



Tragédie ferroviaire de Lac-Mégantic

Évaluation de l'intégrité biotique des communautés de macroinvertébrés benthiques de la rivière Chaudière, automnes 2013, 2014 et 2015



Coordination et rédaction

Cette publication a été réalisée par la Direction générale du suivi de l'état de l'environnement du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDELCC). Elle s'inscrit dans le plan d'action du MDELCC relativement au déversement de pétrole dans la rivière Chaudière survenu le 6 juillet 2013, lors de l'accident ferroviaire de Lac-Mégantic.

Renseignements

Pour tout renseignement, vous pouvez remplir le formulaire à cette adresse : www.mddelcc.gouv.qc.ca/formulaires/renseignements.asp

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

Télécopieur : 418 646-5974

Internet : www.mddelcc.gouv.qc.ca

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
675, boul. René-Lévesque Est, 7^e étage, boîte 22
Québec (Québec) G1R 5V7
Téléphone : 418 521-3820

Ou

Visitez notre site Web : <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/lac-megantic/chaudiere.htm>

Référence à citer

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 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, 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, 37 p. + 8 ann.

Dépôt légal – 2017
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
ISBN 978-2-550-79723-4 (PDF)

Tous droits réservés pour tous les pays.

© Gouvernement du Québec, 2017

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Rédaction	Lyne Pelletier ¹ , biologiste, M.Sc.
Échantillonnage	René Therreault ¹ , technicien de la faune Lyne Pelletier ¹ Julie Moisan ¹
Analyses en laboratoire Taxonomie	Diane Grenier (contractuelle)
Révision scientifique	David Berryman ¹ , biologiste, M.Sc. Mélanie Desrosiers ² , écotoxicologue, Ph. D. Julie Moisan ¹ , spécialiste en sciences physiques Christian Nozais ³ , écologie benthique, Ph. D. Gaëlle Triffault-Bouchet ² , écotoxicologue, Ph. D.

¹ 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.

² Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec.

³ Université du Québec à Rimouski, Département de biologie, chimie et géographie.

RÉSUMÉ

Le déversement de pétrole qui a eu lieu en juillet 2013 à Lac-Mégantic a touché la rivière Chaudière de plusieurs façons. À la suite du déversement, plusieurs études ont été réalisées pour évaluer le niveau de contamination de la rivière par les hydrocarbures pétroliers, ainsi que les impacts sur les communautés benthiques et piscicoles. Le suivi des communautés benthiques a été réalisé trois années consécutives, soit à l'automne de l'année du déversement (2013) et au cours des deux automnes suivants (2014 et 2015), dans la haute Chaudière.

Les résultats de 2013 ont montré que l'ensemble des perturbations liées au déversement avait eu un impact important sur les communautés benthiques de la rivière et que cet impact diminuait, de l'amont vers l'aval, sur les 40 km à l'étude. Les résultats de 2014 ont montré un rétablissement des communautés, confirmé par les résultats obtenus en 2015. En effet, l'indice de santé du benthos variante ISB_{SurVol} montre que l'intégrité biotique de la rivière se situait dans la classe de qualité dite « précaire » en 2013, qu'elle est remontée dans la classe de qualité « bonne » à la majorité des stations d'échantillonnage en 2014 et qu'elle s'est maintenue dans cette classe de qualité en 2015. Les valeurs de l'indice dans la rivière Chaudière sont maintenant à un niveau similaire à celui des rivières Nebnellis et Samson, des tributaires de la rivière Chaudière non exposés au déversement et échantillonnés à titre comparatif.

Aux stations d'échantillonnage les plus en amont dans la rivière Chaudière, soit à 1,0, 1,8 et 2,3 km en aval du barrage Mégantic, l' ISB_{SurVol} a augmenté de 2013 à 2014 et 2015, sans toutefois franchir le seuil indicateur d'une bonne qualité. Dans cette portion de la rivière, il est possible que les communautés benthiques soient affectées par d'autres facteurs que la contamination des sédiments par les hydrocarbures : l'absence de tributaires, des fluctuations plus importantes des niveaux d'eau et des débits dues à la proximité du barrage, la présence d'un territoire urbanisé et industrialisé, etc. Seul le temps permettra de déterminer si les communautés sont toujours en rétablissement dans ce secteur ou si elles ont atteint le meilleur état possible, compte tenu des limites imposées par les pressions anthropiques et les conditions hydrologiques.

L'augmentation des valeurs de l' ISB_{SurVol} , de 2013 à 2014 et 2015 traduit des réalités écologiques de base : la réapparition de certains taxons, tels les plécoptères Perlidae et les éphéméroptères Heptageniidae, l'augmentation de la proportion des éphéméroptères et des trichoptères, deux groupes sensibles aux perturbations et, à l'inverse, la diminution de l'abondance des oligochètes et des cladocères, deux taxons tolérants à la pollution. Ces résultats confirment la résilience des communautés benthiques de la haute Chaudière.

TABLE DES MATIÈRES

Mise en contexte	ix
1. Introduction	1
2. Territoire à l'étude	3
3. Méthodologie	5
3.1 Échantillonnage, traitement des échantillons et identification des macroinvertébrés benthiques	5
3.2 Données descriptives recueillies	6
3.3 Analyse des données	6
4. Résultats et discussions	10
4.1 Habitat et qualité de l'eau	10
4.2 Comparaison spatio-temporelle des communautés benthiques échantillonnées en 2013, 2014 et 2015	12
4.3 Analyse de structure des communautés benthiques	24
4.4 Rétablissement	28
4.5 L'indice de santé du benthos de base (ISB _g) aux 17 stations échantillonnées en septembre 2014 et 2015	31
5. Conclusion	32
6. Références bibliographiques	33

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Débits (m ³ /s) mensuels observés en période estivale (de juillet à octobre) pour les années 2013, 2014 et 2015 en aval du barrage de Lac-Mégantic (station 023427)	3
Tableau 2	Indice de santé du benthos – substrat grossier – variante ISB _{SurVol}	8
Tableau 3	Indice de santé du benthos – substrat grossier (ISB _g)	8
Tableau 4	Caractéristiques des habitats aquatiques et riverains des stations des rivières de référence et de la rivière Chaudière	11
Tableau 5	Qualité de l'eau à la station 02340006 de la rivière Chaudière en 2013, 2014 et 2015	12
Tableau 6	Valeurs médianes, moyennes, minimales et maximales de l'ISB _{SurVol} et de certaines variables de communautés aux sept stations communes de la rivière Chaudière et aux deux stations de référence échantillonnées en 2013, 2014 et 2015	13
Tableau 7	Comparaison des valeurs de l'ISB _{SurVol} et d'autres variables de communautés aux stations de référence avec celles de la rivière Chaudière lors des quatre campagnes d'échantillonnage	15
Tableau 8	Comparaisons des valeurs de l'ISB _{SurVol} et d'autres variables de communautés obtenues aux sept stations de la rivière Chaudière entre les campagnes d'échantillonnage	16
Tableau 9	Meilleurs taxons indicateurs des groupes issus du groupement hiérarchique	27

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Localisation des stations d'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques des suivis réalisés aux automnes 2013, 2014 et 2015	4
Figure 2	Débits moyens journaliers en m ³ /s à l'exutoire du barrage de Lac-Mégantic (du 15 juin au 20 octobre 2013, 2014 et 2015)	5
Figure 3	Valeurs d'ISB _{SurVol} pour sept des stations communes de la rivière Chaudière et des stations de référence : a) en septembre 2013, b) en octobre 2013, c) en septembre 2014, d) en septembre 2015	14
Figure 4	Valeurs d'ISB _{SurVol} aux stations de la rivière Chaudière, de l'amont vers l'aval, et aux stations de référence des rivières Nebnellis et Samson pour les quatre campagnes d'échantillonnage	17
Figure 5	Nombre de taxons éphéméroptères-plécoptères-trichoptères aux stations de la rivière Chaudière, de l'amont vers l'aval, et aux stations de référence des rivières Nebnellis et Samson pour les quatre campagnes d'échantillonnage	18
Figure 6	Pourcentage d'éphéméroptères-plécoptères-trichoptères excluant Hydropsychidae aux stations de la rivière Chaudière, de l'amont vers l'aval, et aux stations de référence des rivières Nebnellis et Samson pour les quatre campagnes d'échantillonnage	19
Figure 7	Valeurs de l'indice biotique d'Hilsenhoff (FB _{Iv}) aux stations de la rivière Chaudière, de l'amont vers l'aval, et aux stations de référence des rivières Nebnellis et Samson pour les quatre campagnes d'échantillonnage	19

Figure 8	Pourcentage des crustacés aux stations de la rivière Chaudière, de l'amont vers l'aval, et aux stations de référence des rivières Nebnellis et Samson pour les quatre campagnes d'échantillonnage	21
Figure 9	Pourcentage d'oligochètes aux stations de la rivière Chaudière, de l'amont vers l'aval, et aux stations de référence des rivières Nebnellis et Samson pour les quatre campagnes d'échantillonnage	22
Figure 10	Pourcentage des non-insectes aux stations de la rivière Chaudière, de l'amont vers l'aval, aux stations de référence des rivières Nebnellis et Samson pour les quatre campagnes d'échantillonnage	22
Figure 11	Pourcentage de plécoptères aux stations de la rivière Chaudière, de l'amont vers l'aval, et aux stations de référence des rivières Nebnellis et Samson pour les quatre campagnes d'échantillonnage	23
Figure 12	Densité des macroinvertébrés benthiques aux stations de la rivière Chaudière, de l'amont vers l'aval, et aux stations de référence des rivières Nebnellis et Samson pour les quatre campagnes d'échantillonnage	23
Figure 13	Groupement hiérarchique des stations échantillonnées en septembre et octobre 2013 et en septembre 2014 et 2015	26
Figure 14	Profil longitudinal des abondances relatives des grands groupes (classe et ordre) de macroinvertébrés benthiques des stations de la rivière Chaudière et des stations de référence en 2013, 2014 et 2015	30
Figure 15	Variation des valeurs de l'indice de santé du benthos ISB_g en septembre 2014 et 2015	31

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1	Localisation des stations d'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques en 2013 et en 2014	39
Annexe 2	Localisation et description des stations d'échantillonnage de la qualité de l'eau	40
Annexe 3	Qualité de l'eau – paramètres et limites de détection	40
Annexe 4	Liste des variables de communautés analysées et réponse attendue de celles-ci à l'augmentation des perturbations	41
Annexe 5	a) Valeurs de l'ISB _{SurVol} et des six variables standardisées (échelle de 0 à 100) qui le composent; b) Valeurs brutes des six variables de l'ISB _{SurVol} (données raréfiées à 200)	42
Annexe 6	Valeurs des variables de communautés (données de la matrice raréfiée à 200 organismes de SurVol benthos)	44
Annexe 7	Valeurs de signification permettant d'évaluer l'effet des perturbations reliées au déversement de pétrole sur les variables de communautés (stations de la rivière Chaudière entre les périodes d'échantillonnage)	46
Annexe 8	Identification visée pour les différents taxons – Niveau 1 (tiré de MDDEFP, 2013b)	47

MISE EN CONTEXTE

Le 6 juillet 2013, un train de 72 wagons transportant 7,679 millions de litres de pétrole brut a déraillé dans le centre-ville de Lac-Mégantic. Un incendie s'est déclaré, provoquant des explosions ainsi que l'émission et le déversement de pétrole et d'autres contaminants dans l'environnement. Des quelque six millions de litres de pétrole déversés ou brûlés, il a été estimé qu'environ 100 000 litres se sont déversés dans la rivière Chaudière, dont la tête est située à Lac-Mégantic.

Au cours de l'été et de l'automne 2013, des équipes ont été mises à pied d'œuvre pour nettoyer le littoral et, autant que possible, le fond de la rivière par des méthodes manuelles. Au cours de la même période, un grand nombre d'observations visuelles et de nombreux échantillonnages ont été réalisés pour évaluer le niveau et l'étendue de la contamination du milieu par le pétrole et ses produits dérivés.

En janvier 2014, le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) a confié à son Comité expert sur la rivière Chaudière le mandat de dégager un état de situation de cette dernière sur la base des résultats obtenus en 2013, de déterminer les impacts potentiels et d'élaborer un plan de gestion de la contamination résiduelle. Le plan proposé par le Comité expert a été adopté par le Ministère, rendu public le 12 mai 2014 et mis en œuvre en 2014-2015 (MDDELCC, 2014).

Un deuxième plan d'action, visant trois objectifs et comprenant neuf projets, a été lancé en 2015 (MDDELCC, 2015a). Le présent rapport présente les résultats du projet n° 3.4 de ce second plan d'action, soit le suivi des communautés de macroinvertébrés benthiques en 2015.

1. INTRODUCTION

L'accident ferroviaire de Lac-Mégantic en 2013 a été à l'origine de nombreuses préoccupations environnementales, dont ses effets sur la rivière Chaudière, son eau, ses sédiments et sa faune. Les concentrations d'hydrocarbures pétroliers dans l'eau ont été importantes à la sortie du lac Mégantic pendant les premiers jours suivant le déversement. Cependant, dès la fin juillet 2013, les détections d'hydrocarbures dans l'eau de surface et les dépassements de critères associés n'étaient plus que sporadiques (MDDELCC, 2014). Un suivi de l'eau de surface en temps de crue a été réalisé en 2014 et en 2015. Les résultats ont démontré qu'il y avait relargage d'hydrocarbures pétroliers dans l'eau de la haute Chaudière lors des crues printanières, mais que ces relargages étaient peu fréquents et de courte durée (MDDELCC, 2015b).

À l'inverse de la contamination de l'eau, la contamination des sédiments de la haute Chaudière a été importante, tant par son étendue et sa durée que par les concentrations mesurées. Cette contamination perdure, mais elle a beaucoup diminué avec les années. Les résultats d'un suivi montrent que la médiane des concentrations en hydrocarbures pétroliers C₁₀-C₅₀ mesurées à 130 stations d'échantillonnage réparties sur les premiers 85 kilomètres de la rivière est passée de 215 mg/kg en 2013 à 62 mg/kg en 2014, pour descendre sous la limite de détection de 40 mg/kg en 2016. La proportion des stations où les concentrations mesurées dépassent la valeur de référence d'effets aigus pour la protection de la vie aquatique (VRA)¹ est passée de 27 % en 2013 à 5 % en 2014, puis à seulement 1 % en 2016. De plus, ces dépassements de la VRA étaient observés jusqu'à 80 km en aval de Lac-Mégantic en 2013, mais se limitaient aux neuf premiers kilomètres de la rivière en 2014 et aux 5,3 premiers kilomètres en 2016 (WSP, 2017; MDDELCC, 2017b).

Dans la haute Chaudière, la rivière coule principalement dans un lit rocheux et ses eaux sont plutôt turbulentes. Afin de documenter les effets du déversement sur les communautés biologiques et les habitats aquatiques, un suivi des macroinvertébrés benthiques a été entrepris dès l'automne 2013. Neuf stations ont été échantillonnées entre Lac-Mégantic et Saint-Martin, en septembre et en octobre 2013, dans des tronçons dont le substrat est majoritairement grossier. Les résultats de cette étude (Grenier, 2014a) ont permis, entre autres, de conclure que le déversement de pétrole ainsi que l'ensemble des perturbations liées à ce déversement ont eu un impact important sur les communautés benthiques et que cet impact diminuait de l'amont vers l'aval de la rivière Chaudière. Trois perturbations associées au déversement de pétrole pourraient être responsables de l'état précaire des communautés benthiques observé en 2013 : le pétrole lui-même, le déversement d'eaux usées non traitées à Lac-Mégantic durant dix jours et des variations inhabituelles de débits à la tête de la rivière causées par des opérations du barrage Mégantic nécessaires à la réalisation de travaux faisant suite au déversement (Grenier, 2014a).

Compte tenu des résultats obtenus en 2013, le Comité expert de la rivière Chaudière a recommandé la poursuite du suivi des communautés benthiques à l'automne 2014 (MDDELCC, 2015a). Ce deuxième suivi a été réalisé aux neuf stations caractérisées en 2013 et à huit nouvelles stations. Il a permis de constater que le rétablissement des communautés benthiques était amorcé. Alors que l'indice de santé du benthos ISB_{SurVol} indiquait une intégrité précaire à la plupart des stations en 2013, cet état précaire n'était pratiquement plus observé que dans les premiers kilomètres de la rivière en 2014. Les autres stations montraient une bonne intégrité, comparable à celle des rivières Nebnellis et Samson, des tributaires de la rivière Chaudière non exposés au déversement et échantillonnés comme sites de référence. En 2013, les perturbations liées au déversement ont contribué à la prolifération des annélides oligochètes, un taxon reconnu pour être tolérant aux hydrocarbures pétroliers. À la faveur des baisses des teneurs en hydrocarbures observées en 2014, des insectes tels des plécoptères Perlidae et des éphéméroptères Heptageniidae, absents en 2013 jusqu'au kilomètre 7,5, ont réapparu, alors que l'abondance relative des annélides oligochètes a diminué (MDDELCC, 2016a).

¹ La VRA s'établit à 832 mg/kg d'hydrocarbures pétroliers C₁₀-C₅₀ (MDDEFP, 2013a; MDDELCC, 2015a).

À la lumière de ces résultats, le Comité expert de la rivière Chaudière a recommandé la poursuite de certains suivis environnementaux, dont celui des communautés benthiques, à l'automne 2015 (MDDELCC, 2015a). Le présent rapport donne suite à cette recommandation. Il vise à vérifier si le rétablissement des communautés benthiques amorcé en 2014 aux stations situées à proximité du barrage Mégantic s'est poursuivi en 2015 et si le bon état de santé observé aux autres stations s'est maintenu.

Les réactions de la communauté benthique de la rivière Chaudière au déversement de pétrole de 2013 concordent avec des résultats rapportés par d'autres études sur les déversements de pétrole en milieu d'eau douce. Selon une revue de la documentation scientifique sur le sujet (Grenier, 2014b), des effets létaux peuvent survenir à court terme par l'exposition des organismes benthiques à des fractions du pétrole solubles dans l'eau ou à des produits de dégradation. Des essais de toxicité menés en laboratoire ont également mis en évidence que les sédiments les plus contaminés par les hydrocarbures pétroliers (> 832 mg/kg) prélevés dans la rivière Chaudière en 2014 avaient des effets négatifs sur les organismes benthiques et entraînaient une augmentation de l'incidence des déformations de la colonne vertébrale chez les stades larvaires de truites brunes (MDDELCC, 2015a et 2015c; Gauthier et Couture, 2015). Les effets à long terme sur les communautés benthiques sont toutefois plus difficiles à évaluer, car les composés responsables de la toxicité changent en composition et en quantité à mesure que le pétrole se dégrade. Les effets peuvent survenir par l'exposition des organismes aux résidus de pétrole adsorbés dans les sédiments et dans la matière organique. La destruction et la contamination de la nourriture et de l'habitat des communautés benthiques par les hydrocarbures pourraient aussi être mises en cause. Le temps de rétablissement des communautés de macroinvertébrés benthiques à la suite d'un déversement d'hydrocarbures varierait principalement en fonction des caractéristiques des hydrocarbures, des caractéristiques physiques des cours d'eau et des caractéristiques des communautés de macroinvertébrés elles-mêmes.

