

CARACTÉRISATION DES COMMUNAUTÉS DE MACROINVERTÉBRÉS BENTHIQUES DU NORD DU QUÉBEC

SECTEURS : FOSSE DU LABRADOR, RIVIÈRE KOVIK,

SUD DE LA BAIE D'UNGAVA ET RIVIÈRE ARNAUD

2022

Photo page couverture : Paysage du secteur sud de la baie d'Ungava – Julie Moisan

Coordination et rédaction

Cette publication a été réalisée par la Direction de la qualité des milieux aquatiques du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC).

Renseignements

Téléphone : 418 521-3830
1 800 561-1616 (sans frais)

Télécopieur : 418 646-5974
Formulaire : www.environnement.gouv.qc.ca/formulaires/renseignements.asp
Internet : www.environnement.gouv.qc.ca

Le présent document peut être consulté sur le site du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques:
www.environnement.gouv.qc.ca/index.asp

ou

Visitez notre page Web :
www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/macroinvertebre/benthos/index.htm

Référence à citer : Moisan, J., 2022. Caractérisation des communautés de macroinvertébrés benthiques du nord du Québec – Secteurs : fosse du Labrador, rivière Kovik, sud de la baie d'Ungava et rivière Arnaud, Québec, ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, 30 p. + 11 annexes.

Dépôt légal – 2022
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
ISBN 978-2-550-93019-8 (PDF)

Tous droits réservés pour tous les pays.

© Gouvernement du Québec - 2022

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Rédaction

Julie Moisan¹, spécialiste en sciences physiques

Échantillonnage et acquisition de données

Daniel Blais²
Julie Moisan¹
Joany Suazo²

Laboratoire – taxonomie

Roger Audet¹⁻³
Diane Grenier³
Jean-Philippe Baillargeon¹
Guillaume Desrosiers¹
Anne-Frédérique Fournier¹
Julie Moisan¹
Francine Rochette¹
René Therreault¹

Révision scientifique

Daniel Blais², géographe, M. Sc.
Vincent Fugère⁴, professeur, Ph. D.
Isabelle Lavoie⁵, professeure, Ph. D.
Lyne Pelletier¹, biologiste, M. Sc.

-
1. Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement.
 2. Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale de la conservation de la biodiversité.
 3. Contractuel.
 4. Université du Québec à Trois-Rivières, Département des sciences de l'environnement.
 5. Institut national de la recherche scientifique, Centre Eau Terre Environnement.

Mots clés : macroinvertébrés benthiques, benthos, biodiversité, Plan d'action nordique, référence, rivière, ruisseau, nord, Québec, Kovik, Ungava, Arnaud, fosse, Labrador

Résumé

Cette étude sur les macroinvertébrés benthiques est la deuxième réalisée dans le cadre du Plan d'action nordique. Les cours d'eau étudiés ont tous un substrat grossier et sont en grande majorité traversables à gué. Les communautés qui y vivent sont des communautés de référence, l'empreinte humaine y est négligeable. Cent soixante et une stations, réparties entre le 55°N et le 61,8°N, sont analysées. Les objectifs sont les suivants : 1) établir un état de référence avant le développement du territoire et l'accélération des changements climatiques; 2) caractériser la biodiversité; 3) explorer les relations entre les communautés et les variables relatives à l'habitat, au climat et aux caractéristiques physicochimiques de l'eau, 4) explorer les variables de communautés des macroinvertébrés benthiques qui distinguent le mieux ces communautés.

Ce rapport traite de l'ensemble des résultats des échantillonnages des communautés de macroinvertébrés benthiques réalisés dans le nord du Québec par le MELCC de 2012 à 2019. Les résultats de 2012 et 2013 ont aussi fait l'objet d'un rapport précédent (Moisan, 2017).

Les taxons les mieux répartis sur l'ensemble du territoire à l'étude sont les diptères Chironomidae Orthocladiinae et Tanytarsini, les diptères Simuliidae *Simulium*, les éphéméroptères Baetidae *Baetis*, les acariens et les oligochètes. Tous ces taxons sont présents dans au moins 90 % des stations. Mis à part les acariens et les oligochètes, ils peuvent atteindre des densités élevées. Un autre taxon, le pélicypode Sphaeriidae *Pisidium*, atteint des densités élevées à dix-huit stations situées dans la partie sud du territoire, entre Schefferville et Kuujuaq.

Une analyse de groupement a permis d'identifier sept communautés et les taxons indicateurs (TI) qui les caractérisent ont été déterminés. Le meilleur TI de chacun des groupes appartient à l'ordre des diptères quatre fois sur sept. Ces quatre groupes ont tous des stations situées au-delà de la limite des arbres. Les deux groupes les plus au sud ont comme meilleurs taxons indicateurs, pour l'un, un trichoptère et un pélicypode et, pour l'autre, un pélicypode et trois éphéméroptères. Enfin, le groupe situé au sud de la baie d'Ungava a comme meilleurs TI un plécoptère et deux éphéméroptères.

Les relations entre ces communautés et des données relatives à l'habitat à l'échelle locale et à l'échelle du bassin versant ont été explorées. La composition des berges et la largeur du cours d'eau à la station d'échantillonnage ainsi que la latitude, les variables climatiques, l'occupation du sol et le type de dépôt de surface au niveau du bassin versant sont les variables qui expliquent le mieux certaines communautés rencontrées. Au niveau de la qualité de l'eau, une des communautés décrites, dont les stations sont situées au sud de la baie d'Ungava à une distance maximale de 50 km de la mer, est associée à des concentrations en sodium plus importantes et à une eau dont la dureté est plus élevée.

Les variables de communautés de macroinvertébrés benthiques décrivant les différents groupes ont été calculées. Celles qui sont liées à la richesse taxonomique ou à la tolérance à la pollution, en particulier celles qui concernent les taxons intolérants à la pollution (tels que les éphéméroptères, plécoptères et trichoptères), semblent indiquer que la survie de ces derniers devient de plus en plus difficile avec l'augmentation de la latitude. Ces variables pourraient s'avérer utiles pour suivre les effets des changements climatiques ou de perturbations anthropiques.

Les données issues de la présente étude nous renseignent sur la biodiversité des cours d'eau dans plusieurs secteurs du nord du Québec. Elles pourraient être utilisées pour orienter les choix de territoires à protéger. Cette étude identifie des communautés qui sont adaptées à leur milieu. L'accélération des changements climatiques et du développement industriel du Nord sont les principaux stress environnementaux qui risquent de les affecter. Les macroinvertébrés benthiques pourraient être utilisés en tant qu'indicateurs des effets générés par ces stress en cours et à venir.

Table des matières

Résumé	iv
Liste des tableaux	vi
Liste des figures	vii
Liste des annexes	viii
1. Introduction	1
2. Méthodologie	2
2.1 Territoire à l'étude	2
2.2 Échantillonnage des macroinvertébrés benthiques et traitement en laboratoire	4
2.3 Données descriptives recueillies	5
2.4 Analyses de données	6
3. RÉSULTATS ET DISCUSSION	8
3.1 Analyses des communautés de macroinvertébrés benthiques échantillonnées entre 2012 et 2019	8
3.2 Habitat	17
3.3 Variables de communautés	24
4. Conclusion	27
5. Références bibliographiques	28
6. Annexes	31

Liste des tableaux

Tableau 1	Densité d'organismes et température aux stations par secteur d'échantillonnage	8
Tableau 2	Valeur médiane (minimum et maximum) de certaines variables de communautés par secteur d'échantillonnage	9
Tableau 3	Corrélations de Pearson entre la latitude et les températures moyennes annuelles et certaines variables de communautés	26

Liste des figures

Figure 1	Localisation des secteurs échantillonnés au cours des différentes campagnes	3
Figure 2	Analyse factorielle de correspondance redressée réalisée avec les données d'abondance relative des taxons de macroinvertébrés benthiques	11
Figure 3	Positionnement des stations selon leur groupe	12
Figure 4	A) Groupe 1 et domaines bioclimatiques. B) Trichoptère <i>Dolophiloides</i>	13
Figure 5	A) Groupe 2 et domaines bioclimatiques B) Diptère Tanytarsini	13
Figure 6	A) Groupe 3 et domaines bioclimatiques B) Diptère Orthoclaadiinae	14
Figure 7	Groupe 4 et domaines bioclimatiques	14
Figure 8	A) Plécoptère <i>Amphinemura</i> B) Boîtes à moustaches de la température dans les différents groupes de stations	14
Figure 9	A) Groupe 5 et domaines bioclimatiques B) Mollusque <i>Pisidium</i>	15
Figure 10	A) Groupe 6 et domaines bioclimatiques B) Diptère <i>Simulium</i>	15
Figure 11	A) Groupe 7 et domaines bioclimatiques B) Diptère Diamesinae	16
Figure 12	Deux stations exceptionnelles, R19_062 et R19_993	17
Figure 13	Analyse canonique de correspondance réalisée sur les données d'abondance relative des macroinvertébrés benthiques et les variables relatives à l'habitat à l'échelle locale	19
Figure 14	Analyse canonique de correspondance réalisée sur les données d'abondance relative des macroinvertébrés benthiques et les variables relatives à l'habitat à l'échelle du bassin versant et variables climatiques	21
Figure 15	Analyse canonique de correspondance réalisée sur les données d'abondance relative des macroinvertébrés benthiques et les variables de qualité de l'eau	23
Figure 16	Diagrammes en boîtes à moustaches des abondances relatives du plécoptère <i>Amphinemura</i> et de l'éphéméroptère <i>Baetis</i> pour chacun des groupes de stations	24
Figure 17	Diagrammes en boîte à moustaches de certaines variables de communautés par groupe de stations	26

Liste des annexes

Annexe 1	Stations d'échantillonnage entre 2012 et 2019 et groupes issus de l'analyse de groupement	32
Annexe 2	Liste des taxons identifiés.....	35
Annexe 3	Variables relatives à l'habitat à l'échelle locale.....	38
Annexe 4	Variables de l'habitat à l'échelle du bassin versant (données cartographiques) et variables climatiques	39
Annexe 5	Variables de qualité de l'eau incluses dans les analyses.....	40
Annexe 6	Transformations choisies pour les différentes variables.....	41
Annexe 7	Taxons indicateurs dans chaque groupe issu de l'analyse de groupement.....	42
Annexe 8	Diagramme en boîtes à moustaches de variables de l'habitat à l'échelle locale par groupe de station.....	43
Annexe 9	Diagramme en boîtes à moustaches de variables de l'habitat à l'échelle du bassin versant par groupe de station	44
Annexe 10	Diagrammes en boîtes à moustaches de variables de qualité de l'eau par groupe de stations	45
Annexe 11	Variables de communautés des macroinvertébrés benthiques.....	46

1. Introduction

Cette étude est réalisée dans le cadre du Plan d'action nordique dont le territoire est situé au nord du 49^e parallèle. Ce vaste territoire d'une superficie de 1,2 million de kilomètres carrés couvre 72 % de la province. Dans le Nord québécois, l'eau est omniprésente et façonne le paysage. Parmi les formes de vie qui habitent ce territoire, les macroinvertébrés benthiques (MIB) d'eau douce sont peu connus. Ces organismes, qui vivent au fond des cours d'eau et des lacs, sont principalement des insectes, des crustacés, des mollusques et des vers. Dans cette région où le froid limite la présence des espèces, celles qui y vivent y sont adaptées. Les cours d'eau y sont longtemps gelés, l'été y a une courte durée. La végétation boréale peu diversifiée allant jusqu'à l'absence d'arbres dans la zone arctique est un élément majeur associé à la possibilité de retrouver ou non certains taxons de MIB. Chez les MIB, les adaptations peuvent être de type alimentaire, par exemple utiliser de la nourriture largement disponible ou accroître l'éventail alimentaire habituel. D'autres adaptations concernent le déplacement vers des habitats plus avantageux lors de périodes critiques ou le fait d'avoir un cycle de développement allongé qui peut comprendre une diapause, c'est-à-dire une dormance. D'autres adaptations comprennent la tolérance au gel, la résistance à l'anoxie ou encore la modification des activités reproductrices (Danks, 2007). Les communautés de macroinvertébrés benthiques du nord du Québec diffèrent énormément de celles que l'on retrouve dans le sud de la province, d'où le besoin de parfaire les connaissances à leur sujet.

La présente étude est issue d'une collaboration entre la Direction générale du suivi de l'état de l'environnement et la Direction générale de la conservation de la biodiversité. Elle fait suite à plusieurs activités d'inventaires écologiques aquatiques en milieu nordique réalisées entre 2012 et 2019. Ces activités visent à faire avancer les connaissances écologiques sur le territoire. Plus précisément, les objectifs de cette étude sur les communautés de macroinvertébrés benthiques sont: 1) établir un état de référence avant le développement et l'accélération des changements climatiques; 2) caractériser la biodiversité; 3) explorer les relations entre les communautés et les variables relatives à l'habitat, au climat et aux caractéristiques physicochimiques de l'eau, 4) explorer les variables permettant de décrire ces communautés.

Un précédent rapport couvrait la région de la fosse du Labrador (Moisan, 2017). Cette région est de nouveau étudiée dans la présente étude afin d'avoir un portrait à plus grande échelle. Il est déjà établi que l'indice de santé du benthos ISB_g développé et utilisé dans le sud du Québec (MDDEFP, 2012) ne peut être utilisé sous les latitudes nordiques (Moisan, 2017). Les communautés décrites sont des communautés de référence, l'empreinte humaine étant actuellement très faible sur le territoire. Les données obtenues pourront servir de référence pour mesurer les effets de futures activités industrielles et pour juger des effets des changements climatiques projetés.

2. Méthodologie

2.1 Territoire à l'étude

Les échantillons de benthos ont été récoltés dans les ruisseaux et les rivières de la fosse du Labrador (2012 et 2013), dans le secteur de la rivière Kovik (2014), au sud de la baie d'Ungava (2018) et dans le secteur de la rivière Arnaud (2019). Le nombre de stations retenues pour les analyses est de 39 en 2012, 42 en 2013, 12 en 2014, 32 en 2018 et 36 en 2019, pour un total de 161 stations réparties dans une vingtaine de bassins versants nommés ainsi que dans de petits bassins sans appellation (annexe 1; figure 1). Les principaux bassins versants concernés sont ceux des rivières à la Baleine, Arnaud, Koksoak et Kovik. Les différentes campagnes d'échantillonnage ont eu lieu durant les mois de juillet et août.

Les stations sont situées principalement dans les provinces naturelles du bassin de la baie d'Ungava et de celui de la péninsule d'Ungava. Le **bassin de la baie d'Ungava** se présente comme une grande dépression inclinée vers la baie d'Ungava. La partie ouest se caractérise par une succession de buttes et de basses collines étroites, tandis qu'à l'est s'étend en une plaine faiblement accidentée (Li et collab., 2019). La fosse du Labrador, située dans la partie ouest du territoire à l'étude, est la zone la plus riche en fer du Québec et est propice au développement minier. Dans cette province naturelle, le climat est du type subpolaire froid qui se caractérise par des précipitations modérées et par une courte saison de croissance. On y trouve des landes à lichens dans les zones exposées et un couvert forestier dans les zones abritées. La population est concentrée au nord à Kuujuaq et au sud à Schefferville.

La **péninsule d'Ungava** est majoritairement un plateau rocheux ondulé caractérisé par le climat le plus rigoureux du Québec. Il est extrêmement froid, très sec et la saison de croissance y est très courte (Li et collab., 2019). La population est répartie dans différents villages côtiers. Située entre les villages d'Akulivik et de Kangiqsujuaq, la fosse de l'Ungava a fait l'objet d'une importante exploitation du nickel dans les années 1950 (Philié, 2013). Aujourd'hui, on y extrait principalement le nickel, le cuivre et le cobalt. L'ouest de la baie d'Ungava contient de nombreux gisements de fer. Trois stations sont situées dans la province naturelle du plateau central du nord du Québec et trois dans le massif du Labrador septentrional, toutes ces stations se trouvent près du bassin de la baie d'Ungava. Les coordonnées géographiques des sites d'échantillonnage sont présentées dans l'annexe 1.

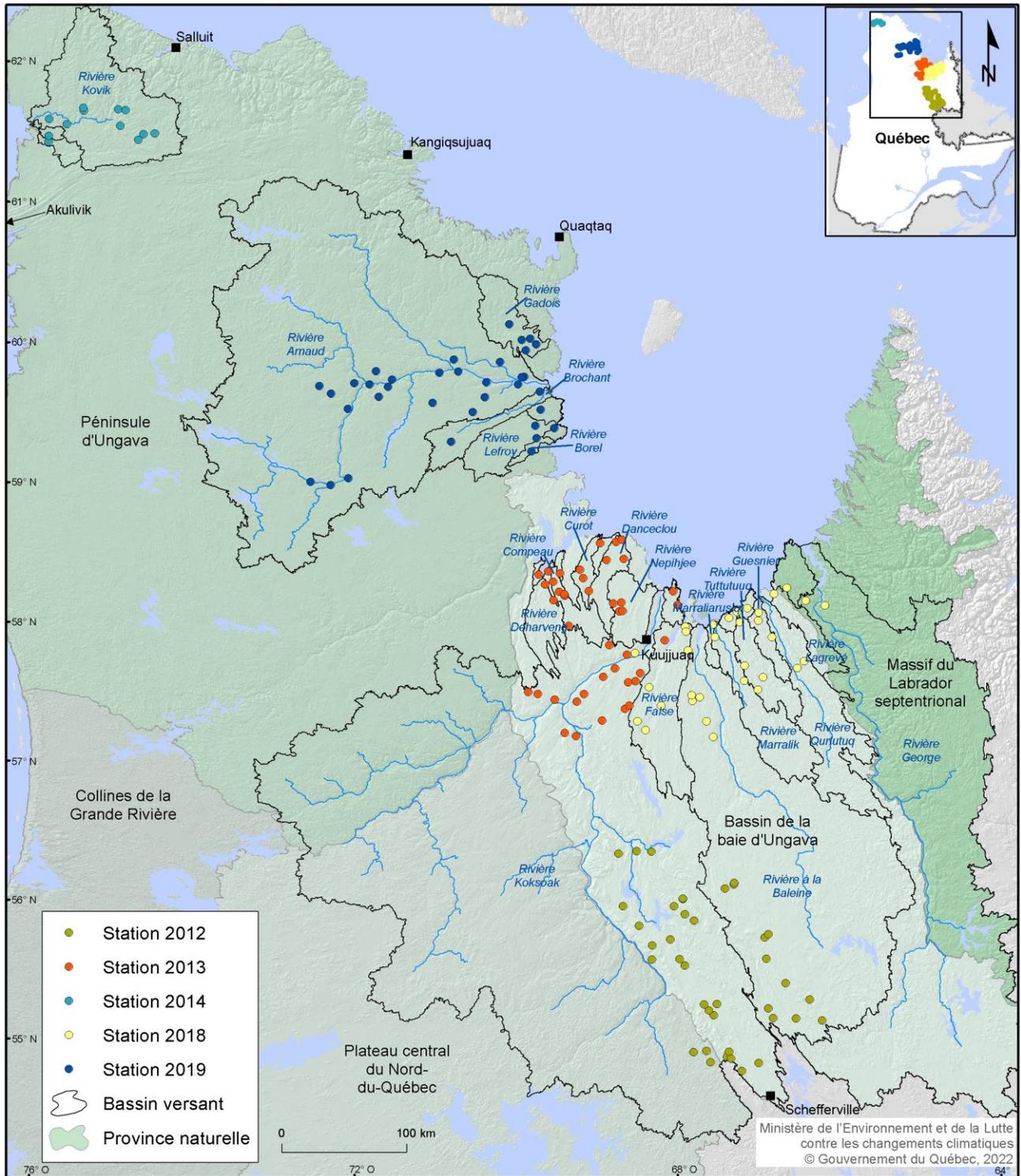


Figure 1 Localisation des secteurs échantillonnés au cours des différentes campagnes

2.2 Échantillonnage des macroinvertébrés benthiques et traitement en laboratoire

Les cours d'eau à l'étude sont des ruisseaux et des rivières dont le substrat est grossier et que l'on peut traverser à gué. Quelques rivières n'étaient pas traversables à gué et ont été échantillonnées dans les parties accessibles. Chaque station mesurait 100 m; seules les zones de seuils et de plats courants ont été échantillonnées. Les macroinvertébrés ont été délogés avec les mains sur une surface de 50 cm sur 30 cm pendant un minimum de 30 secondes et récupérés à l'aide d'un filet troubleau de 600 µm de maille, ce qui correspond à un coup de filet. À quelques stations, là où la profondeur de l'eau était trop importante ou le courant trop rapide pour ce type d'échantillonnage, les pieds ont été utilisés pour frotter le substrat rocheux. Pour chaque station, dix coups de filet ont été donnés pour obtenir un échantillon composite couvrant une surface d'environ 1,5 m². L'échantillon composite a été conservé dans l'alcool éthylique à 70 % coloré avec du rose Bengale pour faciliter le tri, car plusieurs échantillons contenaient des organismes de petite taille. Des fiches descriptives des stations d'échantillonnage et d'évaluation de la qualité de l'habitat ont été remplies.

