



Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs

**Caractérisation des communautés de poissons et de leurs habitats dans les zones portuaires et le chenal de navigation du Saint-Laurent — Analyse des données de la période 2007 à 2018**

Octobre 2019

Ce document doit être cité de la façon suivante :

MINGELBIER M., C. GRANT, G. CÔTÉ et D. DESCHAMPS (2019). *Caractérisation des communautés de poissons et de leurs habitats dans les zones portuaires et le chenal de navigation du Saint-Laurent — Analyse des données de la période 2007 à 2018*, Direction de l'expertise sur la faune aquatique, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, 105 p.

Nous tenons à souligner la participation de cette organisation :



**Photographie de la page couverture :**

Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, 2018

© Gouvernement du Québec

Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs

Dépôt légal - Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2019

ISBN (version imprimée) : 978-2-550-85920-8

ISBN (PDF) : 978-2-550-85921-5

## Remerciements

Nous remercions tous les membres de l'équipe scientifique de la mission Lampsilis 2018 pour la disponibilité, la qualité de leur travail et la passion qu'ils ont démontrées lors de la préparation et la réalisation de cette mission. Leurs noms et leurs fonctions apparaissent dans la section « Équipe scientifique ». Nous remercions Jean Morin et son équipe (Service météorologique du Canada d'Environnement et Changement climatique Canada) pour les données fournies sur le régime hydrologique et les simulations de profondeur d'eau, de vitesse du courant et de masses d'eau, qui nous ont permis de préparer la mission et aussi de générer des variables physiques pour l'analyse des données. Merci à Philippe Archambault, professeur à l'Université Laval, d'avoir contribué à la caractérisation des habitats des poissons en offrant une partie de son équipe spécialisée en benthos et en sédiments pour la mission 2018 et d'autres projets en développement. Nous remercions Érik Lapointe et son équipe de Reformar ainsi que Chantal Fournier et François Guillemette de l'Université du Québec à Trois-Rivières de nous avoir soutenus dans la préparation et le meilleur déroulement possible de la mission. Merci à Simon Bernatchez (DEFA) pour son aide dans le traitement des relations longueur/masse des poissons et à Aïssa Sebbane pour son aide en géomatique lors de la préparation de la mission. Merci à Olivier Morrissette, Philippe Brodeur, Véronik de la Chenelière et Yves Paradis d'avoir commenté une version avancée du document. Cette mission a été possible grâce au soutien financier du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP), du Centre d'expertise en gestion des risques d'incidents maritimes (CEGRIM) et du Plan d'action Saint-Laurent (PASL).

## Résumé

Depuis 2007, les opérations de chalutage dans les eaux douces du Saint-Laurent ont permis d'échantillonner des milieux profonds, parcourus ou non par le trafic maritime, qui n'avaient jamais été caractérisés auparavant. Le présent rapport expose les résultats de la mission effectuée en 2018 et analyse sous divers angles l'ensemble des missions de chalutage réalisées depuis 2007 par le MFFP dans les eaux douces du Saint-Laurent.

Les données de biomasse sont présentées pour toutes les missions et comparées à celles d'abondance. L'esturgeon jaune domine de loin les habitats profonds, en fréquence et en biomasse. Suivent les chevaliers rouge et blanc et le barbu de rivière. C'est l'omisco que l'on trouve en plus grand nombre dans le chalut, quel que soit le type d'habitat.

Parmi les milieux profonds, les fosses sont les plus riches en diversité et en biomasse, comparativement au chenal et au talus. Les milieux exposés aux activités maritimes sont ceux qui affichent les indices les plus faibles de diversité et d'abondance comparativement aux milieux non exposés. Le littoral abrite les communautés de poissons les plus diversifiées, mais les fosses abritent la plus grande biomasse.

L'analyse générale répertorie plusieurs assemblages de poissons différents et influencés par la période de l'échantillonnage, le type d'habitat et l'exposition aux activités maritimes. Pour mieux les comprendre, il faudrait utiliser de nouvelles variables (p. ex., masses d'eau, vitesses du courant, sédiments, herbiers, bruit, dragage, trafic maritime) et retourner sur le terrain avec une stratégie équilibrant les efforts d'échantillonnage.

L'ADN environnemental (ADNe) a détecté un plus grand nombre d'espèces ( $n = 79$ ) que le chalut ( $n = 49$ ), dont la carpe de roseau et l'esturgeon noir, des espèces rares dans les inventaires du MFFP, une mention de bar blanc, des espèces en situation précaire et une vingtaine à consommation humaine dans l'effluent de la ville de Montréal. Les deux portraits ont des points communs, mais les cartes de diversité n'ont pas la même logique spatiale, suggérant de poursuivre les recherches et d'améliorer l'interprétation de l'ADNe.

L'évaluation des effets des activités maritimes sur les poissons commandera d'acquérir de nouvelles connaissances sur les rôles fonctionnels que les habitats profonds du Saint-Laurent jouent en matière de refuge, de migration, de croissance, d'alimentation et de reproduction, et de s'assurer que les activités maritimes ne compromettent pas la connectivité des habitats de vie. Le rapport présente dans sa conclusion des pistes qui mériteraient d'être explorées.

# Équipe scientifique

## *Direction scientifique et planification*

- Marc Mingelbier, chef de mission et responsable scientifique (Direction de l'expertise sur la faune aquatique)

## *Traitement des poissons capturés et mesures d'habitat*

### Direction de l'expertise sur la faune aquatique

- Denise Deschamps, responsable du laboratoire et compilation des données
- Marc-Antoine Couillard, identification (ID) poissons et aide technique
- Catherine Brisson-Bonenfant, parasites dans la chair des poissons

### Direction de la gestion de la faune du Bas-Saint-Laurent

- Guy Verreault, télémétrie et gestion de l'esturgeon noir
- Johanne Dussureault, télémétrie et chirurgie esturgeon noir

### Direction de la gestion de la faune de la Capitale-Nationale et de la Chaudières-Appalaches

- Léon L'Italien, télémétrie et gestion de l'esturgeon noir
- Francis Moore, ID poissons et aide technique

### Direction de la gestion de la faune de la Mauricie et du Centre-du-Québec

- Philippe Brodeur, télémétrie et gestion de l'esturgeon noir
- Émilie Paquin, ID poissons et aide technique

### Direction de la gestion de la faune de Lanaudière et des Laurentides

- Chantal Côté, ID poissons et aide technique
- Virginie Boivin, ID poissons et aide technique

### Direction de la gestion de la faune de l'Estrie, de Montréal, de la Montérégie et de Laval

- Daniel Hatin, télémétrie et gestion de l'esturgeon jaune
- Florent Archambault, ID poissons et aide technique
- Yohan Riendeau, ID poissons et aide technique
- Huguette Massé, ID poissons et aide technique

### *Prélèvements d'eau et filtration pour doser l'ADNe*

Direction de l'expertise sur la faune aquatique

- Guillaume Côté, prélèvement et filtration, responsable du projet ADNe
- Yves Paradis, prélèvement et filtration
- Lysanne Metthé prélèvement et filtration

### *Prélèvements et caractérisation du substrat et du benthos*

Université Laval, laboratoire du professeur Philippe Archambault

- Fanny Lescouzeres, prélèvement et tamisage
- Laure de Montety, prélèvement et tamisage

### *Échosondeur sidescan*

- François Péloquin, consultant en hydroacoustique (BC2 inc.)

### *Analyses statistiques et traitement des données*

- Cindy Grant (Université Laval, laboratoire du professeur Philippe Archambault)
- Marc Mingelbier (Direction de l'expertise sur la faune aquatique)

### *Cartographie et traitements graphiques*

- Marc Mingelbier (Direction de l'expertise sur la faune aquatique)

# Table des matières

<b>Remerciements</b> .....	iii
<b>Résumé</b> .....	iv
<b>Équipe scientifique</b> .....	v
Direction scientifique et planification .....	v
Traitement des poissons capturés et mesures d'habitat .....	v
Prélèvements d'eau et filtration pour doser l'ADNe .....	vi
Prélèvements et caractérisation du substrat et du benthos .....	vi
Échosondeur sidescan .....	vi
Analyses statistiques et traitement des données .....	vi
Cartographie et traitements graphiques .....	vi
<b>Liste des figures</b> .....	ix
<b>Liste des tableaux</b> .....	xii
<b>Introduction</b> .....	1
Activités maritimes et faune aquatique du Saint-Laurent .....	1
Le Saint-Laurent profondément modifié .....	2
Pourquoi chaluter dans le Saint-Laurent? .....	3
Objectifs de la mission Lampsilis 2018 .....	4
Objectifs du présent rapport .....	5
<b>Méthodes et technologies</b> .....	6
Période et aire d'étude .....	6
Échantillonnage .....	8
Contexte hydrologique et simulations hydrodynamiques .....	10
Traitements et analyses des données .....	14
Chalut 2018 et 2007-2008-2009 .....	14
Analyses statistiques descriptives .....	17
Analyses statistiques univariées .....	18
Analyses statistiques multivariées .....	19
<b>Résultats et discussion</b> .....	20
Grands types d'habitats explorés .....	20
Effort d'échantillonnage en 2007, 2008, 2009 et 2018 .....	21
Analyse descriptive des communautés de poissons .....	24
Indices univariés .....	30

Analyses univariées à un facteur.....	32
Effet de la période sur les assemblages de poissons.....	32
Effet de l’habitat sur les assemblages de poisson.....	34
Effet de l’exposition aux activités maritimes sur les assemblages de poissons.....	36
Analyses univariées à deux facteurs.....	38
Effet combiné période et habitat sur les assemblages de poissons.....	38
Analyse de groupement .....	41
Analyses multivariées à un facteur .....	46
Effet de la période sur les assemblages de poissons.....	46
Effet de l’habitat sur les assemblages de poissons .....	49
Effet de l’exposition aux activités maritimes sur les assemblages de poissons.....	53
Analyses multivariées à deux facteurs (abondance).....	55
Effet des facteurs Période X Habitat .....	55
Analyses multivariées à deux facteurs (biomasse).....	58
Effet des facteurs Période X Habitat .....	58
ADNe.....	60
Description détaillée d’une sélection de 18 espèces .....	66
<b>Conclusion</b> .....	71
<b>Références</b> .....	73
<b>Annexe 1</b> .....	76
Liste des poissons détectés au chalut de 2007 à 2018 et à l’ADNe seulement en 2018 .....	76
<b>Annexe 2</b> .....	79
Captures au chalut de chaque espèce de poissons (CPUE n/100 m; période [2007 à 2018]) .	79

## Liste des figures

<b>Figure 1.</b> Stations échantillonnées au chalut (a) en 2007 (n = 50), 2008 (n = 10) et 2009 (n = 53 et 25) et (b) en 2018 (n = 66). .....	7
<b>Figure 2.</b> Débit du Saint-Laurent à Sorel en 2018.....	11
<b>Figure 3.</b> Profondeur d'eau et vitesse de courant simulées dans le Saint-Laurent.....	12
<b>Figure 4.</b> Masses d'eau du Saint-Laurent simulées en amont de Trois-Rivières correspondant au scénario hydrologique du 7 juillet 2018.....	13
<b>Figure 5.</b> Schéma conceptuel présentant les diverses variables et données échantillonnées durant la mission de 2018 et les traitements qui leur ont été appliqués, parfois en les combinant aux données des missions de 2007-2008-2009. ....	15
<b>Figure 6.</b> Présentation des quatre grands types d'habitats tels qu'ils ont été définis par de la Chenelière et coll. (2015), à la suite des premières explorations par chalutage avec le <i>Lampsilis</i> de 2007 à 2009. ....	20
<b>Figure 7.</b> Répartition spatiale de l'effort d'échantillonnage entre les quatre grands types d'habitats pour les cinq missions réalisées de 2007 à 2018.....	22
<b>Figure 8.</b> Répartition spatiale de l'effort d'échantillonnage entre les sites exposés ou non .....	23
<b>Figure 9.</b> Abondance relative (%) des poissons recensés dans le Saint-Laurent fluvial .....	24
<b>Figure 10.</b> Biomasse relative (%) des poissons recensés dans le Saint-Laurent fluvial.....	25
<b>Figure 11.</b> Coefficients de fréquence (%) des poissons inventoriés dans le tronçon fluvial du Saint-Laurent : a) toutes années confondues; b) en 2007-2008-2009; et c) en 2018. ....	29
<b>Figure 12.</b> Comparaison des périodes toutes années confondues (n = 195), 2007-2008-2009 (n = 137) et 2018 (n = 58) pour différentes métriques décrivant les communautés de poissons.....	31
<b>Figure 13.</b> Comparaison des cinq missions, soit en septembre 2007 (n = 50), septembre 2008 (n = 10), juin 2009 (n = 25), août 2009 (n = 52) et juillet 2018 (n = 58) pour différentes métriques décrivant les communautés de poissons .....	33
<b>Figure 14.</b> Comparaison des quatre types d'habitats, toutes années confondues, pour différentes métriques décrivant les communautés de poissons.....	35
<b>Figure 15.</b> Comparaison des milieux exposés (n = 106) et non exposés (n = 89) aux activités maritimes pour différentes métriques décrivant les communautés de poissons .....	37

<b>Figure 16.</b> Indice de Shannon en fonction de la période d'échantillonnage, soit les années 2007-2008-2009 (n = 137) et 2018 (n = 58), et l'habitat, soit chenal (n = 71), fosses naturelles (n = 43), littoral (n = 43) et talus (n = 38). .....	39
<b>Figure 17.</b> Dendrogramme présentant les groupements naturels des échantillons de poissons prélevés en 2007, 2008, 2009 et 2018 dans le tronçon fluvial du Saint-Laurent .....	42
<b>Figure 18.</b> Cadrage multidimensionnel (nMDS) des indices de similarité de Bray-Curtis des assemblages de poissons issus des échantillons prélevés de 2007 à 2018 dans le tronçon fluvial du Saint-Laurent.....	43
<b>Figure 19.</b> Localisation géographique des neuf groupes répertoriés dans le cadrage multidimensionnel (figure 18).....	45
<b>Figure 20.</b> Cadrage multidimensionnel des indices de similarité de Bray-Curtis des assemblages de poissons prélevés lors des différentes périodes d'échantillonnage. Les analyses ont été faites sur les données d'abondance transformées en racine quatrième. ....	47
<b>Figure 21.</b> Cadrage multidimensionnel des indices de similarité de Bray-Curtis des assemblages de poissons prélevés lors des différentes périodes d'échantillonnage. Les analyses ont été faites avec les données de biomasse transformées en racine quatrième. ....	47
<b>Figure 22.</b> Cadrage multidimensionnel des indices de similarité de Bray-Curtis des assemblages de poissons prélevés en fonction des différents habitats. Les analyses ont été faites sur les données d'abondance transformées en racine quatrième.....	49
<b>Figure 23.</b> Cadrage multidimensionnel des indices de similarité de Bray-Curtis des assemblages de poissons prélevés en fonction des différents habitats. Les analyses ont été faites sur les données de biomasse transformées en racine quatrième. ....	50
<b>Figure 24.</b> Cadrage multidimensionnel des indices de similarité de Bray-Curtis des assemblages de poissons prélevés en fonction des différents habitats (sans le littoral). Les analyses ont été faites sur les données d'abondance transformées en racine quatrième. ....	52
<b>Figure 25.</b> Cadrage multidimensionnel des indices de similarité de Bray-Curtis des assemblages de poissons prélevés en fonction des différents habitats (sans le littoral). Les analyses ont été faites sur les données de biomasse transformées en racine quatrième. ....	52
<b>Figure 26.</b> Cadrage multidimensionnel des indices de similarité de Bray-Curtis des assemblages de poissons prélevés en fonction de l'exposition aux activités maritimes. Les analyses ont été faites sur les données d'abondance transformées en racine quatrième. ....	53
<b>Figure 27.</b> Cadrage multidimensionnel des indices de similarité de Bray-Curtis des assemblages de poissons prélevés en fonction de l'exposition aux activités maritimes. Les analyses ont été faites sur les données de biomasse transformées en racine quatrième. ....	54

<b>Figure 28.</b> Cadrage multidimensionnel des indices de similarité de Bray-Curtis des assemblages de poissons prélevés en fonction des différents habitats lors des deux périodes d'échantillonnage. ....	56
<b>Figure 29.</b> Analyse de redondance basée sur les distances (dbRDA) étudiant les relations entre les assemblages d'espèces et les paramètres environnementaux aux stations visitées en 2007-2008-2009 et 2018, dans les différents habitats du tronçon fluvial du Saint-Laurent. ....	57
<b>Figure 30.</b> Cadrage multidimensionnel des indices de similarité de Bray-Curtis des assemblages de poissons prélevés en fonction de l'habitat. ....	59
<b>Figure 31.</b> Nombre de taxons obtenus à l'aide des analyses d'ADNe et au chalut en juillet 2018. ....	61
<b>Figure 32.</b> Comparaison des nombres de taxons obtenus à l'aide des analyses d'ADNe (bleu) et des traits de chalut (orange) pour les stations visitées uniquement en juillet 2018 : a) pour les quatre types habitats soit le chenal (n = 22), les fosses naturelles (n = 14), le littoral (n = 2) et le talus (n = 15); et b) pour les milieux exposés (n = 33) ou non exposés aux activités maritimes (n = 20). ....	62
<b>Figure 33.</b> Détection de l'ADN de plusieurs espèces absentes des captures au chalut. ....	64
<b>Figure 34.</b> Relation et coefficient de détermination entre les richesses obtenues aux mêmes stations à l'aide des échantillons d'eau discrets et intégrés. ....	65
<b>Figure 35a.</b> Abondance totale de 18 espèces sélectionnées (bleu, n individus/trait standardisé, moyenne ± erreur type) et biomasse totale (rouge, /trait standardisé, moyenne ± erreur type) par habitat, soit chenal (n = 71), fosses naturelles (n = 43), littoral (n = 43) et talus (n = 38). ....	67
<b>Figure 35b.</b> Abondance totale de 18 espèces sélectionnées (bleu, n individus/trait standardisé, moyenne ± erreur type) et biomasse totale (rouge, /trait standardisé, moyenne ± erreur type) par habitat, soit chenal (n = 71), fosses naturelles (n = 43), littoral (n = 43) et talus (n = 38). ....	68
<b>Figure 36a.</b> Abondance totale de 18 espèces sélectionnées (bleu, n individus/trait standardisé, moyenne ± erreur type) et biomasse totale (rouge, /trait standardisé, moyenne ± erreur type) aux sites exposés aux activités maritimes (n = 106) et aux sites non exposés (n = 89). ....	69
<b>Figure 36b.</b> Abondance totale de 18 espèces sélectionnées (bleu, n individus/trait standardisé, moyenne ± erreur type) et biomasse totale (rouge, /trait standardisé, moyenne ± erreur type) aux sites exposés aux activités maritimes (n = 106) et aux sites non exposés (n = 89). ....	70

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.</b> Relations longueur totale – masse (LT → M) et inverses (M → LT), générées à partir des données intégrales provenant des filets du réseau de suivi ichtyologique (1995-2018), après avoir retiré les valeurs extrêmes aberrantes. Le tableau présente aussi le nombre d'observations (n) et les valeurs moyennes, minimales et maximales des longueurs totales (LTmoy., LTmin. et LTmax.) et des masses (Mmoy., Mmin. et Mmax.).....	16
<b>Tableau 2.</b> Répartition de l'effort d'échantillonnage entre les quatre grands types d'habitats pour les cinq missions réalisées de 2007 à 2018 .....	21
<b>Tableau 3.</b> Répartition de l'effort d'échantillonnage entre les sites exposés ou non .....	23
<b>Tableau 4.</b> Liste des poissons inventoriés, toutes années confondues, de 2007 à 2018 dans le Saint-Laurent avec leur coefficient de fréquence (CF, %). .....	27
<b>Tableau 5.</b> Liste des poissons inventoriés en 2007-2008-2009 et en 2018 dans le Saint-Laurent avec leur coefficient de fréquence (CF, %). .....	28
<b>Tableau 6.</b> Résultats des analyses de variance (ANOVA) testant l'effet de la période d'échantillonnage sur les caractéristiques univariées des assemblages de poissons ...	32
<b>Tableau 7.</b> Résultats des analyses de variance (ANOVA) testant l'effet de l'habitat sur les caractéristiques univariées des assemblages de poissons .....	34
<b>Tableau 8.</b> Résultats des analyses de variance (ANOVA) testant l'effet de l'exposition .....	36
<b>Tableau 9.</b> Résultats des analyses de variance (ANOVA) testant l'effet de la période, de l'habitat et leur interaction sur les caractéristiques univariées des assemblages de poissons .....	40
<b>Tableau 10.</b> Résultats des analyses de variance multivariées par permutation (PERMANOVA) testant l'effet de la période d'échantillonnage sur l'abondance et la biomasse des assemblages de poissons. ....	46
<b>Tableau 11.</b> Indices de similarité (Sim.) et de dissimilarité (Dis.) des assemblages mesurés lors des cinq périodes d'échantillonnage à partir des données d'abondances.	48
<b>Tableau 12.</b> Résultats des analyses de variance multivariées par permutation (PERMANOVA) testant l'effet de l'habitat sur l'abondance et la biomasse des assemblages de poissons. ....	49
<b>Tableau 13.</b> Indices de similarité (Sim.) et de dissimilarité (Dis.) des assemblages mesurés dans les quatre habitats étudiés à partir des données d'abondance. ....	50
<b>Tableau 14.</b> Résultats des analyses de variance multivariées par permutation (PERMANOVA) testant l'effet de l'habitat (sans le littoral) sur l'abondances et la biomasse des assemblages de poissons. ....	51
<b>Tableau 15.</b> Résultats des analyses de variance multivariées par permutation (PERMANOVA) testant l'effet de l'exposition .....	53

**Tableau 16.** Indices de similarité (Sim.) et de dissimilarité (Dis.) des assemblages mesurés aux sites exposés ou non ..... 54

**Tableau 17.** Résultats des analyses de variance multivariées par permutation (PERMANOVA) testant l'effet de la période d'échantillonnage, de l'habitat et leur interaction sur l'abondance des assemblages de poissons. .... 55

**Tableau 18.** Résultats des analyses de variance multivariées par permutation (PERMANOVA) testant *a posteriori* l'effet de l'interaction des facteurs période et habitat sur l'abondance des assemblages de poissons..... 55

**Tableau 19.** Relation entre la structure des assemblages de poissons et les variables environnementales mesurées tel que le révèle la régression multiple multivariée DistLM. .... 57

**Tableau 20.** Résultats des analyses de variance multivariées par permutation (PERMANOVA) testant l'effet de la période d'échantillonnage, de l'habitat et leur interaction sur la biomasse des assemblages de poissons..... 58

# Introduction

## Activités maritimes et faune aquatique du Saint-Laurent

L'essor du transport maritime, s'il offre d'importantes possibilités économiques, soulève aussi plusieurs questions fondamentales relatives à la conservation et à la mise en valeur de la faune aquatique et de ses habitats, par des dérangements directs sur les espèces engendrés par les vagues, le bruit, les vibrations ou les collisions (Massé et Mongeau, 1976; Dauphin, 2000; Wysocki et coll., 2006; Chion et coll., 2013; Weilgart, 2018) et indirects sur la qualité de l'eau (D'Arcy et coll., 2004) et des habitats (Dettmers et coll., 2001; Wolter et Arlinghaus, 2003; Pilcher et coll., 2004), ou encore par l'introduction d'espèces exotiques dans les eaux de ballast (Villeneuve, 2001).

Au Québec, c'est le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs qui est responsable de la gestion des 118 espèces de poissons d'eau douce et migrateurs, avec pour mission double de conserver 24 espèces en situation précaire et leurs habitats et de mettre en valeur les pêches de 34 espèces exploitées (Mingelbier et coll., 2016). Cette gestion est réalisée dans un contexte où le fleuve Saint-Laurent subit déjà des pressions nombreuses et d'origines multiples, telles que les modifications profondes de son lit, les barrages, la régularisation du débit, l'artificialisation des rives et l'altération de la qualité de l'eau par les usages industriels, agricoles, municipaux ou domestiques (Côté et Morin, 2007a-b). Pour conserver et parfois restaurer les fonctions vitales des poissons et de leurs habitats, il faudra, pour la thématique concernant la présente étude : 1) développer une collaboration entre les acteurs responsables de la faune et ceux des activités maritimes; et 2) se doter d'une vision commune et d'orientations cohérentes.

Dans son Plan d'action 2015-2020, la Stratégie maritime a reconnu l'importance de la faune aquatique et des habitats du Saint-Laurent, puisqu'elle y présente notamment les deux axes suivants : 1) moderniser et assurer la pérennité de l'industrie des pêches et de l'aquaculture; et 2) protéger la biodiversité des écosystèmes d'eau douce et d'eau marine. Ces actions fournissent de solides appuis au MFFP pour le soutenir dans sa mission.

Dans un contexte où l'on anticipe une croissance des activités maritimes, il faudra acquérir de nouvelles connaissances sur la faune aquatique et ses habitats pour mieux les protéger. Ces connaissances fauniques devraient cibler des sensibilités, des vulnérabilités ou encore des évaluations de risques associés notamment : 1) au trafic

maritime; 2) à un possible élargissement ou approfondissement du chenal et un élargissement de l'emprise des ports; 3) aux rejets d'eau polluée ou aux déversements accidentels de produits dangereux; 4) au dérangement par le bruit et le passage physique des bateaux; 5) au dragage d'entretien et au dépôt de matériel dragué sur certains sites; 6) à l'érosion par le batillage et la vitesse des bateaux; 7) aux pertes d'habitats profonds ou sur les rives liées à la canalisation de l'écoulement; 8) aux pertes de connectivité liées aux infrastructures et aux ouvrages de régularisation du débit et du niveau; 9) aux effets directs ou indirects des changements climatiques et à ceux de la régularisation du débit du Saint-Laurent et de ses tributaires; 10) à l'introduction d'espèces envahissantes par diverses voies; et 11) aux effets synergiques et cumulatifs.

## Le Saint-Laurent profondément modifié

Parmi les grands chantiers qui ont profondément transformé le Saint-Laurent, on retient au premier chef le creusage du chenal de navigation, qui a débuté dès 1844 entre Québec et Montréal (Villeneuve, 2001). Des volumes massifs ont été excavés en plusieurs étapes sur près de 165 km et de façon inégale à cause de la topographie variée, pour garantir dès 1998 une profondeur d'au moins 11,3 m et une largeur d'au moins 244 m (atteignant parfois 540 m dans les courbes) pour des navires transocéaniques (voir les détails dans Côté et Morin, 2007a-b). La portion située en amont du port de Montréal jusqu'au lac Érié, nommée « Voie maritime », présente des caractéristiques différentes, car elle est destinée à des navires de plus petite taille (CGVMSL, 2019). Elle comprend un chenal dont la profondeur garantie est de 8,08 m, 13 écluses canadiennes et 2 écluses américaines ainsi que 2 canaux aménagés au Québec : le canal de la Rive Sud entre le port de Montréal et le lac Saint-Louis et celui de Beauharnois.

Dans son analyse des zéros des cartes et des lignes des hautes eaux du fleuve Saint-Laurent, Labrecque (1994) rapporte que les ajouts et les modifications d'infrastructures le long du Saint-Laurent depuis le début du xx<sup>e</sup> siècle expliquent largement les changements survenus dans la fluctuation des niveaux d'eau du Saint-Laurent à partir de 1964 : reversoirs des îles de Sorel (1931), barrage de Beauharnois (1933), approfondissement et élargissement du chenal de navigation (1952), ouverture de la Voie maritime (1959), barrage de Carillon (1964) et travaux d'Expo 67 (1967).

Bien que l'objectif de creuser le chenal de navigation soit d'augmenter la hauteur de la colonne d'eau disponible pour les bateaux, le dragage massif a eu pour conséquence

d'abaisser considérablement le niveau du fleuve Saint-Laurent (Côté et Morin, 2007b). Les cinq revoirs construits dans les principaux chenaux des îles de Sorel ne compensent que partiellement cette perte de hauteur (Côté et Morin, 2007b). Les ouvrages de régularisation contribuent aussi à compenser les pertes de niveaux d'eau. C'est le cas du débit de la rivière des Outaouais (depuis 1911) et aussi du débit à la sortie du lac Ontario (débuté en 1963 avec le Plan 1958-D), dont les régularisations ont contribué à remonter les niveaux d'eau en période estivale (Morin et Bouchard, 2000; Morin et coll., 2005). En conditions naturelles, c'est-à-dire sans régularisation, les niveaux d'eau estivaux seraient nettement inférieurs. La régularisation du débit de la rivière des Outaouais, qui a aussi fortement modifié le régime d'écoulement naturel du fleuve Saint-Laurent, en réduisant le niveau moyen des crues printanières du lac Saint-Pierre de  $\approx 0,75$  m et en réduisant sa durée d'environ trois semaines, a engendré des pertes d'habitats littoraux et de connectivité (Foubert et coll., 2018). La gestion du débit de la rivière des Outaouais, peu connues, mériterait d'être examinée comme cela fut fait pour le système lac Ontario–Saint-Laurent afin d'évaluer la possibilité d'utiliser la marge de manœuvre disponible pour rétablir un régime de débit printanier plus naturel.

## Pourquoi chaluter dans le Saint-Laurent?

Le chalut de fond est un engin d'échantillonnage particulier qui complète avantageusement les inventaires du MFFP réalisés dans divers habitats dulcicoles du Saint-Laurent à l'aide d'autres engins d'échantillonnage tels que la seine de rivage, le filet maillant multimaille ou encore la pêche électrique.

L'acquisition de nouvelles connaissances sur les habitats profonds du Saint-Laurent fluvial, y compris le chenal de navigation, a débuté durant la période 2007-2008-2009 avec les quatre premières missions de chalutage à bord du *Lampsilis*. Ces premières explorations ont rapporté de l'information précieuse sur les habitats profonds, puisqu'elles révélaient enfin que le chenal de navigation n'était pas un « désert faunique » (de la Chenelière et coll., 2015). On a appris que le chenal de navigation abrite une communauté de poissons distincte des autres habitats du Saint-Laurent, soit le littoral, les fosses profondes naturelles et le talus bordant le chenal. Par ailleurs, ces explorations ont aussi rapporté que les fosses naturelles sont fréquentées par des esturgeons de grande taille qui côtoient des juvéniles de plusieurs autres espèces, telles que le barbu de rivière, et qui peuvent donc représenter des habitats d'élevage de jeunes poissons.

Ces explorations préliminaires soulèvent de nombreux questionnements et suggèrent :

- 1) d'approfondir les connaissances des secteurs du fleuve tels que les zones portuaires et le chenal de navigation, et de les comparer aux habitats profonds qui sont à l'abri de la navigation commerciale afin de mesurer les effets des activités maritimes sur les espèces aquatiques et leurs habitats;
- 2) de suivre l'évolution dans le temps de ces milieux empruntés pour la navigation quant à la croissance et au développement de l'industrie maritime;
- et 3) de profiter des opérations de chalutage sur le Saint-Laurent pour étudier des aspects méconnus tels que la localisation des frayères à esturgeon noir dans des milieux difficiles d'accès de l'estuaire fluvial ou encore des mentions de carpe de roseau dans le tronçon entre Montréal et Sorel.

## Objectifs de la mission Lampsilis 2018

Lors de sa planification, la mission Lampsilis 2018 était intitulée « Caractérisation de l'habitat du poisson dans le Saint-Laurent : portrait des zones portuaires et du chenal de navigation et exploration des régions propices à la fraie de l'esturgeon noir ». Le projet visait à poursuivre les inventaires au chalut de fond qui avaient été réalisés en 2007-2008-2009 dans les habitats profonds du Saint-Laurent et à élargir la portée scientifique des opérations de chalutage avec des méthodes et des technologies complémentaires.

Les objectifs de cette mission étaient les suivants :

- caractériser la communauté de poissons et son habitat de diverses manières dans les secteurs soumis au développement de l'industrie maritime tels que le chenal de navigation ainsi que les zones portuaires de Bécancour, Trois-Rivières, Sorel, Contrecoeur et Montréal;
- suivre l'évolution de certaines portions du chenal de navigation et des fosses profondes qui avaient été décrites pour la première fois sur la base des données de 2007-2008-2009;
- accessoirement, nous avons voulu profiter des opérations de chalutage pour valider si possible la présence d'esturgeons noirs dans l'estuaire fluvial entre Trois-Rivières et Portneuf, et celle de la carpe de roseau dans le tronçon entre Montréal et Sorel.

## Objectifs du présent rapport

Les deux principaux objectifs du rapport sont : 1) présenter les résultats de la mission de 2018; et 2) effectuer une analyse globale des cinq missions de 2007 à 2018, y compris des comparaisons entre les missions.

Les cinq missions de chalutage avec le *Lampsilis* réalisées par le MFFP avaient toutes des plans d'échantillonnage différents, ce qui en a compliqué l'analyse globale. Cependant, elles avaient toutes comme objectif commun d'explorer par chalutage des milieux peu accessibles par les moyens habituels, tels que le chenal de navigation, les zones portuaires et les fosses profondes de la portion en eau douce du Saint-Laurent.

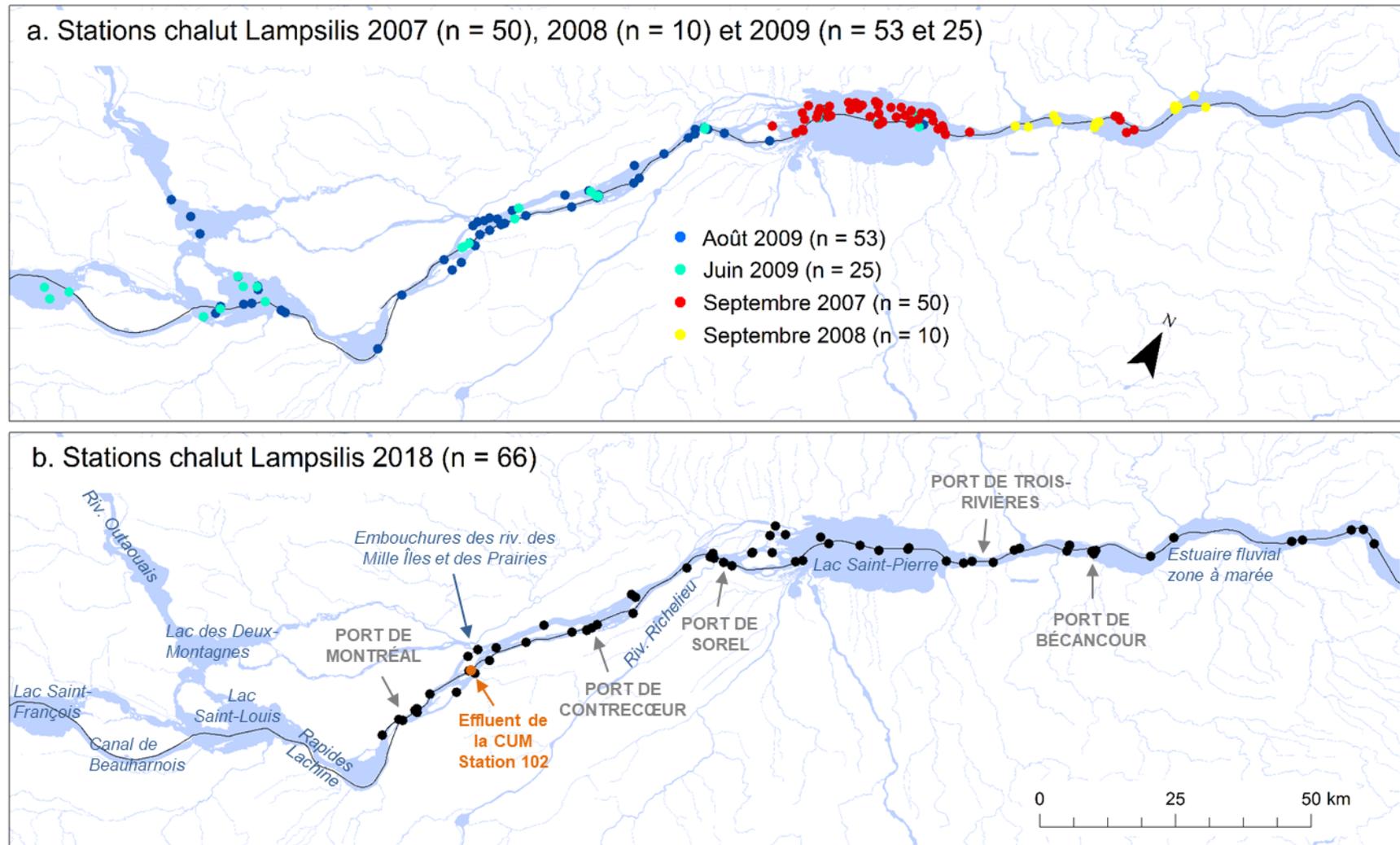
Une première synthèse des quatre missions réalisées en 2007, 2008 et 2009 est présentée dans de la Chenelière et coll. (2015). L'étude révèle que le chenal de navigation n'est pas un désert faunique et que des communautés de poissons distinctes occupent les quatre grandes catégories d'habitat suivantes : le littoral, le talus, le chenal et les fosses profondes. Ces quatre grandes catégories d'habitat ont été créées intuitivement en fonction de certaines connaissances halieutiques ou de la biologie des poissons, et aussi caractérisées en fonction de la profondeur et de la vitesse du courant. Cela dit, bien qu'arbitraire, cette classification a mis en évidence des contrastes dans l'écosystème fluvial et représente une excellente première étape d'exploration des données. Nous avons profité de la disponibilité de données additionnelles pour conduire une analyse statistique plus complète afin de répertorier, sans *a priori*, les facteurs qui pourraient expliquer les divers assemblages d'espèces observés.

Le rapport présente de nombreux résultats descriptifs, dont certains ont été analysés en profondeur et d'autres pourraient encore faire l'objet d'analyses ultérieures. Les données de biomasse, qui étaient absentes du rapport de 2015, ont été reconstituées dans les matrices de toutes les missions à l'aide des données du Réseau de suivi ichtyologique (RSI) (les équations sont présentées dans les résultats) et aussi comparées avec les données d'abondance relative. Un portrait unique des communautés identifiées grâce à l'analyse de l'ADNe est comparé à celui obtenu à partir du chalutage. Le rapport présente aussi plusieurs nouvelles pistes à explorer pour documenter les effets des activités maritimes sur la faune aquatique et ses habitats.

## Méthodes et technologies

### Période et aire d'étude

La mission s'est déroulée du 3 au 13 juillet 2018. Le plan d'échantillonnage était largement structuré autour des stations de chalutage, qui sont les plus énergivores, autour desquelles ont été greffés des prélèvements d'eau destinés aux analyses d'ADNe et les échantillons de sédiments et de benthos. L'expérience des missions de 2007, 2008 et 2009 montrait que, pour procéder à l'analyse d'une station de chalutage, accompagnée par des prélèvements d'eau et de sédiments, il fallait compter approximativement une heure. Sachant que le contrat de location du navire prévoyait des journées de 12 heures, nous avons alors planifié une réserve de 120 stations pour une mission d'une dizaine de jours, sans compter le temps pour les déplacements. Nous nous attendions donc à éliminer des stations et ce choix a été réévalué chaque jour parmi les 12 stations du sein du segment visité. Les stations ont été positionnées entre Portneuf et le port de Montréal afin de représenter équitablement les ports, le chenal de navigation et les fosses naturelles profondes. Les stations qui ont été échantillonnées durant la mission de 2018 sont présentées dans la figure 1. Sauf exception, elles sont numérotées par ordre croissant de l'aval vers l'amont, dans l'ordre dans lequel elles ont été échantillonnées.



**Figure 1.** Stations échantillonnées au chalut (a) en 2007 (n = 50), 2008 (n = 10) et 2009 (n = 53 et 25) et (b) en 2018 (n = 66). Les cinq ports explorés en 2018 sont localisés ainsi que diverses indications sur les plans d'eau, quelques rivières importantes et l'effluent de la Communauté urbaine de Montréal (CUM). Le chenal de navigation est tracé en noir. CONTRECŒUR

## Échantillonnage

**Navire.** Le navire de recherche utilisé pour l'échantillonnage était le *Lampsilis*, acquis en 2004 par l'Université du Québec à Trois-Rivières et exploité par la compagnie Reformar. Il s'agit d'un catamaran entièrement en aluminium de 24 m de long sur 6,8 m de large et de 114 t, dont le tirant d'eau est de 0,9 m, propulsé par deux moteurs de type Hydro Jet d'une puissance totale de 900 chevaux. La plage arrière du navire (45 m<sup>2</sup>) est munie d'une grue, de quatre treuils et d'un enrouleur hydraulique pour actionner des chaluts (pélagique et de fond) et des échantillonneurs tels qu'une benne à sédiment et des bouteilles pour échantillonner l'eau (de type Niskin ou Go-Flo). Ce navire est adapté à la bathymétrie très variable du Saint-Laurent et suffisamment puissant pour tracter un chalut de fond dans diverses conditions. Le bateau dispose d'un laboratoire humide de 17 m<sup>2</sup> et d'un laboratoire sec de 10 m<sup>2</sup>, de congélateurs (-20 °C et -80 °C), d'une hotte, de divers rangements et d'une voute pour entreposer les produits dangereux. Sur le fleuve Saint-Laurent (eaux secondaires II), le bateau peut accueillir 20 personnes en plus des 5 membres d'équipage.

**Chalut de fond.** Le chalut utilisé était un chalut de fond de type Yankee, avec une ouverture de 7,3 m de large sur 2,1 m de haut, une maille en polypropylène dont la taille étirée variait de 100 mm (ailes et cul), 80 mm (ventre et dos), 50 mm (rallonge) et de nylon tressé à 14 mm dans la doublure du cul du chalut, et équipé latéralement de deux portes Morgère de 200 kg (de la Chenelière et coll., 2015). À chaque station, la profondeur d'eau et la vitesse du courant étaient notées afin d'ajuster la longueur des câbles du chalut et la vitesse du bateau. La trajectoire des traits était planifiée afin de conserver une bathymétrie relativement constante. Tous les traits de chalut ont été réalisés en remontant le courant. Le chalut était tiré à une vitesse constante d'environ 1,8 à 2,2 nœuds, c'est-à-dire 3,3 à 4,0 km/h. La longueur des traits était relativement courte afin de bien représenter le milieu échantillonné, avec une longueur moyenne de 851 m, une durée de 14 minutes et un volume d'eau filtré de l'ordre de 15 000 m<sup>3</sup> par trait. Les poissons échantillonnés au chalut ont été transférés dans des viviers et ensuite traités au laboratoire humide pour identification et diverses mesures morphologiques. Les identifications de poissons et les autres mesures ont été inscrites sur des feuilles de terrain préparées pour la mission et retranscrites dans une base de données en décembre 2018. Certains spécimens ont été prélevés pour confirmer ultérieurement leur identification.

Il était prévu qu'en cas de capture d'esturgeons noirs ceux-ci seraient opérés pour déterminer le sexe et la maturité sexuelle, et insérer un émetteur télémétrique. De plus, l'équipe responsable des espèces aquatiques envahissantes était aussi sur le terrain durant la même période et prête à se déplacer en cas de capture de carpes de roseau.

**ADNe.** Pour enrichir le portrait ichthyologique, la communauté de poissons obtenue à l'aide du chalut de fond a été comparée uniquement en 2018 à celle obtenue à partir des analyses d'ADNe des échantillons d'eau prélevés aux mêmes stations que les traits de chalut. Deux types d'échantillons d'eau ont été prélevés : un échantillon discret en profondeur à l'aide d'une bouteille Niskin et un autre intégrant les dix premiers mètres de la colonne d'eau à l'aide d'un bidon en plastique d'une contenance de 4 l. L'analyse des espèces de poissons collectées (métagénomique) a été réalisée dans 109 échantillons par le laboratoire du Prof. Louis Bernatchez à l'Université Laval : 64 échantillons d'eau récoltés en profondeur, 37 échantillons récoltés dans la colonne d'eau et 8 échantillons témoins pour la contamination.

**Variables physico-chimiques.** La profondeur d'eau a été notée à chaque station. L'eau dont on a filtré l'ADNe a servi à mesurer la température et la conductivité en utilisant la même sonde multiparamètre (YSI) que celle du RSI. La conductivité pourrait ultérieurement être utilisée en combinaison avec la simulation des masses d'eau pour confirmer le type des masses d'eau des stations. La profondeur mesurée avec l'échosondeur du navire et la position géographique ont été notées à chaque station et compilées sur les feuilles de terrain.

**Échosondeur *sidescan*.** Nous avons testé l'utilisation d'un échosondeur de type *sidescan* pour caractériser le relief et la texture du milieu physique afin de répertorier les portions du fleuve susceptibles d'accrocher ou d'endommager le chalut (roches de grandes tailles ou relief accidenté), et d'orienter les traits de chaluts afin de cibler les poissons de grande taille (voir par exemple Flowers et Hightower, 2013). Comme les points d'ancrage sur le navire étaient trop distants, cela a provoqué d'importantes vibrations sur la sonde de l'appareil interférant avec la lecture, ce qui nous a forcés à éliminer cette technique lors de cette mission.

**Télémétrie mobile.** Entre Portneuf et Trois-Rivières, nous avons utilisé un récepteur télémétrique mobile chaque fois que le bateau était arrêté à une station afin de repérer éventuellement les esturgeons noirs qui avaient été marqués avec des émetteurs acoustiques par le MFFP au cours des années précédentes.

**Prélèvement de sédiments et benthos.** Tous les organismes benthiques échantillonnés fortuitement par le chalut ont été préservés aux fins d'identification, de dénombrement et d'évaluation de la biomasse. Lorsque cela était possible, une benne Ponar a été déployée pour l'échantillonnage de benthos et de sédiments. Les sédiments prélevés permettront la caractérisation de la faune benthique ainsi que la caractérisation des sédiments (granulométrie, cinq premiers centimètres) et l'évaluation du contenu en matière organique (premier centimètre). Les échantillons de sédiments ont été préservés à  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  pour un traitement ultérieur au laboratoire. Les sédiments restant dans la benne ont été tamisés avec de l'eau de la station sur une maille de 0,5 mm. La profondeur de pénétration de la benne ou tout élément pouvant influencer l'évaluation quantitative de la faune benthique ont été notés. Une fois tamisés, les échantillons ont été préservés dans une solution tamponnée de formaldéhyde 4 %, à température ambiante. Tous les échantillons seront traités au laboratoire d'écologie benthique de l'Université Laval au cours de l'été 2019 dans le cadre du projet de maîtrise de Fanny Lescouzères.

## Contexte hydrologique et simulations hydrodynamiques

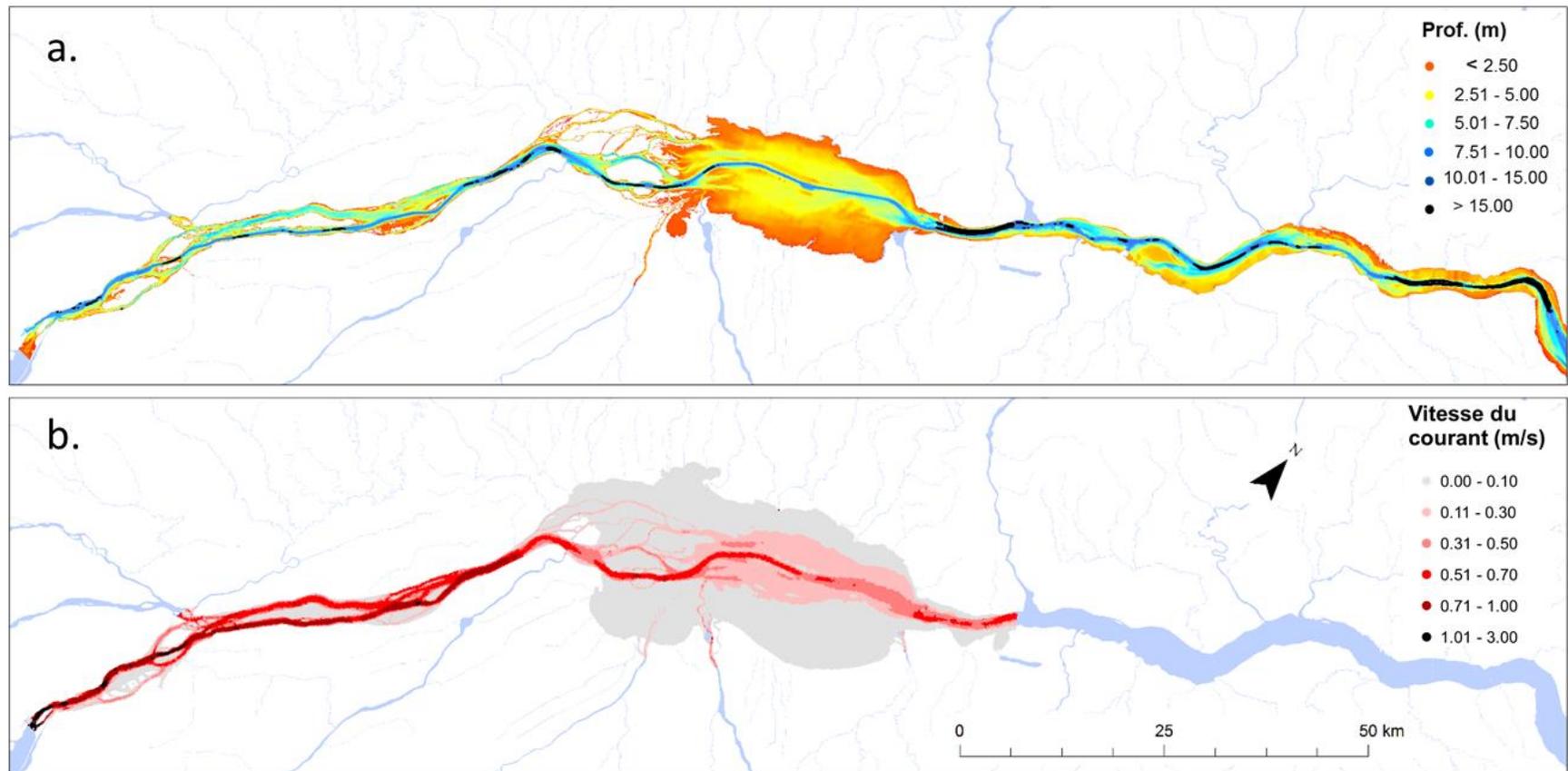
Lorsqu'on caractérise les habitats aquatiques, il est fondamental de se rapporter au contexte hydrologique afin de définir précisément les conditions d'écoulement de l'eau. Cela s'applique particulièrement au Saint-Laurent qui présente des conditions très variables spatialement et temporellement, elles-mêmes influençant à leur tour la répartition des poissons (Mingelbier et coll., 2005; Mingelbier et coll., 2008). Ce sont majoritairement la topographie et le débit qui déterminent la localisation et l'étendue des divers habitats aquatiques (Morin et coll., 2003). D'autres variables importantes façonnent aussi les habitats des poissons telles que la nature du substrat, la densité des herbiers submergés et l'architecture des plantes qui les composent, ainsi que la qualité de l'eau (température, turbidité, concentrations de nutriments ou de polluants, conductivité, pH, etc.), et certaines d'entre elles seront abordées plus loin dans ce rapport.

