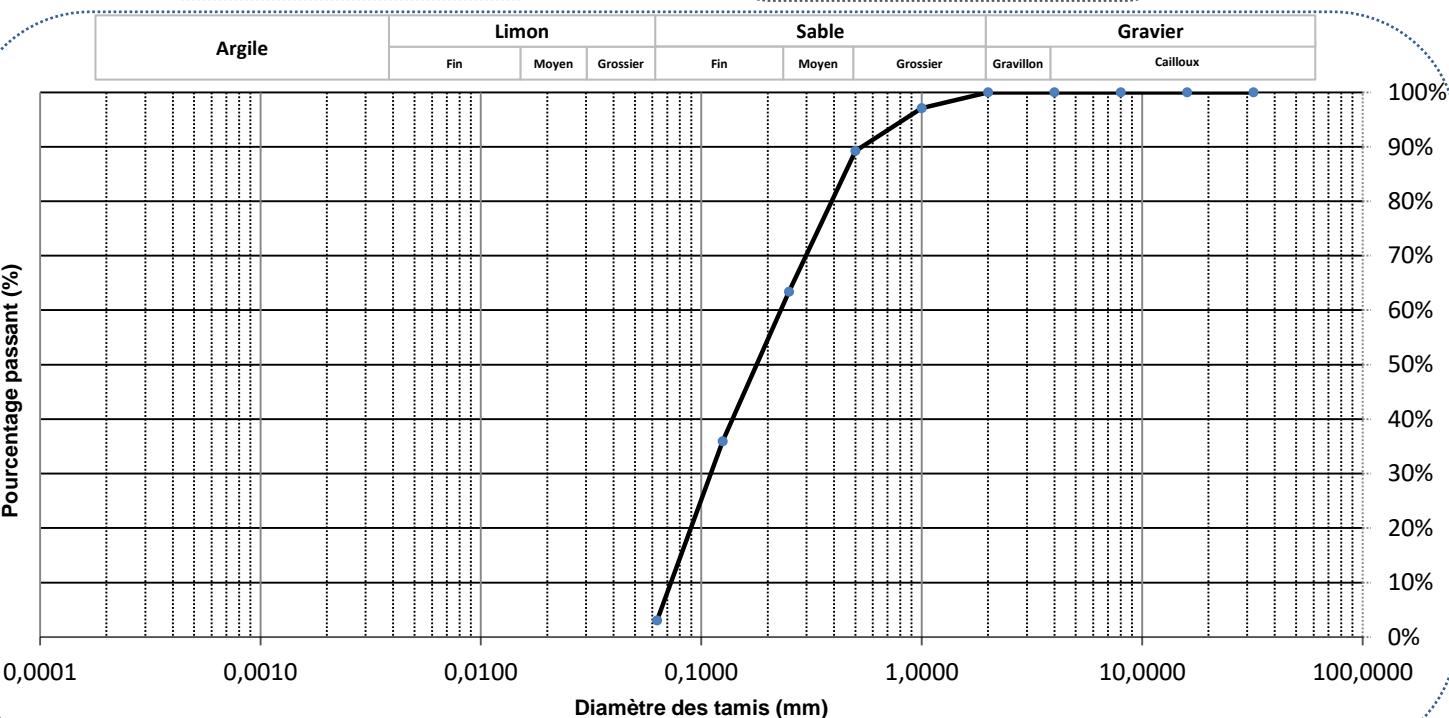
Version du certificat :

Client : WSP CANADA INC

Votre référence : ERPL PF10

Granulométrie Tamis (mm)	Pourcentage Passant (%)
32	100,0%
16	100,0%
8	100,0%
4	100,0%
2	100,0%
1	97,1%
0,500	89,2%
0,250	63,4%
0,125	35,9%
0,063	3,1%

Sédimentométrie Diamètre équivalent (µm)	Pourcentage Passant (%)
32	100,0%
16	100,0%
8	100,0%
4	100,0%
2	100,0%
1	97,1%
0,500	89,2%
0,250	63,4%
0,125	35,9%
0,063	3,1%



Commentaires :

Gravier (2-32mm) : 0,00%
Sable (0.063-<2mm) : 96,95%

Limon, Argile (<63um) 3,05%

Date : 2018-09-24



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 18A386451

No échantillon : 9554233

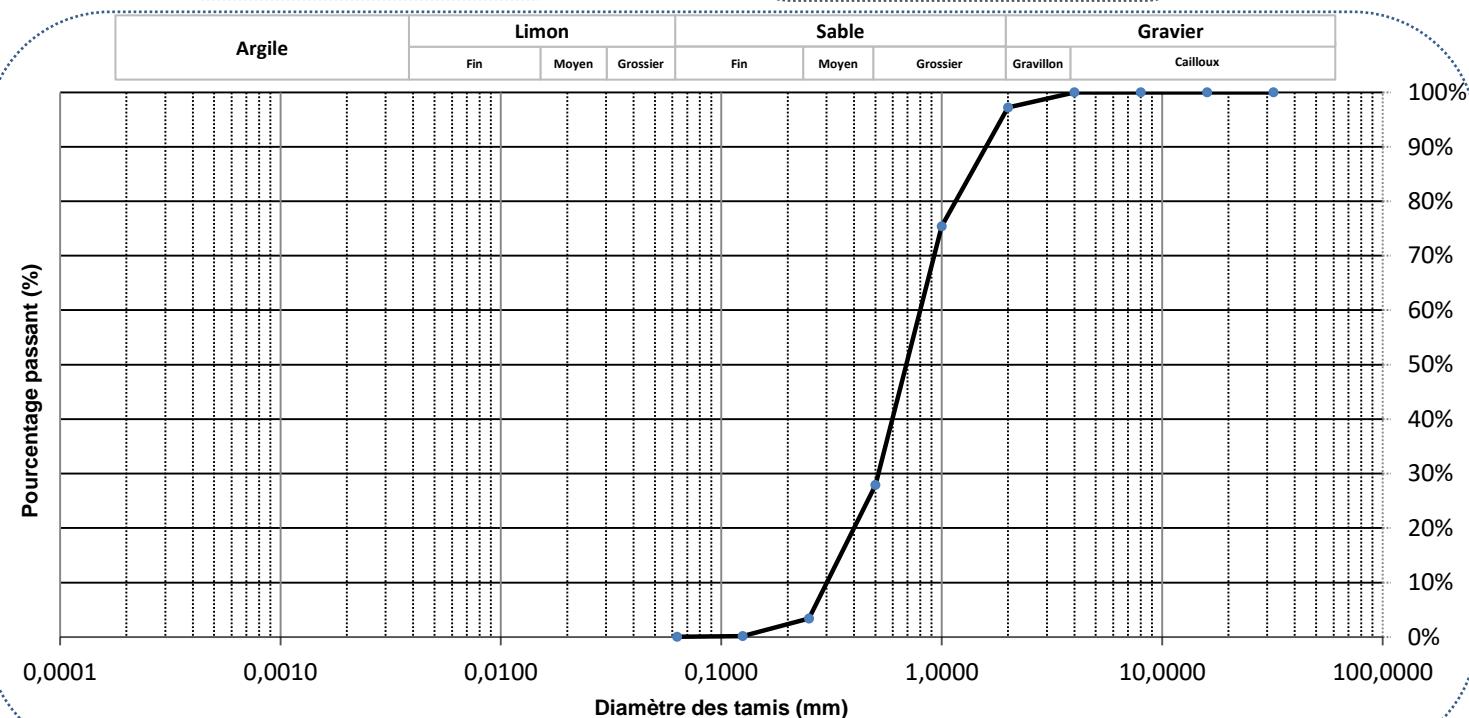
Version du certificat :

Client : WSP CANADA INC

Votre référence : TRPL3 Mi3

Granulométrie Tamis (mm)	Pourcentage Passant (%)
32	100,0%
16	100,0%
8	100,0%
4	100,0%
2	97,2%
1	75,4%
0,500	27,9%
0,250	3,4%
0,125	0,2%
0,063	0,1%

Sédimentométrie Diamètre équivalent (µm)	Pourcentage Passant (%)
32	100,0%
16	100,0%
8	100,0%
4	100,0%
2	97,2%
1	75,4%
0,500	27,9%
0,250	3,4%
0,125	0,2%
0,063	0,1%



Commentaires :

Gravier (2-32mm) : 2,79%
Sable (0.063-<2mm) : 97,16%

Limon,Argile (<63um) 0,05%

Date : 2018-09-24



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 18A386451

No échantillon : 9554234

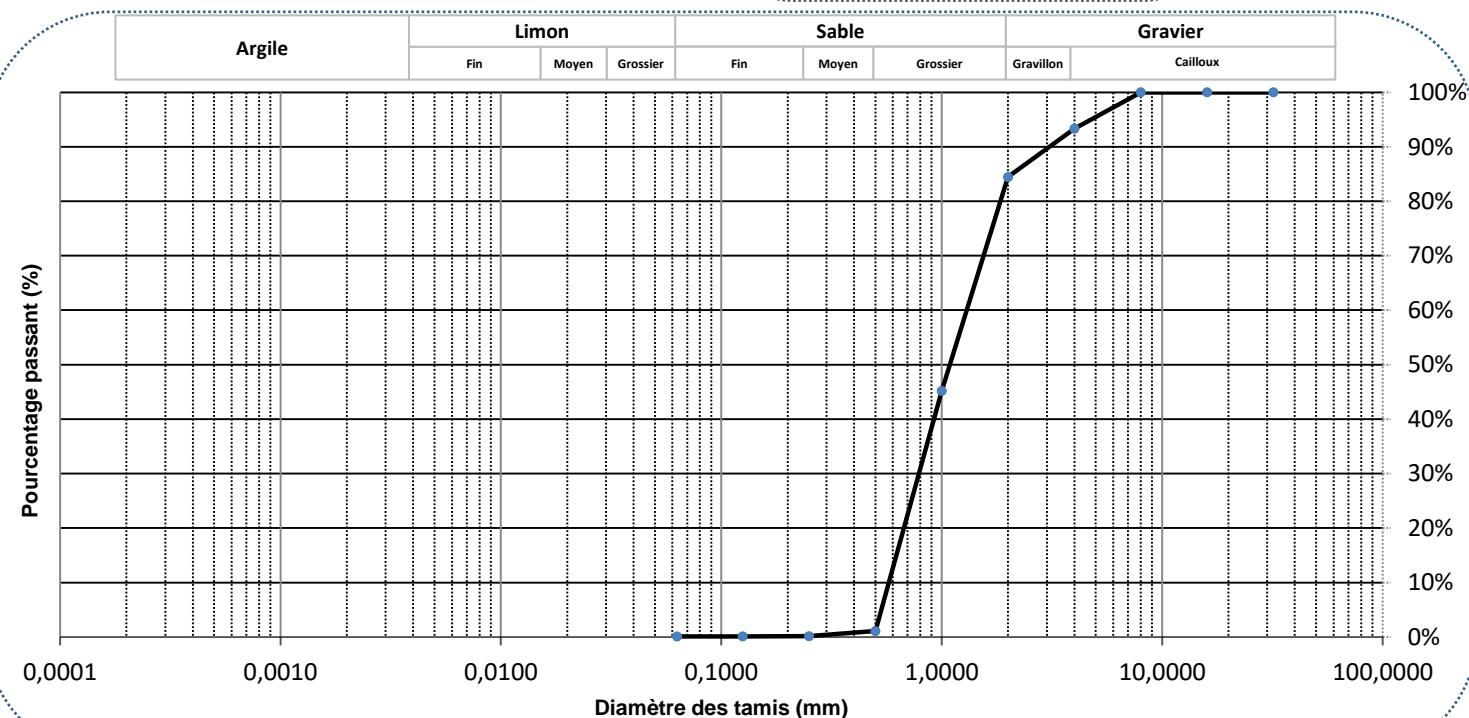
Version du certificat :

Client : WSP CANADA INC

Votre référence : TRPL3 Ms5

Granulométrie Tamis (mm)	Pourcentage Passant (%)
32	100,0%
16	100,0%
8	100,0%
4	93,3%
2	84,4%
1	45,2%
0,500	1,1%
0,250	0,1%
0,125	0,1%
0,063	0,1%

Sédimentométrie Diamètre équivalent (µm)	Pourcentage Passant (%)
32	100,0%
16	100,0%
8	100,0%
4	93,3%
2	84,4%
1	45,2%
0,500	1,1%
0,250	0,1%
0,125	0,1%
0,063	0,1%



Commentaires :

Gravier (2-32mm) : 15,56%
Sable (0,063-<2mm) : 84,33%

Limon,Argile (<63um) 0,11%

Date : 2018-09-24



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 18A386451

No échantillon : 9554235

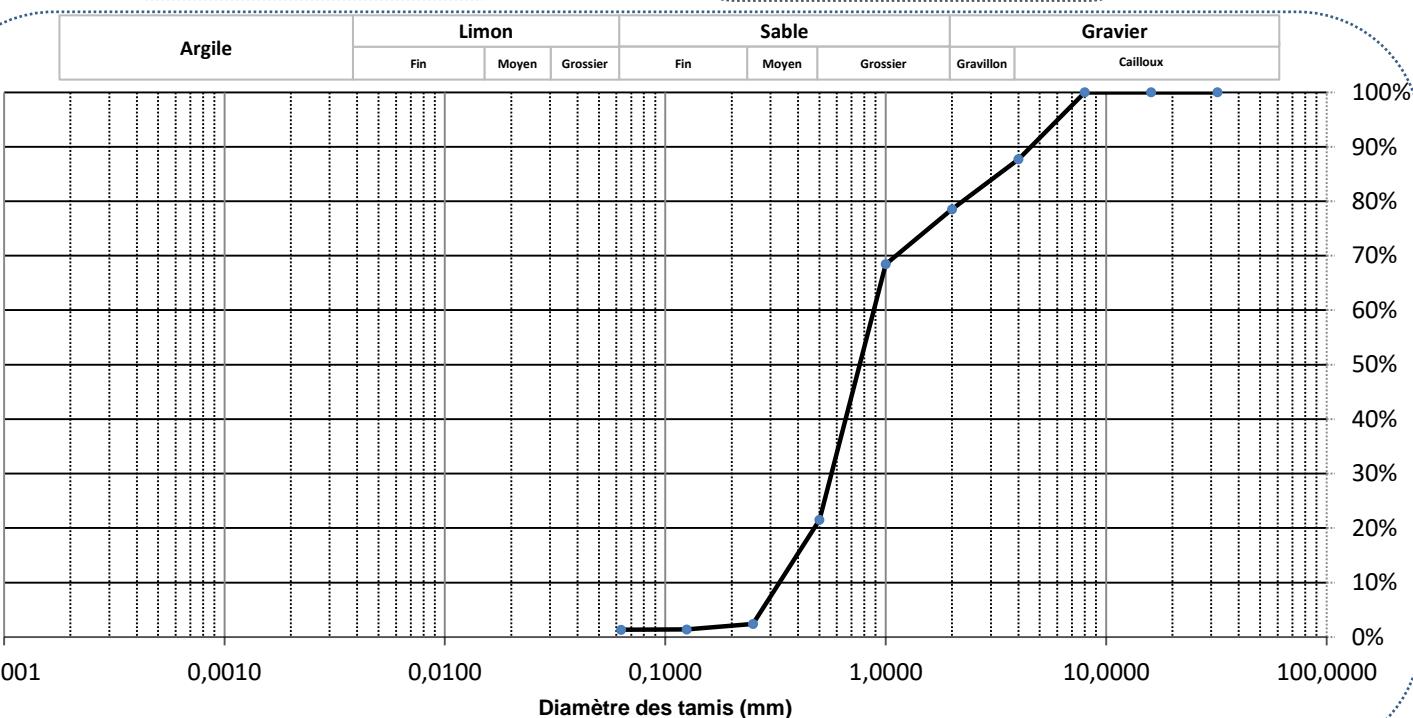
Version du certificat :