Au laboratoire, chaque échantillon a été rincé sur un tamis à maille de 600 µm, puis déposé dans un plateau de fractionnement « Caton » d'une superficie de 30 cm sur 36 cm séparée en 30 carreaux (Caton, 1991). Des carreaux ont été choisis de façon aléatoire, jusqu'à l'obtention d'au moins 500 organismes, qui ont ensuite été triés et identifiés sous une loupe binoculaire. Le sous-échantillonnage réalisé est basé sur un compte fixe de 500 organismes. La méthode de sous-échantillonnage retenue au laboratoire exige toutefois de terminer le tri d'un carreau commencé. Dix pour cent des échantillons ont été triés au complet et comportaient moins de 500 organismes.

La majorité des organismes ont été identifiés au niveau taxonomique du genre. Il est à noter que les oligochètes ont été identifiés comme tels (classe) et que les diptères Chironomidae ont été identifiés au niveau de la tribu (Chironomini, Tanytarsini et Tanypodinae Pentaneurini ou non-Pentaneurini) ou à celui de la sous-famille pour les Orthcladiinae, Diamesinae et Prodiamesinae (annexe 2). Plusieurs ouvrages de référence ont été utilisés pour l'identification, mais la taxonomie finale s'accorde avec celle qui est présentée par Merritt, Cummins et Berg (2008) pour les insectes et par Smith (2001) pour les autres organismes.

L'échantillonnage et le traitement des échantillons au laboratoire ont été réalisés en grande partie selon les méthodes décrites dans le *Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec – Cours d'eau peu profonds à substrat grossier* (MDDEFP, 2013). Les éléments qui diffèrent par rapport à ce protocole sont les suivants : la superficie échantillonnée qui peut être exprimée en nombre de coups de filet (10 coups au lieu de 20 ou superficie de 1,5 m² au lieu de 3 m²), le nombre d'organismes visés par le sous-échantillonnage (500 organismes au lieu de 200) et la coloration des échantillons. Le nombre d'organismes identifiés a été haussé en raison du peu d'information disponible sur les communautés étudiées et pour en assurer une meilleure description. La superficie échantillonnée est plus petite pour des raisons logistiques, comme le transport d'alcool et le temps requis pour l'échantillonnage. Le nombre d'organismes visé dans le Québec méridional est lié au fait que les données acquises servent à calculer l'ISB₉ qui, lui, est basé sur un compte de 200 organismes (MDDEFP, 2012).

2.3 Données descriptives recueillies

À chacune des stations, des données descriptives ont été recueillies sur le terrain, donc à une échelle locale, et d'autres à l'échelle du bassin versant à partir de données cartographiques. Quelques variables climatiques ont également été incluses. Sur le terrain, des données relatives à l'habitat ont été compilées ainsi que des données concernant la qualité de l'eau, recueillies à l'aide d'une sonde. À certaines stations, des échantillons d'eau ont été prélevés pour analyses subséquentes au laboratoire du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec.

Habitat à la station

Les données descriptives de l'habitat riverain et aquatique ont été prises à la station, c'est-à-dire sur une longueur de 100 m. Ces données reflètent l'aspect physique du cours d'eau et de son environnement. Elles concernent principalement le type d'écoulement, la composition des berges et le type de substrat. Dix variables composant un indice de qualité d'habitat (IQH) ont également été évaluées lorsque c'était possible. Bien que la plupart de ces variables soient liées aux modifications des cours d'eau engendrées par les activités anthropiques, certaines s'avèrent utiles pour qualifier les milieux échantillonnés. Parfois, quelques variables ne pouvaient être évaluées, particulièrement celles concernant la végétation à certaines stations situées au-delà de la limite des arbres. Si d'autres échantillonnages étaient réalisés aux mêmes stations dans le futur, ces données pourraient servir de points de comparaison. L'annexe 3 présente les différentes variables de l'habitat riverain et aquatique aux stations des cours d'eau étudiées et celles faisant partie de l'IQH y sont indiquées. Ces variables sont décrites dans le guide de surveillance biologique (MDDEFP, 2013).

Habitat (données cartographiques) et variables du climat

Les variables de l'habitat provenant de données cartographiques sont généralement calculées à l'échelle du bassin versant y compris celles concernant le climat. Le bassin de chacune des stations d'échantillonnage a été délimité à partir de modèles matriciels d'écoulement de surface. Ces matrices, issues des modèles numériques de terrains hydro cohérents à l'échelle 1/50000 du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec, sont produites par la Direction de la connaissance écologique (DCE) du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). La compilation de chacune des variables est réalisée par analyse spatiale à l'aide du logiciel ArcGis. La liste des variables se trouve dans l'annexe 4. L'information géologique provient du Système d'information géominière (SIGEOM) et a été reclassifiée par la DCE du MELCC. L'information concernant les dépôts de surface provient d'une compilation des différentes couches d'informations produites par le ministère des Ressources naturelles et de la Faune (Dufour, Robitaille et Lebcœuf, 2016; Lebcœuf, Dufour, et Grondin, 2012). L'information sur l'occupation du sol est tirée de la cartographie de la couverture terrestre du Québec de l'année 2000. Les variables climatiques proviennent d'une modélisation du climat à partir de données historiques (CFSR, Climate Forecast System Reanalysis) réalisée par les Centres nationaux pour la prédiction environnementale (NCEP, National Centers for Environmental Prediction) de la société météorologique américaine (Saha et collab., 2010).

Qualité de l'eau

Les données physicochimiques de l'eau prises directement sur le terrain à l'aide d'une sonde multiparamètres YSI incluent la température, le pH et la conductivité. Le carbone organique dissous (COD) a été analysé à toutes les stations. L'échantillon pour l'analyse du COD a été filtré sur le terrain et conservé dans une bouteille en verre contenant de l'acide chlorhydrique comme agent de conservation. Divers métaux et éléments majeurs ont été analysés, mais ces analyses n'ont pas été effectuées à toutes les stations. La méthode de prélèvement de métaux traces extractibles totaux est décrite dans MELCC (2021). Les échantillons récoltés ont été analysés par le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ). Les nutriments (phosphore et azote) n'ont pas été analysés dans ces cours d'eau. La liste des variables de qualité de l'eau retenues et les méthodes d'analyse utilisées sont présentées dans l'annexe 5. Les prélèvements d'eau ont été effectués à une seule reprise, ce qui en limite l'interprétation.

2.4 Analyses de données

Les analyses effectuées visent en premier lieu à déterminer les communautés de macroinvertébrés benthiques présentes aux stations et à définir les taxons qui les caractérisent. Comme toutes les stations sont des stations de référence, les analyses visent en second lieu à mettre en relation les diverses communautés avec les variables environnementales dans le but de comprendre ce qui en conditionne la composition. Toutes les analyses ont été réalisées avec le logiciel PC-ORD (version 5) et le logiciel CANOCO (version 4.5). Les corrélations présentées ont été effectuées à l'aide du logiciel Systat 13 qui n'accompagne pas les valeurs obtenues d'une probabilité; c'est pourquoi ces dernières ne sont pas fournies.

Classification et ordination

Les données taxonomiques ont été ajustées afin d'être comparables lorsque des identifications multiniveaux sont présentes. Le parent (famille) a été distribué parmi les enfants (genres) selon leur abondance ou, lorsque la majorité des individus étaient identifiés à la famille (parent), les identifications au genre ont été ramenées à la famille (Cuffney, Bilger et Haigler, 2007). Les classifications et ordinations ont été réalisées à partir de l'abondance relative des taxons présents à chacune des stations. Les taxons présents dans moins de 5 % des stations et dont l'abondance est inférieure à 5 % ont été retranchés de la matrice de données.

Les données relatives à l'habitat, au climat ainsi qu'à la qualité de l'eau ont été transformées pour en normaliser, au besoin, la distribution. Les transformations choisies sont présentées dans l'annexe 6. Certaines variables ont été retirées des analyses pour l'une ou l'autre des raisons suivantes : trop de zéros dans la matrice de données, pas assez d'amplitude dans les données.

Dans les analyses canoniques de correspondance (ACC), le facteur d'inflation de la variance (FIV; *variance inflation factor* ou VIF) a été utilisé en vue de déterminer l'autocorrélation entre les variables. Si le FIV est élevé (>10), la variable est presque parfaitement corrélée avec une autre variable (forte colinéarité) et elle n'a donc pas de contribution unique à l'équation de régression (Quinn et Keough, 2002). Elle a alors été retirée. Les variables corrélées aux variables significatives ont été incluses dans l'ordination comme variables passives.

Classification des communautés de macroinvertébrés benthiques et taxons indicateurs

L'analyse de groupement sert à visualiser les liens hiérarchiques unissant les communautés de différentes stations. Le type de lien choisi est le groupement à liaison moyenne (*Unweighted arithmetic average clustering* ou *unweighted pair-group method using arithmetic average* ou UPGMA; Legendre et Legendre, 1998) associé à une distance de Sørensen (coefficient de Bray-Curtis; mesure le pourcentage de dissimilarité).

La procédure de permutation à réponses multiples (PPRM; *multiple response permutation procedure* ou MRPP) permet d'évaluer si la différence entre des groupes est significative ($p < 0,0002$). La PPRM est un test non paramétrique permettant d'évaluer la capacité d'une classification à maximiser la similarité à l'intérieur d'un groupe et à minimiser la similarité entre les groupes, à partir du calcul de la statistique d'agrément à l'intérieur d'un groupe (A) et de la valeur de signification p associée (Mielke et Berry, 1982). La PPRM a été calculée en utilisant la distance de Sørensen (Bray-Curtis). La statistique A décrit l'homogénéité à l'intérieur d'un groupe comparée à ce qui est attendu par le hasard. Si tous les taxons sont identiques entre les groupes, alors $A = 1$, ce qui est la plus haute valeur possible. Si l'hétérogénéité entre les groupes est égale à ce qui peut être obtenu par hasard, alors $A = 0$. Avec des données écologiques, les valeurs sous 0,1 sont communes et une valeur supérieure à 0,3 est considérée comme élevée (McCune et Mefford, 2006).

L'analyse de taxons indicateurs (*indicator species analysis*) combine des informations sur la concentration d'abondance et la fidélité de présence d'un taxon dans un groupe particulier. Un taxon indicateur caractérise un groupe de stations. Un bon taxon indicateur devrait se trouver surtout dans un

seul groupe et être présent à la plupart des sites qui appartiennent à ce groupe (Legendre et Legendre, 2012). La valeur indicatrice de chaque taxon est calculée pour chacun des groupes. Les valeurs indicatrices (VI) des taxons s'échelonnent de 1 à 100, 1 représentant un taxon qui n'est pas indicateur et 100 un taxon qui est un très bon indicateur. Cette analyse s'accompagne d'une probabilité.

Ordination

L'analyse factorielle des correspondances (AFC; *correspondence analysis* ou CA) a été utilisée pour évaluer les dissemblances ou les ressemblances entre les communautés biologiques des différentes stations (Legendre et Legendre, 1998 et 2012). La version redressée de cette analyse (AFCr ou *detrended correspondance analysis* – DCA en anglais) a été utilisée pour contrer l'effet d'arche observé dans l'AFC. Les résultats de l'analyse de groupement ont été intégrés à cette analyse pour en permettre la visualisation.

L'analyse canonique de correspondance (ACC; *correspondence analysis* ou CCA) a été utilisée pour mettre en relation les données d'abondance relative des taxons et différentes variables environnementales relatives à l'habitat et à la qualité de l'eau (Legendre et Legendre, 1998). Elle a également été utilisée pour évaluer la relation avec les variables de communautés. Comme nous l'avons mentionné précédemment, les variables environnementales ont au préalable été transformées, au besoin, en vue d'assurer une répartition normale des données (Grenier, 2010).

Variables de communautés

Enfin, plusieurs variables exprimant différents aspects de la structure de la communauté benthique ont été calculées. Elles se répartissent principalement dans trois catégories : mesure de richesse taxonomique, composition taxonomique et tolérance à la pollution. Une cote de tolérance aux nutriments et à la pollution organique, variant de 0 à 10, est attribuée à chaque organisme. Ceux dont la cote est de 0 à 3 sont considérés comme intolérants, alors que, lorsque leur cote est supérieure à 6, ils sont considérés comme tolérants. Bien qu'elles soient conçues en lien avec la pollution organique, les cotes de tolérance ont démontré leur utilité dans le cadre d'études concernant d'autres types de pressions sur le milieu (MDDEFP, 2012; MDDELCC, 2017). L'indice biotique d'Hilsenhoff (HBI) tient compte de la cote de tolérance de chaque organisme composant la communauté à une station donnée. Sur une échelle de 0 à 10, un IBH de 0 correspond à un site sans pollution organique et le 10 à un site où la pollution organique est grave. Dans le but de permettre la comparaison entre les stations, une raréfaction a été réalisée par simulation informatique (Walsh, 1997; MDDEFP, 2012) pour atteindre 500 organismes par sous-échantillon. Les échantillons n'atteignant pas ce nombre visé ont été laissés comme tels. Cette procédure est particulièrement importante pour le calcul des variables se rapportant à la richesse taxonomique, telles que le nombre total de taxons ou le nombre de taxons appartenant à tel ou tel groupe (Vinson et Hawkins, 1996; Feldman, Bostrom et Bukantis, 2006). Pour un échantillon donné, l'augmentation de la fraction étudiée tend à en augmenter la diversité taxonomique. L'objectif est d'évaluer les variables qui distinguent le mieux les communautés entre elles.

3. Résultats et discussion

3.1 Analyses des communautés de macroinvertébrés benthiques échantillonnées entre 2012 et 2019

Les échantillonnages réalisés entre 2012 et 2019 dans des rivières à substrat grossier du territoire du Plan d'action nordique ont permis de répertorier au total (matrice de données brutes) 138 taxons principalement identifiés au genre et 85 % d'entre eux sont des insectes. Par année, en commençant par les territoires les plus au sud, le nombre de taxons est en 2012 de 97, en 2013 de 90, en 2018 de 81, en 2019 de 49 et en 2014 de 33. Les stations explorées en 2013 et 2018 sont à des latitudes semblables. La liste de tous les taxons identifiés se trouve dans l'annexe 2.

Le nombre d'organismes visés pour l'identification était de 500, mais 10 % des échantillons n'atteignent pas ce nombre même si ceux-ci ont été analysés au complet. On observe une différence du sud au nord dans la portion des échantillons qui n'atteignent pas 500 organismes (tableau 1). Les cours d'eau du secteur de la rivière Kovik (2014) possèdent la plus faible densité de macroinvertébrés benthiques. Les densités d'organismes aux stations de la baie d'Ungava sont semblables à celles qui sont observées dans le sud de la fosse du Labrador. Cela pourrait s'expliquer en partie par les températures plus douces dues à la proximité de l'eau de la baie d'Ungava. Il y a plus de stations près de cette masse d'eau en 2018 qu'en 2013; la température moyenne aux stations du secteur au nord de la fosse du Labrador est légèrement plus froide et les organismes y présentent de plus faibles densités.

Tableau 1 Densité d'organismes et température aux stations par secteur d'échantillonnage

Territoire (année - nombre de stations)	% de stations < 500 organismes	Densité médiane/m ² (min-max)	T° moyenne annuelle de l'air aux stations (°C)
Sud FL (2012 - 39)	7,7	1272 (129-14053)	-4,9
Nord FL (2013 - 42)	7,1	997 (19- 3580)	-5,3
Sud BU (2018 -32)	3	1251 (314 – 5760)	-4,9
Arnaud (2019 - 36)	16	1104 (20-3680)	-6,8
Kovik (2014 - 12)	33,3	379 (196-1349)	-8,3

FL : fosse du Labrador, BU : baie d'Ungava; Grisé : Secteur plus nordique

Pour comparer le nombre de taxons, les échantillons excédant 500 organismes ont été ramenés à ce nombre par un exercice de raréfaction. Le tableau 2 présente certaines variables de communautés calculées, à partir des données raréfiées, par secteur d'échantillonnage. Le nombre total de taxons est semblable pour les trois territoires plus au sud; on voit une nette diminution dans les secteurs au nord. Le même constat s'observe pour les éphéméroptères, plécoptères et trichoptères (EPT), ordres pour lesquels il y a peu de taxons dans l'ensemble des territoires et encore moins dans les secteurs plus nordiques des rivières Kovik et Arnaud. Ces diminutions sont attendues et ont été illustrées dans d'autres études (Vinson et Hawkins, 2003, Scott et collab., 2011, Culp et collab., 2019). Le nombre de taxons intolérants et l'indice biotique d'Hilsenhoff semblent indiquer qu'il y a une cohérence entre la sensibilité des taxons à la pollution et la sensibilité aux rigueurs occasionnés par le climat. Notons que les deux secteurs nordiques sont au-delà de la ligne des arbres et les stations sont majoritairement situées là où le pergélisol est continu.

Tableau 2 Valeur médiane (minimum et maximum) de certaines variables de communautés, par secteur d'échantillonnage

Territoire (année)	N. taxons	N. taxons éphéméroptères	N. taxons plécoptères	N. taxons trichoptères	N. taxons intolérants	Indice biotique d'Hilsenhoff
Sud FL (2012)	23 (14-36)	5 (1-10)	3 (2-6)	5 (2-9)	9 (4-18)	4,63 (2,25-5,78)
Nord FL (2013)	20 (9-35)	4 (0-11)	2 (0-5)	3 (0-8)	5,5 (1-16)	5,17 (3,12-6,45)
Sud BU (2018)	21 (14-35)	5 (2-11)	2 (0-6)	4 (1-7)	8 (4-17)	5,21(4,11-6,02)
Arnaud (2019)	14 (5-21)	2,5 (0-5)	1 (0-3)	1 (0-3)	3 (0-7)	5,92 (5,06-7,48)
Kovik (2014)	11,5 (8-18)	3,5 (2-4)	0 (0-1)	0 (0-1)	2 (1-3)	5,54 (4,93-6,21)

FL : fosse du Labrador, BU : baie d'Ungava; Grisé : Secteur plus nordique

Quelques constats généraux:

- **ÉPHÉMÉROPTÈRES** : les éphéméroptères sont l'ordre le plus représenté après celui des diptères. Des 23 taxons rencontrés répartis dans neuf familles, les *Baetis* (Baetidae) sont présents dans 94 % des stations, avec une médiane de 6 % par station. Dans les territoires les plus méridionaux, la médiane de la proportion de *Baetis* par échantillon est de 8 % alors que, pour les 2 territoires plus nordiques, elle est de 1,6 %. Les *Ephemerella* sont également présents sur tout le territoire avec une médiane de 3 % par station.
- **PLÉCOPTÈRES** : de façon générale, les plécoptères sont peu présents sur le territoire. Les 16 taxons rencontrés se répartissent dans huit familles. Les *Amphinemura* (Nemouridae) et les *Leuctra* (Leuctridae) sont les mieux représentés. Ils sont présents dans les régions les plus au sud et sont quasiment absents des deux territoires les plus nordiques. Un seul *Amphinemura* a été retrouvé dans le secteur de la rivière Arnaud en 2019. Dans l'ouest du continent, en Alaska, le 2^e ordre représenté, après les diptères, est celui des plécoptères. Oswood (1989) concluait que, dans les rivières et ruisseaux de l'intérieur de l'Alaska, la proportion de Nemouridae augmentait du sud au nord. Les données de la présente étude ne concordent pas avec ce constat. Les Perlodidae (généralement *Isoperla*) sont les taxons les plus présents dans les deux secteurs les plus nordiques et les Perlidae, omniprésents dans le sud du Québec, ne se rencontrent que dans la partie sud de la fosse du Labrador à quatre stations où ils ne sont représentés que par un seul genre, *Agnetinia*. Au Yukon, cette rareté dans les cours d'eau soumis à des gels prolongés a déjà été observée par Stewart et Ricker (1997), qui considèrent que la présence de nombreuses branchies filamenteuses les rendrait sensibles au froid. Quelques Pteronarcyidae – *Pteronarcys*, qui portent également de nombreuses branchies filamenteuses, n'ont été trouvés que dans les zones d'échantillonnage plus au sud de la présente étude (2012, 2013 et 2018). Stewart et Ricker (1997) ont également constaté cette rareté au Yukon et l'attribuent en partie aux faibles quantités de grosses particules organiques dans les cours d'eau, donc à un manque de nourriture.
- **TRICHOPTÈRES** : de façon générale, les trichoptères sont peu abondants sur le territoire. Les treize familles rencontrées comprennent trente-deux genres dont les abondances sont généralement faibles. Le taxon ayant la meilleure répartition spatiale est le Rhyacophilidae – *Rhyacophila*. Il n'a cependant pas été répertorié dans la partie la plus nordique, celle de la rivière Kovik (2014). Les Philopotamidae, *Dolophiloides* et *Wormaldia*, n'ont pas été rencontrés dans les deux territoires les plus nordiques (rivières Kovik et Arnaud). Dans les douze stations du secteur de la rivière Kovik, seulement deux organismes appartenant à deux familles (Hydropsychidae et Limnephilidae) ont été répertoriés. Le nombre de genres susceptibles de se trouver dans les cours d'eau à substrat grossier au-delà de la limite des arbres est limité. Tous ceux qui ont besoin d'éléments végétaux terrestres (brindilles, écorce, feuilles) pour construire leur étui sont défavorisés. La rareté de petit matériel minéral dans les cours d'eau étudiés pose également un défi pour certains genres qui incorporent ce matériel à leur étui. Deux familles construisant un filet de capture de nourriture (Hydropsychidae et Philopotamidae) paraissent avoir des limitations pour survivre plus au nord. Oswood (1989) avait également constaté la rareté des trichoptères dans des rivières de l'Alaska.
- **DIPTÈRES** : les diptères sont présents à toutes les stations et constituent la majorité des organismes des communautés (abondance médiane : 53 %). Ils dominent davantage dans les deux territoires les plus nordiques (abondance médiane : 76 %). Les Chironomidae –

Orthoclaadiinae sont les plus fréquemment rencontrés (99 % des stations; abondance médiane : 18 %) et leur abondance relative est deux fois plus élevée dans les deux territoires plus nordiques. Les Chironomidae – Tanytarsini ont également une très bonne répartition spatiale, ils sont présents presque partout (96 % des stations), mais leur abondance est la moitié de celle qui a été observée chez les Orthoclaadiinae. Pour ce taxon, les deux territoires les plus nordiques ne se distinguent pas de ceux plus au sud. Les Chironomidae – Tanypodinae sont présents dans 88 % des stations, mais dans de faibles proportions (abondance médiane : 2 %). Les deux taxons de Chironomidae les moins observés sont les Chironomini, nettement plus présents au sud du territoire, et les Diamesinae dont la présence et les abondances sont supérieures au nord. Culp et ses collaborateurs (2019) ont fait une étude incluant des sites au nord du Labrador et au Nunavut. Leurs stations sont toutes situées sur la côte et sont plus nordiques que celle de la présente étude. Ils ont constaté que les sous-familles Diamesinae et Orthoclaadiinae prolifèrent aux sites les plus nordiques. Milner et ses collaborateurs (2001) ont identifié ces deux sous-familles de Chironomidae comme étant extrêmement tolérantes au froid. Scott et ses collaborateurs (2011) ont quant à eux constaté une augmentation de diversité générique des Chironomidae avec l'accroissement de la latitude, dans le bassin de la rivière Mackenzie dans le Nord-ouest canadien. Le niveau d'identification visé pour les Chironomidae de cette étude ne permet pas de conclure en ce sens, mais cette famille est assurément d'une grande importance dans la description des communautés macroinvertébrés benthiques nordiques.