Bien que la crue printanière de 2018 ait été forte, la mission de juillet 2018 a été réalisée dans des conditions hydrologiques à peine plus élevées que la médiane historique (1963-2019), avec un percentile moyen de 0,59 % calculé pour la période de la mission (figure 2, données ECCC). Par contre, quant à la température de l'air, une canicule a frappé le Québec durant les premiers jours de la mission, ayant plutôt affecté le personnel à bord du navire que la température de l'eau des habitats profonds.

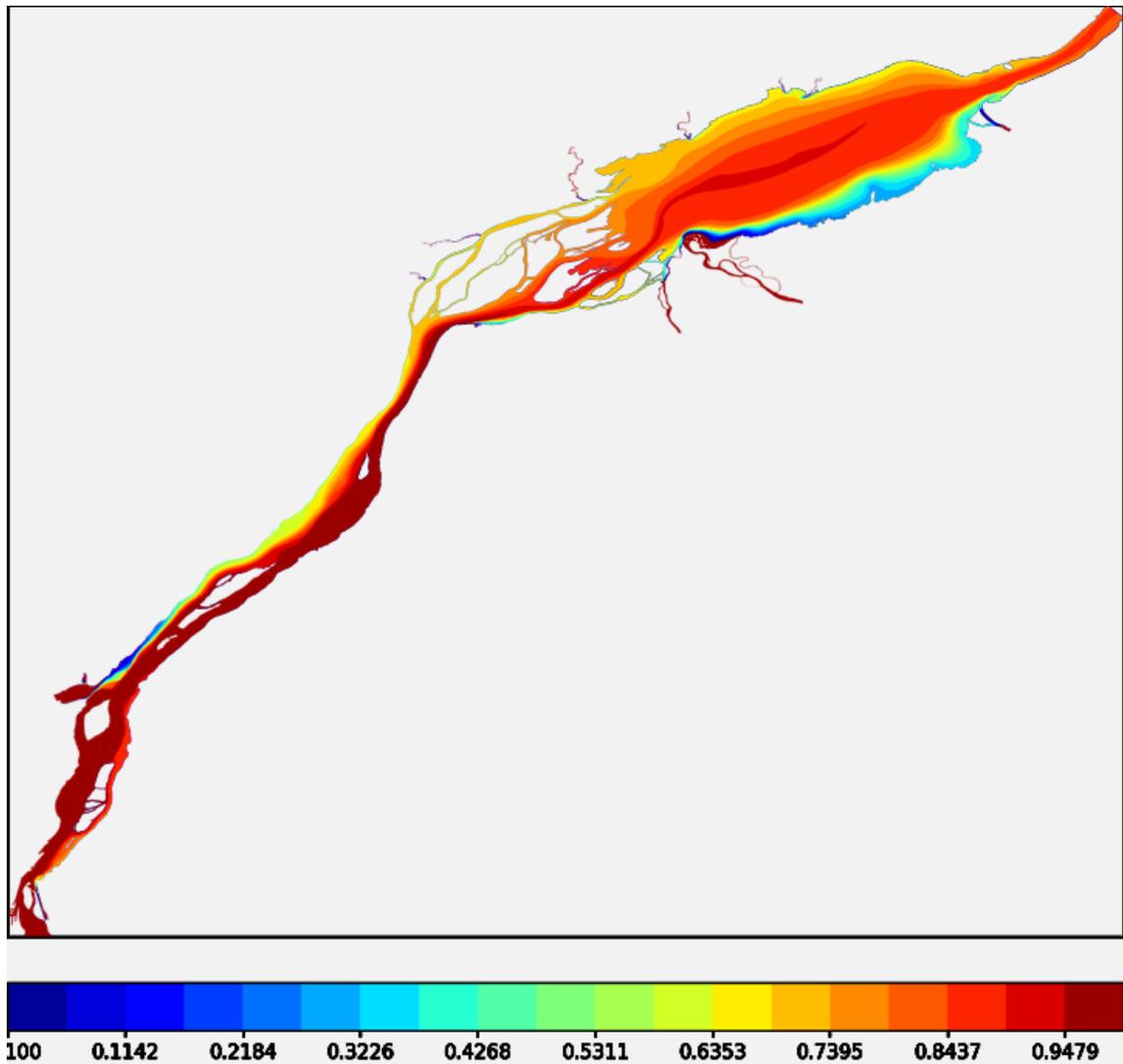


**Figure 2.** Débit du Saint-Laurent à Sorel en 2018. Les minima, maxima et la médiane, calculés pour la période de référence 1963-2019, sont représentés en gris. Le rectangle bleu marque la période de la mission du 3 au 13 juillet 2018, qui a été associé à un débit estival moyen (données : Environnement et Changements climatiques Canada).

Lors de la planification de la mission, nous nous étions référés à un scénario de profondeur d'eau modéré (faible niveau estival en amont de Trois-Rivières et marée basse en aval de Trois-Rivières; figure 3a) afin de disposer d'une hauteur d'eau suffisante pour l'échantillonnage. Cette représentation nous est utile, car les cartes de navigation ne détaillent généralement pas les profondeurs supérieures au tirant d'eau des bateaux (> 11,3 m). La figure 3a souligne notamment des fosses profondes (> 15 m) qui ont été prises en compte dans la planification de l'échantillonnage. Cela dit, ce sont les profondeurs réelles qui ont été inscrites dans la base de données. La vitesse du courant présentée dans la figure 3b correspond à des conditions estivales moyennes (Martin et coll., 2016) et a servi à bonifier la base de données. La simulation des vitesses est interrompue à la limite de la zone de marée, vis-à-vis Trois-Rivières, à cause de la fluctuation de vitesse induite par la marée. La simulation des masses d'eau (figure 4) correspond exactement à la situation du 7 juillet 2018 (Martin et coll., 2018) et a servi à bonifier la base de données. Elle est aussi interrompue à la limite de la zone de marée, vis-à-vis Trois-Rivières, à cause du mélange des masses d'eau induit par la marée.



**Figure 3.** Profondeur d'eau et vitesse de courant simulées dans le Saint-Laurent. (a) Profondeur (m) d'eau simulée dans le Saint-Laurent correspondant à un scénario hydrologique estival faible en amont de Trois-Rivières et à une marée basse en aval de Trois-Rivières (données : Environnement et Changement climatique Canada). Les fosses dont la profondeur est > 15 m sont en noir. (b) Vitesse du courant (m/s) simulée dans le Saint-Laurent en amont de Trois-Rivières correspondant à un scénario hydrologique estival moyen. La simulation est interrompue à la limite de la zone de marée, vis-à-vis Trois-Rivières (Martin et coll., 2018). Les milieux où la vitesse du courant est > 1 ms<sup>-1</sup> sont en noir.



**Figure 4.** Masses d'eau du Saint-Laurent simulées en amont de Trois-Rivières correspondant au scénario hydrologique du 7 juillet 2018. La simulation est interrompue à la limite de la zone de marée, vis-à-vis Trois-Rivières (Martin et coll., 2018). La couleur indique le pourcentage de dilution de la masse d'eau (rouge = peu diluée et bleu = très diluée).

## Traitements et analyses des données

### *Chalut 2018 et 2007-2008-2009*

Avec les poissons capturés en 2018 et aussi ceux de 2007-2008-2009, nous avons préparé deux matrices d'analyse présentant pour chaque station :

- **les abondances relatives normalisées**, c'est-à-dire les nombres d'individus de chaque espèce, ici standardisés pour une distance de chalutage de 100 m et multipliés par 100;
- **les biomasses relatives normalisées**, c'est-à-dire les sommes des biomasses de tous les individus de la même espèce, ici standardisées pour une distance de chalutage de 100 m et multipliées par 100.

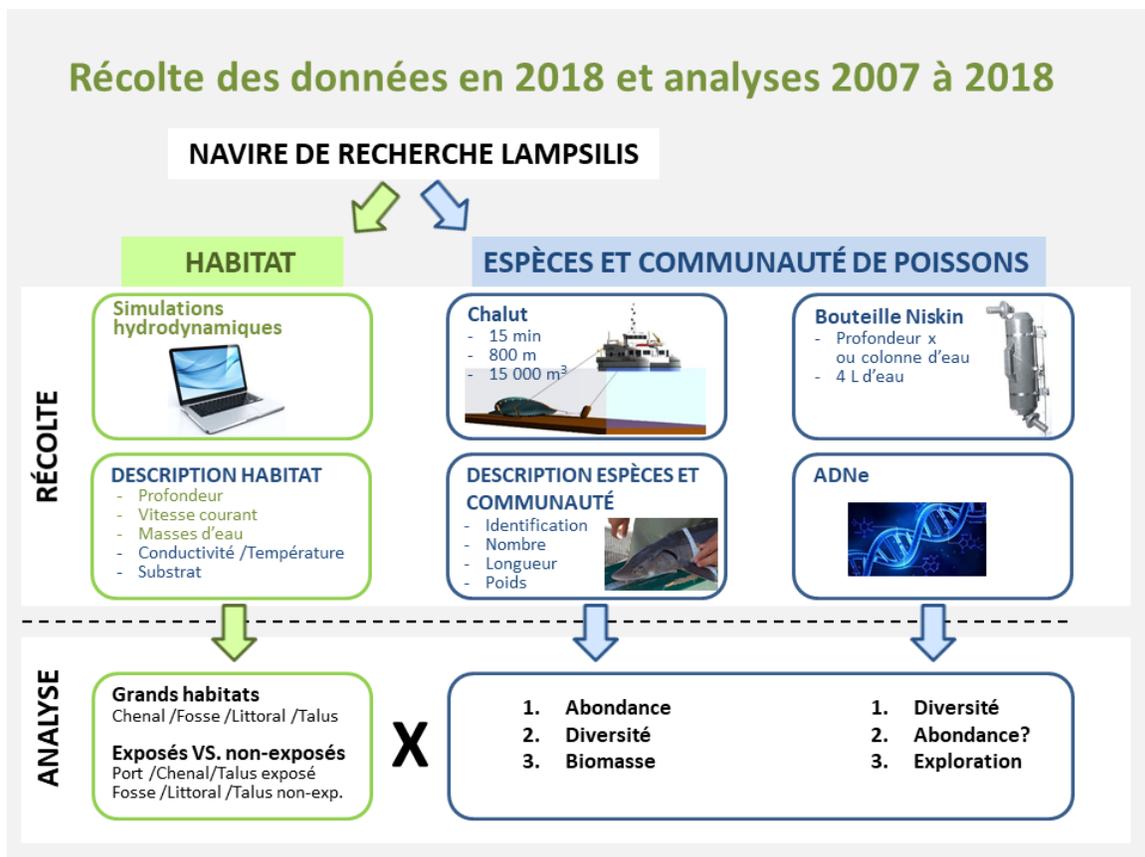
Comme tous les poissons n'ont pas été systématiquement pesés parfois à cause de leur grand nombre, il a fallu compléter la matrice avec des relations de la longueur totale ( $L_T$ ) en fonction de la masse ( $M$ ) propre à chaque espèce. Afin d'utiliser des relations fiables compatibles avec la condition des poissons du Saint-Laurent, nous avons généré nous-mêmes ces relations à partir des données intégrales des filets provenant du RSI de 1995 à 2018, après en avoir retiré quelques valeurs extrêmes aberrantes. Les relations longueur totale – masse ( $L_T \rightarrow M$ ) et aussi masse – longueur totale ( $M \rightarrow L_T$ ) sont présentées en détail (tableau 1). Avec les données disponibles, il a été possible de générer ces relations pour 38 espèces de poissons, ce qui a été suffisant pour compléter les données manquantes de toutes les missions Lampsilis. Pour répondre à d'autres projets du MFFP, cette liste de relations pourrait être complétée avec des données provenant d'autres échantillonnages que ceux du RSI. Il a donc été possible de compléter aussi les  $L_T$  manquantes à partir des  $M$  disponibles. Il est arrivé que des individus identifiés à l'espèce n'aient aucune mesure qui leur était associée. Dans ces cas plus rares, nous avons calculé une valeur moyenne de la masse  $M$  pour chaque espèce et leur avons attribué cette valeur afin d'inclure ces individus dans le calcul de la biomasse.

Étant donné que les biomasses des campagnes de 2007-2008-2009 n'avaient pas été calculées, nous avons utilisé les mêmes relations et les mêmes procédures pour générer ces données, compléter les matrices d'analyse et permettre la comparaison avec les biomasses de la mission de 2018.

Les deux grandes matrices d'abondance et de biomasse relatives de poissons ont été complétées avec diverses variables permettant divers groupements (types d'habitat,

exposition ou non aux activités maritimes) ainsi qu'avec des variables physiques afin de permettre une exploration de données la plus large possible.

Avant d'amorcer le traitement, nous avons retiré les stations de la base de données où aucun poisson n'avait été inventorié (74B, 77, 79, 93, 97, 98, 100 et 102). Ensuite, certains taxons ont été combinés ou retirés de la base de données originale : POIS (poisson) a été retiré, les dorés non identifiés ont été regroupés en SNSP (quelques cas de larves et de juvéniles identifiés au genre), NOSV et NOVO ont été combinés en NOSP (méné sp.) et ETOL et ETNO ont été combinés en ETSP (raseux-de-terre sp.). Enfin, l'échantillon prélevé en août 2009 à la station E3 dans le canal de la Rive Sud (numéro séquentiel 31) a aussi été retiré parce qu'il était le seul pris dans une écluse. Les périodes d'échantillonnage ont été regroupées afin de comparer les assemblages de 2007-2008-2009 aux assemblages de 2018 et de répertorier d'éventuels changements entre les deux décennies.



**Figure 5.** Schéma conceptuel présentant les diverses variables et données échantillonnées durant la mission de 2018 et les traitements qui leur ont été appliqués, parfois en les combinant aux données des missions de 2007-2008-2009.

**Tableau 1.** Relations longueur totale – masse (LT → M) et inverses (M → LT), générées à partir des données intégrales provenant des filets du réseau de suivi ichtyologique (1995-2018), après avoir retiré les valeurs extrêmes aberrantes. Le tableau présente aussi le nombre d'observations (n) et les valeurs moyennes, minimales et maximales des longueurs totales (LTmoy., LTmin. et LTmax.) et des masses (Mmoy., Mmin. et Mmax.).

Code	Espèce	n	LTmoy.	LTmin.	LTmax.	Mmoy.	Mmin.	Mmax.	LT → M	M → LT	R <sup>2</sup>
ACFU	Esturgeon j.	2012	663	130	1440	1827	7	19880	$y = 6E-07x^{3,311}$	$y = 78.069x^{0,2979}$	R <sup>2</sup> = 0,99
ALPS	Gaspareau	512	115	89	214	14	4	4	$y = 1E-05x^{2,917}$	$y = 49.566x^{0,3340}$	R <sup>2</sup> = 0,97
ALSA	Alose sav.	451	124	93	533	20	5	5	$y = 8E-06x^{2,9879}$	$y = 51.471x^{0,3277}$	R <sup>2</sup> = 0,98
AMNE	Barbotte br.	2276	249	112	367	214	20	20	$y = 2E-06x^{3,3099}$	$y = 53.666x^{0,2900}$	R <sup>2</sup> = 0,96
AMRU	Crapet de r.	4286	136	53	295	65	3	3	$y = 1E-05x^{3,1022}$	$y = 38.525x^{0,3194}$	R <sup>2</sup> = 0,99
APGR	Malachigan	264	986	80	672	369	5	5173	$y = 3E-06x^{3,2278}$	$y = 50.109x^{0,3078}$	R <sup>2</sup> = 0,99
CACA	Meunier r.	467	378	95	477	629	15	1190	$y = 7E-06x^{3,0802}$	$y = 52.858x^{0,308}$	R <sup>2</sup> = 0,95
CACO	Meunier n.	2810	360	97	579	703	10	3000	$y = 5E-06x^{3,1488}$	$y = 48.656x^{0,3156}$	R <sup>2</sup> = 0,99
CACY	Couette	86	283	100	592	705	14	3378	$y = 1E-05x^{3,0665}$	$y = 42.677x^{0,3219}$	R <sup>2</sup> = 0,99
COCL	G. corégone	11	470	351	547	926	390	1600	$y = 3E-05x^{2,8256}$	$y = 56.211x^{0,3124}$	R <sup>2</sup> = 0,88
CYCA	Carpe com.	625	303	77	935	825	7	11123	$y = 2E-05x^{2,9693}$	$y = 39.084x^{0,3351}$	R <sup>2</sup> = 1,00
ESLU	G. brochet	2586	569	150	1064	1280	20	8250	$y = 8E-06x^{2,9572}$	$y = 56.227x^{0,3318}$	R <sup>2</sup> = 0,98
ESMA	Maskinongé	36	557	181	1130	2177	28	11980	$y = 1E-06x^{3,2287}$	$y = 66.8x^{0,3088}$	R <sup>2</sup> = 1,00
HITE	Laquaiche a.	3745	291	92	457	255	7	2136	$y = 3E-06x^{3,2147}$	$y = 54.869x^{0,3071}$	R <sup>2</sup> = 0,99
HYRE	Méné d'arg.	18	103	94	112	11	9	13	$y = 9E-05x^{2,5138}$	$y = 45.338x^{0,3491}$	R <sup>2</sup> = 0,88
ICPU	Barbue de riv.	3410	518	150	1120	1533	22	9171	$y = 6E-07x^{3,4415}$	$y = 69.448x^{0,2804}$	R <sup>2</sup> = 0,96
ICUN	Lamproie arg.	41	214	131	331	28	4	81	$y = 3E-07x^{3,3921}$	$y = 88.861x^{0,2741}$	R <sup>2</sup> = 0,93
LEGI	Crapet soleil	669	131	57	236	67	4	327	$y = 4E-06x^{3,3404}$	$y = 41.072x^{0,2971}$	R <sup>2</sup> = 0,99
LEMA	Crapet arle.	6	151	65	205	94	4	197	$y = 4E-06x^{3,3518}$	$y = 42.235x^{0,2978}$	R <sup>2</sup> = 1,00
LEOS	Lépisosté os.	496	893	399	1318	1904	114	6700	$y = 1E-07x^{3,4313}$	$y = 115.33x^{0,2770}$	R <sup>2</sup> = 0,95
LOLO	Lotte	22	362	260	479	324	126	670	$y = 9E-06x^{2,9329}$	$y = 58.747x^{0,3187}$	R <sup>2</sup> = 0,93
MIDO	Achigan p. b.	2191	296	82	513	556	8	3969	$y = 6E-06x^{3,1573}$	$y = 44.866x^{0,3148}$	R <sup>2</sup> = 0,99
MISA	Achigan g. b.	282	150	75	452	135	7	1643	$y = 6E-06x^{3,1901}$	$y = 44.472x^{0,3125}$	R <sup>2</sup> = 1,00
MOAM	Baret	3855	208	55	521	152	5	2110	$y = 5E-06x^{3,1978}$	$y = 46.823x^{0,3085}$	R <sup>2</sup> = 0,99
MOAN	Chevalier b.	903	489	80	777	1657	6	3605	$y = 8E-06x^{3,0601}$	$y = 46.271x^{0,3241}$	R <sup>2</sup> = 0,99
MOMA	Chevalier r.	3922	371	100	585	638	10	1808	$y = 7E-06x^{3,0825}$	$y = 48.8x^{0,3211}$	R <sup>2</sup> = 0,99
MOSA	Bar rayé	28	250	206	351	178	78	531	$y = 3E-06x^{3,2394}$	$y = 53.507x^{0,3012}$	R <sup>2</sup> = 0,98
NEME	Gobie à t. n.	54	100	85	121	13	10	25	$y = 0.0001x^{2,4751}$	$y = 46.326x^{0,2974}$	R <sup>2</sup> = 0,74
NOCR	Méné jaune	1401	117	91	242	18	7	174	$y = 2E-06x^{3,3497}$	$y = 53.027x^{0,2896}$	R <sup>2</sup> = 0,97
NOFL	Barbotte d. r.	12	137	107	179	26	11	58	$y = 3E-06x^{3,2488}$	$y = 52.892x^{0,3001}$	R <sup>2</sup> = 0,97
NOHU	Queue à t. n.	825	111	95	147	13	7	26	$y = 0.0001x^{2,4621}$	$y = 50.093x^{0,3136}$	R <sup>2</sup> = 0,77
PECA	Fouille-r. z.	57	121	65	177	19	2	79	$y = 3E-06x^{3,2757}$	$y = 53.016x^{0,287}$	R <sup>2</sup> = 0,94
PEFL	Perchaude	7992	160	82	307	60	6	402	$y = 6E-06x^{3,1289}$	$y = 47.075x^{0,3152}$	R <sup>2</sup> = 0,99
PEOM	Omisco	22	109	97	119	12	9	15	$y = 0.0004x^{2,1865}$	$y = 44.849x^{0,3581}$	R <sup>2</sup> = 0,78
PONI	Marigane n.	219	179	60	359	151	3	802	$y = 4E-06x^{3,2439}$	$y = 44.966x^{0,3075}$	R <sup>2</sup> = 1,00
SACA	Doré noir	3855	334	114	586	358	12	2425	$y = 2E-06x^{3,2315}$	$y = 58.268x^{0,3054}$	R <sup>2</sup> = 0,99
SAVI	Doré Jaune	6441	351	112	806	516	10	5373	$y = 4E-06x^{3,1429}$	$y = 54.779x^{0,3139}$	R <sup>2</sup> = 0,99
SCER	Gardon rouge	62	325	209	422	574	117	1257	$y = 2E-06x^{3,3858}$	$y = 52.496x^{0,2892}$	R <sup>2</sup> = 0,98

## Analyses statistiques descriptives

En guise de première étape, nous avons réalisé des analyses statistiques descriptives dans le but de décrire les captures de poissons qui ont été effectuées dans les différentes stations et les communautés qui s'en dégagent.

Les abondances relatives, les biomasses relatives et les coefficients de fréquence ont été calculés par espèce, toutes années confondues, puis pour les deux périodes à l'étude, soit de 2007-2008-2009 et de 2018, afin de noter les éventuels changements survenus entre les deux décennies. Des indicateurs écologiques ont été calculés pour chaque station : abondance (nombre total d'individus/trait standardisé), nombre total d'espèces, biomasse (g/trait standardisé), indice d'équitabilité de Pielou ( $J'$ ), indice de diversité de Shannon-Wiener ( $H'$ ), indice de diversité de Simpson ( $\lambda$ ), indice de diversité taxinomique ( $\Delta$ ) et l'indice de la distinction taxinomique moyenne (*average taxonomic distinctness*,  $\Delta^*$ ). L'« équitabilité » exprime l'uniformité de la répartition des individus entre les différentes espèces. Cet indice est indépendant du nombre d'espèces et dépend seulement de la distribution des individus entre les espèces. L'indice d'équitabilité de Pielou est le plus souvent utilisé :

$$J' = H' / H'_{\max.} = H' / \log S$$

où  $H'_{\max.}$  est la valeur maximale de l'indice de Shannon-Wiener, c'est-à-dire que cette valeur serait atteinte si toutes les espèces étaient d'égale abondance.

La mesure de diversité la plus couramment utilisée en écologie est l'indice de diversité Shannon-Wiener ( $H'$ ). Cet indice permet de mesurer la biodiversité d'un groupe d'organismes et tient compte de la proportion d'une espèce par rapport au nombre total d'espèces dans le milieu ( $p_i$ ) :

$$H' = - \sum p_i \log(p_i)$$

L'indice de diversité de Simpson ( $\lambda$ ) a aussi été calculé. Cet indice représente la probabilité que deux individus choisis aléatoirement dans un échantillon soient de la même espèce. Cet indice a toujours une valeur inférieure à 1 et est en fait un indice de dominance, puisque plus la valeur de  $\lambda$  est grande, plus l'assemblage est dominé par une ou quelques espèces. Il a été calculé à partir de la formule :

$$\lambda = \sum p_i^2$$

Le complément de l'indice de Simpson est une évaluation de l'équitabilité et se traduit par :

$$1 - \lambda = 1 - (\sum p_i^2)$$

Seul l'indice  $\lambda$  a été calculé dans le cadre de ce projet.

L'indice de diversité taxinomique ( $\Delta$ ) représente la distance taxinomique moyenne entre chaque paire d'individus dans un échantillon :

$$\Delta = [\sum \sum_{i < j} \omega_{ij} x_i x_j] / [N(N-1)/2]$$

où la double sommation est sur toutes les paires d'espèces  $i$  et  $j$  ( $i, j = 1, 2, \dots, S; i < j$ ) et  $N = \sum_i x_i$  est le nombre total d'individus dans l'échantillon.

Afin d'éliminer l'effet de dominance de la distribution des abondances d'espèces ( $x_i$ ), Clarke et Warwick (2001) ont proposé de diviser l'indice de diversité taxinomique par l'indice de diversité de Simpson, obtenant ainsi l'« indice de la distinction taxinomique moyenne » (*average taxonomic distinctness*,  $\Delta^*$ ) :

$$\Delta^* = [\sum \sum_{i < j} \omega_{ij} x_i x_j] / [\sum \sum_{i < j} x_i x_j]$$

Ces indicateurs écologiques ont été calculés à l'aide du logiciel de statistiques PRIMER v6 (Clarke et Warwick 2001, Clarke et Gorley 2006).

### *Analyses statistiques univariées*

Des analyses de variance (ANOVA à un et deux facteurs) ont été réalisées pour évaluer l'effet de différentes variables sur des caractéristiques univariées des assemblages, soit l'abondance, le nombre de taxons, la biomasse, l'indice d'équitabilité et l'indice de diversité. Les ANOVA à un facteur ont été faites avec les facteurs « période », « masse d'eau », « habitat » et « exposition à la navigation ». Les ANOVA à deux facteurs ont été faites avec les facteurs « période et habitat », puis avec « secteur et habitat ». L'homogénéité des variances et la normalité des résidus préalables aux analyses ont été vérifiées visuellement, tel que le suggèrent Quinn et Keough (2002) et des transformations ont été effectuées, lorsque nécessaires, pour satisfaire aux postulats du test. Des comparaisons *a posteriori* ont été faites avec le test de Tukey. Ces analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel JMP v14.

## *Analyses statistiques multivariées*

Pour les analyses multivariées, nous avons d'abord priorisé une approche de classification des échantillons. Cette approche permet d'identifier et de visualiser les groupements naturels entre les échantillons, sans *a priori* relatif aux facteurs, c'est-à-dire sans tenir compte, par exemple, de la période ou du lieu d'échantillonnage. Ces analyses ont été faites sur les données d'abondances standardisées de poissons par trait. Ces données ont d'abord été transformées en racine quatrième afin de réduire l'importance des espèces dominantes et d'accorder plus de poids dans l'analyse aux espèces rares, tel que le suggèrent Clarke et Warwick (2001). Ensuite, une matrice de similarité de Bray-Curtis a été calculée et l'analyse de groupement a été faite (*hierarchical cluster analysis*). Les groupements ont été visualisés avec un dendrogramme, puis avec un cadrage multidimensionnel, lequel permet de voir plus clairement les similarités entre les groupes d'échantillons. Toutes les analyses multivariées ont été faites à l'aide du logiciel PRIMER v6 (Clarke et Warwick, 2001; Clarke et Gorley, 2006). Des analyses de variance multivariées par permutation (PERMANOVA, 9999 permutations, Anderson 2001) ont également été faites suivant le même plan statistique que les analyses univariées, et ce, pour tester dans un premier temps l'effet des variables « période », « masse d'eau », « habitat » et « exposition à la navigation », mais cette fois, sur l'assemblage d'espèces plutôt que sur les indicateurs écologiques univariés. Ensuite, l'effet combiné des facteurs « période et habitat », puis « secteur et habitat », a aussi été testé.

Les combinaisons de variables environnementales qui prédisent le mieux la variation des assemblages de poissons ont été répertoriées avec un test à permutation multiple par étapes avec modèle linéaire (DistLM, 9999 permutations; McArdle et Anderson, 2001). Les variables ont été sélectionnées séquentiellement en choisissant le modèle avec le meilleur  $R^2$  ajusté. Une analyse de redondance dbRDA (Anderson et coll., 2008) a été effectuée pour visualiser la différence entre les groupes et l'efficacité des variables environnementales à expliquer le modèle de distribution. La procédure SIMPER (Clarke et Warwick, 2001) a été utilisée pour identifier les espèces de poissons contribuant le plus à la similarité intragroupe et à la dissimilarité intergroupes et pour calculer leur contribution respective à la formation des assemblages.

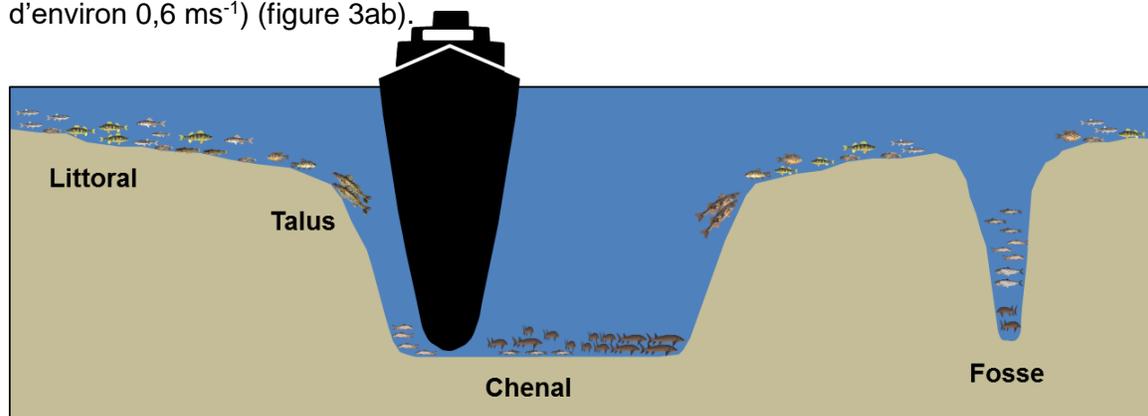
Un seuil de significativité de 0,05 a été fixé pour toutes les analyses statistiques.

## Résultats et discussion

### Grands types d'habitats explorés

Au cours des cinq missions réalisées de 2007 à 2018, le *Lampsilis* et son chalut de fond ont permis d'explorer plusieurs types d'habitats. Les milieux profonds parcourus par le trafic maritime sont devenus accessibles, entre les passages des navires commerciaux, pour caractériser leurs communautés de poissons et leurs habitats. De plus, bien que le chalut de fond soit adapté aux milieux profonds, où la végétation est peu dense, la zone littorale a aussi été échantillonnée à des profondeurs inférieures à 3 m, principalement en 2007, pour tester ce nouvel engin de pêche et comparer son efficacité dans divers milieux.

De la Chenelière et coll. (2015) ont classé ces habitats en quatre catégories : le chenal de navigation, les fosses naturelles, le talus et le littoral (figure 6). Cette classification est utile en première approximation, mais elle n'explique pas toutes les nuances des assemblages de poissons observés (voir plus loin). En appliquant cette classification à l'ensemble des données, les stations échantillonnées dans le chenal de navigation et les fosses naturelles étaient localisées parmi les milieux les plus profonds et les plus rapides du Saint-Laurent (profondeur moyenne de 8,7 à 13,5 m pouvant atteindre 31,0 m; vitesse moyenne en surface de 0,38 à 0,69 ms<sup>-1</sup> pouvant atteindre 2,08 ms<sup>-1</sup>), comparativement aux stations échantillonnées dans la zone littorale (prof. moyenne ≈ 2,8 m, vitesse ≤ 0,3 ms<sup>-1</sup>) et au talus (valeurs intermédiaires de profondeur d'environ 8,3 m et vitesse d'environ 0,6 ms<sup>-1</sup>) (figure 3ab).



**Figure 6.** Présentation des quatre grands types d'habitats tels qu'ils ont été définis par de la Chenelière et coll. (2015), à la suite des premières explorations par chalutage avec le *Lampsilis* de 2007 à 2009. Trois habitats sont localisés en milieu profond soit : 1) le chenal de navigation; 2) le talus; et 3) les fosses naturelles; alors que 4) le littoral est en milieu peu profond. En 2018, la mission s'est presque exclusivement concentrée sur les habitats profonds (tableau 2).

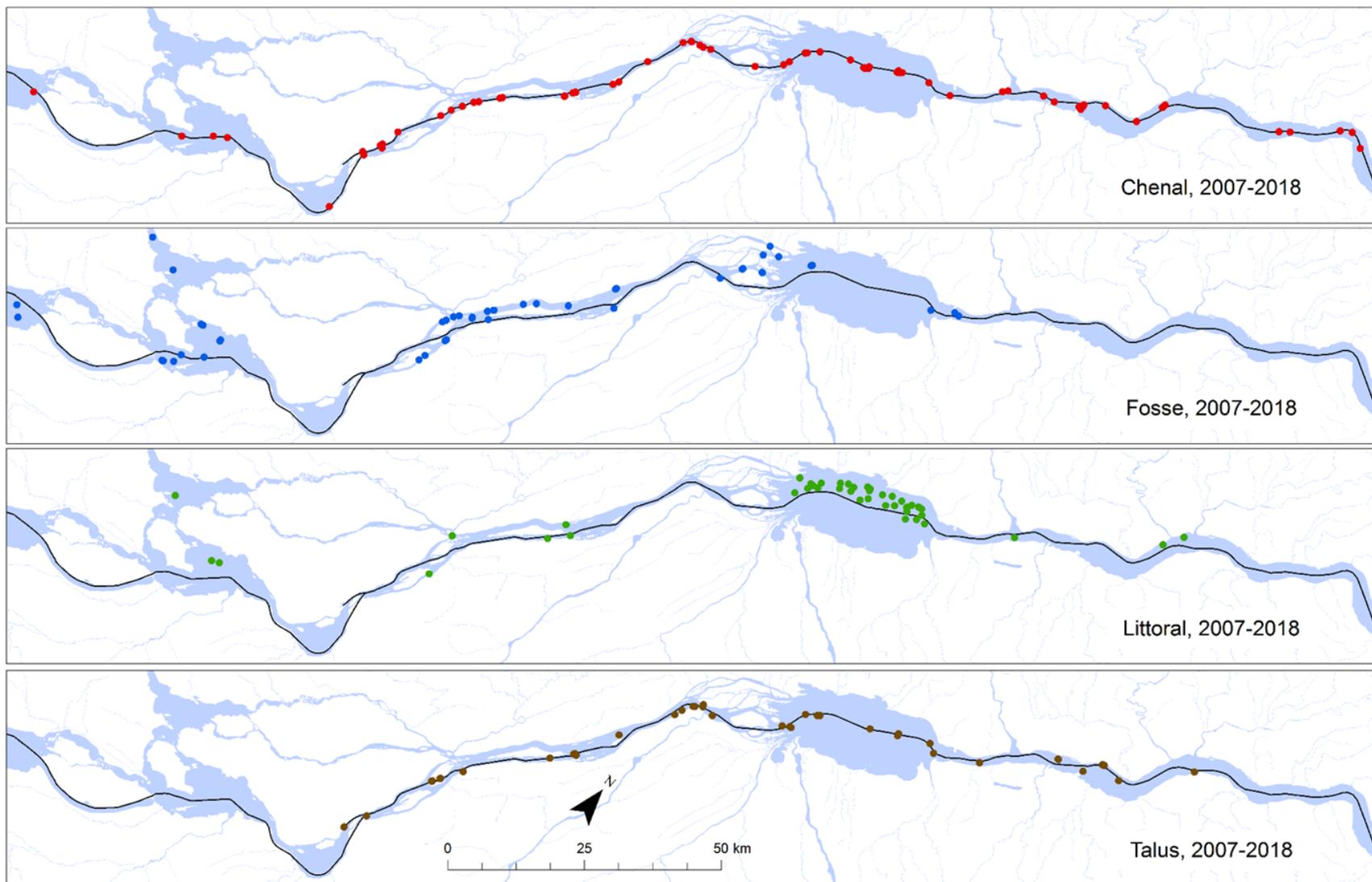
## Effort d'échantillonnage en 2007, 2008, 2009 et 2018

L'effort d'échantillonnage complet réalisé lors des cinq missions de 2007 à 2018 représente 204 stations pour 5 missions. La première mission de septembre 2007 s'était essentiellement concentrée sur la zone littorale, alors que les missions suivantes se sont plutôt concentrées sur les habitats profonds du Saint-Laurent (tableau 2). Il est à noter que c'est durant la mission 2018 que le plus grand nombre de stations a été visité.

**Tableau 2.** Répartition de l'effort d'échantillonnage entre les quatre grands types d'habitats pour les cinq missions réalisées de 2007 à 2018 (nombre de stations : chenal = 74, fosse = 46, littoral = 43 et talus = 41, pour un total de n = 204).

Période	Chenal	Fosse	Littoral	Talus	Total
2007-09	9	3	27	11	50
2008-09	5	-	3	2	10
2009-06	8	9	3	5	25
2009-08	20	18	8	7	53
2018-07	32	16	2	16	66
Total	74	46	43	41	204

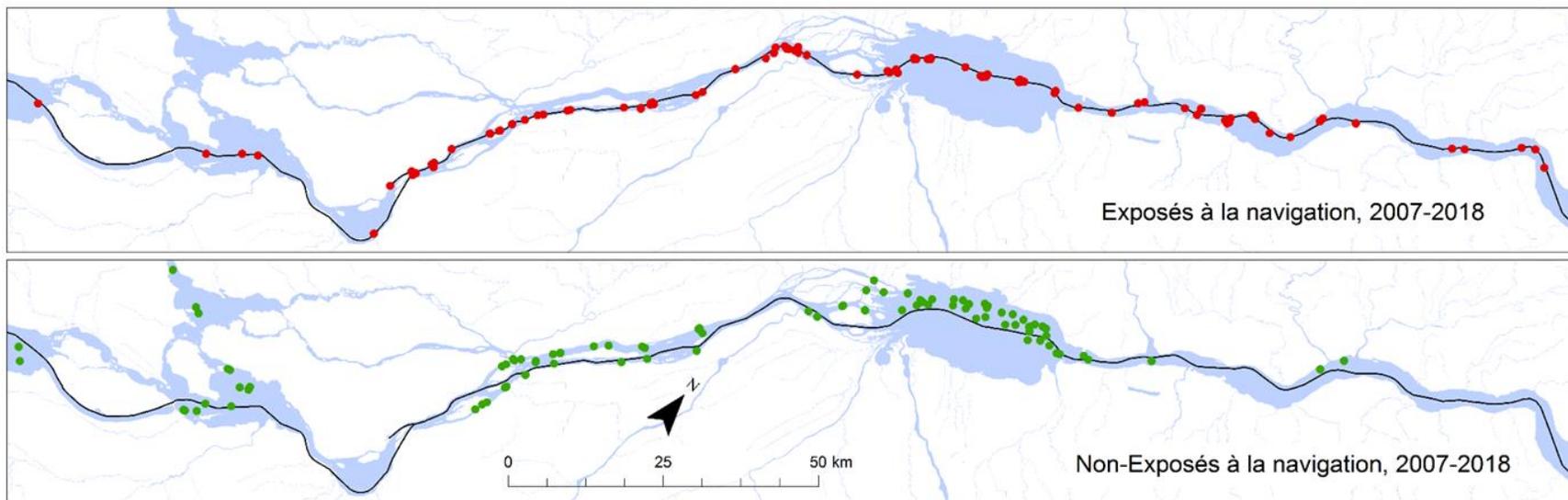
La répartition spatiale de l'effort d'échantillonnage entre les quatre grands types d'habitats (figure 7) indique que les stations échantillonnées dans le chenal couvrent un large territoire réparti entre le lac Saint-François en amont et Portneuf en aval. Les fosses naturelles ont été explorées en amont dans les lacs Saint-François, Saint-Louis et des Deux Montagnes jusqu'à l'embouchure aval du lac Saint-Pierre. Les stations réparties le long du talus couvraient la zone entre le port de Montréal et Bécancour. Quant aux stations littorales, elles étaient principalement concentrées au lac Saint-Pierre, avec quelques-unes localisées en amont. Il faudra rester vigilant dans nos interprétations impliquant la période d'échantillonnage, car il y a un fort déséquilibre dans la répartition des stations littorales, échantillonnées majoritairement en 2007 et au lac Saint-Pierre. Lorsqu'on regroupe les stations d'échantillonnage en fonction de leur exposition aux activités maritimes (tableau 3), on remarque un équilibre entre les stations localisées dans les milieux exposés (ports, chenal et talus du chenal) ou non exposés (littoral, fosses et talus en dehors du chenal). Cet équilibre apparaît aussi sur le plan spatial, puisque les stations exposées et non exposées aux activités maritimes couvrent toutes les deux un large territoire entre l'amont et l'aval de l'aire d'étude (figure 8), limitant cette fois les biais lors de l'analyse.



**Figure 7.** Répartition spatiale de l'effort d'échantillonnage entre les quatre grands types d'habitats pour les cinq missions réalisées de 2007 à 2018 (nombre de stations : chenal = 74, fosse = 46, littoral = 43 et talus = 41, pour un total de  $n = 204$ ). Le chenal est tracé en noir.

**Tableau 3.** Répartition de l'effort d'échantillonnage entre les sites exposés ou non aux activités maritimes pour les cinq missions réalisées de 2007 à 2018 (nombre de stations : exposées = 111 et non exposées = 93, pour un total de n = 204).

Période	Exp.-Navi	Non exp.	Total
2007-09	20	30	50
2008-09	7	3	10
2009-06	13	12	25
2009-08	27	26	53
2018-07	44	22	66
<b>Total</b>	<b>111</b>	<b>93</b>	<b>204</b>

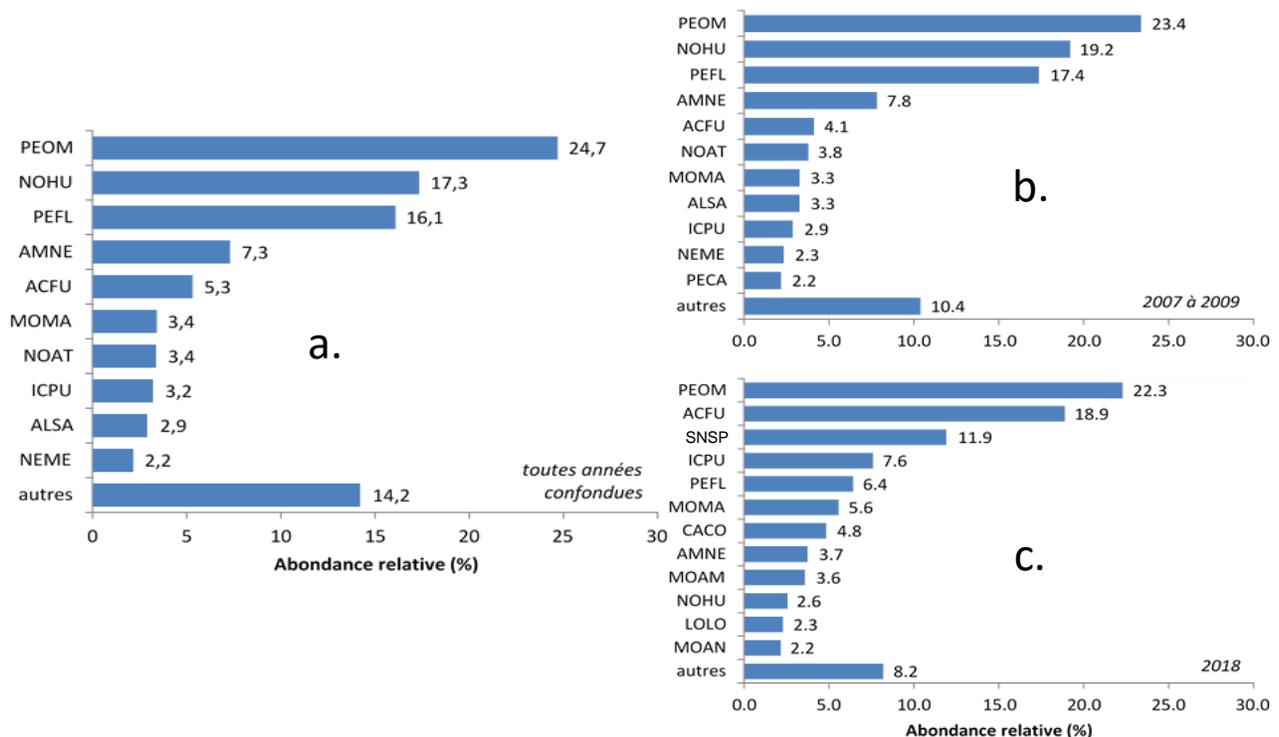


**Figure 8.** Répartition spatiale de l'effort d'échantillonnage entre les sites exposés ou non aux activités maritimes pour les cinq missions réalisées de 2007 à 2018 (nombre de stations : exposées = 111 et non exposées = 93, pour un total de n = 204). Le chenal de navigation est tracé en noir.

## Analyse descriptive des communautés de poissons

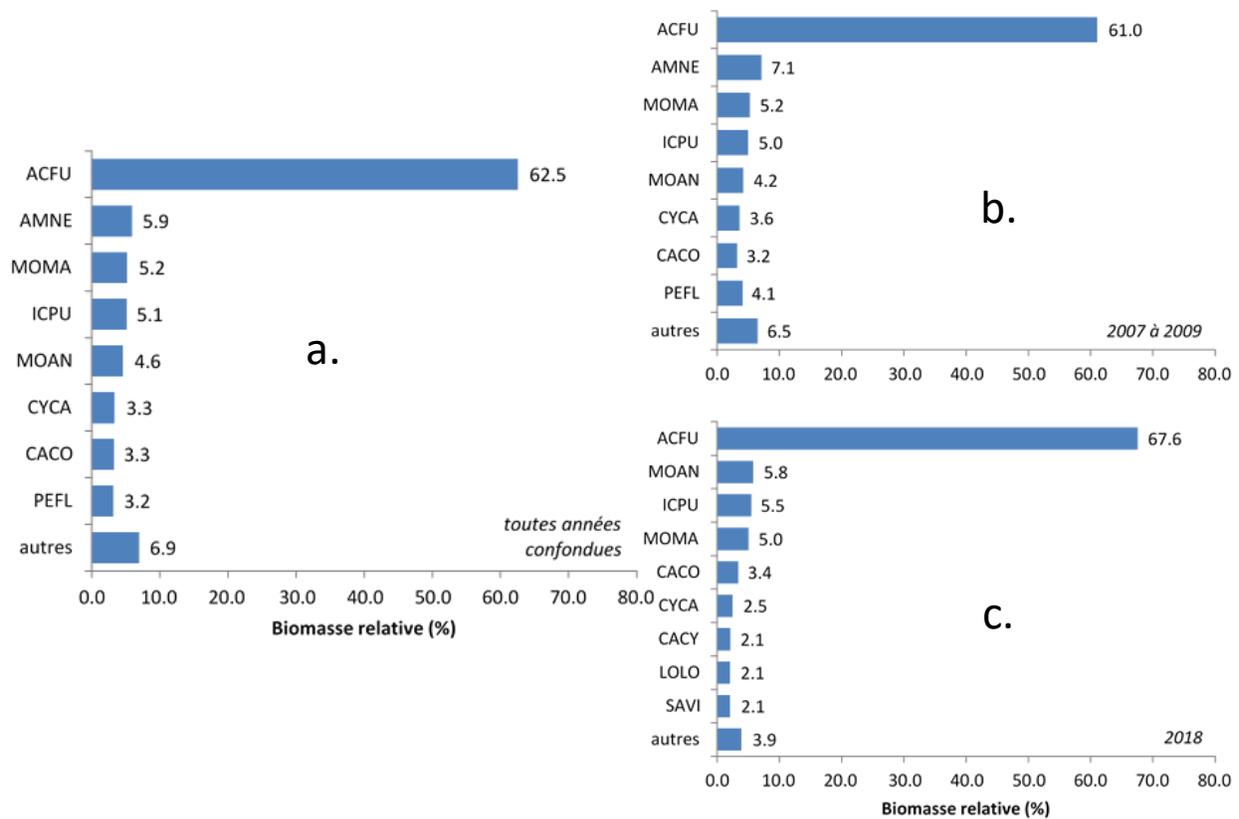
Au total, 49 taxons de poissons ont été inventoriés, des poissons pour la plupart identifiés à l'espèce. L'omisco (*Percopsis omiscomaycus* – PEOM) représente 25 % de l'abondance relative toutes années confondues, alors que le queue à tache noire (*Notropis hudsonius* – NOHU) et la perchaude (*Perca flavescens* – PEFL) représentent respectivement 17 % et 16 % de l'abondance relative (figure 9a). La majorité des espèces recensées, soit 39 espèces, a une abondance relative inférieure à 2 %

**Abondance relative.** La figure 9b-c présente séparément les abondances relatives pour les périodes 2007-2008-2009 et 2018. Pour ces deux périodes, c'est encore l'omisco qui domine quant à l'abondance relative, suivi en 2007-2008-2009 du queue à tache noire et, en 2018, de l'esturgeon jaune (*Acipenser fulvescens* – ACFU, figure 9b-c). Le surclassement de l'esturgeon jaune en 2018 est certainement attribuable à l'effort d'échantillonnage qui était concentré sur les milieux profonds, où il est abondant.



**Figure 9.** Abondance relative (%) des poissons recensés dans le Saint-Laurent fluvial (a) toutes années confondues (b) en 2007-2008-2009 et (c) en 2018. La catégorie *autres* rassemble les espèces ayant moins de 2 % d'abondance relative.