2. TERRITOIRE À L'ÉTUDE

La rivière Chaudière est située sur la rive sud du fleuve Saint-Laurent. Elle prend sa source dans le lac Mégantic et coule en direction nord sur une distance de 185 km, puis se déverse dans le fleuve Saint-Laurent à la hauteur de la ville de Lévis (secteur Saint-Romuald et Saint-Nicolas) (figure 1). Elle draine un vaste territoire d'une superficie de 6 682 km² (Thibault, 2008). Ses principaux tributaires sont les rivières Beauvillage, Famine, du Loup et Saint-Victor. Le bassin versant de la rivière Chaudière chevauche deux provinces naturelles : les Appalaches, qui occupent 95 % de la superficie du bassin versant, et les basses-terres du Saint-Laurent, qui constituent 5 % du territoire. Le territoire à l'étude, majoritairement forestier, se situe dans la haute Chaudière, entre la décharge du lac Mégantic et la municipalité de Saint-Martin (figure 1).

Le débit de la rivière Chaudière est très variable. Durant les étés 2013 et 2014, la gestion du débit de la rivière au barrage de Lac-Mégantic a été grandement influencée par les nombreux travaux effectués dans la portion amont de la rivière (travaux au barrage de Lac-Mégantic, caractérisation des sédiments, nettoyage du lit de la rivière, etc.). Le tableau 1 présente les débits mensuels observés en période estivale pendant les trois années à l'étude. Les débits médians pour les trois années en août, en septembre et en octobre se situaient entre 3,3 et 7,8 m³/s. Toutefois, les variations de débits ont été moins importantes en 2015. En août et septembre 2015, les débits n'ont pas dépassé les 10 m³/s et 5 m³/s respectivement. La figure 2 présente les débits journaliers moyens à l'exutoire du barrage de Lac-Mégantic en période estivale. Les débits de la période estivale 2015 étaient relativement constants et n'ont montré aucune grande variation avant l'échantillonnage. Une seule grande oscillation de débits a eu lieu environ deux semaines avant la campagne d'échantillonnage des macroinvertébrés de septembre 2014. En 2013, une augmentation a été observée une dizaine de jours avant l'échantillonnage de septembre, et plusieurs oscillations du débit ont eu lieu avant l'échantillonnage d'octobre 2013 (figure 2). Les périodes estivales et automnales de 2013 et de 2014 ont été caractérisées par des variations journalières du débit afin de contrôler le niveau du lac et d'assurer la sécurité des travailleurs. À titre d'exemple, en septembre 2014, le débit est passé de 4,4 à 13,5 m³/s sur une période de 24 heures.

Tableau 1 Débits (m³/s) mensuels observés en période estivale (de juillet à octobre) pour les années 2013, 2014 et 2015 en aval du barrage de Lac-Mégantic (station 023427)

	Juillet			Août			Septembre			Octobre		
	2013	2014	2015	2013	2014	2015	2013	2014	2015	2013	2014	2015
Min.	3,13	3,35	3,86	2,29	2,71	3,76	2,29	2,57	3,20	2,36	2,88	5,54
Max.	69,91	50,51	32,53	29,27	37,84	9,46	27,60	9,08	4,80	27,89	13,25	18,04
Médiane	10,01	7,22	4,21	4,13	5,79	5,65	4,11	3,86	3,48	3,25	4,61	7,76
Moyenne	16,01	10,85	7,75	6,40	8,75	6,09	6,99	4,41	3,51	7,38	5,98	9,45

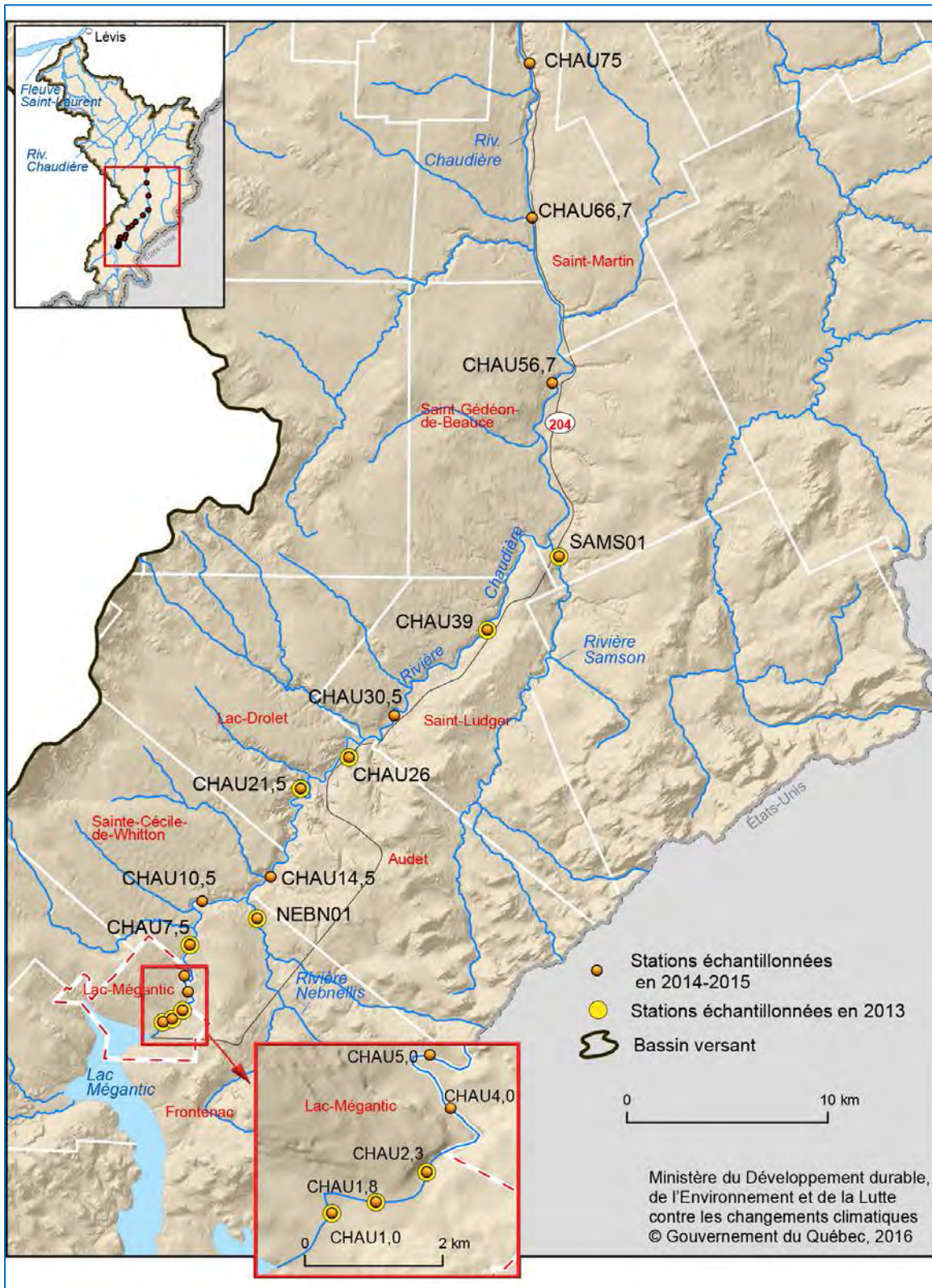
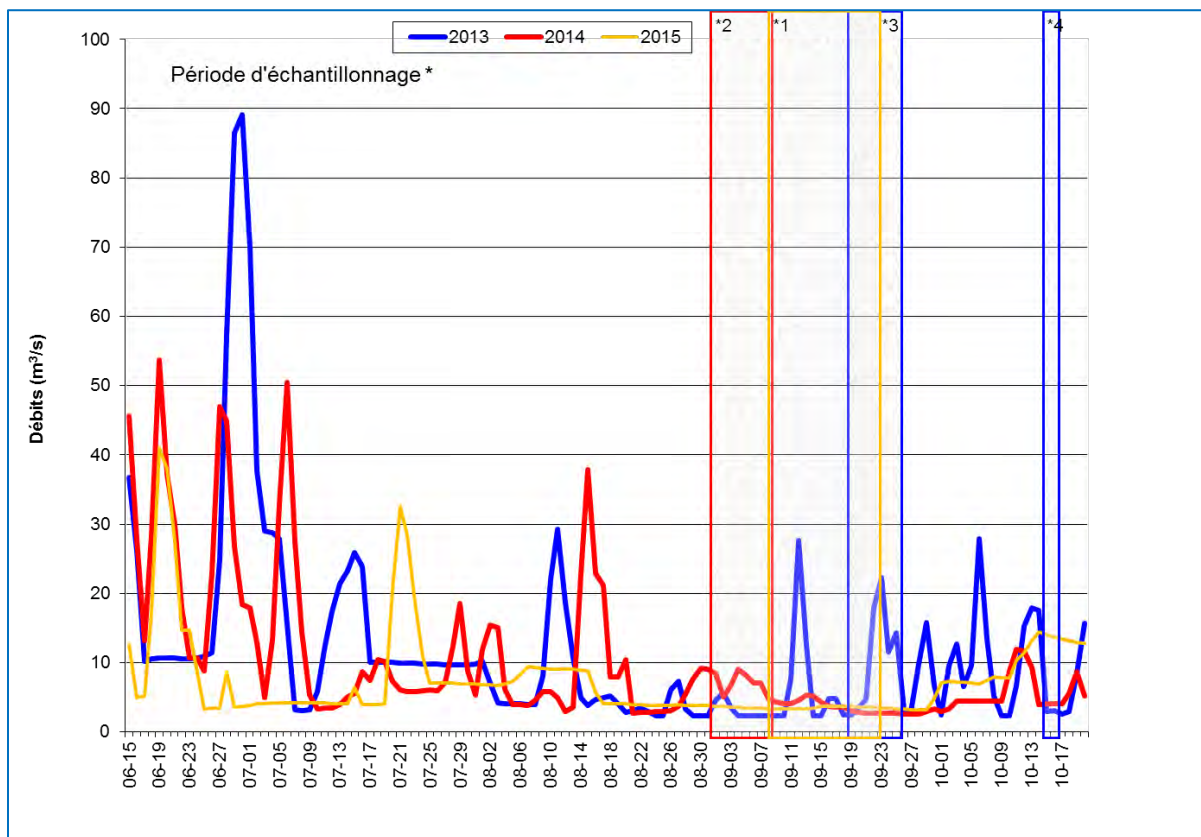


Figure 1 Localisation des stations d'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques des suivis réalisés aux automnes 2013, 2014 et 2015



*1 : du 8 au 22 septembre 2015; *2 : du 2 au 9 septembre 2014; *3 : du 19 au 26 septembre 2013; *4 : du 15 au 17 octobre 2013

Figure 2 Débits moyens journaliers en m^3/s à l'exutoire du barrage de Lac-Mégantic (du 15 juin au 20 octobre 2013, 2014 et 2015)

3. MÉTHODOLOGIE

3.1 Échantillonnage, traitement des échantillons et identification des macroinvertébrés benthiques

À l'automne 2013, sept stations ont été échantillonnées dans le tronçon amont de la rivière Chaudière sur une distance d'environ 40 km, de la décharge du lac Mégantic à la municipalité de Saint-Ludger, et deux stations dans des affluents (figure 1). Les stations ont été échantillonnées à deux reprises, en septembre et en octobre 2013, par le Comité de bassin de la rivière Chaudière (COBARIC), selon la méthodologie du MDDELCC pour les cours d'eau à substrat grossier (Moisan et Pelletier, 2008). À chaque station d'une longueur de 100 m, les macroinvertébrés benthiques ont été récoltés dans les seuils et les plats courants à l'aide d'un filet de troubleau d'une maille de 600 μm . Les macroinvertébrés ont été délogés manuellement, ou avec les pieds si le niveau d'eau était trop élevé, pendant 30 secondes. À chaque station, un échantillon composite a été obtenu grâce à l'échantillonnage de 20 quadrats de 50 cm sur 30 cm (coups de filet), couvrant ainsi une surface totale d'environ 3 m^2 . L'échantillon composite a été conservé dans l'alcool éthylique à 70 % de volume.

Au laboratoire, les échantillons recueillis ont été rincés sur un tamis de maille de 600 µm, puis déposés dans un plateau de fractionnement de type « Caton » de 30 cm sur 36 cm, divisé en 30 carreaux qui permettent de sous-échantillonner l'échantillon. Des carreaux ont été choisis de façon aléatoire, jusqu'à l'obtention d'au moins 200 organismes qui ont ensuite été triés et identifiés à l'aide d'un stéréomicroscope. Chaque carreau dont le tri était amorcé devait nécessairement être terminé, même si le nombre final d'organismes était supérieur à 200. L'identification a été réalisée par le COBARIC aux niveaux taxonomiques présentés dans Moisan (2010), où la majorité des insectes sont identifiés à la famille.

Les échantillonnages des automnes 2014 et 2015 ont été réalisés par le MDDELCC. Quinze stations ont été échantillonnées dans le tronçon amont de la rivière, sur une distance d'environ 80 km, de la décharge du lac Mégantic à l'aval de la municipalité de Saint-Martin, et deux stations des rivières Nebnellis et Samson (figure 1 et annexe 1). Ainsi, huit nouvelles stations ont été ajoutées aux neuf stations suivies à l'automne 2013. Les mêmes méthodologies qu'en 2013 ont été utilisées pour la récolte et la préparation des échantillons en laboratoire (MDDEFP, 2013b). Toutefois, l'identification a été raffinée, les organismes ayant cette fois été majoritairement identifiés au genre. Les clés taxonomiques utilisées pour identifier les organismes sont celles de Merrit et ses collaborateurs (2008) pour les insectes et de Smith (2001) pour les autres taxons.

3.2 Données descriptives recueillies

Habitat

Des données descriptives de l'habitat riverain et aquatique ont été recueillies lors de l'échantillonnage des macroinvertébrés en 2013, 2014 et 2015. La plupart d'entre elles sont prises à la station, soit sur une distance de 100 m. Certaines sont de nature générale, telles la largeur, la composition du substrat et la vitesse du courant, tandis que d'autres, plus spécifiques, permettent le calcul de deux indices : un indice de qualité d'habitat et une adaptation de l'indice de qualité de la bande riveraine de Saint-Jacques et Richard (1998) (MDDEFP, 2013b).

Physicochimie de l'eau

Tout comme en 2013, l'eau n'a pas été échantillonnée aux stations du suivi des macroinvertébrés benthiques en 2015. Toutefois, des données étaient disponibles à la station 02340006 (au pont du chemin du Lac Drolet; annexe 2) dans la Banque de données sur la qualité du milieu aquatique (BQMA) du MDDELCC. Les analyses de qualité de l'eau ont été effectuées par le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ). Les unités de mesure et les limites de détection des paramètres étudiés se trouvent à l'annexe 3. [L'indice de qualité bactériologique et physicochimique](#) (IQBP_s) a été calculé à partir des paramètres suivants : coliformes fécaux, chlorophylle *a*, azote ammoniacal, nitrates et nitrites, phosphore total au persulfate et solides en suspension (Hébert, 1997).

3.3 Analyse des données

Pour comparer les variables de communautés des stations échantillonnées en septembre et octobre 2013 avec celles des stations échantillonnées en 2014 et 2015, les données taxonomiques de 2014 et 2015 ont été ajustées afin que leur niveau taxonomique soit identique à celui utilisé en 2013 (Grenier, 2014a), c'est-à-dire au niveau ¹ d'identification (Moisan, 2010; MDDEFP, 2013b). L'abondance des organismes identifiés dans les sous-échantillons variait entre

² Ce niveau d'identification est variable. La plupart des organismes sont identifiés au niveau de la famille, d'autres au niveau du sous-ordre, de la classe, de la sous-classe, etc. Certaines familles difficiles à distinguer ont été regroupées sous l'appellation de groupe x.x. Cette classification est conçue de manière à maximiser le nombre de taxons tout en minimisant les erreurs d'identification (Moisan, 2010). Le niveau 1 est adapté pour la surveillance volontaire (MDDEFP, 2013b).

211 et 342 organismes, excédant ainsi jusqu'à 70 % le nombre visé de 200 organismes. Or, lorsque l'abondance excède 240 organismes (> 20 % du nombre visé), une procédure de raréfaction est recommandée si l'on veut faire des comparaisons avec des variables traitant de la richesse taxonomique (MDDEFP, 2013b). Ainsi, une raréfaction à 200 organismes a été exécutée par simulation informatique (MDDEFP, 2013b) sur l'ensemble des données pour permettre les comparaisons entre les stations et les périodes d'échantillonnage.

Variables de communautés

Vingt-cinq variables de communautés ont été calculées, dont six composent l'indice de santé du benthos utilisé par le MDDELCC (annexe 4). Ces variables expriment différents aspects de la structure des communautés benthiques. Elles mesurent la richesse, la composition taxonomique ainsi que la tolérance ou l'intolérance à la pollution organique³ (MDDEFP, 2013b). Ces variables sont des caractéristiques mesurables des communautés biologiques et les plus utilisées dans la surveillance biologique sont celles qui changent d'une façon prévisible avec l'augmentation des perturbations de l'environnement (Burton et Gerritsen, 2003). L'annexe 5 présente les résultats obtenus pour dix-neuf de ces variables de communautés.

Indice de santé du benthos – variante ISB_{SurVol}

L'indice de santé du benthos a été calculé selon la variante adaptée pour la surveillance volontaire et le niveau 1 d'identification. Cette variante est communément appelée ISB_{SurVol} (MDDEFP, 2013b). L' ISB_{SurVol} et l'indice de base ISB_g sont composés des mêmes six variables de communautés, toutefois les valeurs de référence pour la standardisation de ces variables diffèrent en raison du niveau d'identification différent (tableaux 2 et 3)⁴. L' ISB_{SurVol} ou l' ISB_g calculé pour un site donné représente la moyenne de ces six variables, qui ont préalablement été standardisées sur une échelle commune de 0 à 100.

Pour l' ISB_{SurVol} , trois classes d'intégrité ont été établies : mauvaise (0 à 45), précaire (46 à 74) et bonne (75 à 100). Le seuil de bon état est atteint lorsque la valeur de l'indice est égale ou supérieure à 75. Pour l' ISB_g , cinq classes d'intégrité ont été établies : très mauvaise (0 à 24,1), mauvaise (24,2 à 48,3), précaire (48,4 à 72,6), bonne (72,7 à 89,1) et très bonne (89,2 à 100). Le seuil de bon état est atteint lorsque la valeur de l'indice est égale ou supérieure à 72,7 (MDDEFP, 2013b; MDDEFP, 2012). Les valeurs de référence de l' ISB_{SurVol} et de l'indice de base ISB_g ont été obtenues à partir de la base des données (raréfiées à 200) récoltées à 64 stations entre 2003 et 2008, totalisant 83 échantillons. Ces stations sont situées dans les provinces naturelles des basses-terres du Saint-Laurent et des Appalaches ainsi que dans le piémont laurentien (MDDEFP, 2012).