Les Simuliidae ont une bonne répartition spatiale (présents dans 90 % des stations) et des abondances élevées à certaines stations; 10 % des stations en comportent plus de 40 %. Le genre *Simulium* est le plus abondant.

- **MOLLUSQUES** : les mollusques pélicypodes de la famille des Sphaeriidae sont présents dans la majorité des stations de la fosse du Labrador et du sud de la baie d'Ungava. Dans les deux territoires les plus nordiques, un seul organisme a été trouvé à une seule station. Les plus fortes abondances se trouvent dans le sud de la fosse du Labrador où le quart des stations ont plus de 20 % de Sphaeriidae. C'est le genre *Pisidium* qui est le plus répandu. Une identification à l'espèce serait intéressante pour mieux comprendre ces fortes abondances.
- **ODONATES** : bien que plusieurs espèces d'odonates préfèrent les milieux lenticules, certaines se trouvent en milieu lotique. Le seul taxon rencontré est *Somatochlora*. Aucun spécimen n'a été récolté aux stations au nord du 56^e parallèle.
- **COLÉOPTÈRES** : très peu de coléoptères ont été échantillonnés dans cette étude : huit taxons compris dans trois familles. Aucun spécimen n'a été récolté dans le secteur le plus nordique, celui de la rivière Kovik.
- **OLIGOCHÈTES** : ils sont présents dans 90 % des stations, mais leur abondance est faible (médiane de 2,4 %).
- **HYDRACARINA** : ils sont présents dans 90 % des stations, mais leur abondance est faible (médiane de 1,8 %).

Classification des communautés de macroinvertébrés benthiques

Le groupement hiérarchique (liaison moyenne et distance de Sørensen) a permis de regrouper les stations en sept groupes. Les stations appartenant à chacun des groupes sont identifiées dans l'annexe 1. L'homogénéité à l'intérieur des groupes est assez élevée ($A = 0,258$) et les groupes sont significativement différents ($p < 0,0002$; PPRM). Étant donné le nombre élevé de stations, la représentation graphique de l'analyse de groupement n'est pas présentée. Les résultats de l'analyse de groupement sont donc présentés dans une analyse factorielle de correspondance redressée (AFCr). Trois stations qui sont seules dans l'analyse de groupement (R19_062, R19_993 et R18_192) n'y sont pas représentées, car elles nuisaient à l'interprétation du graphique (figure 2). Dans cette analyse, les meilleurs taxons indicateurs issus d'une analyse pour les déterminer et dont les résultats sont présentés dans l'annexe 7 sont identifiés avec les couleurs de leurs groupes.

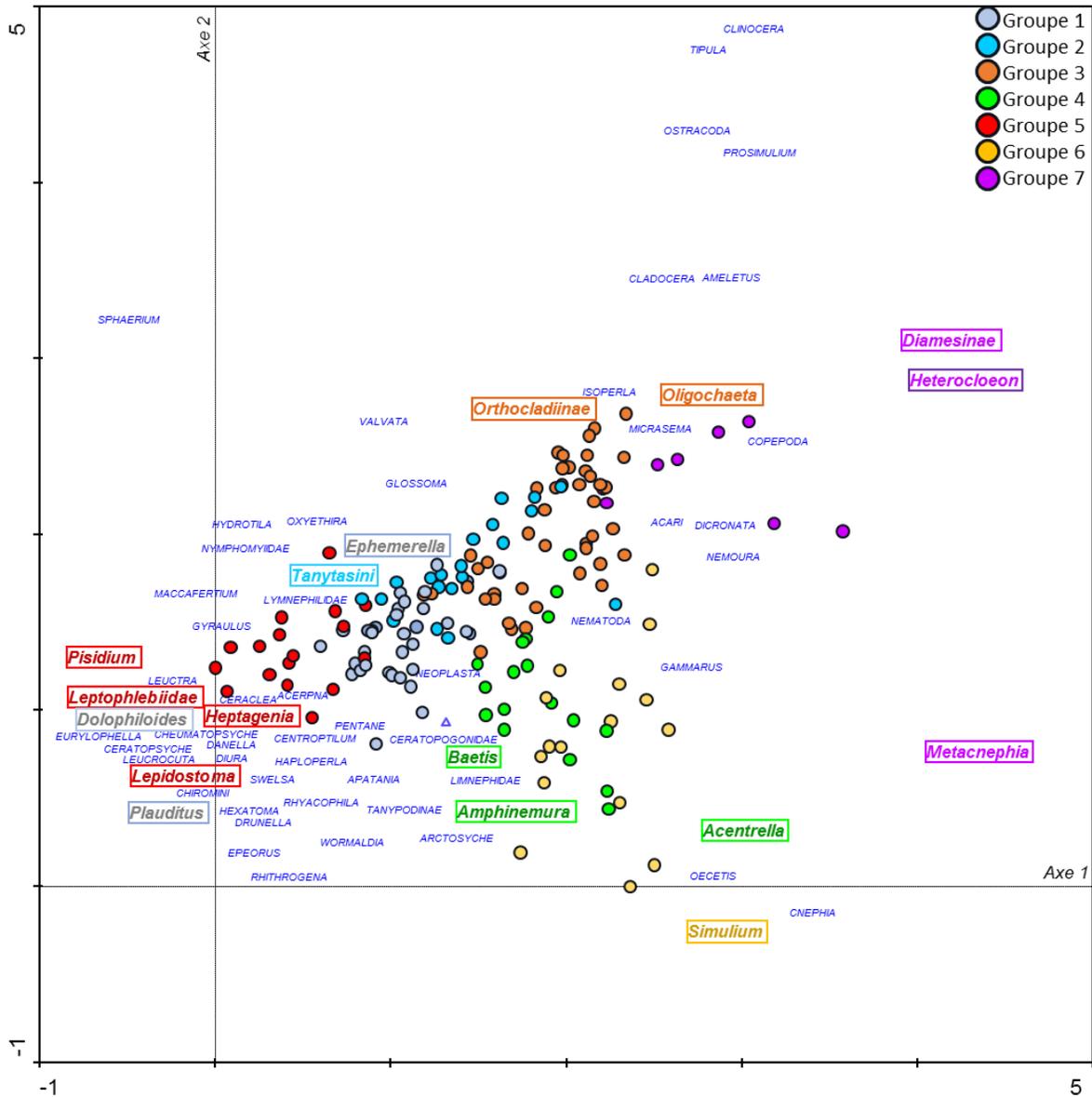


Figure 2 Analyse factorielle de correspondance redressée réalisée avec les données d'abondance relative des taxons de macroinvertébrés benthiques

(Cercle : station, les meilleurs taxons indicateurs sont colorés selon le groupe qu'ils représentent)

L'axe 1 de l'AFCr (figure 2) correspond globalement à un gradient de position géographique allant du sud vers le nord. Plusieurs taxons sont concentrés à gauche du graphique dont la majorité appartient aux EPT (éphéméroptères, plécoptères et trichoptères), organismes reconnus sensibles à la pollution et dont l'occurrence et l'abondance diminuent en progressant vers le nord. On y remarque également la présence des mollusques Sphaeriidae – *Pisidium*. À droite de l'axe 1, on trouve des stations plus nordiques avec beaucoup moins de taxons (figure 2). La carte ci-contre (figure 3) permet de visualiser la répartition spatiale des différents groupes. Les stations identifiées avec un cercle noir correspondent aux trois stations qui n'appartiennent à aucun groupe. Rappelons que les stations sont des sites de référence qui ne subissent pas l'influence d'activités anthropiques, si ce n'est par la pollution aéroportée ou le réchauffement du climat.

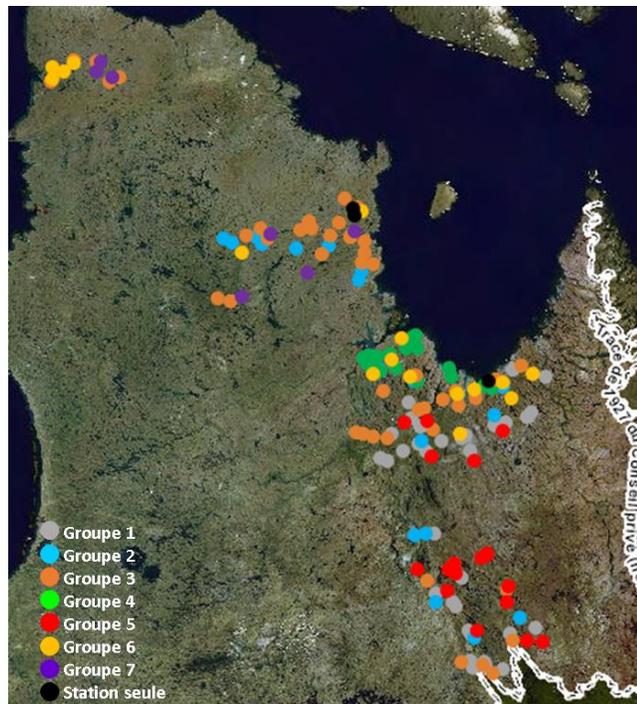


Figure 3 Positionnement des stations selon leur groupe

Description des groupes

La répartition des groupes sur le territoire sera décrite et les stations seront situées dans les différents domaines bioclimatiques. Ces derniers sont établis selon la végétation et le climat qui y règne. Au Québec, il existe dix domaines bioclimatiques, dont quatre sont présents dans le territoire étudié : la pessière à lichens, la toundra forestière, la toundra à arbustes dressés et la toundra à arbustes prostrés. Depuis 2021, ces deux derniers ont changé d'appellation. Auparavant, ils se nommaient respectivement toundra arctique arbustive et toundra arctique herbacée. Les limites territoriales des différents domaines ont été ajustées (MFFP, 2021).

Groupe 1 : Les trente-cinq stations de ce groupe sont situées entre la baie d'Ungava et le sud de la fosse du Labrador. La position de la station la plus nordique est sous 58,461910° de latitude; les stations sont réparties d'est en ouest du territoire étudié. Ce groupe est présent principalement dans le domaine bioclimatique de la toundra forestière, quelques stations se situent dans la pessière à lichens (figure 4A). La figure 2 nous montre que ce groupe comporte une bonne richesse taxonomique qui sera soulignée dans la section 3.3. Aucune des stations ne se trouve dans les deux territoires les plus nordiques. Le meilleur taxon indicateur est le trichoptère Philopotamidae *Dolophiloides* (figure 4B). Sa valeur indicatrice (VI = 70,3) est élevée et les deux autres taxons indicateurs, deux éphéméroptères, ont des VI plus faibles. Les taxons indicateurs appartiennent au groupe des EPT, bien connu pour sa sensibilité aux différentes pressions anthropiques.

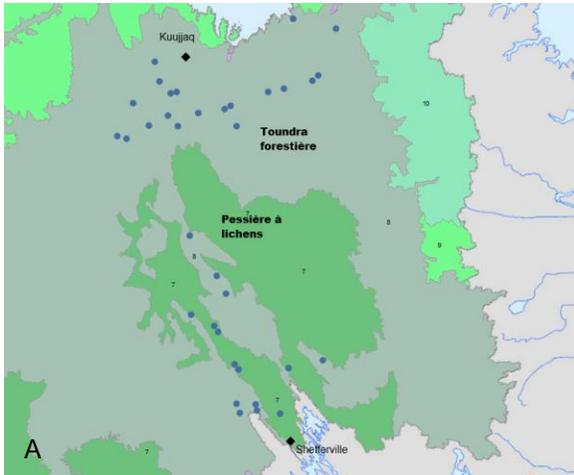
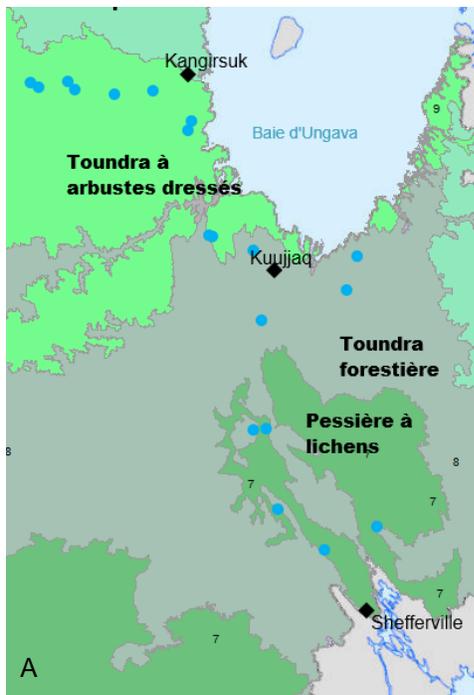


Figure 4 A) Groupe 1 et domaines bioclimatiques B) Trichoptère *Dolophiloides*



Groupe 2 : Les dix-neuf stations de ce groupe se répartissent entre le sud de la fosse du Labrador et le secteur de la rivière Arnaud. La position de la station la plus nordique est sous 59,899140° de latitude. Ce groupe est présent dans les domaines bioclimatiques de la toundra forestière, de la pessière à lichens et de la toundra à arbustes dressés (figure 5A). C'est dans ce domaine qu'il y a le plus de stations. Aucune station ne se trouve dans le territoire le plus nordique, celui de la rivière Kovik. Le meilleur taxon indicateur est le diptère Chironomidae Tanytarsini (figure 5B) qui, rappelons-le, est présent dans 96 % des stations. Sa valeur indicatrice (VI = 39,3) est moyenne.



Figure 5 A) : Groupe 2 et domaines bioclimatiques B) Diptère Tanytarsini

Groupe 3 : Avec ses quarante-six stations réparties dans tous les secteurs échantillonnés, cet assemblage de macroinvertébrés est le plus commun. Cette communauté n'a pas de limitation nordique, c'est plutôt dans le sud de la fosse du Labrador qu'elle est la moins présente. Les stations sont situées dans tous les domaines du territoire, y compris le domaine bioclimatique le plus nordique du Québec (figure 6A). Avec son grand nombre de stations, le meilleur taxon indicateur est le diptère Chironomidae Orthoclaadiinae (figure 6B) qui obtient une valeur indicatrice moyenne. Ce taxon est présent dans presque toutes les stations, mais son abondance relative est environ trois fois supérieure dans les stations de ce groupe. Selon Oliver et Dillon (1997), parmi les Chironomidae, la sous-famille des Orthoclaadiinae est la plus présente dans le Yukon arctique et dans les autres parties de la zone arctique.

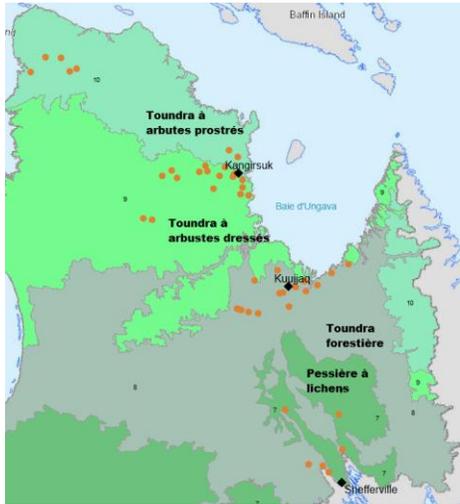


Figure 6 A) Groupe 3 et domaines bioclimatiques B) Diptère Orthoclaadiinae

Groupe 4 : Les dix-sept stations de ce groupe sont situées au sud de la baie d'Ungava à une distance maximale de 50 kilomètres de la mer. Soixante-dix pour cent des stations sont dans le domaine climatique de la toundra à arbustes dressés, quelques-unes sont à la limite nord de la toundra forestière (figure 7). Il s'agit de la communauté dont l'aire de répartition est la plus restreinte et qui correspond de manière globale à la région écologique de la baie aux Feuilles. Le plécoptère *Amphinemura* de la famille des Nemouridae a une bonne valeur indicatrice (VI = 67,9; figure 8A). Les éphéméroptères Baetidae des genres *Baetis* et *Acentrella* sont également de bons indicateurs de cette communauté. *Baetis* est présent dans 94 % de toutes les stations, c'est un taxon bien adapté au Nord. Alors que la médiane de la proportion de *Baetis* dans la communauté des autres groupes est de 5 %, elle est de 29 % pour les stations du groupe 4. Les trois meilleurs taxons indicateurs appartiennent aux EPT. La figure 8B indique que les températures sont plus chaudes aux stations des groupes 1, 4 et 5. Les groupes 2, 3 et 6, dont la répartition géographique des stations est très élargie, ont des températures variées. Le groupe 7 présente des températures plus froides.

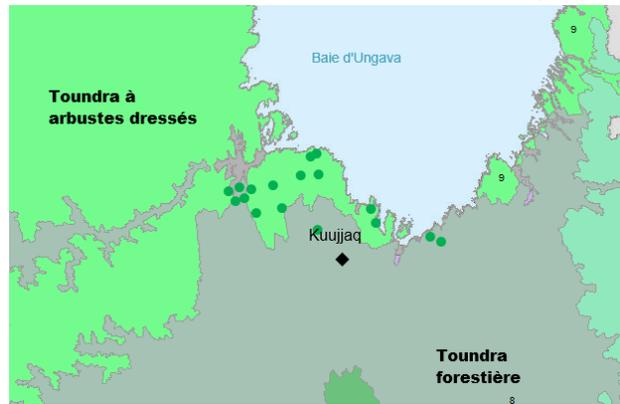


Figure 7 Groupe 4 et domaines bioclimatiques

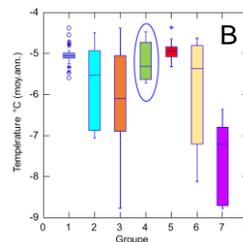
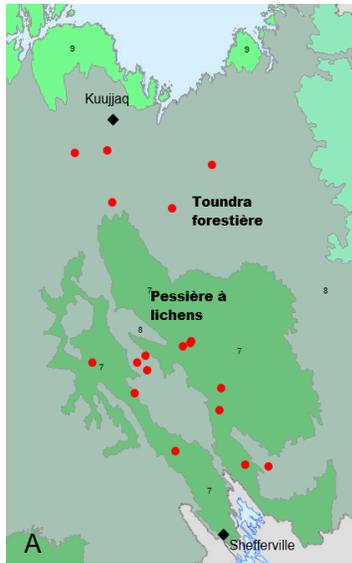


Figure 8 A) Plécoptère *Amphinemura* B) Boîtes à moustaches de la température dans les différents groupes de stations



Groupe 5 : Les dix-huit stations de ce groupe sont situées entre la baie d'Ungava et le sud de la fosse du Labrador, la majorité sont dans la partie sud de la fosse du Labrador et à plus de 50 kilomètres de la mer (figure 9A). Les stations se situent dans la toundra forestière et dans la pessière à lichens. Aucune des stations de ce groupe ne se trouve dans les deux territoires les plus nordiques. Le mollusque pélicypode *Pisidium* est le meilleur taxon indicateur de cette étude (VI = 84,3, figure 9B); la médiane de son abondance dans ce groupe est de 25 %. Il est présent dans tous les groupes, sauf le groupe 7. Dans les deux secteurs les plus nordiques, un seul spécimen a été trouvé dans le sud du secteur de la rivière Arnaud. Il semble y avoir une limitation nordique de cette espèce dans le territoire québécois. Cette communauté, déjà caractérisée dans Moisan (2017), se distingue encore dans le présent rapport avec l'ajout de quelques stations.