Client : WSP CANADA INC

Votre référence : ERPL MS5

Granulométrie	Pourcentage
Tamis	Passant
(mm)	(%)
32	100,0%
16	100,0%
8	100,0%
4	87,7%
2	78,5%
1	68,5%
0,500	21,5%
0,250	2,4%
0,125	1,4%
0,063	1,3%

Sédimentométrie	Pourcentage
Diamètre équivalent (μm)	Passant (%)



Commentaires :

Gravier (2-32mm) : 21,48%
Sable (0,063-<2mm) : 77,20%

Limon-Argile (<63µm) 1.32%

Date : 2018-09-24



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 18A386451

No échantillon : 9554236

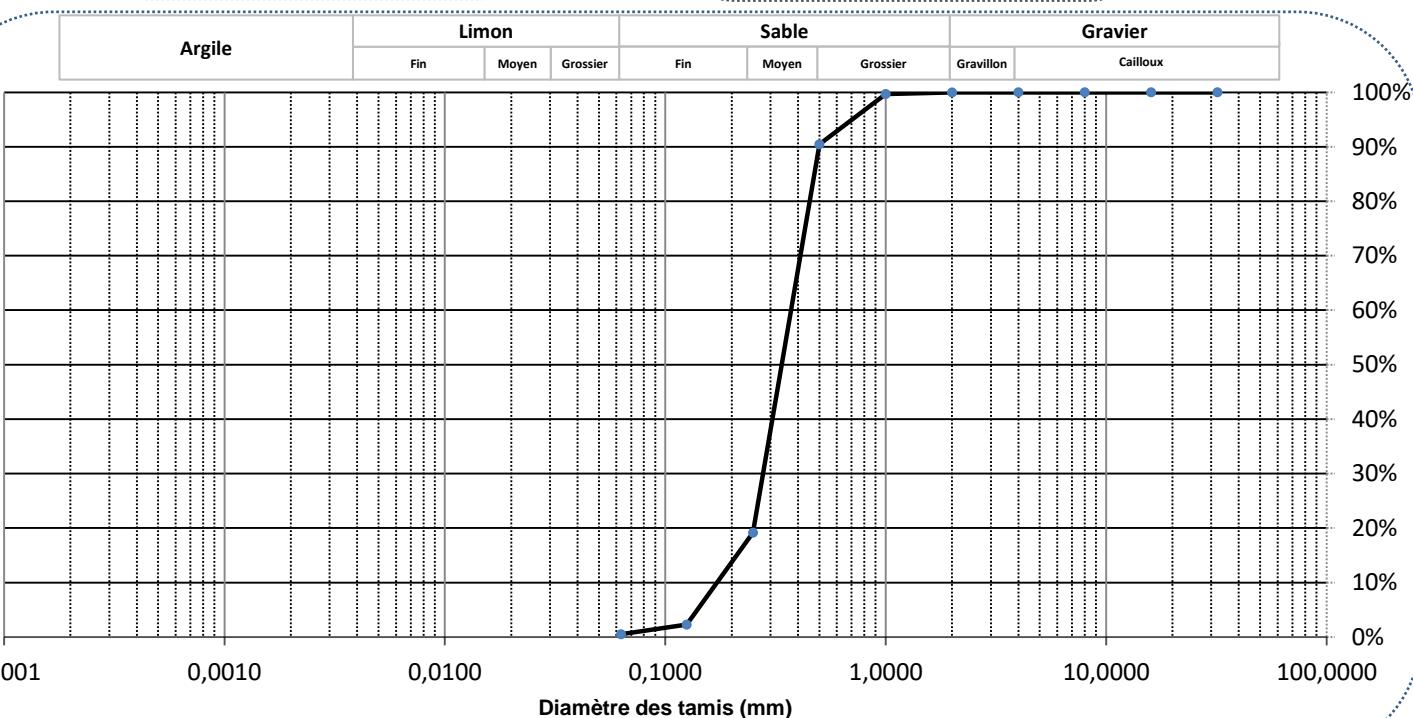
Version du certificat :

Client : WSP CANADA INC

Votre référence : TRPL2 M11

Granulométrie	Pourcentage
Tamis	Passant
(mm)	(%)
32	100,0%
16	100,0%
8	100,0%
4	100,0%
2	100,0%
1	99,7%
0,500	90,4%
0,250	19,2%
0,125	2,3%
0,063	0,5%

Sédimentométrie	Pourcentage Passant (%)
Diamètre équivalent (μm)	



Commentaires :

Gravier (2-32mm) : 0,03%
Sable (0.063-<2mm) : 99.46%

Limon Argile (<63μm) 0,51%

Date : 2018-09-24



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 18A386451

No échantillon : 9554237

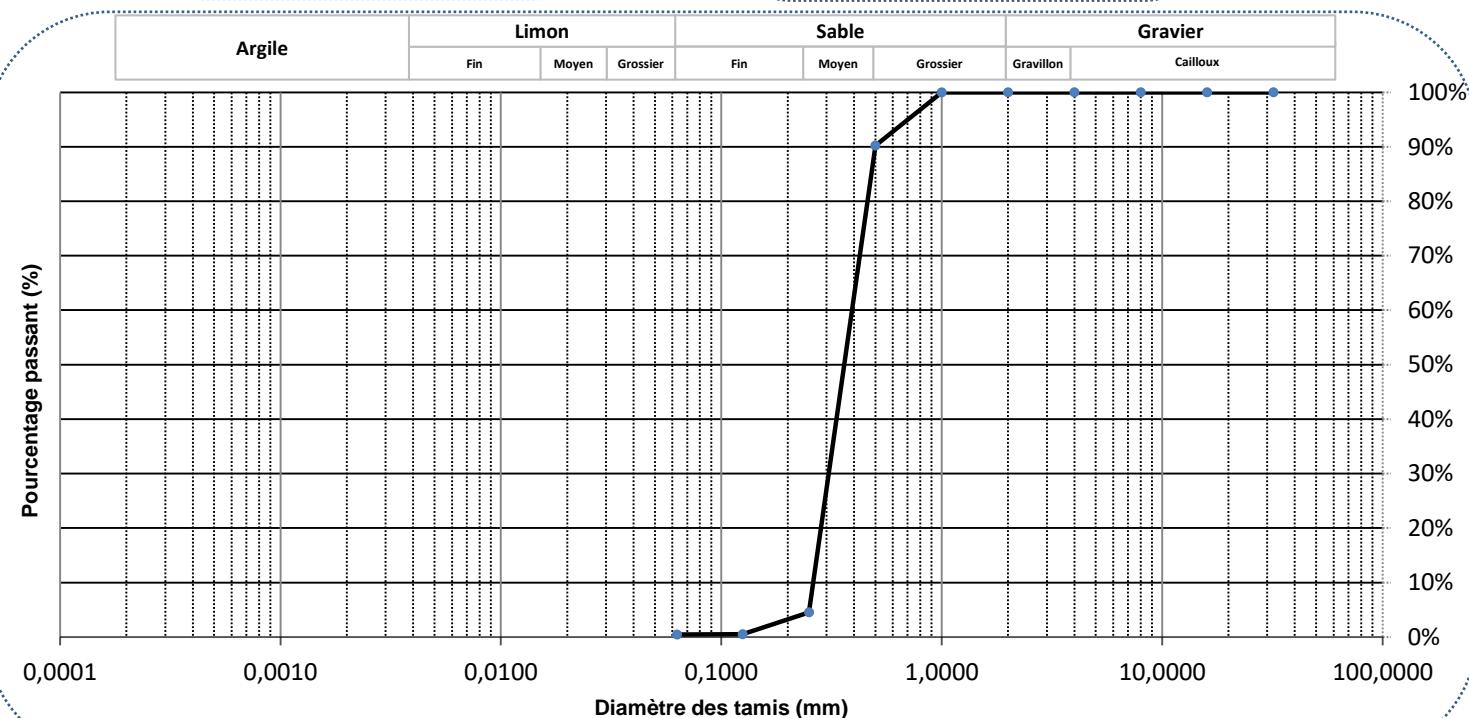
Version du certificat :

Client : WSP CANADA INC

Votre référence : TRPL1 MS5

Granulométrie Tamis (mm)	Pourcentage Passant (%)
32	100,0%
16	100,0%
8	100,0%
4	100,0%
2	100,0%
1	100,0%
0,500	90,2%
0,250	4,5%
0,125	0,5%
0,063	0,5%

Sédimentométrie Diamètre équivalent (µm)	Pourcentage Passant (%)
32	100,0%
16	100,0%
8	100,0%
4	100,0%
2	100,0%
1	100,0%
0,500	90,2%
0,250	4,5%
0,125	0,5%
0,063	0,5%





GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 18A386451

No échantillon : 9554238

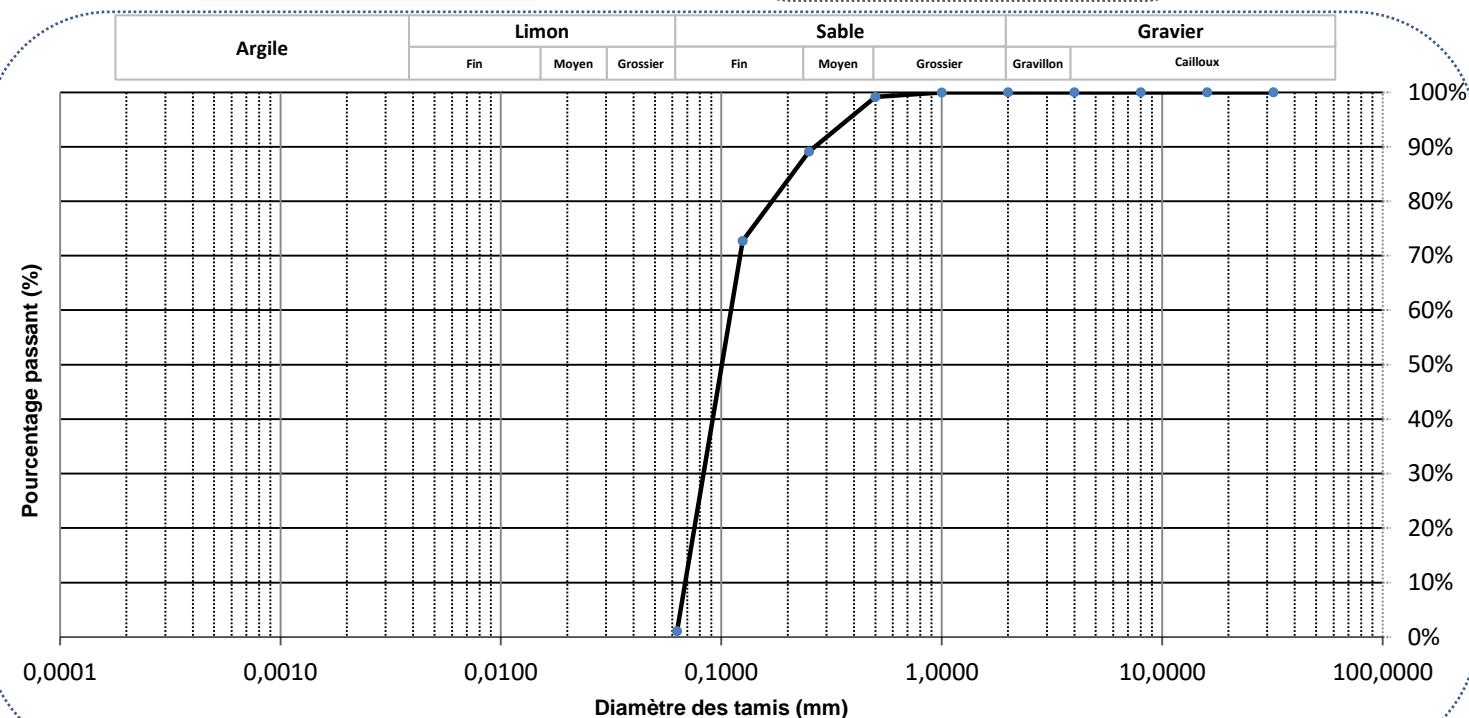
Version du certificat :

Client : WSP CANADA INC

Votre référence : TRPL3 PF5

Granulométrie Tamis (mm)	Pourcentage Passant (%)
32	100,0%
16	100,0%
8	100,0%
4	100,0%
2	100,0%
1	100,0%
0,500	99,1%
0,250	89,1%
0,125	72,7%
0,063	1,1%

Sédimentométrie Diamètre équivalent (µm)	Pourcentage Passant (%)
32	100,0%
16	100,0%
8	100,0%
4	100,0%
2	100,0%
1	100,0%
0,500	99,1%
0,250	89,1%
0,125	72,7%
0,063	1,1%



Commentaires :

Gravier (2-32mm) : 0,00%
Sable (0.063-<2mm) : 98,92%

Limon,Argile (<63um) 1,08%

Date : 2018-09-24



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 18A386451

No échantillon : 9554239

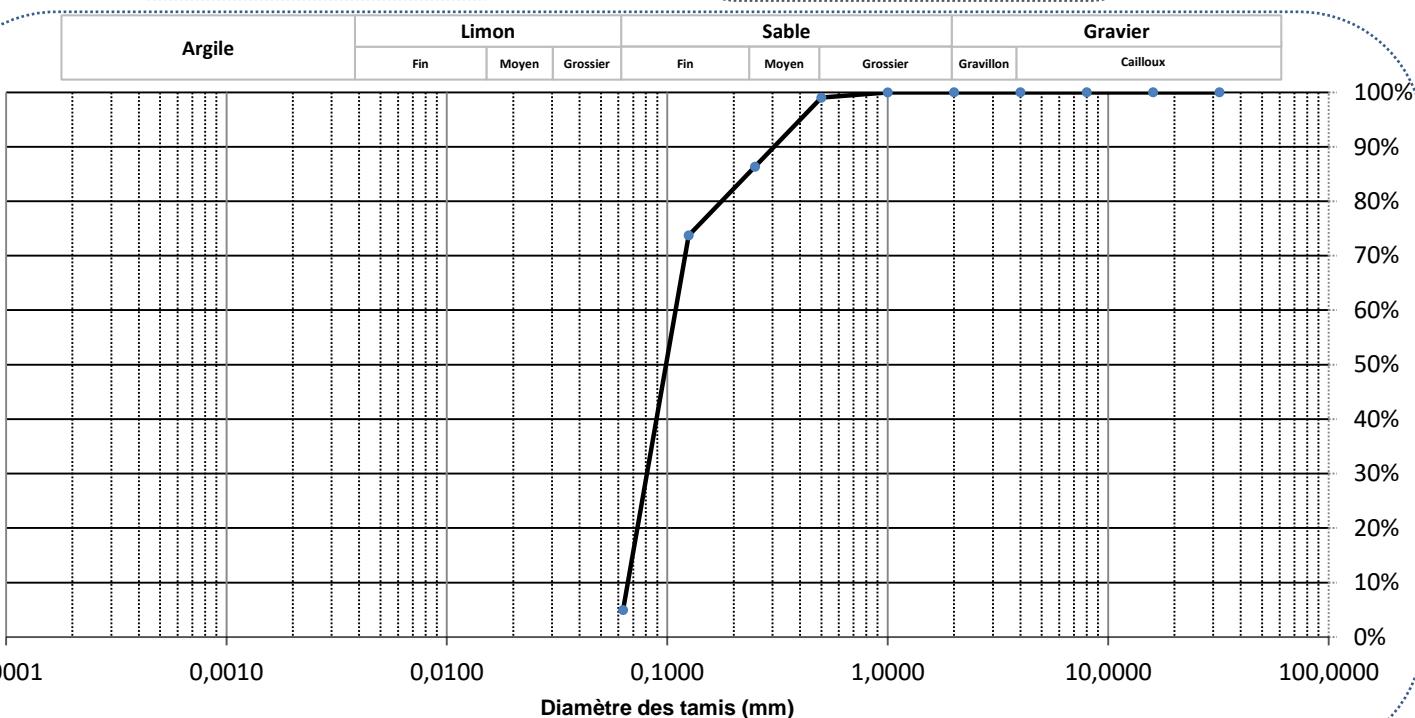
Version du certificat :