Les résultats de l' ISB_{SurVol} obtenus aux 17 stations en 2014 et 2015, avec les données raréfiées, sont présentés dans le présent document. Il convient de noter que, du fait de l'utilisation des données raréfiées, les valeurs de l' ISB_{SurVol} présentées dans MDDELCC (2016a) et Grenier (2014a) diffèrent légèrement de celles présentées dans le présent rapport. L'annexe 5 présente les résultats obtenus pour l' ISB_{SurVol} et les six variables qui le composent. Les résultats de l' ISB_g , qui sont établis sur un niveau d'identification taxonomique majoritairement au genre plutôt que celle du niveau 1 dans l' ISB_{SurVol} , sont également présentés dans ce rapport.

³ Dans le présent document, l'expression « pollution organique » se rapporte à l'enrichissement par la matière organique et par les nutriments.

⁴ Pour plus de détails sur l' ISB_{SurVol} et l' ISB_g , veuillez consulter MDDEFP (2013b).

Tableau 2 Indice de santé du benthos – substrat grossier – variante ISB_{SurVol}

Variable X (Acronyme)	Réponse prédite selon l'augmentation des perturbations	Valeur de référence	Formule de standardisation
Nombre total de taxons (NTTOT)	↓	22	$(X \div 22) \times 100$
Nombre de taxons éphéméroptères-plécoptères-trichoptères (NTEPT)	↓	13	$(X \div 13) \times 100$
% d'éphéméroptères-plécoptères-trichoptères excluant Hydropsychidae (PEPTH)	↓	72,6	$(X \div 72,6) \times 100$
% de Chironomidae (PC)	↑	4,1	$[(100 - X) \div (100 - 4,1)] \times 100$
% des deux taxons dominants-famille (PTD2)	↑	32,7	$[(100 - X) \div (100 - 32,7)] \times 100$
Indice biotique Hilsenhoff volontaire (FBI _v)	↑	3,03	$[(10 - X) \div (10 - 3,03)] \times 100$

Tableau 3 Indice de santé du benthos – substrat grossier (ISB_g)

Variable X (Acronyme)	Réponse prédite selon l'augmentation des perturbations	Valeur de référence	Formule de standardisation
Nombre total de taxons (NTTOT)	↓	35	$(X \div 35) \times 100$
Nombre de taxons éphéméroptères-plécoptères-trichoptères (NTEPT)	↓	22,4	$(X \div 22,4) \times 100$
% d'éphéméroptères-plécoptères-trichoptères excluant Hydropsychidae (PEPTH)	↓	72,5	$(X \div 72,5) \times 100$
% de Chironomidae (PC)	↑	4,1	$[(100 - X) \div (100 - 4,1)] \times 100$
% des deux taxons dominants-famille (PTD2)	↑	32	$[(100 - X) \div (100 - 32)] \times 100$
Indice biotique Hilsenhoff (HBI)	↑	2,53	$[(10 - X) \div (10 - 2,53)] \times 100$

Stratégie d'analyse

La stratégie d'analyse adoptée consiste, dans un premier temps, à évaluer si les communautés benthiques des neuf stations échantillonnées en 2013, 2014 et 2015 montrent toujours des signes de rétablissement en 2015. Dans un deuxième temps, l'évolution de l'intégrité biotique a été analysée aux dix-sept stations réparties dans le tronçon entre Lac-Mégantic et Saint-Martin qui ont été échantillonnées aux automnes 2014 et 2015. La stratégie d'analyse est inspirée de celle utilisée dans MDDELCC (2016a) et Grenier (2014a).

Rétablissement des communautés de macroinvertébrés benthiques deux ans après le déversement de pétrole

Le rétablissement des communautés aux sept stations étudiées en 2013, 2014 et 2015 a été évalué :

- en déterminant si les niveaux d'intégrité biotique (ISB_{SurVol} et variables de communautés) aux différentes stations de la rivière Chaudière ont augmenté entre les périodes d'échantillonnage de 2013 à 2015 et se rapprochent de ceux obtenus aux stations de référence;
- en déterminant s'il y a des changements de structures de communautés dans les stations de la rivière Chaudière de 2013 à 2015.

Analyses statistiques

Test de Wilcoxon-Mann-Whitney

Le test de Wilcoxon-Mann-Whitney (*U-Mann-Whitney*) a été utilisé pour vérifier si les valeurs de ISB_{SurVol} et des variables de communautés occupent des rangs équivalents dans les échantillons de référence et ceux de la rivière Chaudière, révélant ainsi la similitude des deux distributions (Scherrer, 1984). Ce test est analogue au test paramétrique de Student (test t).

Test de Wilcoxon pour échantillons appariés

Le test de Wilcoxon pour échantillons appariés (*signed-rank*) est utilisé pour comparer une valeur quantitative continue pour deux échantillons reliés, donc dépendants. Ce test est analogue au test paramétrique de Student apparié (*paired t-test*). Dans la présente étude, les valeurs de ISB_{SurVol} et des variables de communautés d'une même station échantillonnée en septembre 2013, en octobre 2013 et en septembre 2014 et 2015 ont été comparées. En appui à cette analyse, le test t apparié et un graphique représentant cette comparaison sont également présentés.

Classification des communautés de macroinvertébrés benthiques et taxons indicateurs

Ces analyses ont été réalisées à partir de l'abondance relative des taxons présents dans les échantillons des stations caractérisées en 2013, 2014 et 2015. Les taxons rares ont été retirés suivant la règle proposée par McCune et Grace (2002). Ainsi, les taxons présents dans moins de 5 % de tous les échantillons ont été retirés de la matrice. De plus, ces taxons retirés avaient une abondance relative inférieure à 3 % dans l'échantillon.

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 (*multiple response permutation procedure* ou MRPP) permet d'évaluer si les groupes obtenus sont significativement différents. La MRPP 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 réduire au minimum la similarité entre les groupes, en calculant la statistique d'agrément à l'intérieur d'un groupe (A) et la valeur de signification p associée (Mielke et Berry, 1982). La MRPP a été calculée en utilisant la distance Bray-Curtis. La statistique A décrit l'homogénéité à l'intérieur d'un groupe comparé à ce qui est attendu par le hasard. Quand tous les taxons sont identiques entre les groupes, $A = 1$, 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 inférieures à 0,1 sont communes et une valeur supérieure à 0,3 est considérée comme élevée (McCune et Mefford 1999). La valeur de probabilité (p) détermine si les groupes sont significativement différents. Une valeur de $p < 0,0002$ est considérée comme significativement différente de ce qui peut être attendu par le hasard (Mazor et collab., 2006).

L'analyse de taxons indicateurs combine des informations sur l'abondance et la fidélité de la 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 dans la plupart des sites qui appartiennent à ce groupe (Dufrene et Legendre 1997; Legendre et Legendre, 2012). La valeur indicatrice de chaque taxon est calculée pour chacun des groupes. Les valeurs indicatrices des taxons s'échelonnent de 1 à 100, 1 représentant un taxon qui n'est pas indicateur et 100 un taxon qui est un excellent indicateur. Cette analyse s'accompagne d'une probabilité (p).

L'ensemble de ces analyses a été réalisé avec le logiciel PC-ORD, version 5 (McCune et Mefford, 1999).

4. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

4.1 Habitat et qualité de l'eau

Le tableau 4 présente succinctement la description physique des habitats riverains et aquatiques aux stations échantillonnées. La majorité des stations étudiées sont situées dans des sections de seuils et de plats courants caractérisées par un substrat de galets et de blocs et un courant modéré à rapide. En 2014 et 2015, à l'exception des deux premières stations (CHAU1,0 et CHAU1,8), toutes les stations ont affiché un écoulement dominé par des seuils et les différentes variables d'habitat ont peu varié pendant ces années. Les deux premières stations ont un écoulement dominé par les plats lenticulaires et les plats courants (tableau 4). Ces deux stations sont fortement influencées par la gestion du barrage de Lac-Mégantic. La gestion de ce dernier a été relativement semblable en 2014 et 2015, mais elle a été différente lors des périodes d'échantillonnage de 2013 où les débits observés ont été particulièrement fluctuants (figure 2). Ce facteur ainsi que le fait que les évaluations de l'habitat ont été effectuées par des équipes différentes en 2013 et en 2014 pourraient expliquer certaines différences dans la caractérisation de l'habitat. Les valeurs de l'indice de qualité d'habitat (IQH) sont plus faibles à la station CHAU1,0 (de 57 à 73) immédiatement en aval du barrage de Lac-Mégantic. Les valeurs de l'indice de qualité de bande riveraine (IQBR) sont plus faibles aux stations en aval du kilomètre 21,5 (de 59 à 76), soulignant le début d'un changement d'utilisation du territoire, soit la présence d'activités agricoles. Sauf pour la largeur moyenne, les stations de référence présentent des caractéristiques physiques similaires à celles de la rivière Chaudière. En 2014, la station de la rivière Samson a été déplacée d'environ 100 m plus en amont afin de l'extraire de l'influence d'un tributaire, ce qui explique les différences obtenues par rapport à 2013 en ce qui a trait à l'indice de qualité d'habitat et à l'indice de qualité de bande riveraine.

La seule station présentant des données de qualité de l'eau pour les trois années du suivi est située dans la rivière Chaudière, en amont du pont du chemin du Lac Drolet (station 02340006; tableau 5). L'IQBP₆ y a affiché des valeurs plus faibles en 2015, le paramètre déclassant étant généralement les coliformes fécaux. En 2014, le suivi de la qualité de l'eau à quelques stations dans le tronçon étudié a révélé une qualité d'eau généralement bonne, avec un IQBP₆ moyen supérieur à 80. L'eau de la rivière Chaudière jusqu'à l'amont de Saint-Ludger était généralement considérée comme oligotrophe (MDDELCC, 2016a). En 2014, seules les stations CHAU39 et CHAU56,7, où les moyennes de l'IQBP₆ étaient respectivement de 67 et 69, présentaient des problèmes sporadiques en lien avec les coliformes fécaux, particulièrement lors de fortes pluies, et l'eau y était de qualité douteuse. Tout comme en 2014, les concentrations en nutriments (phosphore et azote) obtenues en 2015 (tableau 5) étaient relativement faibles et même en deçà du critère de qualité de 0,03 mg/l (phosphore) pour protéger les cours d'eau contre l'eutrophisation.

Tableau 4 Caractéristiques des habitats aquatiques et riverains des stations des rivières de référence et de la rivière Chaudière

Numéro BQMA	Rivière	Numéro station benthos	Date d'échantillonnage	Ordre de Strahler	Altitude (m)	Largeur moyenne (m)	Profondeur moyenne (m)	Type d'écoulement dominant	Vitesse de courant (évaluation visuelle)	Substrats dominants	IQH (%)	IQBR	Transparence
02340237	Chaudière	CHAU1,0	2015-09-08	5	391	30	0,5	Plat lentique et plat courant	modérée	Galet	66	95	élevée
			2014-09-02			35	0,4	Plat lentique et plat courant	modérée	Galet	67	96	élevée
			2013-09-19			20	0,3	Plat lentique et plat courant	-	Sable	57	80	élevée
			2013-10-17			25	0,3	Plat lentique et plat courant	-	Gravier	73	80	élevée
02340238	Chaudière	CHAU1,8	2015-09-08	5	391	30	0,4	Plat lentique et plat courant	modérée	Galet-bloc	86	93	élevée
			2014-09-02			30	0,6	Seuil	modérée	Galet	87	93	élevée
			2013-09-20			n.d.	n.d.	Fosse	-	Bloc	91	96	élevée
			2013-10-17			30	0,6	Plat lentique et plat courant	-	Gravier	67	96	élevée
02340239	Chaudière	CHAU2,3	2015-09-08	5	386	20	0,6	Seuil	rapide	Bloc	88	85	élevée
			2014-09-02			22	0,6	Seuil	rapide	Bloc	89	85	élevée
			2013-09-26			20	0,7	Seuil	-	Galet-bloc	89	96	faible
			2013-10-17			30	0,7	Fosse	-	Galet	84	96	élevée
02340268	Chaudière	CHAU4,0	2015-09-09	5	383	30	0,3	Seuil	rapide	Galet	90	95	élevée
			2014-09-03			25	0,5	Seuil	rapide	Galet	93	95	élevée
02340080	Chaudière	CHAU5,0	2015-09-09	5	381	28	0,3	Seuil	rapide	Galet-bloc	89	90	élevée
			2014-09-03			34	0,35	Seuil	rapide	Galet-bloc	90	90	élevée
02340240	Chaudière	CHAU7,5	2015-09-09	5	377	30	0,35	Seuil	rapide	Bloc	93	82	élevée
			2014-09-03			33	0,4	Seuil	rapide	Bloc	93	83	élevée
			2013-09-26			30	0,5	Plat lentique et plat courant	-	Galet	83	80	élevée
			2013-10-16			30	0,45	Plat lentique et plat courant	-	Galet	81	80	élevée
02340269	Chaudière	CHAU10,5	2015-09-09	5	395	40	0,4	Seuil	modérée	Bloc	93	96	élevée
			2014-09-03			41	0,45	Seuil	modérée	Bloc	92	96	élevée
02340267	Chaudière	CHAU14,5	2015-09-10	5	365	33	0,5	Seuil	rapide	Bloc	95	83	élevée
			2014-09-04			35	0,6	Seuil	rapide	Bloc	96	83	moyenne
02340241	Chaudière	CHAU21,5	2015-09-10	5	336	40	0,5	Seuil	modérée	Bloc	75	54	élevée
			2014-09-04			46	0,45	Seuil	modérée	Bloc	77	65	élevée
			2013-09-19			25	0,6	Seuil	-	Galet	69	63	élevée
			2013-10-16			45	0,6	Seuil	-	Galet	74	63	élevée
02340242	Chaudière	CHAU26,0	2015-09-11	5	335	40	0,3	Seuil	modérée	Galet	74	66	élevée
			2014-09-08			45	0,4	Seuil	modérée	Galet	76	65	élevée
			2013-09-20			50	0,3	Plat lentique et plat courant	-	Galet	76	62	élevée
			2013-10-16			47	0,35	Plat lentique et plat courant	-	Galet	69	62	élevée
02340078	Chaudière	CHAU30,5	2015-09-11	5	335	33	0,5	Plat lentique et plat courant	modérée	Galet	77	61	élevée
			2014-09-08			36	0,5	Seuil	modérée	Galet	77	59	élevée
02340243	Chaudière	CHAU39	2015-09-14	5	304	50	0,5	Seuil	rapide	Bloc	90	75	faible
			2014-09-08			45	0,35	Seuil	rapide	Bloc	88	74	élevée
			2013-09-26			50	0,6	Plat lentique et plat courant	-	Bloc	85	76	élevée
			2013-10-15			35	0,45	-	-	Galet	91	76	élevée
02340074	Chaudière	CHAU56,7	2015-09-14	5	274	55	0,5	Seuil	rapide	Bloc	89	66	faible
			2014-09-09			60	0,35	Seuil	rapide	Bloc	87	66	élevée
02340073	Chaudière	CHAU66,7	2015-09-22	5	244	60	0,5	Seuil	modérée	Bloc	82	69	élevée
			2014-09-09			60	0,35	Seuil	modérée	Bloc	81	69	élevée
02340072	Chaudière	CHAU75,0	2015-09-22	5	245	63	0,5	Seuil	modérée	Bloc	91	70	élevée
			2014-09-09			65	0,35	Seuil	modérée	Bloc	90	70	élevée
02340244	Nebnellis	NEBN01	2015-09-10	4	365	12	0,25	Seuil	modérée	Bloc	84	89	élevée
			2014-09-04			11,5	0,35	Seuil	rapide	Bloc	87	89	moyenne
			2013-09-23			10	0,7	Seuil	-	Galet	85	93	élevée
			2013-10-15			15	0,45	Seuil	-	Galet	84	93	élevée
02340245	Samson	SAMS01 ⁽¹⁾	2015-09-22	4	274	15	0,2	Seuil	modérée	Galet	67	56	élevée
			2014-09-05			20	0,35	Seuil	modérée	Galet	73	54	élevée
			2013-09-23			15	0,7	Seuil	-	Galet	82	79	faible
			2013-10-15			17	0,2	Plat lentique et plat courant	-	Galet	81	79	élevée

IQH 2014 : constante pour une variable (marnage) en raison du maintien à 5 m³/s au barrage du lac Mégantic; (1) station légèrement déplacée en 2014

Données de 2013 : COBARIC

Données de 2014 et 2015 : MDDELCC

Tableau 5 Qualité de l'eau à la station 02340006 de la rivière Chaudière en 2013, 2014 et 2015

Station Benthos à proximité	Numéro BQMA ¹	Période ²	distance du barrage Mégantic (km)	IQBP ₆ ³ min.	IQBP ₆ max.	IQBP ₆ moyen (écart-type)	IQBP ₆ médian	Phosphore total moyen (mg/l) (écart-type)	Azote total moyen (mg/l) (écart-type)	SS moyen (mg/l) (écart-type)
CHAU21,5	02340006	Été 2013	22,7	36	92	79 (19)	87	0,010 (0,004)	0,26 (0,08)	3,3 (0,7)
CHAU21,5	02340006	Été 2014	22,7	30	92	79 (7)	88	0,010 (0,004)	0,33 (0,07)	7,2 (10,7)
CHAU21,5	02340006	Été 2015	22,7	41	92	73 (22)	67	0,014 (0,01)	0,34 (0,07)	9,2 (6,8)

¹ Banque de données sur la qualité du milieu aquatique, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, MDDELCC.

² Entre mai et octobre : six échantillons.

³ Classe de qualité de l'IQBP₆ : 0 à 19 : très mauvaise; 20 à 39 : mauvaise; 40 à 59 : douteuse; 60 à 79 : satisfaisante; 80 à 100 : bonne.