**Biomasse relative.** En ce qui a trait à la biomasse relative, l'ordre d'importance des espèces est très différent. C'est l'esturgeon jaune (ACFU) qui domine les captures, toutes années confondues, avec une biomasse relative de 63 % (figure 10a). Seules quelques autres espèces montrent des biomasses relatives supérieures à 2 %, soit la barbotte brune (*Ameiurus nebulosus* – AMNE), le meunier noir (*Catostomus commersonii* – CACO), la carpe commune (*Cyprinus carpio* – CYCA), le barbus de rivière (*Ictalurus punctatus* – ICPU), le chevalier blanc (*Moxostoma anisurum* – MOAN), le chevalier rouge (*Moxostoma macrolepidotum* – MOMA) et la perchaude (PEFL). Lorsqu'observés par période, les résultats sont globalement les mêmes, avec une nette dominance de l'esturgeon jaune (ACFU, figure 10b-c).



**Figure 10.** Biomasse relative (%) des poissons recensés dans le Saint-Laurent fluvial : a) toutes années confondues; b) en 2007-2008-2009; et c) en 2018. La catégorie *autres* rassemble les espèces ayant moins de 2 % d'abondance relative.

**Coefficient de fréquence.** La classification des espèces selon leur coefficient de fréquence révèle que seulement deux espèces de poissons ont une fréquence supérieure à 50 %, soit le chevalier rouge (MOMA) et l'esturgeon jaune (ACFU); ces espèces occupent respectivement 58 % et 76 % des stations visitées (tableau 4). En tout, 20 espèces ont des coefficients de fréquence variant de 11 à 49 %, et 27 espèces sont dites « rares », avec un coefficient de fréquence inférieur à 10 %.

Les coefficients de fréquence ont également été calculés par période, soit pour les années 2007-2008-2009 et 2018 (tableau 5). Pour la période 2007-2008-2009, 47 espèces de poissons ont été recensées, alors que, pour la période 2018, c'est 34 espèces seulement de poissons qui ont été inventoriées. Deux espèces seulement sont dites courantes pour chaque période (ACFU, MOMA), c'est-à-dire les mêmes espèces qu'identifiées précédemment dans la détermination des coefficients de fréquence toutes années confondues. Pour la période 2007-2008-2009, trois espèces s'ajoutent à cette liste, alors qu'en 2018 une seule espèce s'ajoute (tableau 5). Pour la période 2007-2008-2009, 15 espèces possèdent des coefficients de fréquence variant de 11 à 49 %, comparativement à 20 lorsque toutes les années sont confondues. Pour la période 2018, 15 espèces sont aussi dites communes, mais ces espèces varient légèrement d'une période à l'autre (tableau 5). Enfin, les périodes 2007-2008-2009 et 2018 comptent respectivement 27 et 16 espèces ayant un coefficient de fréquence inférieur à 10 %.

La figure 11a-b-c illustre ces mêmes coefficients de fréquence, soit toutes années confondues, soit pour les périodes 2007-2008-2009 et 2018, et permet de visualiser différemment les résultats.

**Tableau 4.** Liste des poissons inventoriés, toutes années confondues, de 2007 à 2018 dans le Saint-Laurent avec leur coefficient de fréquence (CF, %). Les poissons fréquentant > 50 % des stations sont dits « courants », 11 à 49 %, dits « constants » et < 10 %, dits « rares ».

Coefficient de fréquence ≥ 50 %					
Code	Nom	CF	Code	Nom	CF
ACFU	Esturgeon jaune	76,0	MOMA	Chevalier rouge	58,2

Coefficient de fréquence de 11 à 49 %					
Code	Nom	CF	Code	Nom	CF
SACA	Doré noir	44,9	ALSA	Alose savoureuse	27,6
NEME	Gobie à taches noires	41,8	PECA	Fouille-roche zébré	26,5
SAVI	Doré jaune	40,3	ICUN	Lamproie argentée	26,0
CACO	Meunier noir	39,8	AMNE	Barbotte brune	25,0
PEFL	Perchaude	38,8	SNSP	Doré sp.	19,4
PEOM	Omisco	38,3	LOLO	Lotte	17,9
MOAN	Chevalier blanc	36,2	MIDO	Achigan petite bouche	14,3
NOHU	Queue à tache noire	34,7	AMRU	Crapet de roche	14,3
ICPU	Barbue de rivière	33,7	OSMO	Éperlan arc-en-ciel	11,7
HITE	Laquaiche argentée	28,1	NOAT	Méné émeraude	11,7

Coefficient de fréquence ≤ 10 %					
Code	Nom	CF	Code	Nom	CF
MOAM	Baret	10,2	HYRE	Méné d'argent	1,5
NOSP	Méné sp.	9,2	MISA	Achigan grande bouche	1,0
CACY	Couette	7,7	NOGY	Chat-fou brun	1,0
LEGI	Crapet-soleil	7,7	MOSP	Chevalier sp.	1,0
ETSP	Raseaux-de-terre sp.	7,1	COCL	Grand corégone	1,0
APGR	Malachigan	6,6	LEOS	Lépisosté osseux	1,0
CACA	Meunier rouge	6,6	PONI	Marigane noire	1,0
CYCA	Carpe	6,1	ESMA	Maskinongé	1,0
ANRO	Anguille d'Amérique	5,6	TITI	Tanche	1,0
NOFL	Barbotte des rapides	5,1	MOSA	Bar rayé	0,5
ALPS	Gaspereau	5,1	ICCA	Lamproie brune	0,5
NOCR	Méné jaune	3,6	PINO	Méné museau arrondi	0,5
PECO	Fouille-roche gris	3,1	SECO	Ouitouche	0,5
ESLU	Grand brochet	3,1			

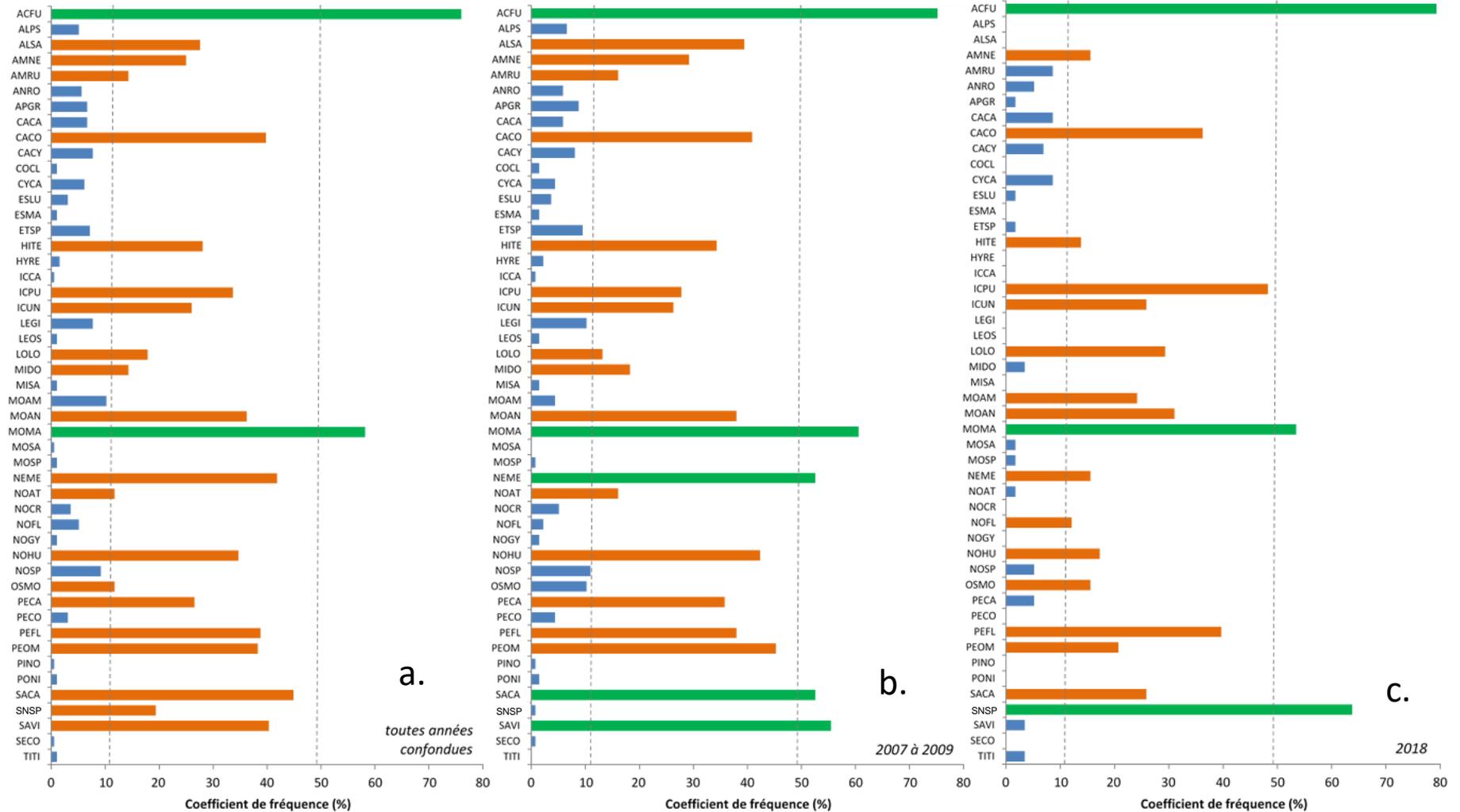
**Tableau 5.** Liste des poissons inventoriés en 2007-2008-2009 et en 2018 dans le Saint-Laurent avec leur coefficient de fréquence (CF, %). Les poissons fréquentant > 50 % des stations sont dits « courants », 11 à 49 %, dits « constants » et < 10 %, dits « rares ».

Coefficient de fréquence ≥ 50 %					
Code	CF 2007-09	CF 2018	Code	CF 2007-09	CF 2018
ACFU	75,2	79,3	SACA	52,6	–
MOMA	60,6	53,4	SNSP	–	63,8
NEME	52,6	–	SAVI	55,5	–

Coefficient de fréquence de 11 à 49 %					
Code	CF 2007-09	CF 2018	Code	CF 2007-09	CF 2018
ALSA	39,4	*	MOAN	38,0	31,0
AMNE	29,2	15,5	NEME	–	15,5
AMRU	16,1	–	NOAT	16,1	–
CACO	40,9	36,2	NOFL	–	12,1
HITE	34,3	13,8	NOHU	42,3	17,2
ICPU	27,7	48,3	OSMO	–	15,5
ICUN	26,2	25,9	PECA	35,8	–
LOLO	13,1	29,3	PEFL	38,0	39,7
MIDO	18,2	–	PEOM	45,3	20,7
MOAM	–	24,1	SACA	–	25,9

Coefficient de fréquence ≤ 10 %					
Code	CF 2007-09	CF 2018	Code	CF 2007-09	CF 2018
ALPS	6,6	*	MOAM	4,4	–
AMRU	–	8,6	MOSA	*	1,7
ANRO	5,8	5,2	MOSP	0,7	1,7
APGR	8,8	1,7	NOAT	–	1,7
CACA	5,8	8,6	NOCR	5,1	*
CACY	8,0	6,9	NOFL	2,2	–
CYCA	–	8,6	NOGY	1,5	*
COCL	1,5	*	NOSP	10,9	5,2
CYCA	4,4	–	OSMO	10,2	–
ESLU	3,6	1,7	PECA	–	5,2
ESMA	1,5	*	PECO	4,4	*
ETSP	9,5	1,7	PINO	0,7	*
HYRE	2,2	*	PONI	1,5	*
ICCA	0,7	*	SNSP	0,7	–
LEGI	10,2	*	SAVI	–	3,4
LEOS	1,5	*	SECO	0,7	*
MIDO	–	3,4	TITI	*	3,4
MISA	1,5	*			

\* Aucun spécimen répertorié pour cette période.



**Figure 11.** Coefficients de fréquence (%) des poissons inventoriés dans le tronçon fluvial du Saint-Laurent : a) toutes années confondues; b) en 2007-2008-2009; et c) en 2018. Les poissons fréquentant > 50 % des stations sont dits « courants » (vert), 11 à 49 %, dits « constants » (orange) et < 10 %, dits « rares » (bleu).

## Indices univariés

Les indices univariés suivants ont été calculés pour comparer les périodes 2007-2008-2009 ( $n = 137$ ), 2018 ( $n = 58$ ) et toutes années confondues ( $n = 195$ ) : a) abondance totale des poissons (nombre d'individus/trait standardisé, moyenne  $\pm$  erreur type); b) biomasse totale de poissons (g/trait standardisé, moyenne  $\pm$  erreur type); c) nombre total d'espèces (nombre/trait standardisé, moyenne  $\pm$  erreur type); ainsi que d) indice d'équitabilité de Pielou ( $J'$ , moyenne  $\pm$  erreur type); e) indice de diversité de Shannon-Wiener ( $H'$ , moyenne  $\pm$  erreur type); f) indice de diversité de Simpson ( $\lambda$ , moyenne  $\pm$  erreur type); g) indice de diversité taxinomique ( $\Delta$ , moyenne  $\pm$  erreur type); et h) indice de la distinction taxinomique moyenne (*average taxonomic distinctness*,  $\Delta^*$ , moyenne  $\pm$  erreur type). Les résultats sont compilés dans la figure 12.

**Abondance.** L'abondance de poissons, toutes espèces et années confondues, varie de 7 à 29 448 individus/trait (figure 12a, moyenne de 2 218  $\pm$ 372 individus/trait, traits standardisés de 100 m). Les prises les plus abondantes ont été faites dans la zone littorale du lac Saint-Pierre.

**Biomasse.** La biomasse de poissons, toutes espèces et années confondues, varie de 0 à 107 956 g/trait (figure 12b, moyenne de 4 612  $\pm$ 781 g/trait, traits standardisés de 100 m). L'absence de valeur de biomasse à certaines stations (142, 146, 149, 151 et 202) augmente la valeur des erreurs types (figure 12b).

**Richesse spécifique.** La richesse spécifique oscille entre 1 et 23 espèces/trait (figure 12c, moyenne de 8  $\pm$ 0,3 espèces/trait).

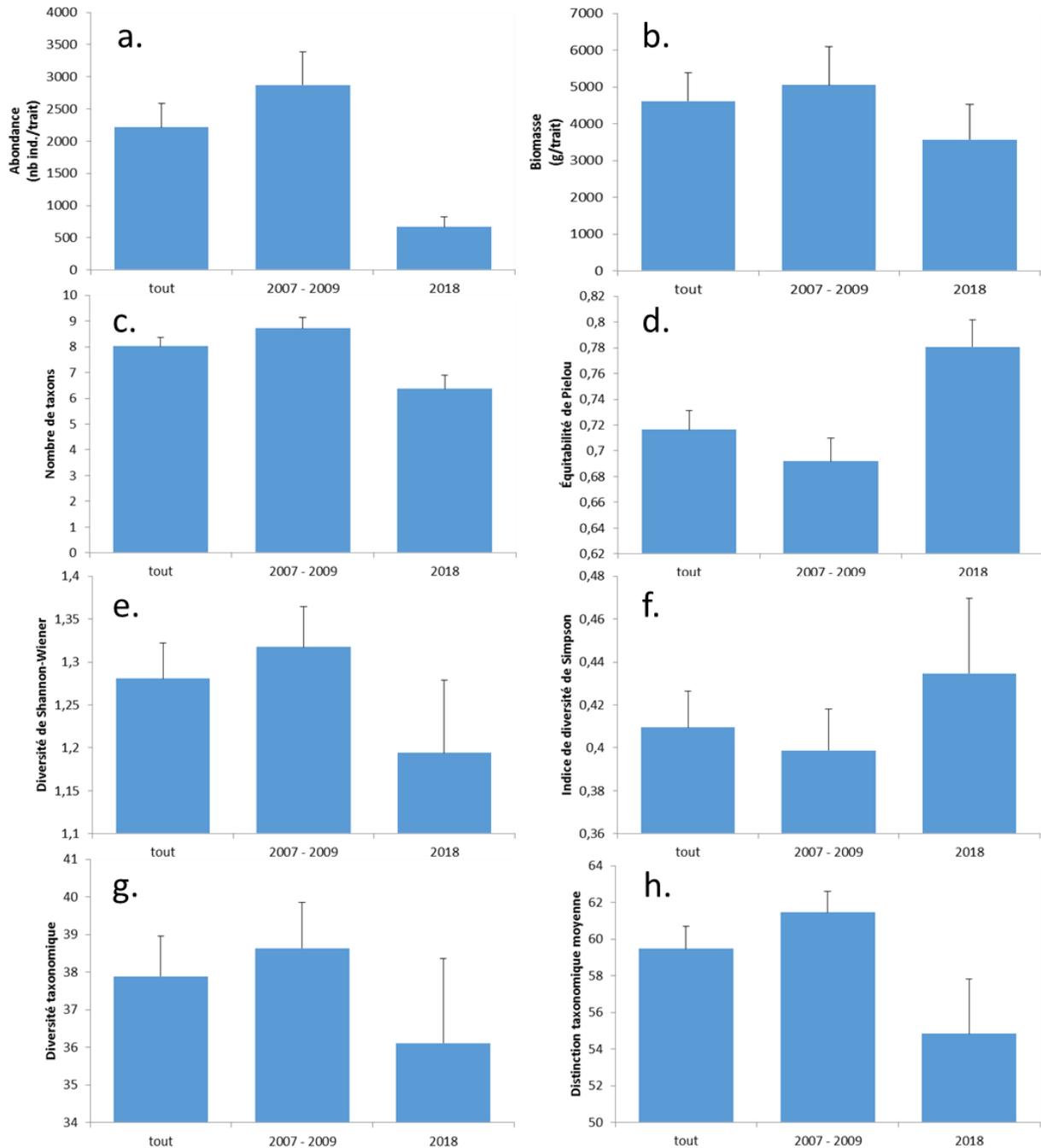
**Équitabilité.** L'indice d'équitabilité de Pielou ( $J'$ ) moyen est de 0,72  $\pm$ 0,01 (figure 12d).

**Diversité de Shannon-Wiener.** L'indice de diversité de Shannon-Wiener ( $H'$ ) moyen est de 1,28  $\pm$ 0,04 (figure 12e).

**Diversité de Simpson.** L'indice de diversité de Simpson ( $\lambda$ ) moyen est de 0,41  $\pm$ 0,02 (figure 12f).

**Diversité taxinomique.** L'indice de diversité taxinomique ( $\Delta$ ) moyen est de 37,89  $\pm$ 1,08 (figure 12g).

**Distinction taxinomique.** L'indice de la distinction taxinomique moyenne ( $\Delta^*$ ) est de 59,48  $\pm$ 1,22 (figure 12h).



**Figure 12.** Comparaison des périodes toutes années confondues ( $n = 195$ ), 2007-2008-2009 ( $n = 137$ ) et 2018 ( $n = 58$ ) pour différentes métriques décrivant les communautés de poissons : a) abondance totale des poissons (nombre d'individus/trait standardisé, moyenne  $\pm$  erreur type); b) biomasse totale de poissons (g/trait standardisé, moyenne  $\pm$  erreur type); c) nombre total d'espèces (nombre/trait standardisé, moyenne  $\pm$  erreur type); d) indice d'équitabilité de Pielou ( $J'$ , moyenne  $\pm$  erreur type); e) indice de diversité de Shannon-Wiener ( $H'$ , moyenne  $\pm$  erreur type); f) indice de diversité de Simpson ( $\lambda$ , moyenne  $\pm$  erreur type); g) indice de diversité taxinomique ( $\Delta$ , moyenne  $\pm$  erreur type); et h) indice de la distinction taxinomique moyenne (*average taxonomic distinctness*,  $\Delta^*$ , moyenne  $\pm$  erreur type).

## Analyses univariées à un facteur

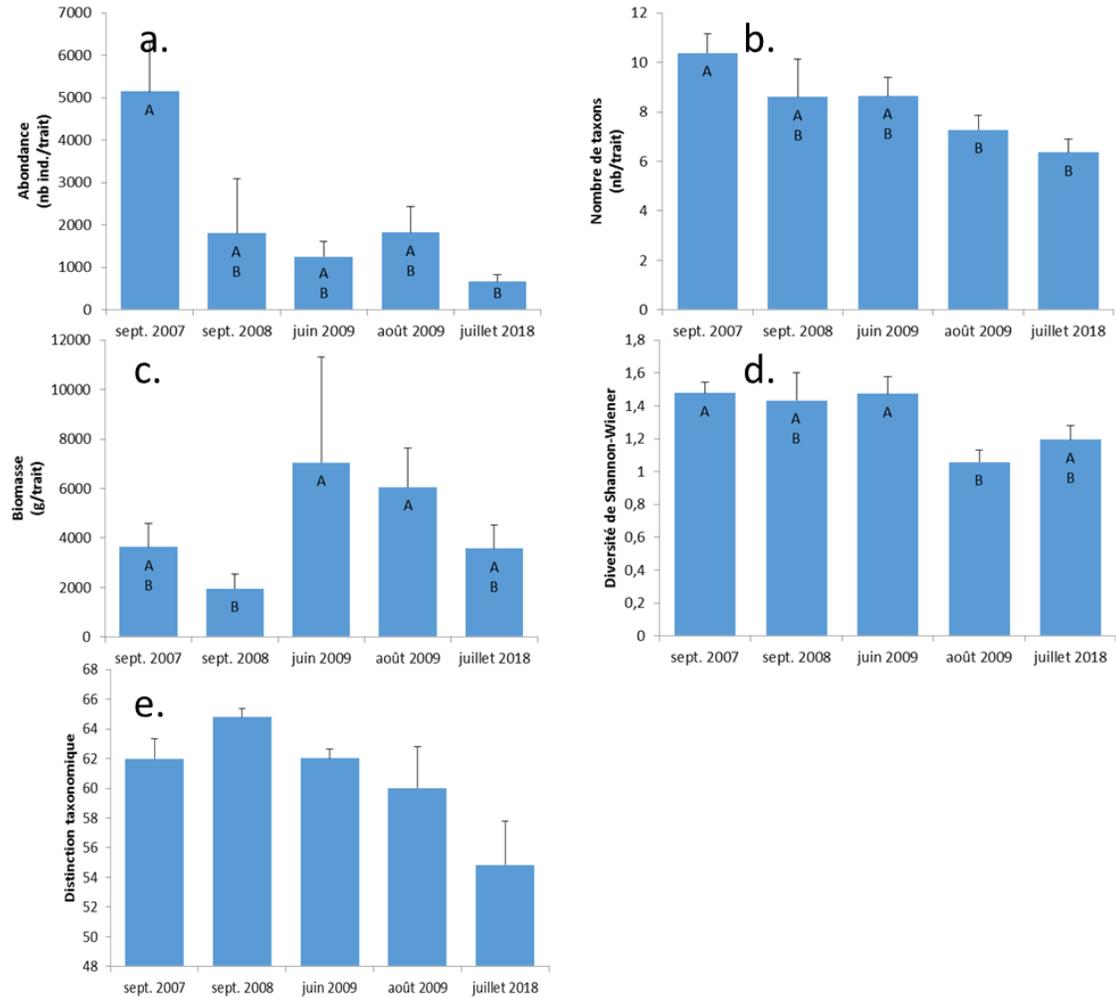
Des analyses univariées à un facteur ont été réalisées sur certaines caractéristiques des communautés : abondance totale de poissons/trait, biomasse totale de poissons/trait, nombre d'espèces/trait, indice de diversité de Shannon-Wiener et indice de la distinction taxinomique moyenne.

### Effet de la période sur les assemblages de poissons

Les analyses de variance montrent un effet significatif de la période d'échantillonnage sur quatre des cinq indices écologiques étudiés; seul l'indice de la distinction taxinomique ne varie pas significativement entre les périodes d'échantillonnage (tableau 3). L'abondance est significativement plus grande en septembre 2007 et significativement plus basse en juillet 2018 (figure 13a). La biomasse est la plus grande en juin et août 2009 et significativement plus faible en septembre 2008 (figure 13b). Le nombre de taxons est significativement plus grand en septembre 2007 et significativement plus bas en août 2009 et juillet 2018 (figure 13c). Enfin, la diversité est significativement plus élevée en septembre 2007 et juin 2009 et plus faible en août 2009 (figure 13d). Aucune différence significative de la distinction taxinomique n'a été observée entre les périodes d'échantillonnage (figure 13e).

**Tableau 6.** Résultats des analyses de variance (ANOVA) testant l'effet de la période d'échantillonnage sur les caractéristiques univariées des assemblages de poissons, soit l'abondance, la biomasse, le nombre de taxons, l'indice de diversité de Shannon-Wiener ( $H'$ ) et l'indice de la distinction taxinomique moyenne ( $\Delta^*$ ) (dl = degré de liberté et SC = somme des carrés).

Sources de variation	dl	Log <sub>10</sub> (Abondance + 1)			Log <sub>10</sub> (Biomasse + 1)		
		SC	F-ratio	p	SC	F-ratio	p
Période	4	13	6,1203	<b>0,0001</b>	10	2,8976	<b>0,0233</b>
Résidus	190	103			160		
Total	194	116			170		
Sources de variation	dl	Nombre de taxons			Indice de diversité ( $H'$ )		
		SC	F-ratio	p	SC	F-ratio	p
Période	4	481	5,6841	<b>0,0002</b>	6	4,9721	<b>0,0008</b>
Résidus	190	4042			59		
Total	194	4523			66		
Sources de variation	dl	Distinction taxinomique ( $\Delta^*$ )					
		SC	F-ratio	p			
Période	4	2022	1,7556	0,1395			
Résidus	190	54 701					
Total	194	56 722					



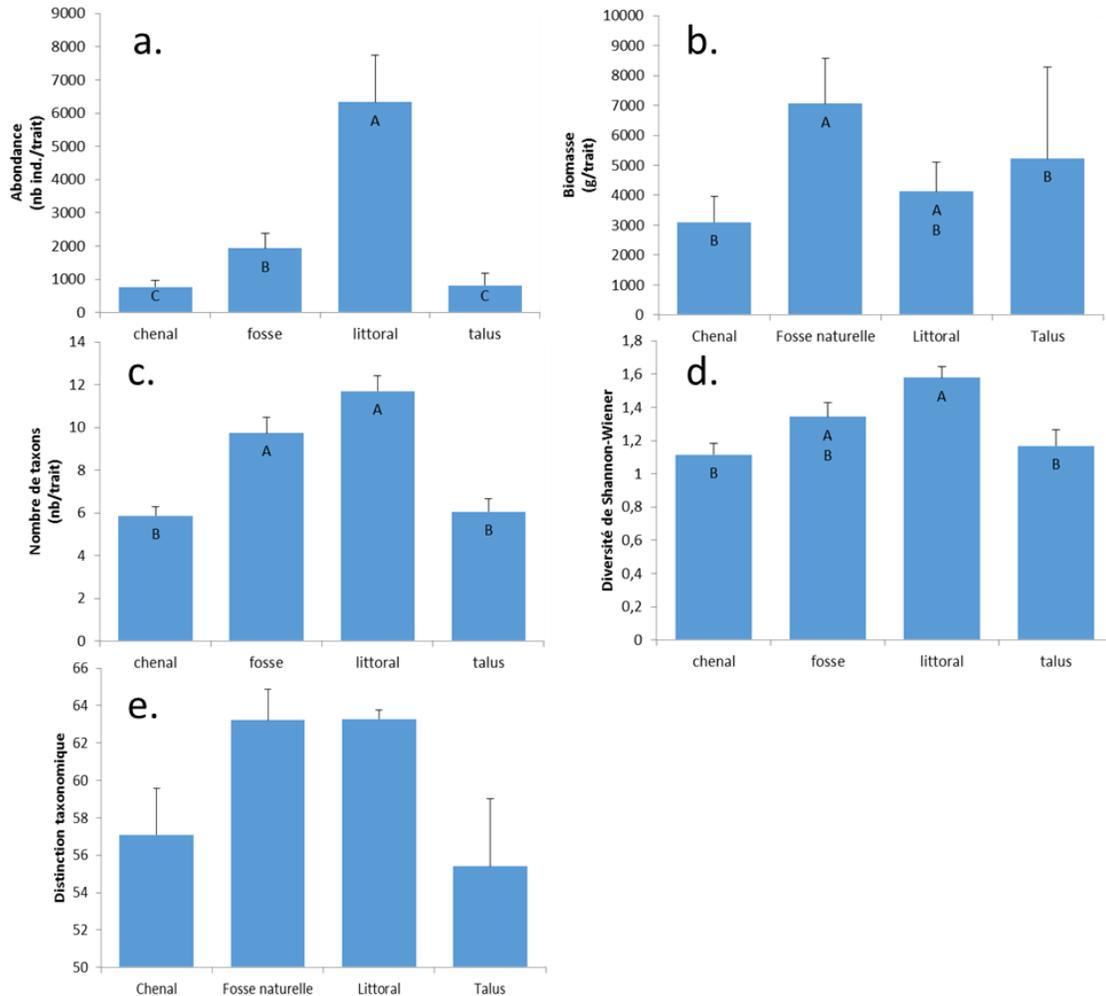
**Figure 13.** Comparaison des cinq missions, soit en septembre 2007 ( $n = 50$ ), septembre 2008 ( $n = 10$ ), juin 2009 ( $n = 25$ ), août 2009 ( $n = 52$ ) et juillet 2018 ( $n = 58$ ) pour différentes métriques décrivant les communautés de poissons : a) abondance totale de poissons (nombre d'individus/trait standardisé, moyenne  $\pm$  erreur type); b) biomasse totale de poissons (g/trait standardisé, moyenne  $\pm$  erreur type); c) nombre total de taxons (nombre/trait standardisé, moyenne  $\pm$  erreur type); d) indice de diversité de Shannon-Wiener (moyenne  $\pm$  erreur type); et e) indice de la distinction taxinomique moyenne ( $\Delta^*$ : moyenne  $\pm$  erreur type). Les lettres représentent les différences significatives révélées par les tests *a posteriori* de Tukey.

### Effet de l'habitat sur les assemblages de poissons.

Les analyses de variance montrent un effet significatif de l'habitat sur quatre des cinq indices écologiques étudiés (tableau 7). L'abondance est significativement supérieure dans l'habitat littoral et significativement inférieure dans le chenal et sur le talus (figure 14a). La biomasse est significativement supérieure dans les fosses naturelles (figure 14b). Le nombre de taxons est plus grand dans les fosses naturelles et sur le littoral (figure 14c). L'indice de diversité est significativement plus grand dans l'habitat littoral et significativement plus bas dans le chenal et sur le talus (figure 14d). Aucune différence significative de la distinction taxinomique n'a été observée entre les périodes d'échantillonnage (figure 14e).

**Tableau 7.** Résultats des analyses de variance (ANOVA) testant l'effet de l'habitat sur les caractéristiques univariées des assemblages de poissons, soit l'abondance, la biomasse, le nombre de taxons, l'indice de diversité de Shannon-Wiener ( $H'$ ) et l'indice de la distinction taxinomique moyenne ( $\Delta^*$ ) (dl = degré de liberté et SC = somme des carrés).

Sources de variation	dl	Log <sub>10</sub> (Abondance + 1)			Log <sub>10</sub> (Biomasse + 1)		
		SC	F-ratio	p	SC	F-ratio	p
Habitat	3	31	22,3721	< 0,0001	20	8,4700	< 0,0001
Résidus	191	88			150		
Total	194	118			170		
Sources de variation	dl	Nombre de taxons			Indice de diversité ( $H'$ )		
		SC	F-ratio	p	SC	F-ratio	p
Habitat	3	1188	22,7927	< 0,0001	6	6,9177	0,0002
Résidus	191	3335			59		
Total	194	4523			66		
Sources de variation	dl	Distinction taxinomique ( $\Delta^*$ )					
		SC	F-ratio	p			
Habitat	3	2258	2,6398	0,0508			
Résidus	191	54 464					
Total	194	56 722					



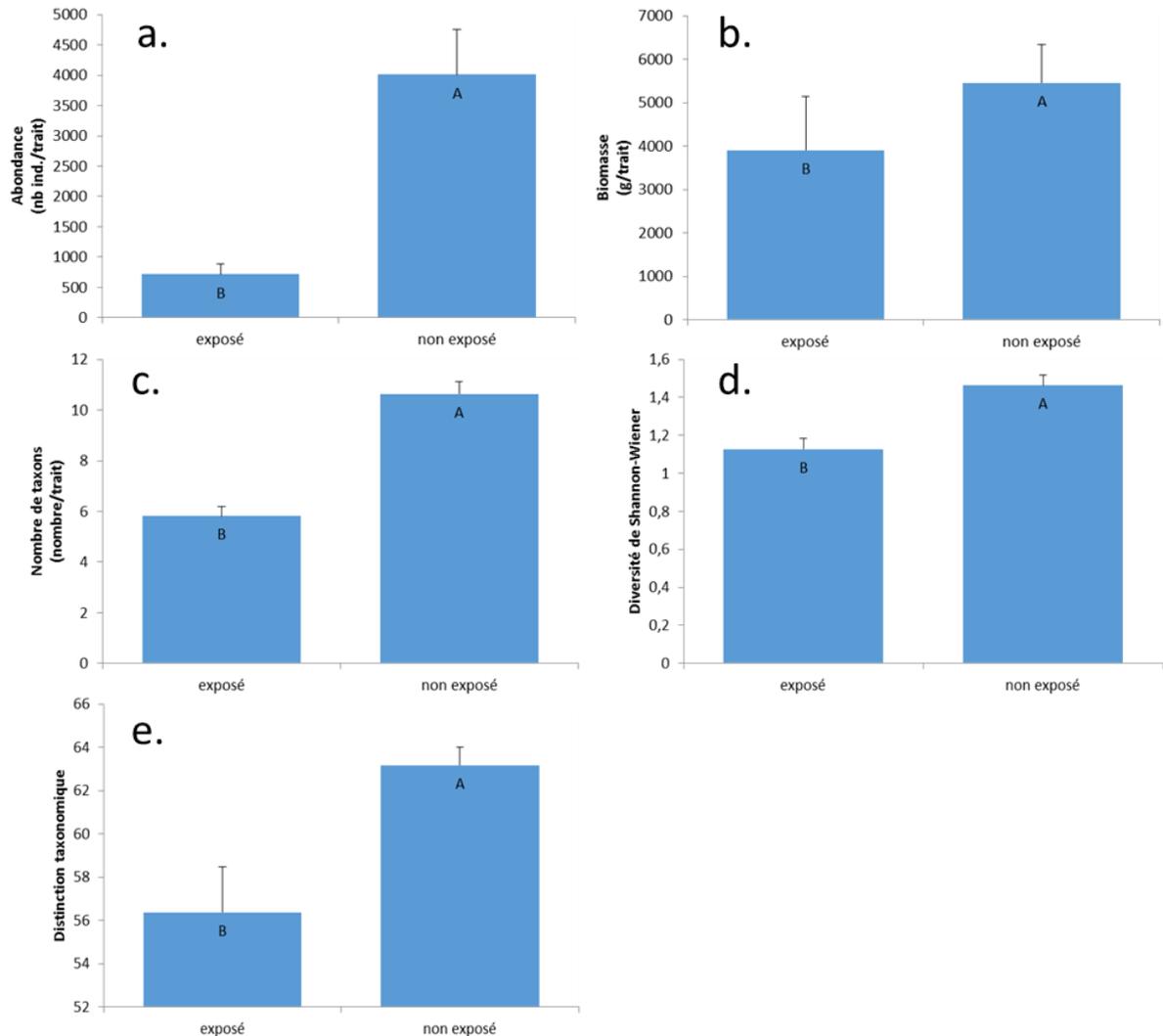
**Figure 14.** Comparaison des quatre types d'habitats, toutes années confondues, pour différentes métriques décrivant les communautés de poissons, soit le chenal ( $n = 71$ ), les fosses naturelles ( $n = 43$ ), le littoral ( $n = 43$ ) et le talus ( $n = 38$ ) : a) abondance totale de poissons (nombre d'individus/trait standardisé, moyenne  $\pm$  erreur type); b) biomasse totale de poissons (g/trait standardisé, moyenne  $\pm$  erreur type); c) nombre total de taxons (nombre/trait standardisé, moyenne  $\pm$  erreur type); d) indice de diversité de Shannon-Wiener (moyenne  $\pm$  erreur type); et e) indice de la distinction taxinomique moyenne ( $\Delta^*$ : moyenne  $\pm$  erreur type). Les lettres représentent les différences significatives révélées par les tests *a posteriori* de Tukey.

## Effet de l'exposition aux activités maritimes sur les assemblages de poissons

Les analyses de variance montrent un effet significatif de l'exposition aux activités maritimes sur les cinq indices écologiques étudiés (tableau 8). Tous les indices sont significativement plus bas aux sites exposés aux activités maritimes et significativement plus élevés aux sites non exposés (figure 15a-b-c-d-e).

**Tableau 8.** Résultats des analyses de variance (ANOVA) testant l'effet de l'exposition aux activités maritimes sur les caractéristiques univariées des assemblages de poissons, soit l'abondance, la biomasse, le nombre de taxons, l'indice de diversité de Shannon-Wiener ( $H'$ ) et l'indice de la distinction taxinomique moyenne ( $\Delta^*$ ) (dl = degré de liberté et SC = somme des carrés).

Sources de variation	dl	Log <sub>10</sub> (Abondance + 1)			Log <sub>10</sub> (Biomasse + 1)		
		SC	F-ratio	p	SC	F-ratio	p
Exposition	1	27	57,6901	< 0,0001	18	22,1875	< 0,0001
Résidus	193	90			153		
Total	194	117			170		
Sources de variation	dl	Nombre de taxons			Indice de diversité ( $H'$ )		
		SC	F-ratio	P	SC	F-ratio	p
Exposition	1	1119	63,7149	< 0,0001	5	17,7419	< 0,0001
Résidus	193	3388			60		
Total	194	4507			65		
Sources de variation	dl	Distinction taxinomique ( $\Delta^*$ )					
		SC	F-ratio	p			
Exposition	1	2229	7,8952	0,0055			
Résidus	193	54 493					
Total	194	56 722					



**Figure 15.** Comparaison des milieux exposés (n = 106) et non exposés (n = 89) aux activités maritimes pour différentes métriques décrivant les communautés de poissons : a) abondance totale de poissons (nombre d'individus/trait standardisé, moyenne  $\pm$  erreur type); b) biomasse totale de poissons (g/trait standardisé, moyenne  $\pm$  erreur type); c) nombre total de taxons (nombre/trait standardisé, moyenne  $\pm$  erreur type); d) indice de diversité de Shannon-Wiener (moyenne  $\pm$  erreur type); et e) (page suivante) indice de la distinction taxinomique moyenne ( $\Delta^*$ , moyenne  $\pm$  erreur type). Les lettres représentent les différences significatives révélées par les tests *a posteriori* de Tukey.

## Analyses univariées à deux facteurs

Des analyses univariées à deux facteurs ont également été réalisées sur les caractéristiques des communautés (abondance totale de poissons/trait, biomasse totale de poissons/trait, nombre d'espèces/trait, indice de diversité de Shannon-Wiener et l'indice de la distinction taxinomique moyenne) afin de tester cette fois l'effet combiné de la période et de l'habitat. Dans ce cas, les périodes comparées sont celles rassemblant les échantillons prélevés en septembre 2007, septembre 2008, juin 2009 et août 2009 (dite la période 2007-2008-2009) et juillet 2018.

### *Effet combiné période et habitat sur les assemblages de poissons*

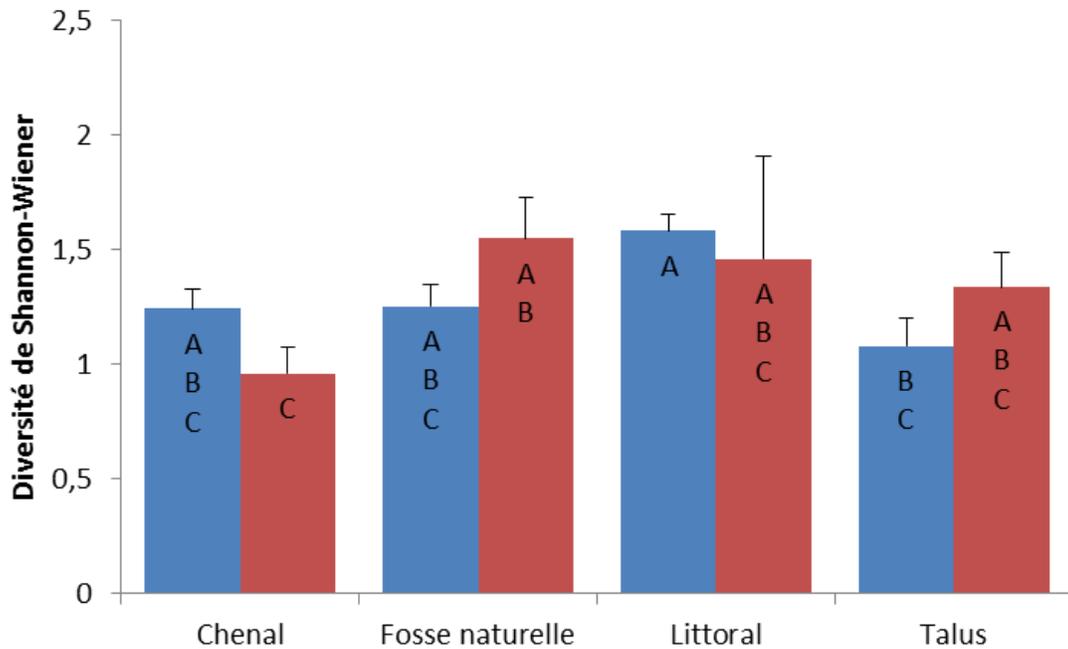
Les analyses de variance testant l'effet combiné de la période (2007-2008-2009 comparée à 2018) et de l'habitat (chenal, fosse, littoral et talus) indiquent que l'abondance de poissons varie significativement d'une période à l'autre et significativement d'un habitat à l'autre (tableau 9). L'abondance est supérieure pour la période 2007-2008-2009, comparativement à 2018 (figure 12a). Les analyses montrent également que l'abondance est significativement plus grande aux stations en zone littorale et significativement plus faible aux stations du chenal et du talus; les fosses présentent des valeurs intermédiaires d'abondances (figure 14a). Il n'y a pas d'interaction significative des facteurs période et habitat pour la variable abondance (tableau 9).

La biomasse varie uniquement entre les habitats (tableau 9). Elle est significativement supérieure dans les fosses naturelles et significativement inférieures dans le chenal et sur le talus (figure 14b). Il n'y a pas d'interaction significative des facteurs période et habitat pour la variable biomasse (tableau 9).

De la même manière, la richesse spécifique varie aussi uniquement selon l'habitat (tableau 9). Le nombre de taxons est plus grand dans les fosses et sur le littoral et plus faible dans le chenal et sur le talus (figure 14c). Il n'y a pas d'interaction significative des facteurs période et habitat pour la variable nombre de taxons (tableau 9).

L'analyse a montré une interaction significative des facteurs période et habitat pour l'indice de diversité de Shannon-Wiener (tableau 9). Une interaction significative entre deux facteurs signifie que les assemblages de poissons varient entre les habitats suivant des schémas différents en fonction de la période d'échantillonnage. La figure 16 illustre ces résultats. On y voit des schémas inverses de tendance des indices de diversité; dans le chenal et sur le littoral, les indices sont plus grands en 2007-2008-2009, comparativement

à 2018, alors que, dans les fosses naturelles et sur le talus, la diversité est plus grande en 2018. Ce sont ces différences de tendances qui expliquent les interactions significatives. Enfin, aucune différence significative n'est révélée par les analyses pour l'indice de distinction taxinomique (tableau 9).



**Figure 16.** Indice de Shannon en fonction de la période d'échantillonnage, soit les années 2007-2008-2009 (n = 137; bleu) et 2018 (n = 58; rouge), et l'habitat soit chenal (n = 71), fosses naturelles (n = 43), littoral (n = 43) et talus (n = 38). Les niveaux non connectés par la même lettre sont significativement différents.

**Tableau 9.** Résultats des analyses de variance (ANOVA) testant l'effet de la période, de l'habitat et leur interaction sur les caractéristiques univariées des assemblages de poissons, soit l'abondance, la biomasse, le nombre de taxons, l'indice de diversité de Shannon-Wiener ( $H'$ ) et l'indice de la distinction taxinomique moyenne ( $\Delta^*$ ) (dl = degré de liberté et SC = somme des carrés).

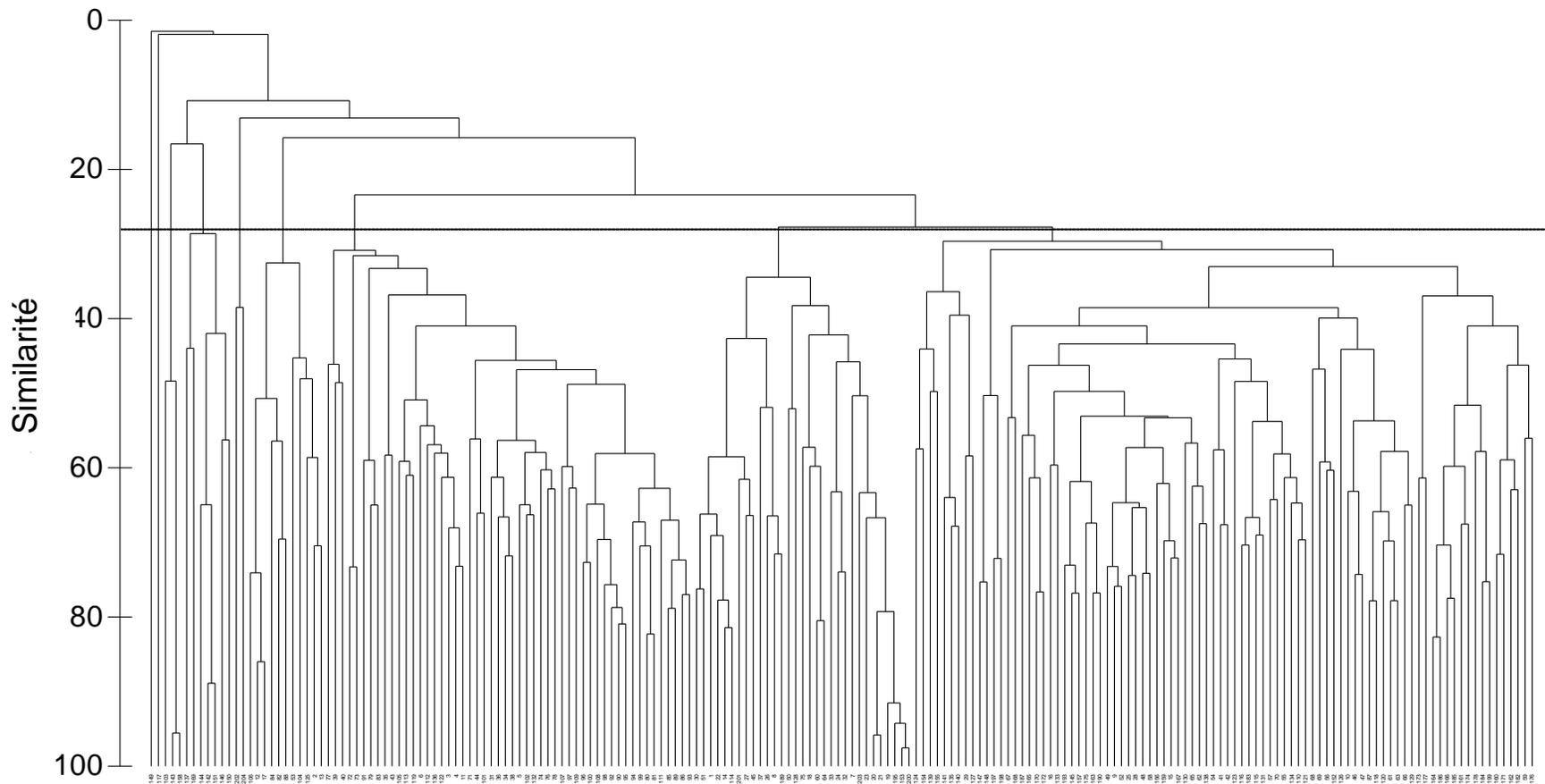
Sources de variation	dl	Log <sub>10</sub> (Abondance + 1)			Log <sub>10</sub> (Biomasse + 1)		
		SC	<i>F-ratio</i>	<i>p</i>	SC	<i>F-ratio</i>	<i>p</i>
Période	1	3	7,3106	<b>0,0075</b>	0,3	0,3716	0,5429
Habitat	3	8	6,4034	<b>0,0004</b>	15	6,2563	<b>0,0005</b>
Pé X Ha	3	1	0,9935	0,3971	3	1,4248	0,2369
Résidus	187	81			145		
Total	194	117			170		
Sources de variation	dl	Nombre de taxons			Indice de diversité ( $H'$ )		
		SC	<i>F-ratio</i>	<i>P</i>	SC	<i>F-ratio</i>	<i>p</i>
Période	1	58	3,3533	0,0687	0,02	0,0897	0,7648
Habitat	3	431	8,3717	<b>&lt; 0,0001</b>	3	3,1954	<b>0,0247</b>
Pé X Ha	3	59	1,1501	0,3302	3	3,0746	<b>0,0289</b>
Résidus	187	3208			56		
Total	194	4507			65		
Sources de variation	dl	Distinction taxinomique ( $\Delta^*$ )					
		SC	<i>F-ratio</i>	<i>p</i>			
Période	1	221	0,7991	0,3725			
Habitat	3	1035	1,2468	0,2941			
Pé X Ha	3	1632	1,9665	0,1205			
Résidus	187	51 735					
Total	194	56 722					

## Analyse de groupement

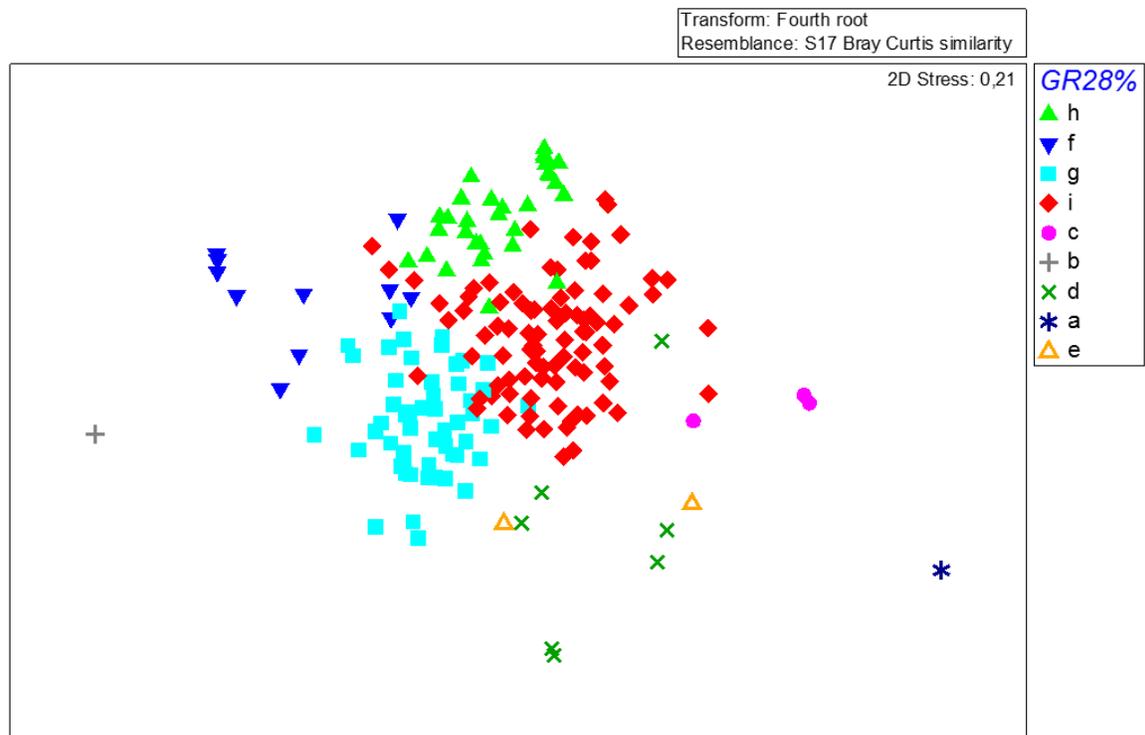
Comparativement aux analyses univariées, les analyses multivariées permettent l'étude des assemblages d'organismes, c'est-à-dire que, pour une même analyse, nous tenons compte à la fois des espèces collectées dans un trait (la composition spécifique de l'assemblage) et de la dominance de ces espèces, soit en matière d'abondance d'individus ou encore de biomasse d'individus.

