

NOTE TECHNIQUE

Client :	Société des traversiers du Québec	
Projet :	Programme décennal de dragage d'entretien au quai de Rivière-du-Loup	Référence WSP : CA0009072.3441
Objet :	Protocole de caractérisation des communautés benthiques	Date : 15 mai 2024
Destinataire :	Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs	

1 Mise en contexte

Dans le cadre de son programme décennal de dragage et d'entretien au quai de Rivière-du-Loup, la Société des traversiers du Québec (STQ) se doit de tenir certains engagements pris auprès, entre autres, du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP). Parmi ces engagements, on compte la nécessité de caractériser les communautés benthiques dans sa zone de rejet en eau libre. Cette requête en provenance du MELCCFP se justifiait par ce dernier du fait que la caractérisation de ce secteur n'était plus à jour. La présente note technique se veut ainsi le protocole proposé par WSP Canada Inc. (WSP) au nom de la STQ auprès du Ministère afin de répondre à cet engagement. Soulignons que ce protocole a été préparé en tenant compte des différents détails discutés dans la rencontre tenue en février 2024 entre la STQ, WSP et le MELCCFP. Ainsi, à la suite de la réunion du 23 février 2024 avec le MELCCFP, la STQ et la Société portuaire du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie (SPBSG), il a été convenu de s'associer avec le port de Gros-Cacouna (GC) afin de caractériser les communautés benthiques au site du largage de Rivière-du-Loup (RDL), étant donné l'utilisation partagée du site de rejet étudié par les deux parties concernées (la SPBSG et la STQ).

Le présent document propose un protocole de suivi des communautés benthiques se déroulant sur une période de 11 ans s'étalant de 2024 à 2035, soit une année de plus que spécifié dans les engagements (voir section 3.2). Ce protocole prend en compte les divers éléments discutés de manière à assurer :

- l'intégration d'un site témoin (non perturbé par les travaux de dragage);
- un suivi initial des 10 cellules actives du site de largage en 2024 et un suivi d'une cellule préétablie pour les différents suivis (*voir ci-dessous*) sur une période de 10 ans,
- une caractérisation des espèces présentes de même que leurs indices d'abondance, de biomasse et de biodiversité durant la période de suivi.

Plus précisément, le protocole des communautés benthiques se construit autour de différents suivis cités ci-dessous :

- un suivi initial comprenant les 10 cellules de dépôt et un site témoin (*Suivi 0 – STQ-RDL*), incluant :
 - un suivi initial pour le largage de STQ-RDL et de GC dans deux cellules différentes et du site témoin (2021 et 2016) (*Suivi 0 (An 3) – STQ-RDL et GC dans des cellules différentes*);

- un suivi de la cellule de dépôt de 2024 et du site témoin (*Suivi 1 (An 5) – STQ-RDL*);
- un suivi final de la cellule de dépôt de 2024 et du site témoin (*Suivi 2 (An 10) – STQ-RDL*);
- un suivi final des cellules 2021 et 2016 ainsi que du site témoin (*Suivi 1 (An 8) – STQ-RDL et GC dans des cellules différentes*);
- un suivi initial pour le largage de RDL et de GC dans une même cellule (2025) et du site témoin (*Suivi 0 – STQ-RDL et GC dans une même cellule*);
- un suivi de la cellule de dépôt de 2025 et du site témoin (*Suivi 1 (An 5) – STQ-RDL et GC dans une même cellule*);
- un suivi final de la cellule de dépôt de 2025 et du site témoin (*Suivi 2 (An 10) – STQ-RDL et GC dans une même cellule*).

2 Objectifs

Le suivi a pour but d'analyser l'impact du rejet en eau libre des sédiments sur la faune benthique. Les objectifs spécifiques sont :

- d'établir un portrait des communautés benthiques dans la zone de largage de RDL;
- de suivre l'état des communautés benthiques de cellules de mise en dépôt présélectionnées selon les conditions de largage à l'aide d'indicateurs de biodiversité ainsi que d'étudier l'effet cumulatif sur les communautés benthiques du largage de STQ-RDL et de GC dans une même cellule;
- de comparer les communautés benthiques des cellules de mise en dépôt présélectionnées avec un site témoin non affecté par les rejets de sédiments en mer.

3 Méthodologie proposée

3.1 Zones d'échantillonnage

3.1.1 Zone de rejet en eau libre

Les coordonnées des quatre coins de la zone de rejet en eau libre sont (latitude, longitude, NAD83) :

- coin nord-ouest : 47° 53' 22,4960" N, 69° 35' 27,6296" O;
- coin nord-est : 47° 53' 21,6192" N, 69° 33' 38,6925" O;
- coin sud-est : 47° 51' 43,5177" N, 69° 33' 40,4651" O;
- coin sud-ouest : 47° 51' 44,3937" N, 69° 35' 29,3451" O.