4.2 Comparaison spatio-temporelle des communautés benthiques échantillonnées en 2013, 2014 et 2015

Comparaison des communautés benthiques aux neuf stations communes échantillonnées en 2013, 2014 et 2015

En 2015, la valeur moyenne de l'indice de santé du benthos, variante ISB_{SurVol} , des sept stations échantillonnées les trois années dans la rivière Chaudière confirme le maintien de l'amélioration de l'intégrité biotique observée en 2014. En effet, les valeurs moyennes de l' ISB_{SurVol} sont de 77 en 2015 et de 75 en 2014, alors qu'en septembre et en octobre 2013, elles étaient respectivement de 62 et 54, soulignant une qualité précaire des communautés biologiques (tableau 6 et figure 3). Les valeurs moyennes obtenues en 2014 et 2015 sont légèrement supérieures à la valeur seuil de bon état (bonne intégrité) établie à 75. Pour les trois années de suivi, les stations de référence situées dans les rivières Nebnellis et Samson ont affiché des valeurs moyennes de l' ISB_{SurVol} supérieures à 80, indiquant une bonne intégrité biotique (tableau 6 et figure 3). En 2013, les valeurs d' ISB_{SurVol} du nombre de taxons d'éphéméroptères-plécoptères-trichoptères (NTEPT) et du pourcentage d'éphéméroptères-plécoptères-trichoptères excluant Hydropsychidae (PEPTH) étaient significativement plus faibles dans les stations de la rivière Chaudière, alors que l'indice biotique d'Hilsenhoff (FBIv) était significativement plus élevé ($p < 0,05$) (tableau 7 et figures 4, 5, 6 et 7). En 2014 et 2015, les valeurs d' ISB_{SurVol} et de quatre variables de l'indice (nombre total de taxons, PEPTH, pourcentage des deux taxons dominants (PTD2) et FBIv) sur six ne diffèrent plus significativement entre les stations de la rivière Chaudière et celles des rivières de référence (tableau 7). Ces résultats suggèrent que le rétablissement des communautés benthiques observé en 2014 s'est maintenu en 2015, et ce, en comparaison avec les résultats de 2013. Les figures 3c et 3d montrent que les valeurs de l' ISB_{SurVol} obtenues en 2014 et 2015 aux stations de la rivière Chaudière demeurent encore légèrement inférieures à celles obtenues aux stations de référence. Par contre, les valeurs obtenues aux stations de référence étaient légèrement plus faibles en 2015 que celles obtenues en 2014 (figures 3c et 3d). Certaines variables qui composent l' ISB_{SurVol} ont aussi montré des variations entre les campagnes d'échantillonnage aux stations de référence et, dans certains cas, ces dernières ont influencé les comparaisons avec les résultats obtenus aux stations de la rivière Chaudière. À titre d'exemple, les valeurs moyennes du pourcentage d'éphéméroptères-plécoptères-trichoptères excluant Hydropsychidae aux stations de référence ont varié respectivement de 63,5 à 38,3 entre les quatre campagnes (tableau 6 et figure 6).

Tableau 6 Valeurs médianes, moyennes, minimales et maximales de l'ISB_{SurVol} et de certaines variables de communautés aux sept stations communes de la rivière Chaudière et aux deux stations de référence échantillonnées en 2013, 2014 et 2015

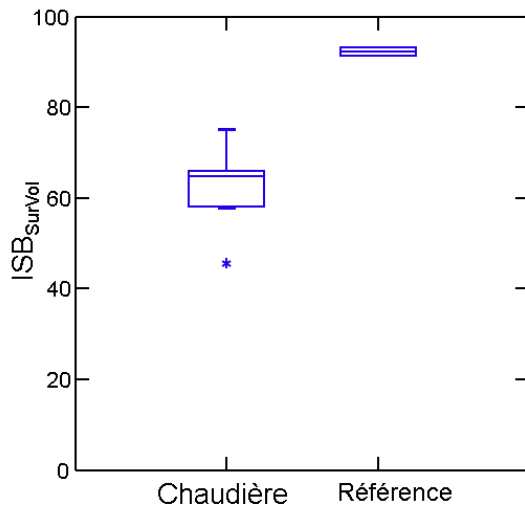
	Nombre de stations	Référence				Chaudière			
		Septembre	Octobre	Septembre	Septembre	Septembre	Octobre	Septembre	Septembre
		2013	2013	2014	2015	2013	2013	2014	2015
		2	2	2	2	7	7	7	7
ISB _{SurVol}	médiane	92	83	86	80	65	55	75	73
	moyenne	92	83	86	80	62	54	75	77
	minimum	92	77	85	75	46	43	57	66
	maximum	93	90	87	84	75	63	87	89
NTTOT	médiane	22,5	18,5	21	19,5	17	16	18	16
	moyenne	22,5	18,5	21	19,5	17	15,6	18,4	16,3
	minimum	18	17	19	19	14	12	14	14
	maximum	27	20	23	20	20	19	22	19
NTEPT	médiane	9	8,5	10	9	3	3	6	6
	moyenne	9	8,5	10	9	3,4	3,3	6	5,9
	minimum	7	8	10	9	2	2	3	4
	maximum	11	9	10	9	6	5	8	8
PEPTH	médiane	63,5	59,8	45,4	38,3	24,3	11,9	34,7	43,1
	moyenne	63,5	59,8	45,4	38,3	25,1	12,7	32,7	43,6
	minimum	59	59,4	43	33,5	8,5	2,5	12,9	26,2
	maximum	68	60,2	47,8	43,1	46,8	18,9	45,5	60,4
PC	médiane	12,9	23,8	16,2	17,2	20,5	15,4	7,5	5
	moyenne	12,9	23,8	16,2	17,2	24,1	16,7	8	4,8
	minimum	11,3	15,4	14,4	12,9	11,8	2,5	7	2
	maximum	14,5	32,2	18	21,5	44,5	28,1	11	7,9
PTD2	médiane	31	50,2	39,2	54,3	45,5	60,1	42,3	50,5
	moyenne	31	50,2	39,2	54,3	46,6	59	44,9	50,1
	minimum	29	45,3	34,5	46,5	38,3	42,8	33,5	36,1
	maximum	33	55	43,8	62	60,5	76	65,7	61,4
FBIv	médiane	3,51	3,89	4,14	4,2	5,77	6,72	4,69	3,63
	moyenne	3,51	3,89	4,14	4,2	5,71	6,67	4,64	3,89
	minimum	3,26	3,36	3,89	4,01	4,57	5,98	3,85	3,24
	maximum	3,76	4,41	4,38	4,38	6,76	7,35	5,41	4,79

Notes : NTTOT : nombre total de taxons; NTEPT : nombre de taxons éphéméroptères-plécoptères-trichoptères; PEPTH : pourcentage d'éphéméroptères-plécoptères-trichoptères excluant Hydropsychidae; PC : pourcentage de Chironomidae; PTD2 : pourcentage des deux taxons dominants; FBIv : indice biotique Hilsenhoff.

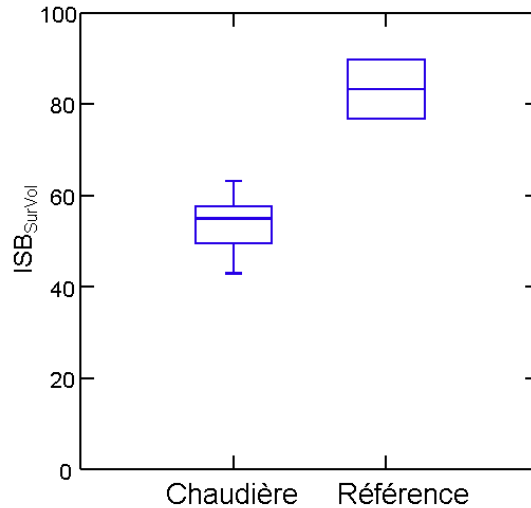
Des variables de communautés autres que celles qui sont utilisées dans le calcul de l'ISB_{SurVol} soulignent également le maintien en 2015 du rétablissement observé en 2014. De fait, la majorité de ces variables aux stations de la rivière Chaudière ne montrent plus de différence notable avec les stations des rivières de référence (tableau 7). La variable pourcentage d'oligochètes (POLIGO), qui montrait toujours une différence significative en 2014, semble appuyer la poursuite du rétablissement des communautés. En 2013, la majorité des variables de communautés différaient significativement entre les stations des rivières de référence et celles de la rivière Chaudière lors des deux périodes d'échantillonnage (tableau 7). De plus faibles valeurs étaient observées dans les stations de la rivière Chaudière, particulièrement pour des variables se rapportant aux éphéméroptères-plécoptères-trichoptères, généralement considérés comme sensibles aux perturbations [nombre de taxons éphéméroptères (NTEPH), nombre de taxons trichoptères (NTTRI), pourcentage d'éphéméroptères (PEPH), pourcentage de plécoptères (PPLEC), pourcentage de trichoptères (PTRICH), pourcentage d'éphéméroptères-plécoptères-trichoptères (PEPT)]. Ces résultats ainsi que la présence notable des oligochètes en 2013 indiquaient que les communautés benthiques étaient grandement perturbées (MDDELCC, 2016a). Ces nombreux changements dans la structure et la composition des communautés ainsi que sur le plan de la richesse taxonomique et de la présence de certains taxons corroborent les résultats présentés dans de nombreuses études portant sur des catastrophes en lien avec des déversements d'hydrocarbures pétroliers (Rosenberg et Wiens, 1976; Barton et Wallace, 1979; Pontasch et Brusven, 1988; Crunkilton et Duchrow, 1990; Poulton et collab., 1997 et 1998; McCauley, 1966; Harrel, 1985; Lytle et Peckarsky, 2001; Smith et collab., 2010). Bury (1972) souligne toutefois que le devenir des hydrocarbures dans l'environnement aquatique ainsi que leurs effets sur les organismes aquatiques tels les macroinvertébrés benthiques sont divers et complexes. En raison des nombreuses voies d'exposition, tous les macroinvertébrés peuvent être affectés de différentes façons par les hydrocarbures (Blumer et Sass, 1972). Poulton et ses collaborateurs (1997) mentionnent que l'exposition des

macroinvertébrés aux hydrocarbures ou à leurs produits de dégradation, de même que les effets de ces derniers sur la nourriture et l'habitat peuvent occasionner de la mortalité, affecter la reproduction et même nuire à la recolonisation.

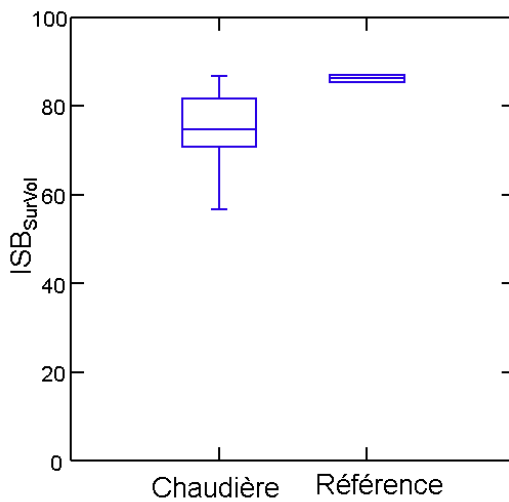
a) Septembre 2013



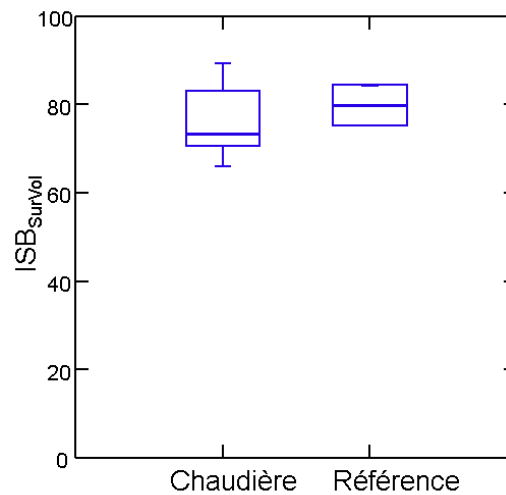
b) Octobre 2013



c) Septembre 2014



d) Septembre 2015






Note :
 75^e percentiles 
 25^e percentiles  Médiante 

Figure 3 Valeurs d'ISB_{SurVol} pour sept des stations communes de la rivière Chaudière et des stations de référence : a) en septembre 2013, b) en octobre 2013, c) en septembre 2014, d) en septembre 2015

Comme cela est mentionné dans MDDELCC (2016a), les différences importantes observées pour les variables pourcentages de mollusques (PMOLLUS) et de gastéropodes (PGAST) entre les stations de référence et celles de la rivière Chaudière ne semblent pas liées au déversement des hydrocarbures, mais plutôt à une différence intrinsèque de ces différents cours d'eau. En effet, les mollusques (particulièrement des gastéropodes de la famille des Ancyliidae) sont présents à toutes les stations de la rivière Chaudière, tandis qu'ils sont absents ou en très faible abondance relative aux stations des rivières de référence. Cette différence observée en 2013 et 2014 était toujours persistante en 2015 (tableau 7). Par contre, l'abondance des Ancyliidae dans la rivière Chaudière a pu être favorisée par la disponibilité des habitats en raison de la disparition des certains taxons. Ces derniers sont considérés comme tolérants à la pollution.

Tableau 7 Comparaison des valeurs de l'ISB_{SurVol} et d'autres variables de communautés aux stations de référence avec celles de la rivière Chaudière lors des quatre campagnes d'échantillonnage

Variables		septembre 2013		octobre 2013		septembre 2014		septembre 2015	
		<i>p</i>	<i>U</i>	<i>p</i>	<i>U</i>	<i>p</i>	<i>U</i>	<i>p</i>	<i>U</i>
ISB _{SurVol}	ISB _{SurVol}	0,040	0,0	0,040	0,0	0,079	1,0	0,558	5,0
	NTTOT	0,135	2,0	0,142	2,0	0,238	3,0	0,052	0,5
	NTEPT	0,038	0,0	0,032	0,0	0,038	0,0	0,037	0,0
	PEPTH	0,040	0,0	0,040	0,0	0,143	2,0	0,462	9,5
	PC	0,079	13,0	0,303	3,5	0,037	0,0	0,040	0,0
	PTD2	0,040	14,0	0,380	10,0	0,558	9,0	0,558	0,3
	FBIV	0,040	14,0	0,040	14,0	0,242	11,0	0,378	4,0
Autres variables	NTEPH	0,029	0,0	0,034	0,0	0,068	1,0	0,123	2,0
	NTPLE	0,273	3,5	0,091	2,0	0,257	3,5	0,118	2,0
	NTTRI	0,034	0,0	0,035	0,0	0,037	0,0	0,031	0,0
	PEPH	0,079	1,0	0,040	0,0	0,380	10,0	0,242	11,0
	PPLEC	0,032	0,0	0,025	0,0	0,459	4,5	0,104	1,5
	PTRICH	0,040	0,0	0,079	1,0	0,242	3,0	0,240	3,0
	PEPT	0,040	0,0	0,040	0,0	0,380	4,0	0,770	8,0
	PCRUST	0,039	14,0	0,040	14,0	0,200	11,0	0,423	9,0
	POLIGO	0,040	14,0	0,040	14,0	0,040	14,0	0,106	12,5
	PNONINSECT	0,040	14,0	0,040	14,0	0,040	14,0	0,040	14,0
	PGAST	0,040	14,0	0,039	14,0	0,039	14,0	0,038	14,0
	PTOL	0,040	14,0	0,040	14,0	0,380	10,0	0,380	4,0
	PINTOL	0,079	1,0	0,040	0,0	0,186	2,5	0,143	12,0
PMOLLUS	0,040	14,0	0,039	14,0	0,039	14,0	0,039	14,0	

Notes : Stations de référence : n=2 (Nebnellis et Samson); stations Chaudière : n=7; test de Wilcoxon – Mann-Whitney, *p* : probabilité associée à la valeur de *U*; les valeurs en gras sont inférieures au niveau de signification de 0,05. *U* : valeur du test de Wilcoxon – Mann-Whitney; NTTOT : nombre total de taxons; NTEPT : nombre de taxons éphéméroptères-plécoptères-trichoptères; PEPH : pourcentage d'éphéméroptères-plécoptères-trichoptères excluant Hydropsychidae; PC : pourcentage de Chironomidae; PTD2 : pourcentage des deux taxons dominants; FBIV : indice biotique Hilsenhoff; NTEPH : nombre de taxons éphéméroptères; NTPLE : nombre de taxons plécoptères; NTTRI : nombre de taxons trichoptères; PEPH : pourcentage d'éphéméroptères; PPLEC : pourcentage de plécoptères; PTRICH : pourcentage de trichoptères; PEPT : pourcentage d'éphéméroptères-plécoptères-trichoptères; PCRUST : pourcentage de crustacés; POLIGO : pourcentage d'oligochètes; PNONINSECT : pourcentage de non-insectes; PGAST : pourcentage de gastéropodes; PTOL : pourcentage de tolérants; PINTO : pourcentage d'intolérants; PMOLLUS : pourcentage de mollusques.

En comparant les valeurs de l'ISB_{SurVol} aux sept stations échantillonnées dans la rivière Chaudière, on constate que celles obtenues en septembre 2014 et 2015 diffèrent significativement des valeurs obtenues en septembre et octobre 2013 (Wilcoxon : *p* < 0,05; tableau 8). À l'exception des stations situées à proximité du déversement, les valeurs obtenues en 2015 pour la majorité des variables standardisées de l'ISB_{SurVol} ont montré des augmentations notables par rapport à 2013 (annexe 5a). Près du barrage de Lac-Mégantic, l'indice aux stations CHAU1,0, CHAU1,8 et CHAU2,3 n'atteignait toujours pas la valeur seuil de 75 en 2015. Pour les stations de la rivière Chaudière, les variables de l'ISB_{SurVol} qui étaient les plus déclassantes en 2013, c'est-à-dire qui montraient les plus grands effets des perturbations, étaient le nombre de taxons éphéméroptères-plécoptères-trichoptères, le pourcentage de taxons éphéméroptères-plécoptères-trichoptères excluant les Hydropsychidae et l'indice biotique d'Hilsenhoff (annexe 5a).

Enfin, notons que les valeurs de l'ISB_{SurVol} obtenues aux stations des rivières de référence (NEBN01 et SAMS01) présentaient une légère baisse d'intégrité biotique en 2015 (annexe 5a).

Les valeurs de l'ISB_{SurVol} obtenues aux sept stations échantillonnées dans la rivière Chaudière en 2015 ne diffèrent pas des valeurs obtenues en septembre 2014 (Wilcoxon : $p < 0,05$; tableau 8 et figure 4). Il reste toutefois trois variables de l'indice qui présentent toujours des différences significatives entre 2014 et 2015. Ces variables, particulièrement le pourcentage de taxons éphéméroptères-plécoptères-trichoptères excluant les Hydropsychidae et l'indice biotique d'Hilsenhoff (FBIv) semblent indiquer une poursuite du rétablissement des communautés (annexe 5b et figures 6 et 7). En effet, le pourcentage de taxons éphéméroptères-plécoptères-trichoptères excluant les Hydropsychidae, taxons reconnus plus sensibles aux perturbations, a continué d'augmenter en 2015, dépassant même, à plusieurs stations, les valeurs obtenues aux stations de référence (figure 6). L'indice biotique d'Hilsenhoff, qui évalue particulièrement la pollution organique⁵, a diminué et les valeurs obtenues en 2015 dans la majorité des stations de la rivière Chaudière étaient comparables à celles des stations de référence, soulignant une très bonne qualité biotique (annexe 5b et figure 7). Une analyse supplémentaire a été réalisée avec un test de *t* apparié entre les différentes campagnes d'échantillonnage, et il en ressort également qu'il n'y a pas de différences notables entre les valeurs d'ISB_{SurVol} aux différentes stations en septembre 2014 et 2015 (annexe 7), les différences se trouvant majoritairement avec la campagne d'échantillonnage d'octobre 2013.