Client : WSP CANADA INC

Votre référence : TRPL1 PF5

Granulométrie	Pourcentage
Tamis	Passant
(mm)	(%)
32	100,0%
16	100,0%
8	100,0%
4	100,0%
2	100,0%
1	100,0%
0,500	99,0%
0,250	86,3%
0,125	73,7%
0,063	5,0%

Sédimentométrie	Pourcentage Passant (%)
Diamètre équivalent (μm)	
10	10
20	10
30	10
40	10
50	10
60	10
70	10
80	10
90	10
100	10
110	10
120	10
130	10
140	10
150	10
160	10
170	10
180	10
190	10
200	10
210	10
220	10
230	10
240	10
250	10
260	10
270	10
280	10
290	10
300	10
310	10
320	10
330	10
340	10
350	10
360	10
370	10
380	10
390	10
400	10
410	10
420	10
430	10
440	10
450	10
460	10
470	10
480	10
490	10
500	10
510	10
520	10
530	10
540	10
550	10
560	10
570	10
580	10
590	10
600	10
610	10
620	10
630	10
640	10
650	10
660	10
670	10
680	10
690	10
700	10
710	10
720	10
730	10
740	10
750	10
760	10
770	10
780	10
790	10
800	10
810	10
820	10
830	10
840	10
850	10
860	10
870	10
880	10
890	10
900	10
910	10
920	10
930	10
940	10
950	10
960	10
970	10
980	10
990	10
1000	10
1010	10
1020	10
1030	10
1040	10
1050	10
1060	10
1070	10
1080	10
1090	10
1100	10
1110	10
1120	10
1130	10
1140	10
1150	10
1160	10
1170	10
1180	10
1190	10
1200	10
1210	10
1220	10
1230	10
1240	10
1250	10
1260	10
1270	10
1280	10
1290	10
1300	10
1310	10
1320	10
1330	10
1340	10
1350	10
1360	10
1370	10
1380	10
1390	10
1400	10
1410	10
1420	10
1430	10
1440	10
1450	10
1460	10
1470	10
1480	10
1490	10
1500	10
1510	10
1520	10
1530	10
1540	10
1550	10
1560	10
1570	10
1580	10
1590	10
1600	10
1610	10
1620	10
1630	10
1640	10
1650	10
1660	10
1670	10
1680	10
1690	10
1700	10
1710	10
1720	10
1730	10
1740	10
1750	10
1760	10
1770	10
1780	10
1790	10
1800	10
1810	10
1820	10
1830	10
1840	10
1850	10
1860	10
1870	10
1880	10
1890	10
1900	10
1910	10
1920	10
1930	10
1940	10
1950	10
1960	10
1970	10
1980	10
1990	10
2000	10
2010	10
2020	10
2030	10
2040	10
2050	10
2060	10
2070	10
2080	10
2090	10
2100	10
2110	10
2120	10
2130	10
2140	10
2150	10
2160	10
2170	10
2180	10
2190	10
2200	10
2210	10
2220	10
2230	10
2240	10
2250	10
2260	10
2270	10
2280	10
2290	10
2300	10
2310	10
2320	10
2330	10
2340	10
2350	10
2360	10
2370	10
2380	10
2390	10
2400	10
2410	10
2420	10
2430	10
2440	10
2450	10
2460	10
2470	10
2480	10
2490	10
2500	10
2510	10
2520	10
2530	10
2540	10
2550	10
2560	10
2570	10
2580	10
2590	10
2600	10
2610	10
2620	10
2630	10
2640	10
2650	10
2660	10
2670	10
2680	10
2690	10
2700	10
2710	10
2720	10
2730	10
2740	10
2750	10
2760	10
2770	10
2780	10
2790	10
2800	10
2810	10
2820	10
2830	10
2840	10
2850	10
2860	10
2870	10
2880	10
2890	10
2900	10
2910	10
2920	10
2930	10
2940	10
2950	10
2960	10
2970	10
2980	10
2990	10
3000	10
3010	10
3020	10
3030	10
3040	10
3050	10
3060	10
3070	10
3080	10
3090	10
3100	10
3110	10
3120	10
3130	10
3140	10
3150	10
3160	10
3170	10
3180	10
3190	10
3200	10
3210	10
3220	10
3230	10
3240	10
3250	10
3260	10
3270	10
3280	10
3290	10
3300	10
3310	10
3320	10
3330	10
3340	10
3350	10
3360	10
3370	10
3380	10
3390	10
3400	10
3410	10
3420	10
3430	10
3440	10
3450	10
3460	10
3470	10
3480	10
3490	10
3500	10
3510	10
3520	10
3530	10
3540	10
3550	10
3560	10
3570	10
3580	10
3590	10
3600	10
3610	10
3620	10
3630	10
3640	10
3650	10
3660	10
3670	10
3680	10
3690	10
3700	10
3710	10
3720	10
3730	10
3740	10
3750	10
3760	10
3770	10
3780	10
3790	10
3800	10
3810	10
3820	10
3830	10
3840	10
3850	10
3860	10
3870	10
3880	10
3890	10
3900	10
3910	10
3920	10
3930	10
3940	10
3950	10
3960	10
3970	10
3980	10
3990	10
4000	10
4010	10
4020	10
4030	10
4040	10
4050	10
4060	10
4070	10
4080	10
4090	10
4100	10
4110	10
4120	10
4130	10
4140	10
4150	10
4160	10
4170	10
4180	10
4190	10
4200	10
4210	10
4220	10
4230	10
4240	10
4250	10
4260	10
4270	10
4280	10
4290	10
4300	10
4310	10
4320	10
4330	10
4340	10
4350	10
4360	10
4370	10
4380	10
4390	10
4400	10
4410	10
4420	10
4430	10
4440	10
4450	10
4460	10
4470	10
4480	10
4490	10
4500	10
4510	10
4520	10
4530	10
4540	10
4550	10
4560	10
4570	10
4580	10
4590	10
4600	10
4610	10
4620	10
4630	10
4640	10
4650	10
4660	10
4670	10
4680	10
4690	10
4700	10
4710	10
4720	10
4730	10
4740	10
4750	10
4760	10
4770	10
4780	10
4790	10
4800	10
4810	10
4820	10
4830	10
4840	10
4850	10
4860	10
4870	10
4880	10
4890	10
4900	10
4910	10
4920	10
4930	10
4940	10
4950	10
4960	10
4970	10
4980	10
4990	10
5000	10



Commentaires :

Gravier (2-32mm) : 0,00%
Sable (0,063-<2mm) : 95,04%

Limon-Argile (<63µm) 4.96%

Date : 2018-09-24



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 18A386451

No échantillon : 9554240

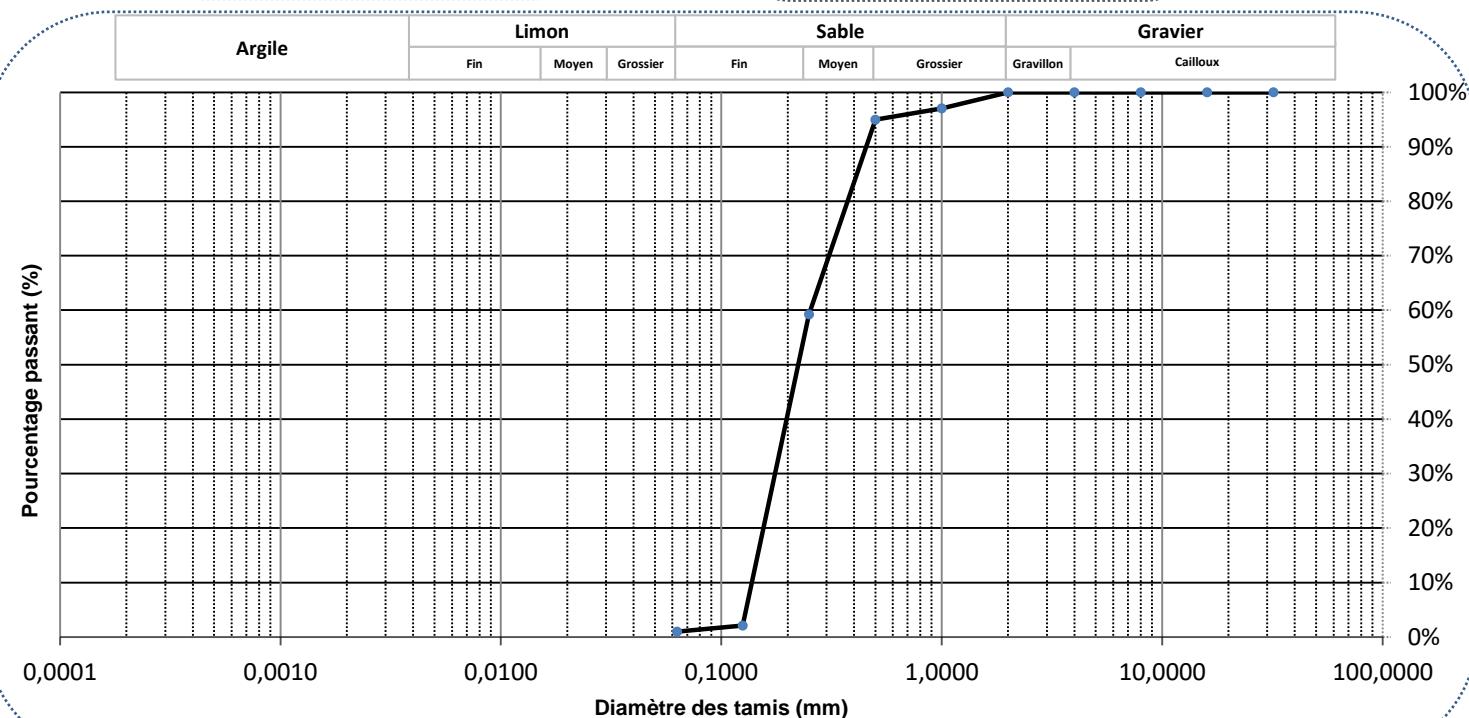
Version du certificat :

Client : WSP CANADA INC

Votre référence : TRPL2 MS1

Granulométrie Tamis (mm)	Pourcentage Passant (%)
32	100,0%
16	100,0%
8	100,0%
4	100,0%
2	100,0%
1	97,0%
0,500	95,0%
0,250	59,2%
0,125	2,1%
0,063	1,0%

Sédimentométrie Diamètre équivalent (µm)	Pourcentage Passant (%)
32	100,0%
16	100,0%
8	100,0%
4	100,0%
2	100,0%
1	97,0%
0,500	95,0%
0,250	59,2%
0,125	2,1%
0,063	1,0%



Commentaires :

Gravier (2-32mm) : 0,00%
Sable (0.063-<2mm) : 99,01%

Limon,Argile (<63um) 0,99%

Date : 2018-09-24



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 18A386451

No échantillon : 9554241

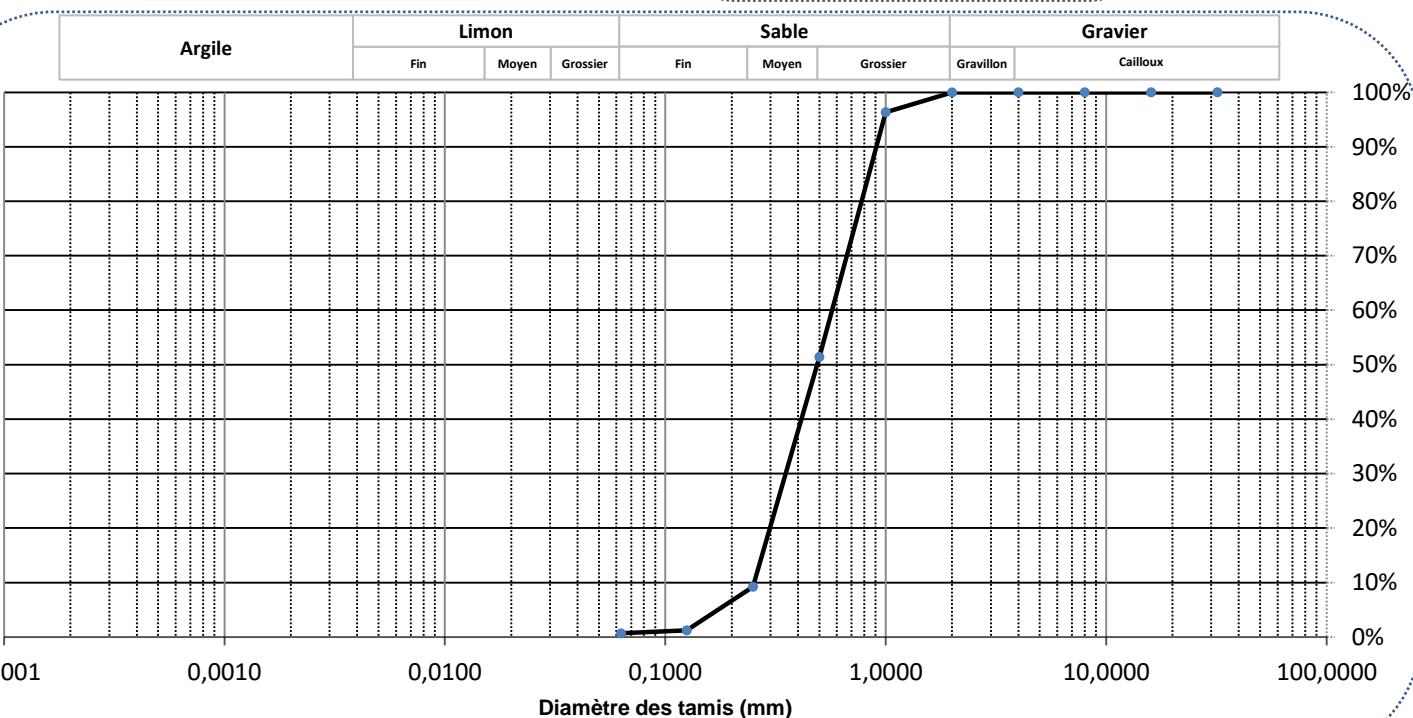
Version du certificat :

Client : WSP CANADA INC

Votre référence : ERPL Mi5

Granulométrie	Pourcentage
Tamis (mm)	Passant (%)
32	100,0%
16	100,0%
8	100,0%
4	100,0%
2	100,0%
1	96,3%
0,500	51,4%
0,250	9,2%
0,125	1,2%
0,063	0,7%