Le fait de transformer ou non les données permet d'obtenir des résultats complémentaires. Toutes les analyses ont d'abord été faites sur les données brutes, puis sur les données transformées en présence/absence. Ces transformations permettent de voir si les différences d'assemblages sont dues aux espèces elles-mêmes ou à leurs dominances. Par exemple, lorsqu'une différence significative est observée à partir des données non transformées, c'est qu'à la fois la composition en espèces et leur dominance ont varié. Lorsqu'une différence significative est observée à la suite d'une analyse sur des données de présence/absence, c'est que seule la composition spécifique a varié (aucun effet de dominance). Avec les données de ce projet, il n'y avait aucune différence entre les résultats des analyses faites sur des données non transformées et ceux des analyses faites sur les données transformées en présence/absence. Nous avons donc décidé de présenter les résultats d'analyses faites sur des données transformées en racine quatrième. Cette transformation est utilisée pour soustraire un peu de poids aux espèces dominantes et donner plus de place, dans l'analyse, aux espèces rares.

L'analyse de groupement montre que les échantillons sont peu semblables entre eux (figure 17). Avec une séparation de groupe fixée à 28 % de similarité pour maximiser la représentation des ensembles dominants, l'analyse identifie en tout neuf groupes, dont la visualisation est facilitée avec un cadrage multidimensionnel (figure 18). Les groupes *i*, *g* et *h* sont les plus importants, rassemblant respectivement 88, 52 et 31 échantillons, soit 87 % de l'ensemble des échantillons. Les groupes ont été cartographiés (figure 19) afin de visualiser leurs positions géographiques.



**Figure 17.** Dendrogramme présentant les groupements naturels des échantillons de poissons prélevés en 2007, 2008, 2009 et 2018 dans le tronçon fluvial du Saint-Laurent ( $N_{\text{total}} = 195$  échantillons). L'analyse de groupement a été faite à partir des indices de similarité de Bray-Curtis sur les données transformées en racine quatrième des abondances standardisées. La ligne est à 28 % de similarité.



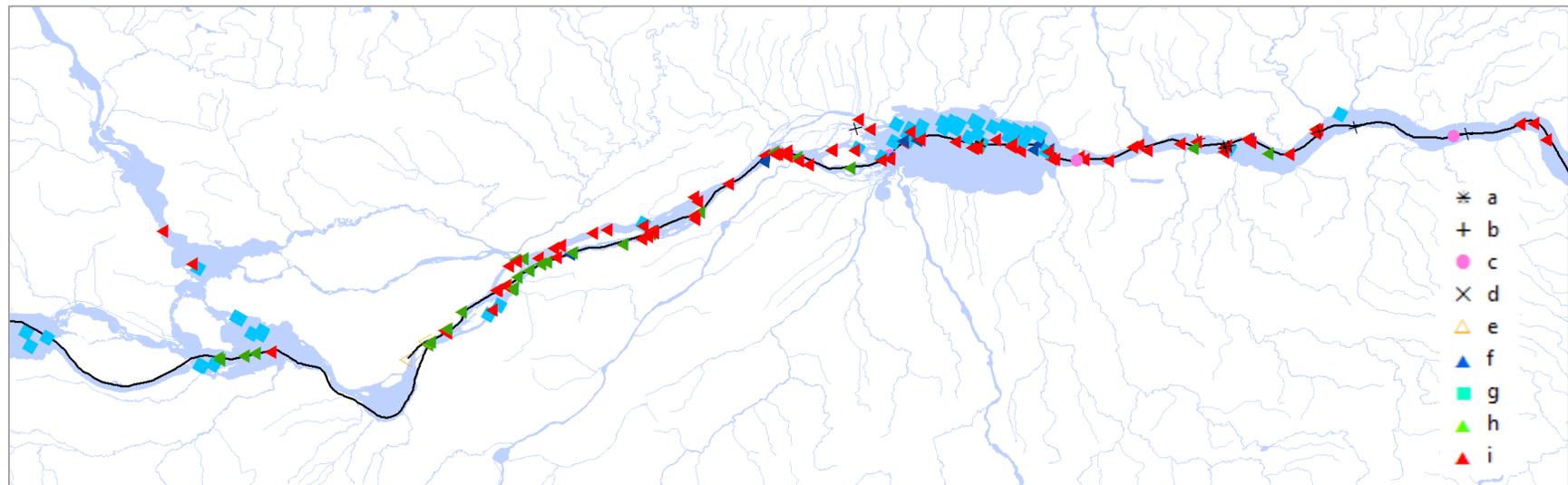
**Figure 18.** Cadrage multidimensionnel (nMDS) des indices de similarité de Bray-Curtis des assemblages de poissons issus des échantillons prélevés de 2007 à 2018 dans le tronçon fluvial du Saint-Laurent ( $N_{\text{total}} = 195$  échantillons). L'analyse a été faite à partir des données transformées en racine quatrième des abondances standardisées. Les groupes ont été définis à partir d'un seuil de similarité de 28 %. Les groupes *i* (rouge), *g* (bleu clair) et *h* (vert) sont les plus importants, rassemblant respectivement 88, 52 et 31 échantillons, soit 87 % de l'ensemble des échantillons.

La cartographie des trois principaux groupes répertoriés dans le cadrage multidimensionnel (figure 19), en complément avec les figures 7 et 8, révèle que :

- pour le groupe *g* (bleu clair), la plupart des riches communautés échantillonnées dans le littoral du lac Saint-Pierre sont apparentées à des communautés vivant dans les fosses profondes des lacs Saint-Louis et Saint-François et aussi du secteur Montréal-Sorel. Ce résultat apporte une nuance par rapport à l'approche proposée par de la Chenelière et coll. (2015) qui distinguait séparément les fosses profondes naturelles du littoral. Une analyse statistique plus détaillée indique qu'il existe des similarités entre les communautés de ces deux types de milieux;
- pour le groupe *i* (rouge), les assemblages en provenance du chenal, du talus et aussi parfois des fosses profondes à l'abri des activités maritimes présentent des similarités;
- pour le groupe *h* (vert), les assemblages trouvés dans les secteurs particulièrement étroits à fort courant (Sorel, secteur Montréal-Sorel et lac Saint-Louis) présentent aussi des similarités.

Ces derniers résultats indiquent que les quatre catégories d'habitats proposées dans de la Chenelière et coll. (2015) sont une première approximation expliquant en partie les assemblages de poissons observés, mais qu'il y aurait lieu de réviser les frontières entre ces grandes catégories et aussi d'ajouter de nouvelles variables clés afin de déterminer les autres facteurs responsables de ces assemblages.

Afin de raffiner les explications à ce sujet, les analyses qui suivent explorent de façon univariées et multivariées les effets sur les assemblages : 1) de la période d'échantillonnage; 2) des habitats; et aussi 3) de l'exposition aux activités maritimes.



**Figure 19.** Localisation géographique des neuf groupes répertoriés dans le cadrage multidimensionnel (figure 18). Les groupes i (rouge), g (bleu clair) et h (vert) sont les plus importants, rassemblant respectivement 88, 52 et 31 échantillons, soit 87 % de l'ensemble des échantillons. Le chenal est tracé en noir.

## Analyses multivariées à un facteur

Les analyses de variance par permutation ont été faites sur les bases de données d'abondances, puis sur les bases de données de biomasse, toutes transformées en racine quatrième.

### *Effet de la période sur les assemblages de poissons*

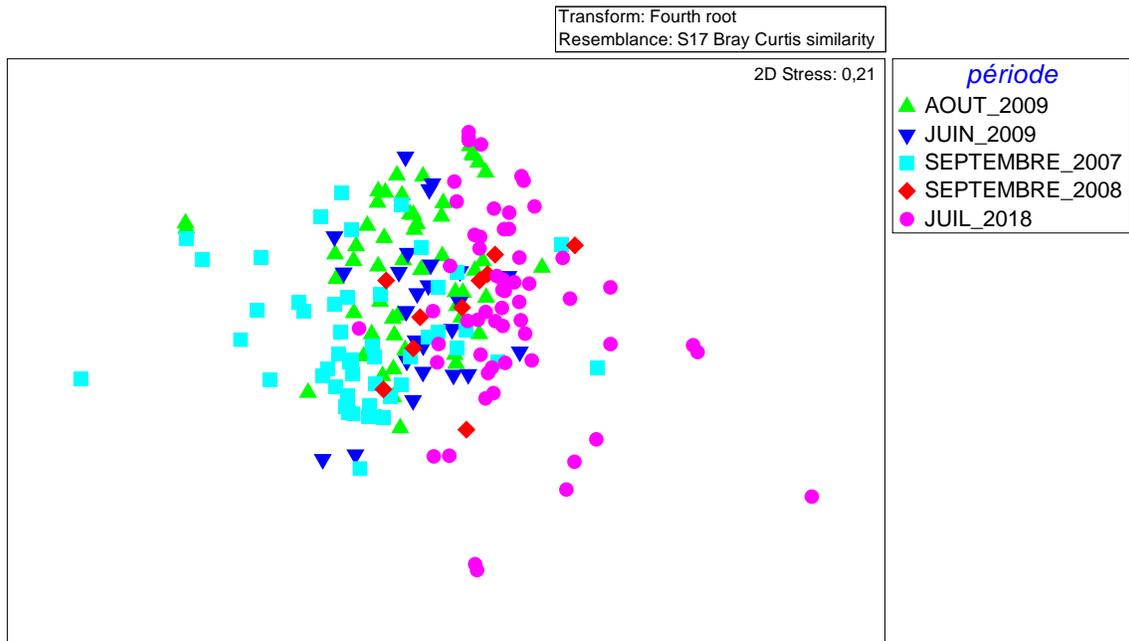
Les analyses ont révélé que les assemblages de poissons sont significativement différents selon la période d'échantillonnage, en matière d'abondance tout comme de biomasse (tableau 10).

**Tableau 10.** Résultats des analyses de variance multivariées par permutation (PERMANOVA) testant l'effet de la période d'échantillonnage sur l'abondance et la biomasse des assemblages de poissons. La distribution des assemblages a été calculée à partir de la matrice de similarité de Bray-Curtis sur des données transformées en racine quatrième (dl = degré de liberté et SC = somme des carrés).

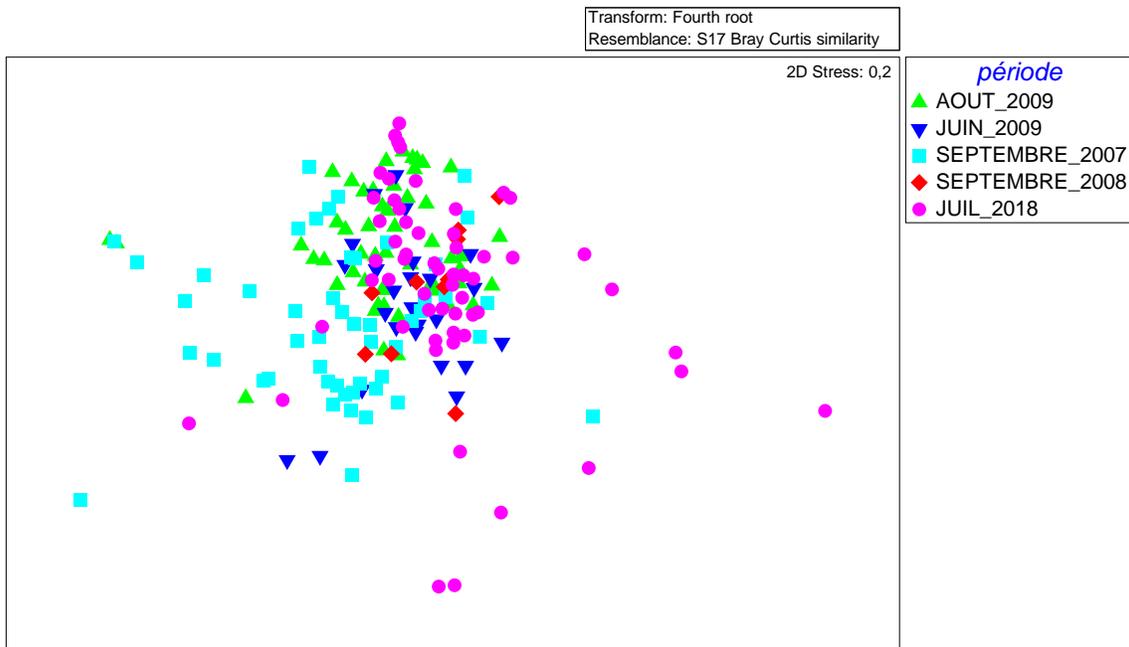
Sources de variation	dl	Abondance			Biomasse		
		SC	<i>pseudo-F</i>	<i>p(perm)</i>	SC	<i>pseudo-F</i>	<i>p(perm)</i>
Période	4	85 505	8,6041	<b>0,0001</b>	59 187	6,2122	<b>0,0001</b>
Résidus	191	4,74E5			4,53E5		
Total	194	5,60E5			5,12E5		

En matière d'abondance, toutes les périodes d'échantillonnage sont significativement différentes les unes des autres, sauf septembre 2008 et juin 2009 (figure 20,  $t = 1,2548$ ,  $p[perm] = 0,1250$ ). La procédure SIMPER indique les espèces contribuant le plus à la similarité et à la dissimilarité des groupes (tableau 11).

En matière de biomasse, toutes les périodes d'échantillonnage sont également significativement différentes les unes des autres, sauf septembre 2008 et juin 2009 ( $t = 1,1893$ ,  $p[perm] = 0,1936$ ) et septembre 2008 et juillet 2018 (figure 21,  $t = 1,1056$ ,  $p[perm] = 0,2627$ ).



**Figure 20.** Cadrage multidimensionnel des indices de similarité de Bray-Curtis des assemblages de poissons prélevés lors des différentes périodes d'échantillonnage. Les analyses ont été faites sur les données d'abondance transformées en racine quatrième.



**Figure 21.** Cadrage multidimensionnel des indices de similarité de Bray-Curtis des assemblages de poissons prélevés lors des différentes périodes d'échantillonnage. Les analyses ont été faites avec les données de biomasse transformées en racine quatrième.

**Tableau 11.** Indices de similarité (Sim.) et de dissimilarité (Dis.) des assemblages mesurés lors des cinq périodes d'échantillonnage à partir des données d'abondances. Les valeurs représentent le pourcentage de contribution de chaque taxon à la similarité d'un groupe avec lui-même et à la dissimilarité entre deux groupes. \*Pas de différence significative entre les assemblages de septembre 2008 et de juin 2009.

Sept. 07	Sim. = 13 % ALSA (19,6) NOHU (19,0) NEME (10,2)				
Sept. 08	Dis. = 89 % NOHU (17,1) PEOM (13,4) ICPU (11,6)	Sim. = 18 % ICPU (36,6) ACFU (19,1) MOMA (15,6)			
Juin 09	Dis. = 91 % PEFL (13,1) NOHU (12,5) PEOM (10,8)	Dis. = 84 %* ICPU (17,2) PEOM (12,9) PEFL (11,8)	Sim. = 18 % ACFU (21,1) SACA (18,2) MOMA (17,5)		
Août 09	Dis. = 90 % NOHU (15,6) PEOM (14,6) ACFU (11,9)	Dis. = 86 % PEOM (16,8) ICPU (15,8) NOHU (13,6)	Dis. = 87 % ACFU (16,4) PEOM (13,9) PEFL (11,4)	Sim. = 18 % ACFU (64,5) ALSA (9,52) MOMA (3,95)	
Juil. 18	Dis. = 93 % NOHU (14,0) PEOM (10,6) ALSA (10,4)	Dis. = 86 % ICPU (19,2) PEOM (12,2) ACFU (11,5)	Dis. = 87 % ACFU (14,1) PEFL (12,9) ICPU (9,7)	Dis. = 86 % ACFU (21,8) PEOM (13,5) ALSA (9,3)	Sim. = 17 % ACFU (51,6) SNSP (14,1) MOMA (10,5)
	Sept. 07	Sept. 08	Juin 09	Août 09	Juil. 18

## Effet de l'habitat sur les assemblages de poissons

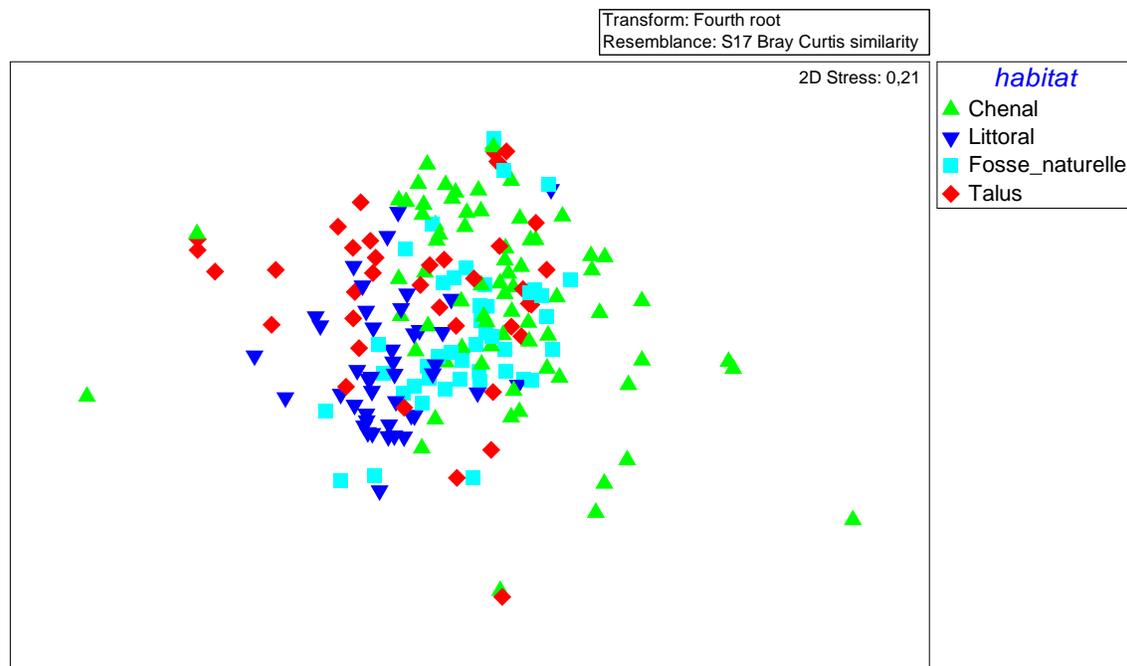
Les analyses ont révélé que les assemblages de poissons sont significativement différents selon l'habitat (tableau 12).

**Tableau 12.** Résultats des analyses de variance multivariées par permutation (PERMANOVA) testant l'effet de l'habitat sur l'abondance et la biomasse des assemblages de poissons. La distribution des assemblages a été calculée à partir de la matrice de similarité de Bray-Curtis sur des données transformées en racine en quatrième (dl = degré de liberté et SC = somme des carrés).

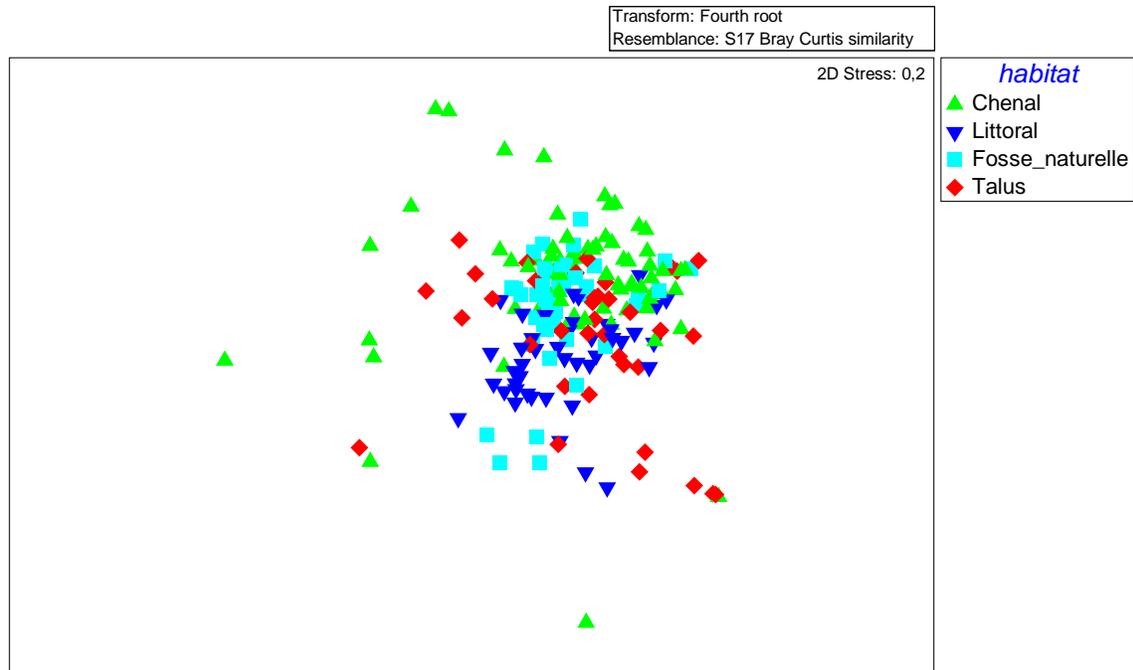
Sources de variation	dl	Abondance			Biomasse		
		SC	<i>pseudo-F</i>	<i>p</i> (perm)	SC	<i>pseudo-F</i>	<i>p</i> (perm)
Habitat	3	64 322	8,3044	<b>0,0001</b>	54 426	7,5770	<b>0,0001</b>
Résidus	191	4,95E5			4,57E5		
Total	194	5,60E5			5,12E5		

En matière d'abondance, tous les habitats sont significativement différents les uns des autres (figure 22). La procédure SIMPER désigne les espèces contribuant le plus à la similarité et à la dissimilarité des groupes (tableau 13).

En matière de biomasse, tous les habitats sont également significativement différents les uns des autres (figure 23).



**Figure 22.** Cadrage multidimensionnel des indices de similarité de Bray-Curtis des assemblages de poissons prélevés en fonction des différents habitats. Les analyses ont été faites sur les données d'abondance transformées en racine quatrième.



**Figure 23.** Cadrage multidimensionnel des indices de similarité de Bray-Curtis des assemblages de poissons prélevés en fonction des différents habitats. Les analyses ont été faites sur les données de biomasse transformées en racine quatrième.

**Tableau 13.** Indices de similarité (Sim.) et de dissimilarité (Dis.) des assemblages mesurés dans les quatre habitats étudiés à partir des données d'abondances. Les valeurs représentent le pourcentage de contribution de chaque taxon à la similarité d'un groupe avec lui-même et à la dissimilarité entre deux groupes.

chenal	Sim. = 15 % ACFU (57,8) ICPU (9,4) MOMA (6,9)			
fosse	Dis. = 86 % ACFU (19,7) PEOM (15,7) ICPU (12,5)	Sim. = 18 % ACFU(47,2) ICPU (9,1) PEOM (8,9)		
littoral	Dis. = 92 % NOHU (18,9) PEOM (11,0) ALSA (10,7)	Dis. = 90 % NOHU (16,8) PEOM (15,5) PEFL (10,9)	Sim. = 16 % NOHU (26,7) ALSA (13,4) PEOM (8,2)	
talus	Dis. = 87 % ACFU (19,0) ALSA (12,3) MOMA (10,8)	Dis. = 88 % ACFU (19,1) PEOM (14,9) ICPU (8,8)	Dis. = 90 % NOHU (19,1) ALSA (12,4) PEOM (11,1)	Sim. = 15 % ACFU (35,0) MOMA (26,1) ALSA (13,7)
	chenal	fosse	littoral	talus

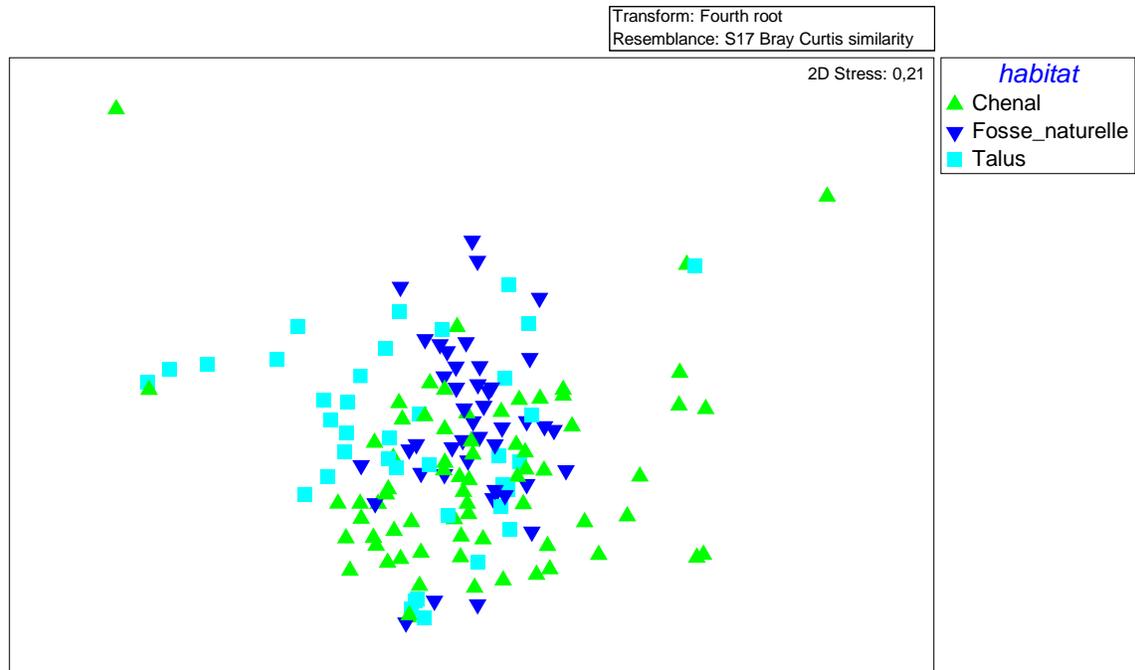
Afin de tirer au maximum profit des données et de comprendre de manière plus fine les processus en cause, nous avons testé à nouveau l'effet de l'habitat sur les assemblages, cette fois en soustrayant d'abord des bases de données les stations échantillonnées sur le littoral.

Les analyses montrent encore une fois que les assemblages de poissons sont significativement différents selon l'habitat (tableau 14) et les analyses *a posteriori* montrent aussi que tous les assemblages diffèrent significativement d'un habitat à l'autre, que ce soit lorsque les analyses sont faites sur les données d'abondance (figure 24) ou sur les données de biomasse (figure 25).

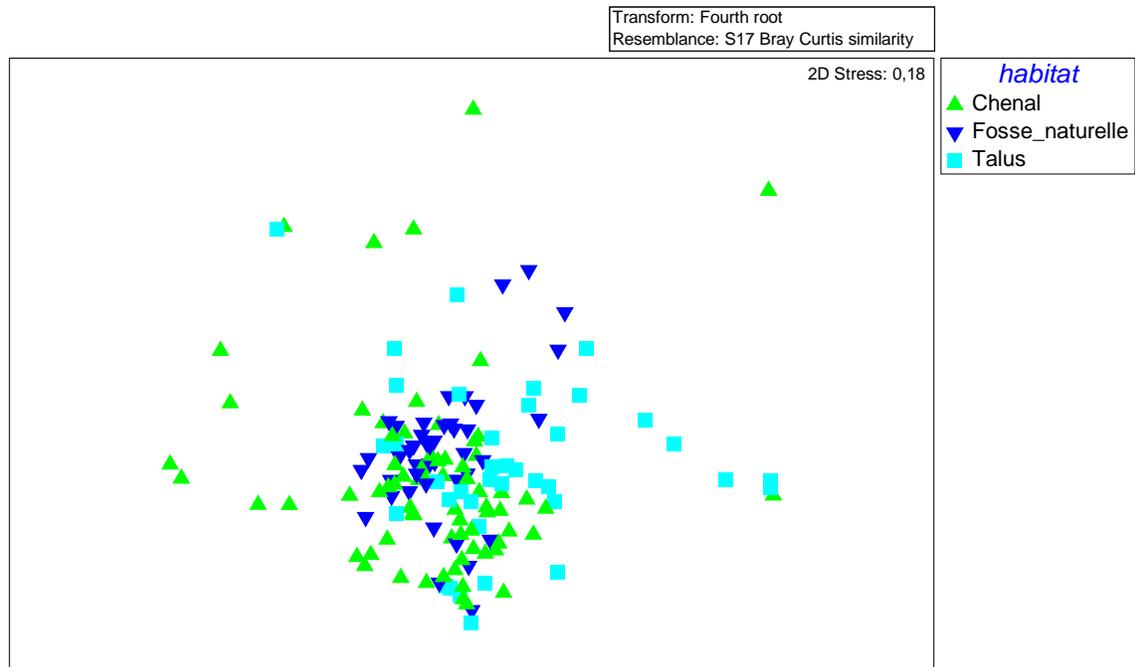
Les résultats de la procédure SIMPER ne changent pas si l'on enlève l'habitat littoral; on peut donc se référer au tableau 13 et simplement ne pas tenir compte de la ligne et de la colonne littoral.

**Tableau 14.** Résultats des analyses de variance multivariées par permutation (PERMANOVA) testant l'effet de l'habitat (sans le littoral) sur l'abondance et la biomasse des assemblages de poissons. La distribution des assemblages a été calculée à partir de la matrice de similarité de Bray-Curtis sur des données transformées en racine quatrième (dl = degré de liberté et SC = somme des carrés).

Sources de variation	dl	Abondance			Biomasse		
		SC	<i>pseudo-F</i>	<i>p(perm)</i>	SC	<i>pseudo-F</i>	<i>p(perm)</i>
Habitat	2	25 068	4,5945	<b>0,0001</b>	25 157	5,0278	<b>0,0001</b>
Résidus	149	4,06E5			3,73E5		
Total	151	4,31E5			3,98E5		



**Figure 24.** Cadrage multidimensionnel des indices de similarité de Bray-Curtis des assemblages de poissons prélevés en fonction des différents habitats (sans le littoral). Les analyses ont été faites sur les données d'abondance transformées en racine quatrième.



**Figure 25.** Cadrage multidimensionnel des indices de similarité de Bray-Curtis des assemblages de poissons prélevés en fonction des différents habitats (sans le littoral). Les analyses ont été faites sur les données de biomasse transformées en racine quatrième.

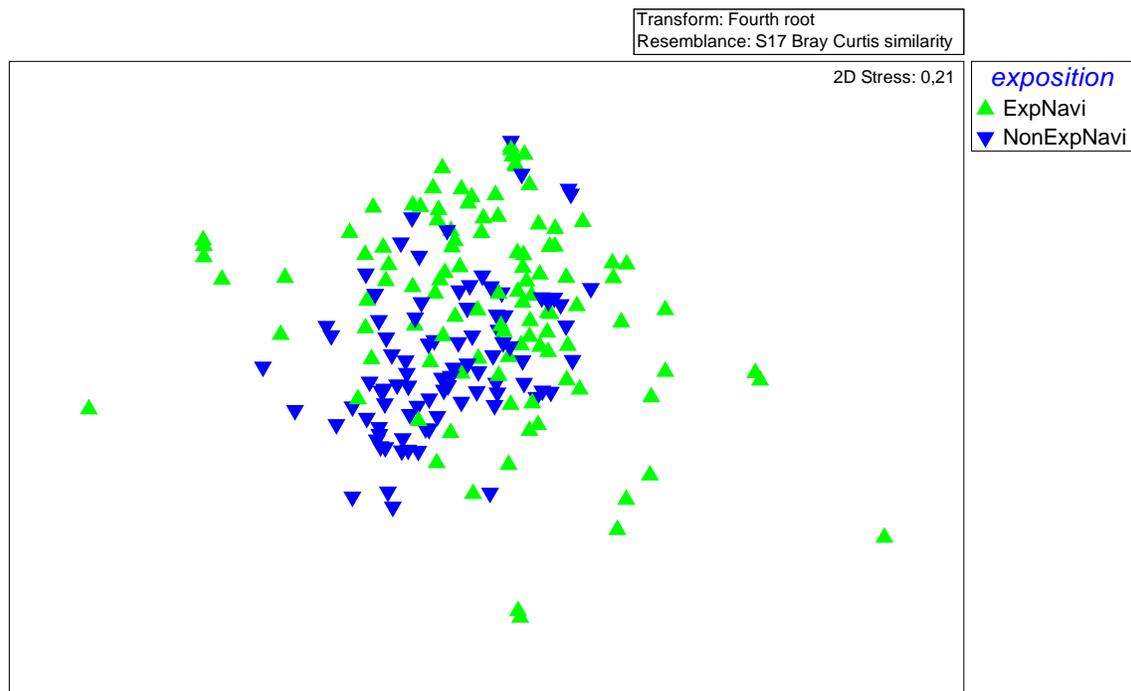
## Effet de l'exposition aux activités maritimes sur les assemblages de poissons

Les analyses ont révélé que les assemblages de poissons sont significativement différents selon l'exposition aux activités maritimes (tableau 15).

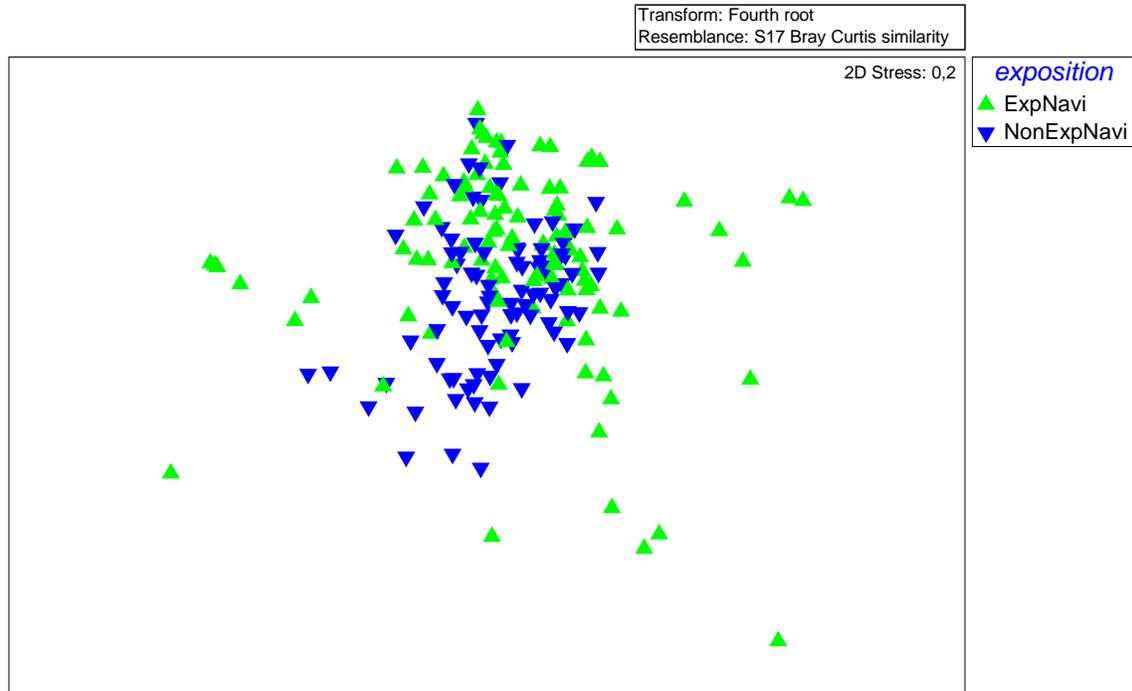
Les figures 26 et 27 représentent graphiquement les assemblages. La procédure SIMPER identifie les espèces contribuant le plus à la similarité et à la dissimilarité des groupes (tableau 16).

**Tableau 15.** Résultats des analyses de variance multivariées par permutation (PERMANOVA) testant l'effet de l'exposition aux activités maritimes sur l'abondance et la biomasse des assemblages de poissons. La distribution des assemblages a été calculée à partir de la matrice de similarité de Bray-Curtis sur des données transformées en racine quatrième (dl = degré de liberté et SC = somme des carrés).

Sources de variation	dl	Abondance			Biomasse		
		SC	<i>pseudo-F</i>	<i>p(perm)</i>	SC	<i>pseudo-F</i>	<i>p(perm)</i>
Exposition	1	31306	11,4870	<b>0,0001</b>	27197	10,8330	<b>0,0001</b>
Résidus	193	5,29E5			4,85E5		
Total	194	5,60E5			5,12E5		



**Figure 26.** Cadrage multidimensionnel des indices de similarité de Bray-Curtis des assemblages de poissons prélevés en fonction de l'exposition aux activités maritimes. Les analyses ont été faites sur les données d'abondance transformées en racine quatrième.



**Figure 27.** Cadrage multidimensionnel des indices de similarité de Bray-Curtis des assemblages de poissons prélevés en fonction de l'exposition aux activités maritimes. Les analyses ont été faites sur les données de biomasse transformées en racine quatrième.

**Tableau 16.** Indices de similarité (Sim.) et de dissimilarité (Dis.) des assemblages mesurés aux sites exposés ou non aux activités maritimes à partir des données d'abondance. Les valeurs représentent le pourcentage de contribution de chaque taxon à la similarité d'un groupe avec lui-même et à la dissimilarité entre deux groupes.

exposé	Sim. = 14 % ACFU (52,7) MOMA (12,4) SACA (6,1)	
non exp.	Dis. = 89 % PEOM (12,9) NOHU (12,7) ACFU (12,6)	Sim. = 14 % ACFU (27,9) NOHU (12,7) PEOM (10,2)
	exposé	non exposé

## Analyses multivariées à deux facteurs (abondance)

Tout comme pour les analyses univariées, des analyses multivariées à deux facteurs ont été faites pour caractériser les assemblages de poissons. Les analyses ont d'abord été faites sur les données d'abondance, puis sur les données de biomasse. Une transformation en racine quatrième a été appliquée avant chaque analyse.

### Effet des facteurs Période X Habitat

Les analyses de variance par permutation ont été faites sur les bases de données d'abondance, toutes transformées en racine quatrième. Les analyses ont révélé que les assemblages de poissons varient significativement selon l'interaction entre les facteurs période et habitat (tableau 17). Comme révélé par les tests *a posteriori*, l'interaction significative vient du fait que, deux à deux, les habitats présentent des différences significatives d'assemblages pour la période 2007-2008-2009, alors qu'aucune différence d'assemblage n'est relevée entre les habitats en 2018 (tableau 18).

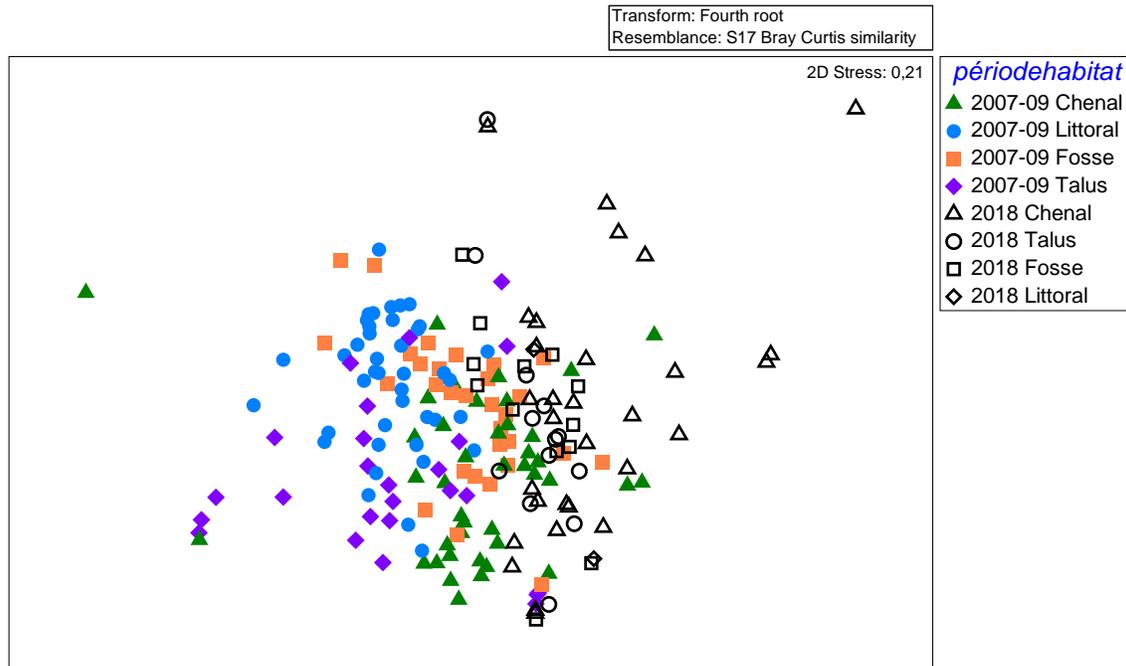
**Tableau 17.** Résultats des analyses de variance multivariées par permutation (PERMANOVA) testant l'effet de la période d'échantillonnage, de l'habitat et leur interaction sur l'abondance des assemblages de poissons. La distribution des assemblages a été calculée à partir de la matrice de similarité de Bray-Curtis sur des données transformées en racine quatrième.

Sources de variation	dl	SC	<i>pseudo-F</i>	<i>p(perm)</i>
Période	1	23 079	9,6145	<b>0,0001</b>
Habitat	3	21 978	3,0519	<b>0,0001</b>
Pé X Ha	3	11 083	1,5389	<b>0,0354</b>
Résidus	187	448 890		
Total	194	556 650		

**Tableau 18.** Résultats des analyses de variance multivariées par permutation (PERMANOVA) testant *a posteriori* l'effet de l'interaction des facteurs période et habitat sur l'abondance des assemblages de poissons. La distribution des assemblages a été calculée à partir de la matrice de similarité de Bray-Curtis sur des données transformées en racine quatrième.

Groupes	période 2007-2008-2009		période 2018	
	<i>t</i>	<i>p(perm)</i>	<i>t</i>	<i>p(perm)</i>
Chenal et littoral	4,1161	<b>0,0001</b>	0,7413	<b>0,8905</b>
Chenal et fosses naturelles	2,1603	<b>0,0001</b>	1,3226	<b>0,0773</b>
Chenal et talus	1,9793	<b>0,0002</b>	1,1513	<b>0,2216</b>
Littoral et fosses naturelles	3,0466	<b>0,0001</b>	0,7917	<b>0,7674</b>
Littoral et talus	2,7153	<b>0,0001</b>	0,7090	<b>0,9033</b>
Fosses naturelles et talus	2,6509	<b>0,0001</b>	0,8782	<b>0,6506</b>

La figure 28 présente les résultats de l'interaction positive entre les facteurs période et habitat. En combinant cette figure aux résultats des analyses *a posteriori*, nous observons que les échantillons des différents habitats sont significativement différents pour la période 2007-2008-2009 et qu'il n'y a aucune variation pour la période 2018.



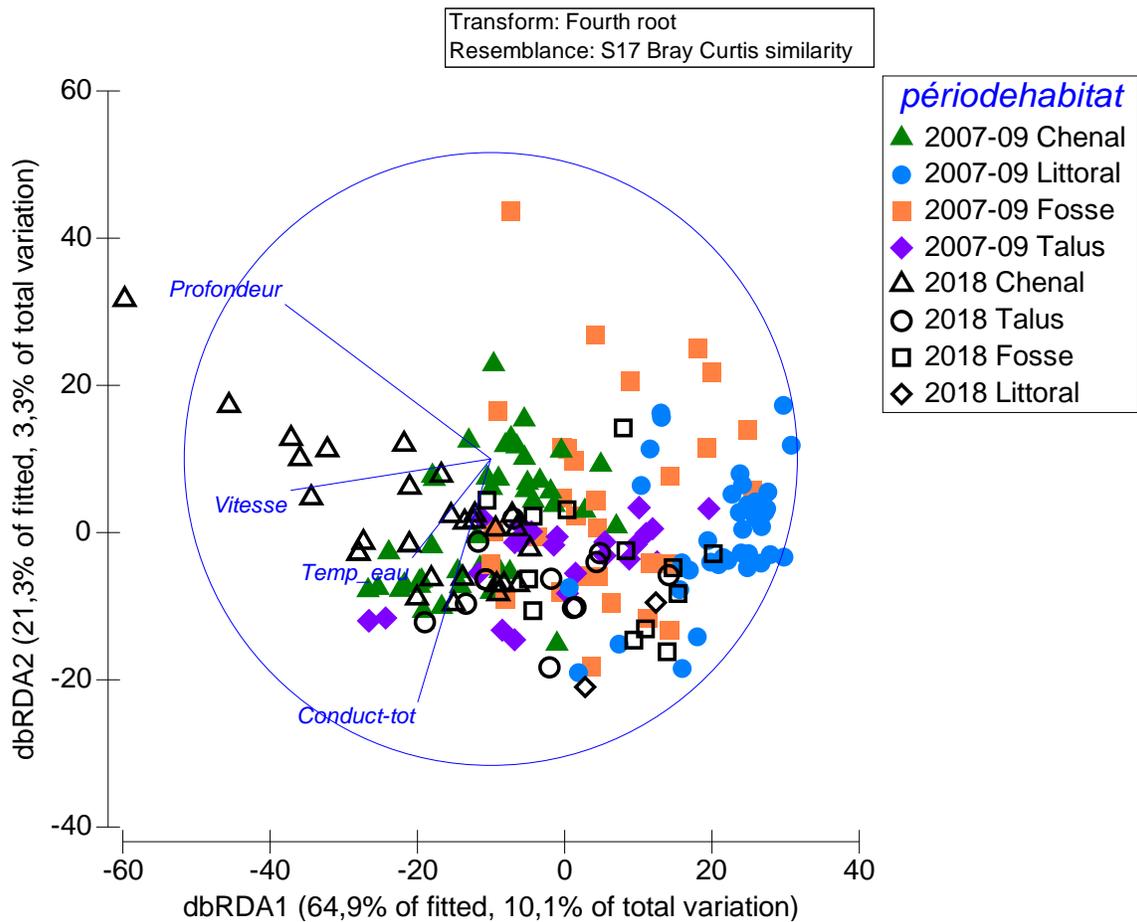
**Figure 28.** Cadrage multidimensionnel des indices de similarité de Bray-Curtis des assemblages de poissons prélevés en fonction des différents habitats lors des deux périodes d'échantillonnage. Les analyses ont été faites sur les données d'abondance transformées en racine quatrième.

Une régression multiple multivariée par DistLM a été effectuée pour expliquer les liens entre les assemblages de poissons et les paramètres environnementaux mesurés, soit la profondeur, la vitesse du courant, la température de l'eau et la conductivité. Une procédure *forward* a été effectuée et le  $R^2$  ajusté a été utilisé comme critère de sélection. Tous les paramètres environnementaux contribuent significativement à la variation entre les assemblages de poissons (tableau 19).

Combinés, les paramètres environnementaux mesurés expliquent 15,5 % de la variation totale de la structure des assemblages de poissons. La profondeur contribue pour 7,8 % de la variation totale, la conductivité, pour 3,2 %, la vitesse du courant, pour 2,8 % et la température, pour 1,6 % (figure 29).

**Tableau 19.** Relation entre la structure des assemblages de poissons et les variables environnementales mesurées tel que le révèle la régression multiple multivariée DistLM.

Variable	R <sup>2</sup> cumulative	SS (trace)	pseudo-F	p
Profondeur	7,36E-2	43 639	16,4170	0,0001
Vitesse	0,10	17 803	6,9026	0,0001
Température	0,13	15 782	6,2874	0,0001
Conductivité	0,14	9 169	3,7044	0,0002



**Figure 29.** Analyse de redondance basée sur les distances (dbRDA) étudiant les relations entre les assemblages d'espèces et les paramètres environnementaux aux stations visitées en 2007-2008-2009 et 2018, dans les différents habitats du tronçon fluvial du Saint-Laurent.