Cette zone est subdivisée en 12 cellules de mise en dépôt adjacentes de 400 sur 400 m, réparties en 2 rangées de 6 cellules qui sont entourées d'une zone tampon d'une largeur variant entre 50 m et 400 m (figure 1). Deux de ces cellules ne sont plus utilisées par la STQ et la SPBSG pour les rejets de sédiments issus du dragage des installations à STQ-RDL et à GC.

Dans le cadre de la caractérisation des communautés benthiques, les dix cellules seront échantillonnées durant le suivi initial en 2024 (par la suite *Suivi 0 – STQ-RDL*). De plus, quatre cellules ont été rigoureusement choisies de manière à assurer le suivi de l'impact du largage par la STQ-RDL et GC respectivement, mais également à évaluer l'impact cumulatif. Pour atteindre ces objectifs, WSP propose de suivre spécifiquement certaines cellules selon l'année de largage en cours dans le programme décennal. Le plan est illustré à la figure 1 et se détaille ainsi :

- la cellule de mise en dépôt 2024 (cellule rose - figure 1) pour le suivi des travaux de dragage de STQ-RDL prévus à l'automne 2024;
- la cellule de mise en dépôt 2025 (cellule jaune - figure 1) pour le suivi des travaux de dragage de STQ-RDL et de GC, prévus à l'automne 2025, dans la même cellule;
- les cellules de mise en dépôt 2016 et 2021 (cellules vertes - figure 1) pour le suivi des travaux de dragage de STQ-RDL et de GC dans des cellules différentes, réalisés par les deux parties en 2021 avec un dépôt de sédiment dans la cellule 2016 par la SPBSG et dans la cellule 2021 par la STQ.

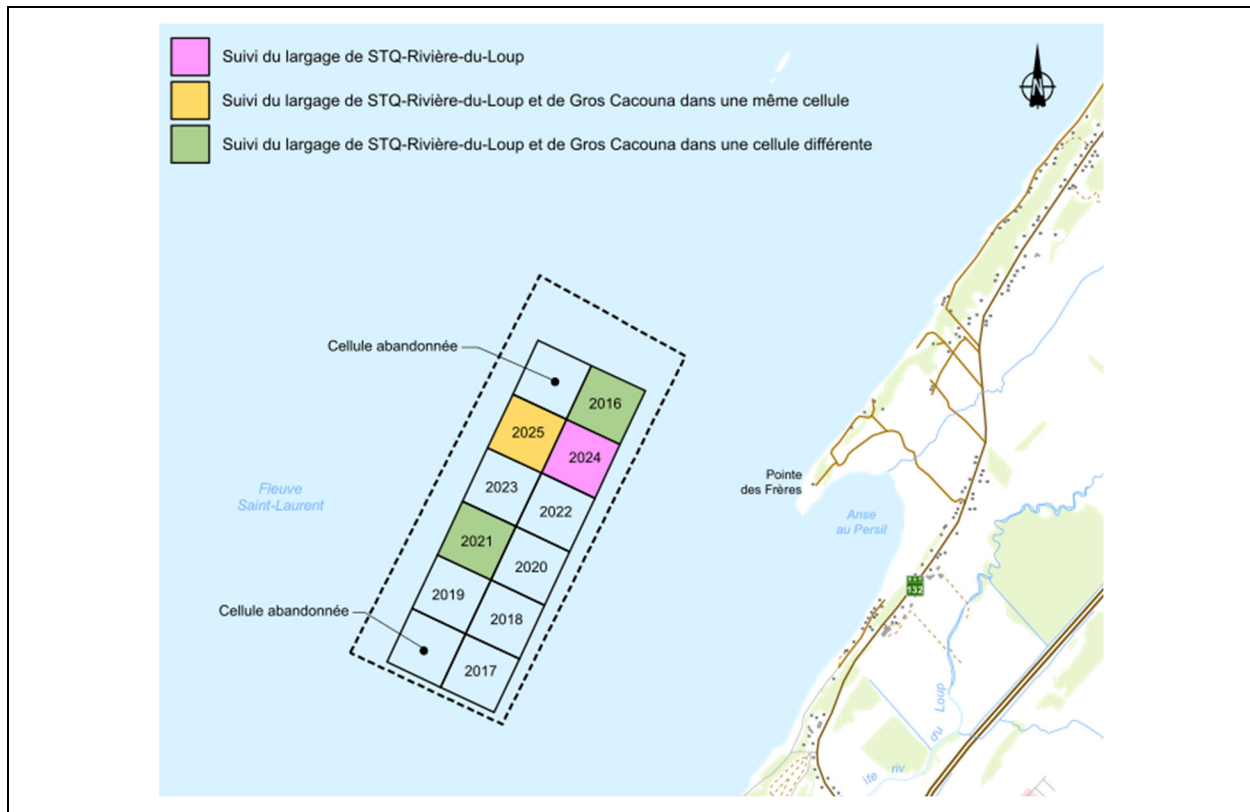


Figure 1 Localisation des cellules de mise en dépôt et moment du dernier dépôt, du site général de disposition (ligne en pointillé) et proposition des cellules utilisées pour les différents suivis