Sédimentométrie	Pourcentage
Diamètre équivalent (μm)	Passant (%)
10	10
20	10
30	10
40	10
50	10
60	10
70	10
80	10
90	10
100	10
110	10
120	10
130	10
140	10
150	10
160	10
170	10
180	10
190	10
200	10
210	10
220	10
230	10
240	10
250	10
260	10
270	10
280	10
290	10
300	10
310	10
320	10
330	10
340	10
350	10
360	10
370	10
380	10
390	10
400	10
410	10
420	10
430	10
440	10
450	10
460	10
470	10
480	10
490	10
500	10
510	10
520	10
530	10
540	10
550	10
560	10
570	10
580	10
590	10
600	10
610	10
620	10
630	10
640	10
650	10
660	10
670	10
680	10
690	10
700	10
710	10
720	10
730	10
740	10
750	10
760	10
770	10
780	10
790	10
800	10
810	10
820	10
830	10
840	10
850	10
860	10
870	10
880	10
890	10
900	10
910	10
920	10
930	10
940	10
950	10
960	10
970	10
980	10
990	10
1000	10
1010	10
1020	10
1030	10
1040	10
1050	10
1060	10
1070	10
1080	10
1090	10
1100	10
1110	10
1120	10
1130	10
1140	10
1150	10
1160	10
1170	10
1180	10
1190	10
1200	10
1210	10
1220	10
1230	10
1240	10
1250	10
1260	10
1270	10
1280	10
1290	10
1300	10
1310	10
1320	10
1330	10
1340	10
1350	10
1360	10
1370	10
1380	10
1390	10
1400	10
1410	10
1420	10
1430	10
1440	10
1450	10
1460	10
1470	10
1480	10
1490	10
1500	10
1510	10
1520	10
1530	10
1540	10
1550	10
1560	10
1570	10
1580	10
1590	10
1600	10
1610	10
1620	10
1630	10
1640	10
1650	10
1660	10
1670	10
1680	10
1690	10
1700	10
1710	10
1720	10
1730	10
1740	10
1750	10
1760	10
1770	10
1780	10
1790	10
1800	10
1810	10
1820	10
1830	10
1840	10
1850	10
1860	10
1870	10
1880	10
1890	10
1900	10
1910	10
1920	10
1930	10
1940	10
1950	10
1960	10
1970	10
1980	10
1990	10
2000	10
2010	10
2020	10
2030	10
2040	10
2050	10
2060	10
2070	10
2080	10
2090	10
2100	10
2110	10
2120	10
2130	10
2140	10
2150	10
2160	10
2170	10
2180	10
2190	10
2200	10
2210	10
2220	10
2230	10
2240	10
2250	10
2260	10
2270	10
2280	10
2290	10
2300	10
2310	10
2320	10
2330	10
2340	10
2350	10
2360	10
2370	10
2380	10
2390	10
2400	10
2410	10
2420	10
2430	10
2440	10
2450	10
2460	10
2470	10
2480	10
2490	10
2500	10
2510	10
2520	10
2530	10
2540	10
2550	10
2560	10
2570	10
2580	10
2590	10
2600	10
2610	10
2620	10
2630	10
2640	10
2650	10
2660	10
2670	10
2680	10
2690	10
2700	10
2710	10
2720	10
2730	10
2740	10
2750	10
2760	10
2770	10
2780	10
2790	10
2800	10
2810	10
2820	10
2830	10
2840	10
2850	10
2860	10
2870	10
2880	10
2890	10
2900	10
2910	10
2920	10
2930	10
2940	10
2950	10
2960	10
2970	10
2980	10
2990	10
3000	10
3010	10
3020	10
3030	10
3040	10
3050	10
3060	10
3070	10
3080	10
3090	10
3100	10
3110	10
3120	10
3130	10
3140	10
3150	10
3160	10
3170	10
3180	10
3190	10
3200	10
3210	10
3220	10
3230	10
3240	10
3250	10
3260	10
3270	10
3280	10
3290	10
3300	10
3310	10
3320	10
3330	10
3340	10
3350	10
3360	10
3370	10
3380	10
3390	10
3400	10
3410	10
3420	10
3430	10
3440	10
3450	10
3460	10
3470	10
3480	10
3490	10
3500	10
3510	10
3520	10
3530	10
3540	10
3550	10
3560	10
3570	10
3580	10
3590	10
3600	10
3610	10
3620	10
3630	10
3640	10
3650	10
3660	10
3670	10
3680	10
3690	10
3700	10
3710	10
3720	10
3730	10
3740	10
3750	10
3760	10
3770	10
3780	10
3790	10
3800	10
3810	10
3820	10
3830	10
3840	10
3850	10
3860	10
3870	10
3880	10
3890	10
3900	10
3910	10
3920	10
3930	10
3940	10
3950	10
3960	10
3970	10
3980	10
3990	10
4000	10
4010	10
4020	10
4030	10
4040	10
4050	10
4060	10
4070	10
4080	10
4090	10
4100	10
4110	10
4120	10
4130	10
4140	10
4150	10
4160	10
4170	10
4180	10
4190	10
4200	10
4210	10
4220	10
4230	10
4240	10
4250	10
4260	10
4270	10
4280	10
4290	10
4300	10
4310	10
4320	10
4330	10
4340	10
4350	10
4360	10
4370	10
4380	10
4390	10
4400	10
4410	10
4420	10
4430	10
4440	10
4450	10
4460	10
4470	10
4480	10
4490	10
4500	10
4510	10
4520	10
4530	10
4540	10
4550	10
4560	10
4570	10
4580	10
4590	10
4600	10
4610	10
4620	10
4630	10
4640	10
4650	10
4660	10
4670	10
4680	10
4690	10
4700	10
4710	10
4720	10
4730	10
4740	10
4750	10
4760	10
4770	10
4780	10
4790	10
4800	10
4810	10
4820	10
4830	10
4840	10
4850	10
4860	10
4870	10
4880	10
4890	10
4900	10
4910	10
4920	10
4930	10
4940	10
4950	10
4960	10
4970	10
4980	10
4990	10
5000	10



Commentaires :

Gravier (2-32mm) : 0,03%
Sable (0.063-<2mm) : 99.30%

Limon Argile ($<63\mu\text{m}$) 0.67%

Date : 2018-09-24



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 18A386451

No échantillon : 9554242

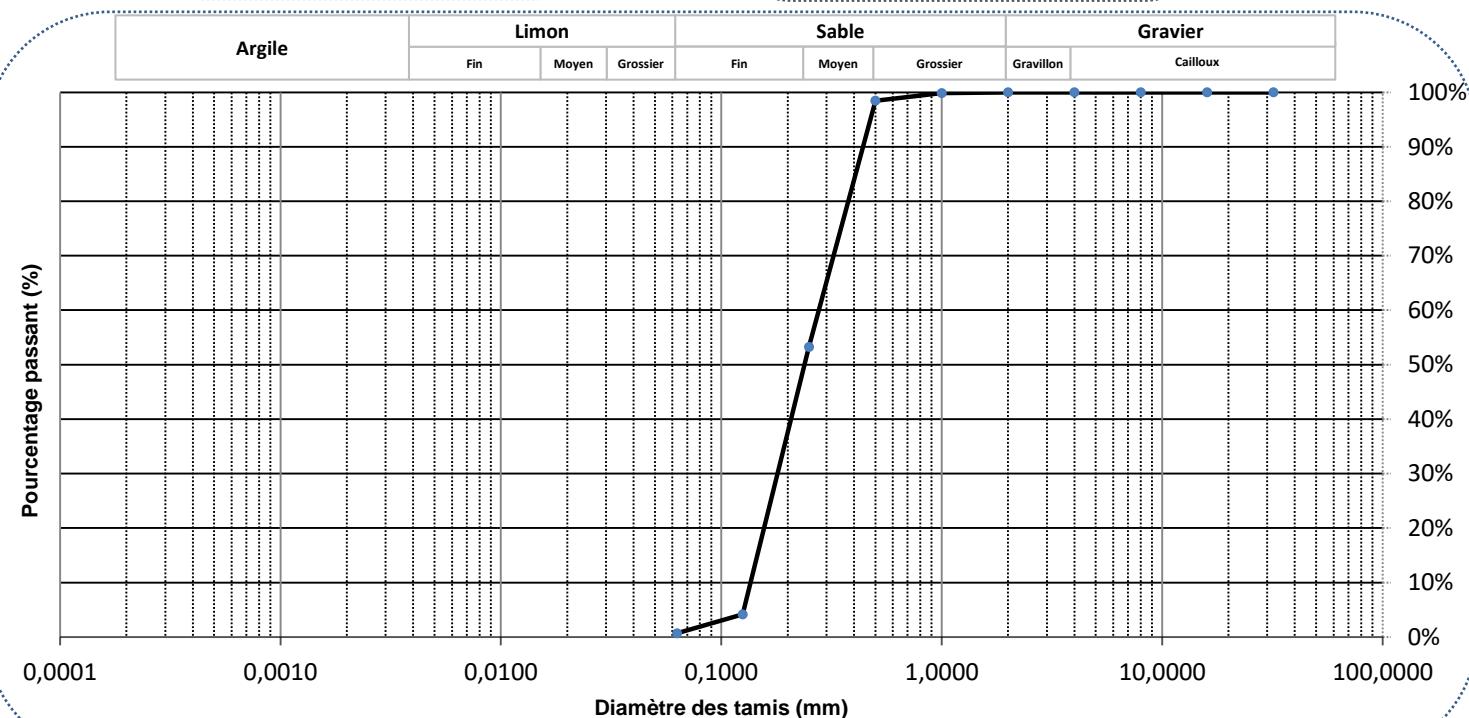
Version du certificat :

Client : WSP CANADA INC

Votre référence : TRPL1 Mi5

Granulométrie Tamis (mm)	Pourcentage Passant (%)
32	100,0%
16	100,0%
8	100,0%
4	100,0%
2	100,0%
1	99,8%
0,500	98,5%
0,250	53,3%
0,125	4,2%
0,063	0,7%

Sédimentométrie Diamètre équivalent (µm)	Pourcentage Passant (%)
32	100,0%
16	100,0%
8	100,0%
4	100,0%
2	100,0%
1	99,8%
0,500	98,5%
0,250	53,3%
0,125	4,2%
0,063	0,7%



Commentaires :

Gravier (2-32mm) : 0,00%
Sable (0.063-<2mm) : 99,33%

Limon,Argile (<63um) 0,67%

Date : 2018-09-24



NOM DU CLIENT: WSP CANADA INC
125, RUE RACINE EST
CHICOUTIMI, QC G7H1R5
(418) 698-4488

À L'ATTENTION DE: JEROME PLOURDE

N° DE PROJET: Suivi invertèbres LSJ 191-11118-00

N° BON DE TRAVAIL: 19A516476

ANALYSE DES SOLS VÉRIFIÉ PAR: Francois Boutin, Chimiste

DATE DU RAPPORT: 2019-10-03

VERSION*: 1

NOMBRE DE PAGES: 7

Si vous désirez de l'information concernant cette analyse, S.V.P. contacter votre chargé de projets au (418) 266-5511.

*NOTES

Nous disposerons des échantillons dans les 30 jours suivants les analyses. S.V.P. Contactez le laboratoire si vous désirez avoir un délai d'entreposage.



AGAT

Laboratoires

Certificat d'analyse

N° BON DE TRAVAIL: 19A516476

N° DE PROJET: Suivi invertébres LSJ 191-11118-00

350, rue Franquet
Québec, Québec
CANADA G1P 4P3
TEL (418)266-5511
FAX (418)653-2335
<http://www.agatlabs.com>

NOM DU CLIENT: WSP CANADA INC

PRÉLEVÉ PAR:Marie-Claude Julien

À L'ATTENTION DE: JEROME PLOURDE

LIEU DE PRÉLÈVEMENT:Lac-Saint-Jean

Analyses inorganiques (sédiments)

DATE DE RÉCEPTION: 2019-09-11

DATE DU RAPPORT: 2019-10-03

Commentaires: LDR - Limite de détection rapportée; C / N - Critères Normes

517117-517145 Une LDR plus élevée indique qu'une dilution a été effectuée afin de réduire la concentration des analytes ou de réduire l'interférence de la matrice.

Certifié par:



La procédure des Laboratoires AGAT concernant les signatures et les signataires se conforme strictement aux exigences d'accréditation ISO 17025:2005 comme le requiert, lorsque applicable, CALA, CCN et MDDELCC. Toutes les signatures sur les certificats d'AGAT sont protégées par des mots de passe et les signataires rencontrent les exigences des domaines d'accréditation ainsi que les exigences régionales approuvées par CALA, CCN et MDDELCC.

Certificat d'analyse

N° BON DE TRAVAIL: 19A516476

N° DE PROJET: Suivi invertébres LSJ 191-11118-00

350, rue Franquet
Québec, Québec
CANADA G1P 4P3
TEL (418)266-5511
FAX (418)653-2335
<http://www.agatlabs.com>

NOM DU CLIENT: WSP CANADA INC

PRÉLEVÉ PAR: Marie-Claude Julien

À L'ATTENTION DE: JEROME PLOURDE

LIEU DE PRÉLÈVEMENT: Lac-Saint-Jean

Analyses inorganiques - Granulométrie

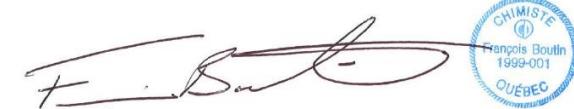
DATE DE RÉCEPTION: 2019-09-11

DATE DU RAPPORT: 2019-10-03

Paramètre	IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON:			ERPLMS5	TRPL2MS5	ERPRMI1	TRPL1MI1	TRPL2PF6	TRPR1MI1	TRPL1MS5	ERPLM15
	Unités	C / N	LDR	MATRICE:	Sédiment	Sédiment	Sédiment	Sédiment	Sédiment	Sédiment	Sédiment
Granulométrie (Wentworth)	NA	NA	Annexe	Annexe	Annexe	Annexe	Annexe	Annexe	Annexe	Annexe	Annexe
Paramètre	IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON:			TRPL3MS5	TRPL1PF5	TRPL3MI1	TRPL3PF5	ERPRPF5	TRPR2MS5	TRPR3MS5	TRPR1MS5
	Unités	C / N	LDR	MATRICE:	Sédiment	Sédiment	Sédiment	Sédiment	Sédiment	Sédiment	Sédiment
Granulométrie (Wentworth)	NA	NA	Annexe	Annexe	Annexe	Annexe	Annexe	Annexe	Annexe	Annexe	Annexe
Paramètre	IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON:			ERPRMS5	TRPR2MI1	TRPR1PF5	TRPL2MI1	TRPR3PF1	TRPR2PF5	ERPLPF10	TRPR3MI1
	Unités	C / N	LDR	MATRICE:	Sédiment	Sédiment	Sédiment	Sédiment	Sédiment	Sédiment	Sédiment
Granulométrie (Wentworth)	NA	NA	Annexe	Annexe	Annexe	Annexe	Annexe	Annexe	Annexe	Annexe	Annexe

Commentaires: LDR - Limite de détection rapportée; C / N - Critères Normes

Certifié par:




La procédure des Laboratoires AGAT concernant les signatures et les signataires se conforme strictement aux exigences d'accréditation ISO 17025:2005 comme le requiert, lorsque applicable, CALA, CCN et MDDELCC. Toutes les signatures sur les certificats d'AGAT sont protégées par des mots de passe et les signataires rencontrent les exigences des domaines d'accréditation ainsi que les exigences régionales approuvées par CALA, CCN et MDDELCC.



AGAT

Laboratoires

350, rue Franquet
Québec, Québec
CANADA G1P 4P3
TEL (418)266-5511
FAX (418)653-2335
<http://www.agatlabs.com>

Contrôle de qualité

NOM DU CLIENT: WSP CANADA INC

N° DE PROJET: Suivi invertébrés LSJ 191-11118-00

PRÉLEVÉ PAR: Marie-Claude Julien

N° BON DE TRAVAIL: 19A516476

À L'ATTENTION DE: JEROME PLOURDE

LIEU DE PRÉLÈVEMENT:Lac-Saint-Jean

Analyse des Sols

Date du rapport: 2019-10-03			DUPLICATA			MATÉRIAU DE RÉFÉRENCE					BLANC FORTIFIÉ			ÉCH. FORTIFIÉ		
PARAMÈTRE	Lot	N° éch.	Dup #1	Dup #2	% d'écart	Blanc de méthode	% Récup.	Limites		% Récup.	Limites		% Récup.	Limites		
			Inf.	Sup.	Inf.			Inf.	Sup.		Inf.	Sup.		Inf.	Sup.	