## Analyses multivariées à deux facteurs (biomasse)

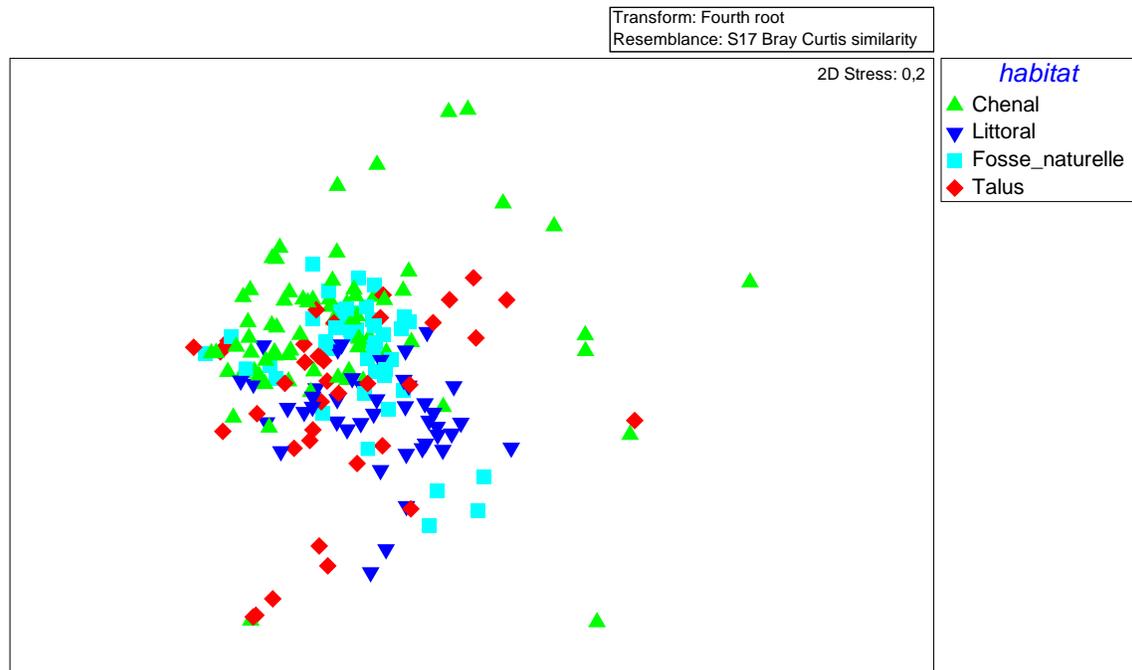
### *Effet des facteurs Période X Habitat*

Les analyses de variance par permutation ont été faites sur les bases de données de biomasse, toutes transformées en racine quatrième. Les analyses ont révélé que les assemblages de poissons varient significativement selon la période et également selon l'habitat (tableau 20). Il n'y a pas d'interaction entre les facteurs.

**Tableau 20.** Résultats des analyses de variance multivariées par permutation (PERMANOVA) testant l'effet de la période d'échantillonnage, de l'habitat et leur interaction sur la biomasse des assemblages de poissons. La distribution des assemblages a été calculée à partir de la matrice de similarité de Bray-Curtis sur des données transformées en racine quatrième.

Sources de variation	dl	SC	<i>pseudo-F</i>	<i>p</i> (perm)
Période	1	9 326	3,9943	<b>0,0008</b>
Habitat	3	22 752	3,2481	<b>0,0001</b>
Pé X Ha	3	10 099	1,4417	0,0721
Résidus	187	4,36E5		
Total	194	5,12E5		

Deux à deux, tous les habitats montrent des différences significatives d'assemblage quant à la biomasse, exception faite du littoral et des fosses, lesquels ne sont pas significativement différents ( $t = 1,1938$ ,  $p[\text{perm}] = 0,1710$ ), et du littoral et du talus ( $t = 1,1$ ,  $p[\text{perm}] = 0,2726$ , figure 30).



**Figure 30.** Cadrage multidimensionnel des indices de similarité de Bray-Curtis des assemblages de poissons prélevés en fonction de l'habitat. Les analyses ont été faites sur les données de biomasse transformées en racine quatrième.

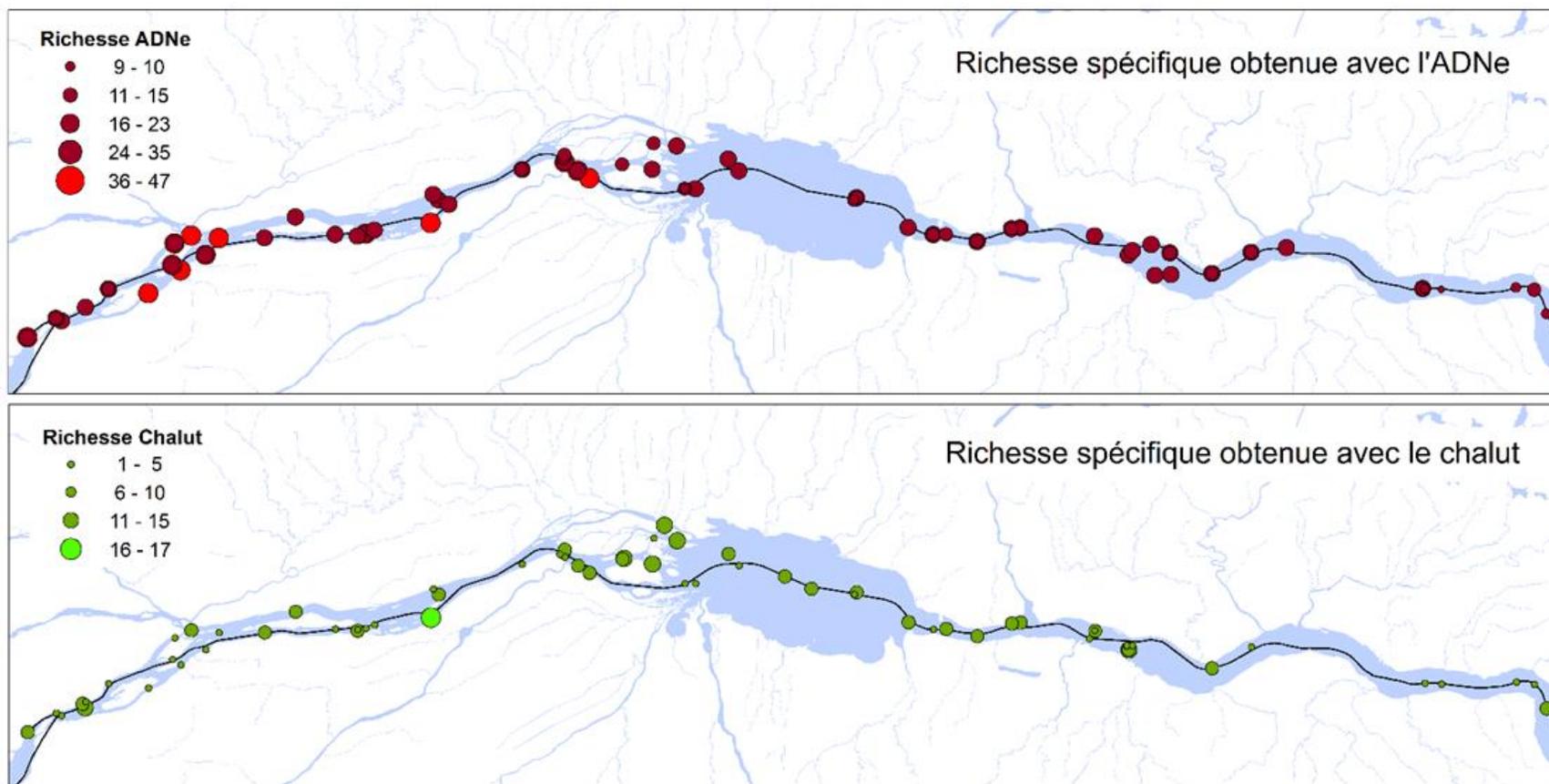
## ADNe

Le portrait des communautés ichtyologiques a été élargi par l'analyse des molécules d'ADN de poissons présentes dans la colonne d'eau, qui peut s'apparenter à un nouvel engin d'échantillonnage (ADNe). Les échantillons d'eau prélevés en profondeur à proximité des traits de chalut ont fourni un portrait des communautés de poissons vivant potentiellement dans le secteur, qui a été comparé au portrait obtenu avec le chalut.

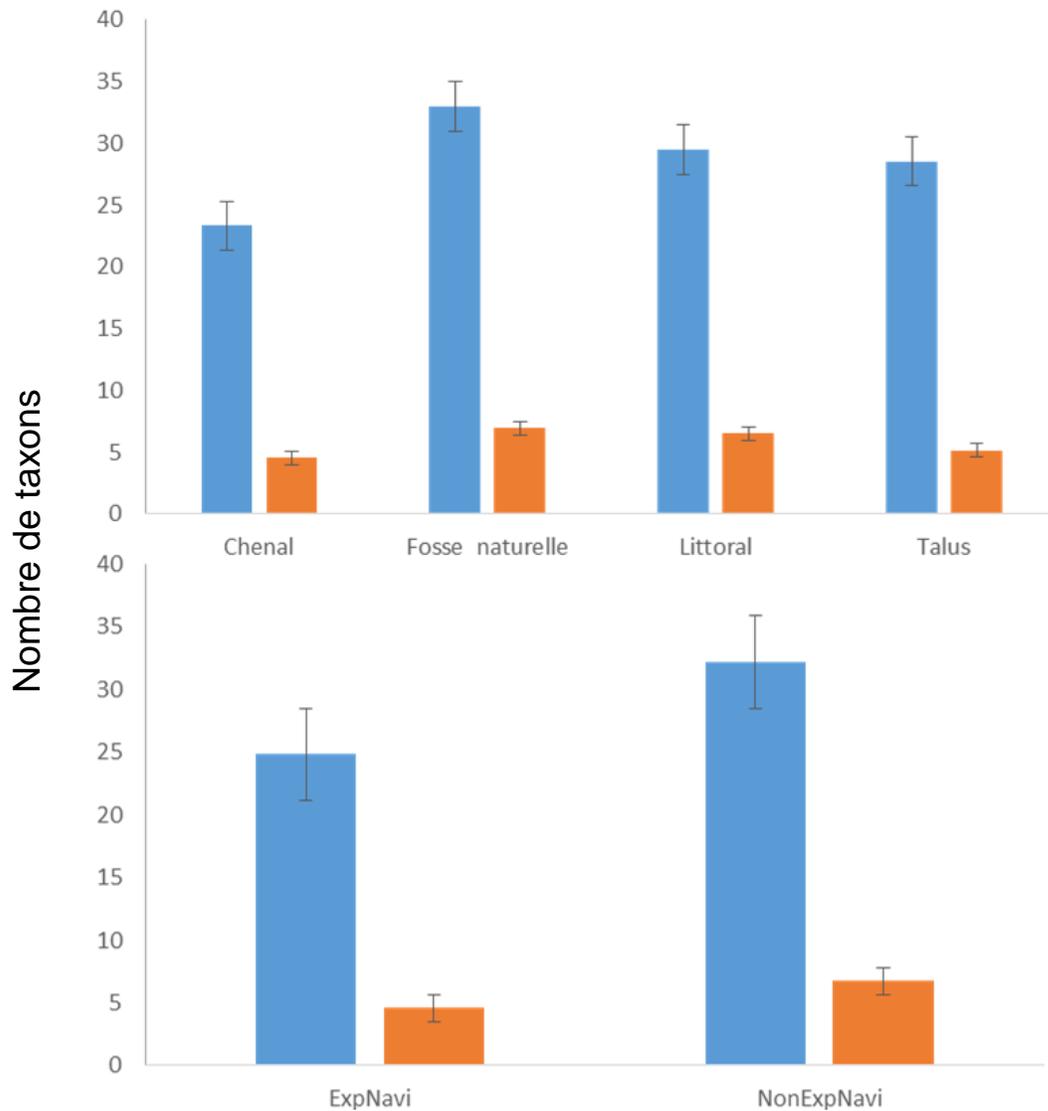
Il en ressort que la technique utilisant l'ADNe a identifié 79 espèces de poissons d'eau douce dans 61 stations, contre 49 avec le chalut de fond (voir l'analyse descriptive plus tôt dans le document). L'ADNe dénombre systématiquement plus d'espèces que le chalut, avec une moyenne par station de 27,6 espèces pour l'ADNe et de 5,8 pour le chalut (en juillet 2018) (figure 31) et de 7,7 pour toutes les missions de chalutage. Pour les stations échantillonnées au chalut, un maximum de 17 espèces avaient été capturées en juillet 2018 à la station 82 dans une fosse naturelle du secteur de Contrecœur, alors que l'ADN de 47 espèces y était détecté. Un nombre d'espèces  $\geq 40$  a aussi été détecté à proximité des embouchures des rivières des Prairies et Richelieu.

Les richesses spécifiques ont été comparées par grands types d'habitats et aussi par milieux exposés et non exposés aux activités maritimes (figure 32). Même si le nombre d'espèces identifiées par les deux techniques diffère, les deux portraits mettent en évidence les mêmes tendances, à savoir que les fosses profondes et les milieux non exposés présentent les diversités les plus élevées, au contraire du chenal de navigation et des milieux exposés aux activités maritimes.

Les espèces détectées avec l'ADNe qui n'ont pas été capturées au chalut sont les suivantes : bar blanc – MOCH, carassin commun – CAAU, carpe de roseau – CTID, chabot – COBA, chevalier cuivré – MOHU, chevalier de rivière – MOCA, chevalier jaune – MOVA, cisco – COAR, crapet arlequin – LEMA, crayon d'argent – LASI, dard à ventre jaune – ETEX, dard barré – ETFL, dard de sable – AMPE, épine à cinq épines – CUIN, esturgeon noir – ACOX, fondule barré – FUDI, laquaiche aux yeux d'or – HIAL, méné à menton noir – NOHE, méné à queue tachée – NOHU, méné à tête rose – NORU, méné à ventre rouge – CHEO, méné bleu – CYSP, méné d'herbe – NOBI, mulot à cornes – SEAT, naseux des rapides – RHCA, poisson rouge – CAAU, poisson-castor – AMCA, poulamon – MITO, raseaux-de-terre noir – ETNI, saumon atlantique – SASA, saumon chinook – ONTS, tête de boule – PIPR, truite arc-en-ciel – ONMY, truite brune – SATR, truite mouchetée – SAFO, ombre de vase – UMLI.



**Figure 31.** Nombre de taxons obtenus à l'aide des analyses d'ADNe et au chalut en juillet 2018.



**Figure 32.** Comparaison des nombres de taxons obtenus à l'aide des analyses d'ADNe (bleu) et des traits de chalut (orange) pour les stations visitées uniquement en juillet 2018 : a) pour les quatre types habitats soit le chenal (n = 22), les fosses naturelles (n = 14), le littoral (n = 2) et le talus (n = 15); et b) pour les milieux exposés (n = 33) ou non exposés aux activités maritimes (n = 20).

En outre, c'est aux stations 99 et 102, proches de l'embouchure de la rivière des Prairies, qu'il y a eu détection d'ADN de carpe de roseau (*Ctenopharyngodon idella*) (figure 33). De la même façon, l'ADN de plusieurs espèces absentes des captures au chalut a été détecté tel que celui de l'esturgeon noir, du chevalier de rivière, du chevalier cuivré, du méné d'herbe, du bar blanc, du dard de sable, du fouille-roche gris, et pour lesquelles une indication de la concentration des molécules d'ADN (1-500 et > 500 séquences d'ADN produites lors de l'analyse) a été fournie à titre indicatif (figure 33).

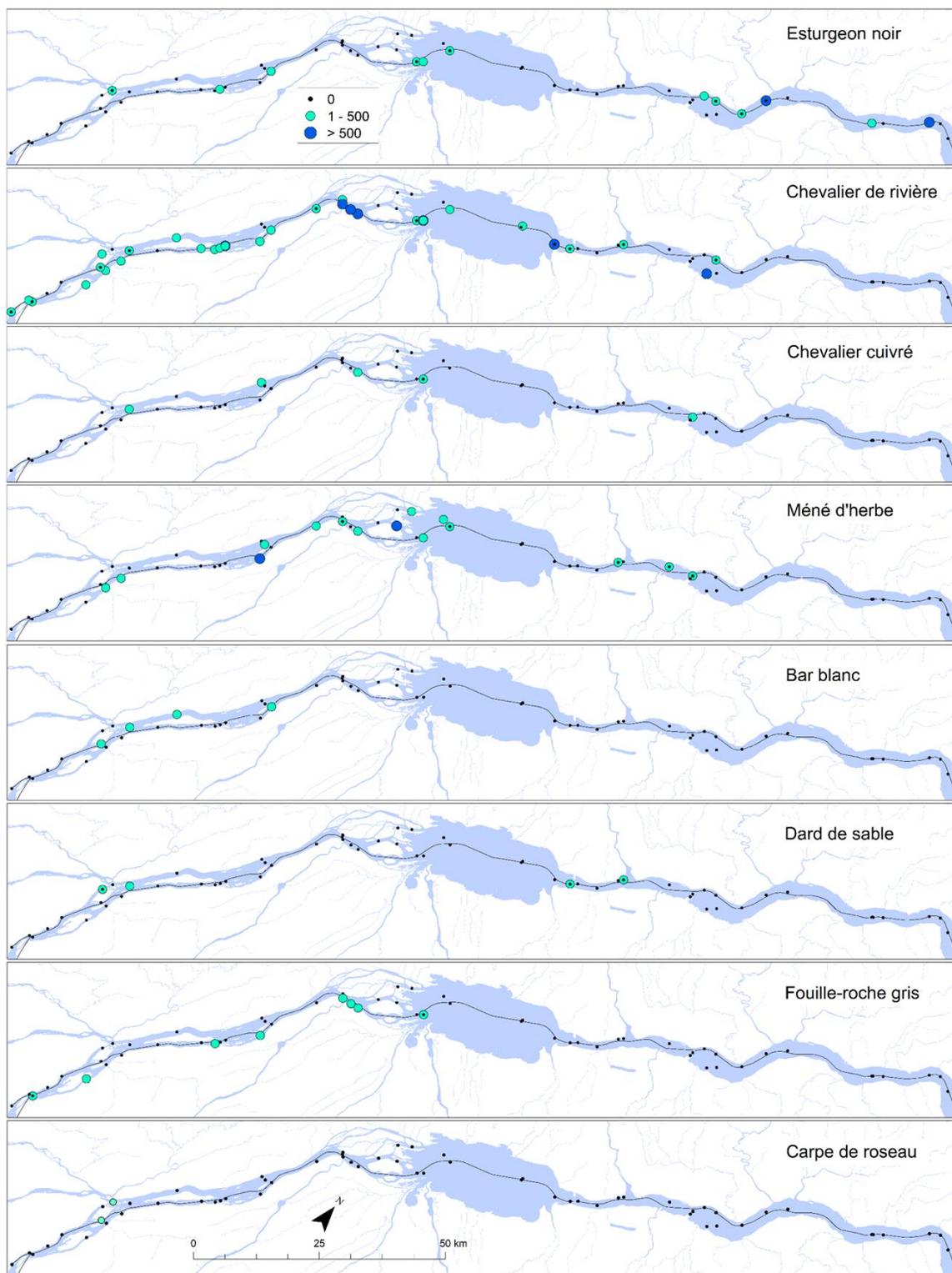
Dans le cas de l'esturgeon noir, on remarque que les concentrations les plus fortes apparaissent dans l'estuaire fluvial, un secteur particulièrement fréquenté durant la fraie et dont la période coïncide avec les dates de la mission de 2018 (Lesmerises et Pierre, 2018). L'ADN d'esturgeon noir a aussi été détecté en amont jusqu'à la confluence de la rivière des Prairies (Repentigny), en amont des observations par télémétrie rapportées dans le secteur de Sorel faites en 2013 (Verreault comm. pers.) et celles faites au lac Saint-Pierre rapportées par Lesmerises et Pierre (2018).

Le chevalier de rivière, qui est comptabilisé de façon anecdotique dans les filets du RSI (deux occurrences au lac des Deux Montagnes en 2010 et une occurrence dans le secteur Montréal-Sorel en 2015, sur plus de 2200 filets installés durant la période 1995-2018), a été détecté dans plus de 30 stations entre Montréal et Bécancour, avec des concentrations d'ADN particulièrement élevées dans le secteur de Sorel, à l'exutoire du lac Saint-Pierre et en aval de Bécancour.

Le chevalier cuivré, qui n'a été détecté qu'une seule fois dans un filet du RSI (archipel du lac Saint-Pierre en 2015) a été trouvé dans cinq stations réparties entre Repentigny et Bécancour. À notre connaissance, l'observation faite à Bécancour est celle qui est localisée la plus en aval dans le système Saint-Laurent.

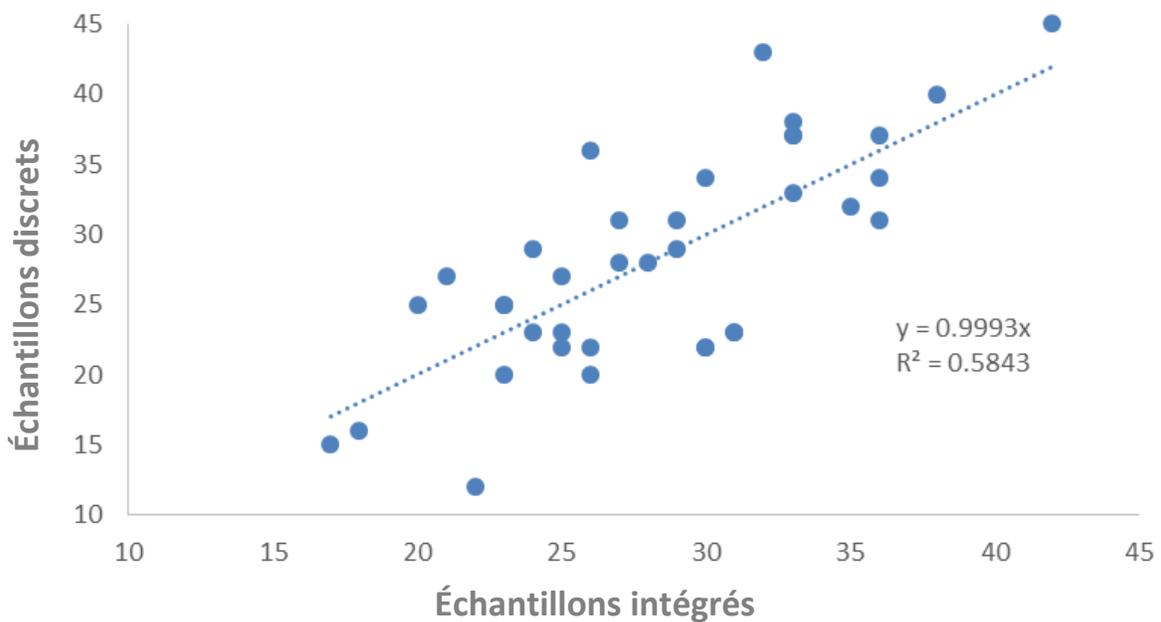
Le bar blanc, qui n'avait jamais été répertorié par le RSI, a été trouvé dans quatre stations entre Varennes et Contrecoeur.

Le méné d'herbe, le dard de sable et le fouille-roche gris, tous les trois des espèces en situation précaire, ont été détectés lors de la mission de 2018 dans différents secteurs entre les ports de Montréal et de Bécancour.



**Figure 33.** Détection de l'ADN de plusieurs espèces absentes des captures au chalut. Une indication de la concentration des molécules d'ADN (1-500 et > 500) est fournie pour l'esturgeon noir, le chevalier de rivière, le chevalier cuivré, le méné d'herbe, le bar blanc, le dard de sable et le fouille-roche gris. L'ADN de carpe de roseau, *Ctenopharyngodon idella*, a aussi été détectée aux stations 99 et 102, près de l'embouchure de la rivière des Prairies.

Bien que la technique utilisant l'ADNe semble efficace pour détecter les espèces, il apparaît cependant que la cartographie des foyers de diversité répertoriés par cette technique ne répond pas à la même logique spatiale que celle du chalut (figure 31). Cela se traduit notamment par l'absence de relation entre les richesses spécifiques déterminées pour chaque station avec l'ADNe et le chalut (relation non présentée,  $R^2 = 0,01$ ). De plus, la relation entre les richesses obtenues aux mêmes stations à l'aide des échantillons d'eau discrets et intégrés, bien que significative, révèle une variabilité importante, peut-être en partie liée à de la contamination (figure 34).



**Figure 34.** Relation et coefficient de détermination entre les richesses obtenues aux mêmes stations à l'aide des échantillons d'eau discrets et intégrés.

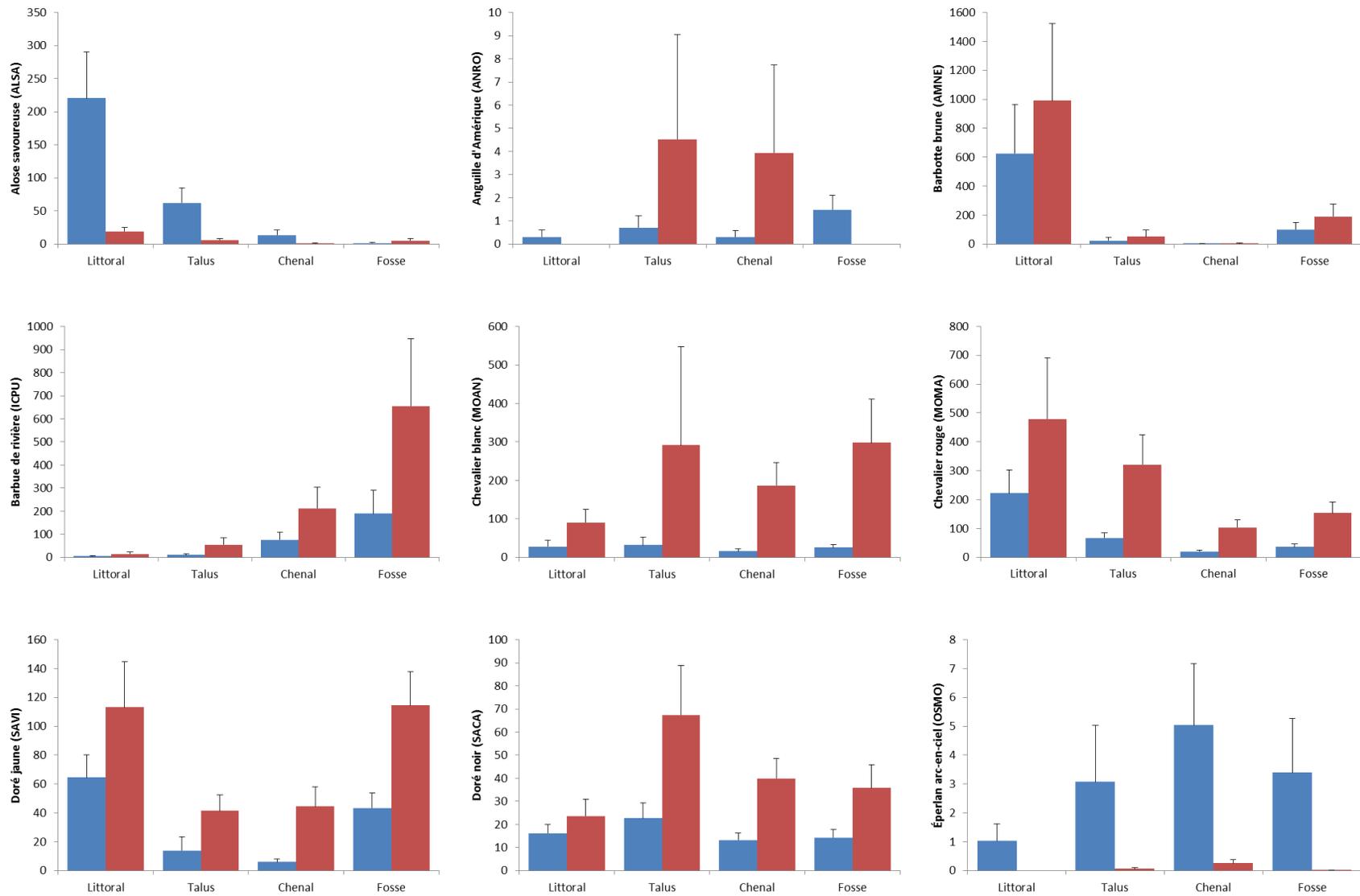
À titre anecdotique, l'analyse par ADNe de l'eau provenant de l'effluent de la Communauté urbaine de Montréal (station 102, figure 1b) a révélé une vingtaine d'espèces de poissons qui font partie de la diète humaine, mais qui n'ont rien en commun avec les eaux douces du Saint-Laurent, telles que le bar européen (*Dicentrarchus labrax*), la morue (*Gadus morhua*), l'akame (*Lates japonicus*), le vivaneau rose (*Lutjanus guttatus*), le vivaneau garance (*Lutjanus peru*), le merlu argenté (*Merluccius bilinearis*), le mullet (*Mugil cephalus*), le saumon rose à bosse (*Oncorhynchus gorbuscha*), le lieu noir (*Pollachius*

*virens*), deux cichlidés (*Pundamilia nyererei* et *Sarotherodon melanotheron*), le sébaste (*Sebastes fasciatus*), le chevesne (*Squalius cephalus*), la dorade (*Sparus aurata*) royale, le spare doré (*Stenotomus chrysops*) et le pompano (*Trachinotus carolinus/ovatus*).

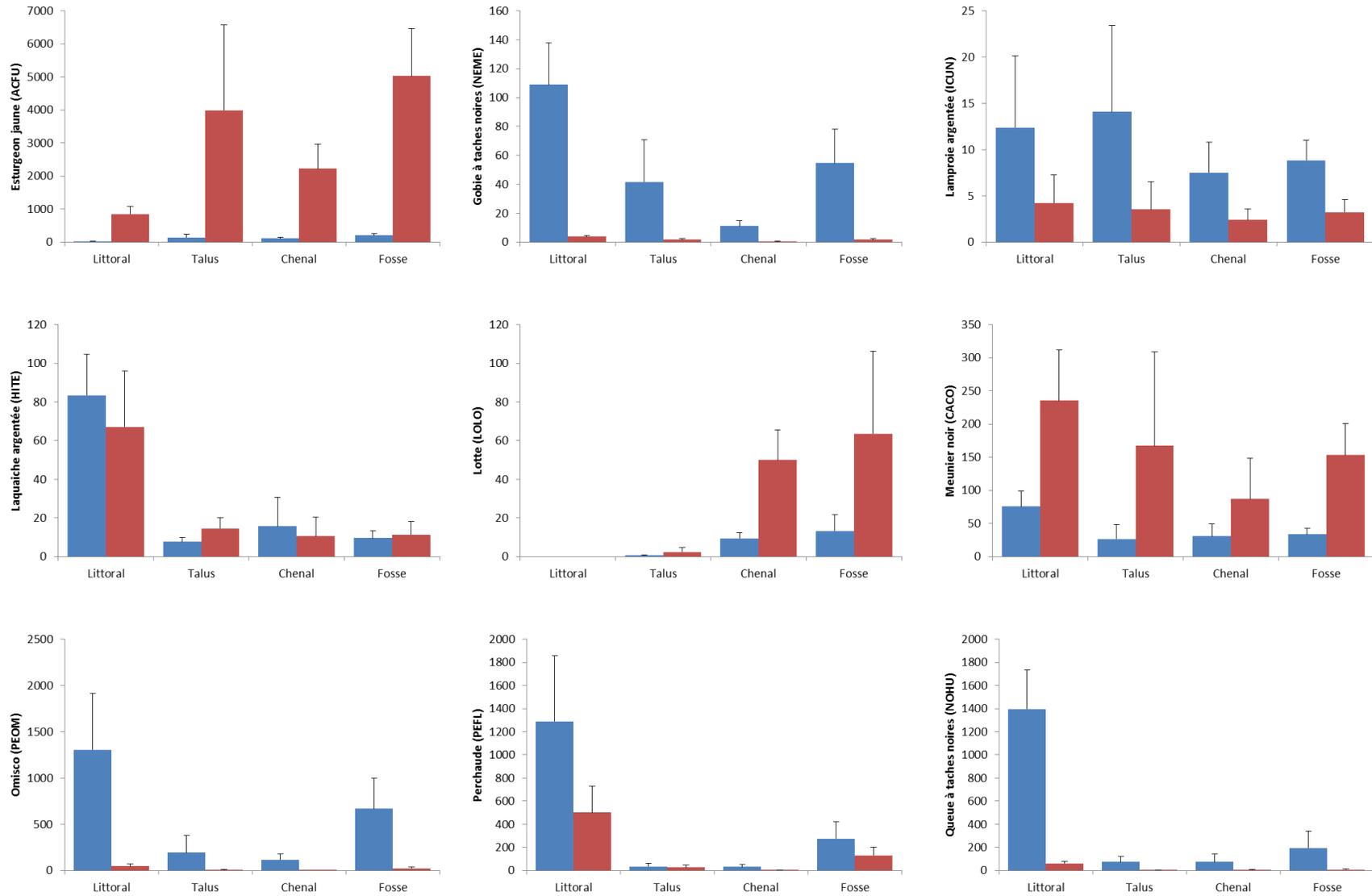
Comme la technique utilisant les molécules d'ADN contenues dans la colonne d'eau est très récente, il y aurait lieu, afin de s'assurer de bien interpréter les résultats, de les croiser avec des mesures du transport induit par la dérive du courant, d'évaluer les vitesses de sédimentation des molécules d'ADN selon les divers états dans lesquels ils se présentent (p. ex. mucus, excréments) et aussi les possibles remises en suspension dans certains secteurs, de comparer leur répartition spatiale, leur diffusion et leur dilution avec celles des masses d'eau, et aussi d'évaluer la propre dégradation des molécules d'ADN dans le temps.

## Description détaillée d'une sélection de 18 espèces

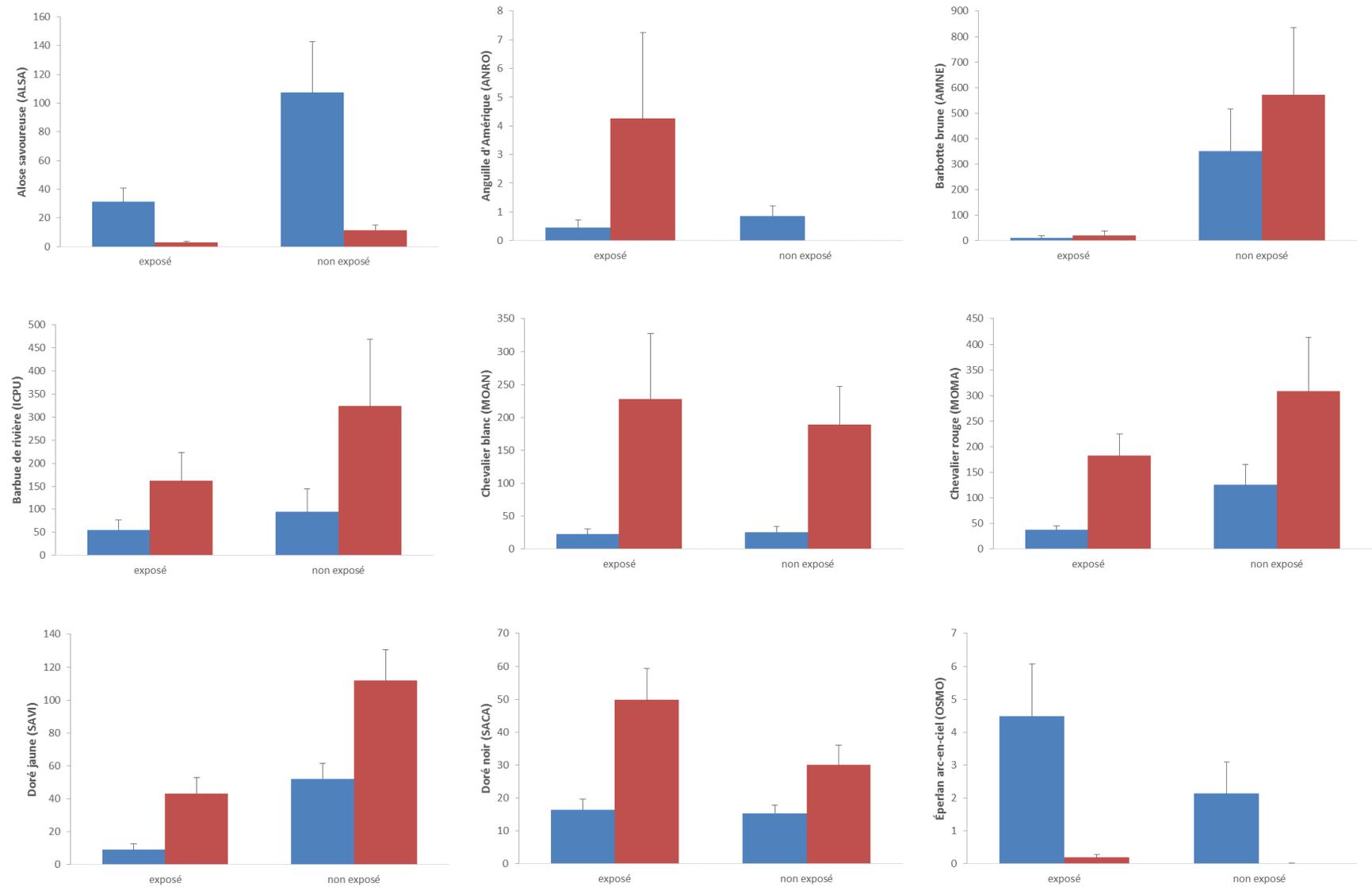
Une description détaillée des abondances (nombre d'individus/trait standardisé) et des biomasses (g/trait standardisé) a été produite pour la sélection des 18 espèces proposées par de la Chenelière et coll. (2015). Les données sont présentées pour les quatre grands types d'habitats (figures 35a et 35b) et ensuite pour les milieux exposés aux activités maritimes ou non exposés (figures 36a et 36b). Le choix des 18 espèces a été fait en fonction des fortes occurrences dans les habitats profonds ou de l'intérêt particulier qu'elles représentent pour la pêche ou la conservation. Ces espèces sont, par ordre alphabétique, l'alse savoureuse (ALSA), l'anguille d'Amérique (ANRO), la barbotte brune (AMNE), le barbue de rivière (ICPU), le chevalier blanc (MOAN), le chevalier rouge (MOMA), le doré jaune (SAVI), le doré noir (SACA), l'éperlan arc-en-ciel (OSMO), l'esturgeon jaune (ACFU), le gobie à taches noires (NEME), la lamproie argentée (ICUN), la laquaiche argentée (HITE), la lotte (LOLO), le meunier noir (CACO), l'omisco (PEOM), la perchaude (PEFL) et le queue à tache noire (NOHU).



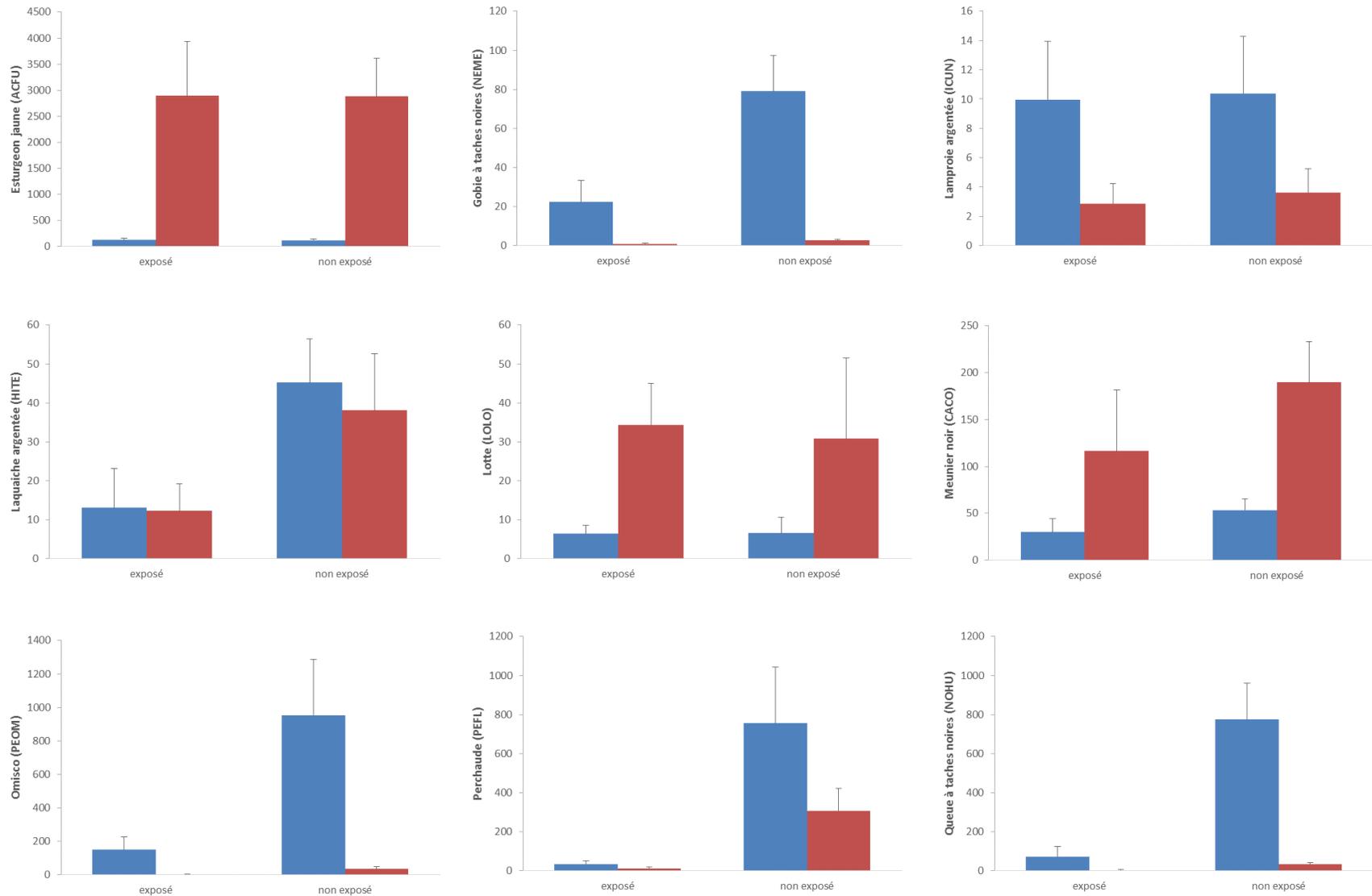
**Figure 35a.** Abondance totale de 18 espèces sélectionnées (bleu, n individus/trait standardisé, moyenne ± erreur type) et biomasse totale (rouge, /trait standardisé, moyenne ± erreur type) par habitat, soit chenal (n = 71), fosses naturelles (n = 43), littoral (n = 43) et talus (n = 38).



**Figure 35b.** Abondance totale de 18 espèces sélectionnées (bleu, n individus/trait standardisé, moyenne ± erreur type) et biomasse totale (rouge, /trait standardisé, moyenne ± erreur type) par habitat, soit chenal (n = 71), fosses naturelles (n = 43), littoral (n = 43) et talus (n = 38).



**Figure 36a.** Abondance totale de 18 espèces sélectionnées (bleu, n individus/trait standardisé, moyenne ± erreur type) et biomasse totale (rouge, /trait standardisé, moyenne ± erreur type) aux sites exposés aux activités maritimes (n = 106) et aux sites non exposés (n = 89).



**Figure 36b.** Abondance totale de 18 espèces sélectionnées (bleu, n individus/trait standardisé, moyenne  $\pm$  erreur type) et biomasse totale (rouge, /trait standardisé, moyenne  $\pm$  erreur type) aux sites exposés aux activités maritimes (n = 106) et aux sites non exposés (n = 89).

## Conclusion

Les premières explorations par chalutage du Saint-Laurent fluvial en 2007, 2008 et 2009 révélèrent que le chenal de navigation n'était pas un « désert faunique ». Elles suggèrent d'approfondir les connaissances concernant les effets des activités maritimes sur les espèces aquatiques et leurs habitats, dans le but plus général de définir une nouvelle cohabitation entre les besoins de la faune aquatique et ceux des activités maritimes.

Depuis 2007, les opérations de chalutage dans les eaux douces du Saint-Laurent ont permis d'échantillonner des milieux profonds, parcourus ou non par le trafic maritime, qui n'avaient jusque-là jamais été caractérisés. Le présent rapport expose les résultats de la mission effectuée en 2018 et analyse sous divers angles l'ensemble des missions de chalutage effectuées depuis 2007 par le MFFP dans les eaux douces du Saint-Laurent.

Les biomasses, absentes des traitements jusqu'à présent, ont été reconstituées pour toutes les missions et comparées aux données d'abondance relative. L'esturgeon jaune est sans contredit l'espèce dominante dans les habitats profonds, en fréquence et en biomasse. Suivent les chevaliers rouge et blanc, ensuite le barbeau de rivière et de nombreuses autres espèces. Du point de vue de l'abondance, c'est l'omisco que l'on trouve en plus grand nombre dans le chalut, quel que soit le type d'habitat.

Parmi les milieux profonds, les fosses sont les plus riches en diversité et en biomasse, comparativement au chenal et au talus. Les milieux exposés aux activités maritimes sont ceux qui présentent les indices les plus faibles en matière de diversité et d'abondance, comparativement aux milieux non exposés. Le littoral abrite manifestement les communautés de poissons les plus diversifiées, mais pas la plus grande biomasse, que l'on trouve dans les fosses. Comme l'effort d'échantillonnage sur le littoral varie largement d'une mission à l'autre (p. ex., 27 stations en 2007 et 2 en 2018), il faut rester prudent dans l'analyse quant aux effets de la période et de l'habitat.

L'analyse statistique des cinq missions (abondance et biomasse) a révélé plusieurs assemblages de poissons significativement différents, dont la composition est influencée par la période de l'échantillonnage, le type d'habitat et l'exposition aux activités maritimes. Pour mieux comprendre l'écologie et la formation de ces assemblages de poissons, il y aurait lieu de réviser les quatre grandes catégories d'habitats utilisés dans de la Chenelière et coll. (2015; chenal, talus, fosses et littoral), d'ajouter de nouvelles variables

caractérisant les habitats ou reflétant des pressions afin de déterminer les autres facteurs responsables de ces assemblages et d'en évaluer la colinéarité (p. ex., masses d'eau, vitesse du courant, sédiment, densité ou type d'herbier, bruit, fréquence ou intensité du dragage, intensité ou proximité du trafic maritime), et retourner sur le terrain avec une stratégie qui équilibrerait les efforts d'échantillonnage en fonction de ces variables.

La technique utilisant l'ADNe est très sensible, puisqu'elle a détecté 79 espèces lors de la mission 2018, alors que le chalut en avait capturé 49. Parmi les détections remarquées, on note la carpe de roseau et l'esturgeon noir, des espèces marginales dans le RSI (chevalier de rivière et chevalier cuivré) ou absente (bar blanc), des espèces en situation précaire (ménés d'herbe, dard de sable et fouille-roche gris), et enfin une vingtaine d'espèces de poissons de consommation humaine dans l'effluent de la Communauté urbaine de Montréal. Les deux portraits mettent en évidence que les fosses profondes et les milieux non exposés présentent les diversités les plus élevées, au contraire du chenal de navigation et des milieux exposés aux activités maritimes. Cependant, la cartographie des foyers de diversité à partir de l'ADNe ne répond pas à la même logique spatiale que celle du chalut et suggère de poursuivre les recherches afin de raffiner cette méthode prometteuse et de s'assurer de bien interpréter les résultats.

L'évaluation des effets des activités maritimes sur les poissons commandera d'acquiescer de nouvelles connaissances sur les rôles fonctionnels que les habitats profonds du Saint-Laurent, exposés et non exposés, jouent en matière de refuge, de migration, de croissance, d'alimentation et de reproduction. Il faudra aussi s'assurer que les activités maritimes ne compromettent pas la connectivité des habitats de vie. Parmi les pistes à explorer, il serait pertinent de poursuivre la caractérisation des milieux profonds exposés et non exposés aux activités maritimes à l'aide du chalutage, de l'ADNe, de la courantométrie hydroacoustique, des échosondages non invasifs pour visualiser des poissons de grandes tailles (p. ex., *sidescan*) et de les enrichir avec des expériences de télémétrie et une caractérisation de l'environnement sonore afin d'évaluer si les poissons évitent de fréquenter ou pas les zones exposées aux activités maritimes. Enfin, pour disposer d'un état de référence solide indispensable à l'étude des effets cumulatifs des activités maritimes, il serait pertinent de reconstituer un modèle numérique de terrain représentant le Saint-Laurent avant le creusage du chenal (vers 1844) entre Montréal et Québec, et d'évaluer les modifications des habitats profonds et peu profonds dans cette portion du système.