Tableau 8 Comparaisons des valeurs de l'ISB_{SurVol} et d'autres variables de communautés obtenues aux sept stations de la rivière Chaudière entre les campagnes d'échantillonnage

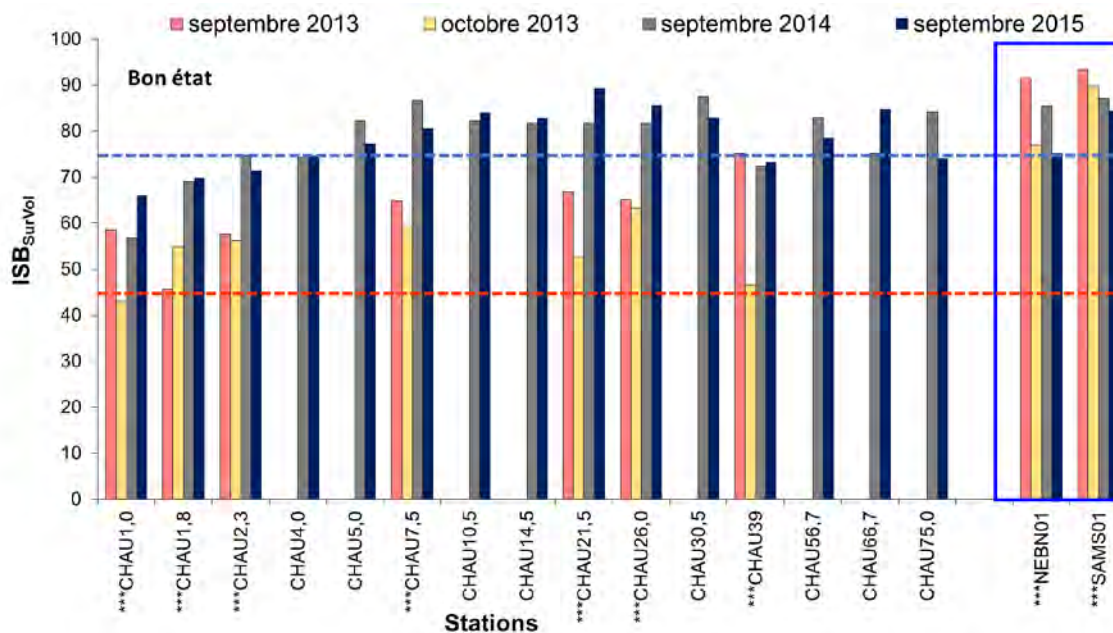
Variables	septembre 2013	septembre 2013	octobre 2013	septembre 2013	octobre 2013	septembre 2014	
	octobre 2013	septembre 2014	septembre 2014	septembre 2015	septembre 2015	septembre 2015	
ISB _{SurVol}	ISB	0,091	0,630	0,018	0,028	0,018	0,310
	NTTOT	0,344	0,279	0,058	0,129	0,395	0,126
	NTEPT	0,832	0,026	0,017	0,018	0,016	1,000
	PEPTH	0,018	0,128	0,018	0,028	0,018	0,018
	PC	0,028	0,018	0,043	0,018	0,028	0,028
	PTD2	0,176	0,612	0,034	0,499	0,063	0,237
	FBI	0,028	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018
Autres	Densité	0,499	0,018	0,018	0,018	0,018	0,063
	PTRICH	1,000	0,018	0,018	0,018	0,018	0,128
	PPLEC	0,655	0,072	0,206	0,039	0,176	0,914
	PEPHE	0,018	0,499	0,018	0,091	0,018	0,028
	POLIGO	0,091	0,150	0,028	0,091	0,018	0,352
	PNONINSEC	0,018	0,063	0,018	0,018	0,018	0,028
	PMOLLUSC	0,352	0,917	0,672	0,310	0,31	0,127
	PCRUST	0,018	0,611	0,043	0,041	0,018	0,068

Note : Test de Wilcoxon pour échantillon apparié ($p < 0,05$); les valeurs en gras sont significatives. Abréviations : NTTOT : nombre total de taxons; NTEPT : nombre de taxons éphéméroptères-plécoptères-trichoptères; PEPTH : pourcentage d'éphéméroptères-plécoptères-trichoptères excluant Hydropsychidae; PC : pourcentage de Chironomidae; PTD2 : pourcentage des deux taxons dominants; FBIv : indice biotique Hilsenhoff; NTEPH : nombre de taxons éphéméroptères; NTPLE : nombre de taxons plécoptères; NTTRI : nombre de taxons trichoptères; PEPH : pourcentage d'éphéméroptères; PPLEC : pourcentage de plécoptères; PTRICH : pourcentage de trichoptères; PEPT : pourcentage d'éphéméroptères-plécoptères-trichoptères; PCRUST : pourcentage de crustacés; POLIGO : pourcentage d'oligochètes; PNONINSECT : pourcentage de non-insectes; PGAST : pourcentage de gastéropodes; PTOL : pourcentage de tolérants; PINTO : pourcentage d'intolérants; PMOLLUS : pourcentage de mollusques.

⁵ Plus le résultat est élevé, plus le milieu est susceptible d'être touché par de la pollution organique. L'expression « pollution organique » se rapporte à l'enrichissement par la matière organique et par les nutriments. L'échelle varie de 0 à 10, avec sept classes de qualité pour le FBIv; 0,00 à 3,75 Excellente : sans pollution organique; 3,76 à 4,25 Très bonne : légère pollution organique possible; 4,26 à 5,00 Bonne : pollution organique probable; 5,01 à 5,75 Moyenne : pollution organique assez substantielle; 5,76 à 6,50 Plutôt mauvaise : pollution organique substantielle; 6,51 à 7,25 Mauvaise : pollution organique très substantielle; 7,26 à 10,00 Très mauvaise : pollution organique grave (MDDEFP, 2013b).

Comparaison spatio-temporelle de l'indice de santé du benthos – variante volontaire (ISB_{SurVol}) et des variables de communautés aux 17 stations échantillonnées dans les rivières Chaudière, Nebnellis et Samson

Les valeurs d'ISB_{SurVol} obtenues dans la majorité des quinze stations de la rivière Chaudière en septembre 2015 montrent que l'intégrité biotique s'est maintenue dans la classe de bon état à la suite de l'amélioration constatée lors du suivi réalisé à l'automne 2014 (figure 4). En septembre et octobre 2013, toutes les stations affichaient des valeurs d'ISB_{SurVol} sous le seuil de bon état. Bien qu'une amélioration ait été observée en 2014 aux stations CHAU1,0, CHAU1,8, CHAU2,3 et CHAU4,0 (stations à proximité du barrage de Lac-Mégantic), de même qu'à la station CHAU39, ces stations affichaient toujours un état précaire ou très près de la valeur seuil du bon état (75) en 2015. Étant donné la grande distance du déversement et la diminution constante de la contamination des sédiments depuis 2013, il est fort probable que la communauté benthique présente à la station CHAU39 soit touchée par d'autres pressions d'origine anthropique. Cette communauté présente des valeurs de l'ISB_{SurVol} stables variant entre 72 et 75 (à l'exception d'octobre 2013). Ces valeurs sont plus faibles que celles observées aux autres stations à proximité. À l'exception des stations mentionnées précédemment, les stations de la rivière Chaudière affichent des valeurs d'ISB_{SurVol} comparables à celles observées aux rivières de référence Nebnellis et Samson (NEBN01 et SAMS01), et ce, pour 2014 et 2015 (figure 4). Ces stations de référence ont conservé une bonne intégrité biotique les trois années de suivi, avec des valeurs d'ISB_{SurVol} qui ont varié entre 75 et 93. La station NEBN01 de la rivière Nebnellis montre toutefois une communauté benthique instable où l'intégrité biotique a varié de plus de dix unités entre certaines périodes d'échantillonnage. Bien que cette rivière soit considérée comme une rivière de référence (exempte d'hydrocarbures), à moins de trois kilomètres en amont de la station, le territoire est soumis à de nombreuses pressions d'origine anthropique (agriculture, sablière). Les variations de l'indice pourraient résulter des effets de ces pressions.

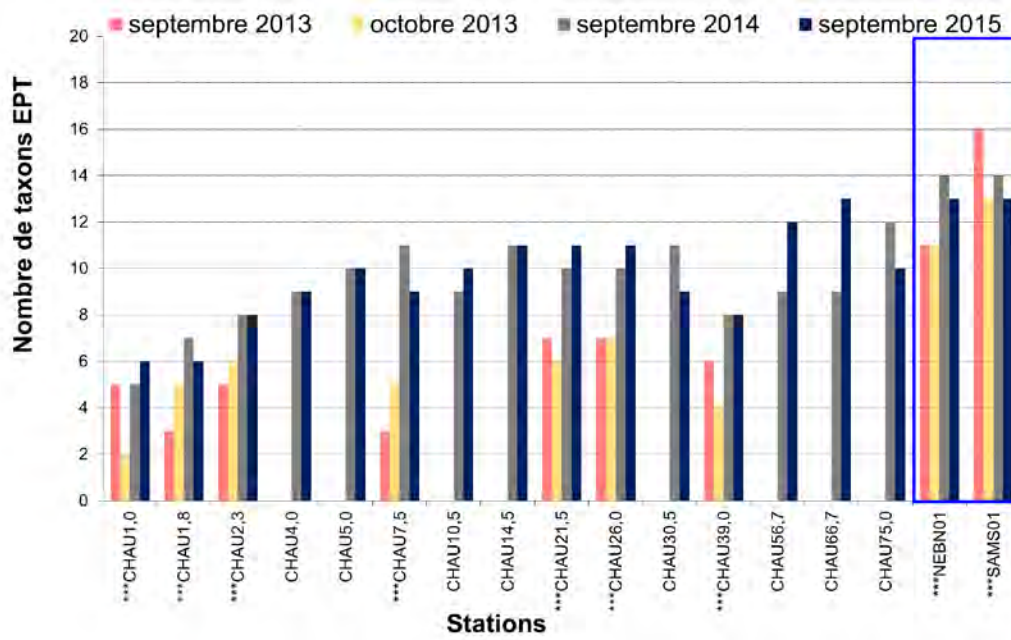


*** stations comparables pour les quatre périodes d'échantillonnage; seuil de bon état : — — — — — ; seuil d'état précaire : - - - - -

Figure 4 Valeurs d'ISB_{SurVol} aux stations de la rivière Chaudière, de l'amont vers l'aval, et aux stations de référence des rivières Nebnellis et Samson pour les quatre campagnes d'échantillonnage

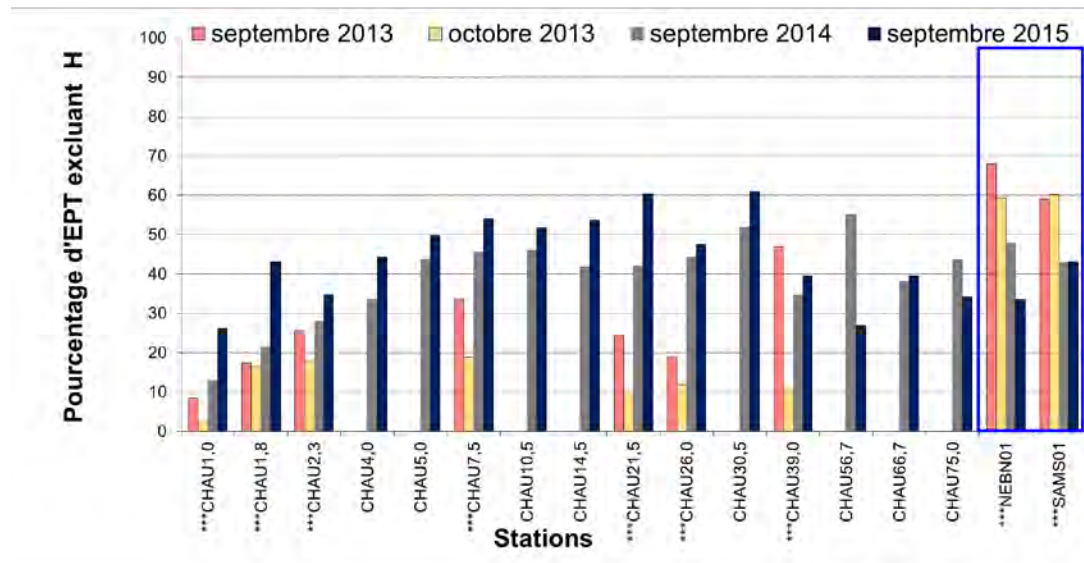
Comme cela avait été constaté en 2014 (MDDELCC 2016a), d'autres variables de communautés que celles qui sont utilisées dans le calcul de l'ISB_{SurVol} ont montré des changements marqués entre les quatre campagnes d'échantillonnage. Alors que certaines variables montrent une baisse sous l'effet du déversement, d'autres affichent une hausse. Les variables dont les valeurs ont augmenté sous l'effet du pétrole sont les pourcentages de crustacés,

d'oligochètes et de non-insectes (figures 8, 9 et 10). En effet, le pourcentage de crustacés, majoritairement représenté par des cladocères, était plus élevé en 2013 qu'en 2014 et 2105 aux sept stations communes dans la rivière Chaudière. En 2015, les crustacés n'étaient présents qu'à deux stations à proximité du barrage, à moins de 2,5 % de la communauté (CHAU1,0 et CHAU2,3). Les crustacés étaient absents aux stations de référence de 2013 à 2015 ainsi qu'aux huit stations ajoutées en 2014 et 2015 dans la rivière Chaudière (figure 8). La présence des cladocères semble liée au déversement et aux perturbations qui y ont été associées (pétrole, nettoyage, gestion du niveau d'eau, rejet d'eaux usées). Leur abondance en 2013 pourrait être une conséquence de l'augmentation de la nourriture disponible et de la disparition des prédateurs. Certaines études ont montré une augmentation de la chlorophylle *a* et de la biomasse phytoplanctonique quelques semaines après des déversements de produits pétroliers (Perhar et Arhonditsis, 2014). Une telle augmentation algale pourrait expliquer cette abondance plutôt surprenante dans le milieu étudié.



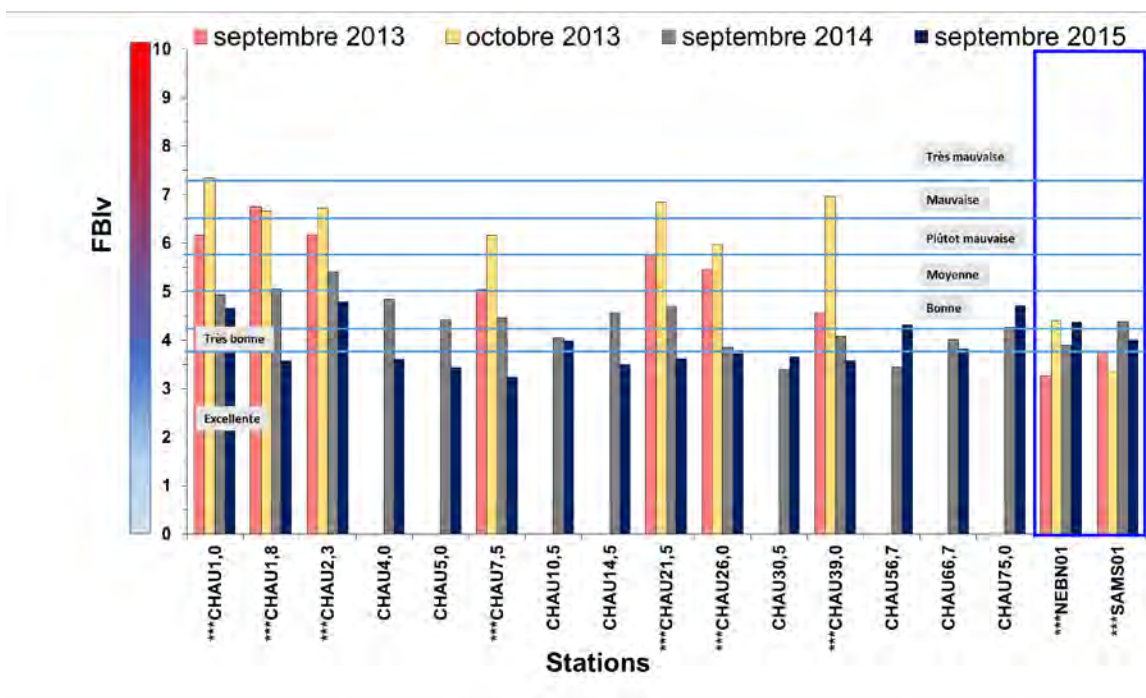
*** stations comparables pour les quatre périodes d'échantillonnage

Figure 5 Nombre de taxons éphéméroptères-plécoptères-trichoptères aux stations de la rivière Chaudière, de l'amont vers l'aval, et aux stations de référence des rivières Nebnellis et Samson pour les quatre campagnes d'échantillonnage



*** stations comparables pour les quatre périodes d'échantillonnage

Figure 6 Pourcentage d'éphéméroptères-plécoptères-trichoptères excluant Hydropsychidae aux stations de la rivière Chaudière, de l'amont vers l'aval, et aux stations de référence des rivières Nebnellis et Samson pour les quatre campagnes d'échantillonnage

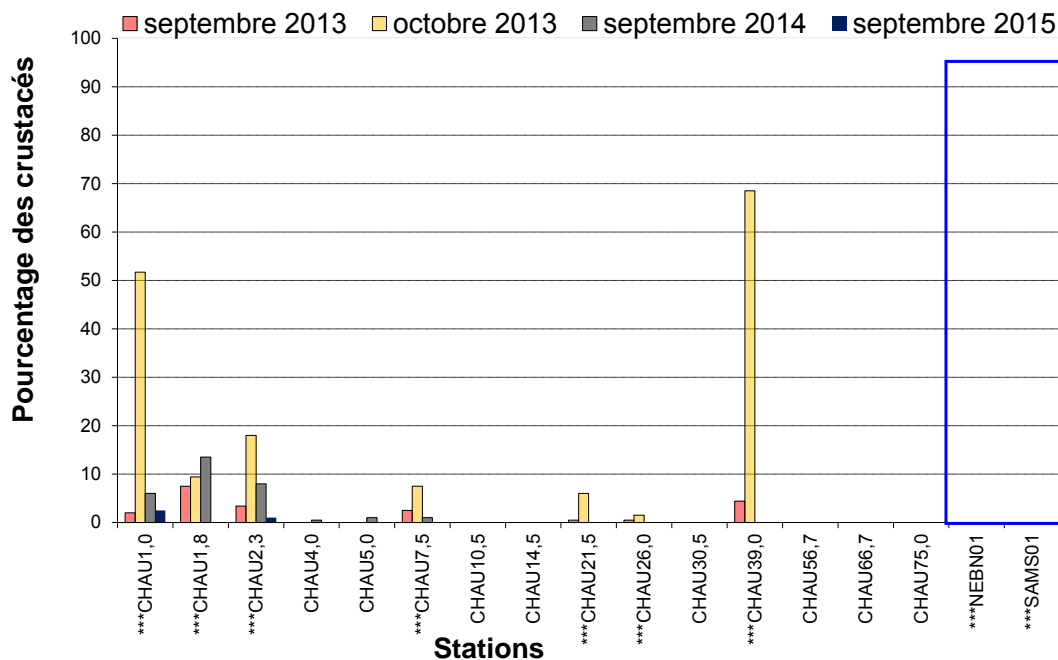


*** stations comparables pour les quatre périodes d'échantillonnage

Figure 7 Valeurs de l'indice biotique d'Hilsenhoff (FBIV) aux stations de la rivière Chaudière, de l'amont vers l'aval, et aux stations de référence des rivières Nebnellis et Samson pour les quatre campagnes d'échantillonnage

Le pourcentage d'oligochètes présente un profil similaire à celui des crustacés (figure 9). Aux sept stations communes, leurs abondances relatives étaient plus élevées en 2013 (sauf à la station CHAU2,3) et variaient de 5 à 55 %. En 2015, les oligochètes comptaient pour moins de 7 % des communautés des stations de la rivière Chaudière, à l'exception encore une fois des stations CHAU1,0 et CHAU2,3, où leur abondance relative était respectivement de 11 et 23 %. La variable non-insectes (figure 10), composée entre autres des crustacés, des oligochètes et des mollusques, suggère clairement qu'il y a eu un effet marqué du déversement sur les communautés en 2013. Ces derniers taxons semblent avoir tiré profit, en raison de leur tolérance à ces perturbations, aux différentes niches rendues disponibles. En 2014, l'impact semblait encore perceptible (MDDELCC, 2016a). Toutefois, en 2015, l'abondance relative des non-insectes semblait se rapprocher de celle obtenue aux stations de référence (moins de 10 %), à l'exception des stations CHAU1,0, CHAU2,3 et CHAU10,5 (figure 10). Des études portant sur l'impact de déversements d'hydrocarbures sur les communautés de macroinvertébrés benthiques ont montré que les annélides, notamment les sous-classes Huridinea et les oligochètes, seraient tolérants aux hydrocarbures (McCauley, 1966; Harrel, 1985; Crunkilton et Duchrow, 1990; Lytle et Peckarsky, 2001; Smith et collab., 2010). Les diptères Chironomidae et les Simuliidae semblent également être tolérants aux hydrocarbures (Rosenberg et Wiens, 1976; Crunkilton et Duchrow, 1990).