Analyses inorganiques (sédiments)

Carbone organique total	513503	513503	26	30	14.3	< 0.05	106%	80%	120%	NA	80%	120%	105%	80%	120%
-------------------------	--------	--------	----	----	------	--------	------	-----	------	----	-----	------	------	-----	------

Commentaires: NA : Non applicable

NA dans l'écart du duplicata indique que l'écart n'a pu être calculé car l'un ou les deux résultats sont < 5x LDR.

NA dans le pourcentage de récupération de l'échantillon fortifié indique que le résultat n'est pas fourni en raison de l'hétérogénéité de l'échantillon ou de la concentration trop élevée par rapport à l'ajout.

NA dans le blanc fortifié ou le MRC indique qu'il n'est pas requis par la procédure.

Le pourcentage de récupération du MRC peut être en dehors du critère d'acceptabilité de 80-120%, s'il est conforme à l'écart du certificat du matériau de référence.

Analyses inorganiques (sédiments)

Carbone organique total	517127	517127	0.46	0.47	2.2	< 0.05	100%	80%	120%	NA	80%	120%	99%	80%	120%
-------------------------	--------	--------	------	------	-----	--------	------	-----	------	----	-----	------	-----	-----	------

Commentaires: NA : Non applicable

NA dans l'écart du duplicata indique que l'écart n'a pu être calculé car l'un ou les deux résultats sont < 5x LDR.

NA dans le pourcentage de récupération de l'échantillon fortifié indique que le résultat n'est pas fourni en raison de l'hétérogénéité de l'échantillon ou de la concentration trop élevée par rapport à l'ajout.

NA dans le blanc fortifié ou le MRC indique qu'il n'est pas requis par la procédure.

Le pourcentage de récupération du MRC peut être en dehors du critère d'acceptabilité de 80-120%, s'il est conforme à l'écart du certificat du matériau de référence.

Certifié par:




La procédure des Laboratoires AGAT concernant les signatures et les signataires se conforme strictement aux exigences d'accréditation ISO 17025:2005 comme le requiert, lorsque applicable, CALA, CCN et MDDELCC. Toutes les signatures sur les certificats d'AGAT sont protégées par des mots de passe et les signataires rencontrent les exigences des domaines d'accréditation ainsi que les exigences régionales approuvées par CALA, CCN et MDDELCC. Les pourcentages de différence relative sont calculés à partir des données brutes. Il se peut que le pourcentage de différence relative ne reflète pas les valeurs dupliquées rapportées en raison de l'arrondissement des résultats finaux.

Sommaire de méthode

NOM DU CLIENT: WSP CANADA INC

N° BON DE TRAVAIL: 19A516476

N° DE PROJET: Suivi invertébrés LSJ 191-11118-00

À L'ATTENTION DE: JEROME PLOURDE

PRÉLEVÉ PAR:Marie-Claude Julien

LIEU DE PRÉLÈVEMENT:Lac-Saint-Jean

PARAMÈTRE	PRÉPARÉ LE	ANALYSÉ LE	AGAT P.O.N.	RÉFÉRENCE DE LITTÉRATURE	TECHNIQUE ANALYTIQUE
Analyse des Sols					
Carbone organique total	2019-09-16	2019-09-18	INOR-101-6057F	MA. 405-C 1.1	TITRAGE
Granulométrie (Wentworth)	2019-09-26	2019-10-02	INOR-161-6031F, non accrédité MELCC	MA. 100 - Gran. 2.0	TAMISAGE



AGAT

Laboratoires

Chaîne de traçabilité Environnement

Information pour le rapport

Compagnie : WSP Canada Inc.
 Adresse : 125, rue Racine EST
 Chicoutimi
 Téléphone : 581-543-0128 Téléc. :
 Projet : suivi invertebrés LSJ 19-11118-00
 Lieu de prélèvement : Lac Saint-Jean
 Prélevé par : Marie-Claude Julien

Facturé à

WSP Canada Inc. Même adresse: Oui Non

Compagnie :

Jérôme Plourde
 191-11118-00

Contact :

Courriel :

Adresse :

Bon de commande :

Soumission :

Commentaires:

2 de 2

Matrice (légende)	EP	Eau potable	EB	Eau brute	EPI	Eau de piscine
S Sol	B Boue	SE Sédiment	ES Eau de surface	AF Affluent		
SL Solide	EU Eau usée	EF Effluent	ST Eau souterraine	A Air		

Identification de l'échantillon

IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON	PRÉLÈVEMENT		MATRICE	NB. DE CONTENANTS
	DATE (AA/MM/JJ)	HEURE		
ERPR PF5	19/09/09		SE	2
TRPR2MS5	19/09/09		SE	2
TRPR3MS5	19/09/09		SE	2
TRPR1 MS5	19/09/09		SE	2
ERPR MS5	19/09/09		SE	2
TRPR2 MI1	19/09/08		SE	2
TRPR1PF5	19/09/09		SE	2
TRPL2 MI1	19/09/06		SE	2
TRPR3 PF1	19/09/08		SE	2
TRPR2 PF5	19/09/09		SE	2
ERPL PF10	19/09/06		SE	2
TRPR3 MI1	19/09/08		SE	2

Échantillon remis par (nom en lettres moulées et signature)

Date (AA/MM/JJ)

Heure

Échantillon reçus par (nom en lettres moulées et signature)

Date (AA/MM/JJ)

Heure

2019-09-11 14h15.

Page 2 de 2

No. de document: 0IV-111-1542F-010

350 rue Franquet, Ville de Québec,

Québec, G1P 4P3

Tél.: 418.266.5511 Téléc.: 418.653.2335

fr.agatlabs.com

Copies: Rose - Client

Jaune - AGAT

Blanche - AGAT

066782

À l'usage exclusif du laboratoire

Bon de travail AGAT:

19A516476

Nb. de glacières:

2

Température à l'arrivée:

5°C 5°C 5°C

Glace Bloc réfrigérant Aucun

Scellé légal intact: Oui Non N/A

Délais d'analyse requis (jours ouvrables)

Environnemental: Haute Résolution:

Régulier: 5 à 7 jours

Régulier: 10 à 15 jours

Urgent: Même jour

Urgent: < 10 jours

1 jour

2 jours

3 jours

Date Requise:

décembre 2019

AA/MM/JJ

Rapport envoyé à

1. Nom: Jérôme Plourde
 Courriel: jerome.plourde@wsp.com

2. Nom:
 Courriel:

Critères à respecter

PRTC ABC RESC

CCME

Eau consommation

Eau résurg. Surface

Eau résurg. Salée

CMM Sanitaire Pluvial

Autre:

Format de rapport

Portrait (échantillon/page) Paysage (échantillons/page)

Hydrocarbures pétroliers C10-C50

HAP

BTEX

HAM

HAC-HAM

THM

Chlorobénzènes

Phthalates

COSV

BPC

Congénères

Acrolic

CBNC

Éthylène glycol

Formaldéhyde

Huiles et graisses: Minérales

Totales

Pesticides: OC

OP

Herbicides

Diquat / Paraquat

Glyphosate

Phénols (GC/MS)

Indice phénolique (4AAP)

Métaux - Sol

Hg

Se

CrVI

CrIII

U

Métaux: Filtré sur terrain

Filtré au lab

Métaux (spécifier):

Dureté totale

Alcalinité

Bromates

Conductivité

Chlorures

Fluorures

Sulfates

Bromures

Oxydables

DCO

COT

NH₃ + NH₄

NTK

NO₂ + NO₃

P total

Solides : Totaux

Dissous

MES

MESV

Sulfures - Eau

Soufre total - Sol

pH

NO₂

NO₃

o-PO4

COD

Absorbance UV

Couleur

Turbidité

DBO₅

Carbonée

Fécaux

Coliformes - Totaux

Fécaux

E.coli

Microbiologie (autre):

HR/MS

Dioxines/Furanes

HAP

BPC

CMM 2008-47: Sanitaire

Pluvial

NP

NPE

RÉMR art.

COT

Granulométric (Wentworth)

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X

X



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 19A516476

No échantillon : 517141

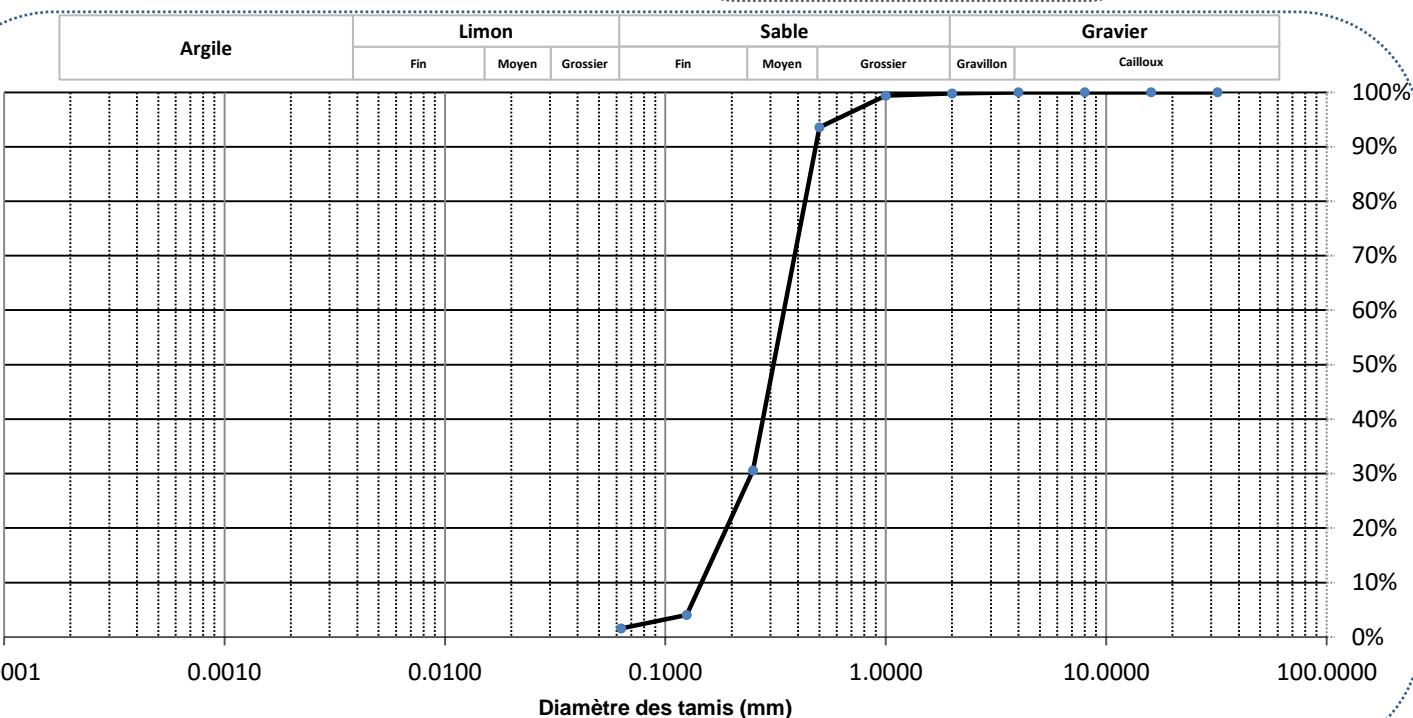
Version du certificat :

Client : WSP CANADA INC

Votre référence : TRPL2MI1

Granulométrie	Pourcentage Passant (%)
Tamis (mm)	
32	100.0%
16	100.0%
8	100.0%
4	100.0%
2	99.8%
1	99.4%
0.500	93.6%
0.250	30.6%
0.125	4.1%
0.063	1.6%

Sédimentométrie	Pourcentage Passant (%)
Diamètre équivalent (μm)	



Commentaires :

Gravier (2-32mm) : 0.23%
Sable (0.063-<2mm) : 98.20%

Limon.Araile (<63um) 1.57%

Tamis rouges

Date : 2019-10-03



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 19A516476

Client : WSP CANADA INC

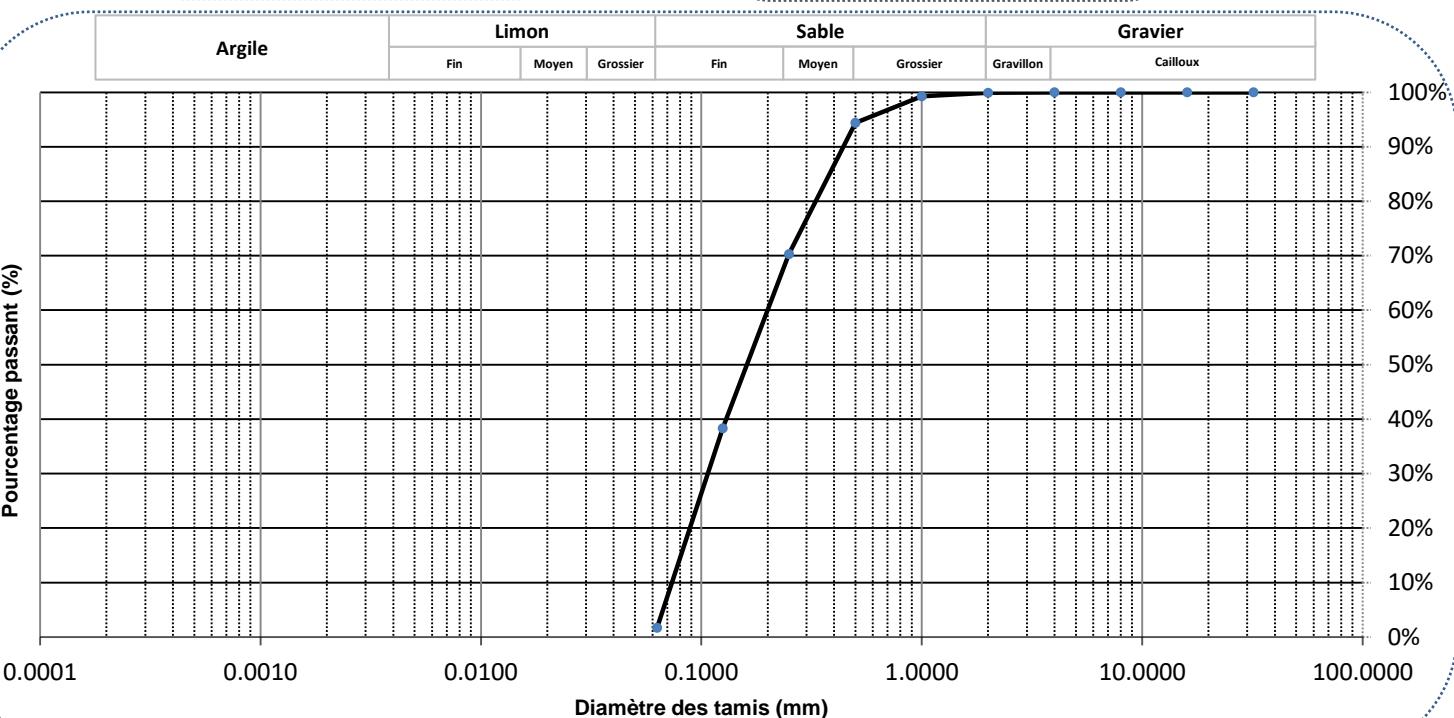
No échantillon : 517144

Votre référence : ERPLPF10

Version du certificat :

Granulométrie Tamis (mm)	Pourcentage Passant (%)
32	100.0%
16	100.0%
8	100.0%
4	100.0%
2	99.9%
1	99.3%
0.500	94.4%
0.250	70.3%
0.125	38.3%
0.063	1.7%