Les cellules des suivis des communautés benthiques devront, dans le meilleur des cas, ne pas recevoir de sédiments durant la durée entière de l'étude de suivi, soit la cellule 2024 jusqu'en 2034, la cellule 2025 jusqu'en 2035 et les cellules 2016 et 2021 jusqu'en 2029. Ainsi, un échéancier et un séquençage sur l'utilisation des cellules de largage sont proposés au tableau 1 afin de respecter ces prémisses.

Soulignons qu’une précaution a été prise dans la préparation du plan d’échantillonnage de manière à éviter de laisser une cellule sans largage pendant plus de 10 ans en plus de ne pas augmenter la fréquence de largage au sein d’une même cellule.

Tableau 1 Proposition de l’utilisation des cellules de largage pour les rejets en mer de la STQ-Rivière-du-Loup et de Gros-Cacouna durant l’étude de suivi (2024-2035)

Lieu	Année de largage											
	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
STQ-Rivière-du-Loup	2024	2025	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2016	2024	2025
Gros-Cacouna	-	2025	-	-	À déterminer	-	-	À déterminer	-	-	-	-

3.1.2 Zone témoin

Comme mentionné précédemment à des fins de comparaisons, une zone témoin devra également être étudiée dans le cadre du présent suivi. Cette zone témoin devra présenter, dans la mesure du possible, des caractéristiques similaires ou proches de la zone de mise en dépôt du sédiment. Ces caractéristiques comprennent, entre autres :

- une profondeur comprise entre 7 et 10 m;
- une pente inférieure ou égale à 3 degrés;
- un substrat majoritairement constitué de sable (classe granulométrique 0,063 à < 2 mm), de limon et d’argile (< 63 µm) (WSP, 2022);
- des paramètres physico-chimiques (salinité, température, hydrodynamisme) similaires à la zone de mise en dépôt du sédiment.

La zone témoin devra également être située au minimum à 500 m de la zone de largage, de manière à assurer l’absence d’effet des travaux de dragage et de largage en cours. Cette distance pourra être revue selon les informations disponibles, notamment sur le transport sédimentaire.

3.2 Période d’inventaire, fréquence d’échantillonnage et remise des rapports

L’échéancier du programme de caractérisation des communautés benthiques pour les différents suivis est présenté au tableau 2.

Suivi du largage de STQ-Rivière-du-Loup

La première période d’échantillonnage, correspondant au *Suivi 0 – STQ-RDL*, aura lieu à l’automne 2024, préalablement aux travaux de dragage. Les suivis subséquents sont programmés en 2029 (*Suivi 1 (An 5) – STQ-RDL*) et en 2034 (*Suivi 2 (An 10) – STQ-RDL*) préalablement aux travaux de dragage, soit 5 ans et 10 ans après le suivi initial (tableau 1). Ces derniers suivis se concentreront sur la cellule 2024 et la zone témoin (voir section 3.1).