Figure 9 A) Groupe 5 et domaines bioclimatiques B) Mollusque *Pisidium*

Groupe 6 : Les seize stations de ce groupe sont situées du sud de la baie d'Ungava jusqu'au secteur de la rivière Kovik (figure 10A). La plupart des stations (50 %) se situent dans le nord de la toundra forestière, 19 % sont dans la toundra à arbustes dressés et 31 % dans la toundra à arbustes prostrés. Aucune station n'est située dans le sud de la fosse du Labrador. Le meilleur taxon indicateur est le diptère Simuliidae *Simulium* (figure 10B). Alors que les médianes d'abondance varient de 0,9 % à 4,4 % dans



les autres groupes, la médiane du groupe 6 est de 46 %. De 19 % à 82 % des organismes de ces stations sont des *Simulium*. Ce genre comporte plus de 150 espèces et représente plus de la moitié des espèces des mouches noires (Simuliidae) en Amérique du Nord (Merritt, Cummins et Berg, 2008).



Figure 10 A) Groupe 6 et domaines bioclimatiques B) Diptère *Simulium*

Groupe 7 : Les sept stations de ce groupe sont situées dans les deux secteurs les plus nordiques, ceux de la rivière Arnaud et de la rivière Kovik. Quatre sont situées dans la toundra à arbustes dressés et trois dans la toundra à arbustes prostrés (figure 11A). Le meilleur taxon indicateur, avec une très bonne valeur indicatrice ($VI = 83,7$), est le diptère Chironomidae Diamesinae (figure 11B). Alors que les médianes d'abondance varient de 0 % à 0,4 % dans les autres groupes, la médiane du groupe 7 est de 35 %. De 29 % à 48 % des organismes de ces stations sont des Diamesinae. Cette sous-famille est adaptée au froid et aux milieux d'eaux courantes, même si certains genres peuplent les eaux stagnantes. Ils habitent les parties les plus froides des terres circumpolaires et les chaînes de montagnes à travers le monde (Oliver et Dillon, 1997). Dans une étude comparant la diversité suivant un gradient latitudinal par groupe de stations, Culp et ses collaborateurs (2019) ont trouvé que les Diamesinae étaient associés aux sites situés aux 63°, 72° et 81°N et non à ceux au 58°N. Ils présentaient donc une affinité plus nordique. Milner et ses collaborateurs (2001) ont décrit les Diamesinae comme un taxon particulièrement tolérant au froid. Dans la présente étude, les stations concernées sont dans les secteurs situés entre 59,25°N et 61,75°N. Dans le secteur de la rivière Kovik, les Diamesinae sont présents à toutes les stations (abondance relative de 3 % à 46 %) et, dans le secteur de la rivière Arnaud, ils sont présents dans 75 % des stations (abondance relative de 0 % à 41 %).

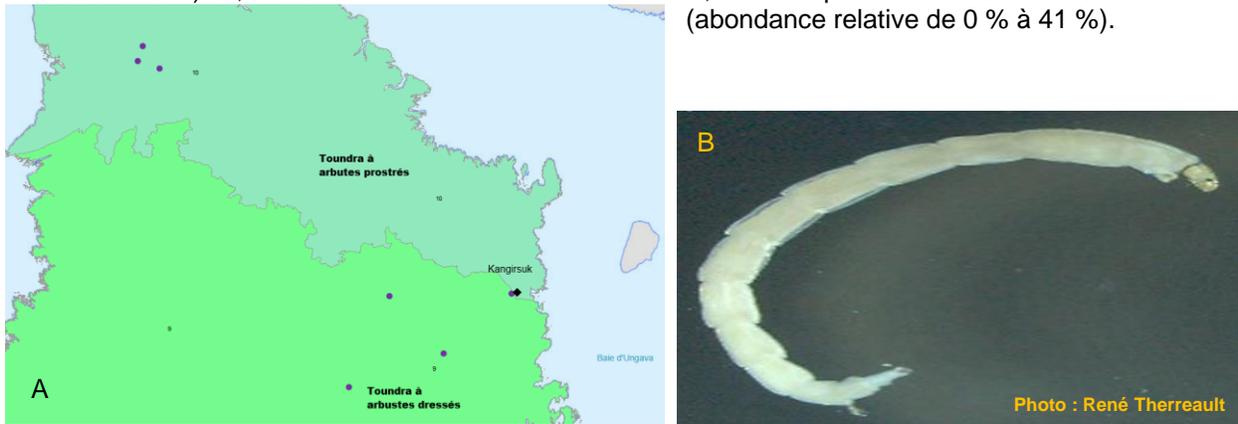


Figure 11 A) Groupe 7 et domaines bioclimatiques B) Diptère Diamesinae

Stations non groupées : Deux stations, R19_62 et R19_993, situées dans le secteur de la rivière Arnaud, avaient de très faibles densités. À ces stations, l'eau y naturellement acide avec des pH respectifs de 4,8 et de 3,5. Ces deux stations contiennent aussi de fortes concentrations naturelles de métaux, dont l'aluminium, le cadmium, le cuivre, le nickel et le zinc, qui dépassent le critère de toxicité chronique pour la protection de la vie aquatique (CVAC). La station R19_993 contient de surcroit 2000 µg/l de fer, d'où la coloration rouge des roches ; la station R19_62 présentait un résidu blanchâtre sur les roches (figure 12). Les communautés qui s'y trouvent sont différentes et nous renseignent quant à l'effet que pourraient avoir des rejets miniers acides sur les macroinvertébrés benthiques. Dans la station R19_62, la densité de 41 organismes/m² est dominée à 81 % par le diptère Simuliidae – *Cnephia*. La station R19_993 a une densité de 28 organismes/m² et est dominée à 67 % par le diptère Chironomidae – Chironomini. La troisième station non groupée, R18_192, a une communauté dominée à 67 % par le diptère Simuliidae *Metacnephia* et se situe dans un ruisseau affluent du sud de la baie d'Ungava. Généralement il y a peu ou pas de *Metacnephia* dans les autres stations. Ces trois stations exceptionnelles sont retirées des analyses subséquentes.



Figure 12 Deux stations exceptionnelles, R19_062 et R19_993

Les analyses présentées dans Moisan (2017) concernaient les stations de 2012 et 2013, soient celles du secteur de la fosse du Labrador. Quatre-vingt-trois stations avaient alors été analysées. La présente étude comporte presque le double de stations, soit 161, parmi lesquelles sont incluses celles qui ont été échantillonnées en 2012 et 2013. Les stations de 2014, 2018 et 2019 y ont été ajoutées. Les campagnes de 2014 et de 2019 ont été réalisées dans des territoires beaucoup plus nordiques, ce qui donne des assemblages qui diffèrent, mais qui, en même temps, confirment les valeurs indicatrices de plusieurs taxons. Ainsi, les taxons indicateurs présentés dans l'annexe 7 sont presque tous inclus dans l'analyse de 2012 et 2013 (Moisan, 2017), à l'exception de quatre taxons, dont les deux diptères chironomidae Orthoclaadiinae et Diamesinae qui ont des répartitions plus nordiques, comme elles sont décrites dans les constats généraux de la section 3.1, ce qui est cohérent avec les territoires ajoutés.

3.2 Habitat

Dans le but de mettre en relation la matrice des taxons rencontrés et les données relatives à l'habitat, diverses analyses canoniques de correspondance (ACC; *canonical correspondence analysis* ou CCA) ont été effectuées. L'objectif est de mettre en évidence les variables environnementales qui expliquent le mieux les groupes issus de l'analyse de groupement (annexe 1). Dans toutes les ACC, les stations de ces différents groupes sont désignées par leurs couleurs respectives.

Données relatives à l'habitat à l'échelle locale (à la station)

La première ACC effectuée concerne des données relatives à l'habitat récoltées sur le terrain. La liste des variables analysées se trouve dans l'annexe 3 et celles-ci sont décrites dans MDDEFP (2013). Une seule variable n'est pas présente dans ce guide : le pourcentage occupé par les mousses et les lichens dans la composition des berges. Pour s'adapter à la réalité du territoire étudié, elle a été ajoutée. Dix de ces variables composent un indice de qualité de l'habitat (IQH) pour les organismes benthiques. Certaines sont liées à la dégradation de l'habitat par des activités anthropiques. Elles ont peu d'utilité dans le présent exercice, mais elles pourraient être utiles dans des comparaisons ultérieures, à la suite de développements sur le territoire. Certaines variables ont été retirées de l'analyse, car elles n'étaient pas adaptées au territoire ou parce que les données étaient incomplètes. Par exemple, la variable concernant la protection végétale n'est pas conçue pour décrire les stations situées dans des régions sans végétation ou avec peu de végétation naturelle, là où l'intervention humaine n'y est pour rien. L'indice IQH lui-même

n'est pas inclus. Dans cette analyse, cinq variables de l'IQH sur 10 sont incluses. Les variables non significatives, en gris dans la figure 13, sont « passives » et n'influencent pas l'ordination. Les variables trop fortement corrélées ayant un FIV > 10 (facteurs d'inflation de variance FIV ou *variance inflation factors*, VIF) sont également passives et en grisé. Huit variables significatives relatives à l'habitat à l'échelle locale ont été conservées ($p < 0,05$ – test de Monte Carlo) et mises en relation avec les taxons présents aux différentes stations. Seule l'illustration graphique des axes 1 et 2 de l'ACC est présentée (figure 13). Les deux premiers axes expliquent 42,4 % de la relation entre les taxons et les données relatives à l'habitat à l'échelle locale, et les quatre premiers axes expliquent 83,2 % de cette relation. Les graphiques illustrant les relations entre les autres axes ont été explorés, mais ils ne sont pas présentés. La variable concernant la sédimentation (H. sédimentation) est inversée, la valeur maximale indiquant une sédimentation moins importante.

De façon générale, les stations des groupes 1 (gris) et 5 (rouge) ont des arbres et des arbustes sur les berges (B. arbres, B. arbustes) et les berges sont moins rocheuses (B. roches). Les stations du groupe 7 (mauve) présentent les caractéristiques opposées, soit moins d'arbres et d'arbustes et les berges sont plus rocheuses et la largeur des cours d'eau est plus grande. Les berges sont davantage couvertes de mousses et de lichens, bien que cette caractéristique ne soit pas significative (ns). Ces résultats sont logiques, les groupes 1 et 5 ne rencontrent aucune station dans les 2 territoires les plus nordiques de la rivière Arnaud et Kovik. Ces groupes sont présents dans les domaines bioclimatiques de la toundra forestière et de la pessière à lichens. Les stations du groupe 4 ont plus de végétation herbacée sur les berges (ns). Les stations du groupe 7 sont exclusivement au-delà de la limite des arbres, dans la toundra à arbustes dressés et dans la toundra à arbustes prostrés. Il est difficile, à partir de cette analyse, de tirer des conclusions concernant les autres groupes. Les boîtes à moustaches des variables discutées sont présentées dans l'annexe 8.

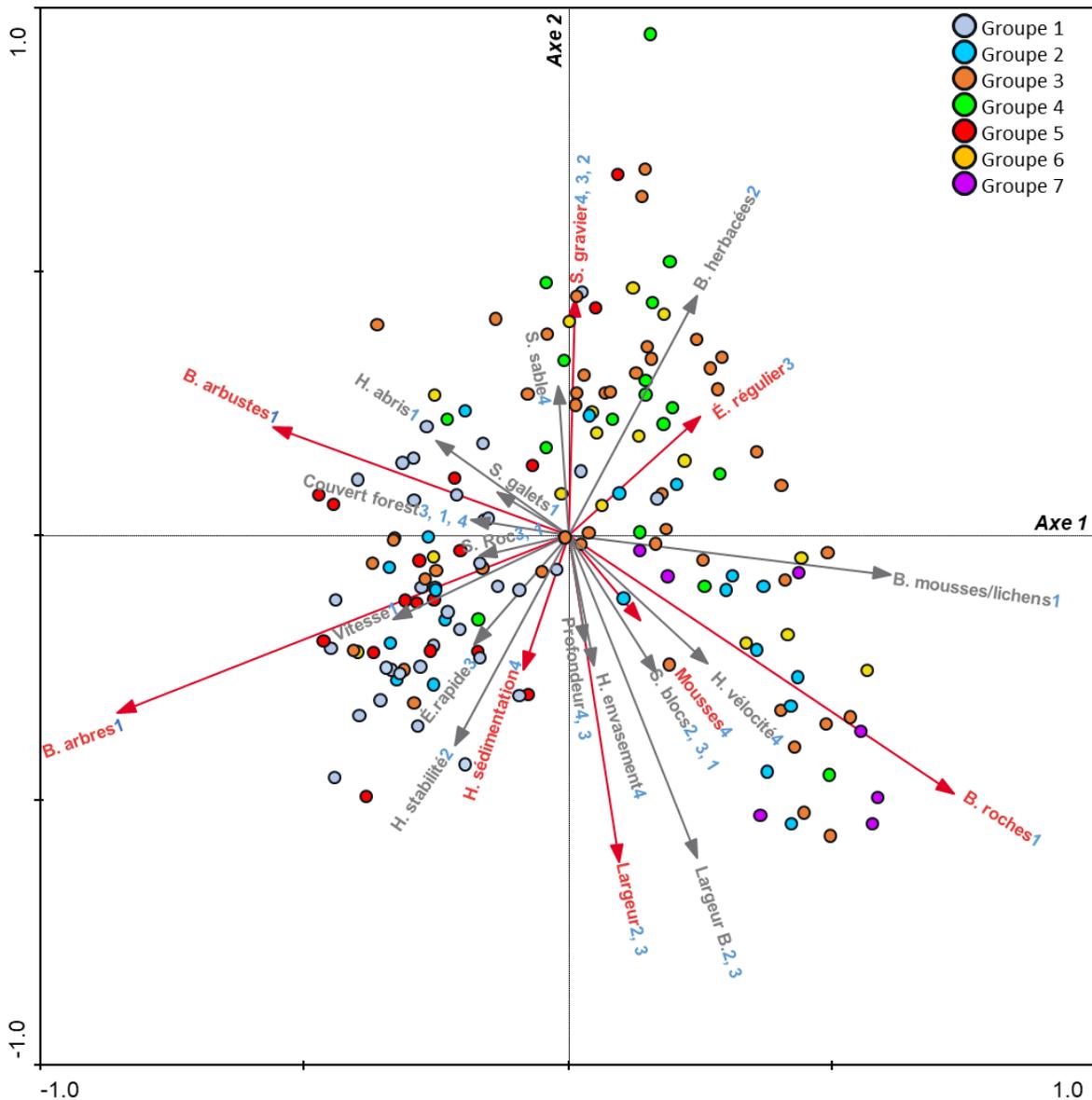


Figure 13 Analyse canonique de correspondance réalisée sur les données d'abondance relative des macroinvertébrés benthiques et les variables relatives à l'habitat à l'échelle locale

(Cercle : station, chiffre bleu après chaque variable : axe le plus influencé¹; vecteur rouge : variable environnementale significative; vecteur gris : variable environnementale passive)

1. S'il y a plus d'un chiffre, les relations entre les taxons et la variable sont d'une importance semblable sur les axes désignés.

Données relatives à l'habitat à l'échelle du bassin versant (données cartographiques) et données climatiques modélisées

La deuxième ACC effectuée concerne des données relatives à l'habitat calculées à l'échelle du bassin versant et quelques données climatiques. Certaines variables sont d'ordre général, comme l'aire du bassin versant, alors que d'autres décrivent la géologie, le type de dépôt de surface ou l'occupation du sol à l'échelle du bassin versant. Les variables étudiées se trouvent dans l'annexe 4.

Quatorze variables sont significatives ($p < 0,05$ – test de Monte Carlo). Nous en avons laissé treize, car la latitude qui était fortement corrélée à d'autres variables ($FIV > 10$) a été mise en passif. Dans l'ACC, ces variables sont mises en relation avec les taxons présents aux différentes stations. Les douze autres variables ont une relation non significative (ns) et sont présentées comme variables passives qui n'influencent pas l'ordination. L'illustration graphique des axes 1 et 2 de l'ACC est présentée dans la figure 14. Les deux premiers axes expliquent 31,9 % de la relation entre les taxons et les variables relatives à l'habitat à l'échelle du bassin versant et les quatre premiers axes expliquent 73,4 % de cette relation. Les résultats des graphiques illustrant les relations entre les autres axes ont été explorés, mais ils ne sont pas présentés ici.

En observant ce graphique, on se rend compte que les groupes 1 et 5 (gris et rouge) sont composés de stations situées plus au sud (latitude, significatif, mais présenté en passif, à cause d'une corrélation avec une autre variable) où la température moyenne annuelle est plus élevée. La température moyenne supérieure à 10 °C, également plus élevée, donne une saison de croissance plus longue. Il y a plus de précipitations moyennes annuelles, plus d'arbres résineux, plus de landes boisées (ns) et moins de roches et de surfaces nues (ns) et de mousses (ns) dans le bassin versant. Les dépôts de surface sont plutôt organiques (ns) ou de type till/dépôt d'altération (ns).

L'aire du bassin versant des stations du groupe 4 (vert) est plus petite avec un volume drainé également plus petit (ns). L'occupation du territoire est caractérisée par la présence d'arbustes et les dépôts glacio-marins et glacio-lacustres (voir les regroupements de classes dans l'annexe 4) sont plus fréquents que dans les autres groupes. En général, le bassin versant à ces stations a une pente plus faible (relation axes 1 et 4, non présentée) et les stations sont situées à des altitudes plus basses (ns). Ces stations sont situées à proximité de la baie d'Ungava.

Le groupe 7 (mauve) comprend des stations situées à des latitudes plus élevées (significatif, mais présenté en passif, à cause d'une corrélation avec une autre variable) où l'aire du bassin versant est plus grande. Les arbres résineux, les arbustes et les landes boisées (ns) sont peu ou pas présents. L'occupation du sol est majoritairement représentée par des roches, des surfaces nues et des mousses (tous ns). Les précipitations annuelles sont moins abondantes et les températures plus froides. Les températures (moyennes supérieures à 10 °C) sont plus faibles, la saison de croissance est donc plus courte.

Aucune caractéristique de cette ACC ne semble lier les stations des groupes 2 (bleu), 3 (orange) et 6 (jaune), leurs stations étant éparpillées dans la plupart des cadrans de l'ACC. Les boîtes à moustaches des variables discutées sont présentées dans l'annexe 9.

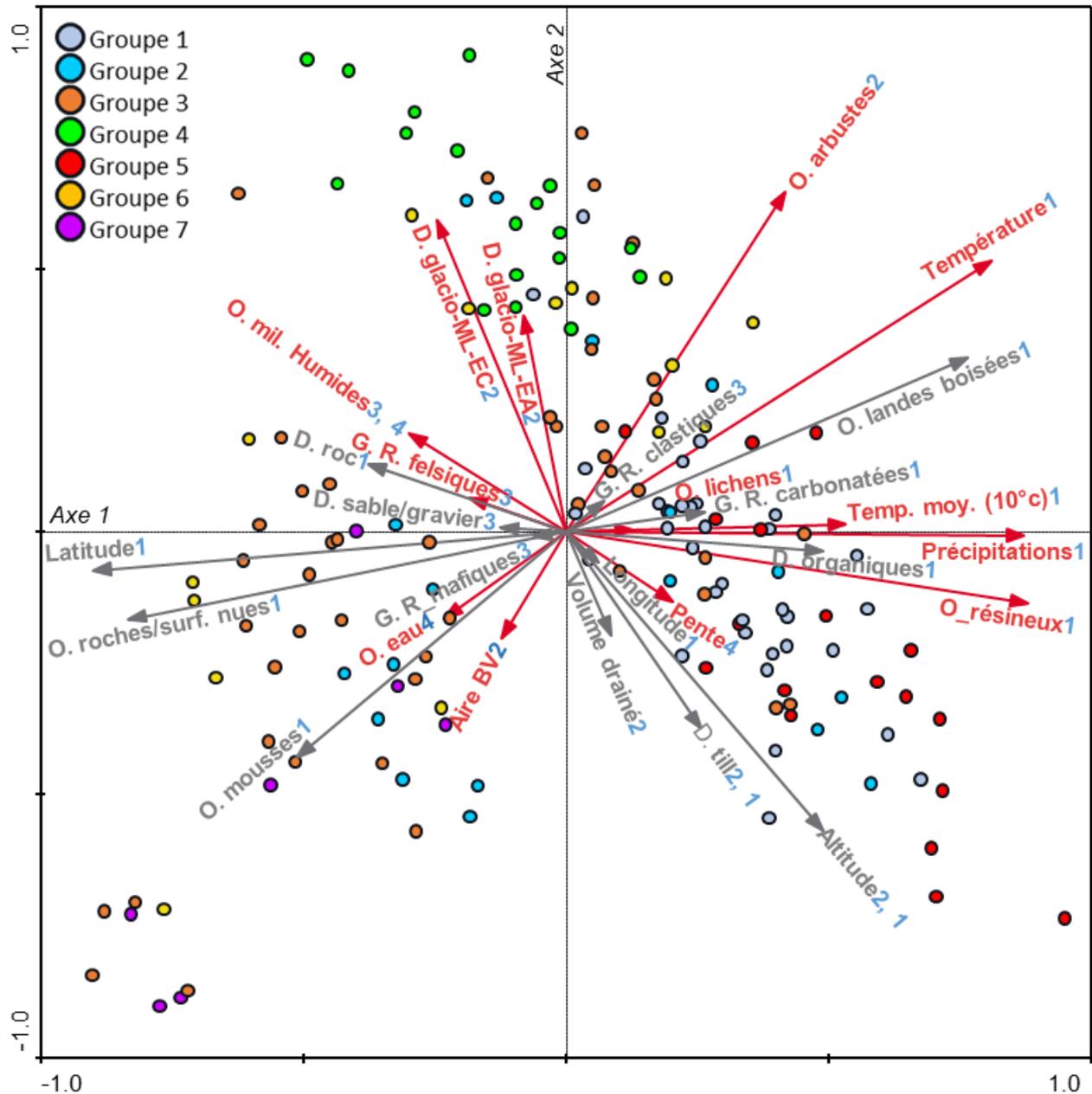


Figure 14 Analyse canonique de correspondance réalisée sur les données d'abondance relative des macroinvertébrés benthiques et les variables relatives à l'habitat à l'échelle du bassin versant et variables climatiques

(Cercle : station, chiffre bleu après chaque variable : axe le plus influencé¹; vecteur rouge : variable environnementale significative; vecteur gris : variable environnementale passive)

1. S'il y a plus d'un chiffre, les relations entre les taxons et la variable sont d'une importance semblable sur les axes désignés.