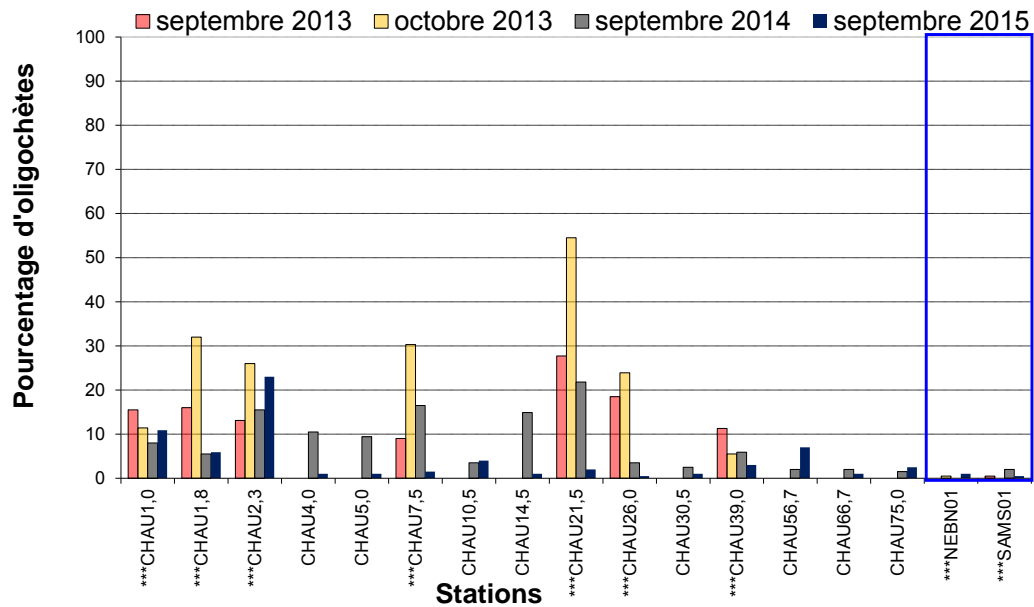
La variable du pourcentage de plécoptères, quant à elle, souligne l'effet négatif du déversement en 2013. En effet, en 2013 les plécoptères étaient absents à quatre des sept stations échantillonnées (CHAU1,0, CHAU1,8, CHAU2,3 et CHAU7,5). Le rétablissement progressif de cet ordre d'insecte a été constaté en 2014 et en 2015, leur abondance relative ayant généralement augmenté (figure 11). Par contre, aux stations à proximité du déversement (CHAU1,0, CHAU1,8 et CHAU2,3), leur abondance relative demeure faible et sporadique. Malgré tout, le pourcentage de plécoptères confirme que le rétablissement des communautés benthiques est amorcé depuis 2014 et qu'il s'est poursuivi en 2015. Tout comme les plécoptères Perlidae, les éphéméroptères Heptageniidae étaient absents jusqu'au kilomètre 7,5 en 2013. La morphologie aplatie et la présence de branchies externes pourraient expliquer la sensibilité aux hydrocarbures pétroliers de ces deux familles de plécoptères et d'éphéméroptères. En effet, en raison de ces caractéristiques physiques, les organismes de ces deux familles sont en contact direct avec le substrat et possiblement avec les contaminants qui s'y trouvent. Selon plusieurs études (Bury, 1972; Simpson, 1980; Woodward et collab., 1981; Woodward et collab., 1987; Bhattacharya et collab., 2003), les macroinvertébrés peuvent être affectés physiquement par les hydrocarbures, notamment par le pétrole, qui peut colmater les organes respiratoires (branchies). L'absence des plécoptères Perlidae et des éphéméroptères Heptageniidae en 2013 et leur retour progressif dans les premières stations de la rivière en 2014 et 2015 sont des exemples des effets destructeurs du déversement. Les taxons du groupe éphéméroptères-plécoptères-trichoptères sont reconnus pour être particulièrement sensibles aux hydrocarbures (Rosenberg et Wiens, 1976; Barton et Wallace, 1979; Pontasch et Brusven, 1988; Crunkilton et Duchrow, 1990; Poulton et collab., 1997 et 1998). Crunkilton et Duchrow (1990) ont constaté que la diversité et le nombre de taxons d'éphéméroptères et de plécoptères étaient plus faibles en aval du déversement de pétrole brut survenu dans la rivière Asher Creek, au Missouri, et que quelques espèces d'éphéméroptères-plécoptères-trichoptères ont été absentes durant neuf mois suivant ce déversement. La faible abondance relative observée à la station de référence de la rivière Samson SAMS01 en 2014 par rapport aux autres campagnes d'échantillonnage demeure toutefois inexplicable.



*** stations comparables pour les quatre périodes d'échantillonnage

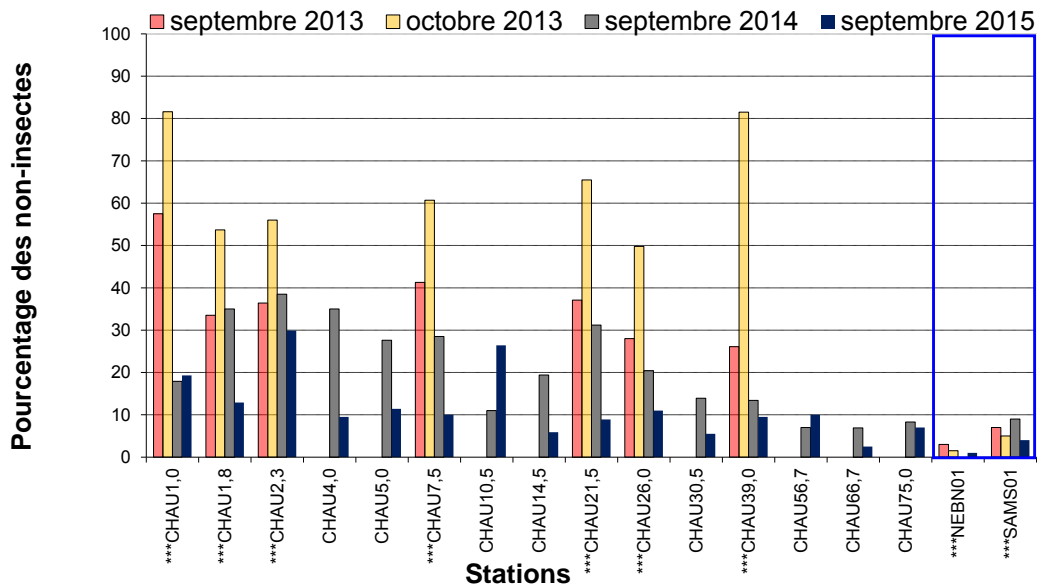
Figure 8 Pourcentage des crustacés aux stations de la rivière Chaudière, de l'amont vers l'aval, et aux stations de référence des rivières Nebnellis et Samson pour les quatre campagnes d'échantillonnage

L'analyse des données acquises en 2015, tout comme celle des données de 2014 (MDDELCC, 2016a), semble appuyer l'hypothèse de la réduction de densité de macroinvertébrés à la suite du déversement de pétrole et des perturbations qui y sont associées. Bien que très variables entre les stations, les densités observées en 2015 sont nettement plus élevées (plus de 1 000 organismes/m²) que celles obtenues en 2013 (figure 12). Grenier (2014b) a recensé plusieurs études qui ont constaté une réduction immédiate du nombre d'organismes ou de leur densité dans les cours d'eau à la suite d'un déversement d'hydrocarbures. Bien que les faibles densités observées en 2013 puissent être une conséquence directe des effets des hydrocarbures pétroliers sur les communautés benthiques, s'ajoutent probablement à cela les variations de débits importantes occasionnées par la gestion du barrage de Lac-Mégantic à l'été et à l'automne 2013 (figure 2) ainsi que les nombreux travaux de nettoyage réalisés dans la rivière durant cette période. Ces facteurs ont possiblement ajouté un stress supplémentaire sur les communautés de macroinvertébrés benthiques, particulièrement dans le tronçon le plus amont de la rivière (Grenier, 2014a).



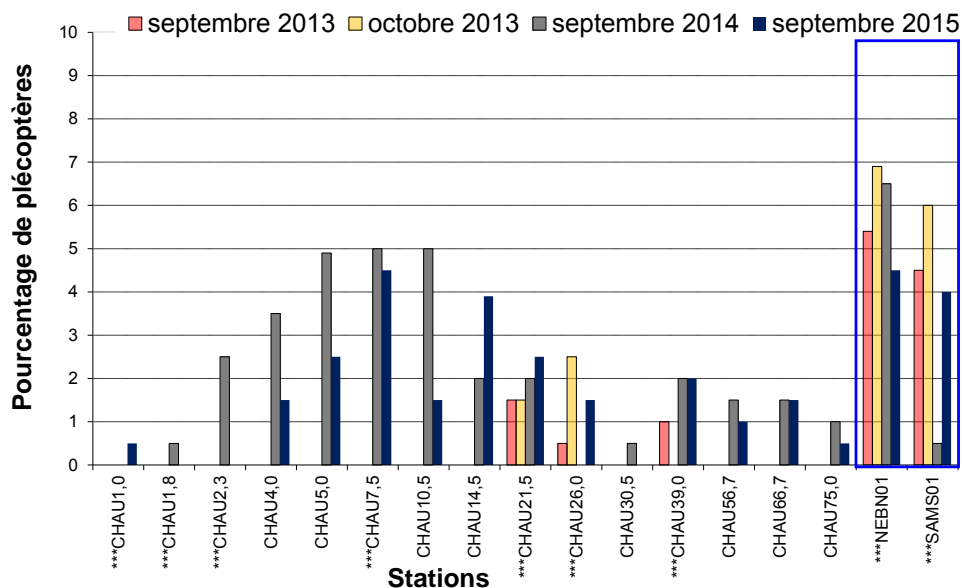
*** stations comparables pour les quatre périodes d'échantillonnage

Figure 9 Pourcentage d'oligochètes aux stations de la rivière Chaudière, de l'amont vers l'aval, et aux stations de référence des rivières Nebnellis et Samson pour les quatre campagnes d'échantillonnage



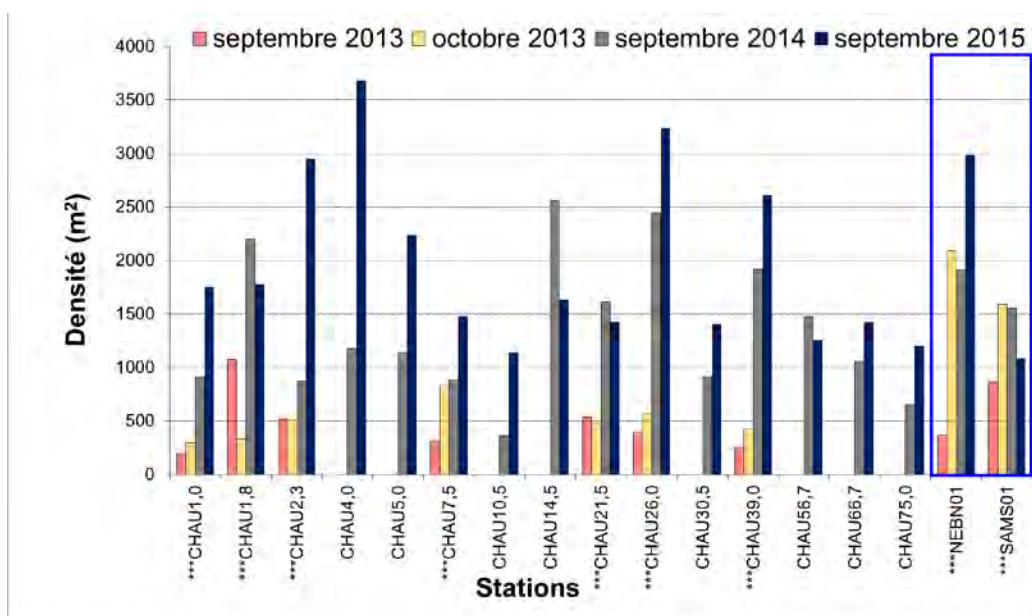
*** stations comparables pour les quatre périodes d'échantillonnage

Figure 10 Pourcentage des non-insectes aux stations de la rivière Chaudière, de l'amont vers l'aval, aux stations de référence des rivières Nebnellis et Samson pour les quatre campagnes d'échantillonnage



*** stations comparables pour les quatre périodes d'échantillonnage

Figure 11 Pourcentage de plécoptères aux stations de la rivière Chaudière, de l'amont vers l'aval, et aux stations de référence des rivières Nebnellis et Samson pour les quatre campagnes d'échantillonnage



*** stations comparables pour les quatre périodes d'échantillonnage

Figure 12 Densité des macroinvertébrés benthiques aux stations de la rivière Chaudière, de l'amont vers l'aval, et aux stations de référence des rivières Nebnellis et Samson pour les quatre campagnes d'échantillonnage

Comme mentionné précédemment, bien que l'ISB_{SurVol} et certaines variables de communautés suggèrent que les communautés benthiques seraient encore altérées à proximité du lieu du déversement en 2015, rien ne peut garantir à l'heure actuelle que ces communautés pourront atteindre la valeur seuil de 75. La proximité du barrage de Lac-Mégantic et les pressions d'origine anthropique de la zone urbanisée de Mégantic pourraient avoir des effets sur les communautés biologiques en place. Ces communautés pourraient être différentes de celles des autres stations, et pourraient avoir atteint le maximum de récupération possible.

4.3 Analyse de structure des communautés benthiques

Des analyses basées sur l'abondance relative des taxons composant la communauté ont été réalisées afin de vérifier si la structure des communautés aux différentes stations diffère dans le temps et selon l'évolution de la contamination.

Classification des communautés benthiques

Le groupement hiérarchique a permis de classer les échantillons des stations dans six groupes en coupant à 41 % de l'information restante⁶ (figure 13). L'homogénéité à l'intérieur des groupes est élevée ($A = 0,3085$) et les groupes sont significativement différents ($p < 0,001$; MRPP). Les résultats de l'analyse des taxons indicateurs des différents groupes issus du groupement hiérarchique sont présentés dans le tableau 9. Ainsi, les meilleurs taxons indicateurs de chacun des groupes sont présentés et ceux dont la valeur indicatrice est ≥ 50 et accompagnée d'une probabilité $p \leq 0,05$ (Tornés et collab., 2007) sont présentés en grisé. Plus la valeur indicatrice (VI) se rapproche de 100, plus le taxon est un excellent indicateur du groupe.

Tout comme cela a été constaté lors des analyses des données échantillonnées en 2013 et 2014 dans le rapport MDDELCC (2016a), l'échantillon de septembre 2013 à la station CHAU1,0 ne fait partie d'aucun groupe (13/09 CHAU1,0; figure 13). Cette station est celle située le plus près du déversement et, lors de son échantillonnage en septembre 2013, il n'y avait pas encore eu de nettoyage dans le secteur alors que cela avait été fait avant l'échantillonnage d'octobre. Ce facteur pourrait expliquer que les deux échantillons de 2013 à cette station ne sont pas regroupés. De plus, la proximité du barrage de Lac-Mégantic fait que cette station a peut-être été davantage affectée par la gestion de ce dernier, qui n'a pas été exactement la même lors des deux mois d'échantillonnage. La structure de la communauté échantillonnée en septembre 2013 à cet endroit est totalement différente de celle de tous les autres échantillons. Elle était caractérisée par l'absence de cladocères et une abondance relative de 19,8 % de némerthes. Contrairement à ce qui a été constaté dans MDDELCC (2016a), où les stations de référence échantillonnées en 2013 et 2014 formaient un seul groupe, la nouvelle analyse réalisée avec les données de 2015 montre que l'échantillon de la station de référence de la rivière Samson en 2014 se démarque des autres. En effet, cet échantillon ne fait plus partie d'aucun groupe selon le niveau de coupure de 41 % (figure 13). La communauté de cet échantillon montre tout de même plus de similitudes avec celles du groupe 3, composé des échantillons de référence de 2013 (figure 13) qu'avec ceux de référence (SAMS01 et NEBN01) prélevés en 2014 et 2015 (groupe 5). Bien que la communauté échantillonnée en 2014 à la station SAMS01 ait été diversifiée avec une présence marquée des taxons appartenant aux éphéméroptères-plécoptères-trichoptères, elle se distingue des autres échantillons des stations de référence par la faible abondance de plécoptères.