Tableau 2 Échéancier de l'étude des communautés benthiques

Tâches	Durée	2024			2025			2026			2029			2030			2031			2034			2035			2036
		Jan- Mai	Mai- Sept.	Sept.- Déc	Jan- Mai	Mai- Sept.	Sept.- Déc	Jan- Mai	Mai- Sept.	Sept.- Déc	Jan- Mai	Mai- Sept.	Sept.- Déc	Jan- Mai	Mai- Sept.	Sept.- Déc	Jan- Mai	Mai- Sept.	Sept.- Déc	Jan- Mai	Mai- Sept.	Sept.- Déc	Jan- Mai	Mai- Sept.	Sept.- Déc	Jan- Mai
Suivi 0 - STQ-Rivière-du-Loup																										
Campagne de terrain : - Site témoin (12 stations) - Site de largage (10 cellules et 12 stations/cellules)	± 5 jours																									
Analyses de laboratoire	Max. 18 mois																									
Rapport - Suivi 0 - RDL	8 semaines après réception des analyses de laboratoire																									
Suivi 0 (An 3) - STQ-Rivière-du-Loup et de Gros-Cacouna dans une cellule différente																										
Campagne de terrain du Suivi 0 - STQ-RDL-GC : - Cellule 2021 (STQ-RDL : 12 stations) - Cellule 2016 (GC : 12 stations)	Voir Suivi 0 - RDL																									
Analyses de laboratoire	Voir Suivi 0 - RDL																									
Rapport - Suivi 0 - 3 ans après largage de STQ-RDL et de GC dans une cellule différente	Voir Suivi 0 - RDL																									
Suivi 0 - STQ-Rivière-du-Loup et de Gros-Cacouna dans une même cellule																										
Campagne de terrain : - Site témoin (12 stations) - Cellule 2025 (12 stations)	± 6 jours																									
Analyses de laboratoire	Max. 18 mois																									
Rapport - Suivi 0 - largage de STQ-RDL et de GC dans la même cellule	8 semaines après réception des analyses de laboratoire																									
Suivi 1 (An 5) - STQ-Rivière-du-Loup																										
Campagne de terrain : - Site témoin (12 stations) - Cellule 2024 (12 stations)	± 6 jours																									
Analyses de laboratoire	Max. 18 mois																									
Rapport - Suivi 1 (an 5) - RDL	8 semaines après réception des analyses de laboratoire																									
Suivi 1 (An 8) - STQ-Rivière-du-Loup et de Gros-Cacouna dans une cellule différente																										
Campagne de terrain avec Suivi 1 (An 8) - STQ-RDL et GC : - Cellule 2021 (STQ-RDL : 12 stations) - Cellule 2016 (GC : 12 stations)	± 5 jours supp. à la campagne du Suivi 1 (an 5) - RDL																									
Analyses de laboratoire	Voir Suivi 1 (An 5) - RDL																									
Rapport - Suivi 1 (An 8) - largage de RDL et de GC dans une cellule différente	Voir Suivi 1 (An 5) - RDL																									
Suivi 1 (An 5) - STQ-Rivière-du-Loup et de Gros-Cacouna dans une même cellule																										
Campagne de terrain : - Site témoin (12 stations) - Cellule 2025 (12 stations)	± 6 jours																									
Analyses de laboratoire	Max. 18 mois																									
Rapport - Suivi 1 (An 5) - largage de STQ-RDL et de GC dans la même cellule	8 semaines après réception des analyses de laboratoire																									
Suivi 2 (An 10) - STQ-Rivière-du-Loup																										
Campagne de terrain : - Site témoin (12 stations) - Cellule 2024 (12 stations)	± 6 jours																									
Analyses de laboratoire	Max. 18 mois																									
Rapport - Suivi 2 (An 10) - RDL	8 semaines après réception des analyses de laboratoire																									
Suivi 2 (An 10) - STQ-Rivière-du-Loup et de Gros-Cacouna dans une même cellule																										
Campagne de terrain : - Site témoin (12 stations) - Cellule 2025 (12 stations)	± 6 jours																									
Analyses de laboratoire	Max. 18 mois																									
Rapport - Suivi 2 (An 10) - largage de STQ-RDL et de GC dans une cellule différente	8 semaines après réception des analyses de laboratoire																									

Note : Les couleurs correspondent aux différents suivis effectués au site de largage (voir concordance avec la figure 1)

Suivi du largage de STQ-Rivière-du-Loup et de Gros-Cacouna dans une cellule différente

Au cours du *Suivi 0 – STQ-RDL* et du *Suivi 1 – STQ-RDL*, les cellules de mise en dépôt 2016 (dernier largage de GC en 2021) et 2021 (dernier largage de STQ-RDL en 2021) seront également échantillonnées afin de suivre les communautés benthiques (tableau 1). Le *Suivi 0 (An 3) – STQ-RDL et GC dans une cellule différente* correspond à un suivi post-dragage de 3 ans. Afin de respecter un intervalle de 5 ans entre les différents suivis, le *Suivi 1 (An 8) – STQ-RDL et GC dans une cellule différente* sera effectué en 2029, soit 8 ans après le dragage de 2021.

Suivi du largage de STQ-Rivière-du-Loup et de Gros-Cacouna dans une même cellule (impact cumulatif)

Le prochain dragage prévu dans les installations portuaires de GC se déroulera en 2025. À l'heure actuelle, la SPBSG n'a pas établi la cellule de mise en dépôt utilisée pour ce dragage. Afin de remplir la condition d'un largage dans une même cellule, il est suggéré que la mise en dépôt de sédiment se fasse dans la cellule 2025 (figure 1), cellule prévue dans le cadre des travaux de dragage à STQ-RDL. Ainsi, le *Suivi 0 – STQ-RDL et GC dans une même cellule* aura lieu à l'automne 2025, préalablement avant les travaux de dragage. Les suivis subséquents sont programmés en 2030 (*Suivi 1 (An 5) – STQ-RDL et GC dans une même cellule*) et en 2035 (*Suivi 2 (An 10) – STQ-RDL et GC dans une même cellule*) durant la même période, préalablement aux travaux de dragage, soit 5 ans et 10 ans après le suivi initial (tableau 1). Ces derniers suivis se concentreront sur la cellule 2025 et la zone témoin (voir section 3.1).