Données relatives à la qualité de l'eau

La matrice initiale de qualité de l'eau comprenait 57 variables. Les prélèvements d'eau n'ont pas été réalisés à toutes les stations, donc certaines stations sont retirées des analyses. Les paramètres présentant trop de valeurs manquantes ou trop de données sous les limites de détection ont été retirés. Vingt-six variables de qualité de l'eau, dont plusieurs concernent les métaux, ont été prises en considération (annexe 5) à 144 stations. Les données découlent d'un seul prélèvement d'eau et l'ACC est présentée à titre exploratoire.

L'ACC présentée dans la figure 15 a été effectuée pour explorer la relation entre les neuf variables relatives à la qualité de l'eau significatives ($p < 0,05$ – test de Monte Carlo) et les taxons présents aux différentes stations. L'axe 1 explique 39 % de la variance de la relation entre les taxons et la qualité de l'eau, alors que les quatre axes en expliquent 81 %. Le cuivre exerce son influence sur le 1^{er} axe, alors que le sodium influence l'axe 2 et l'axe 1 de façon comparable. Les autres variables exercent leur action sur le 2^e axe, à l'exception de l'antimoine qui influence le 3^e axe. Les variables passives ne sont pas présentées, mais elles sont principalement liées au 2^e axe. Les stations du groupe 4 (vert) sont celles qui sont les plus proches les unes des autres. À ces stations, les concentrations en sodium et en manganèse sont plus élevées. L'eau y est plus dure (plus de calcium et de magnésium) et les concentrations en métaux et en métalloïdes sont plus élevées. L'annexe 10 présente les boîtes à moustaches de plusieurs variables de la qualité de l'eau.

Dans Moisan (2017), le sodium était le principal paramètre de la qualité de l'eau lié à la répartition des taxons. La salinité naturelle des cours d'eau est attribuable à l'érosion du bassin versant, elle-même liée à la géologie du bassin et aux précipitations, aux embruns marins ou à de petites quantités de sel dissous dans la pluie venant de l'évaporation de l'eau de mer (Cañedo-Argüelles et collab., 2013). La précédente analyse rassemblait également bien ces communautés qui étaient liées aux dépôts glacio-marins et glacio-lacustres (figure 14); les eaux y sont plus minéralisées qu'aux autres stations. Les dépôts glacio-marins et glacio-lacustres à faciès d'eau calme présentent des corrélations de Pearson supérieures à 0,4 avec l'arsenic, le carbone organique dissous, la conductivité, le fer, le strontium et le vanadium. Les corrélations sont supérieures avec le bore (0,705), le potassium (0,553) et le sodium (0,783). Les teneurs en sodium semblent liées aux dépôts glacio-marins et glacio-lacustres de faciès d'eau calme. Les dépôts glaciaires – eau agitée – influencent également l'axe 2. Les autres provenances du sodium, par les embruns ou par la pluie, sont également plausibles aux stations du groupe 4. La plupart de ces stations se trouvent dans une ancienne zone d'invasion marine (Bellavance, 2014).

La figure 16 présente les boîtes à moustaches de la répartition du plécoptère *Amphinemura* (meilleur taxon indicateur, groupe 4) dans les différents groupes ainsi que celle du cosmopolite éphéméroptère *Baetis*. Des abondances élevées de ce dernier avaient déjà été notées dans le précédent rapport de Moisan (2017). Les succès de *Baetis* dans les territoires nordiques seraient attribuables à plusieurs facteurs. Giberson, Burian et Shouldice (2007) ont observé un développement rapide de *B. bundyae* au Nunavut; les œufs éclosent 2-3 semaines après la fonte des glaces et le développement larvaire s'effectue en 2,5-4 semaines. Une bonne capacité de dispersion et une possible reproduction par parthénogenèse seraient d'autres atouts. Les éphéméroptères forment le groupe animal où le plus d'espèces peuvent se reproduire selon ce mode. Liegeois et ses collaborateurs (2021) suggèrent que la parthénogenèse serait avantageuse en raison du court cycle de vie des adultes qui limite les possibilités d'accouplement. Bien que *Baetis* soit présent dans tous les groupes, on remarque qu'il est beaucoup plus abondant dans le groupe 4. Les caractéristiques du territoire et des eaux sont favorables à *Amphinemura* et *Baetis*, sans oublier la température plus élevée de ce territoire (figure 8B, voir la description du groupe 4).

Les concentrations en cuivre dans l'eau sont moins élevées dans les groupes 1 et 5 (gris et rouge) et le groupe 6 (jaune) a généralement plus de cuivre et de sodium. Le groupe 7 (mauve) a moins de sodium et de métaux, mis à part le cuivre dont les concentrations y sont plus importantes.

Dans le précédent rapport concernant les stations de la fosse du Labrador (Moisan, 2017), nous avons tenté de trouver, à partir des données de qualité de l'eau, une explication aux fortes abondances de mollusques Sphaeriidae rencontrées à certaines stations. Rien n'avait été trouvé, alors l'explication se trouve peut-être ailleurs. Dyduch-Falniowska (1982) souligne que la diversité et la densité des communautés de Sphaeriidae augmentent dans les habitats où les poissons mollusquivores sont exclus. Il serait intéressant d'explorer les espèces de poissons associées aux cours d'eau avec de fortes abondances de Sphaeriidae comparativement à ceux où ce phénomène est absent. Ici, les stations avec beaucoup de

Sphaeriidae appartiennent au groupe 5. Cette étude tend à montrer que ce phénomène ne se produit pas dans les cours d'eau situés au-delà de la limite des arbres. Comme nous l'avons dit précédemment, un seul spécimen a été trouvé dans les zones les plus nordiques des rivières Kovik et Arnaud. Il semble que ce constat ne s'applique pas aux lacs et, de fait, Bespalaya et ses collaborateurs (2019) soulignent que plusieurs espèces de Sphaeriidae sont cosmopolites et ont un fort potentiel adaptatif comprenant une grande flexibilité dans leur stratégie reproductive. Pour expliquer la distribution géographique dans les cours d'eau, nous émettons l'hypothèse que les refuges thermiques contre le gel dans les cours d'eau sont plus limités que ceux qui sont présents dans les lacs. La taille des cours d'eau étudiés les rend plus sensibles au gel que les lacs dont la profondeur offre plus d'eau sous forme liquide pendant la saison froide.

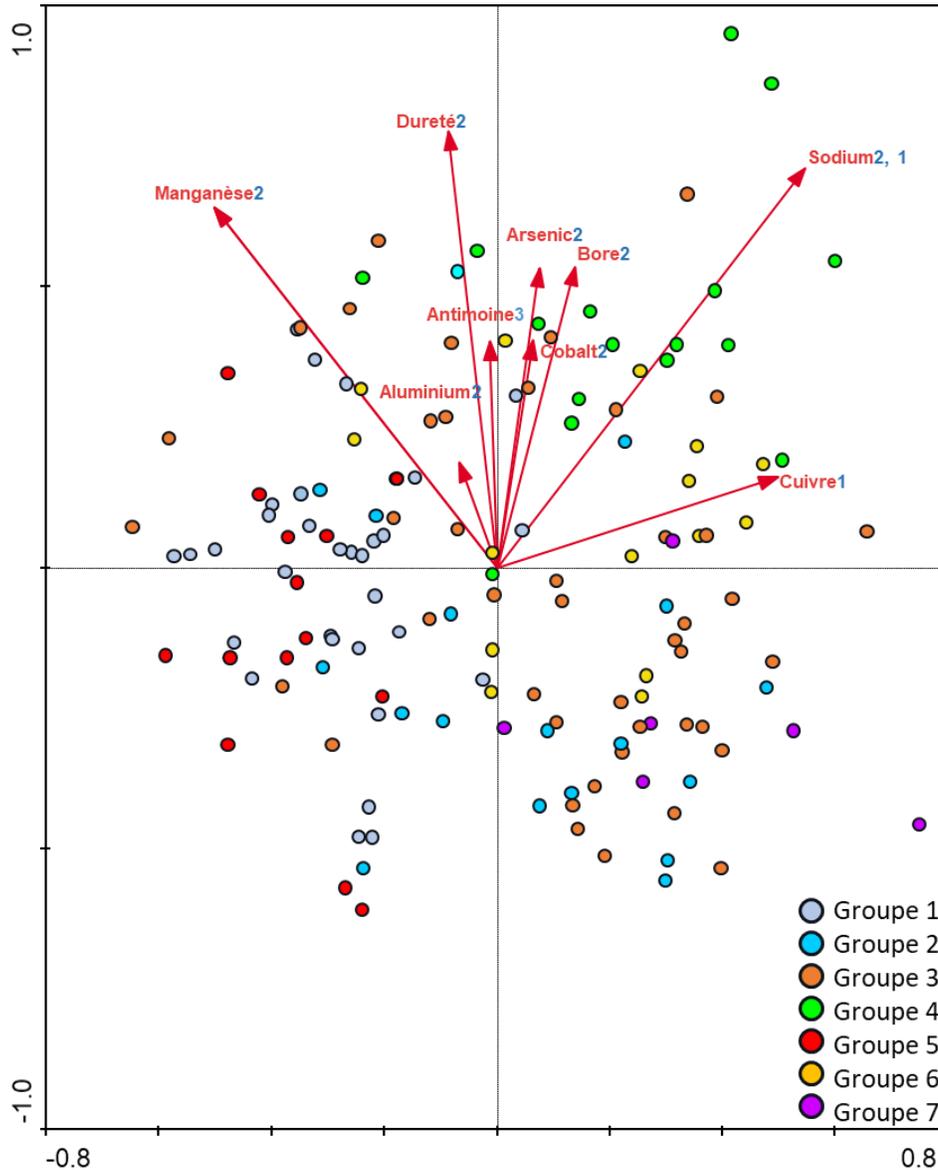


Figure 15 Analyse canonique de correspondance réalisée sur les données d'abondance relative des macroinvertébrés benthiques et les variables de qualité de l'eau.

(Cercle : station; chiffre en bleu après chaque variable : axe le plus influencé¹; vecteur rouge : variable environnementale significative)

1. S'il y a plus d'un chiffre, les relations entre les taxons et la variable sont d'une importance semblable sur les axes désignés.

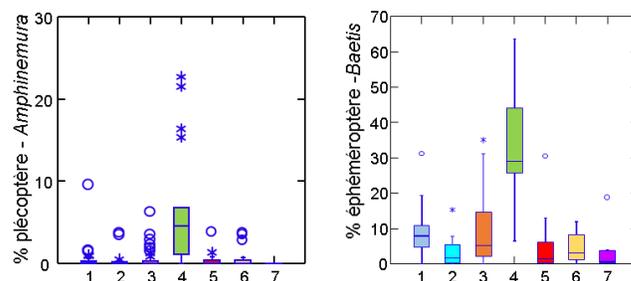


Figure 16 Diagrammes en boîtes à moustaches des abondances relatives du plécoptère *Amphinemura* et de l'éphéméroptère *Baetis* pour chacun des groupes de stations

3.3 Variables de communautés

Dans le précédent rapport (Moisan, 2017), il a été établi que l'indice de santé du benthos ISB_g ne peut être utilisé dans la fosse du Labrador, dans le Ce constat ne signifie pas qu'il serait impossible d'en concevoir, mais il paraît évident que plusieurs indices seraient nécessaires pour couvrir l'entièreté du territoire du Plan d'action nordique. Il conviendrait alors de vérifier les variations interannuelles de ces communautés. L'indice ISB_g, qui comprend six variables de communautés, performe entre le 45^e et le 49^e parallèle. Le territoire étudié va du 55^e à un peu moins que le 62^e parallèle et traverse des écosystèmes bien différents modelés par de basses températures, des régions où le sol est gelé de façon permanente à divers pourcentages, des régions où la végétation change de façon draconienne et où les arbres sont absents des zones les plus nordiques. Le développement de tels indices requiert des données provenant de stations de référence ainsi que de stations subissant les effets de pressions identifiables. Les stations dont il est question sont toutes exemptes de pressions anthropiques, mis à part celles qui sont occasionnées par la pollution aéroportée et les changements climatiques. Certaines activités minières ont déjà lieu dans le nord du Québec et il est vraisemblable de penser que ces activités seront appelées à augmenter au cours des prochaines décennies; il pourrait devenir opportun de développer des indices multivariés pour caractériser les communautés.

Une cinquantaine de variables de communautés (annexe 11) ont été calculées pour explorer les particularités des communautés en place. Les échantillons ont été ramenés à 500 organismes comme il a été décrit précédemment. À noter que 10 % des échantillons n'atteignent pas 500 organismes malgré l'analyse de l'échantillon complet.

La figure 17 présente douze variables de communautés illustrant des différences entre les sept communautés identifiées par l'analyse de groupements. On voit que le **nombre de taxons** des communautés plus au sud (1 et 5) est plus élevé. La communauté la plus nordique (7) est celle qui comporte le moins de taxons. Les groupes 2, 3, 4 et 6 présentent des valeurs semblables. Les corrélations entre le nombre de taxons et la latitude et le nombre de taxons et la température (sans tenir compte des groupes) sont élevées (tableau 3). La densité d'organismes par mètre carré (m²) est peu corrélée avec la latitude (corrélation de Pearson = -0,256). Les densités ne se distinguent pas franchement d'un groupe à l'autre (non présenté). Le modèle de répartition entre les groupes par le **nombre de taxons EPT** est semblable à celui qui est occasionné par le nombre de taxons. Cependant, le **pourcentage d'EPT** est différent pour le groupe 4, caractérisé par une grande quantité d'éphéméroptères – *Baetis*. Au contraire, le groupe 5, qui a beaucoup de mollusques pélécytopodes – Sphaeriidae (*Pisidium*), abaisse la proportion relative d'EPT dans ce groupe de stations. Le **nombre de taxons de trichoptères** a un modèle de répartition entre les groupes semblable à ceux du nombre total de taxons et du nombre de taxons EPT. La relation entre la latitude aux stations et le nombre de taxons de trichoptères est élevée ainsi que celle entre la latitude et le pourcentage de trichoptères (tableau 3). Nous supposons que cet ordre d'insectes, dont la plupart des genres fabriquent des étuis, rencontre des limitations à son expansion vers le nord. Tous les trichoptères font de la soie qui sert de base et de liant dans la fabrication de leur étui, de leur

filet de capture et de leur cocon. Ceux qui construisent des étuis utilisent des pièces de matériel végétal (feuilles ou aiguilles de conifères) et du matériel minéral (sable ou gravier). Passée la limite des arbres, les matériaux de construction d'origine végétale sont rares ou inexistantes. Dans le type de milieu échantillonné, soit les milieux rocheux d'eau courante, le matériel minéral assez petit pour servir à la construction d'étui est beaucoup plus rare que ce que l'on voit dans les stations du sud du Québec. Dans les stations plus nordiques du groupe 7, il y a de 0 à 3 taxons par station. Les taxons rencontrés sont les Hydroptilidae *Oxyethira*, les Hydropsychidae *Arctopsyche*, les Limnephilidae et les Phryganidae *Phryganea*. **L'ordre des diptères** est celui qui s'est le mieux acclimaté à la rigueur de l'environnement. La famille des Simuliidae, ou mouches noires, est celle qui est responsable du pourcentage élevé de diptères du groupe 6. Les insectes piqueurs qui ont besoin d'un repas de sang pour que leurs œufs se développent peuvent pallier le manque d'hôtes vertébrés par l'autogénie. Cette adaptation permet d'utiliser des réserves provenant du stade larvaire aquatique au lieu d'utiliser l'énergie provenant du sang (Danks, 2007). Elle explique en partie le succès des Simuliidae dans un environnement où la faune terrestre est limitée. C'est souvent les Chironomidae qui modèlent la différence entre les groupes (annexe 7; figure 17): le groupe 2, les Tanytarsini; le groupe 3, les Orthocladiinae et le groupe 7, les Diamesinae. Parmi les diptères, le pourcentage de Diamesinae est le mieux corrélé avec la latitude et la corrélation est supérieure avec la température (tableau 3). Culp et ses collaborateurs (2019) mentionnent que les diptères Diamesinae et Orthocladiinae ainsi que les vers oligochètes prolifèrent dans les sites les plus nordiques de leur étude située sur la côte est du Canada entre le 58°N et le 81°N. Le gradient latitudinal de la présente étude est beaucoup plus au sud, mais le constat concernant les Diamesinae est identique. Concernant les Orthocladiinae et les oligochètes, il est difficile de se prononcer. Le **pourcentage de pélécy-podes**, ici la famille des Sphaeriidae, caractérise le groupe 5, qui, rappelons-le, a une diversité semblable à celle qui est observée dans le groupe 1 (figure 17). Comme nous l'avons mentionné précédemment, il y a une cohérence entre la sensibilité des taxons à la pollution organique occasionnée par l'enrichissement en nutriments et la sensibilité aux rigueurs occasionnées par le climat. Parmi les variables liées à la tolérance des taxons, les meilleures corrélations avec la latitude et avec les températures annuelles sont obtenues avec les variables concernant les **taxons intolérants**, ceux dont la cote de tolérance se situe entre 0 et 3 inclusivement (tableau 3). Le graphique de la figure 17 concernant le pourcentage de taxons intolérants nous renseigne sur le fait que les groupes 6 et 7 dont les stations sont les plus nordiques se comparent aux groupes 2, 3 et 4. Les groupes 1 et 5, dont les stations sont toutes sous la limite des arbres, comportent un pourcentage plus élevé de taxons intolérants et d'organismes intolérants.