## Références

- ANDERSON, M. J. (2001). "A new method for non-parametric multivariate analysis of variance", *Austral Ecology*, 26: 32-46.
- CHION, C., G. CANTIN, S. DIONNE, B. DUBEAU, P. LAMONTAGNE, J. A. LANDRY, D. MARCEAU, C. C. A. MARTINS, R. MICHAUD, L. PARROTT et S. TURGEON (2013). "Spatiotemporal modelling for policy analysis: Application to sustainable management of whale-watching activities", *Marine policy*, (38), p. 151-162. doi.org/10.1016/j.marpol.2012.05.031.
- CGVMSL (CORPORATION DE GESTION DE LA VOIE MARITIME DU SAINT-LAURENT) (2015). *La Voie maritime : Écluses, canaux et chenaux* [En ligne] [<http://greatlakes-seaway.com/fr/voie-maritime/ecluses/index.html>] (Consulté le 14-05-2019).
- CLARKE, K. R. et R. M. WARWICK (2001). *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*, 2<sup>nd</sup> edition, PRIMER-E, Plymouth, UK.
- CLARKE, K. R. et R. N. GORLEY (2006). *PRIMER v6: User Manual/Tutorial*, PRIMER-E, Plymouth, UK, 190 p.
- CÔTÉ, J.-P. et J. MORIN (2007a). *Principales interventions humaines survenues dans le fleuve Saint-Laurent 1844-1907*, Rapport technique SMC Québec-Section Hydrologie RT-140, Environnement Canada, Sainte-Foy, 129 p.
- CÔTÉ, J.-P. et J. MORIN (2007b). *Principales interventions humaines survenues dans le fleuve Saint-Laurent entre Montréal et Québec au 20<sup>e</sup> siècle : 1907-2005*, Rapport technique SMC Québec-Section Hydrologie RT-141, Environnement Canada, Sainte-Foy, 65 p.
- D'ARCY, P. et J. BIBEALULT (2004). *Stratégie de navigation durable pour le Saint-Laurent*, Saint-Laurent Vision 2000, 114 p.
- DAUPHIN, D. (2000). *Influence de la navigation commerciale et de la navigation de plaisance sur l'érosion des rives du Saint-Laurent dans le tronçon Cornwall-Montmagny*, Service du transport maritime, Transports Québec, 221 p.
- DE LA CHENELIÈRE, V., Y. PARADIS, G. RICHARD, F. LECOMTE et M. MINGELBIER (2015). *Les poissons du chenal de navigation et des autres habitats profonds du fleuve Saint-Laurent*, Direction de la faune aquatique, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, 70 p.
- DETTMERS, J. M., D. H. WAHL, D. A. SOLUK et S. GUTEUTER (2001). "Life in the fast lane: fish and foodweb structure in the main channel of large rivers", *Journal of the North American Benthological Society*, 20(2): 255-265.
- FOUBERT A., C. LE PICHON, M. MINGELBIER, J. FARRELL, J. MORIN et F. LECOMTE (2018). "Modeling the effective spawning and nursery habitats of northern pike within a large spatiotemporally variable river landscape (St. Lawrence River, Canada)", *Limnol. Oceanogr.*, 64, p. 803-819, doi: 10.1002/lno.11075.
- FLOWERS J. H. et J. E. HIGHTOWER (2013). "A Novel Approach to Surveying Sturgeon Using Side-Scan Sonar and Occupancy Modeling", *Marine and Coastal Fisheries*, 5:1, 211-223, DOI: 10.1080/19425120.2013.816396.

- LABRECQUE, B. (1994). *Analyse des zéros des cartes et des lignes des hautes eaux utilisés sur le fleuve Saint-Laurent entre Montréal et le lac Saint-Pierre*, ministère des Pêches et des Océans, Service hydrographique du Canada, Région du Québec, Mont-Joli, 26 p.
- LESMERISES, F. et A. PIERRE (2018). *Caractérisation des déplacements des esturgeons noirs (Acipenser oxyrinchus oxyrinchus) reproducteurs dans l'estuaire du fleuve Saint-Laurent*, rapport scientifique présenté au ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Rimouski (Québec), 24 p. + 4 annexes.
- MARTIN, S., O. CHAMPOUX et J. MORIN (2016). *Modélisation des masses d'eau du fleuve Saint-Laurent au lac Saint-Pierre en support au suivi de la qualité de l'eau*, Note technique NT-118, Service météorologique du Canada, Environnement et Changement climatique Canada, Québec, 30 p.
- MASSÉ, G. et J.-R. MONGEAU (1976). *Influence de la navigation maritime sur la répartition géographique et l'abondance relative des poissons du fleuve Saint-Laurent entre Longueuil et Sorel*, ministère du Tourisme, de la Chasse et de la Pêche, Service de l'aménagement de la faune, District de Montréal, Québec, 41 p.
- McARDLE B. H. et M. J. ANDERSON (2001). "Fitting multivariate models to community data: a comment on distance-based redundancy analysis", *Ecology*, 82, 290-297
- MINGELBIER, M., P. BRODEUR et J. MORIN (2005). *Recommendations concerning fish and their habitats in the fluvial St. Lawrence and evaluation of the regulation criteria for the Lake Ontario – St. Lawrence River system*, Report presented to the International Joint Commission, Ministry of Natural Resources and Wildlife, Department of Wildlife Research, 141 p.
- MINGELBIER, M., Y. PARADIS, P. BRODEUR, V. DE LA CHENELIÈRE, F. LECOMTE, D. HATIN et G. VERREAULT (2016). « Gestion des poissons d'eau douce et migrateurs dans le Saint-Laurent : mandats, enjeux et perspectives », *Le Naturaliste canadien*, 140 (2), p. 74-90.
- MINGELBIER, M., Y. REYJOL, P. DUMONT, Y. MAILHOT, P. BRODEUR, D. DESCHAMPS et C. CÔTÉ (2008). *Les communautés de poissons d'eau douce dans le Saint-Laurent*, 2<sup>e</sup> édition, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 8 p. [En ligne] [[http://planstlaurent.qc.ca/fileadmin/publications/fiches\\_indicateurs/commu\\_poissons\\_2008\\_f.pdf](http://planstlaurent.qc.ca/fileadmin/publications/fiches_indicateurs/commu_poissons_2008_f.pdf)].
- MORIN, J. et A. BOUCHARD (2000). *Les bases de la modélisation du tronçon Montréal/Trois-Rivières*, Rapport scientifique SMC-Hydrométrie RS-100, Environnement Canada, Sainte-Foy, 56 p.
- MORIN, J., M. MINGELBIER, J. A. BECHARA, O. CHAMPOUX, Y. SECRETAN, M. JEAN et J.-J. FRENETTE (2003). "Emergence of New Explanatory Variables for 2D Habitat Modelling in Large Rivers: The St. Lawrence Experience", *Canadian Water Resources Journal*, Vol. 28(2): 249-272.
- MORIN, J., O. CHAMPOUX, S. MARTIN et K. TURGEON (2005). *Modélisation intégrée de la réponse de l'écosystème dans le fleuve Saint-Laurent : Rapport final des activités entreprises dans le cadre du Plan d'étude sur la régularisation du lac Ontario et du fleuve Saint-Laurent*, Rapport scientifique SMC Québec-Section Hydrologie RS-108, Environnement Canada, Sainte-Foy, préparé pour le Groupe

- de travail technique sur l'environnement du Groupe d'étude international sur le lac Ontario et le fleuve Saint-Laurent (Commission mixte internationale), 139 p.
- PILCHER, M. W., G. H. COPP et VALERIA SZOMOLAI (2004). "A comparison of adjacent natural and channelized stretches of a lowland river", *Biologia, Bratislava*, 59(5): 669-673.
- QUINN, G. P. et M. J. KEOUGH (2002). *Experimental design and data analysis for biologists*, Cambridge University Press, Cambridge, 560 p.
- VILLENEUVE, S. (2001). « Les répercussions environnementales de la navigation commerciale sur le Saint-Laurent », *Le Naturaliste canadien*, 125(2): 49-67.
- WEILGART, L. (2018). *The impact of ocean noise pollution on fish and invertebrates*, Report for OceanCare, Switzerland, 34 p.
- WOLTER, C. et R. ARLINGHAUS (2003). "Navigation impacts on freshwater fish assemblages: the ecological relevance of swimming performance", *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 13(1): 63-89.
- WYSOCKI, L. E., J. P. DITTAMI et F. LADICH (2006). "Ship noise and cortisol secretion in European freshwater fishes", *Biological Conservation*, 128: 501-508.

# Annexe 1

## Liste des poissons détectés au chalut de 2007 à 2018, et avec l'ADNe seulement en 2018.

<b>CODES</b>	<b>NOM FRANÇAIS</b>	<b>GENRE</b>	<b>ESPÈCE</b>	<b>Chalut</b>	<b>ADNe</b>
ACFU	esturgeon jaune	<i>Acipenser</i>	<i>fulvescens</i>	Oui	Oui
ACOX	esturgeon noir	<i>Acipenser</i>	<i>oxyrinchus</i>	-	Oui
ACSP	esturgeon sp.	<i>Acipenser</i>	sp.	-	-
ALAE	alose d'été	<i>Alosa</i>	<i>aestivalis</i>	-	-
ALPS	gaspareau	<i>Alosa</i>	<i>pseudoharengus</i>	Oui	Oui
ALSA	alose savoureuse	<i>Alosa</i>	<i>sapidissima</i>	Oui	Oui
ALSP	alose sp.	<i>Alosa</i>	sp.	-	-
AMCA	poisson-castor	<i>Amia</i>	<i>calva</i>	-	Oui
AMNA	barbotte jaune	<i>Ameiurus</i>	<i>natalis</i>	-	-
AMNE	barbotte brune	<i>Ameiurus</i>	<i>nebulosus</i>	Oui	Oui
AMPE	dard de sable	<i>Ammocrypta</i>	<i>pellucida</i>	-	Oui
AMRU	crapet de roche	<i>Ambloplites</i>	<i>rupestris</i>	Oui	Oui
ANRO	anguille d'Amérique	<i>Anguilla</i>	<i>rostrata</i>	Oui	Oui
APGR	malachigan	<i>Aplodinotus</i>	<i>grunniens</i>	Oui	Oui
APQU	épine à quatre épines	<i>Apeltes</i>	<i>quadracus</i>	-	-
CAAU	carassin	<i>Carassius</i>	<i>auratus</i>	-	Oui
CACA	meunier rouge	<i>Catostomus</i>	<i>catostomus</i>	Oui	Oui
CACO	meunier noir	<i>Catostomus</i>	<i>commersonii</i>	Oui	Oui
CACY	couette	<i>Carpodes</i>	<i>cyprinus</i>	Oui	Oui
CASP	meunier sp.	<i>Catostomus</i>	sp.	-	-
CATO	catostomidés	---	---	-	-
COAR	cisco de lac	<i>Coregonus</i>	<i>artedi</i>	-	Oui
COBA	chabot tacheté	<i>Cottus</i>	<i>bairdii</i>	-	Oui
COCL	grand corégone	<i>Coregonus</i>	<i>clupeaformis</i>	Oui	-
COCO	chabot visqueux	<i>Cottus</i>	<i>cognatus</i>	-	-
COPL	méné de lac	<i>Couesius</i>	<i>plumbeus</i>	-	-
CORI	chabot à tête plate	<i>Cottus</i>	<i>ricei</i>	-	-
COTT	cottidés	---	---	-	-
CUIN	épine à cinq épines	<i>Culaea</i>	<i>inconstans</i>	-	Oui
CYCA	carpe	<i>Cyprinus</i>	<i>carpio</i>	Oui	Oui
CYPR	cyprinidés	---	---	-	-
CYSI	méné bleu	<i>Cyprinella</i>	<i>spiloptera</i>	-	Oui
DOCE	alose à gésier	<i>Dorosoma</i>	<i>cepedianum</i>	-	-
ESAM	brochet d'Amérique	<i>Esox</i>	<i>americanus a.</i>	-	-
ESLU	grand brochet	<i>Esox</i>	<i>lucius</i>	Oui	Oui
ESMA	maskinongé	<i>Esox</i>	<i>masquinongy</i>	Oui	Oui
ESNI	brochet maillé	<i>Esox</i>	<i>niger</i>	-	-
ESSP	---	<i>Esox</i>	sp.	-	-
ESVE	brochet vermiculé	<i>Esox</i>	<i>americanus v.</i>	-	-
ETCA	dard arc-en-ciel	<i>Etheostoma</i>	<i>caeruleum</i>	-	-
ETEX	dard à ventre jaune	<i>Etheostoma</i>	<i>exile</i>	-	Oui
ETFL	dard barré	<i>Etheostoma</i>	<i>flabellare</i>	-	Oui

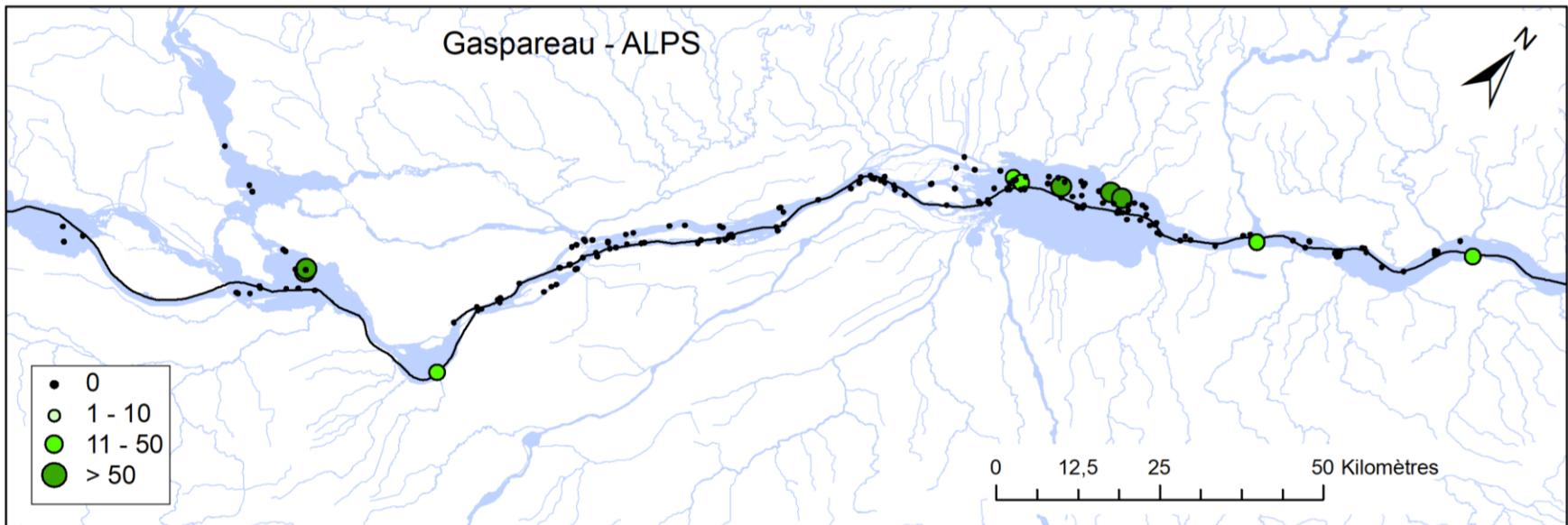
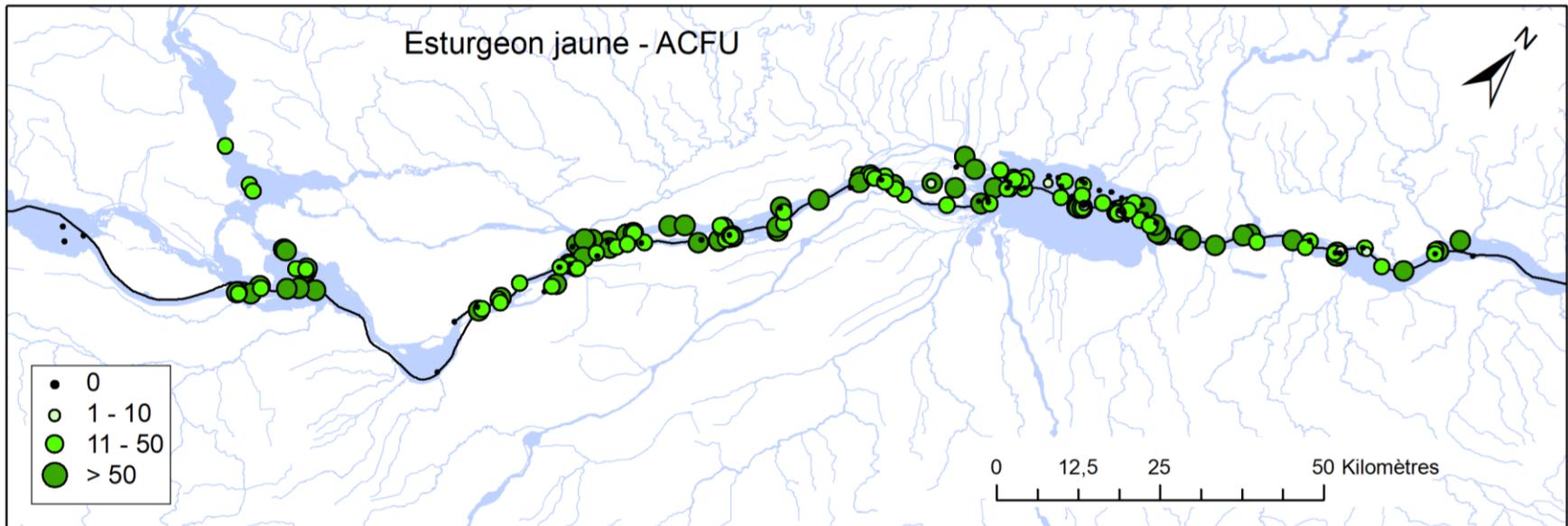
ETNI	raseux-de-terre noir	<i>Etheostoma</i>	<i>nigrum</i>	-	Oui
ETNO	raseux-de-terre n. ou gris	<i>Etheostoma</i>	<i>nigrum ou olm.</i>	Oui	-
ETOL	raseux-de-terre gris	<i>Etheostoma</i>	<i>olmstedii</i>	Oui	Oui
EXMA	bec-de-lièvre	<i>Exoglossum</i>	<i>maxillingua</i>	-	-
FUDI	fondule barré	<i>Fundulus</i>	<i>diaphanus</i>	-	Oui
FUHE	choquemort	<i>Fundulus</i>	<i>heteroclitus</i>	-	-
GAAC	épinoche à trois épines	<i>Gasterosteus</i>	<i>aculeatus</i>	-	-
GAWH	épinoche tachetée	<i>Gasterosteus</i>	<i>wheatlandi</i>	-	-
HAL	laquaiche aux yeux d'or	<i>Hiodon</i>	<i>alosoides</i>	-	Oui
HITE	laquaiche argentée	<i>Hiodon</i>	<i>tergisus</i>	Oui	Oui
HYHA	méné laiton	<i>Hybognathus</i>	<i>hankinsoni</i>	-	-
HYRE	méné d'argent	<i>Hybognathus</i>	<i>regius</i>	Oui	Oui
HYSP	méné laiton ou d'argent	<i>Hybognathus</i>	sp.	-	-
ICCA	lamproie brune	<i>Ichthyomyzon</i>	<i>castaneus</i>	Oui	-
ICFO	lamproie du nord	<i>Ichthyomyzon</i>	<i>fossor</i>	-	-
ICPU	barbue de rivière	<i>Ictalurus</i>	<i>punctatus</i>	Oui	Oui
ICUN	lamproie argentée	<i>Ichthyomyzon</i>	<i>unicuspis</i>	Oui	Oui
LAAP	lamproie de l'est	<i>Lampetra</i>	<i>appendix</i>	-	-
LASI	crayon d'argent	<i>Labidesthes</i>	<i>sicculus</i>	-	Oui
LEGI	crapet-soleil	<i>Lepomis</i>	<i>gibbosus</i>	Oui	Oui
LEMA	crapet arlequin	<i>Lepomis</i>	<i>macrochirus</i>	-	Oui
LEME	crapet à longues oreilles	<i>Lepomis</i>	<i>megalotis</i>	-	-
LEOS	lépisosté osseux	<i>Lepisosteus</i>	<i>osseus</i>	Oui	Oui
LESP	---	<i>Lepomis</i>	sp.	-	-
LOLO	lotte	<i>Lota</i>	<i>lota</i>	Oui	Oui
LUCO	méné à nag.rouges	<i>Luxilus</i>	<i>cornutus</i>	-	-
MAMA	mulet perlé	<i>Margariscus</i>	<i>margarita</i>	-	-
MIDO	achigan à petite bouche	<i>Micropterus</i>	<i>dolomieu</i>	Oui	Oui
MISA	achigan à g. bouche	<i>Micropterus</i>	<i>salmoides</i>	Oui	Oui
MISP	achigan sp.	<i>Micropterus</i>	sp.	-	-
MITO	poulamon atlantique	<i>Microgadus</i>	<i>tomcod</i>	-	-
MOAM	baret	<i>Morone</i>	<i>americana</i>	Oui	Oui
MOAN	chevalier blanc	<i>Moxostoma</i>	<i>anisurum</i>	Oui	Oui
MOCA	chevalier de rivière	<i>Moxostoma</i>	<i>carinatum</i>	-	Oui
MOCH	bar blanc	<i>Morone</i>	<i>chrysops</i>	-	Oui
MOHU	chevalier cuivré	<i>Moxostoma</i>	<i>hubbsi</i>	-	Oui
MOMA	chevalier rouge	<i>Moxostoma</i>	<i>macrolepidotum</i>	Oui	Oui
MOSA	bar rayé	<i>Morone</i>	<i>saxatilis</i>	Oui	Oui
MOSP	chevalier sp.	<i>Moxostoma</i>	sp.	Oui	-
MOVA	chevalier jaune	<i>Moxostoma</i>	<i>valenciennesi</i>	-	Oui
MYQU	chaboisseau à 4 cornes	<i>Myoxocephalus</i>	<i>quadricornis</i>	-	-
MYTH	chabot de profondeur	<i>Myoxocephalus</i>	<i>thompsonii</i>	-	-
NEME	gobie à taches noires	<i>Neogobius</i>	<i>melanostomus</i>	Oui	Oui
NOAT	méné émeraude	<i>Notropis</i>	<i>atherinoides</i>	Oui	Oui
NOBI	méné d'herbe	<i>Notropis</i>	<i>bifrenatus</i>	-	Oui
NOCR	méné jaune	<i>Notemigonus</i>	<i>crysoleucas</i>	Oui	Oui
NOFL	barbotte des rapides	<i>Noturus</i>	<i>flavus</i>	Oui	Oui
NOGY	chat-fou brun	<i>Noturus</i>	<i>gyrinus</i>	Oui	Oui
NOHD	menton noir	<i>Notropis</i>	<i>heterodon</i>	-	Oui
NOHL	museau noir	<i>Notropis</i>	<i>heterolepis</i>	-	-
NOHU	queue à tache noire	<i>Notropis</i>	<i>hudsonius</i>	Oui	Oui

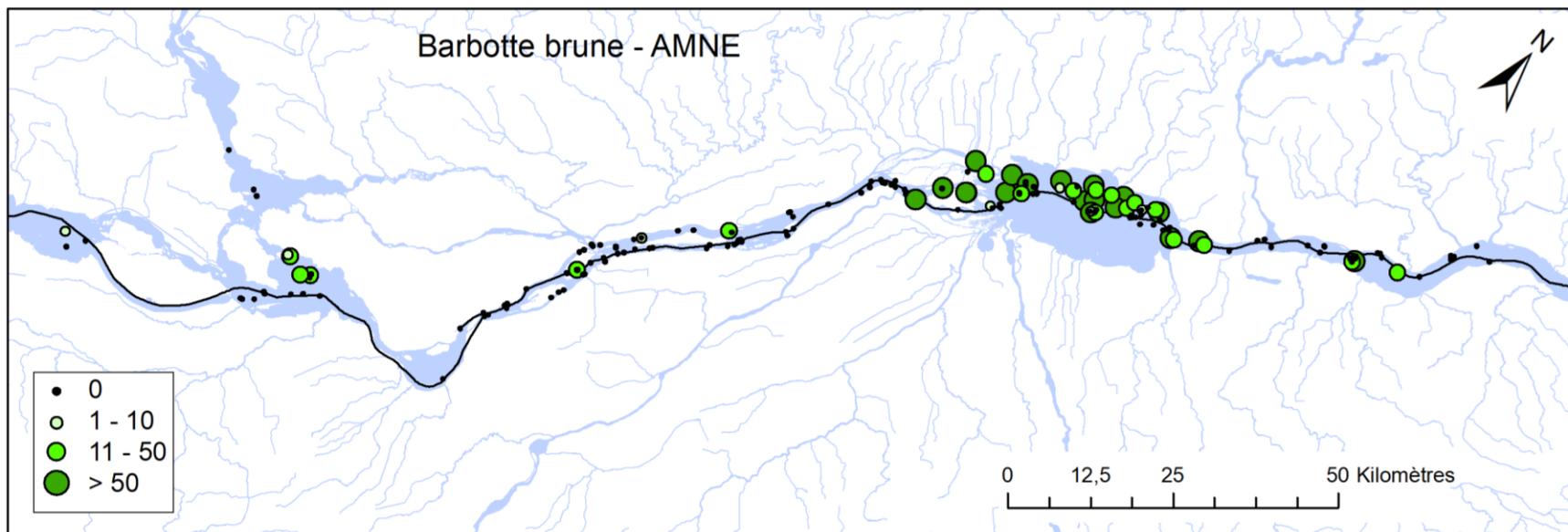
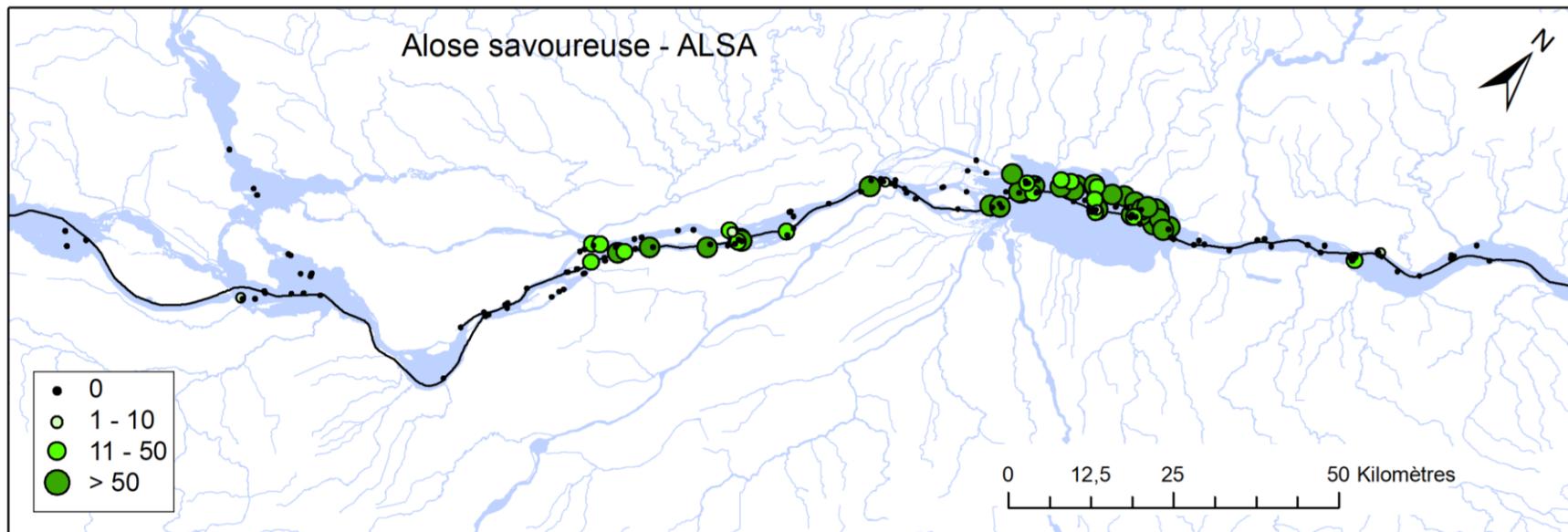
NOIN	chat-fou liséré	<i>Noturus</i>	<i>insignis</i>	-	-
NORU	tête rose	<i>Notropis</i>	<i>rubellus</i>	-	Oui
NOST	méné paille	<i>Notropis</i>	<i>stramineus</i>	-	-
NOSV	méné paille ou pâle	<i>Notropis</i>	<i>stram. ou voll.</i>	-	Oui
NOVO	méné pâle	<i>Notropis</i>	<i>volucellus</i>	Oui	-
NTSP	---	<i>Noturus</i>	sp.	-	-
ONCL	truite fardée	<i>Oncorhynchus</i>	<i>clarkii</i>	-	-
ONKI	saumon coho	<i>Oncorhynchus</i>	<i>kisutch</i>	-	-
ONMY	truite arc-en-ciel	<i>Oncorhynchus</i>	<i>mykiss</i>	-	Oui
ONNE	saumon rouge	<i>Oncorhynchus</i>	<i>nerka</i>	-	-
ONSP	---	<i>Oncorhynchus</i>	sp.	-	-
ONTS	saumon chinook	<i>Oncorhynchus</i>	<i>tshawytscha</i>	-	Oui
OSMO	éperlan arc-en-ciel	<i>Osmerus</i>	<i>mordax</i>	Oui	Oui
PECA	fouille-roche zébré	<i>Percina</i>	<i>caprodes</i>	Oui	Oui
PECO	fouille-roche gris	<i>Percina</i>	<i>copelandi</i>	Oui	Oui
PEFL	perchaude	<i>Perca</i>	<i>flavescens</i>	Oui	Oui
PEMA	lamproie marine	<i>Petromyzon</i>	<i>marinus</i>	-	Oui
PEOM	omisco	<i>Percopsis</i>	<i>omiscomaycus</i>	Oui	Oui
PETR	pétromyzontidés	---	---	-	-
PHEO	ventre rouge du nord	<i>Phoxinus</i>	<i>eos</i>	-	Oui
PHNE	ventre citron	<i>Phoxinus</i>	<i>neogaeus</i>	-	-
PHSP	ventre rouge N. ou citron	<i>Phoxinus</i>	sp.	-	-
PINO	méné à museau arrondi	<i>Pimephales</i>	<i>notatus</i>	Oui	Oui
PIPR	tête-de-boule	<i>Pimephales</i>	<i>promelas</i>	-	Oui
PONI	marigane noire	<i>Pomoxis</i>	<i>nigromaculatus</i>	Oui	Oui
PRCY	ménomini rond	<i>Prosopium</i>	<i>cylindraceum</i>	-	-
PRMA	Gobie à trompe	<i>Proterorhinus</i>	<i>marmoratus</i>	-	-
PUPU	épine à neuf épines	<i>Pungitius</i>	<i>pungitius</i>	-	-
RHAT	naseux noir de l'est	<i>Rhinichthys</i>	<i>atratus</i>	-	-
RHCA	naseux des rapides	<i>Rhinichthys</i>	<i>cataractae</i>	-	Oui
RHSP	naseux sp.	<i>Rhinichthys</i>	sp.	-	-
SAAL	omble chevalier	<i>Salvelinus</i>	<i>alpinus</i>	-	-
SACA	doré noir	<i>Sander</i>	<i>canadensis</i>	Oui	Oui
SAFO	omble de fontaine	<i>Salvelinus</i>	<i>fontinalis</i>	-	Oui
SANA	touladi	<i>Salvelinus</i>	<i>namaycush</i>	-	-
SASA	saumon atlantique	<i>Salmo</i>	<i>salar</i>	-	Oui
SASO	ouananiche	<i>Salmo</i>	<i>salar</i>	-	-
SATR	truite brune	<i>Salmo</i>	<i>trutta</i>	-	Oui
SAVI	doré jaune	<i>Sander</i>	<i>vitreus</i>	Oui	Oui
SCER	gardon rouge	<i>Scardinius</i>	<i>erythrophthalmus</i>	-	-
SEAT	mulet à cornes	<i>Semotilus</i>	<i>atromaculatus</i>	-	Oui
SECO	ouitouche	<i>Semotilus</i>	<i>corporalis</i>	Oui	Oui
SESP	mulet à cor.ou ouitouche	<i>Semotilus</i>	sp.	-	-
SLSP	---	<i>Salvelinus</i>	sp.	-	-
SNSP	doré sp.	<i>Sander</i>	sp.	Oui	-
TITI	tanche	<i>Tinca</i>	<i>tinca</i>	Oui	Oui
UMLI	ombre de vase	<i>Umbra</i>	<i>limi</i>	-	Oui

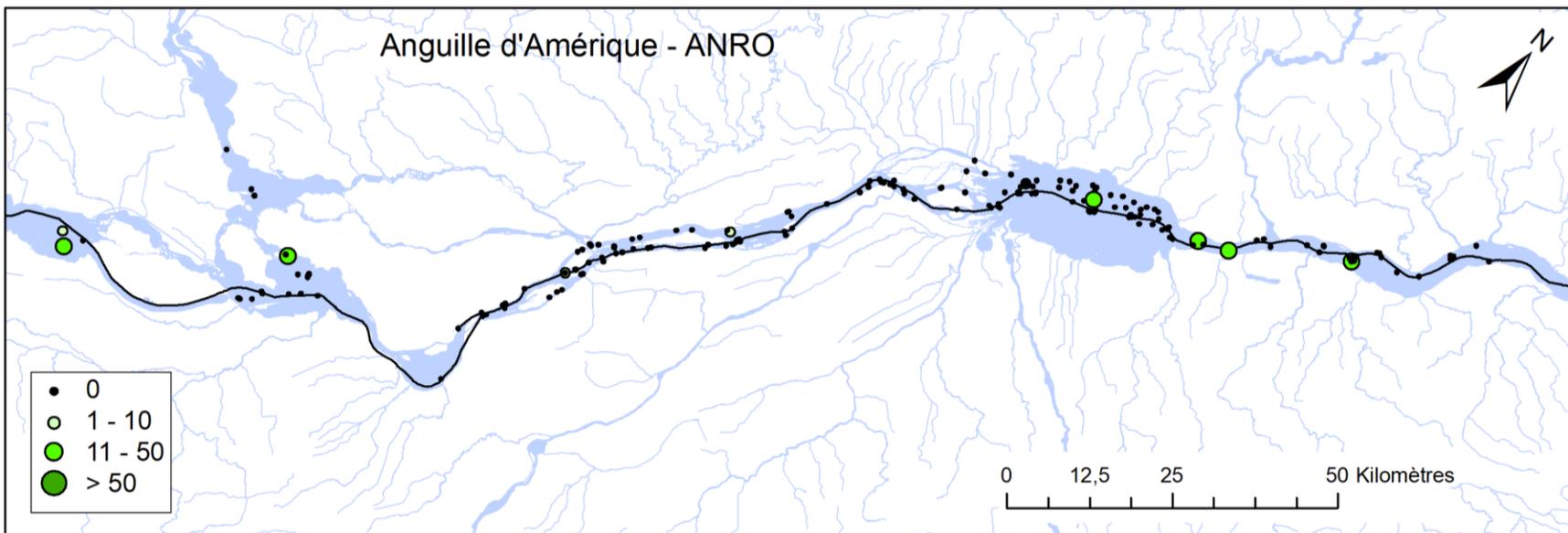
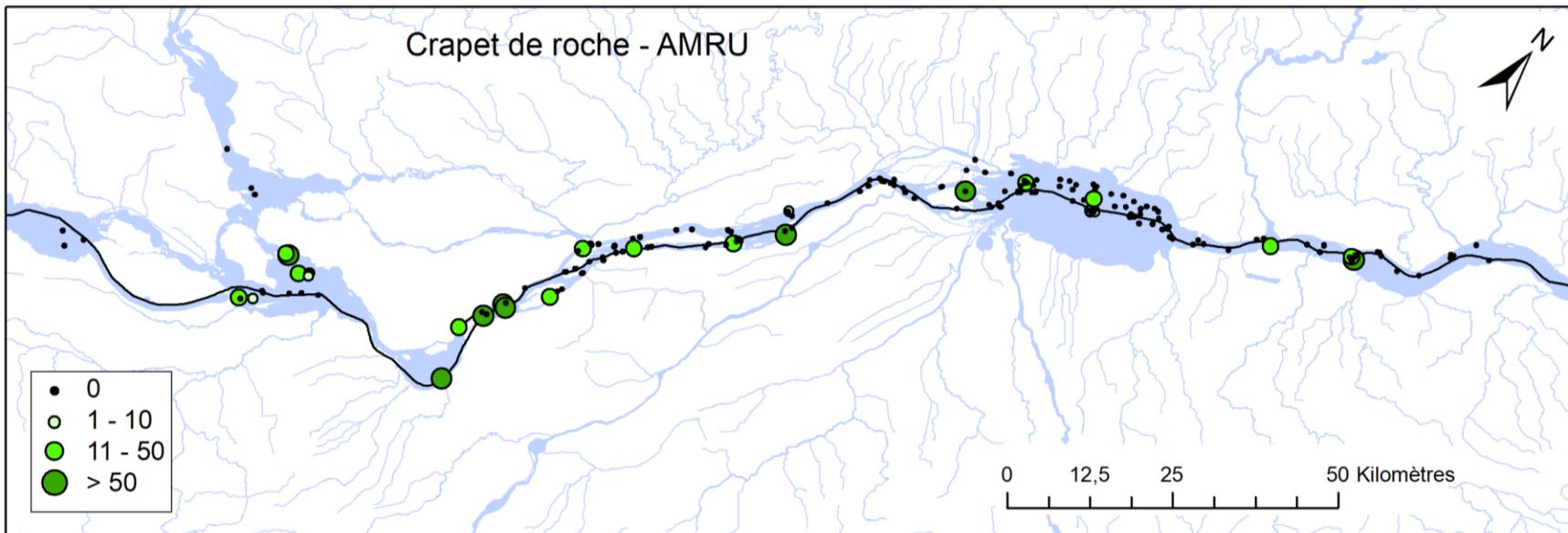
## Annexe 2

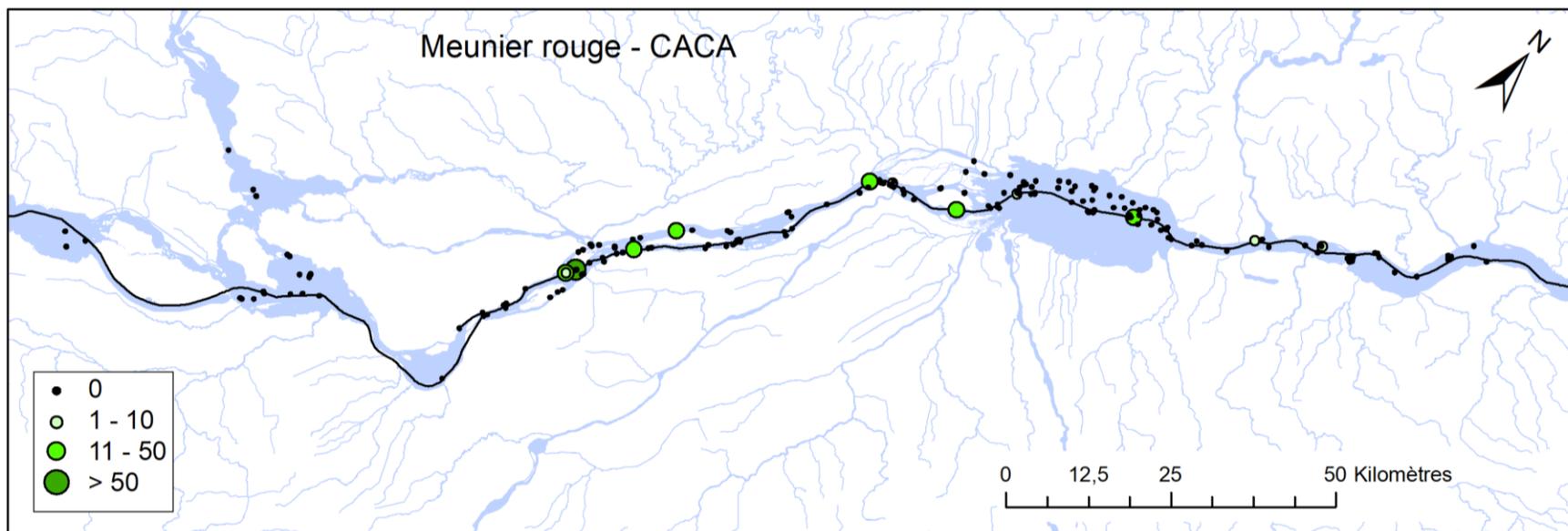
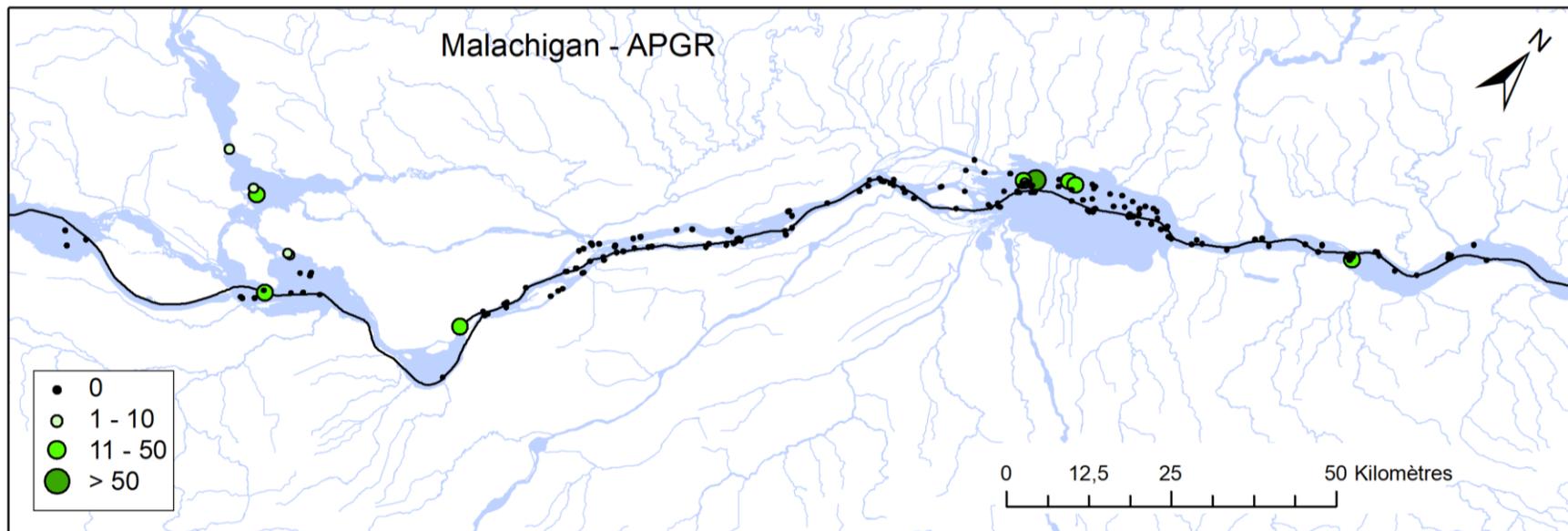
### Captures au chalut de chaque espèce de poissons (CPUE n/100 m; période [2007 à 2018])

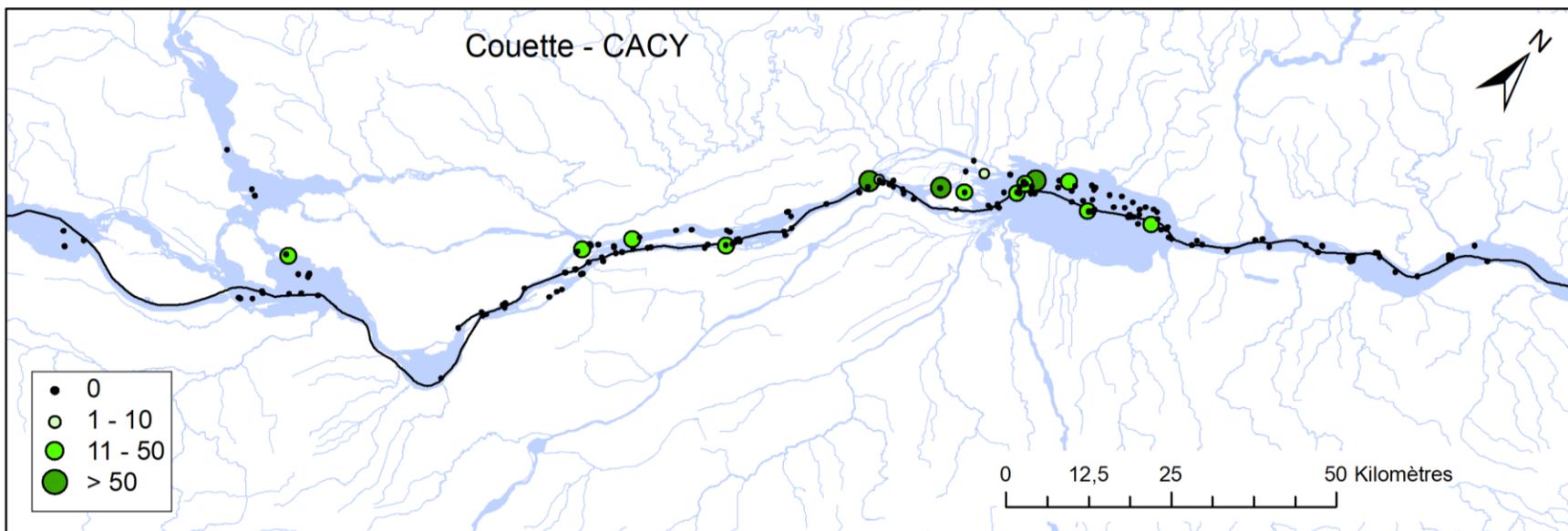
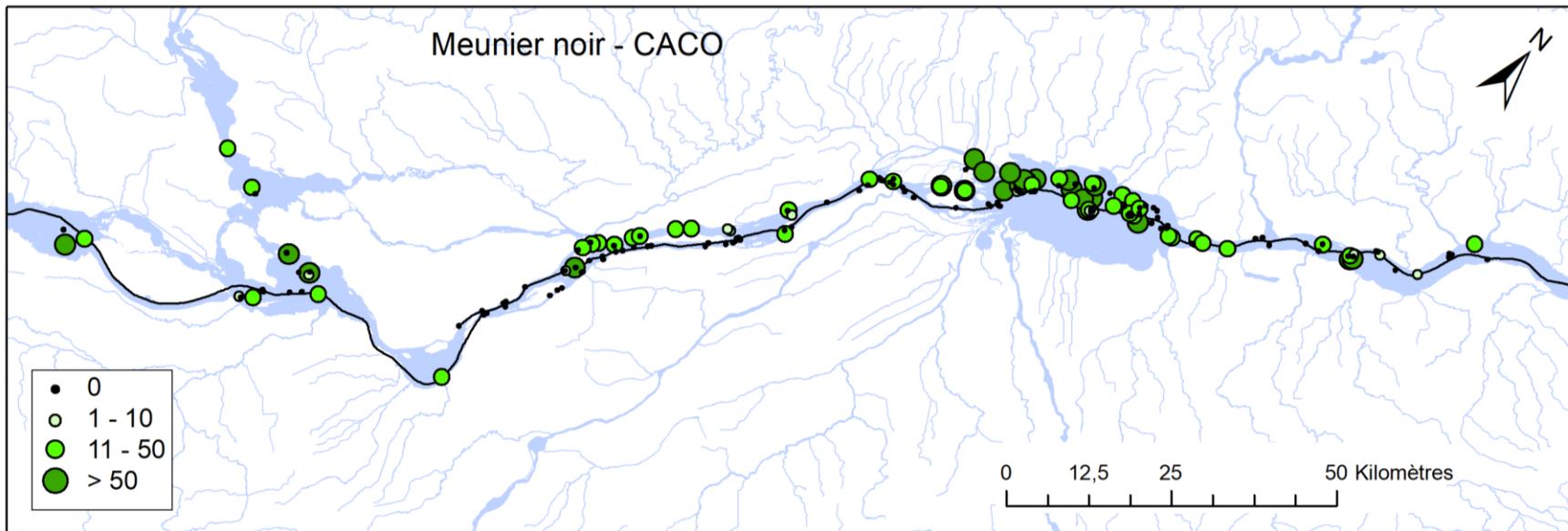
Les cartes de l'annexe 2 représentent les captures par unité d'effort (nombre de poissons par 100 m de trait de chalut), réalisées en 2007, 2008, 2009 et 2018, pour les espèces suivantes (ordre alphabétique des codes) : esturgeon jaune – ACFU, gaspareau – ALPS, alose savoureuse – ALSA, barbotte brune – AMNE, crapet de roche – AMRU, anguille d'Amérique – ANRO, malachigan – APGR, meunier rouge – CACA, meunier noir – CACO, couette – CACY, grand corégone – COCL, carpe commune – CYCA, grand brochet – ESLU, maskinongé – ESMA, raseux – ETNO, raseux-de-terre gris – ETOL, laquaiche argentée – HITE, méné d'argent – HYRE, lamproie brune – ICCA, barbue de rivière – ICPU, lamproie argentée – ICUN, crapet-soleil – LEGI, lépisosté osseux – LEOS, lotte – LOLO, achigan à petite bouche – MIDO, achigan à grande bouche – MISA, baret – MOAM, chevalier blanc – MOAN, chevalier rouge – MOMA, bar rayé – MOSA, gobie à taches noires – NEME, méné émeraude – NOAT, méné jaune – NOCR, barbotte des rapides – NOFL, chat-fou brun – NOGY, queue à tache noire – NOHU, méné de paille ou pâle – NOSV, méné pâle – NOVO, éperlan arc-en-ciel – OSMO, fouille-roche zébré – PECA, fouille-roche gris – PECO, perchaude – PEFL, omisco – PEOM, ventre pourri – PINO, marigane noire – PONI, doré noir – SACA, doré jaune – SAVI, outouche – SECO et tanche – TITI.