Remise des rapports et ajustements de la méthodologie

Les rapports des différents suivis seront remis au Ministère avant la tenue de la campagne d'inventaire suivante afin de pouvoir prendre en compte les différents commentaires et de pouvoir réviser, si tel est le cas, le plan d'échantillonnage pour les campagnes de terrain suivantes. Il sera également possible d'ajuster le plan d'échantillonnage, plus particulièrement l'échantillonnage de cellules adjacentes lors des suivis, à la suite des résultats de la modélisation du transport sédimentaire.

3.3 Plan d'échantillonnage

Afin d'augmenter les chances de détecter des effets tout en limitant les erreurs de type I et de type II, une analyse de la taille d'échantillon (N) a été réalisée à partir des données des indicateurs (densité totale, richesse, diversité et régularité) des études de Procean Environnement inc. en 2005 et en 2007 pour les témoins. En utilisant un niveau de confiance standard de 90 % ($\alpha = 0,1$) et une marge d'erreur maximale de 20 % (β , ou puissance de 80 %), il serait nécessaire d'échantillonner de 8 à 17 stations (moyenne de 12 stations) par cellule selon l'indicateur utilisé.

Ainsi, il est recommandé d'échantillonner un total de 12 stations par cellule lors des différents suivis du programme décennal. Ces stations seront réparties de façon aléatoire à une distance minimale de 100 m les unes des autres sur l'ensemble de la cellule de mise en dépôt (figure 2). Chaque station sera considérée comme indépendante des autres stations.

Au total, l'étude des communautés inclut 40 jours de terrain, comprenant la mobilisation et la démobilisation de l'équipe de terrain (tableau 2). L'échantillonnage de la première année (*Suivi 0 – STQ-RDL et Suivi 0 – STQ-RDL et GC dans des cellules différentes*) sera assuré par l'utilisation du bateau de recherche de l'Université du Québec à Trois-Rivières, le *Lampsilis*. Les suivis subséquents seront réalisés avec les embarcations de WSP.

3.3.1 Méthode de prélèvement et analyses en laboratoire

3.3.1.1 Biodiversité benthique

Il est proposé de prélever les organismes benthiques (endofaune et épifaune) à l'aide d'une benne Van Veen (surface de 0,1 m²) à raison d'un coup de benne par station (figure 2). Une évaluation du remplissage de la benne sera faite à chaque déploiement, et un maximum de 70 % de remplissage pourra être considéré comme adéquat. En cas de non-conformité, un nouveau déploiement pourra être réalisé. Afin de récolter les organismes, le sédiment sera tamisé sur une maille de 0,5 mm et conservé dans de l'éthanol à 95 %. Le tri, l'identification et la pesée des organismes benthiques seront réalisés par le laboratoire Biome de l'Université Laval. Les organismes seront identifiés à l'espèce ou au plus bas niveau taxonomique possible. Si toutefois le laboratoire n'a pas de disponibilités pour traiter les échantillons dans un délai raisonnable (18 mois), il pourra être envisagé de confier ce traitement au Huntsman Marine Science Center au Nouveau-Brunswick ou bien au laboratoire GDG Environnement. Pour évaluer la qualité du tri, le protocole décrit dans Procean Environnement inc. (2007) sera suivi, ou tout autre protocole équivalent préféré par le laboratoire expert. Celui-ci pourrait notamment comprendre le tri de 10 % de l'échantillonnage par une seconde personne ou bien l'utilisation du rose de Bengal afin de vérifier le pourcentage d'organismes oubliés.

En parallèle, six photo-quadrats seront également déployés de façon aléatoire dans chaque cellule, afin de vérifier la présence d'épifaune mobile (figure 2). Les séquences seront par la suite visionnées par un spécialiste de la faune benthique marine.