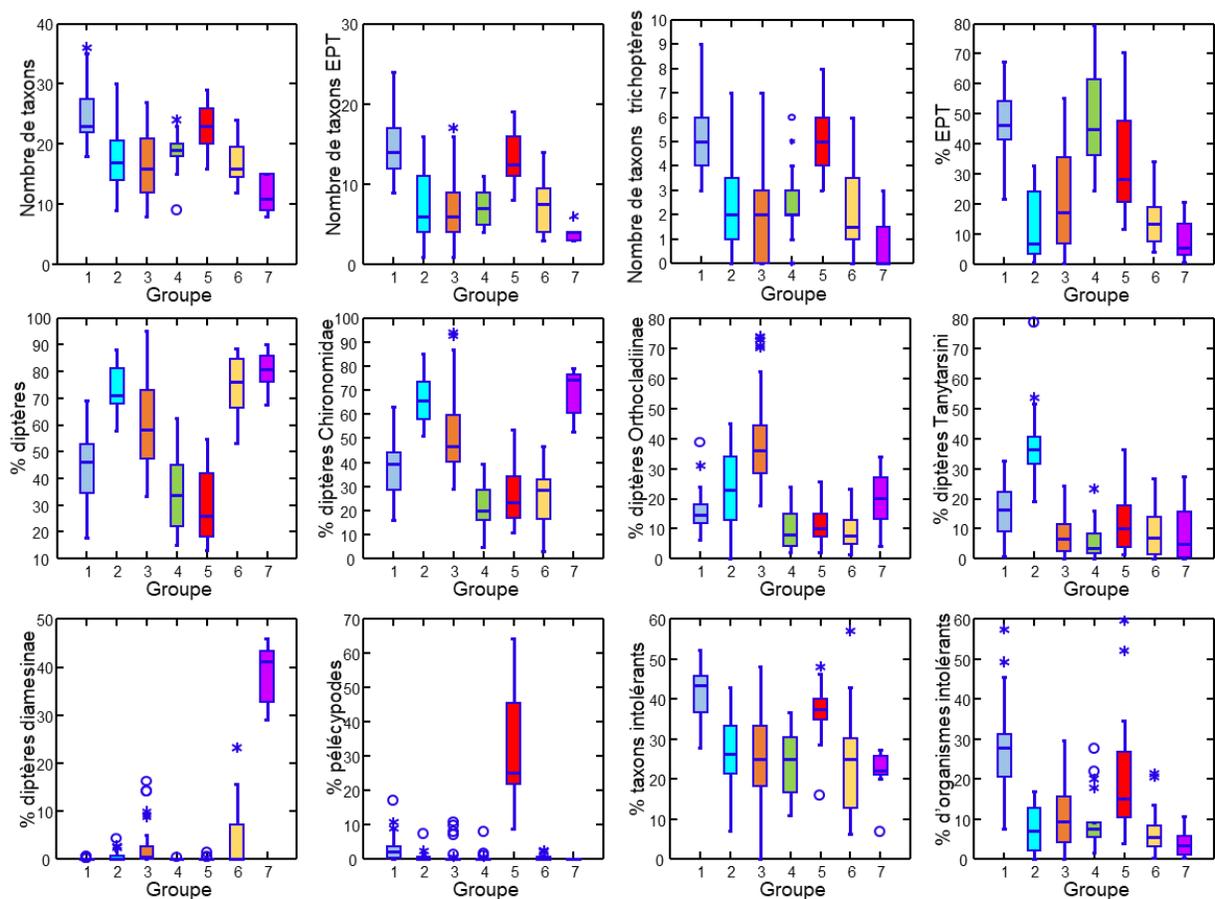


Figure 17 Diagrammes en boîtes à moustaches de certaines variables de communautés par groupe de stations

Tableau 3 Corrélations de Pearson entre la latitude et les températures moyennes annuelles et certaines variables de communautés

Var. de communauté	Latitude	Temp. moy. ann.	Var. de communauté	Latitude	Temp. moy. ann.
N. taxons	-0,702	0,670	% Orthoclaadiinae	0,225	-0,318
N. taxons EPT	-0,703	0,638	% Tanytarsini	-0,264	0,169
N. taxons éphéméroptères	-0,467	0,364	% Diamesinae	0,492	-0,631
N. taxons plécoptères	-0,613	0,567	% Tanypodinae	-0,388	0,461
N. taxons trichoptères	-0,714	0,651	N. taxons intolérants	-0,665	0,560
% EPT	-0,502	0,496	% d'organismes tolérants	0,237	-0,031
% éphéméroptères	-0,332	0,363	% taxons intolérants	-0,603	0,493
% plécoptères	-0,379	0,463	% d'organismes intolérants	-0,572	0,455
% trichoptères	-0,735	0,642	% taxons tolérants	0,489	-0,372
% diptères	0,441	-0,481	HBI	0,595	-0,449
% Chironomini	-0,304	0,247			

4. Conclusion

La présente étude dresse un portrait des communautés de macroinvertébrés benthiques provenant de cinq campagnes d'échantillonnage dans le Nord québécois sur un territoire s'étendant de Schefferville au sud (55°N), au secteur de la rivière Kovik au nord (61,8°N). Avec 161 stations échantillonnées, cette étude contribue à élargir les connaissances du Nord québécois. Cent trente-huit taxons ont été identifiés et 85 % de ceux-ci sont des insectes. Cette étude fait suite à l'étude concernant le secteur de la fosse du Labrador (Moisan, 2017) dont les 83 stations sont incluses dans les traitements présentés ici afin d'obtenir un portrait plus global. Les taxons indicateurs (TI) de ces deux études sont semblables avec l'ajout notable de deux diptères Chironomidae, les Orthocladiinae et les Diamesinae qui sont reconnus pour leur résistance au froid, ce qui est cohérent avec les territoires plus nordiques ajoutés à cette étude. Les communautés décrites sont des communautés de référence où l'empreinte humaine est très faible. La connaissance de ces écosystèmes avant tout développement industriel et avant l'amplification des changements climatiques est souhaitable. Le lecteur intéressé peut consulter Moisan (2017) pour en savoir plus sur les principaux stress que pourraient subir les communautés de macroinvertébrés benthiques.

Spatialement, les groupes issus de l'analyse de groupement montrent une certaine répartition du sud au nord. On constate qu'au-delà de la limite des arbres ce sont principalement les diptères qui caractérisent les communautés. Dans l'étude de Moisan (2017), les TI des stations dans la fosse du Labrador appartenaient principalement au groupe EPT. Ici, les meilleurs TI des trois groupes qui atteignent les latitudes les plus nordiques sont les diptères Chironomidae Orthocladiinae et Diamesinae ainsi que le diptère Simuliidae *Simulium* qui sont tous adaptés aux conditions difficiles rencontrées dans ces secteurs. Les Diamesinae (valeur de TI = 83,7) donnent lieu à une communauté mieux définie, restreinte à des latitudes plus élevées. On constate que, bien que le nombre de taxons diminue vers le nord, certaines communautés couvrent un important gradient latitudinal.

Parmi les variables recueillies, les caractéristiques d'habitat à l'échelle locale qui expliquent le mieux la composition des groupes sont liées à la composition des berges (arbres, arbustes, roches) et à la largeur du cours d'eau.

Les variables de l'habitat à l'échelle du bassin versant (ainsi que les quelques variables climatiques) sont nombreuses et ont mieux séparé les groupes que les variables plus locales. Les variables climatiques (deux variables de température, précipitations), la latitude, l'occupation du sol par les arbres résineux, les arbustes et les milieux humides ainsi que les dépôts glaciaires sont les principaux facteurs liés à la composition des groupes.

Les analyses concernant la qualité de l'eau et les taxons nous renseignent que le groupe dont les stations sont concentrées au sud de la baie d'Ungava est celui qui se distingue le mieux par ses caractéristiques. À ces stations, les concentrations en sodium sont plus importantes ainsi que la dureté de l'eau.

Les relations établies soulignent l'importance de la latitude, du climat et de la végétation dans la distribution des taxons et des communautés. Elles indiquent la pertinence des macroinvertébrés benthiques pour le suivi des changements climatiques. La future progression des forêts vers le nord changera les écosystèmes, ce qui se reflétera éventuellement sur les communautés de macroinvertébrés benthiques.

Les variables de communautés qui distinguent les groupes sont le nombre total de taxons et différentes déclinaisons concernant les EPT (n. taxons EPT, n. taxons trichoptères et % EPT). Les fortes abondances d'éphéméroptères Baetidae et de pélicypodes Sphaeriidae influencent les variables de la composition taxonomique. Les variables de tolérance à la pollution concernant les taxons intolérants semblent indiquer que leur survie devient de plus en plus difficile avec l'augmentation de la latitude. Ces variables pourraient s'avérer utiles pour suivre les effets des changements climatiques ou les effets d'une pollution. Les diptères, en particulier la famille des Chironomidae, distinguent plusieurs groupes. Une identification plus poussée des Chironomidae au niveau du genre aurait probablement apporté un complément d'informations intéressant, d'autant plus que le tiers de stations en comportent plus de 50 %.

5. Références bibliographiques

BELLAVANCE, D., 2014. *Caractérisation écologique et géomorphologique du projet de parc national de la Baie-aux-Feuilles*. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction de l'écologie et de la conservation, 118 p. + cartes.

BESPALAYA, Y., J. JOYNER-MATOS, I. BOLOTOV et collab., 2019. « Reproductive ecology of *Pisidium casertanum* (Poli, 1791) (Bivalvia: Sphaeriidae) in Arctic lakes. » *Journal of Molluscan Studies*, vol. 85, n° 1 (2019): p. 11-23.

BODE, R. W., M. A. NOVAK et L. E. ABELE, 1996. *Quality Assurance Work Plan for Biological Stream Monitoring in New York State*, Albany (New York), NYS Department of Environmental Conservation, 89 p.

BODE, R. W. et collab., 2002. *Quality Assurance Work Plan for Biological Stream Monitoring in New York State, Albany (New York)*, Stream Biomonitoring Unit Bureau of Water Assessment and Management Division of Water, NYS Department of Environmental Conservation, 41 p. (y compris 13 annexes).

CAÑEDO-ARGÜELLES, M. et collab., 2013. « Salinisation of rivers: an urgent ecological issue », *Environmental Pollution*, vol. 173, p. 157-167.

CATON, L. W., 1991. « Improving subsampling methods for the EPA "Rapid Bioassessment" benthic protocols », *Bulletin of the North America Benthological Society*, vol. 8, n° 3, p. 317-319.

CUFFNEY, T. F., M.D. BILGER et A. M. HAIGLER, « Ambiguous taxa: effects on the characterization and interpretation of invertebrate assemblages », *Journal of the North American Benthological Society*, 2007, vol. 26, n° 2, p. 286-307.

CULP, J.M., J. LENTO, R.A. CURRY et collab., 2019. « Arctic biodiversity of stream macroinvertebrates declines in response to latitudinal change in the abiotic template », *Freshwater Science*, vol. 38, n° 3, p. 465-479.

DANKS, H. V., 2007. « How aquatic insects live in cold climates », *The Canadian Entomologist*, vol. 139, n° 4, p. 443-471.

DUFOUR, E., A. ROBITAILLE et A. LEBŒUF, 2016. *Norme de cartographie des dépôts de surface du Nord québécois*. Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction des inventaires forestiers, 13 p.

DYDUCH-FALNIOWSKA, A., 1982. « Oscillations in density and diversity of *Pisidium* communities in two biotopes in Southern Poland. » *Hydrobiological Bulletin*, vol. 16, n° 2, p. 123-132.

FELDMAN, D., M. BOSTROM et B. BUKANTIS, 2006. *Sample Collection, Sorting, and Taxonomic Identification of Benthic Macroinvertebrates*, Water Quality Standards Section, Montana Department of Environmental Quality Helena, MT WQP BWQM-009, Rev n° 02, p. 1-32.

GIBERSON, D. J., S. K. BURIAN et M. SHOULDICE. 2007. « Life history of the northern mayfly *Baetis bundyae* in Rankin Inlet, Nunavut, Canada, with updates to the list of mayflies of Nunavut. » *The Canadian Entomologist*, vol. 139, n° 5, p. 628-642.

GRENIER, M., 2010. *Évaluation du niveau d'intégrité biologique des rivières du Québec à partir de l'approche par conditions de référence et du système GIBSI (Gestion intégrée des bassins versants à l'aide*

d'un système informatisé). Thèse de doctorat, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique, 309 p.

HILSENHOFF, W. L., 1988. « Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index », *Journal of the North American Benthological Society*, vol. 7, n° 1, p. 65-68.

LEBŒUF, A., E. DUFOUR et P. GRONDIN, 2012. *Guide d'identification des milieux humides du Nord du Québec par images satellites*. Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction des inventaires forestiers et Direction de la recherche forestière, 34 p.

LEGENDRE, P., et L. LEGENDRE, 1998. *Numerical Ecology: Developments in Environmental Modelling*, deuxième édition anglaise, Amsterdam, Elsevier Science B.V., vol. 20, 853 p.

LEGENDRE, P., et L. LEGENDRE, 2012. *Numerical Ecology*, troisième édition anglaise, Amsterdam, Elsevier Science B.V., vol. 24, 1006 p.

LI, T., J.-P. DUCRUC, M.-J. CÔTÉ, D. BELLAVANCE et F. POISSON, 2019. *Les provinces naturelles : première fenêtre sur l'écologie du Québec*. Québec, ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction de la connaissance écologique, 24 p.

LIEGEOIS, M., M. SARTORI et T. SCHWANDER, 2021. « Extremely widespread parthenogenesis and a trade-off between alternative forms of reproduction in mayflies (Ephemeroptera). » *Journal of Heredity*, vol. 1, n° 112, p. 45-57.

MCCUNE, B., et M. J. MEFFORD, 2006. *PC-ORD Multivariate Analysis of Ecological Data, Version 5.33, MJM Software*, Gleneden Beach, Oregon, U.S.A.

MERRITT, R. W., K. W. CUMMINS et M. B. BERG, 2008. *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*, fourth edition, Dubuque (Iowa), Kendall/Hunt Publishing Company, 1158 p.

MIELKE, P. W. JR., et K. J. BERRY, 1982. « An extended class of permutation techniques for matched pairs », *Communications in Statistics – Theory and Methods*, vol. 11, p. 1197-1207.

MILNER, A.M., J.E. BRITAIN, E. CASTELLA et collab., 2001. « Trends of macroinvertebrate community structure in glacier-fed rivers in relation to environmental conditions: a synthesis. » *Freshwater Biology*, vol. 46, n° 12, p. 1833-1847.

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC), 2021. *Protocole d'échantillonnage de l'eau de surface pour l'analyse des métaux traces, mise à jour de 2021*, Québec, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-90530-1 (PDF), 17 p. + 2 annexes.

MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MFFP), 2021. *Classification écologique du territoire québécois*, Québec, Direction des inventaires forestiers, ISBN 978-2-550-89426-1 (2^e édition, 2021), 11 p.

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MDDEFP), 2012. *Indice d'intégrité biotique basé sur les macroinvertébrés benthiques et son application en milieu agricole – Cours d'eau peu profonds à substrat grossier*, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-66035-4 (PDF), 72 p. (dont 7 annexes)

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MDDEFP), 2013. *Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec – Cours d'eau peu profonds à substrat grossier*, deuxième édition, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-69169-3 (PDF), 88 p. (y compris 6 annexes).

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC), 2017. *Tragédie ferroviaire de Lac-Mégantic – Évaluation de l'intégrité biotique des communautés de macroinvertébrés benthiques de la rivière Chaudière, automnes 2013, 2014 et 2015*, Québec, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-79723-4 (PDF), 37 p. + 8 annexes

MOISAN, J., 2017. *Caractérisation des communautés de macroinvertébrés benthiques du nord du Québec – Fosse du Labrador*, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, 35 p. + 8 annexes.

OLIVER, D. R., et M. E. DILLON, 1997. « Chironomids (Diptera: Chironomidae) of the Yukon Arctic North Slope and Herschel Island. » *Insects of the Yukon. Biological Survey of Canada (Terrestrial Arthropods)*, Ottawa, p. 615-635.

OSWOOD, M.W., 1989. « Community structure of benthic invertebrates in interior Alaskan (USA) streams and rivers. » *High Latitude Limnology*. Springer, Dordrecht, p. 97-110.

PHILIE, P. (2013). « Le développement minier au Nunavik et l'importance du parc national des Pingualuit pour protéger l'environnement et la culture inuit. » *Études/Inuit/Studies*, 37(2), 123-143. <https://doi.org/10.7202/1025713ar>.

QUINN, G. P., et M. J. KEOUGH, 2002. *Experimental Design and Data Analysis for Biologists*, Cambridge, Cambridge University Press.

SAHA, S., S. MOORTHY, H.-L. PAN et collab., 2010. « The NCEP climate forecast system reanalysis ». *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 91, n° 8, p. 1015-1058.

SCOTT, R. W., D.R. BARTON, M.S. EVANS et J.J. KEATING, 2011. « Latitudinal gradients and local control of aquatic insect richness in a large river system in northern Canada. » *Journal of the North American Benthological Society*, vol. 30, n° 3, p. 621-634.

SMITH, D. G., 2001. *Pennak's Freshwater Invertebrates of the United States: Porifera to Crustacean*, fourth edition, New York, John Wiley & Sons, Inc., 648 p.

STEWART, K. W., et W. E. RICKER, 1997. « Stoneflies (Plecoptera) of the Yukon », *Insects of Yukon. Biological Survey of Canada (Terrestrial Arthropods)*, Ottawa, p. 201-222.

VINSON, M. R., et C. P. HAWKINS, 1996. « Effects of sampling area and subsampling procedure on comparisons of taxa richness among streams », *Journal of the North American Benthological Society*, vol. 15, n° 3, p. 392-399.

VINSON, M.R., et C.P. HAWKINS, 2003. « Broad-scale geographical patterns in local stream insect genera richness », *Ecography*, vol. 26, n° 6, p. 751-767.

WALSH, C. J., 1997. « A multivariate method for determining optimal subsample size in the analysis of macroinvertebrate samples », *Marine and Freshwater Research*, vol. 48, n° 3, p. 241-248 [résumé].

6. Annexes

Annexe 1 Stations d'échantillonnage entre 2012 et 2019 et groupes issus de l'analyse de groupement

Stations	Bassins versants	No BQMA	Latitude	Longitude	Groupes
R12_003	Koksoak	10370069	56,262455	-67,904757	1
R12_004	Koksoak	10370070	56,265333	-67,905163	5
R12_011	à la Baleine	10400047	55,975602	-66,852415	3
R12_012	à la Baleine	10400048	55,996832	-66,80686	5
R12_013	à la Baleine	10400049	55,820666	-66,840482	5
R12_017	à la Baleine	10400033	56,334063	-67,357992	5
R12_018	à la Baleine	10400034	56,362173	-67,238288	5
R12_019	à la Baleine	10400035	56,375858	-67,233443	5
R12_023	Koksoak	10370040	56,211735	-68,024315	5
R12_027	Koksoak	10370077	56,151155	-67,880555	5
R12_029	Koksoak	10370079	56,105412	-67,764674	1
R12_032	Koksoak	10370041	55,96972	-68,069535	5
R12_037	Koksoak	10370042	56,211713	-68,684327	5
R12_042	Koksoak	10370044	56,607271	-68,313705	1
R12_044	Koksoak	10370045	56,610364	-68,508003	2
R12_046	Koksoak	10370046	56,591483	-68,742459	2
R12_049	Koksoak	10370047	56,0703	-68,475272	3
R12_052	Koksoak	10370048	55,78176	-67,88721	1
R12_053	Koksoak	10370049	55,828092	-67,953617	1
R12_054	Koksoak	10370050	55,825935	-68,310767	2
R12_057	Koksoak	10370051	55,927537	-68,306396	1
R12_064	Koksoak	10370052	55,116854	-67,363719	3
R12_065	Koksoak	10370053	55,150953	-67,337497	1
R12_067	Koksoak	10370054	55,100594	-67,315566	1
R12_071	Koksoak	10370055	55,009327	-67,180815	3
R12_074	à la Baleine	10400036	55,389629	-66,768772	3
R12_077	à la Baleine	10400038	55,459581	-66,826042	1
R12_082	à la Baleine	10400039	55,382039	-66,479456	5
R12_085	à la Baleine	10400040	55,638555	-66,601107	2
R12_087	à la Baleine	10400041	55,514605	-66,296943	1
R12_089	à la Baleine	10400042	55,362576	-66,148345	5
R12_093	Koksoak	10370056	55,416959	-67,522693	2
R12_095	Koksoak	10370057	55,453918	-67,58655	1
R12_096	Koksoak	10370058	55,497787	-67,644068	1
R12_099	Koksoak	10370059	55,498762	-67,482693	5
R12_102	Koksoak	10370060	55,15021	-67,784109	3
R12_105	Koksoak	10370061	55,160178	-67,621738	1
R12_107	Koksoak	10370063	55,078008	-67,572166	1
R12_115	Koksoak	10370065	55,063892	-66,966022	1
R13_001	Non défini	10630001	58,491068	-68,001814	4
R13_002	Non défini	10630002	58,390353	-67,944182	4
R13_003	Koksoak	10370123	57,556556	-68,972906	1
R13_004	Koksoak	10350041	57,640101	-68,664883	1
R13_005	Koksoak	10350042	57,664321	-68,605063	2
R13_006	Koksoak	10350043	57,842476	-68,522492	1
R13_007	Koksoak	10350044	57,900606	-68,456413	5
R13_008	Curot	10320001	58,646652	-69,289819	4
R13_009	Curot	10320002	58,584622	-69,2436	6
R13_010	Curot	10320003	58,492978	-69,164097	4
R13_011	Koksoak	10350045	58,102673	-68,880812	1
R13_013	Compeau	10300001	58,455922	-69,498586	4
R13_014	Compeau	10300002	58,482687	-69,573282	2
R13_015	Compeau	10300003	58,555098	-69,659398	4
R13_020	Koksoak	10360004	57,755967	-69,971488	3
R13_022	Koksoak	10360006	57,741258	-69,842947	3
R13_023	Koksoak	10360007	57,704961	-69,612187	3
R13_029	Nepihjee	10340007	58,409487	-68,716138	3

Annexe 1 Stations d'échantillonnage entre 2012 et 2019 et groupes issus de l'analyse de groupement (suite)