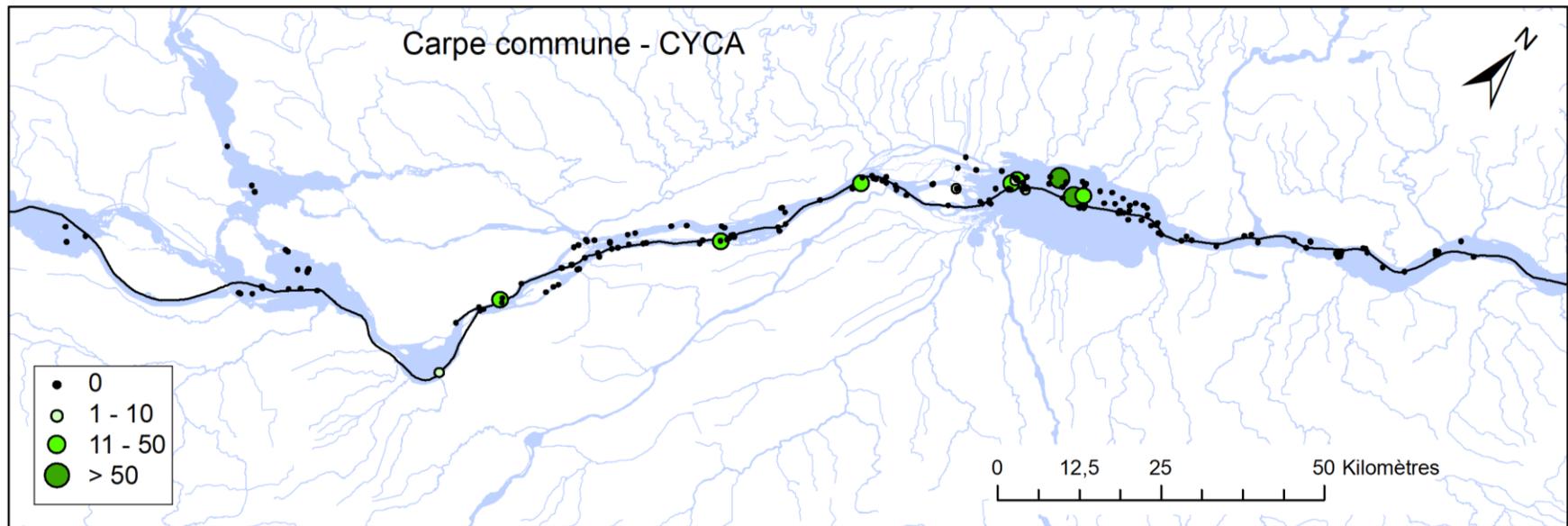
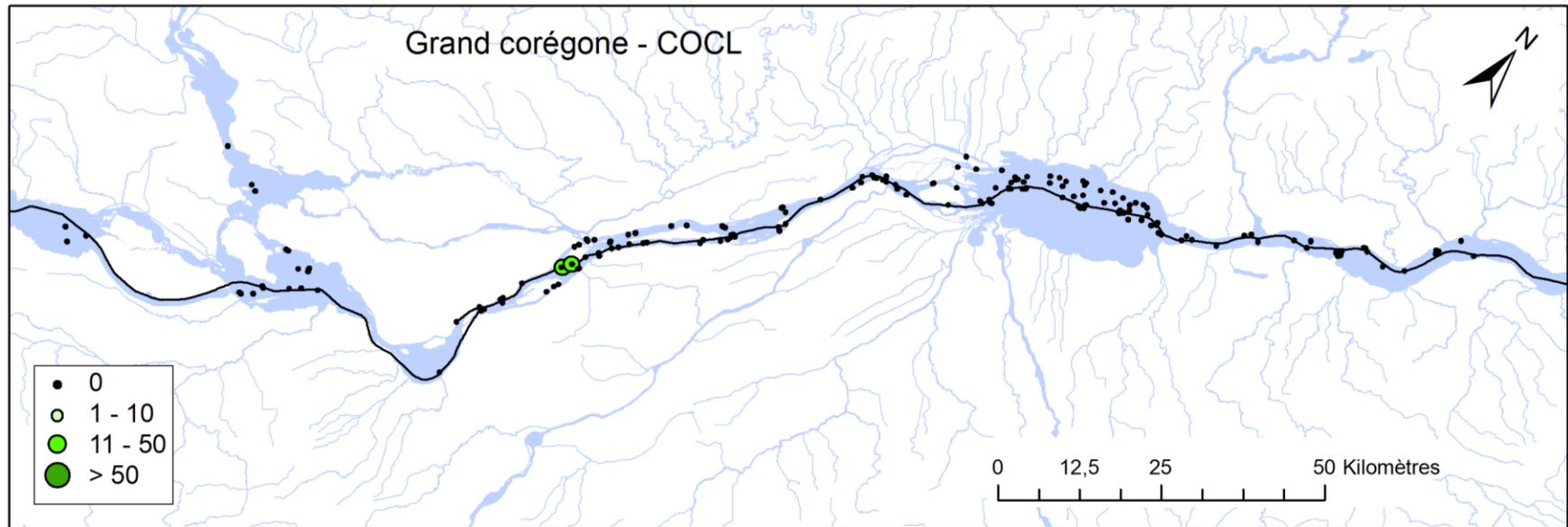


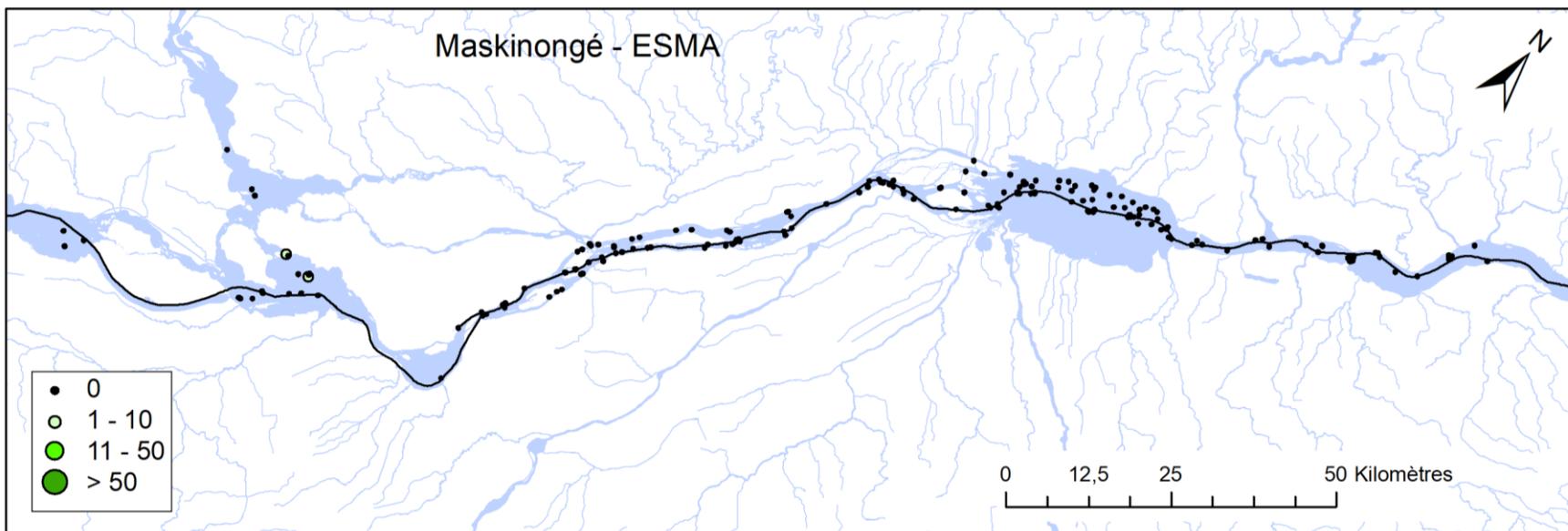
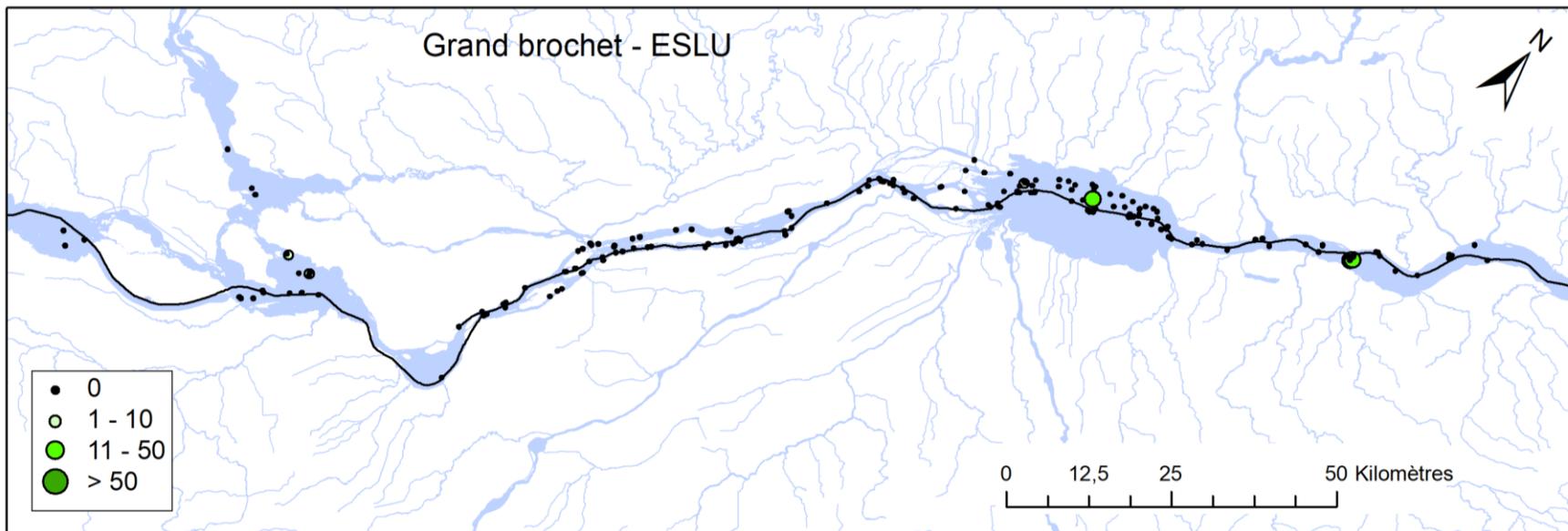


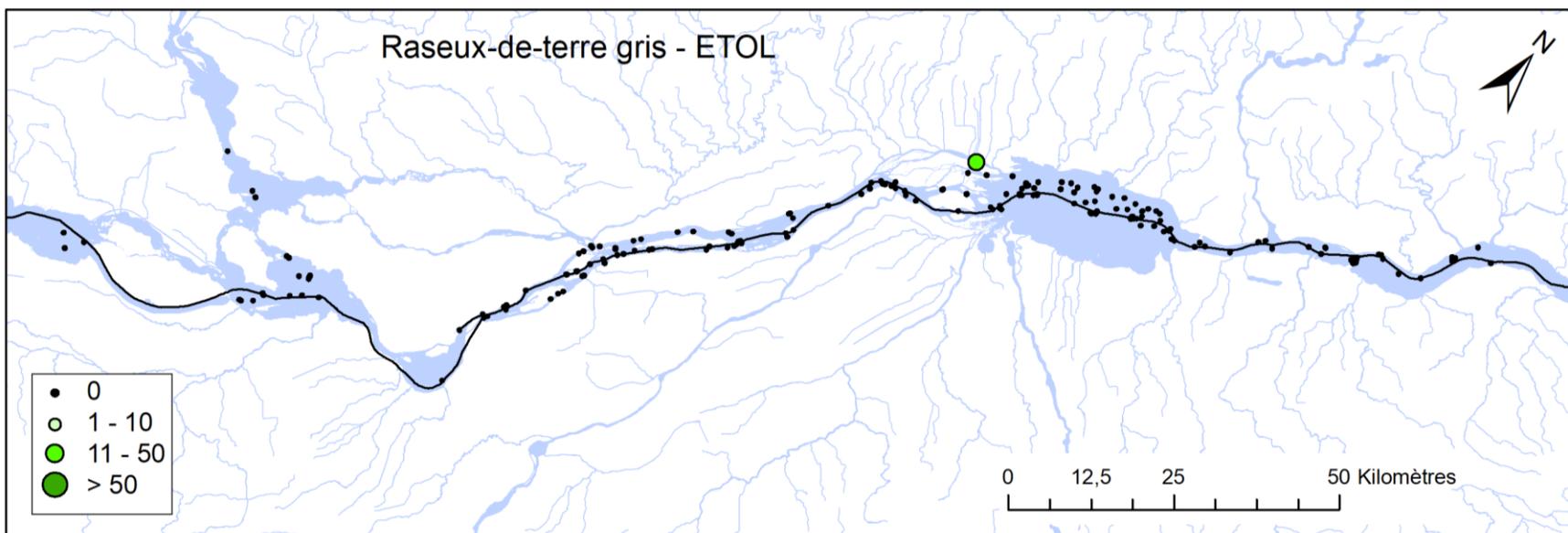
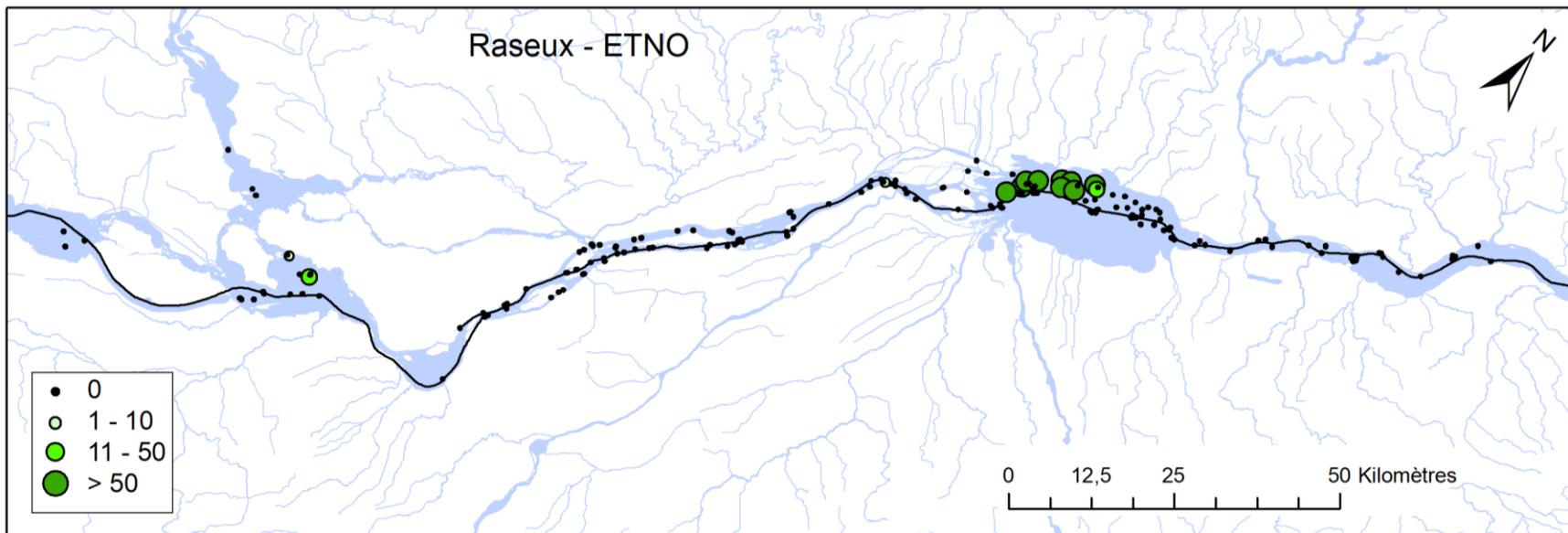


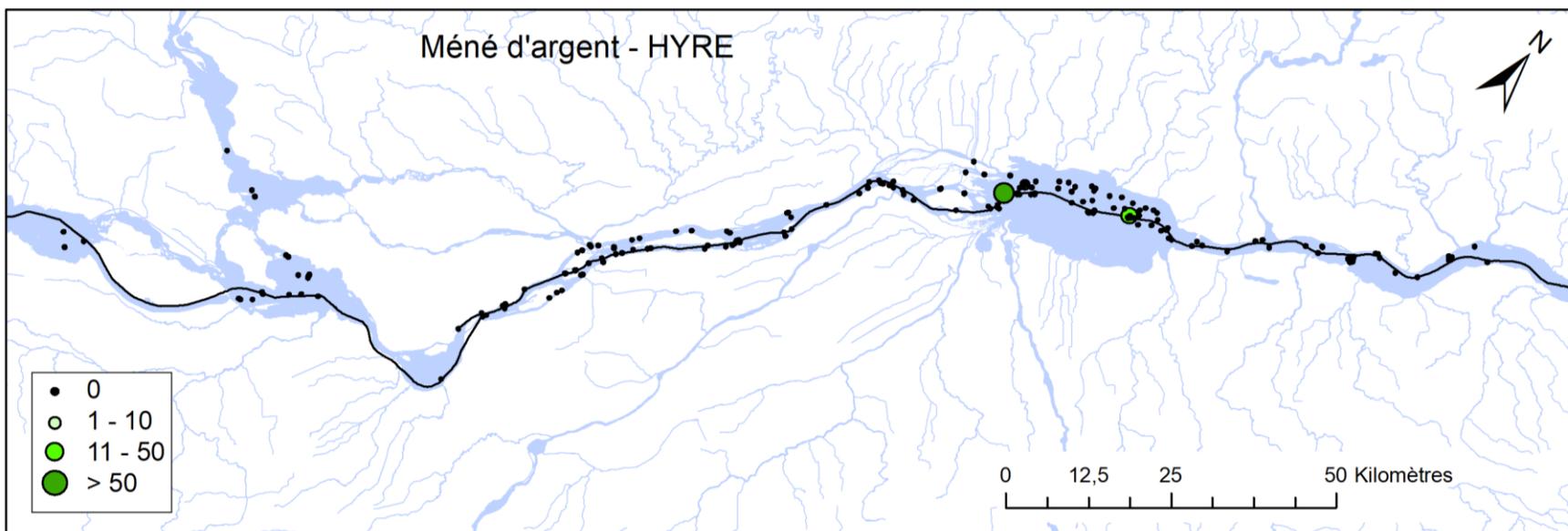
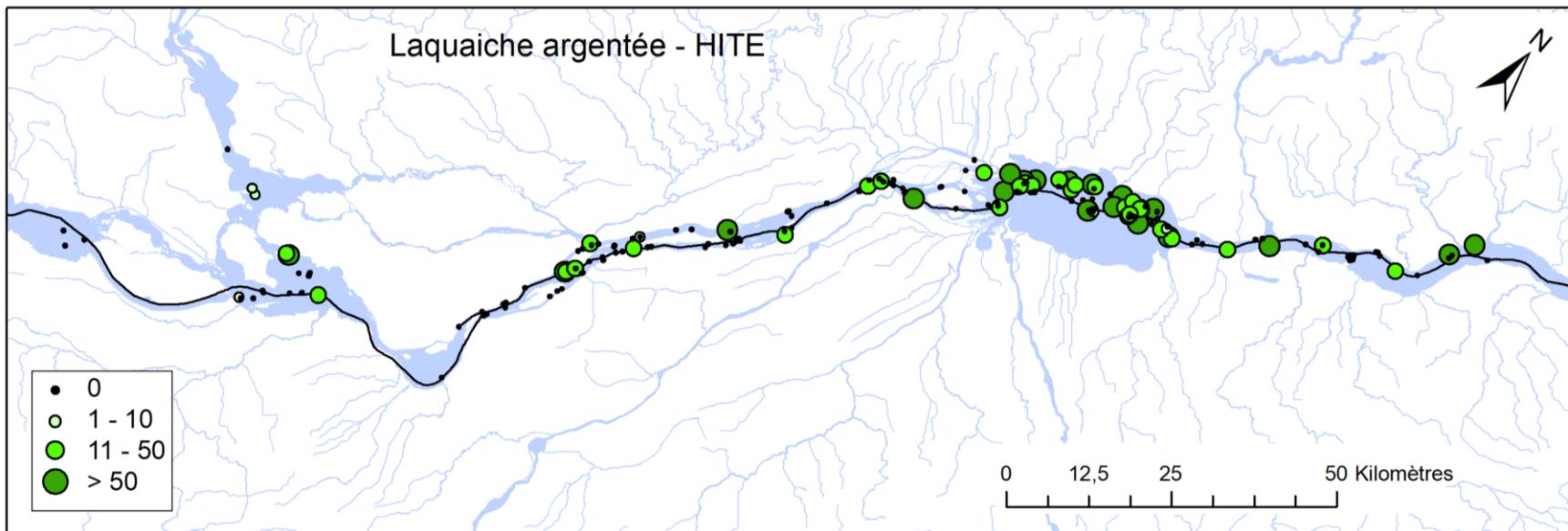


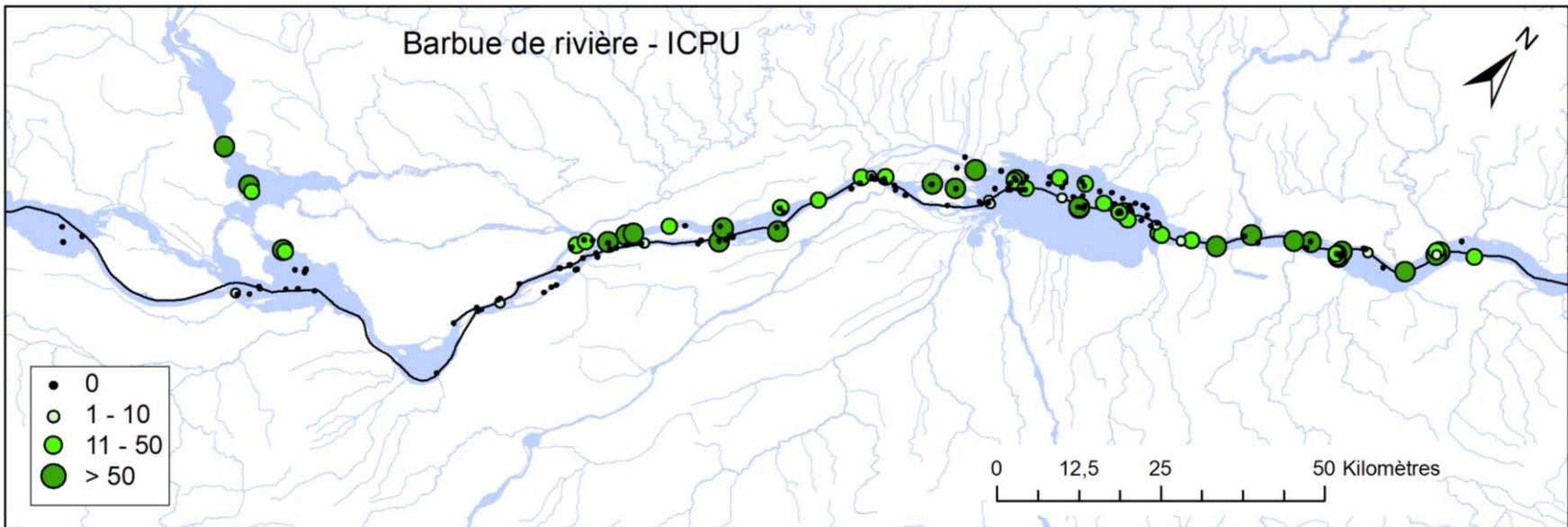
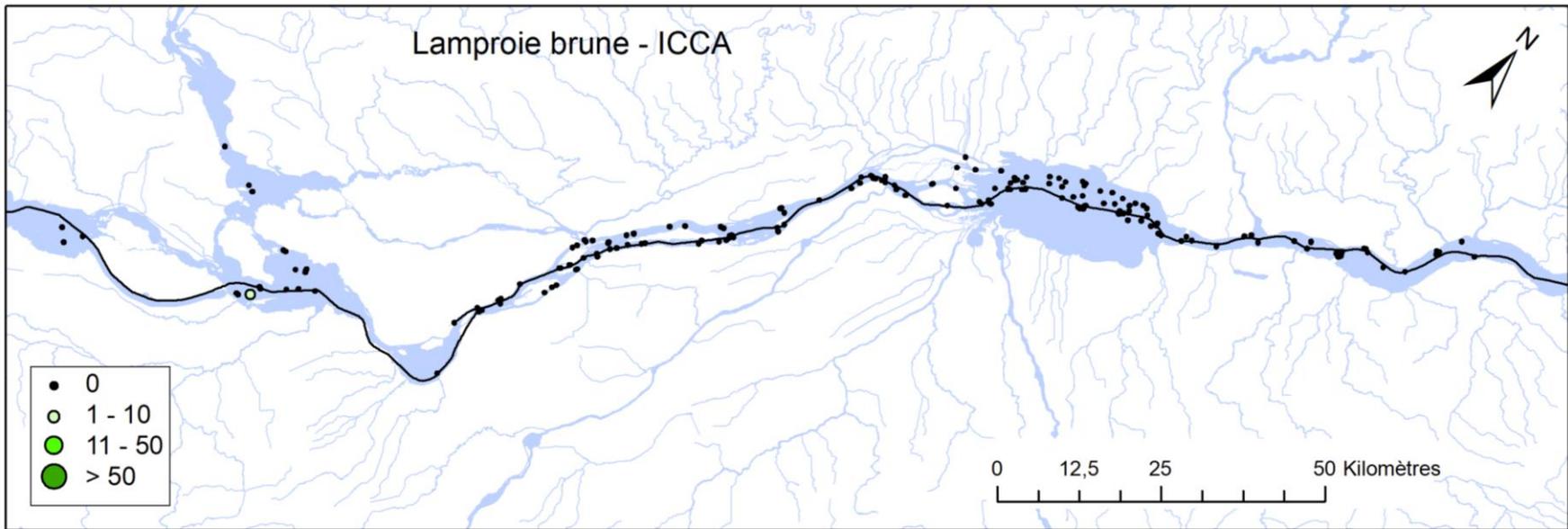


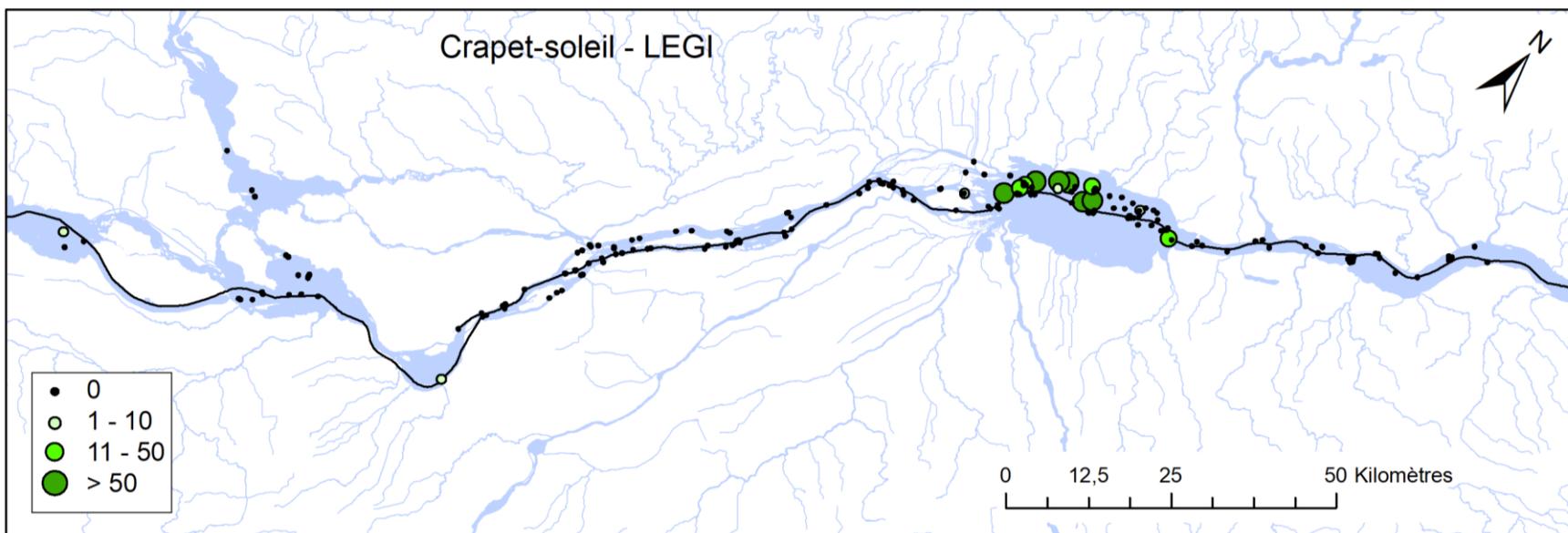
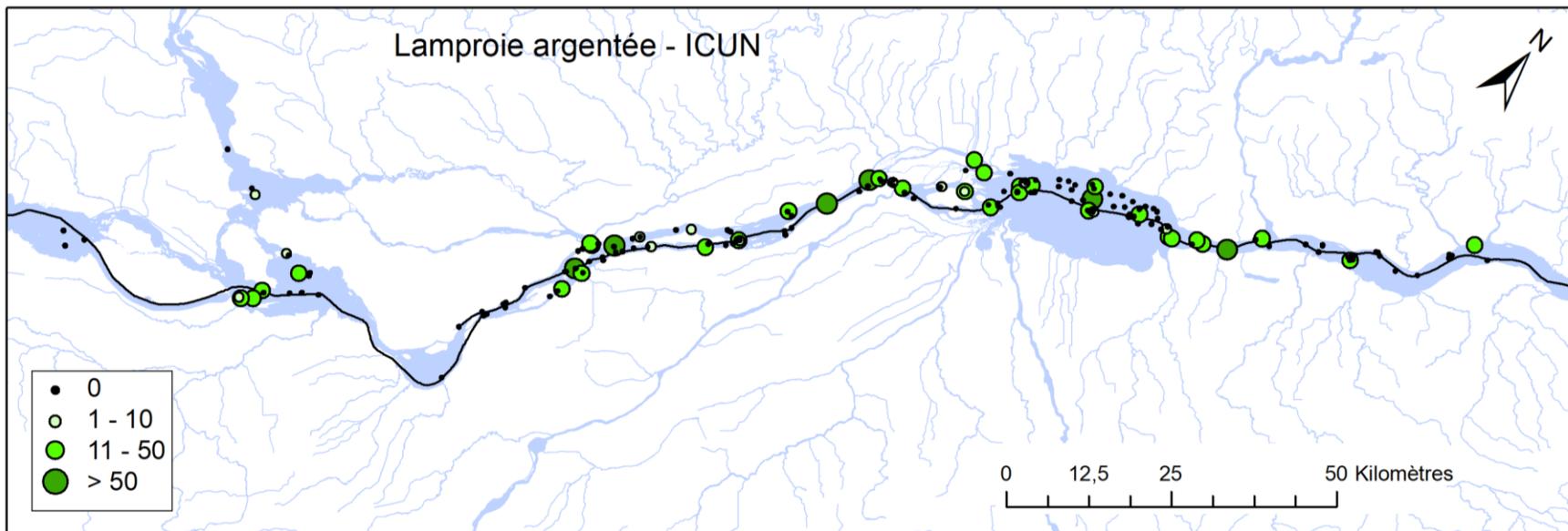


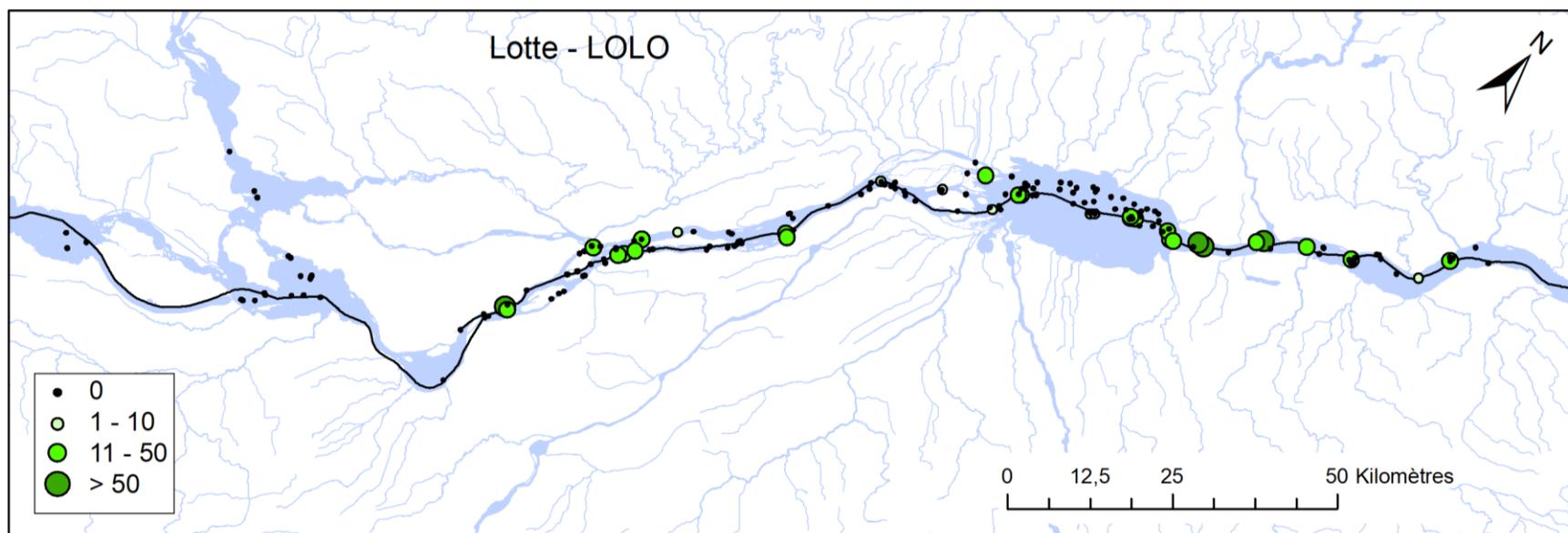
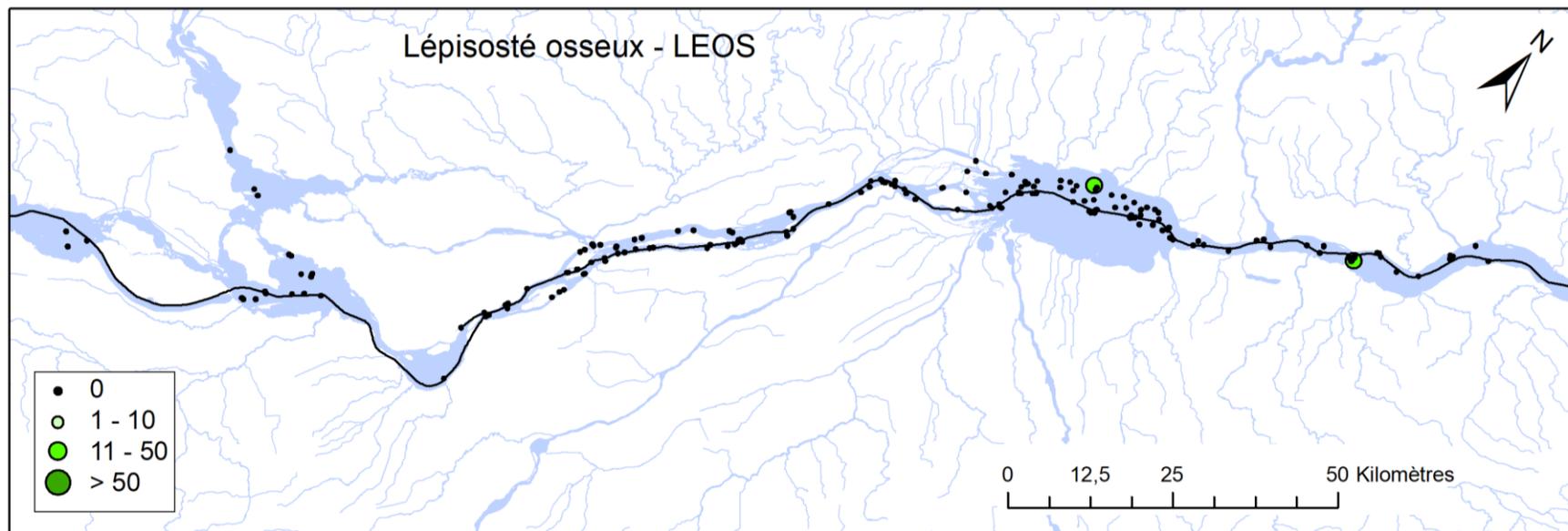


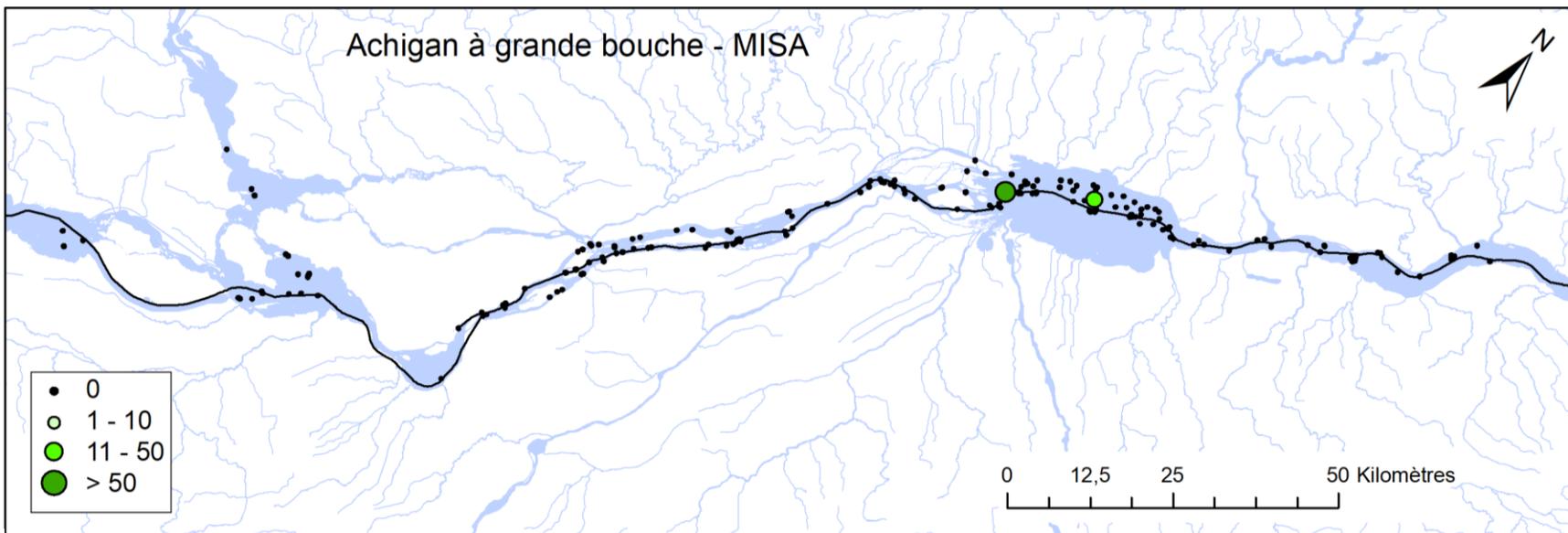
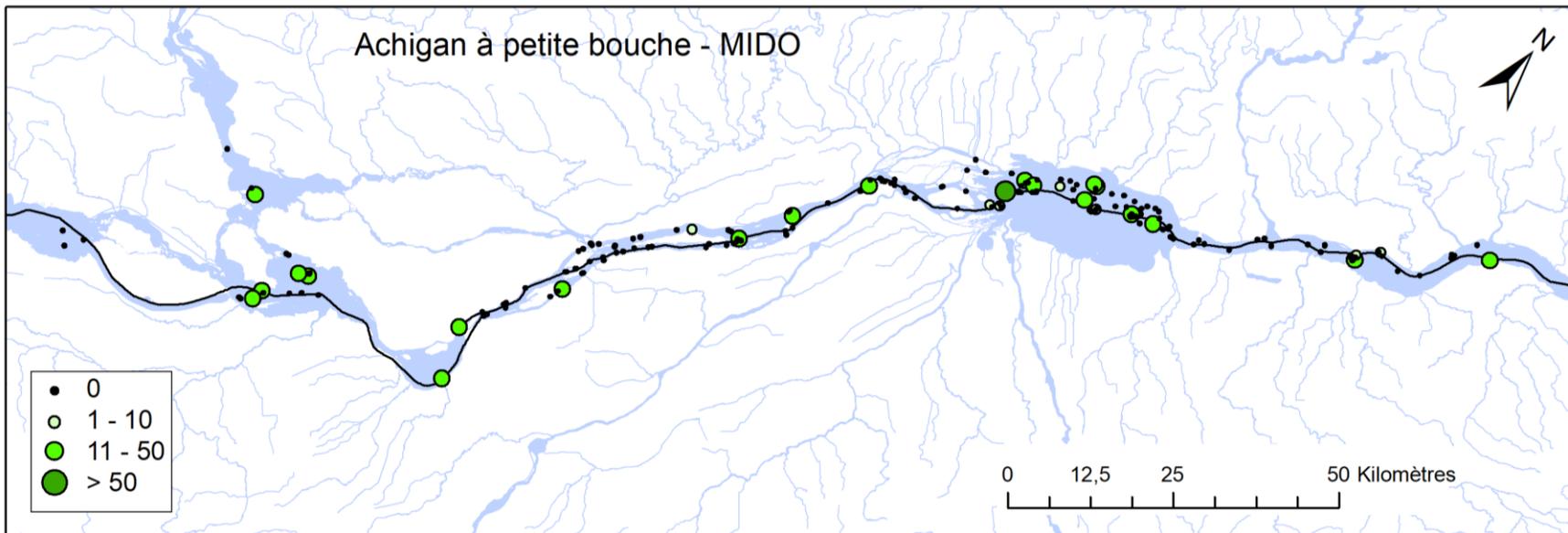


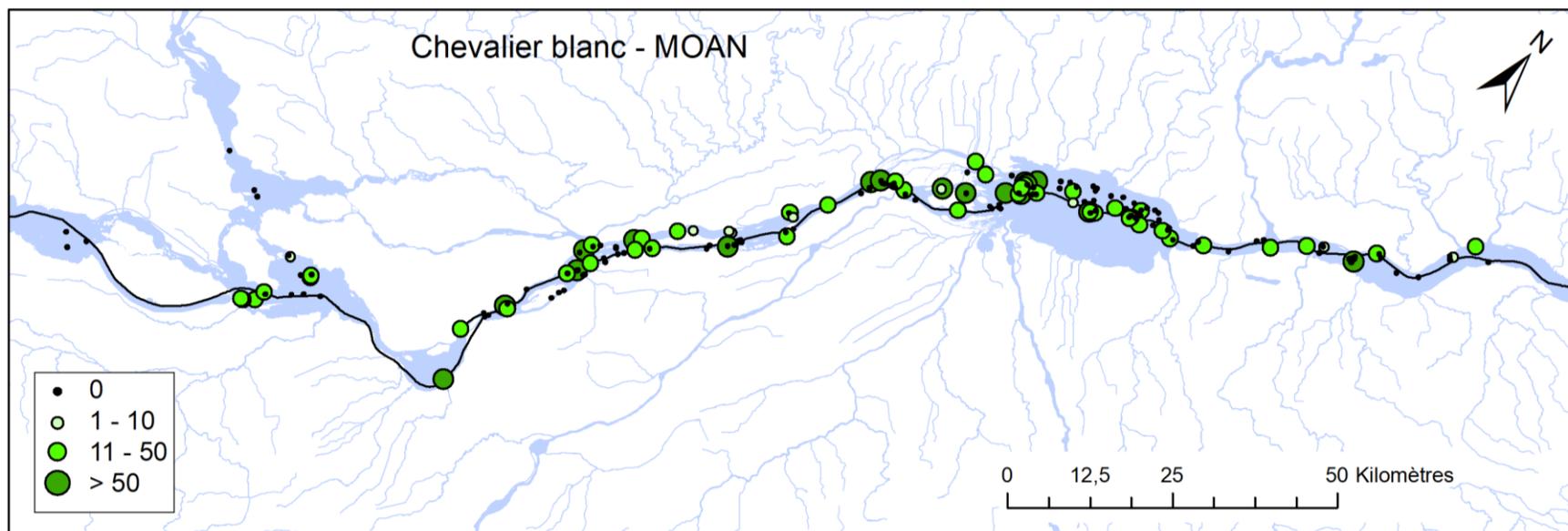
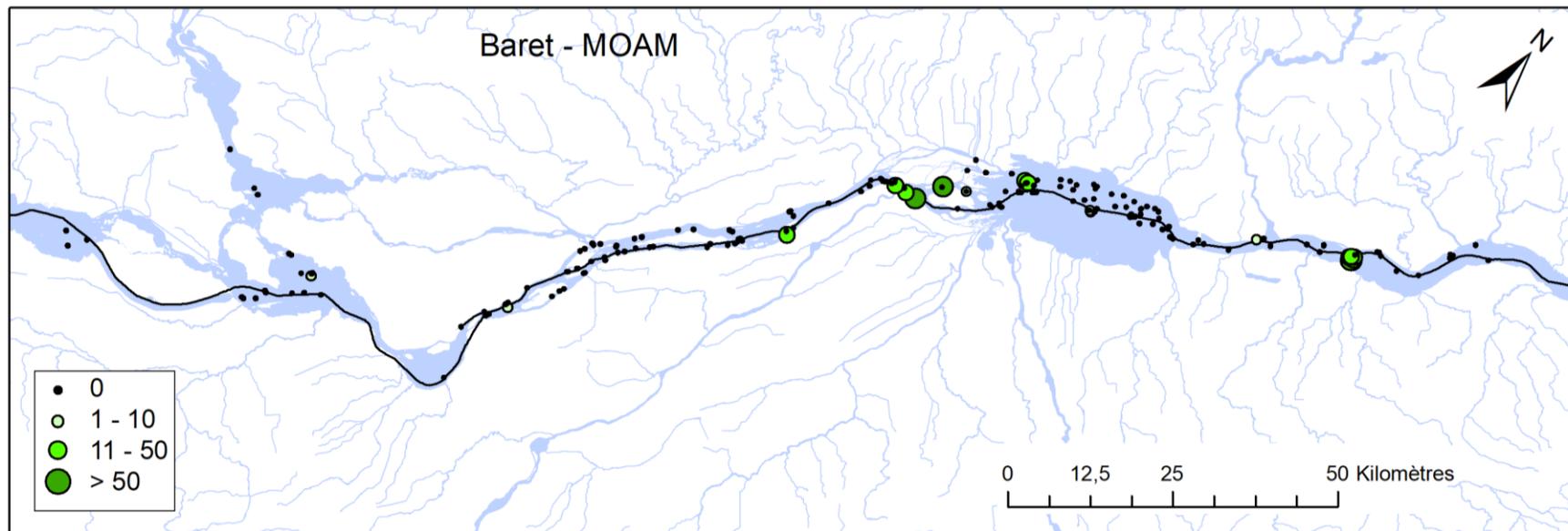


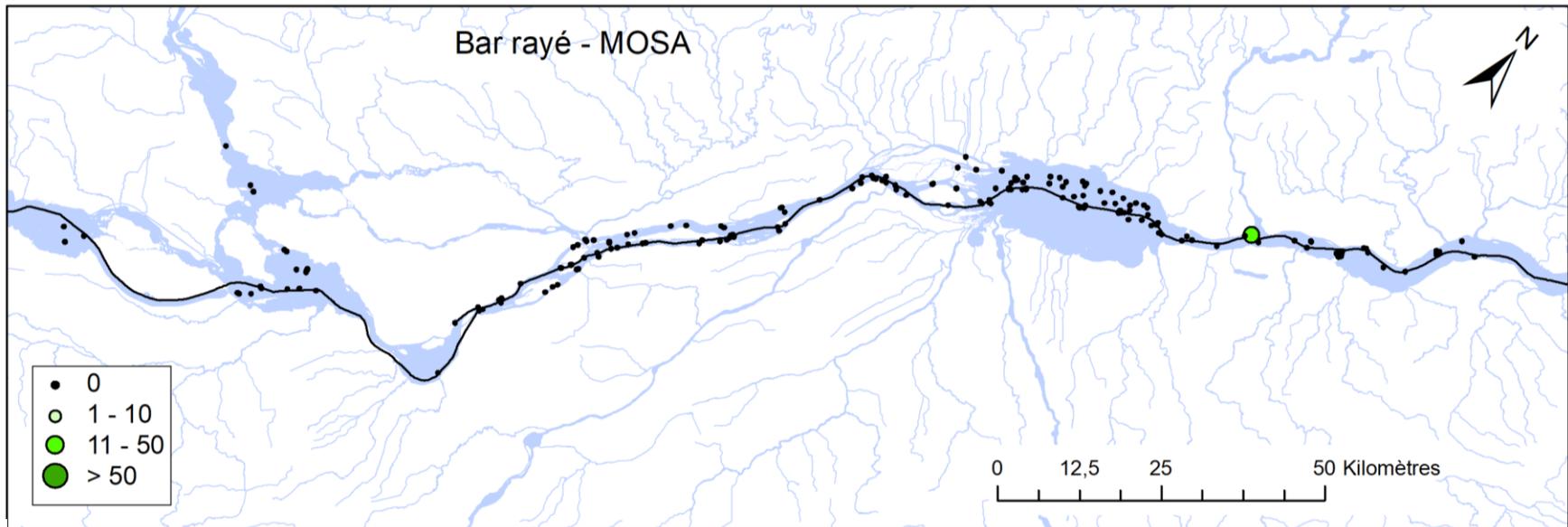
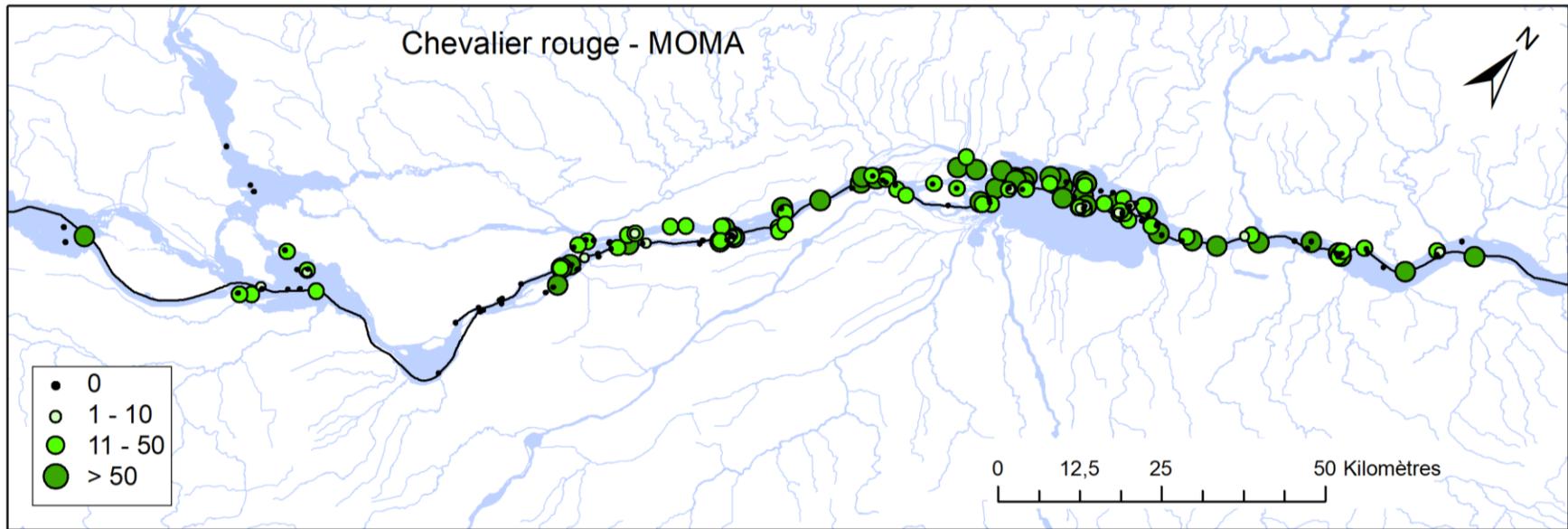