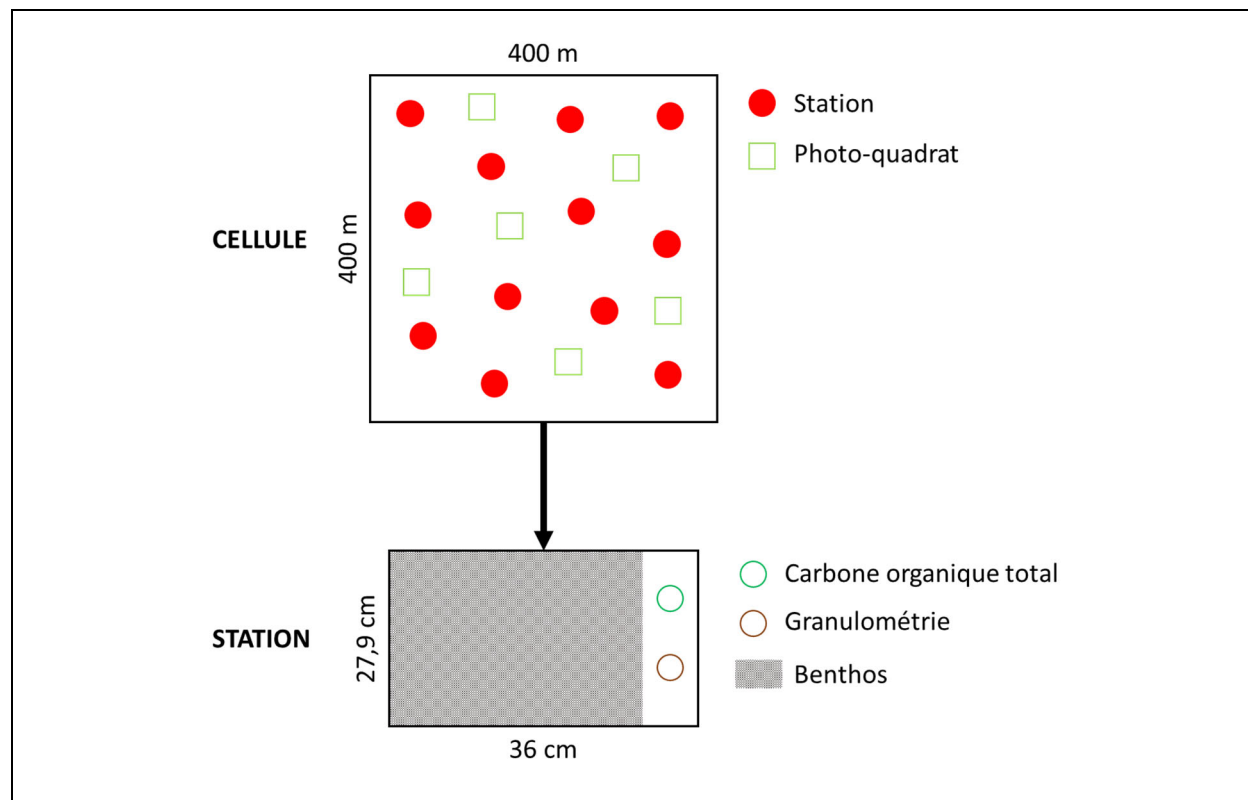


Figure 2 Exemple de plan d'échantillonnage détaillé pour les mesures de biodiversité benthiques et les variables environnementales

3.3.1.2 Variables environnementales

En raison de la variabilité observée dans la granulométrie lors des travaux de caractérisation sédimentaire, il est recommandé d'échantillonner du sédiment pour l'ensemble des stations prévues à chaque suivi. Ainsi, un réplique de sédiment pour la granulométrie et pour le carbone organique total sera prélevé à l'intérieur de chaque benne à chaque station d'échantillonnage (figure 2). Cet échantillon sera standardisé afin de toujours conserver le même volume d'échantillon pour les organismes benthiques. En fonction des résultats du rapport du *Suivi 0 – STQ-RDL*, l'échantillonnage de la granulométrie pourra être révisé. Les échantillons seront confiés au laboratoire spécialisé AGAT.

Au moment de l'échantillonnage, le jour, l'heure, la météo, l'état de la marée et la profondeur seront notés à chaque station. Les échantillons seront décrits au moment de l'échantillonnage : granulométrie visuelle, consistance du matériel, odeur, couleur, présence de végétation, matière organique ou débris et organismes vivants. 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.

3.3.2 Variables dépendantes

Afin de capter au mieux les changements des communautés benthiques potentiellement induits par le largage de sédiment, des indicateurs d'effet seront utilisés. Les indicateurs d'effet proposés sont, sans s'y restreindre :

- la densité totale (N (org./m²)); nombre d'organismes dénombrés dans l'échantillon de 0,1 m² ramené sur la base de 1 m²);
- la biomasse (N (mg/m²)); biomasse des organismes pesés dans l'échantillon de 0,1 m² ramenée sur la base de 1 m²);
- la richesse taxonomique (S; nombre d'espèces ou de taxons du niveau taxonomique le plus précis identifié);
- l'indice de diversité de Shannon (H'; même équation que Procean Environnement inc. (2007), soit en log₂);
- l'indice d'équitabilité de Pielou (J' = H'/log₂(S));
- la structure des communautés (indicateur multidimensionnel basé sur les abondances totales et/ou la biomasse et la ressemblance de Bray-Curtis; Clarke et al., 2014);
- la composition taxonomique (indicateur multidimensionnel basé sur la présence/absence des taxons et la ressemblance de Bray-Curtis; Clarke et al., 2014);
- les courbes abondances/biomasse (ABC; Clarke et al. 2014) et statistique *W* (Clarke, 1990);
- les traits fonctionnels tels que le type d'alimentation.