Stations	Bassins versants	No BQMA	Latitude	Longitude	Groupes
R13_031	Nepihjee	10340009	58,403729	-68,825486	6
R13_033	Nepihjee	10340011	58,345096	-68,746117	2
R13_034	Nepihjee	10340012	58,348683	-68,698999	4
R13_036	Koksoak	10350048	58,031747	-68,641619	3
R13_037	Koksoak	10350049	57,933132	-68,804529	1
R13_038	False	10380001	58,136051	-68,125540	3
R13_044	Non défini	10630004	58,616294	-69,570201	4
R13_045	Non défini	10630005	58,630576	-69,728758	4
R13_046	Non défini	10630006	58,605754	-69,861435	4
R13_047	Deharveng	10290001	58,535185	-69,769558	4
R13_049	Compeau	10300004	58,467122	-69,501111	2
R13_051	Dancelou	10330002	58,716170	-68,923546	4
R13_052	Non défini	10630007	58,839245	-69,015596	6
R13_053	Dancelou	10330003	58,848607	-68,793638	4
R13_054	Dancelou	10330004	58,865108	-68,712702	4
R13_058	Dancelou	10330008	58,725470	-68,688027	4
R13_059	Koksoak	10370124	57,441273	-69,320520	1
R13_062	Koksoak	10370127	57,464380	-69,472688	1
R13_063	Koksoak	10350050	57,692002	-69,313966	3
R13_064	Koksoak	10350051	57,746303	-69,221419	1
R13_072	Compeau	10300008	58,423271	-69,653979	6
R13_077	Deharveng	10290005	58,238396	-69,435077	3
R13_079	Koksoak	10350053	57,874162	-68,957288	5
R13_082	Koksoak	10350056	57,833268	-68,621364	1
R14_002	Kovik	09830007	61,719317	-76,872519	6
R14_004	Kovik	09830009	61,755950	-76,356088	3
R14_005	Kovik	09830010	61,757242	-76,246031	7
R14_007	Kovik	09830011	61,599015	-75,934104	7
R14_008	Kovik	09830012	61,553534	-76,003005	3
R14_009	Kovik	09830013	61,640517	-76,300003	7
R14_010	Kovik	09830014	61,612189	-75,768146	3
R14_012	Kovik	09830006	61,629661	-77,371866	6
R14_014	Kovik	09830003	61,607426	-77,095573	6
R14_015	Non défini	09870001	61,467381	-77,342515	3
R14_016	Kovik	09830018	61,509948	-77,345868	6
R14_017	Kovik	09830008	61,739730	-76,884057	3
R18_003	Guesnier	10430002	58,268424	-66,838393	2
R18_005	Guesnier	10430003	58,328209	-66,833747	6
R18_011	Non défini	10410032	58,294325	-67,241380	4
R18_019	Georges	10480055	58,366425	-65,918870	1
R18_021	Non défini	10460001	58,502817	-66,436652	3
R18_026	Marralik	10410003	58,156906	-67,439923	3
R18_028	Non défini	10800002	58,246333	-67,460959	6
R18_030	False	10380003	57,550104	-68,499636	1
R18_031	False	10380004	57,487610	-68,387314	5
R18_033	Non défini	10400051	57,723944	-67,654280	1
R18_035	Non défini	10400052	57,696639	-67,754406	1
R18_036	Tuttutuug	10420002	57,947192	-67,042544	2
R18_039	Georges	10480056	58,404791	-66,180585	6
R18_045	Non défini	10700002	57,967743	-66,230617	1
R18_046	Non défini	10700003	57,921184	-66,328312	1
R18_049	Guesnier	10430004	58,147909	-66,659452	6
R18_050	Tuttutuug	10420003	57,861169	-66,794637	1
R18_056	Koksoak	10350060	58,044007	-68,529439	3
R18_059	Non défini	10400053	57,433745	-67,479992	5
R18_060	Non défini	10400054	57,548432	-67,569517	1

Annexe 1 Stations d'échantillonnage entre 2012 et 2019 et groupes issus de l'analyse de groupement (suite)

Stations	Bassins versants	No BQMA	Latitude	Longitude	Groupes
R18_065	Tuttutuq	10420004	57,772090	-66,867945	5
R18_066	False	10380005	58,063294	-67,807635	3
R18_069	Non défini	10400055	57,739089	-67,764466	6
R18_181	Tuttutuq	10420005	58,260024	-67,095942	4
R18_190	False	10380006	57,798129	-68,337106	3
R18_191	False	10380007	57,664158	-68,179716	1
R18_192	Non défini	10410033	58,335875	-67,1308	seul
R18_193	Lagrevé	10620002	58,461910	-66,616469	1
R18_196	Marralik	10410005	57,837425	-67,051208	1
R18_210	False	10380008	58,235244	-67,845256	3
R18_211	False	10380009	58,200917	-67,833978	6
R18_259	Guesnier	10430013	58,361917	-66,984682	3
R19_021	Gadois	10170001	60,406696	-70,356376	3
R19_038	Gadois	10170002	60,305122	-70,052615	3
R19_040	Gadois	10170003	60,265232	-69,958689	6
R19_062	Gadois	10170004	60,221731	-70,111323	seul
R19_134	Arnaud	10200010	60,029656	-70,125817	7
R19_143	Arnaud	10200014	59,899140	-73,054465	2
R19_146	Arnaud	10200015	59,936393	-72,55615	3
R19_172	Arnaud	10200003	59,875204	-70,683496	2
R19_176	Arnaud	10200009	59,972663	-70,207388	3
R19_182	Arnaud	10200013	59,850651	-72,879933	2
R19_190	Arnaud	10200017	59,846533	-72,196411	2
R19_201	Arnaud	10200004	59,820116	-71,425169	2
R19_209	Non défini	10200050	59,795291	-69,879461	3
R19_232	Lefroy	10220002	59,678308	-69,950146	3
R19_235	Non défini	10220050	59,663000	-69,681740	3
R19_242	Arnaud	10200012	59,748478	-72,626942	6
R19_254	Brochant	10210001	59,545871	-71,139139	7
R19_256	Lefroy	10220001	59,590569	-69,930448	2
R19_274	Borel	10230001	59,492775	-69,999401	2
R19_313	Arnaud	10200005	59,248463	-72,567762	7
R19_316	Arnaud	10200006	59,192165	-72,806889	3
R19_981	Arnaud	10200008	59,206786	-73,093789	3
R19_983	Arnaud	10200011	59,932725	-72,338002	2
R19_985	Brochant	10210002	59,924537	-69,897218	3
R19_986	Arnaud	10200020	59,766105	-70,845409	3
R19_987	Arnaud	10200025	59,980918	-70,664554	3
R19_988	Arnaud	10200024	60,054773	-71,072457	3
R19_989	Arnaud	10200023	60,039087	-71,342021	3
R19_990	Arnaud	10200030	59,973689	-70,206122	3
R19_991	Arnaud	10200016	59,921581	-72,069510	3
R19_993	Gadois	10170005	60,295528	-70,172471	seul
R19_994	Arnaud	10200019	60,025576	-70,157897	3
R19_995	Arnaud	10200018	60,031477	-72,255548	3
R19_996	Arnaud	10200028	59,975822	-72,017176	7
R19_998	Arnaud	10200021	60,131483	-70,478374	3
R19_999	Arnaud	10200022	60,138304	-71,145034	3

Annexe 2 Liste des taxons identifiés

Phylum	Classe	Ordre	Famille	Tribu	Genre
ARTHROPODA	INSECTA	EPHEMEROPTERA	AMELETIDAE		Ameletus
			BAETIDAE	-	Acentrella
					Acerpenna
					Baetis
					Centroptilum
					Heterocloeon
					Plauditus
			BAETISCIDAE	-	Baetisca*
			CAENIDAE	-	Caenis*
			EPHEMERELLIDAE	-	Dannella
					Drunella
					Ephemerella
					Eurylophella
			HEPTAGENIIDAE	-	Epeorus
					Heptagenia
					Leucrocuta
					Maccafertium
					Nixe*
					Rhithrogena
					Stenonema*
			LEPTOPHLEBIIDAE	-	-
			METREPODIDAE		Metretopus*
			SIPHONURIDAE		Siphonurus*
		TRICHOPTERA	APATANIIDAE	-	Apatania
			BRACHYCENTRIDAE	-	Micrasema
					Brachycentrus*
			GLOSSOSOMATIDAE	-	Agapetus*
					Glossosoma
			GOERIDAE	-	Goera*
			HYDROPSYCHIDAE	-	Arctopsyche
					Ceratopsyche
					Cheumatopsyche
					Hydropsyche*
			HYDROPTILIDAE	-	Agrayela*
					Hydroptila
					Oxyethira
					Stactobiella*
			LEPIDOSTOMATIDAE	-	Lepidostoma
			LEPTOCERIDAE	-	Ceraclea
					Nectopsyche*
					Oecetis
			LIMNEPHILIDAE	-	Anabolia**
				-	Asynarchus**
					Frenesia**
				-	Limnephilus**
					Onocosmoecus**
				-	Psychoglypha**
				-	Pycnopsyche**
			PHILOPOTAMIDAE	-	Dolophilodes
					Wormaldia

Annexe 2 Liste des taxons identifiés (suite)

Phylum	Classe	Ordre	Famille	Tribu	Genre
ARTHROPODA	INSECTA	TRICHOPTERA	PHRYGANEIDAE	-	Oligostomis*
					Phryganea*
			POLYCENTROPODIDAE	-	Neureclipsis*
					Polycentropus*
			RHYACOPHILIDAE	-	Rhyacophila
		PLECOPTERA	CAPNIIDAE*	-	-
			CHLOROPERLIDAE	-	Alloperla*
					Haploperla
					Suwallia*
					Sweltsa
			LEUCTRIDAE	-	Leuctra
			NEMOURIDAE	-	Amphinemura
					Nemoura
					Zapada*
			PERLIDAE	-	Agnatina*
			PERLODIDAE	-	Cultus*
					Diura
					Isoperla
					Isogenoides*
			PTERONARCYIDAE	-	Pteronarcys*
			TAENIOPTERYGIDAE	-	Taeniopteryx*
		DIPTERA	BLEPHARICERIDAE		Blepharicera*
			CERATOPOGONIDAE	-	Bezzia/Palpomyia**
				-	Probezzia**
					Dasyhelea**
			CHIRONOMIDAE	CHIRONOMINAE	Chironomini
				CHIRONOMINAE	Tanytarsini
				DIAMESINAE	-
				ORTHOCLADIINAE	-
				PRODIAMESINAE*	-
				TANYPODINAE	non pentaneurini***
				TANYPODINAE	Pentaneurini
			DIXIDAE	-	Dixella*
			DOLICHOPODIDAE*	-	-
			EMPIDIDAE	-	Chelifera*
					Clinocera
					Hemerodromia*
					Neoplasta
					Oreogeton*
					Roederiodes*
					Tricholincera*
					Wiedemannia*
			MUSCIDAE	-	Limnophora*
			NYMPHOMYIIDAE	-	Nymphomyia**
			SIMULIIDAE	-	Prosimulium
					Cnephia
					Metacnephia
					Simulium
					Twinnia*
			TABANIDAE	-	Chrysops*

Annexe 2 Liste des taxons identifiés (suite)

Phylum	Classe	Ordre	Famille	Tribu	Genre
ARTHROPODA	INSECTA	DIPTERA	TIPULIDAE	-	Antocha*
					Dicranota
					Helius*
					Hexatoma
					Pedicia*
					Tipula
		COLEOPTERA	DYTISCIDAE	-	Agabus*
					Hydroporus*
					Liodessus*
					Oreodytes*
					Sanfilippodytes*
			ELMIDAE	-	Dubiraphia*
					Optioservus*
			HYDROPHILIDAE	-	Helophorus*
		ODONATA	AESHNIDAE*	-	-
			CORDULIIDAE	-	Somatochlora*
		HEMIPTERA	CORIXIDAE*	-	-
		LEPIDOPTERA	-	-	-
	CRUSTACEA	AMPHIPODA	GAMMARIDAE	-	Gammarus
			HYALELLIDAE	-	Hyalella*
		CLADOCERA	-	-	-
		COPEPODA	-	-	-
		OSTRACODA	-	-	-
	ARACHNOIDEA	ACARI	-	-	-
MOLLUSCA	PELECYPODA	EULAMELLIBRANCHIA	SPHAERIIDAE	-	Pisidium
					Sphaerium
	GASTROPODA	LIMNOPHILA	LYMNAEIDAE	-	Stagnicola**
			PLANORBIDAE	-	Gyraulus
					Helisoma*
		MESOGASTROPODA	VALVATIDAE	-	Valvata
ANNELLIDA	HIRUDINEA	HIRUDINEA*	-	-	-
	OLIGOCHAETA	OLIGOCHAETA	-	-	-
NEMATODA	-	-	-	-	-
PLATYHELMINTHES*	-	-	-	-	-
COELENTERATA	HYDROZOA*	-	-	-	-
PORIFERA*	-	-	-	-	-
BRYOZOA*	-	-	-	-	-
TARDIGRADA*	-	-	-	-	-

* Taxon retiré des analyses de classification et d'ordination.

** Genre ramené à la famille dans les analyses de classification et d'ordination.

*** N'est pas une tribu, comprend tous les taxons Tanypodinae qui ne sont pas des Pentaneurini.

Annexe 3 Variables relatives à l'habitat à l'échelle locale

Variables de l'habitat local	Unités	Codes
Largeur en eau	Mètre	Largeur
Largeur aux berges	Mètre	Largeur B.
Profondeur moyenne	Centimètre	Profondeur
Écoulement – fosse ¹	% à la station	É. fosse
Écoulement – régulier	% à la station	É. régulier
Écoulement – eau vive/rapide	% à la station	É. rapide
Vitesse du courant	Cote de 1 à 3	Vitesse
Transparence de l'eau ¹	Cote de 1 à 3	Transparence
Couvert forestier	% sur la rivière	Couvert forest.
Composition des berges – rocheux	% des 2 berges (10 m x station)	B. roches
Composition des berges – sol nu ¹	% des 2 berges (10 m x station)	B. sol
Composition des berges – herbacées	% des 2 berges (10 m x station)	B. herbacées
Composition des berges – mousses/lichens	% des 2 berges (10 m x station)	B. mousses/lichens
Composition des berges – arbustes	% des 2 berges (10 m x station)	B. arbustes
Composition des berges – arbres	% des 2 berges (10 m x station)	B. arbres
Abondance des macrophytes ¹	% à la station	Macrophytes
Substrat – argile ¹	% à la station	S. argile
Substrat – sable	% à la station	S. sable
Substrat – gravier	% à la station	S. gravier
Substrat – galets	% à la station	S. galets
Substrat – blocs	% à la station	S. blocs
Substrat – roc	% à la station	S. roc
Mousses aquatiques	Cote de 1 à 3	Mousses
Substrat-abris / variable 1 de l'IQH	Cote de 0 à 20	H. abris
Enablement, envasement / variable 2 de l'IQH	Cote de 0 à 20	H. envasement
Type de courant / variable 3 de l'IQH	Cote de 0 à 20	H. vitesse
Sédimentation / variable 4 de l'IQH	Cote de 0 à 20	H. sédimentation
Degré de marnage / variable 5 de l'IQH ¹	Cote de 0 à 20	H. marnage
Modification du cours d'eau / variable 6 de l'IQH ¹	Cote de 0 à 20	H. modification
Fréquence des seuils / variable 7 de l'IQH ¹	Cote de 0 à 20	H. fréq. seuils
Stabilité des berges / variable 8 de l'IQH	Cote de 0 à 20	H. stabilité
Protection végétale / variable 9 de l'IQH ¹	Cote de 0 à 20	H. protection
Largeur de la bande végétale / variable 10 de l'IQH ¹	Cote de 0 à 20	H. larg. vég.
Indice de qualité de l'habitat (IQH) ¹	%	IQH

1. Variables retirées de l'ACC.

Annexe 4 Variables de l'habitat à l'échelle du bassin versant (données cartographiques) et variables climatiques

Champ d'intérêt	Variables relatives à l'habitat à l'échelle du bassin	Unités	Codes
Général	Latitude	degrés décimaux	Latitude
	Longitude	degrés décimaux	Longitude
	Aire drainée – bassin versant	km ²	Aire BV
	Volume drainé annuellement	m ³	Volume drainé
	Pente moyenne du bassin versant	%	Pente
	Altitude moyenne du bassin versant	mètre	Altitude
Climatique	Température moyenne annuelle (modèles climatiques)	°C	Température
	Précipitation annuelle (modèles climatiques)	mm	Précipitations
	Temp. moy.durant la saison de croissance (>10 °C)	°C	Temp. moy. (10 °C)
Géologie	Roches felsiques (regroupement : r. intrusives felsiques/intermédiaires, r. métamorphiques felsiques/intermédiaires, r. volcaniques felsiques/intermédiaires)	%	G. R. felsiques
	Roches mafiques (regroupement : r. intrusives mafiques /ultramafiques, r. métamorphiques mafiques, r. volcaniques mafiques/ultramafiques/ultrabasiques)	%	G. R. mafiques
	Roches carbonatées (regroupement : r. métamorphiques/sédimentaires ou autres carbonatées, évaporites, dolomie)	%	G. R. carbonatées
	Roches clastiques (regroupement : schiste, r. sédimentaires siliceuses/argileuses)	%	G. R. clastiques
Dépôts de surface	Till (regroupement : dépôts d'altération, dépôts glaciaires de moraine sans morphologie)	%	D. till
	Organiques	%	D. organiques
	Sable/gravier (regroupement : dépôts alluvionnaires, dépôts fluvioglaciaires, dépôts littoraux, dépôts éoliens)	%	D. sable/gravier
	Affleurement rocheux/débris, surface dénudée	%	D. roc
	Glacio-marin et glacio-lacustre de faciès d'eau agitée (regroupement)	%	D. glacio ML-EA
	Glacio-marin et glacio-lacustre de faciès d'eau calme (regroupement)	%	D. glacio-ML-EC
Occupation du sol	Arbustes et régénération	%	O. arbustes
	Milieus humides	%	O. mil._humides
	Résineux	%	O. résineux
	Landes boisées	%	O. lande boisée
	Eau	%	O. eau
	Affleurement rocheux/débris, surface dénudée	%	O. roches/surf.nues
	Lichens	%	O. lichens
	Mousses (et roc)	%	O. mousses

Annexe 5 Variables de qualité de l'eau incluses dans les analyses

Abréviations	Paramètres	Méthodes analytiques ¹	Unités de mesure	Limite de détection
COND	Conductivité – terrain	sonde YSI 600QS	µs / cm	
pH	pH – terrain	sonde YSI 600QS	unité pH	
COD	Carbone organique dissous – filtré	300 – C 1.0	mg/l	0,2
DURETÉ	Dureté calculée (à partir du Ca et du Mg) $2,497 \times [\text{Ca}] + 4,118 \times [\text{Mg}]$		mg/l de CaCO ₃	
AL-EXT	Métal trace extractible total – aluminium	203 – Mét-Tra. 1.0	µg/l	0,1
AS-EXT	Métal trace extractible total – arsenic	203 – Mét-Tra. 1.0	µg/l	0,03
BA-EXT	Métal trace extractible total – baryum	203 – Mét-Tra. 1.0	µg/l	0,02
B-EXT	Métal trace extractible total – bore	203 – Mét-Tra. 1.0	µg/l	0,3
CA	Calcium	203 – Mét. 3.2	mg/l	0,008
CD-EXT	Métal trace extractible total – cadmium	203 – Mét-Tra. 1.0	µg/l	0,004
CO-EXT	Métal trace extractible total – cobalt	203 – Mét-Tra. 1.0	µg/l	0,007
CR-EXT	Métal trace extractible total – chrome	203 – Mét-Tra. 1.0	µg/l	0,04
CU-EXT	Métal trace extractible total – cuivre	203 – Mét-Tra. 1.0	µg/l	0,05
FE-EXT	Métal trace extractible total – fer	203 – Mét-Tra. 1.0	µg/l	0,5
K	Potassium	203 – Mét. 3.2	mg/l	0,03
MG	Magnésium	203 – Mét. 3.2	mg/l	0,02
MN-EXT	Métal trace extractible total – manganèse	203 – Mét-Tra. 1.0	µg/l	0,004
MO-EXT	Métal trace extractible total – molybdène	203 – Mét-Tra. 1.0	µg/l	0,003
NA	Sodium	203 – Mét. 3.2	mg/l	0,02
NI-EXT	Métal trace extractible total – nickel	203 – Mét-Tra. 1.0	µg/l	0,02
PB-EXT	Métal trace extractible total – plomb	203 – Mét-Tra. 1.0	µg/l	0,02
SB-EXT	Métal trace extractible total – antimoine	203 – Mét-Tra. 1.0	µg/l	0,004
SR-EXT	Métal trace extractible total – strontium	203 – Mét-Tra. 1.0	µg/l	0,004
U-EXT	Métal trace extractible total – uranium	203 – Mét-Tra. 1.0	µg/l	0,0009
V-EXT	Métal trace extractible total – vanadium	203 – Mét-Tra. 1.0	µg/l	0,01
ZN-EXT	Métal trace extractible total – zinc	203 – Mét-Tra. 1.0	µg/l	0,7

1. Méthodes décrites dans le site du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec à l'adresse suivante : https://www.ceaeq.gouv.qc.ca/methodes/methode_index.htm