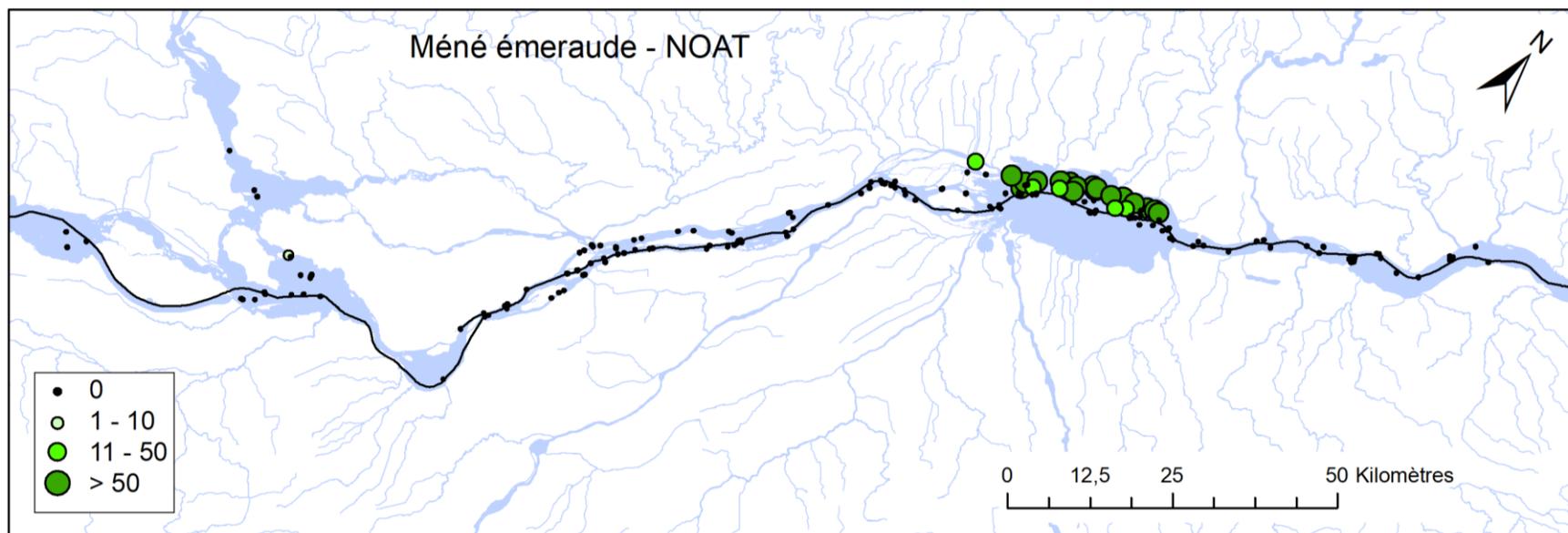
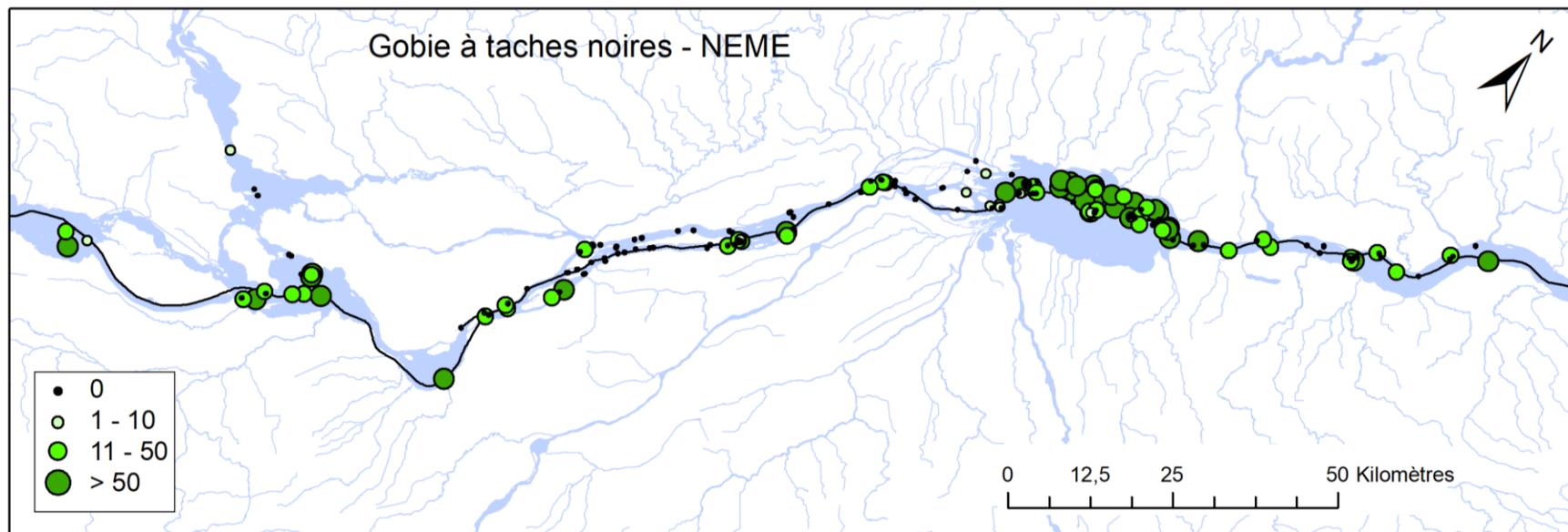


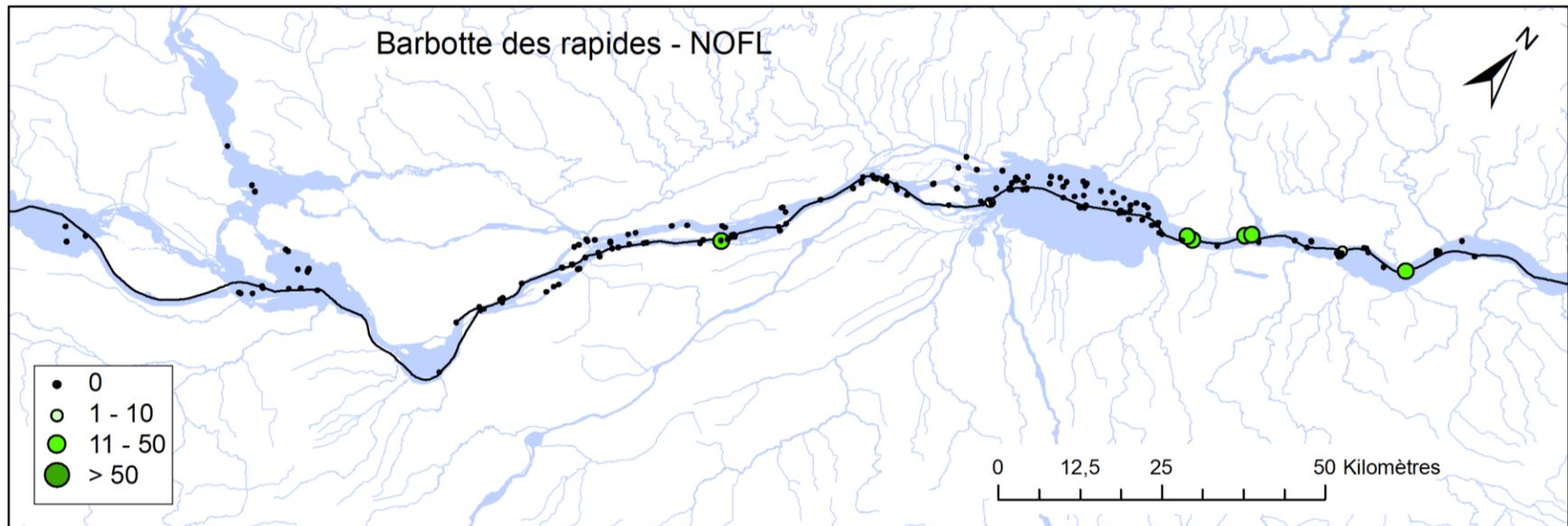
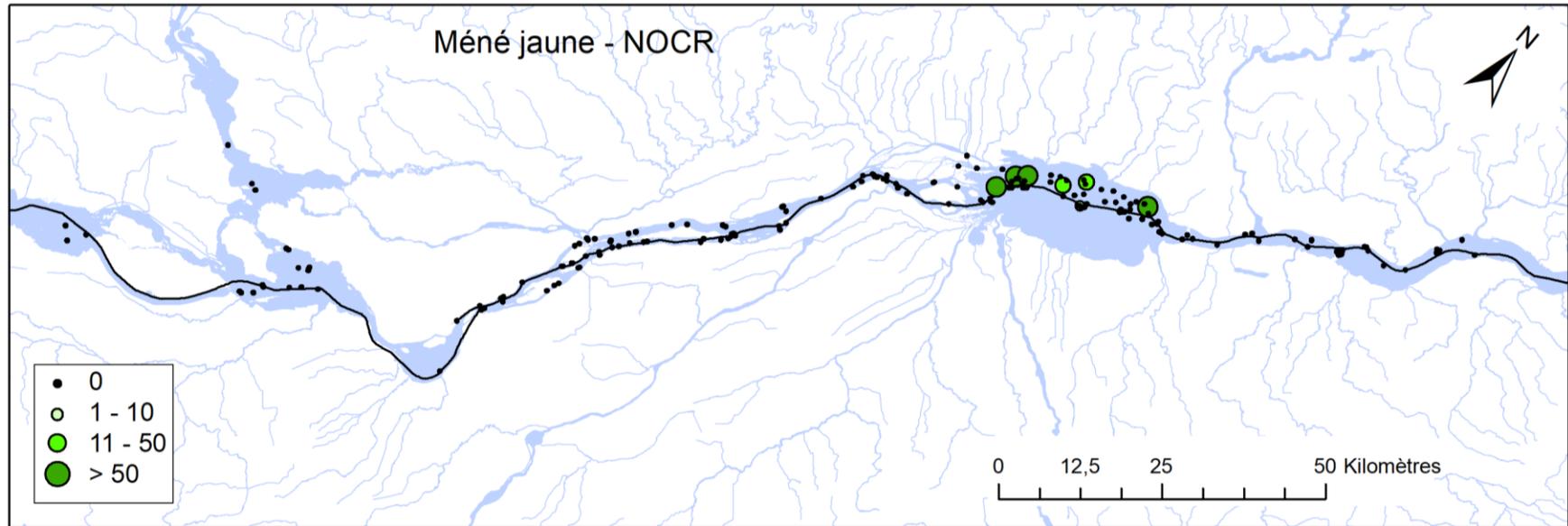


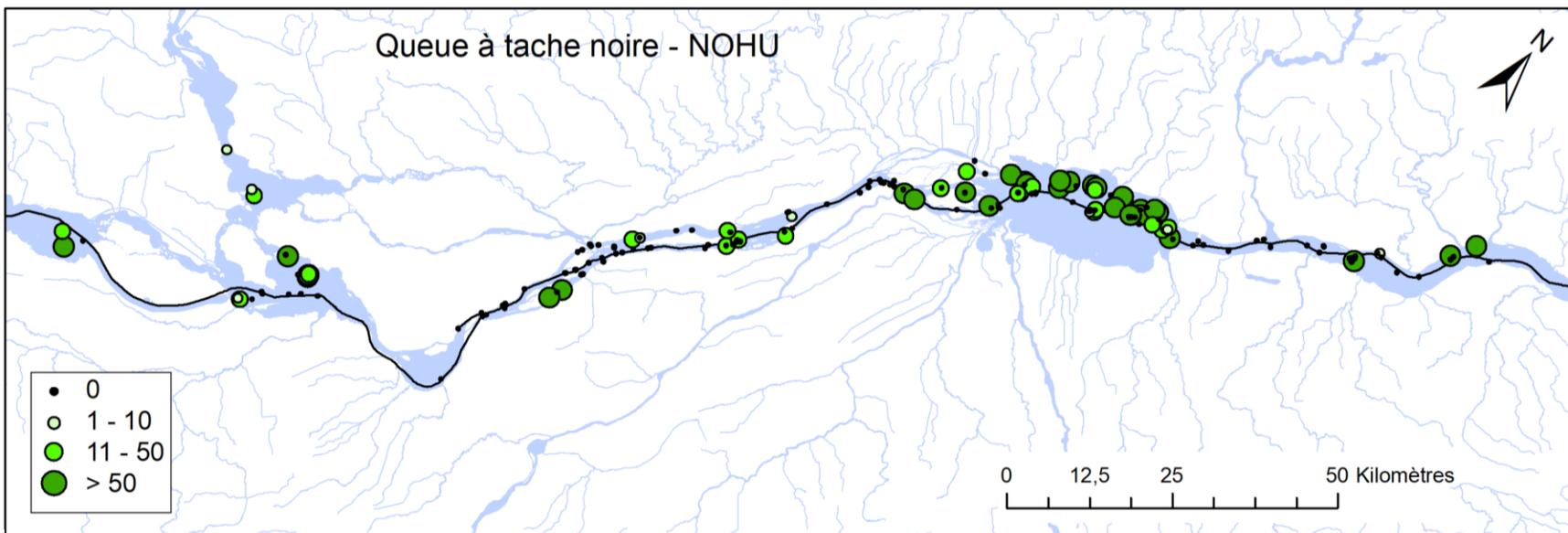
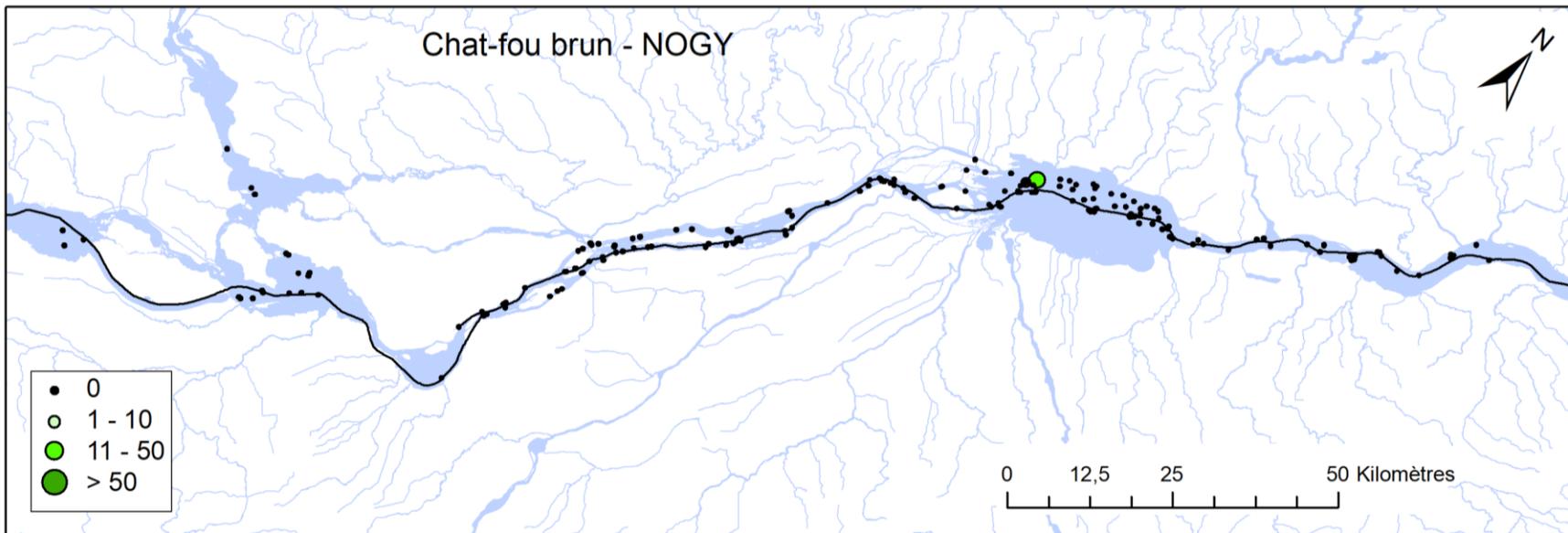


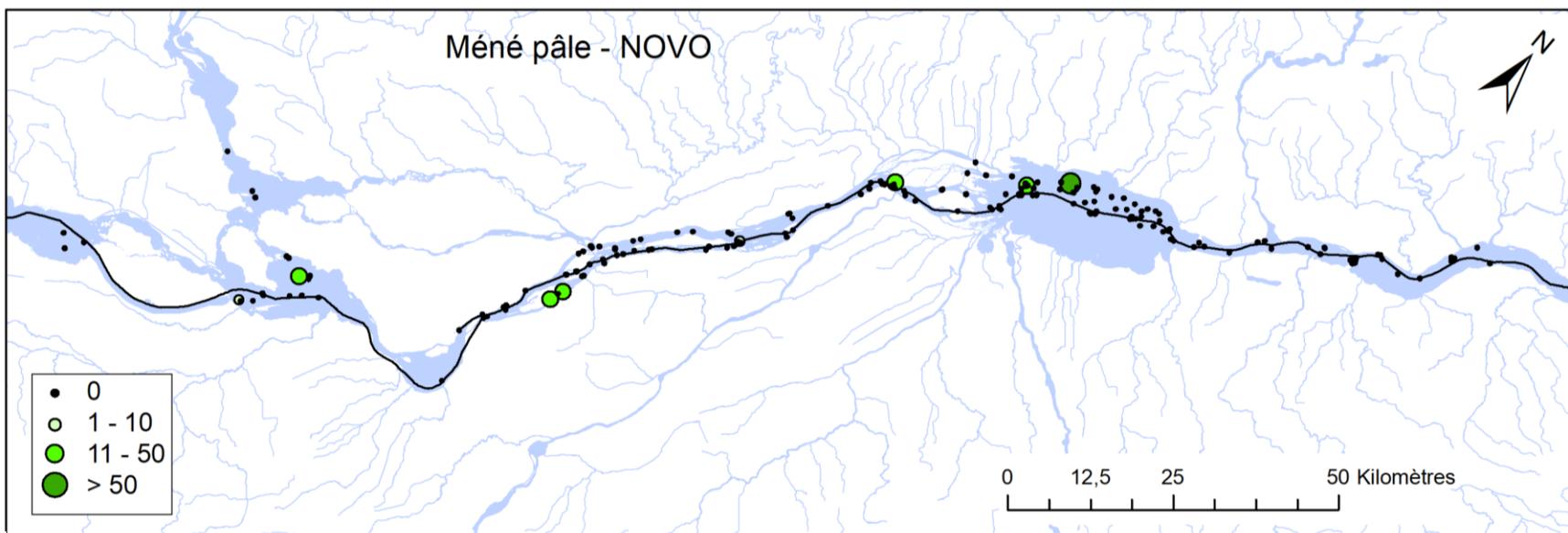
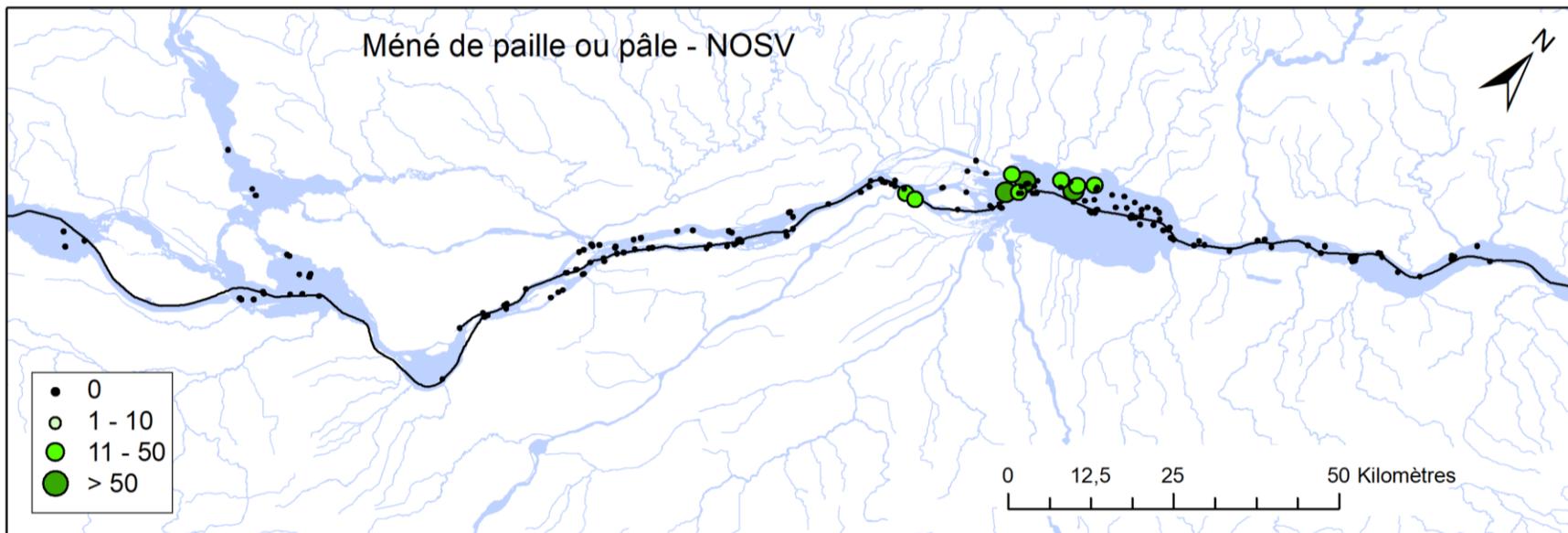


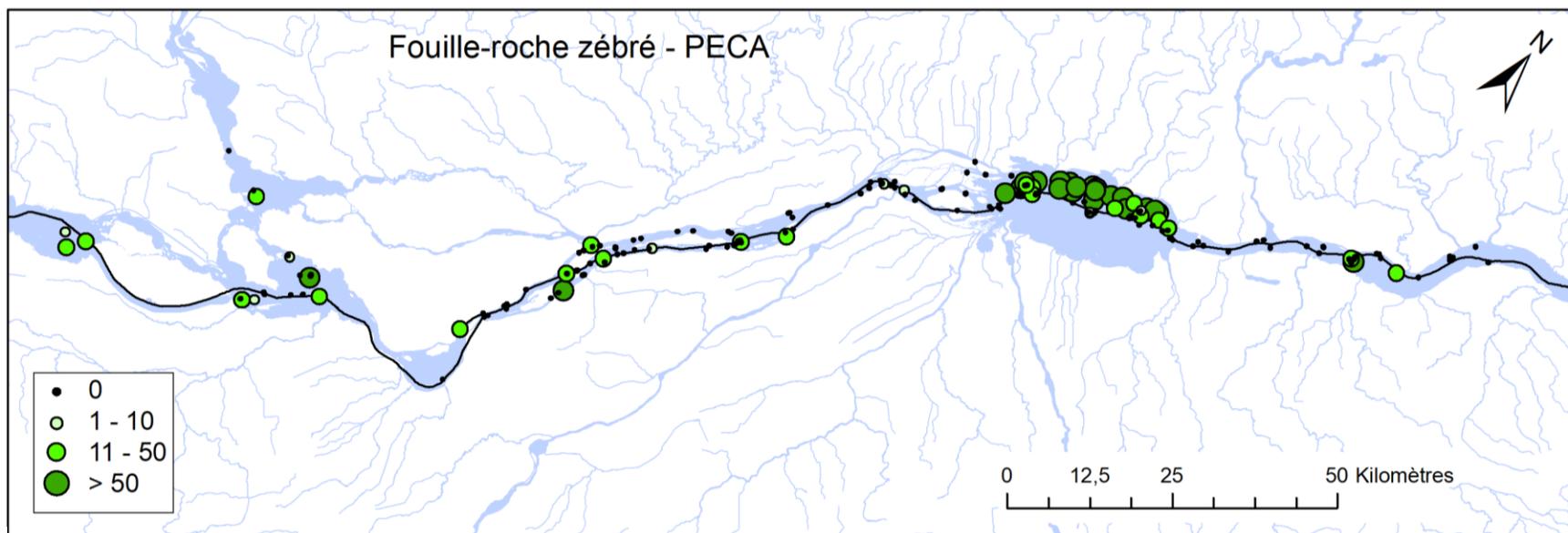
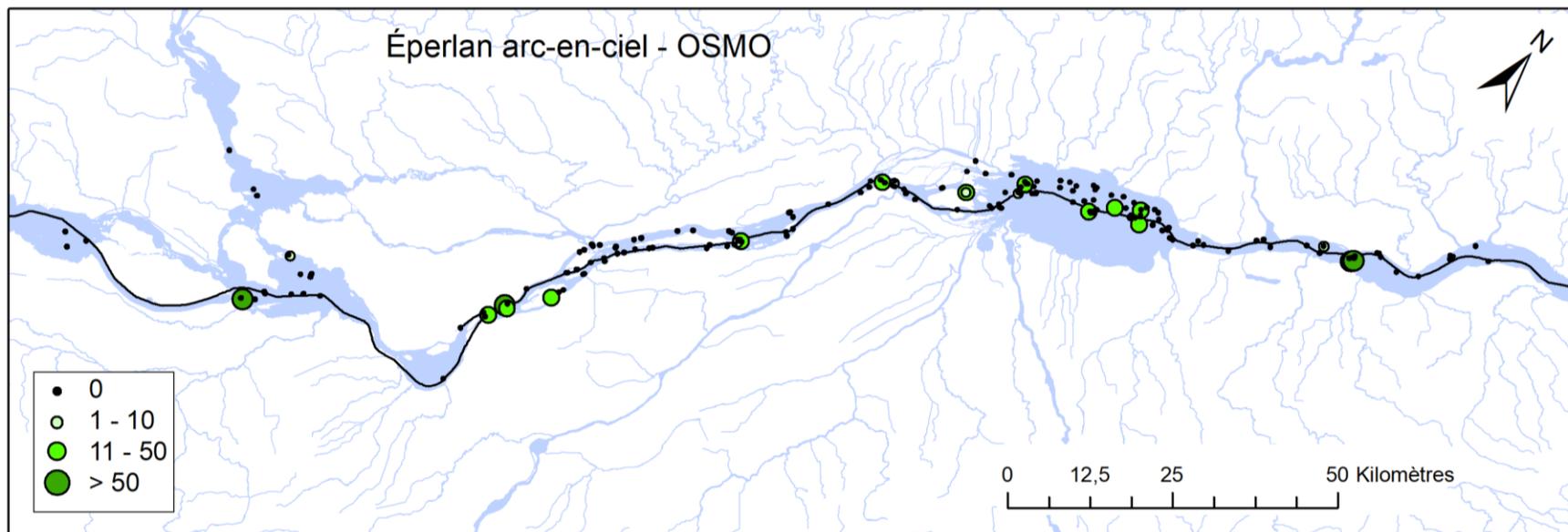


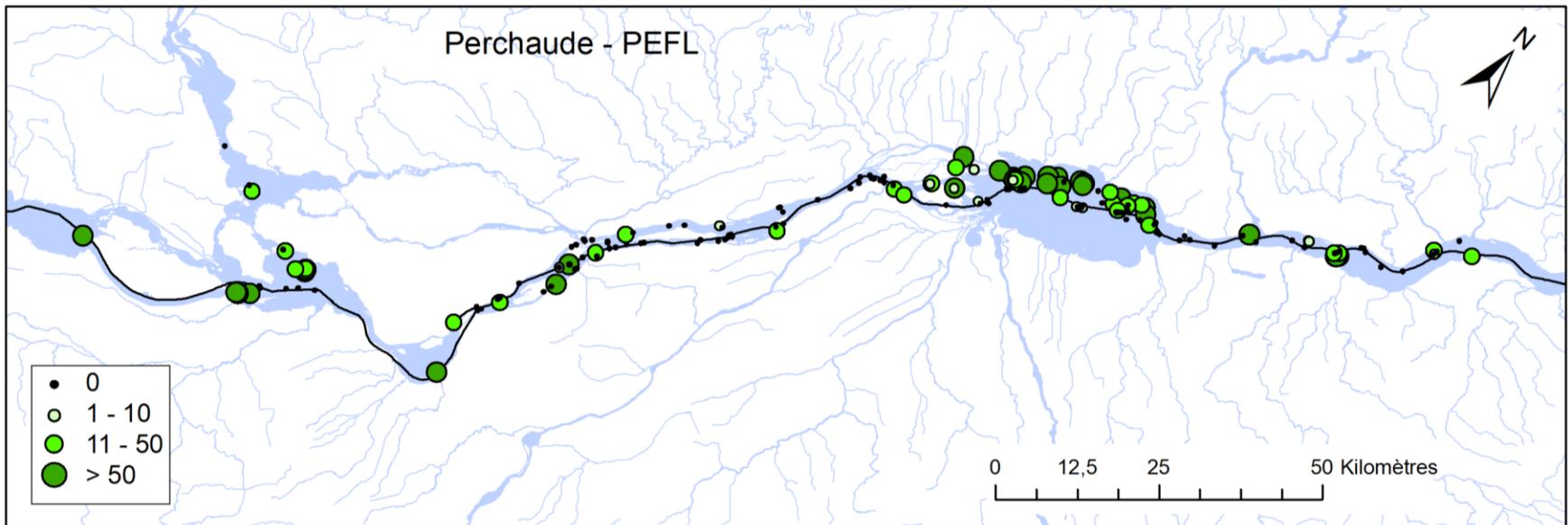
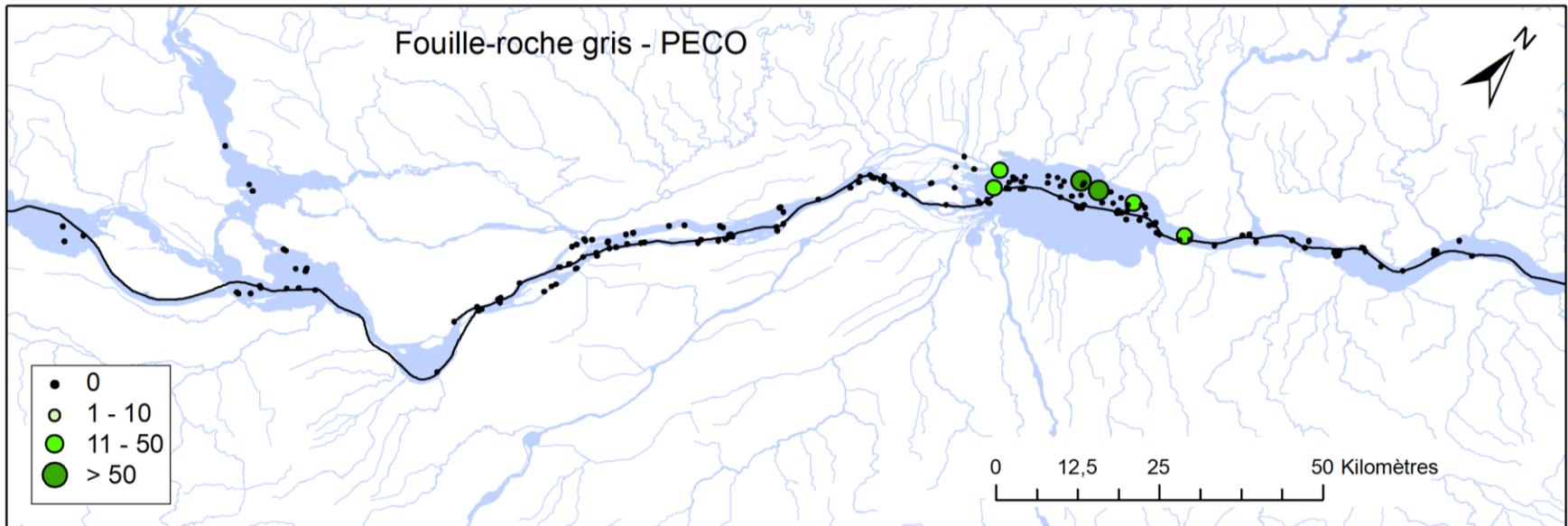


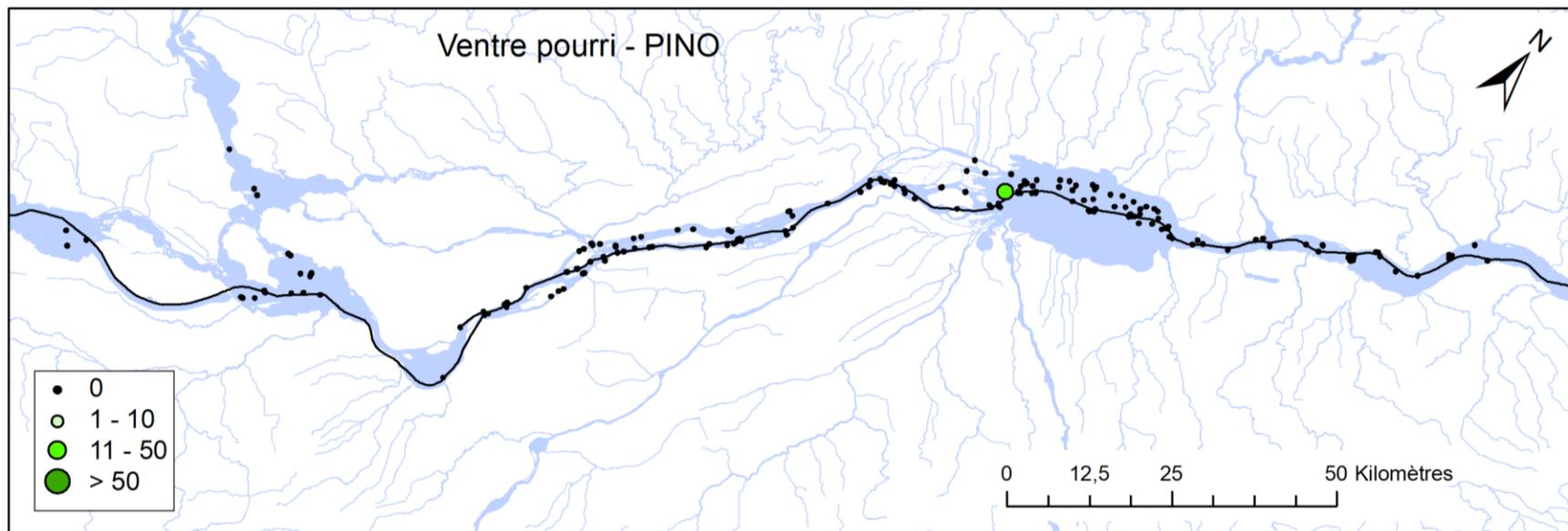
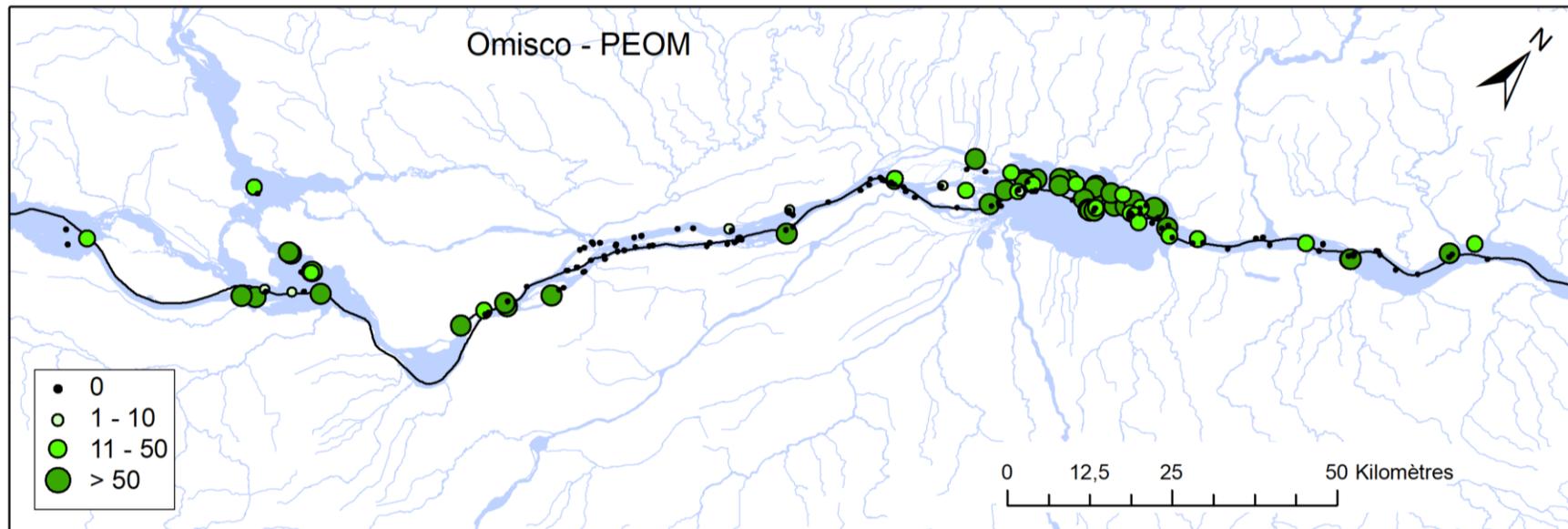


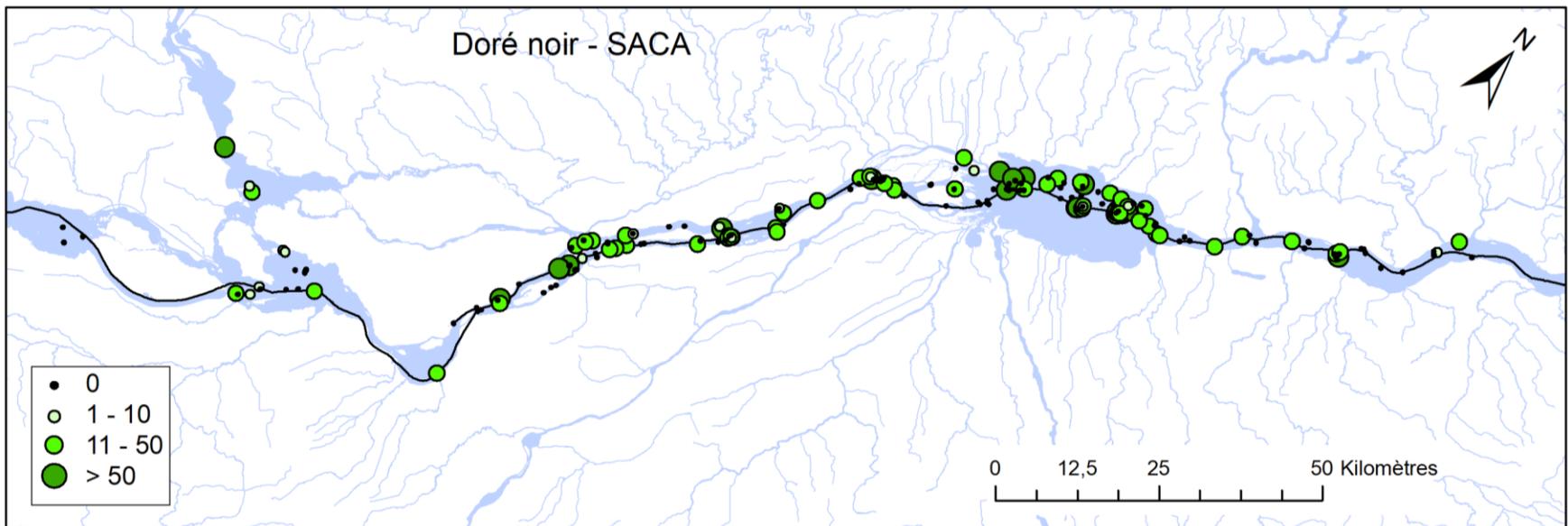
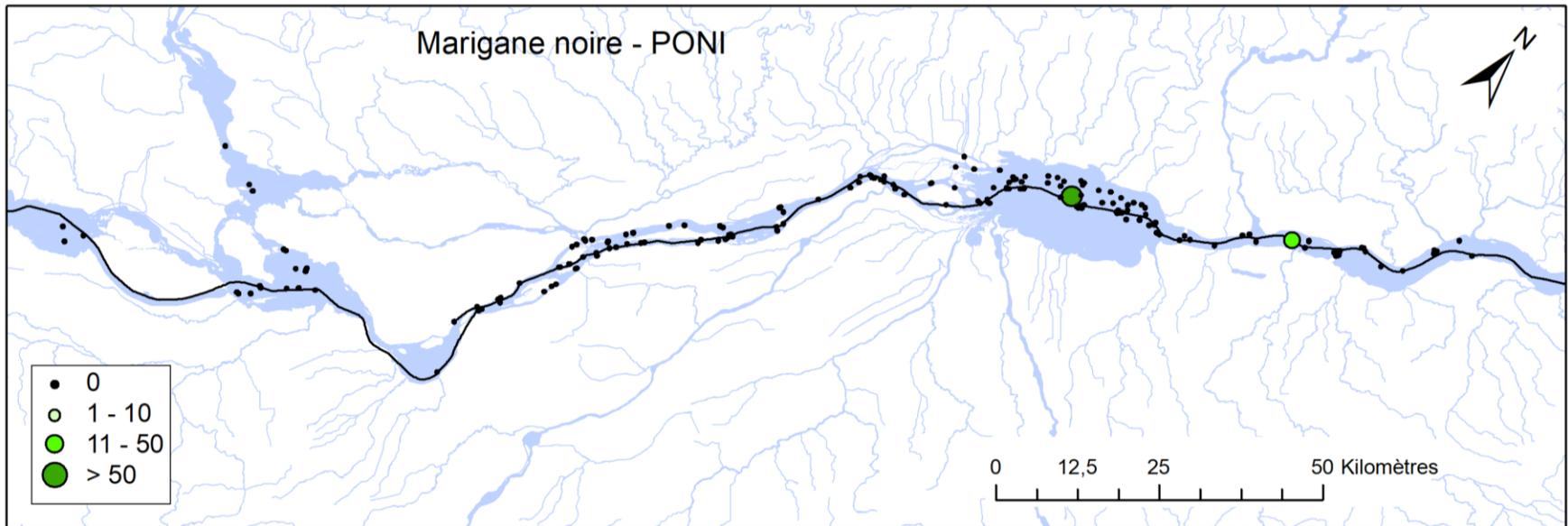


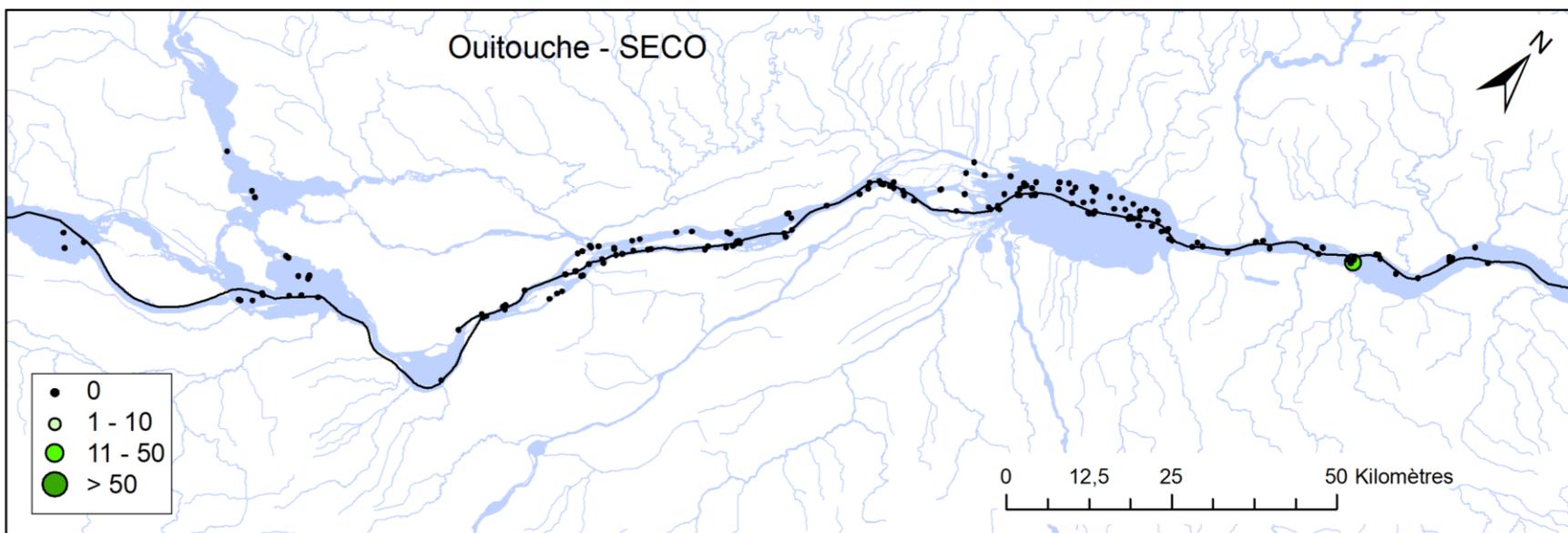
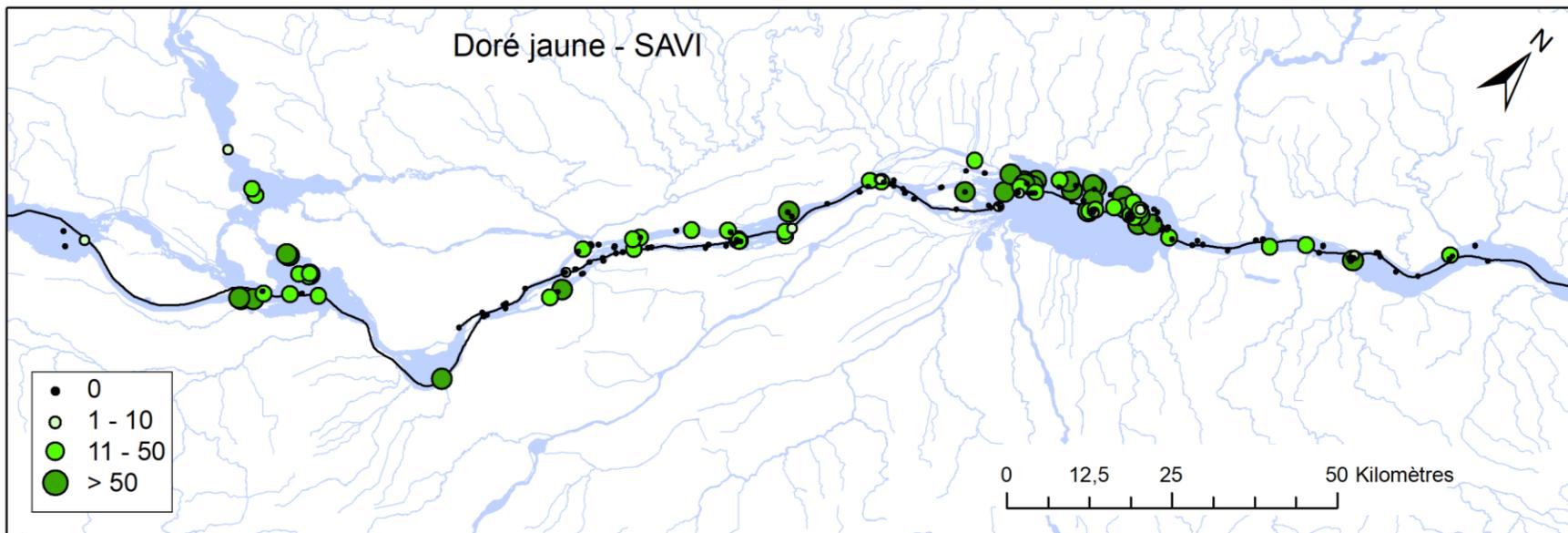


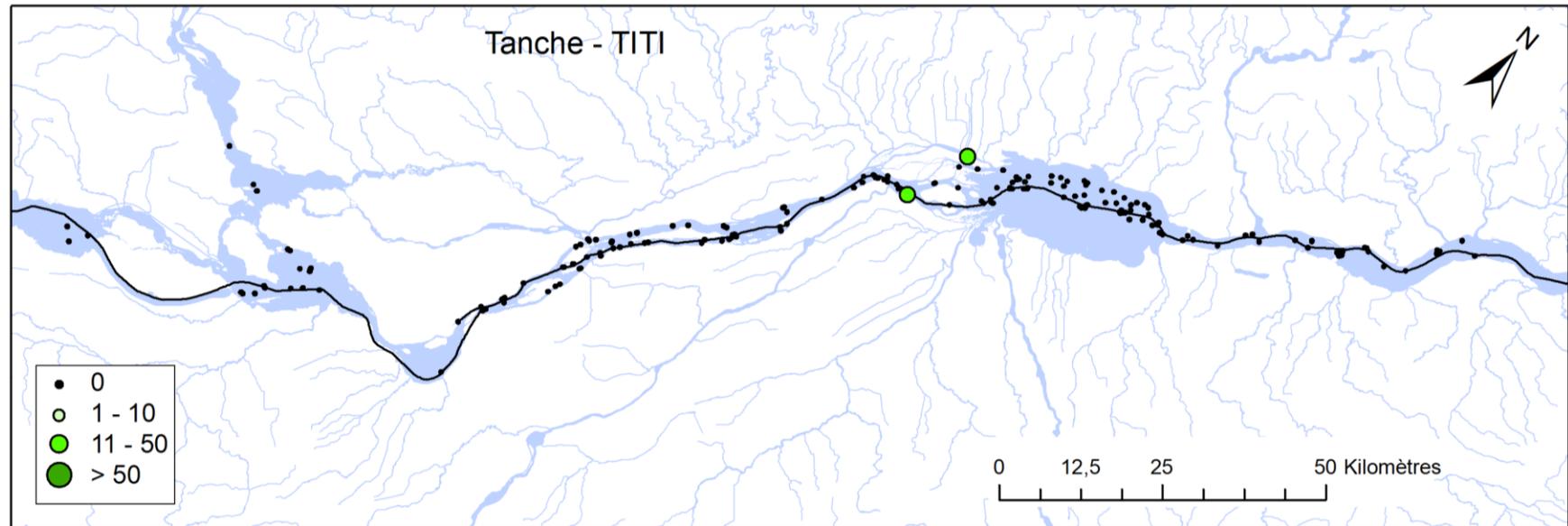












**Forêts, Faune  
et Parcs**

**Québec** 