Groupe 1

Tout comme dans le rapport MDDELCC (2016a), le groupe 1 est constitué de la plupart des échantillons de 2013 prélevés dans la rivière Chaudière. Ces échantillons de 2013 présentent une structure particulière des communautés de macroinvertébrés benthiques. Le taxon indicateur de ce groupe est l'annélide oligochète (tableau 9). Le texte suivant est tiré du rapport MDDELCC (2016a). *Les oligochètes sont considérés comme tolérants aux hydrocarbures par plusieurs auteurs (McCauley, 1966; Harrel, 1985; Crunkilton et Duchrow, 1990; Smith et collab., 2010). Malgré leur affinité pour les substrats meubles, les stations étudiées ont un substrat rocheux et ont vu l'abondance relative des oligochètes augmenter, particulièrement en octobre 2013 (figure 9 du présent rapport). Une revue de littérature sur les dynamiques des écosystèmes aquatiques suivant les perturbations causées par les hydrocarbures pétroliers suggère que la prolifération de taxons opportunistes comme les oligochètes serait attribuable au fait qu'ils s'alimentent des microorganismes impliqués dans la dégradation des hydrocarbures (Perhar et Arhonditsis, 2014). Crunkilton et Duchrow (1990) suggèrent trois explications possibles à de telles proliférations : 1) une tolérance aux matières*

⁶ Pourcentage des échantillons qu'il reste à grouper.

toxiques présentes dans les hydrocarbures; 2) une réponse à une augmentation d'une source de nourriture appropriée; ou 3) l'absence de prédateurs. Leur abondante présence dans une rivière à substrat rocheux comme la rivière Chaudière est sans nul doute une conséquence du déversement d'hydrocarbures et des perturbations qui lui sont associées. L'étude réalisée dans les zones de sédimentation en 2014 (MDDELCC, 2016b) portant sur l'évaluation in situ de la toxicité des sédiments de la rivière Chaudière sur les communautés de macroinvertébrés benthiques suggère que la présence des hydrocarbures pétroliers favoriserait les oligochètes. De fait, ces derniers constituaient de 60 à 83 % de la communauté dans les sédiments des stations contaminées par les hydrocarbures pétroliers. En 2015, dans les secteurs à substrat grossier, les oligochètes représentent moins de 10 % des communautés (généralement moins de 5 %) dans l'ensemble des stations de la rivière Chaudière, exception faite de deux stations situées à proximité du barrage (CHAU1,0 et CHAU2,3) (figure 9).

Groupe 2

Le groupe 2 est formé des deux stations de la rivière Chaudière échantillonnées en septembre 2013, soit CHAU7,5 et CHAU39. Les deux taxons indicateurs sont les éphéméroptères du groupe 1.2⁷ et le gastéropode Ancyliidae (tableau 9). En septembre 2013, l'abondance relative des éphéméroptères du groupe 1.2 aux stations CHAU7,5 et CHAU39 était d'environ 20 %. Une identification plus fine réalisée en 2014 par le MDDELCC sur les échantillons de 2013 a permis de confirmer que tous les éphéméroptères du groupe 1.2 appartenaient à la famille des Baetidae. Dans les échantillons prélevés en 2014 et 2015, les éphéméroptères du groupe 1.2 étaient aussi composés exclusivement de la famille des Baetidae. Les taxons de cette famille d'éphéméroptères, qui sont de bons nageurs, possèdent une faculté à recoloniser rapidement des sites perturbés (Moisan et Pelletier, 2014). Leur abondance relative aux différentes stations échantillonnées en 2014 et 2015 a varié de 1,2 à 28,6 %.

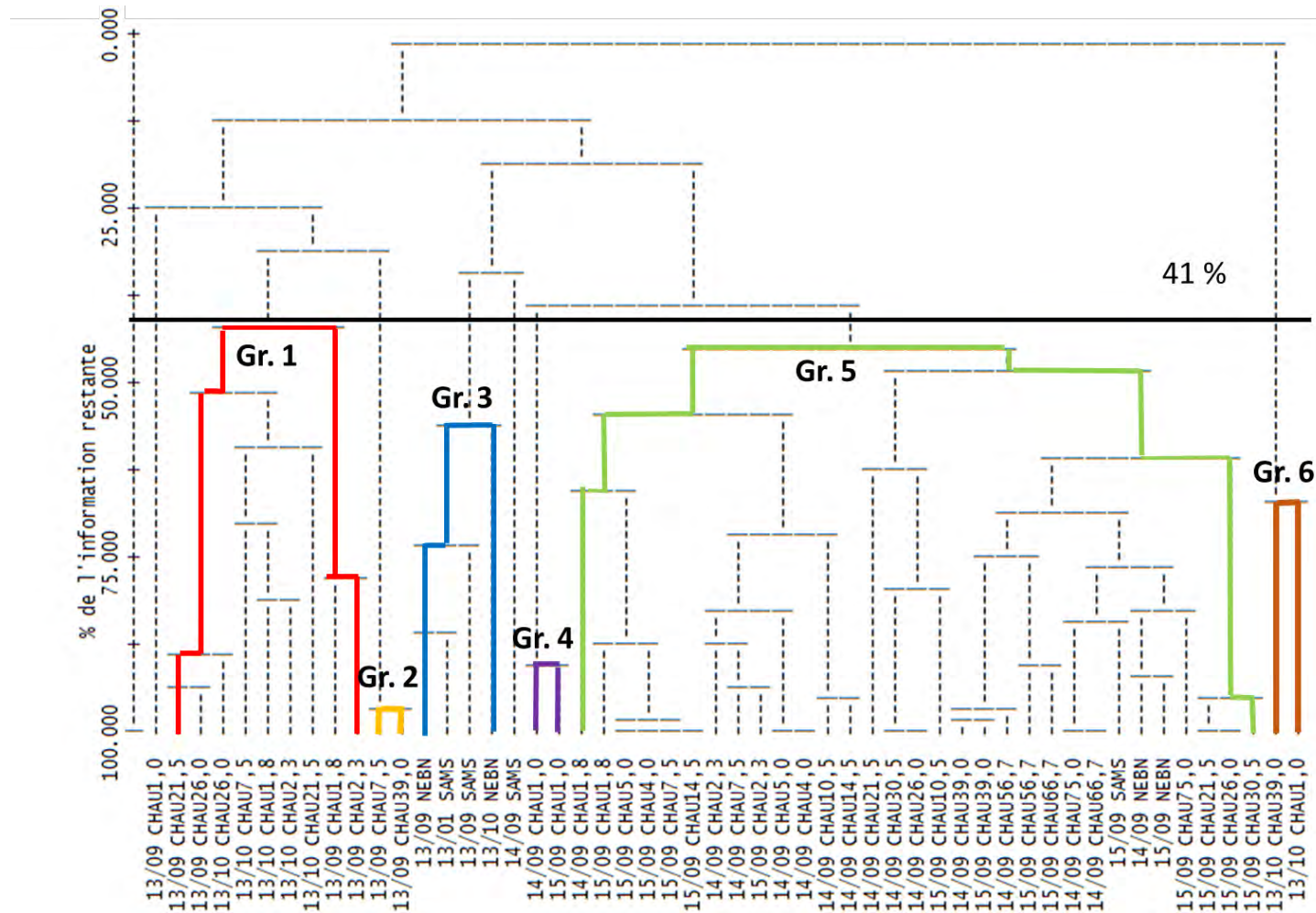
Groupe 3

Les échantillons de septembre et octobre 2013 des stations des rivières de référence composent le groupe 3. Sans surprise, tous les taxons indicateurs de ces stations sont des insectes qui, à l'exception des Tipulidae et des Ceratopogonidae, appartiennent tous aux éphéméroptères-plécoptères-trichoptères (EPT). Les valeurs indicatrices très élevées des trois premiers taxons indicateurs appartenant aux EPT (> 80) soulignent l'abondance de ces derniers et la fidélité à ce groupe (tableau 9). Également, le plus grand nombre de taxons indicateurs illustre bien la diversité qui caractérise les stations de référence.

Groupe 4

Le groupe 4 est constitué des échantillons de 2014 et 2015 de la station CHAU1,0, station la plus rapprochée du déversement, soit au kilomètre 1,0 en aval du barrage de Lac-Mégantic. Ces échantillons présentaient une structure de communauté différente de celle observée dans les échantillons prélevés en septembre et octobre 2013. Il est plausible de penser que la communauté des échantillons de 2014 et 2015 de cette station montrait un certain rétablissement par rapport à 2013 étant donné les changements observés en ce qui concerne les taxons indicateurs (tableau 9). Toutefois, en 2014 et 2015, la structure de communauté de ces échantillons à cette station a été différente de celle des échantillons des autres stations. Il est possible, étant donné la proximité de cette station avec le barrage du lac Mégantic, que cette communauté demeure différente de celles des autres stations. En effet, les taxons indicateurs sont particuliers, puisque ce sont les crustacés amphipodes, les mollusques prosobranches et des trichoptères appartenant au groupe 2.1 et à la famille des Hydropsychidae qui expliquent la formation de ce groupe. Certaines variables de l'habitat (tableau 4) corroborent cette particularité (IQH, type d'écoulement dominant).

⁷ Taxonomie de Moisan (2013); Groupe 1.2*(Ameletidae, Siphonuridae, Baetidae et Metreopodidae); annexe 9.



Note : identification des échantillons des stations : par exemple, 13/09 : 13 = année 2013, 09 = mois de l'échantillonnage (ici septembre); NEBN pour la rivière Nebnellis et SAMS pour la rivière Samson. Niveau d'identification des organismes Moisan (2013), SurVol

Figure 13 Groupement hiérarchique des stations échantillonnées en septembre et octobre 2013 et en septembre 2014 et 2015

Tableau 9 Meilleurs taxons indicateurs des groupes issus du groupement hiérarchique

Taxons en grisé : VI \geq 50 et $p \leq$ 0,05

Groupe	Taxons indicateurs* (VI = valeur indicatrice et p = probabilité)	Ordre, classe ou phylum
1	Oligochète (VI : 45,5 – p : 0,0480)	Annelida
2	Éphéméroptère du Groupe 1.2* (VI : 41,3 – p : 0,0022) Ancyliidae (VI : 40,5 – p : 0,00336)	Ephemeroptera Gastropoda
3	Trichoptère du Groupe 2.2* (VI : 84,1 – p : 0,0002) Plécoptère du Groupe 3.1 (VI : 83,8 – p : 0,0012) Leptophlebiidae (VI : 83,4 – p : 0,0002) Heptageniidae (VI : 55,6 – p : 0,0024) Tipulidae (VI : 53,7 – p : 0,0272) Ceratopogonidae (VI : 49,2 – p : 0,0100) Potamanthidae (VI : 46,4 – p : 0,0238)	Trichoptera Plecoptera Ephemeroptera Ephemeroptera Diptera Diptera Ephemeroptera
4	Amphipode (VI : 78,6 – p : 0,0060) Prosobranche (VI : 67,4 – p : 0,0208) Trichoptère du Groupe 2.1* (VI : 60,9 – p : 0,0002) Hydropsychidae (VI : 56,0 – p : 0,0002)	Crustacea Gastropoda Trichoptera Trichoptera
5	Perlidae (VI : 44,2 – p : 0,0290)	Plecoptera
6	Cladocère (VI : 82,2 – p : 0,0114) Némerte (VI : 61,7 – p : 0,0488)	Crustacea Nemerta

Taxonomie de Moisan (2013) : Groupe 1.2(Ameletidae, Siphonuridae, Baetidae et Metretopodidae); Groupe 2.1 (Philopotamidae, Polycentropodidae, Psychomyiidae et Dipseudopsidae); Groupe 2.2 (Limnephilidae, Apataniidae, Lepidostomatidae, Brachycentridae, Odontoceridae et Uenoidae); Groupe 3.1 (Perlodidae, Capniidae, Chloroperlidae, Leuctridae, Nemouridae et Taeniopterygidae); annexe 9

Groupe 5

Le groupe 5 est formé de tous les échantillons de 2014 et 2015 des stations de la rivière Chaudière et des rivières de référence, exception faite de ceux formant le groupe 4 ainsi que l'échantillon de 2014 de la station SAMS01, discuté précédemment. Le taxon indicateur de ce groupe appartient à l'ordre des plécoptères de la famille des Perlidae. Les plécoptères, et particulièrement cette famille, ont fortement été perturbés à la suite du déversement pétrolier (figure 11). La présence de cette famille comme taxon indicateur du groupe 5 confirme que le processus de recolonisation observé en 2014 s'est maintenu en 2015 et ces communautés sont comparables à celles des rivières de référence. Si on regarde les échantillons compris dans ce groupe (figure 13), il y a deux sous-groupes dont la composition des communautés semble différente. Dans un de ces sous-groupes, le processus de rétablissement pourrait toujours être en cours. Ce sous-groupe est composé majoritairement des échantillons de 2014 et 2015 des stations de la rivière Chaudière localisées entre les kilomètres 1,8 et 14. Le deuxième sous-groupe est composé des échantillons de 2014 et 2015 des stations localisées entre les kilomètres 21,5 et 75,0 dans la rivière Chaudière et dans les rivières de référence. Pour ce deuxième sous-groupe, il ne semble plus y avoir de différence entre la composition des communautés des stations de la rivière Chaudière et de celles des rivières de référence.

Groupe 6

Tout comme dans MDDELCC (2016a), les stations CHAU1,0 et CHAU39, échantillonnées en octobre 2013, forment le groupe 6 (figure 13) (groupe 5 dans MDDELCC, 2016a). Les taxons indicateurs sont les crustacés cladocères qui

sont présents à plus de 50 % dans les échantillons de ces stations et les németes (tableau 9). Il est difficile de comprendre ce qui lie ces deux stations, étant donné la distance de 38 kilomètres qui les sépare. La première station se situe en tête de rivière en aval du barrage du lac Mégantic, tandis que la station CHAU39 se trouve à 39 km en aval de celle-ci.

L'analyse de groupement indique que les communautés de la rivière Chaudière échantillonnées en 2014 et 2015 diffèrent de celles échantillonnées en 2013. Le rétablissement est bien amorcé et semble se maintenir pour la grande majorité des stations. La station CHAU1,0, celle située le plus en amont, se distingue toujours en 2014 et 2015 des autres stations (figure 13, groupe 4). Il est difficile de dire, compte tenu des résultats obtenus en 2015, si cette communauté demeurera toujours différente de celle des autres stations. Il est possible que sa composition particulière soit attribuable à sa proximité du lac Mégantic, du barrage et de la zone urbanisée. Ainsi, les différences toujours observées pourraient être indépendantes du déversement de pétrole. La particularité de la structure de communautés de la station CHAU39, soulignée dans le rapport précédent (groupe 2 dans MDDELCC, 2016a), ne semble plus ressortir dans cette nouvelle analyse qui inclut les données de 2015. Par contre, en regardant les résultats de l'ISB_{SurVol}, qui montrent une faible variation interannuelle (figure 4), l'intégrité biotique à cette station semble légèrement plus faible que celle obtenue aux autres stations, ce qui pourrait souligner un impact particulier autre que celui en lien avec le déversement pétrolier.

4.4 Rétablissement

Tous les résultats obtenus en 2015 corroborent le rétablissement des communautés benthiques constaté en 2014, du kilomètre 5 au kilomètre 75 vers l'aval. Tout comme en 2014, la recolonisation du milieu par certains taxons d'éphéméroptères-plécoptères-trichoptères, particulièrement par les plécoptères Perlidae et les éphéméroptères Heptageniidae, s'est poursuivie. Ces résultats confirment la résilience de cette rivière et celle des communautés benthiques qui y vivent. La figure 14 présente clairement les changements observés en ce qui concerne les grands groupes (ordres et classes) de macroinvertébrés entre 2013 et 2015. La structure des communautés benthiques observée aux stations de la rivière Chaudière était très différente de celle des stations de référence (NEBN01 et SAMS01) en 2013 et soulignait l'effet des impacts négatifs et drastiques du déversement de pétrole et des multiples perturbations si rattachant. Ces communautés aux stations de la rivière Chaudière étaient majoritairement dominées par des taxons tolérants aux perturbations. Ainsi, les Chironomidae et les oligochètes caractérisaient les communautés en septembre 2013, alors qu'en octobre 2013, c'était les Chironomidae, les oligochètes et les cladocères (figure 14). L'absence des plécoptères à la majorité des stations dans la rivière Chaudière en 2013 soulignait également la vulnérabilité de ce groupe aux perturbations subies par le cours d'eau. La composition des communautés benthiques observée aux différentes stations de la rivière Chaudière en 2015, en comparaison avec celle des stations de référence, met en évidence que le processus de rétablissement s'est poursuivi en 2015 (figure 14). De fait, la réapparition des plécoptères et l'augmentation de la proportion des éphéméroptères et des trichoptères sont des améliorations concrètes qui ont été observées en 2014 et ces améliorations se sont poursuivies en 2015 avec la diminution de la proportion des oligochètes à de nombreuses stations, de même qu'avec la quasi-disparition des crustacés (particulièrement les cladocères). La composition des communautés des stations de la rivière Chaudière en 2015 (à l'exception de CHAU1,0, CHAU1,8 et CHAU2,3) ressemble grandement à celle des stations de référence (figure 14). La proportion d'oligochètes encore élevée à certaines stations en 2015 suggère que le processus de rétablissement n'est pas totalement atteint ou que d'autres facteurs favorisent cette abondance. De fait, certaines caractéristiques physiques de la rivière Chaudière lui ont été favorables. Les écoulements turbulents sont reconnus pour accélérer le rétablissement à la suite de déversements, non seulement en retirant les hydrocarbures des sédiments (Guiney et collab., 1987; Poulton et collab., 1997), mais aussi en favorisant la recolonisation par dérive des macroinvertébrés des cours d'eau en provenance de l'amont (Pontasch et Brusven, 1988). Poulton et ses collaborateurs (1997) suggèrent que les vitesses de courant plus élevées et le brassage des eaux dans les seuils peuvent favoriser un rétablissement plus rapide. Grenier (2014a) mentionnait que le rétablissement de la rivière

Chaudière passerait par la recolonisation des organismes en provenance des sources externes ou des refuges et serait principalement réalisé par la dérive de macroinvertébrés en provenance des tributaires à l'amont de la rivière Chaudière. La présence de tributaires de bonne qualité, dont les rivières Glen, Nebnellis, Madisson et Samson, semble avoir joué un rôle important dans la recolonisation des macroinvertébrés benthiques de la rivière Chaudière dès 2014, et également dans l'autoépuration de la rivière Chaudière. Ces organismes en dérive ont, grâce à la diminution de la contamination, trouvé un habitat favorable à leur survie.

Selon les résultats obtenus lors de l'étude de caractérisation de certaines zones d'accumulation de sédiments de la haute Chaudière réalisée en 2015, le processus d'atténuation naturelle de la contamination des sédiments pour les hydrocarbures pétroliers était en cours. Toutefois, les sédiments situés dans les 15 premiers kilomètres de la rivière Chaudière portaient encore les marques du déversement en 2015 (MDDELCC, 2017a). Un portrait actualisé de l'état de la contamination des sédiments a également été réalisé à l'été 2016 dans la rivière Chaudière, entre le lac Mégantic et le barrage Sartigan, à Saint-Georges (WSP, 2017). Les résultats soulignent que le processus d'atténuation naturel s'est poursuivi. De fait, la contamination des sédiments de la rivière Chaudière par les HP C₁₀-C₅₀ a diminué de façon marquée de 2013 à 2016, ainsi que son étendue. Parmi les 130 stations caractérisées, les dépassements de la valeur de référence d'effets chroniques pour la protection de la vie aquatique (VRC) se limitaient aux premiers 8,6 kilomètres, alors que ceux de la valeur de référence d'effets aigus (VRA) se limitaient aux premiers 5,3 kilomètres. Un suivi visuel de la contamination des sédiments dans les tronçons rocheux a également permis de constater une réduction substantielle de la contamination par les hydrocarbures pétroliers (WSP, 2017).