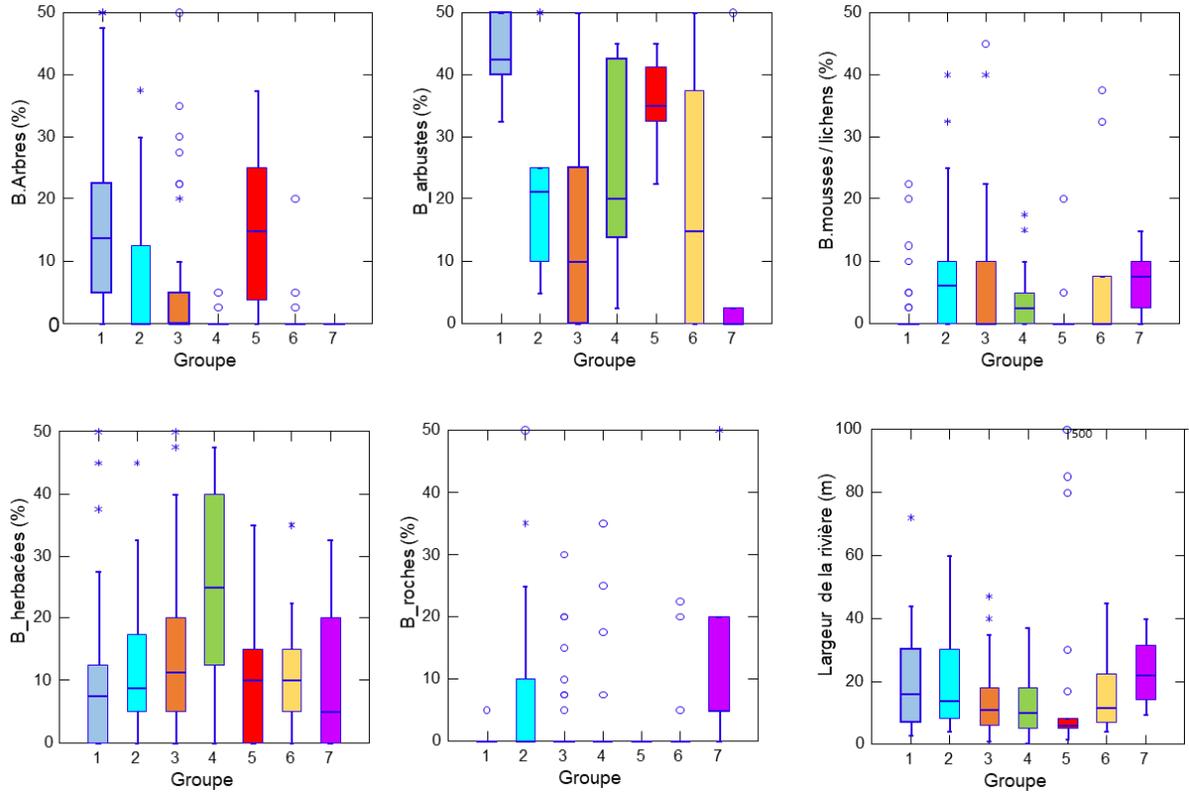
Annexe 6 Transformations choisies pour les différentes variables

Variables	Transformations	Variables	Transformations
Largeur en eau	LOG ₁₀	Dépôts till	ASN(SQR(x/100))
Largeur aux berges	LOG ₁₀	Dépôts organiques	LOG (x+1)
Profondeur moyenne	SQR	Dépôts sable/gravier	nil
Écoulement – régulier	ASN(SQR(x/100))	Dépôts roc	LOG (x+1)
Écoulement – eau vive/rapide	ASN(SQR(x/100))	Dépôts glaciaires-EA	LOG ₁₀ (x+1)
Vitesse du courant	nil	Dépôts glaciaires-EC	LOG (x+1)
Couvert forestier	nil	Conductivité – terrain	LOG ₁₀
Composition des berges – rocheux	LOG ₁₀ (x+1)	pH – terrain	LOG
Comp. des berges – herbacées	LOG (x+1)	Carbone organique dissous	LOG ₁₀
Comp. des berges – mousses/lichens	LOG (x+1)	Dureté calculée	LOG
Comp. des berges – arbustes	ASN(SQR(x/100))	Métal – aluminium	LOG
Comp. des berges – arbres	LOG ₁₀	Métal – arsenic	LOG
Substrat – sable	ASN(SQR(x/100))	Métal – baryum	LOG
Substrat – gravier	LOG (x+1)	Métal – bore	LOG
Substrat – galets	SQR	Calcium	LOG ₁₀
Substrat – blocs	ASN(SQR(x/100))	Métal – cadmium	LOG
Substrat – roc	LOG	Métal – cobalt	LOG
Mousses aquatiques	nil	Métal – chrome	LOG ₁₀
Substrat-abris / var. 1 de l'IQH	nil	Métal – cuivre	LOG
Énabl., envas. / var. 2 de l'IQH	nil	Métal – fer	LOG
Type de courant / var. 3 de l'IQH	SQR	Potassium	SQR
Sédimentation / var. 4 de l'IQH	nil	Magnésium	LOG
Stabilité des berges / var. 8 de l'IQH	nil	Métal – manganèse	LOG ₁₀
Longitude	x ^{1/3}	Métal – molybdène	LOG
Latitude	SQR	Sodium	LOG
Aire drainée	LOG ₁₀ (x+1)	Métal – nickel	LOG
Pente moy. bassin versant	x ²	Métal – plomb	LOG ₁₀
Altitude moy. bassin versant	LOG (x+1)	Métal – antimoine	LOG ₁₀
Précipitation annuelle	nil	Métal – strontium	LOG ₁₀
Température moy. annuelle	nil	Métal – uranium	LOG
Temp. moy. (seuil à 10 °C)	LOG ₁₀ (x+1)	Métal – vanadium	LOG
Volume drainé/an	LOG (x+1)	Métal – zinc	LOG ₁₀
Roches felsiques	nil		
Roches mafiques	LOG ₁₀ (x+1)		
Roches carbonatées	LOG ₁₀ (x+1)		
Roches clastiques	LOG ₁₀ (x+1)		
Eau	LOG ₁₀ (x+1)		
Aff. rocheux/débris, surf. dénudée	LOG ₁₀ (x+1)		
Lichen	LOG ₁₀ (x+1)		
Mousse (et roc)	LOG ₁₀ (x+1)		
Arbustes et régénération	SQR		
Milieux humides	LOG ₁₀ (x+1)		
Résineux	LOG (x+1)		
Lande boisée	LOG ₁₀ (x+1)		

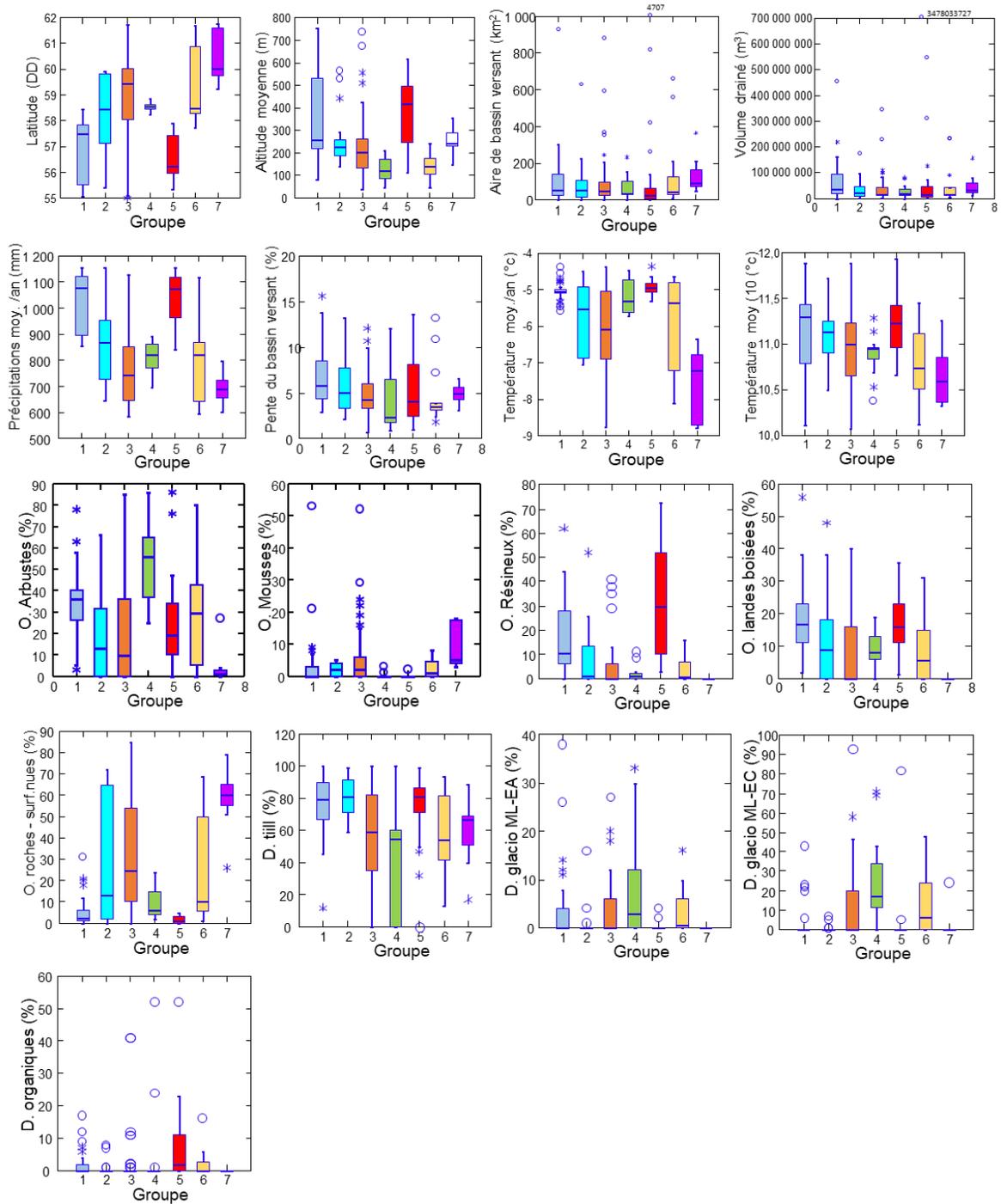
Annexe 7 Taxons indicateurs dans chaque groupe issu de l'analyse de groupement

Groupes	Meilleures valeurs indicatrices (VI = valeur indicatrice et p = probabilité)	Famille – ordre ou (classe)
1	Dolophiloides (VI = 70,3 et p = 0,0002) Plauditus (VI = 35,8 et p = 0,0012) Ephemerella (VI = 39,5 et p = 0,0006)	Philopotamidae – trichoptère Baetidae – éphéméroptère Ephemerellidae – éphéméroptère
2	Tanytarsini (VI = 39,3 et p = 0,0002)	Chironomidae – diptère
3	Orthoclaadiinae (VI = 30,7 et p = 0,0002) Oligochaeta (VI = 27,5 et p = 0,0380)	Chironomidae – diptère -
4	Amphinemura (VI = 67,9 et p = 0,0002) Baetis (VI = 49,7 et p = 0,0002) Acentrella (VI = 46,5 et p = 0,0008)	Nemouridae – plécoptère Baetidae – éphéméroptère Baetidae – éphéméroptère
5	Pisidium (VI = 84,3 et p = 0,0002) Leptophlebiidae (VI = 29,8 et p = 0,0062) Heptagenia (VI = 35,4 et p = 0,0012) Lepidostoma (VI = 29,8 et p = 0,0062)	Sphaeriidae – (pélicypode) Leptophlebiidae – éphéméroptère Heptageniidae – éphéméroptère Lepidostomatidae – trichoptère
6	Simulium (VI = 59,7 et p = 0,0002)	Simuliidae – diptère
7	Diamesinae (VI = 83,7 et p = 0,0002) Metacnephia (VI = 47,6 et p = 0,0008) Heterocloeon (VI = 36,7 et p = 0,0006)	Chironomidae – diptère Simuliidae – diptère Baetidae – éphéméroptère

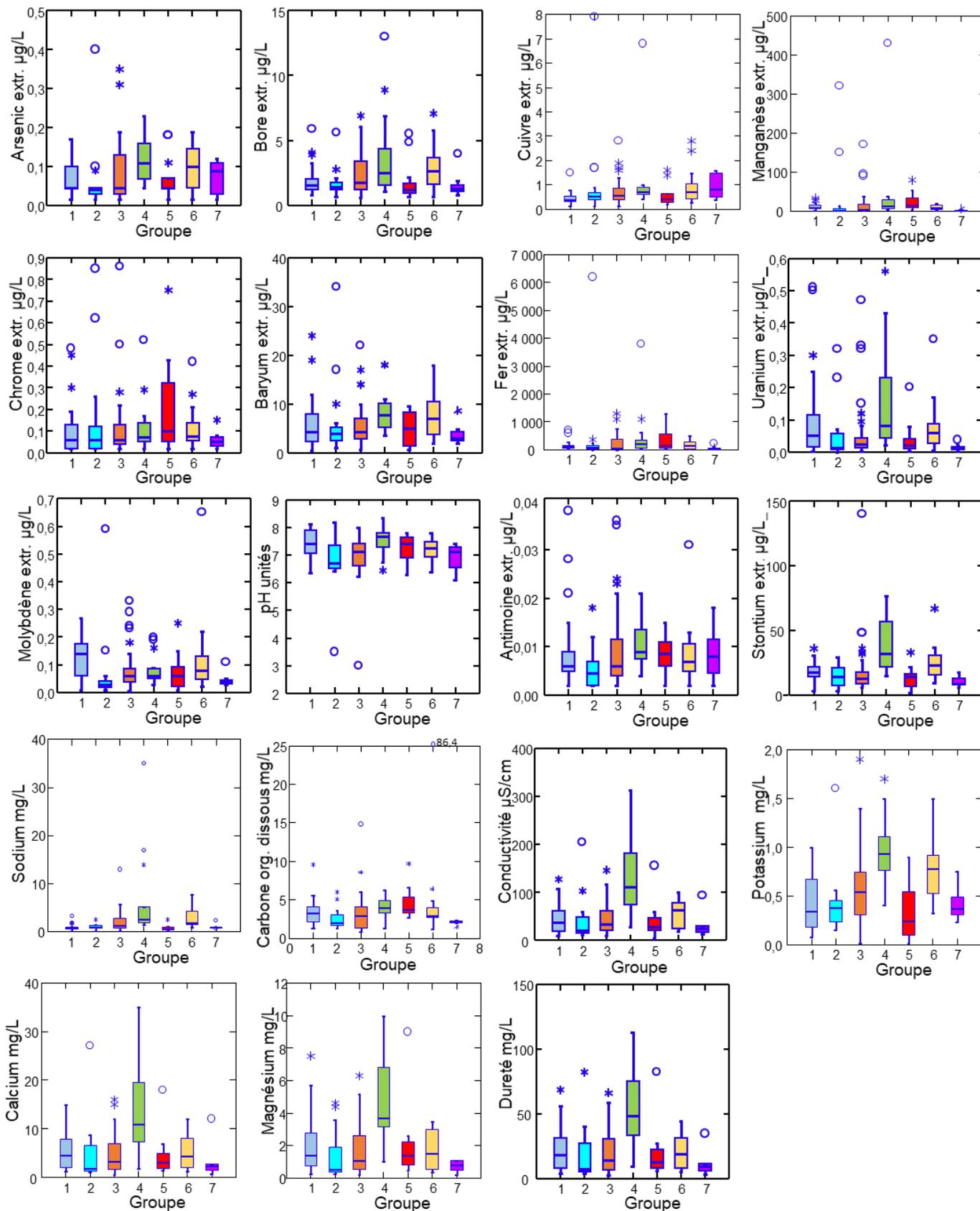
Annexe 8 Diagramme en boîtes à moustaches de variables de l'habitat à l'échelle locale par groupe de stations



Annexe 9 Diagramme en boîtes à moustaches de variables de l'habitat à l'échelle du bassin versant par groupe de stations



Annexe 10 Diagrammes en boîtes à moustaches de variables de qualité de l'eau par groupe de stations

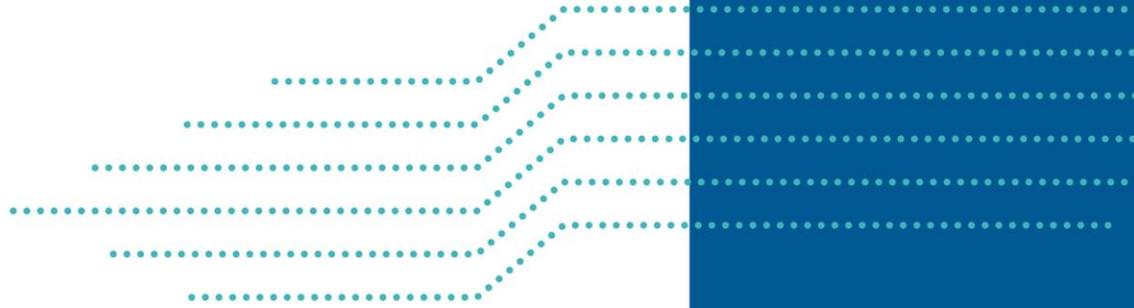


Annexe 11 Variables de communautés des macroinvertébrés benthiques

Catégories	Variables	Variables et formules
Mesure de la richesse taxonomique	N. tax.	Nombre total de taxons/500 organismes
	N. tax. EPT	Nombre de taxons éphéméroptères, trichoptères et plécoptères/500 organismes
	N. tax. éphéméroptères	Nombre de taxons éphéméroptères/500 organismes
	N. tax. plécoptères	Nombre de taxons plécoptères/500 organismes
	N. tax. trichoptères	Nombre de taxons trichoptères/500 organismes
	N. tax. odonates	Nombre de taxons odonates/500 organismes
	N. tax. Chironomidae	Nombre de taxons Chironomidae/500 organismes
	N. tax. pélicypodes	Nombre de taxons pélicypodes/500 organismes
	N. tax. gastéropodes	Nombre de taxons gastéropodes/500 organismes
	N. tax. POET	Nombre de taxons plécoptères, odonates, éphéméroptères et trichoptères/500 organismes
Mesure de la composition taxonomique	% insectes	Abondance ¹ d'insectes/abondance totale * 100
	% non-insectes	Abondance de non-insectes/abondance totale * 100
	% EPT	Abondance de taxons éphéméroptères, plécoptères et trichoptères/abondance totale * 100
	% éphém.	Abondance de taxons éphéméroptères/abondance totale * 100
	% Baet./éphém.	Abondance de taxons Baetidae/abondance éphéméroptères * 100
	% Baetidae	Abondance de taxons Baetidae/abondance totale * 100
	% plécoptères	Abondance de taxons plécoptères/abondance totale * 100
	% trichoptères	Abondance de taxons trichoptères/abondance totale * 100
	% Hydrop./trichoptères	Abondance d'Hydropsychidae/abondance de trichoptères * 100
	% Hydropsychidae	Abondance d'Hydropsychidae/abondance totale * 100
	% EPT- Hydrop.	Abondance de taxons éphéméroptères, plécoptères et trichoptères (excluant Hydropsychidae)/abondance totale * 100
	% EPT/Chiro.	Abondance de taxons éphéméroptères, plécoptères et trichoptères/abondance de Chironomidae * 100
	% diptères	Abondance de diptères/abondance totale * 100
	% Chironomini/Chironomidae	Abondance de Chironomini/abondance de Chironomidae totale * 100
	% Chironomini	Abondance de Chironomini/abondance totale * 100
	% Orthoclaadiinae/Chironomidae	Abondance d'Orthoclaadiinae/abondance de Chironomidae totale * 100
	% Orthoclaadiinae	Abondance d'Orthoclaadiinae/abondance totale * 100
	% Tanytarsini/Chironomidae	Abondance de Tanytarsini/abondance de Chironomidae totale * 100
	% Tanytarsini	Abondance de Tanytarsini/abondance totale * 100
	% Diamesinae	Abondance de Tanytarsini/abondance de Chironomidae totale * 100
% oligochètes	Abondance d'oligochètes/abondance totale * 100	
% crustacés	Abondance de crustacés/abondance totale * 100	
% gastéropodes	Abondance de gastéropodes/abondance totale * 100	
% pélicypodes	Abondance de pélicypodes/abondance totale * 100	
% mollusques	Abondance de mollusques/abondance totale * 100	
Mesure de la tolérance à la pollution organique ²	N. taxons intolérants	Nombre de taxons ayant une cote de tolérance < 4
	N. taxons tolérants	Nombre de taxons ayant une cote de tolérance > 6
	% taxon dominant (famille)	Abondance du taxon le plus abondant/abondance totale * 100
	% 2 taxons dominants (famille)	Abondance des deux taxons les plus abondants/abondance totale * 100
	% tolérants	Abondance d'organismes ayant une cote de tolérance > 6/abondance totale * 100
	N. taxons EPTm	Nombre de taxons éphéméroptères, plécoptères et trichoptères ayant une cote de tolérance < 4
	% taxons intolérants	Nombre de taxons ayant une cote de tolérance < 4/nombre total de taxons * 100
	% intolérants	Abondance des organismes ayant une cote de tolérance < 4/abondance totale * 100
	% taxons tolérants	Nombre de taxons ayant une cote de tolérance > 6/nombre total de taxons * 100
	HBI	Indice biotique d'Hilsenhoff : $\sum x_i t_i / n$ échelle de 0 à 10 x _i = nombre d'organismes de l'i ^è me taxon t _i = tolérance au genre de l'i ^è me taxon, n = nombre d'organismes

1. Abondance : nombre d'organismes.

2. Les cotes de tolérance déterminées pour le niveau d'identification au genre sont tirées de Bode et collab. (2002) ainsi que de Bode, Novak et Abele (1996) et sont complétées au besoin, surtout pour le niveau d'identification à la famille, par Hilsenhoff (1988). Dans le présent document, l'expression « pollution organique » se rapporte à l'enrichissement par la matière organique et par les nutriments.



*Environnement
et Lutte contre
les changements
climatiques*

Québec 