Sédimentométrie Diamètre équivalent (µm)	Pourcentage Passant (%)
32	100.0%
16	100.0%
8	100.0%
4	100.0%
2	99.9%
1	99.3%
0.500	94.4%
0.250	70.3%
0.125	38.3%
0.063	1.7%



Commentaires :

Gravier (2-32mm) : 0.09%
Sable (0.063-<2mm) : 98.21%

Limon, Argile (<63um) 1.70%

Tamis rouges

Date : 2019-10-03



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 19A516476

Client : WSP CANADA INC

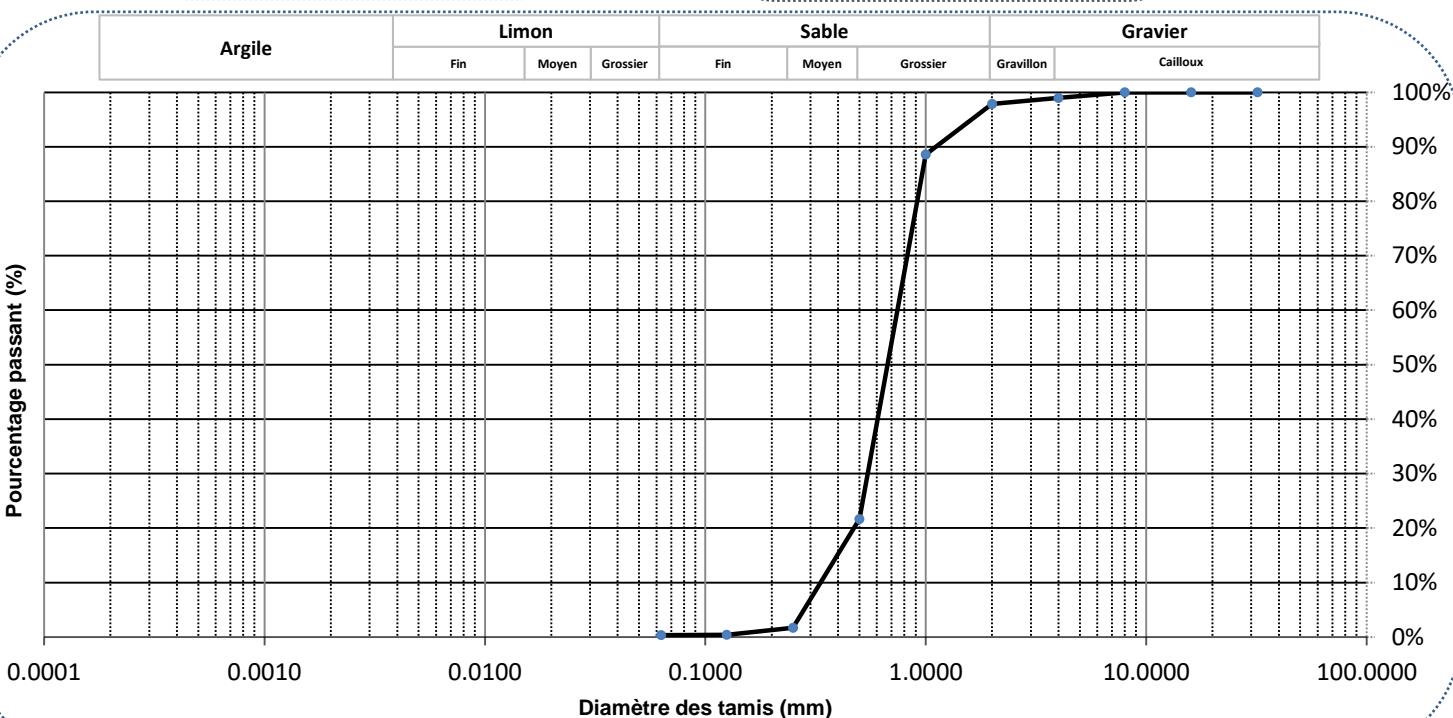
No échantillon : 517132

Votre référence : TRPL3MI1

Version du certificat :

Granulométrie Tamis (mm)	Pourcentage Passant (%)
32	100.0%
16	100.0%
8	100.0%
4	99.0%
2	97.9%
1	88.6%
0.500	21.7%
0.250	1.7%
0.125	0.4%
0.063	0.4%

Sédimentométrie Diamètre équivalent (µm)	Pourcentage Passant (%)
32	100.0%
16	100.0%
8	100.0%
4	99.0%
2	97.9%
1	88.6%
0.500	21.7%
0.250	1.7%
0.125	0.4%
0.063	0.4%



Commentaires :

Gravier (2-32mm) : 2.15%
Sable (0.063-<2mm) : 97.49%

Limon, Argile (<63um) 0.36%

Tamis rouges

Date : 2019-10-01



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 19A516476

No échantillon : 517133

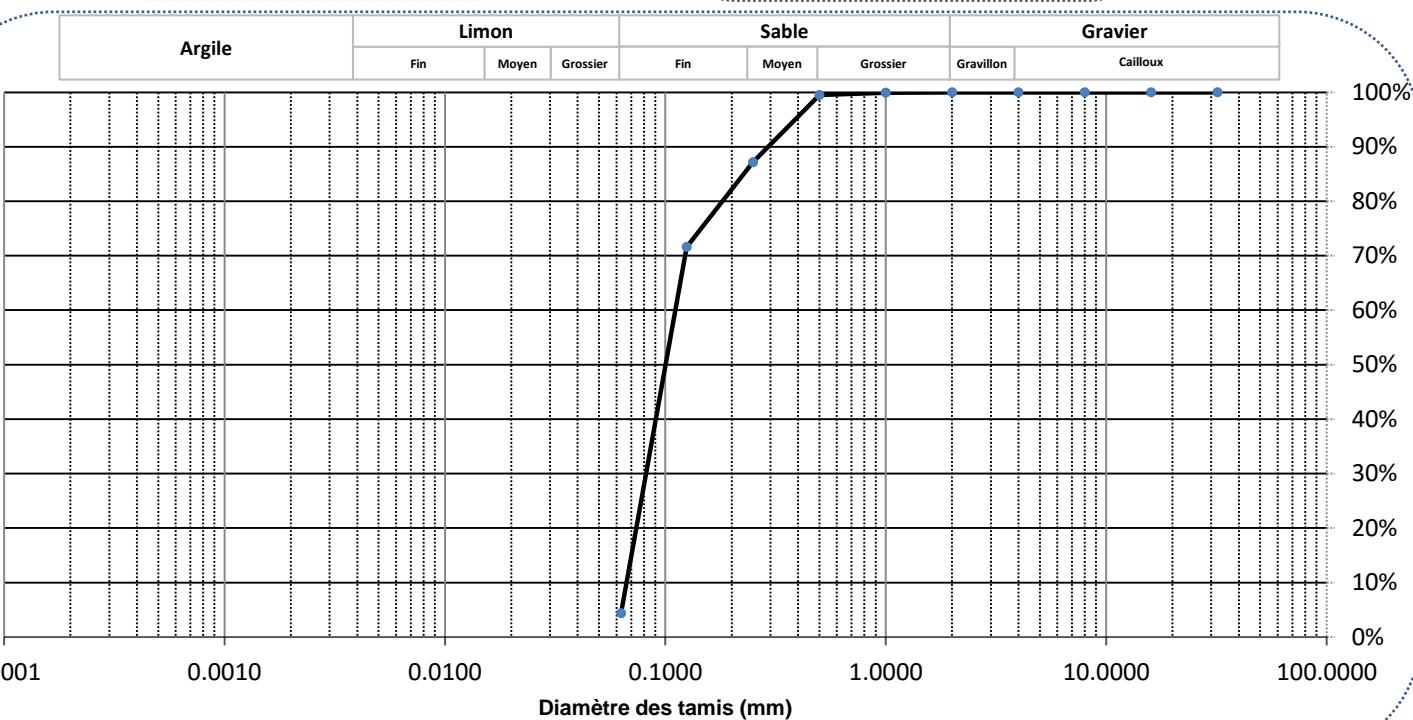
Version du certificat :

Client : WSP CANADA INC

Votre référence : TRPL3PF5

Granulométrie Tamis (mm)	Pourcentage Passant (%)
32	100.0%
16	100.0%
8	100.0%
4	100.0%
2	100.0%
1	99.9%
0.500	99.5%
0.250	87.2%
0.125	71.6%
0.063	4.4%

Sédimentométrie	Pourcentage Passant (%)
Diamètre équivalent (μm)	



Commentaires :

Gravier (2-32mm) : 0.00%
Sable (0.063-<2mm) : 95.62%

Limon.Araile (<63um) 4.38%

Tamis oranges

Date : 2019-10-01



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 19A516476

No échantillon : 517131

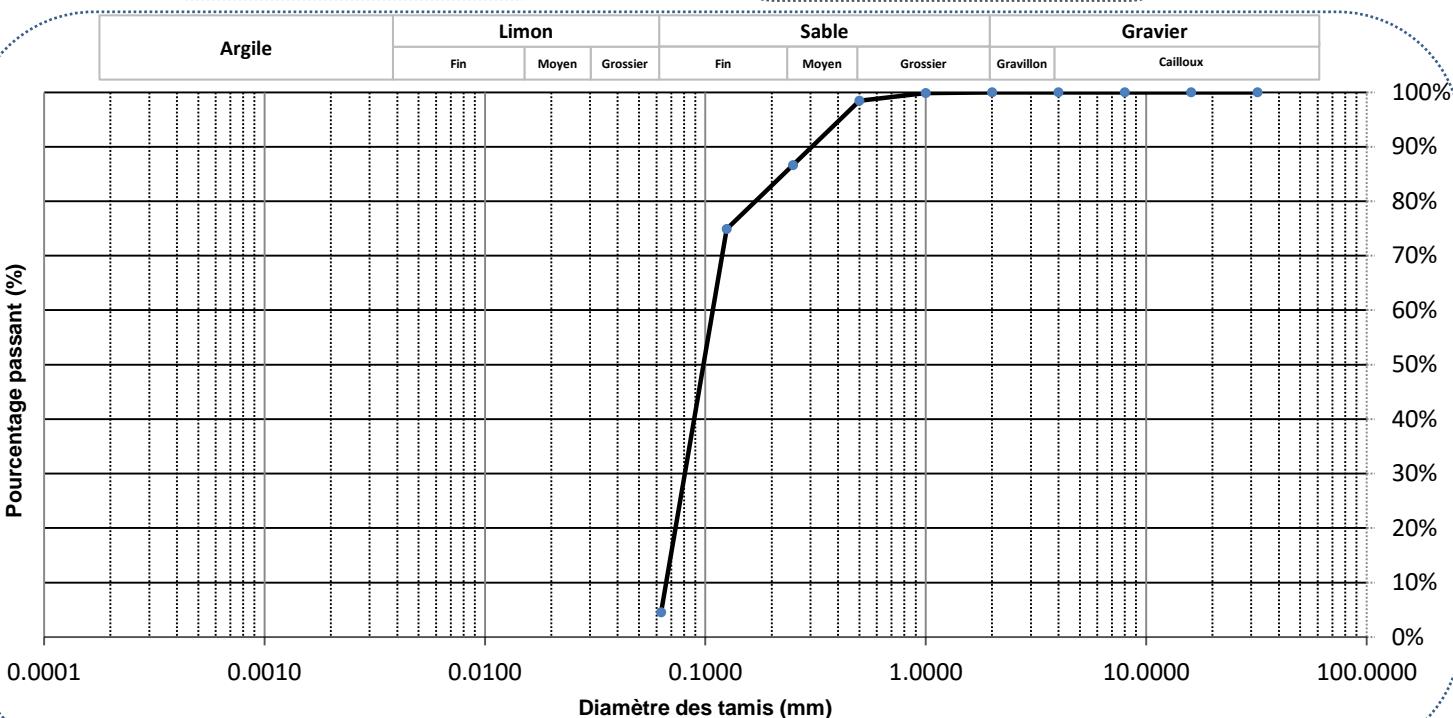
Version du certificat :

Client : WSP CANADA INC

Votre référence : TRPL1PF5

Granulométrie Tamis (mm)	Pourcentage Passant (%)
32	100.0%
16	100.0%
8	100.0%
4	100.0%
2	100.0%
1	99.9%
0.500	98.5%
0.250	86.6%
0.125	74.9%
0.063	4.5%

Sédimentométrie Diamètre équivalent (µm)	Pourcentage Passant (%)
32	100.0%
16	100.0%
8	100.0%
4	100.0%
2	100.0%
1	99.9%
0.500	98.5%
0.250	86.6%
0.125	74.9%
0.063	4.5%



Commentaires :

Gravier (2-32mm) : 0.00%
Sable (0.063-<2mm) : 95.46%

Limon, Argile (<63um) 4.54%

Tamis rouges

Date : 2019-10-01



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 19A516476

No échantillon : 517128

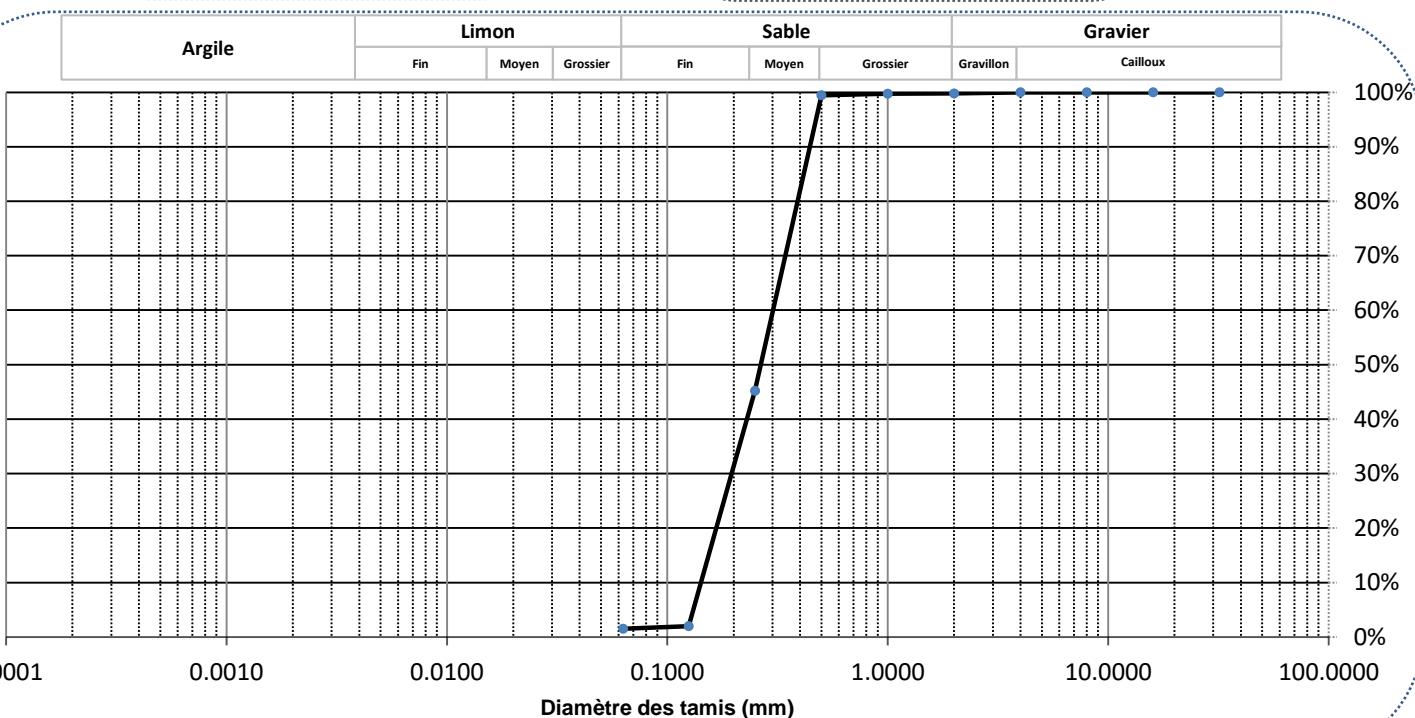
Version du certificat :