Relativement au rapport de caractérisation des communautés benthiques précédent, soumis par Procéan (2007), WSP propose une approche statistique et un traitement de données différents de manière à pouvoir répondre plus adéquatement aux objectifs recherchés de l'étude. En ce sens, il sera préférable d'utiliser la ressemblance de Bray-Curtis en analyse multivariée sous forme de structure des communautés plutôt que de la rapporter en univarié comme cela était le cas dans le rapport de Procéan. De plus, il sera possible d'évaluer la composition (présence/absence) des taxons de la même manière que la structure des abondances ou la structure des biomasses.

Il est également proposé d'ajouter les comparaisons des courbes abondances/biomasse (*ABC*). Ces courbes traduisent la dominance d'un type de stratégie écologique *r* (communauté perturbée) ou *K* (communauté peu perturbée) au sein de la communauté benthique et sont souvent utilisées pour traduire le niveau de perturbation d'un milieu (Warwick et Clarke, 1994).

Usuellement, les bryozoaires ou tout autre organisme colonial sont exclus des analyses de densité et des indicateurs basés sur l'abondance et la densité en raison de l'incapacité des laboratoires à compter chaque individu. Ainsi, ces organismes de même que les organismes sans tête (crustacés ou polychètes) seront également exclus des indicateurs basés sur l'abondance ou la densité.

3.3.3 Analyses statistiques

Une combinaison d'analyses univariées et multivariées est proposée pour détecter la présence de différences significatives entre le suivi du premier dragage (*Suivi 0*) et les suivis subséquents. Les statistiques seront réalisées avec le logiciel PRIMER & PERMANOVA+ v7 et/ou R (R Core Team 2023). Les analyses sont décrites pour l'utilisation du logiciel PRIMER & PERMANOVA+.

Sans s'y restreindre, les méthodes d'analyses envisagées sont les suivantes :

Moment du rejet en eau libre

- PER ANOVA : Pour chacun des indicateurs unidimensionnels proposés (*N*, *S*, *H'*, *J'* et statistique *W*), les comparaisons seront réalisées en utilisant des analyses de la variance par permutations (PER ANOVA) à un facteur fixe, soit **Cellule** avec 11 niveaux (les 10 cellules du site de rejet plus la cellule témoin). Puisqu'il s'agit de variables unidimensionnelles, les distances euclidiennes seront utilisées comme mesure de ressemblance. Afin de vérifier si les données respectent la condition d'application d'homoscédasticité, la dispersion des groupes sera vérifiée avec un test PERMDISP, qui est l'équivalent d'un test de Levene (Anderson *et al.*, 2008). La normalité des données n'est pas une condition aux tests par permutations.
- PERMANOVA : Pour chacun des indicateurs multidimensionnels proposés (structure et composition), les comparaisons seront réalisées en utilisant des analyses de la variance multivariée par permutation (PERMANOVA) et le même design que ci-dessus. Il est important de noter que la PERMANOVA teste à la fois l'emplacement et la dispersion des données. En utilisant une analyse de dispersion (PERMDISP), il est possible d'écarter que l'effet est dû à la dispersion et de confirmer que l'effet observé est simplement dû à l'emplacement des données si le test PERMDISP est non significatif. Dans le cas où le test de dispersion serait aussi significatif, il n'est pas possible de confirmer si l'effet est dû seulement à la dispersion ou s'il est également attribuable à l'emplacement. L'utilisation de représentation graphique comme un cadrage non métrique multidimensionnel (nMDS) aidera à éclaircir les effets d'emplacement et de dispersion.
- SIMPER : Pour compléter cette analyse, une routine séparant le pourcentage de dissimilarité de Bray-Curtis par taxons (contribution des taxons à la similarité moyenne) pourrait être utilisée (procédure SIMPER; Clarke *et al.*, 2014). Cette méthode permet de connaître les taxons ayant le plus grand impact sur les différences mesurées entre des facteurs choisis. Les résultats obtenus seront présentés sous forme de tableaux descriptifs relatant, pour chacun des taxons, les abondances transformées moyennes par groupe, la moyenne de la dissimilarité entre les groupes, le ratio de la dissimilarité sur son écart-type, le pourcentage de contribution à la dissimilarité et le cumulatif des contributions. Plus le pourcentage de contribution est élevé pour un taxon, plus ce taxon contribue à la dissimilarité entre les groupes. Plus le ratio de la dissimilarité sur son écart-type est

élevé, plus le taxon joue un rôle constant dans la différence entre les groupes, ce qui en fait un bon taxon discriminant. De manière générale, un ratio élevé ($> 1,5$) indique que la contribution du taxon x est constante au sein d'un même groupe. Ainsi, la valeur seuil de 1,5 du ratio sera utilisée afin de déterminer les taxons qui contribuent de manière homogène à la similarité/dissimilarité entre les groupes (Clarke et al., 2014).