Client : WSP CANADA INC

Votre référence : TRPL1MS5

Granulométrie	Pourcentage
Tamis	Passant
(mm)	(%)
32	100.0%
16	100.0%
8	100.0%
4	100.0%
2	99.8%
1	99.7%
0.500	99.5%
0.250	45.2%
0.125	2.0%
0.063	1.5%

Sédimentométrie	Pourcentage Passant (%)
Diamètre équivalent (μm)	



Commentaires :

Gravier (2-32mm) : 0.21%
Sable (0.063-<2mm) : 98.26%

Limon.Araile (<63um) 1.53%

Tamis rouges

Date : 2019-09-30



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 19A516476

Client : WSP CANADA INC

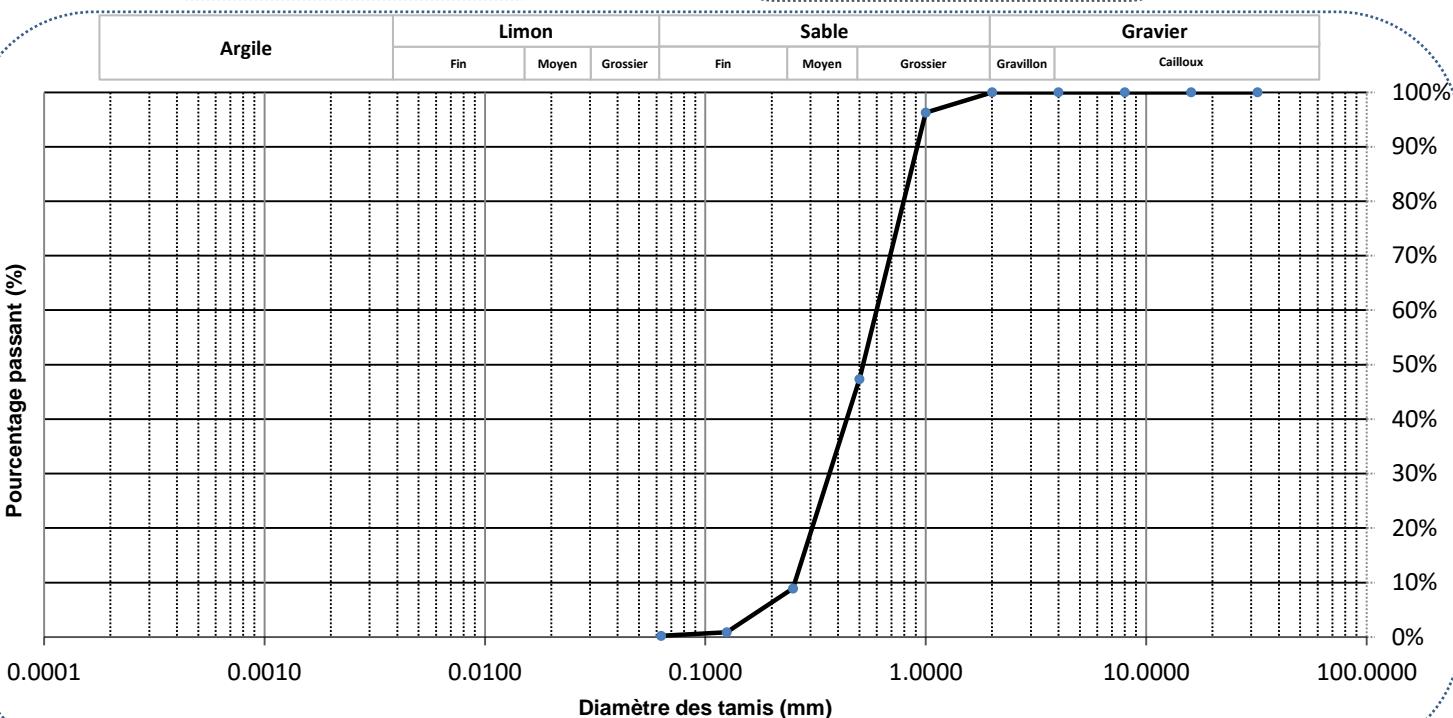
No échantillon : 517129

Votre référence : ERPLMI5

Version du certificat :

Granulométrie Tamis (mm)	Pourcentage Passant (%)
32	100.0%
16	100.0%
8	100.0%
4	100.0%
2	100.0%
1	96.3%
0.500	47.3%
0.250	8.9%
0.125	0.9%
0.063	0.2%

Sédimentométrie Diamètre équivalent (µm)	Pourcentage Passant (%)
32	100.0%
16	100.0%
8	100.0%
4	100.0%
2	100.0%
1	96.3%
0.500	47.3%
0.250	8.9%
0.125	0.9%
0.063	0.2%



Commentaires :

Gravier (2-32mm) : 0.00%
Sable (0.063-<2mm) : 99.79%

Limon, Argile (<63um) 0.21%

Tamis rouges

Date : 2019-10-01



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 19A516476

No échantillon : 517130

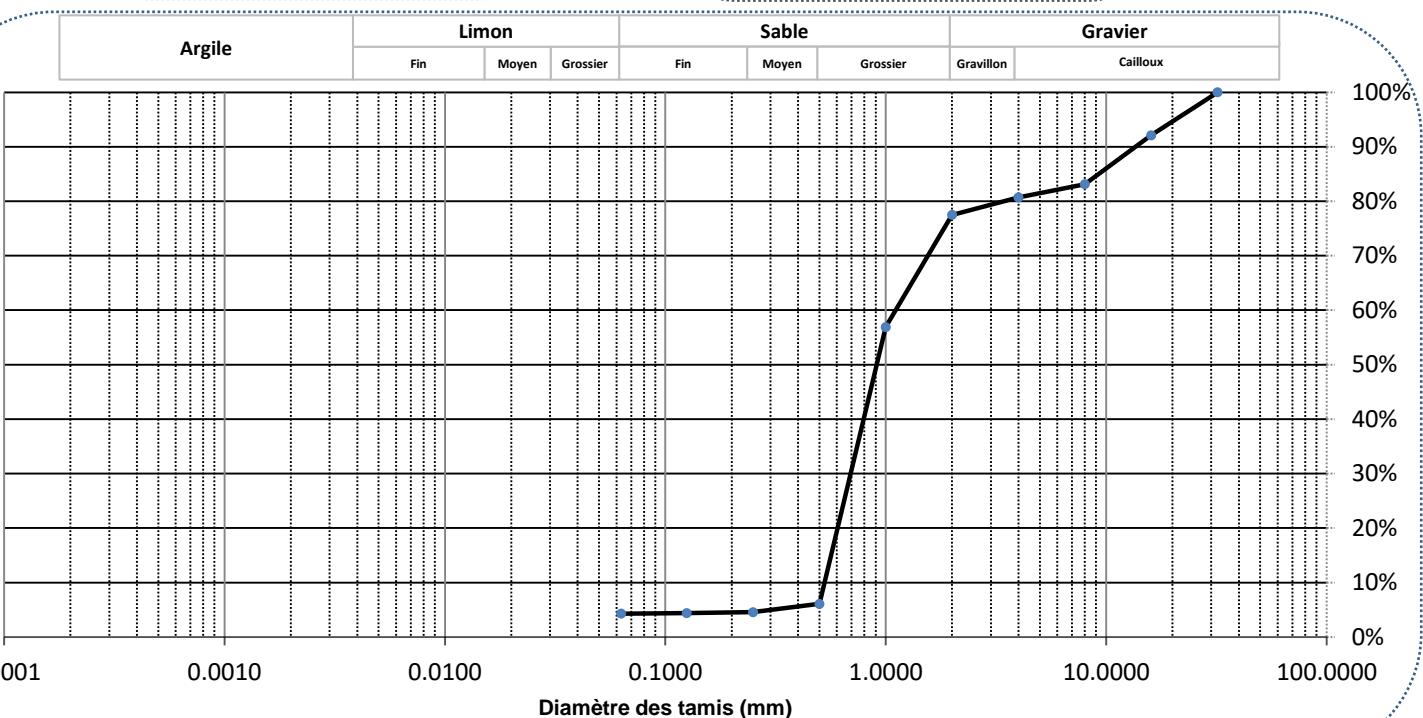
Version du certificat :

Client : WSP CANADA INC

Votre référence : TRPL3MS5

Granulométrie	Pourcentage Passant (%)
Tamis (mm)	
32	100.0%
16	92.1%
8	83.1%
4	80.7%
2	77.5%
1	56.9%
0.500	6.1%
0.250	4.6%
0.125	4.4%
0.063	4.3%

Sédimentométrie	Pourcentage Passant (%)
Diamètre équivalent (μm)	



Commentaires :

Gravier (2-32mm) : 22.50%
Sable (0.063-<2mm) : 73.20%

Limon Argile (<63μm) 4.30%

Tamis oranges

Date : 2019-10-01



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 19A516476

No échantillon : 517123

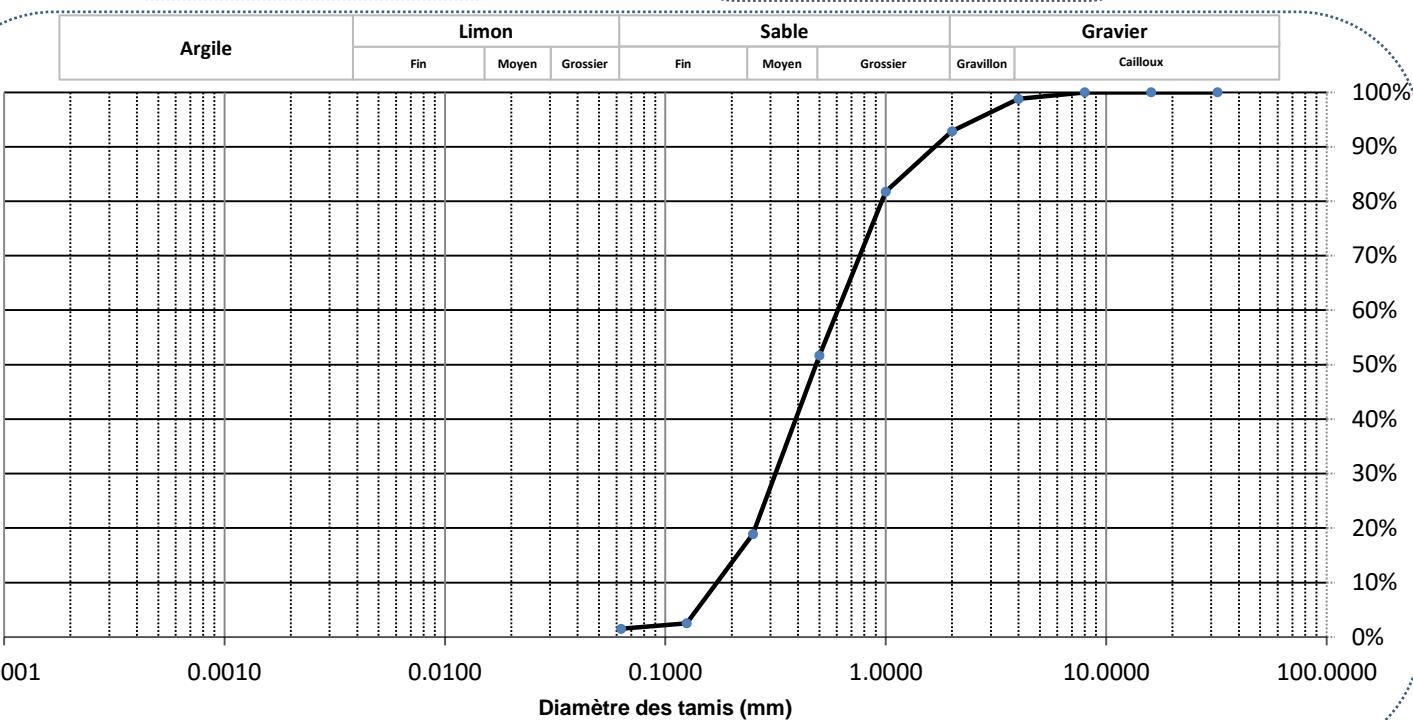
Version du certificat :

Client : WSP CANADA INC

Votre référence : TRPL2MS5

Granulométrie	Pourcentage
Tamis	Passant
(mm)	(%)
32	100.0%
16	100.0%
8	100.0%
4	98.8%
2	92.8%
1	81.7%
0.500	51.7%
0.250	18.9%
0.125	2.5%
0.063	1.5%

Sédimentométrie	Pourcentage
Diamètre équivalent (μm)	Passant (%)



Commentaires :

Gravier (2-32mm) : 7.15%
Sable (0.063-<2mm) : 91.35%

Limon.Araile (<63um) 1.49%

Tamis oranges

Date : 2019-09-27



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 19A516476

No échantillon : 517125

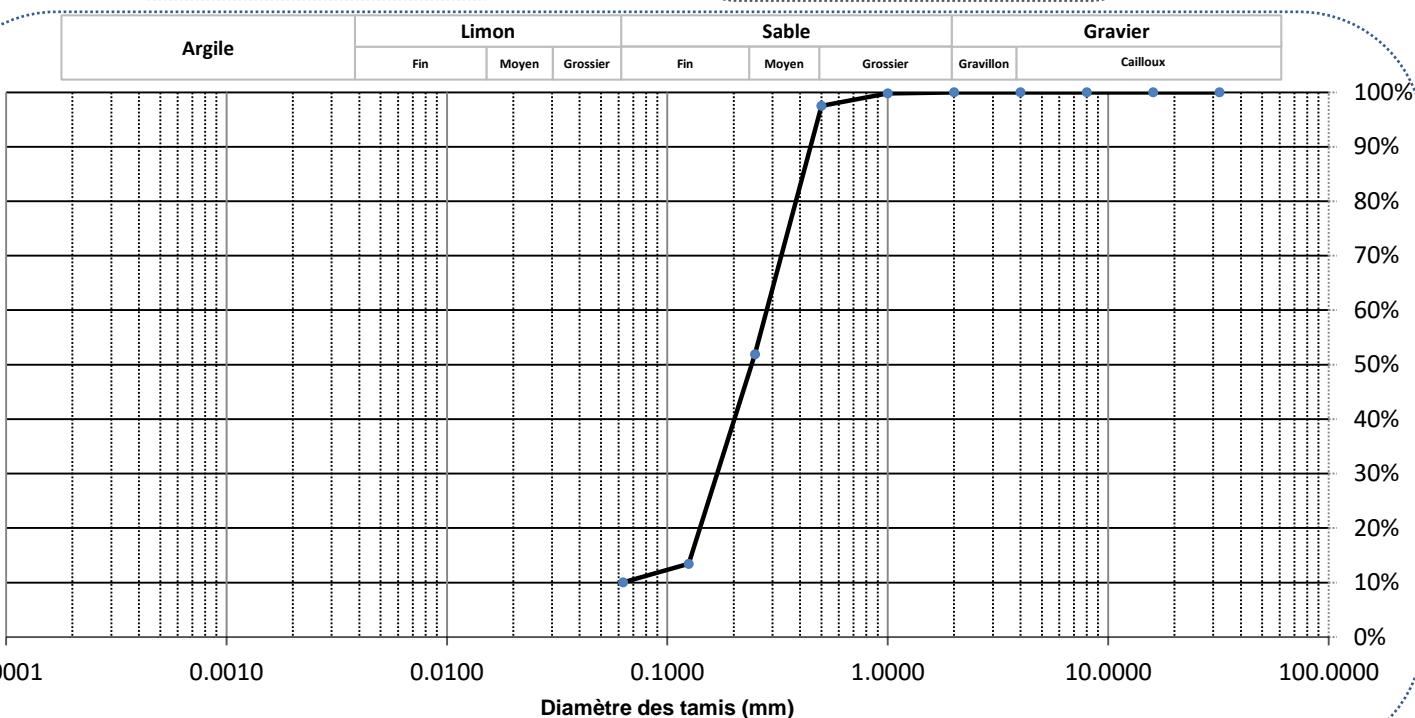
Version du certificat :

Client : WSP CANADA INC

Votre référence : TRPL1MI1

Granulométrie	Pourcentage Passant (%)
Tamis (mm)	
32	100.0%
16	100.0%
8	100.0%
4	100.0%
2	100.0%
1	99.8%
0.500	97.5%
0.250	51.9%
0.125	13.4%
0.063	10.0%

Sédimentométrie	Pourcentage
Diamètre équivalent (μm)	Passant (%)
10	10
20	10
30	10
40	10
50	10
60	10
70	10
80	10
90	10
100	10
110	10
120	10
130	10
140	10
150	10
160	10
170	10
180	10
190	10
200	10
210	10
220	10
230	10
240	10
250	10
260	10
270	10
280	10
290	10
300	10
310	10
320	10
330	10
340	10
350	10
360	10
370	10
380	10
390	10
400	10
410	10
420	10
430	10
440	10
450	10
460	10
470	10
480	10
490	10
500	10
510	10
520	10
530	10
540	10
550	10
560	10
570	10
580	10
590	10
600	10
610	10
620	10
630	10
640	10
650	10
660	10
670	10
680	10
690	10
700	10
710	10
720	10
730	10
740	10
750	10
760	10
770	10
780	10
790	10
800	10
810	10
820	10
830	10
840	10
850	10
860	10
870	10
880	10
890	10
900	10
910	10
920	10
930	10
940	10
950	10
960	10
970	10
980	10
990	10
1000	10
1010	10
1020	10
1030	10
1040	10
1050	10
1060	10
1070	10
1080	10
1090	10
1100	10
1110	10
1120	10
1130	10
1140	10
1150	10
1160	10
1170	10
1180	10
1190	10
1200	10
1210	10
1220	10
1230	10
1240	10
1250	10
1260	10
1270	10
1280	10
1290	10
1300	10
1310	10
1320	10
1330	10
1340	10
1350	10
1360	10
1370	10
1380	10
1390	10
1400	10
1410	10
1420	10
1430	10
1440	10
1450	10
1460	10
1470	10
1480	10
1490	10
1500	10
1510	10
1520	10
1530	10
1540	10
1550	10
1560	10
1570	10
1580	10
1590	10
1600	10
1610	10
1620	10
1630	10
1640	10
1650	10
1660	10
1670	10
1680	10
1690	10
1700	10
1710	10
1720	10
1730	10
1740	10
1750	10
1760	10
1770	10
1780	10
1790	10
1800	10
1810	10
1820	10
1830	10
1840	10
1850	10
1860	10
1870	10
1880	10
1890	10
1900	10
1910	10
1920	10
1930	10
1940	10
1950	10
1960	10
1970	10
1980	10
1990	10
2000	10
2010	10
2020	10
2030	10
2040	10
2050	10
2060	10
2070	10
2080	10
2090	10
2100	10
2110	10
2120	10
2130	10
2140	10
2150	10
2160	10
2170	10
2180	10
2190	10
2200	10
2210	10
2220	10
2230	10
2240	10
2250	10
2260	10
2270	10
2280	10
2290	10
2300	10
2310	10
2320	10
2330	10
2340	10
2350	10
2360	10
2370	10
2380	10
2390	10
2400	10
2410	10
2420	10
2430	10
2440	10
2450	10
2460	10
2470	10
2480	10
2490	10
2500	10
2510	10
2520	10
2530	10
2540	10
2550	10
2560	10
2570	10
2580	10
2590	10
2600	10
2610	10
2620	10
2630	10
2640	10
2650	10
2660	10
2670	10
2680	10
2690	10
2700	10
2710	10
2720	10
2730	10
2740	10
2750	10
2760	10
2770	10
2780	10
2790	10
2800	10
2810	10
2820	10
2830	10
2840	10
2850	10
2860	10
2870	10
2880	10
2890	10
2900	10
2910	10
2920	10
2930	10
2940	10
2950	10
2960	10
2970	10
2980	10
2990	10
3000	10
3010	10
3020	10
3030	10
3040	10
3050	10
3060	10
3070	10
3080	10
3090	10
3100	10
3110	10
3120	10
3130	10
3140	10
3150	10
3160	10
3170	10
3180	10
3190	10
3200	10
3210	10
3220	10
3230	10
3240	10
3250	10
3260	10
3270	10
3280	10
3290	10
3300	10
3310	10
3320	10
3330	10
3340	10
3350	10
3360	10
3370	10
3380	10
3390	10
3400	10
3410	10
3420	10
3430	10
3440	10
3450	10
3460	10
3470	10
3480	10
3490	10
3500	10
3510	10
3520	10
3530	10
3540	10
3550	10
3560	10
3570	10
3580	10
3590	10
3600	10
3610	10
3620	10
3630	10
3640	10
3650	10
3660	10
3670	10
3680	10
3690	10
3700	10
3710	10
3720	10
3730	10
3740	10
3750	10
3760	10
3770	10
3780	10
3790	10
3800	10
3810	10
3820	10
3830	10
3840	10
3850	10
3860	10
3870	10
3880	10
3890	10
3900	10
3910	10
3920	10
3930	10
3940	10
3950	10
3960	10
3970	10
3980	10
3990	10
4000	10
4010	10
4020	10
4030	10
4040	10
4050	10
4060	10
4070	10
4080	10
4090	10
4100	10
4110	10
4120	10
4130	10
4140	10
4150	10
4160	10
4170	10
4180	10
4190	10
4200	10
4210	10
4220	10
4230	10
4240	10
4250	10
4260	10
4270	10
4280	10
4290	10
4300	10
4310	10
4320	10
4330	10
4340	10
4350	10
4360	10
4370	10
4380	10
4390	10
4400	10
4410	10
4420	10
4430	10
4440	10
4450	10
4460	10
4470	10
4480	10
4490	10
4500	10
4510	10
4520	10
4530	10
4540	10
4550	10
4560	10
4570	10
4580	10
4590	10
4600	10
4610	10
4620	10
4630	10
4640	10
4650	10
4660	10
4670	10
4680	10
4690	10
4700	10
4710	10
4720	10
4730	10
4740	10
4750	10
4760	10
4770	10
4780	10
4790	10
4800	10
4810	10
4820	10
4830	10
4840	10
4850	10
4860	10
4870	10
4880	10
4890	10
4900	10
4910	10
4920	10
4930	10
4940	10
4950	10
4960	10
4970	10
4980	10
4990	10
5000	10



Commentaires :

Gravier (2-32mm) : 0.00%

Limon-Argile (<63µm) 10.03%

Tamis oranges

Date : 2019-09-30



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 19A516476

No échantillon : 517126

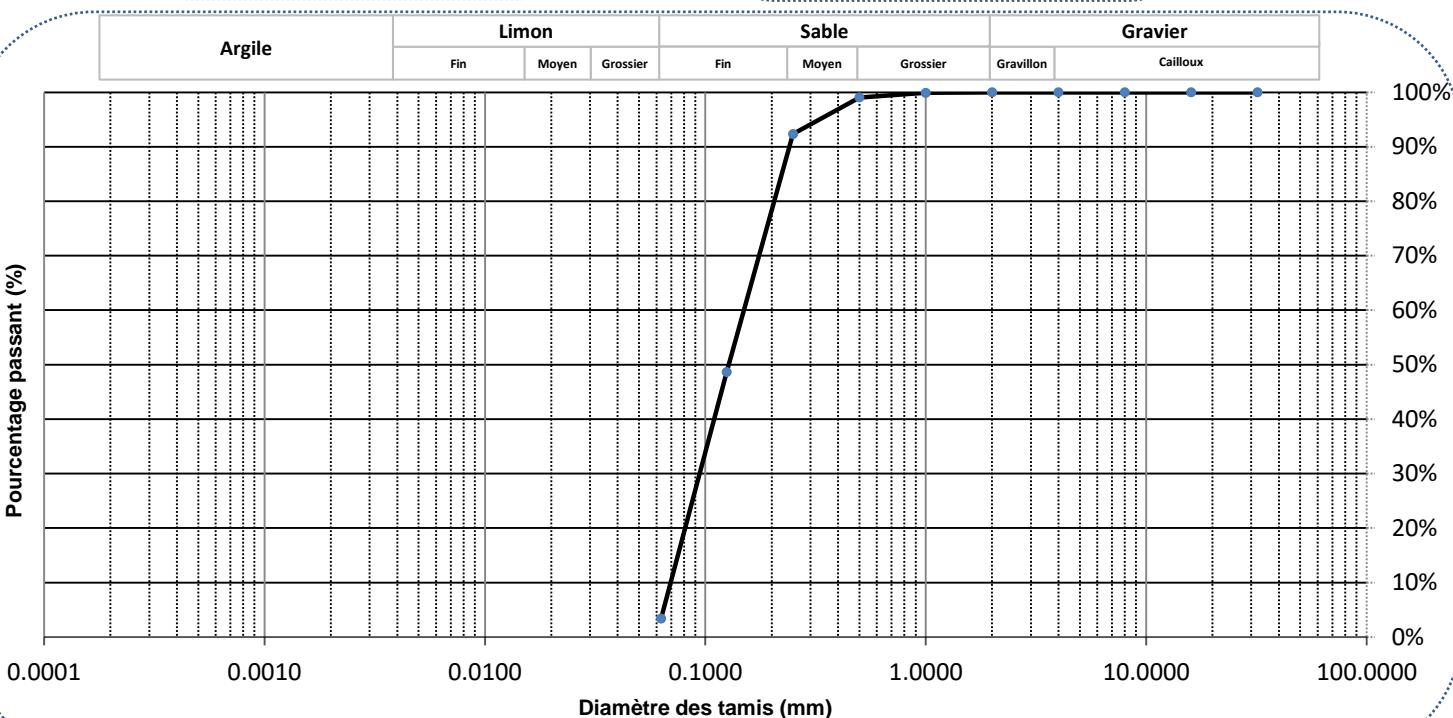
Version du certificat :

Client : WSP CANADA INC

Votre référence : TRPL2PF6

Granulométrie Tamis (mm)	Pourcentage Passant (%)
32	100.0%
16	100.0%
8	100.0%
4	100.0%
2	100.0%
1	99.9%
0.500	99.1%
0.250	92.3%
0.125	48.7%
0.063	3.4%

Sédimentométrie Diamètre équivalent (µm)	Pourcentage Passant (%)
32	100.0%
16	100.0%
8	100.0%
4	100.0%
2	100.0%
1	99.9%
0.500	99.1%
0.250	92.3%
0.125	48.7%
0.063	3.4%



Commentaires :

Gravier (2-32mm) : 0.00%
Sable (0.063-<2mm) : 96.61%

Limon,Argile (<63um) 3.39%

Tamis rouges

Date : 2019-09-30



GRANULOMÉTRIE - SÉDIMENTOMÉTRIE

Classification Wentworth

No bon de travail : 19A516476

Client : WSP CANADA INC

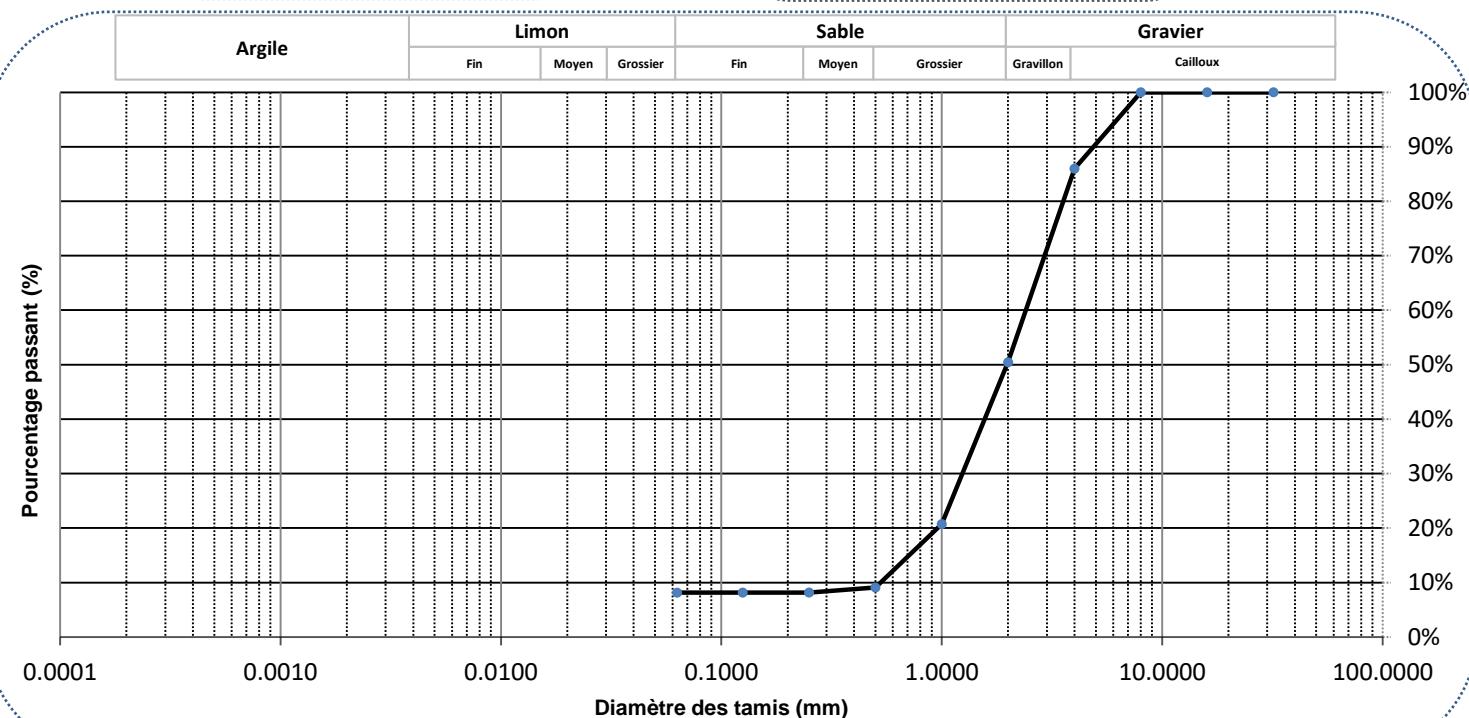
No échantillon : 517117

Votre référence : ERPLMS5

Version du certificat :

Granulométrie Tamis (mm)	Pourcentage Passant (%)
32	100.0%
16	100.0%
8	100.0%
4	86.0%
2	50.4%
1	20.7%
0.500	9.1%
0.250	8.2%
0.125	8.1%
0.063	8.1%

Sédimentométrie Diamètre équivalent (µm)	Pourcentage Passant (%)
32	100.0%
16	100.0%
8	100.0%
4	86.0%
2	50.4%
1	20.7%
0.500	9.1%
0.250	8.2%
0.125	8.1%
0.063	8.1%



Commentaires :

Gravier (2-32mm) : 49.57%
Sable (0.063-<2mm) : 42.28%

Limon,Argile (<63um) 8.14%

Tamis rouges

Date : 2019-09-26