Comparaison temporelle

- Les mêmes analyses décrites ci-dessus sous forme d'analyses à mesures répétées¹ (RM PER ANOVA et RM PERMANOVA) seront utilisées avec le design factoriel complet suivant : deux facteurs fixes, soit **Cellule** (deux niveaux : Témoin et Cellule de mise en dépôt 2024) et **Temps** (trois niveaux : Avant mise en dépôt [2024], 5 ans après la mise en dépôt [2029] et 10 ans après la mise en dépôt [2034]) en utilisant l'identité des **stations** également en facteur aléatoire comme sujet de répétition entre les années.

Comparaison entre un largage double dans une même cellule et un largage dans des cellules différentes (STQ-RDL et GC)

- Afin de comparer un largage dans une même cellule ou dans des cellules différentes, les mêmes analyses que décrites ci-dessus seront utilisées avec les designs suivants :
 - Pour le largage dans deux cellules différentes : deux facteurs fixes, soit **Cellule** (trois niveaux : Témoin, Cellule de mise en dépôt 2016 et Cellule de mise en dépôt 2021) et **Temps** (deux niveaux : 3 ans après la mise en dépôt [2024] et 8 ans après la mise en dépôt [2029]) en utilisant l'identité des **stations** également en facteur aléatoire comme sujet de répétition entre les années;
 - Pour le largage dans une même cellule : deux facteurs fixes, soit **Cellule** (deux niveaux : Témoin et Cellule de mise en dépôt 2025) et **Temps** (trois niveaux : Avant mise en dépôt [2025], 5 ans après la mise en dépôt [2030] et 10 ans après la mise en dépôt [2035]) en utilisant l'identité des **stations** également en facteur aléatoire comme sujet de répétition entre les années.
- Toutefois, puisque les suivis ne peuvent pas avoir lieu en même temps, la comparaison entre ces deux scénarios de largage sera qualitative et utilisera la différence avec le témoin comme facteur commun.

Détails sur les analyses

- Analyses semi-paramétriques utilisant des mesures de ressemblance ou des distances entre les échantillons et n'ayant pas la normalité comme prémisses de l'analyse. De plus, la variance entre les groupes peut être différente, les corrélations entre les variables sont tolérées de même qu'un grand nombre de variables (multivarié).
- Prennent en compte l'autocorrélation spatiale d'une même cellule.
- Prennent en compte l'autocorrélation temporelle lorsqu'applicable (même station dans le temps).
- Tolèrent les designs non balancés (pas le même nombre de stations partout).
- Tiennent compte de la structure des données (variance intra- et inter-groupe).
- Sont libres de distribution et robustes en présence de plusieurs zéros.

¹ La pertinence des mesures répétées sera évaluée au moment d'effectuer les analyses.

PRÉPARÉ PAR



Marie Pierrejean, biologiste, Ph. D.

15 mai 2024

Date

Stéphanie Cimon, biologiste, Ph. D.

15 mai 2024

Date

RÉVISÉ PAR



Mélanie Lévesque
Gestionnaire Écologie aquatique
Province du Québec

15 mai 2024

Date

Références

- ANDERSON, M.J., R.N. Gorley et K.R. Clarke. 2008. *PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to software and statistical methods*. PRIMER-E: Plymouth, Royaume-Uni. 214 p.
- BACHELET, G. 1990. The choice of a sieving mesh size in the quantitative assessment of marine macrobenthos: a necessary compromise between aims and constraints. *Marine Environmental Research* 30(1): 21-35.
- CLARKE, K.R. 1990. *Comparisons of dominance curves*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 138(1): 143-157.
- CLARKE, K.R. GORLEY, R.N., SOMERFIELD, P.J. ET R.M. WARWICK. 2014. *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation, 3rd edition*. PRIMER-E: Plymouth, pagination multiple.
- PROCEAN ENVIRONNEMENT INC. 2006. Étude de la richesse et de la biomasse de la faune benthique, Rivière-du-Loup, 2005. Rapport produit pour la Société des traversiers du Québec, 26 pages et annexe.
- PROCEAN ENVIRONNEMENT INC. 2007. Étude de la régénération de la faune benthique au site de mise en dépôt des matériaux dragués à Rivière-du-Loup. Rapport produit pour la Société des traversiers du Québec, 20 pages et annexes.
- R CORE TEAM. 2023. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.r-project.org/>.
- WARWICK, R.M., CLARKE, K.R. 1994. *Relearning the ABC: taxonomic changes and abundance/biomass relationships in disturbed benthic communities*. *Marine biology* 118:739-744.
- WSP. 2022. Caractérisation sédimentaire préalable aux travaux de dragage. Quai de la STQ-Rivière-du-Loup. Rapport produit pour la Société des Traversiers du Québec. 21 pages et annexes.