Bien qu'une amélioration de l'intégrité biotique ait été constatée depuis 2013 au niveau des stations positionnées dans les quatre premiers kilomètres, ces dernières présentent toujours des communautés benthiques dont l'intégrité biotique est précaire. Il est possible que certaines caractéristiques du milieu, telles que l'absence de tributaires, la proximité du lac Mégantic et du barrage ainsi que la présence d'un territoire urbanisé et industrialisé, aient un impact sur la structure des communautés benthiques et que les valeurs de l'ISB_{SurVol} obtenues en 2015 soient les valeurs maximales atteignables à ces stations. Toutefois, comme mentionné précédemment, une contamination résiduelle était toujours présente, de façon sporadique, dans les sédiments de la rivière dans les premiers kilomètres en 2015 et 2016.

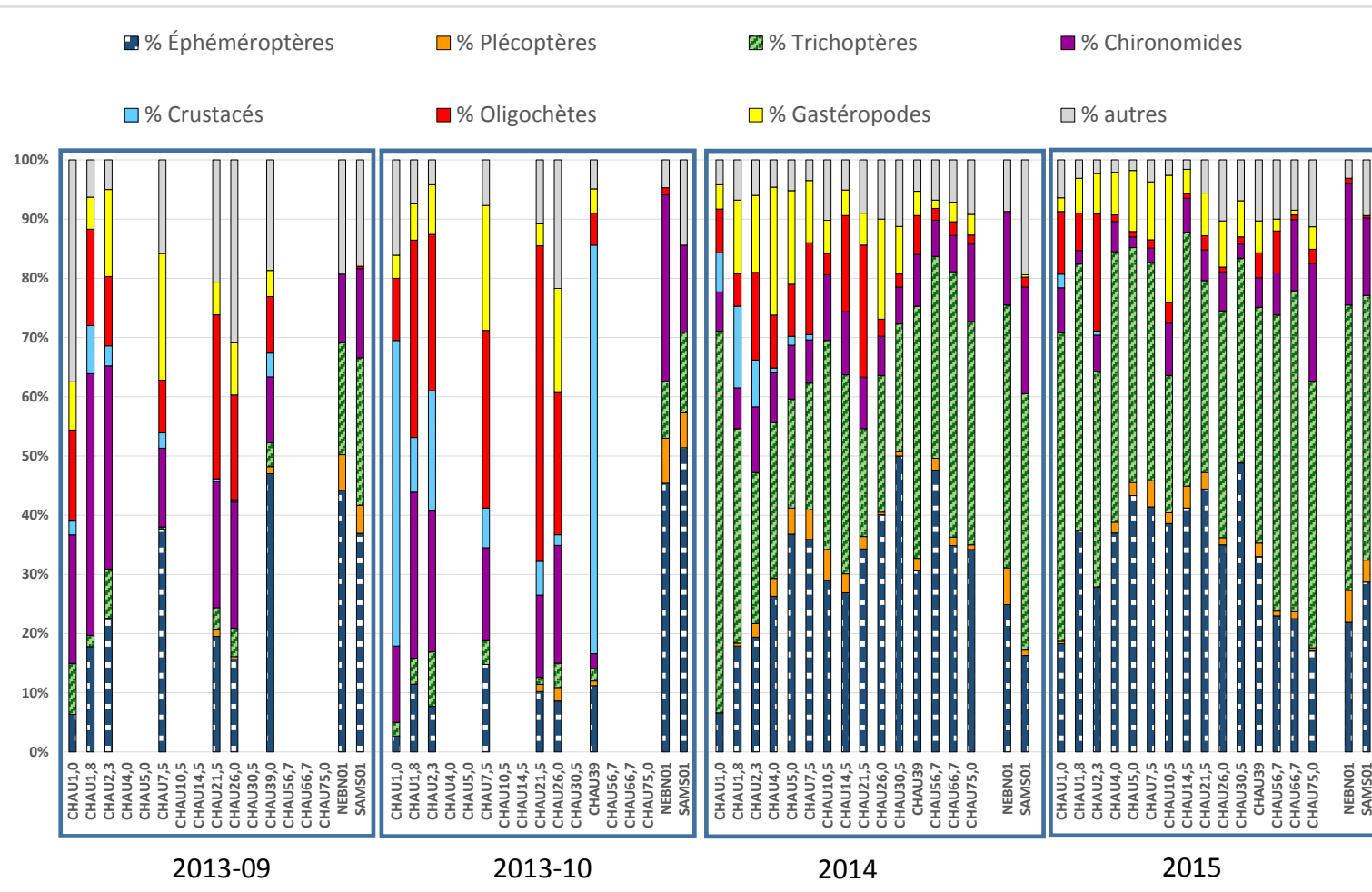


Figure 14 Profil longitudinal des abondances relatives des grands groupes (classe et ordre) de macroinvertébrés benthiques des stations de la rivière Chaudière et des stations de référence en 2013, 2014 et 2015

4.5 L'indice de santé du benthos de base (ISB_g) aux 17 stations échantillonnées en septembre 2014 et 2015

Puisque le niveau d'identification visé (majoritairement le genre) pour l'analyse des échantillons récoltés en 2014 et 2015 le permettait, l'indice de santé du benthos de base (ISB_g), qui est utilisé pour le suivi de l'intégrité biotique des cours d'eau à substrat grossier au MDDELCC (MDDEFP, 2012; MDDEFP, 2013b), a été calculé à chacune des stations. La figure 15 présente les résultats de l'ISB_g obtenus en 2014 et 2015. Les communautés benthiques échantillonnées en septembre 2015 affichent un état précaire jusqu'au kilomètre 5,0. L'intégrité biotique à ces stations montre peu d'évolution et il est difficile de savoir si le rétablissement des communautés y est terminé ou s'il se poursuivra dans les prochaines années. La majorité de stations situées en aval du kilomètre 5,0 ont des communautés benthiques en bon état. Ces communautés semblent s'être bien rétablies et les valeurs de l'ISB_g sont très stables. Par contre, en aval du kilomètre 39,0, l'intégrité biotique semble moins stable, les valeurs de 2014 et 2015 se distribuant davantage de part et d'autre de la limite de bon état de la communauté. Il est possible que le rétablissement des communautés soit terminé dans cette portion de la rivière (à plus de 39 kilomètres du déversement) et que l'on y observe les effets d'autres pressions d'origine anthropique. Une baisse de 11,6 unités a été constatée à la station de référence NEBN01 dans la rivière Nebnellis. Aucun changement particulier n'a été constaté en ce qui concerne les variables de l'habitat (tableau 4). Comme nous l'avons souligné précédemment, les pressions d'origine anthropique en amont de la station pourraient être en cause. En comparant les profils longitudinaux des deux indices ISB_{SurVol} (figure 4) et ISB_g (figure 15), on constate que l'ISB_{SurVol} surestime légèrement l'intégrité biotique. À la lumière des résultats de l'ISB_g, les communautés des cinq premiers kilomètres seraient encore perturbées en 2015.

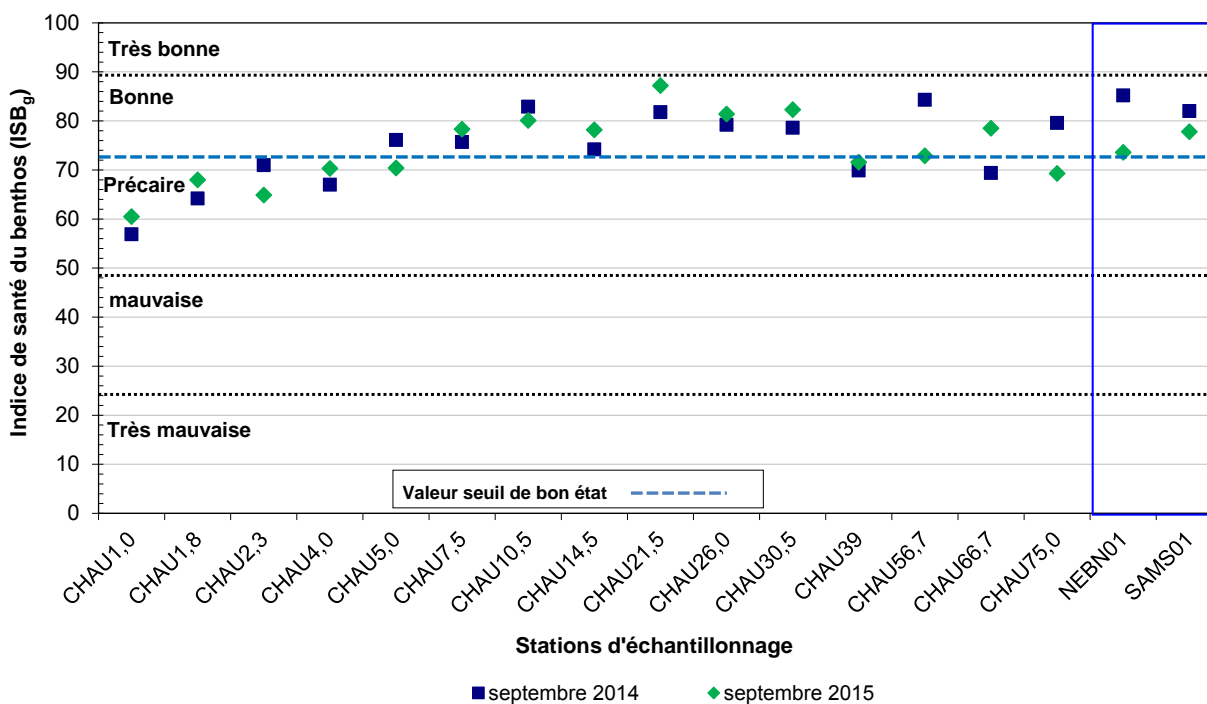


Figure 15 Variation des valeurs de l'indice de santé du benthos ISB_g en septembre 2014 et 2015

5. CONCLUSION

Le déversement de pétrole qui a eu lieu à la tête de la rivière Chaudière en juillet 2013 a perturbé ce cours d'eau de plusieurs façons. Les communautés benthiques, impactées en 2013, ont montré d'importants signes de rétablissement dès 2014. Les résultats obtenus en 2015, rapportés dans le présent rapport, confirment ce rétablissement. Ce constat d'amélioration de l'état des communautés benthiques est supporté par plusieurs observations, dont les suivantes :

- Les valeurs obtenues pour l'indice de santé du benthos variante ISB_{SurVol} ont augmenté de 2013 à 2014 à toutes les stations échantillonnées lors des trois années de suivi. À la majorité des stations, l'indice est passé de la classe de qualité « précaire » en 2013 à la classe de qualité « bonne » en 2014 et s'est maintenu dans cette classe en 2015.
- En 2013, les valeurs de l' ISB_{SurVol} dans la rivière Chaudière étaient inférieures à celles obtenues dans les rivières Nebnellis et Samson, des tributaires de la rivière Chaudière non exposés au déversement et qui ont été échantillonnés comme sites de référence. En 2014, les valeurs dans la rivière Chaudière avaient remonté aux niveaux observés aux sites de référence et se sont maintenues à ce niveau en 2015.
- En plus d'être constatée à l'aide de l' ISB_{SurVol} , l'amélioration de l'état des communautés benthiques est visible par des variables écologiques de base. Par exemple, de 2013 à 2014 et 2015, on a observé la réapparition d'organismes sensibles à la pollution (p. ex., les éphéméroptères et trichoptères) et, à l'inverse, la diminution de l'abondance d'organismes tolérants à la pollution (oligochètes et cladocères).

Aux stations d'échantillonnage les plus en amont dans la rivière Chaudière, soit à 1,0, 1,8 et 2,3 km en aval du barrage de Lac-Mégantic, l' ISB_{SurVol} a augmenté de 2013 à 2014 et 2015, mais sans franchir le seuil indicateur d'une bonne qualité. Dans cette portion de la rivière, il est possible que les communautés benthiques soient affectées par d'autres facteurs que la contamination des sédiments par les hydrocarbures. En effet, l'absence de tributaires, la proximité du lac Mégantic, les fluctuations plus importantes des niveaux d'eau et des débits dues à la proximité du barrage ainsi que la présence d'un territoire urbanisé et industrialisé imposent peut être une limite au rétablissement des communautés benthiques. Seul le temps permettra de déterminer si les communautés sont toujours en rétablissement dans ce secteur ou si elles ont atteint le meilleur état possible, compte tenu des limites imposées par les pressions anthropiques et les conditions hydrologiques.

En plus de dégager les constats environnementaux qui précèdent, la présente étude a permis d'améliorer les connaissances méthodologiques sur le suivi des cours d'eau basé sur les communautés benthiques. On a par exemple constaté ce qui suit :

- Les plécoptères ont été sensibles au déversement de pétrole, alors que les crustacés, les oligochètes et le groupe « non-insectes » se sont avérés plus résistants. Les plécoptères Perlidae et les éphéméroptères Heptageniidae, absents de la rivière jusqu'au kilomètre 7,5 en 2013, ont fait un retour en 2014 et en 2015.
- À un même site d'échantillonnage, l'indice simplifié ISB_{SurVol} donne souvent des valeurs un peu plus élevées que son pendant plus complexe, l'indice ISB_g , utilisé couramment dans les suivis de routine du Ministère.

6. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARTON, D. R., et R. R. WALLACE, 1979a. « The effects of an experimental spillage of oil sands tailings sludge on benthic invertebrates ». *Environmental Pollution*, vol. 18, n° 4, p. 305-312.
- BARTON, D. R., et R. R. WALLACE, 1979b. « Effects of eroding oil sand and periodic flooding on benthic macroinvertebrate communities in a brown-water stream in Northeastern Alberta, Canada. *Canadian Journal of Zoology*, vol. 57, p. 533-541.
- BHATTACHARYA, S., P. L. KLERKS et J. A. NYMAN, 2003. « Toxicity to freshwater organisms from oils and oil spill chemical treatments in laboratory microcosms ». *Environmental Pollution*, vol. 122, n° 2, p. 205-215.
- BLUMER, M., et J. SASS, 1972. « Oil pollution: persistence and degradation of spilled fuel oil ». *Science*, vol. 176, p. 1120-1122.
- BODE, R. W., M. A. NOVAK, L. E. ABELE, D. L. HEITZMAN et A. J. SMITH, 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. + 13 ann.
- 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.
- BURTON, J., et J. GERRITSEN, 2003. *A Stream Condition Index for Virginia Non-Costal Streams*. Rapport préparé par Tetra Tech, Inc. pour l'USEPA Office of Science and Technology, Office of Water, l'USEPA Region 3 Environmental Services Division et le Virginia Department of Environmental Quality, 163 p.
- BURY, R. B., 1972. « The effects of diesel fuel on a streamfauna ». *California Fish and Game Bulletin*, vol. 58, n° 4, p. 291-295.
- CRUNKILTON, R. L., et R. M. DUCHROW, 1990. « Impact of a massive crude oil spill on the invertebrate fauna of a Missouri Ozark Stream ». *Environmental Pollution*, vol. 63, n° 1, p. 13-31.
- DUFRENE, M., et P. LEGENDRE, 1997. « Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach ». *Ecological Monographs*, vol. 67, n° 3, p. 345-366.
- GAUTHIER, C., et P. COUTURE, 2015. *Évaluation de la toxicité des sédiments de la rivière Chaudière pour les jeunes stades de deux espèces de poissons*. Rapport de recherche INRS-ETE n° R1535, Institut national de recherche scientifique, Centre Eau Terre Environnement, ISBN 978-2-550-73730-8 (PDF), 18 p. + ann.
- GRENIER, M., 2014a. *Accident ferroviaire de Lac-Mégantic – Impact du déversement de pétrole brut et des travaux de nettoyage sur les communautés de macroinvertébrés benthiques de la rivière Chaudière – automne 2013*. Rapport préparé pour le ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, 72 p. + 4 ann.
- GRENIER, M., 2014b. *Accident ferroviaire de Lac-Mégantic – Revue de la littérature portant sur l'impact des déversements d'hydrocarbures et des travaux de nettoyage sur les communautés de macroinvertébrés benthiques*. Rapport préparé pour le ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs par CIMA+, 35 p.

- GUINEY, P. D., J. L. SYKORA et G. KELETI, 1987. « Environmental impact of an aviation kerosene spill on stream water quality in Cambria County, Pennsylvania ». *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 6, n° 12, p. 977-988.
- HARREL, R. C., 1985. « Effects of a crude oil spill on water quality and macrobenthos of a southeast Texas stream ». *Hydrobiologia*, vol. 124, n° 3, p. 223-228.
- HÉBERT, S., 1997. *Développement d'un indice de la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau pour les rivières du Québec*. Québec, ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques, envirodoq n° EN/970102, 20 p. + 4 ann.
- 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.
- LEGENDRE, P., et L. LEGENDRE, 2012. *Numerical Ecology*, 3rd edition. Amsterdam, Elsevier Science BV, 1006 p.
- LEGENDRE, P., et L. LEGENDRE, 1998. *Écologie numérique*, 2^e édition, tome 2. Paris, Masson, Presses de l'Université du Québec, 335 p.
- LYTLE, D. A., et B. L. PECKARSKY, 2001. « Spatial and temporal impacts of a diesel fuel spill on stream invertebrates ». *Freshwater Biology*, vol. 46, n° 5, p. 693-704.
- MAZOR, R. D., T. B. REYNOLDSON, D. M. ROSENBERG et V. H. RESH, 2006. « Effects of biotic assemblage, classification, and assessment method on bioassessment performance ». *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 63, n° 2, p. 394-411.
- MCCAULEY, R. N. 1966. « The biological effects of oil pollution in a river ». *Limnology and Oceanography*, vol. 11, n° 4, p. 475-486.
- MCCUNE, B., et J. B. GRACE, 2002. *Analysis of Ecological Communities*. Oregon, MjM Software Design, 304 p.
- MCCUNE, B., et M. J. MEFFORD, 1999. *PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data, Version 4*. Oregon, MJM Software Design.
- MERRIT, R. W., K. W. CUMINS et M. B. BERG, 2008. *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*, 4^e édition. 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, n° 11, p. 1197-1207.
- 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), 2013a. *Lignes directrices pour l'évaluation de qualité des sédiments du lac Mégantic et de la rivière Chaudière, en lien avec l'accident ferroviaire du 6 juillet 2013*. Québec, gouvernement du Québec, 7 p.

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

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC), 2014. *Tragédie ferroviaire du Lac-Mégantic – Rapport du Comité expert sur la contamination résiduelle de la rivière Chaudière par les hydrocarbures pétroliers – Constats, recommandations, actions proposées*. Québec, gouvernement du Québec, ISBN 978-2-550-70519-2 (PDF), 40 p. + 4 ann.

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC), 2015a. *Tragédie ferroviaire de Lac-Mégantic – Deuxième rapport du Comité expert sur la contamination résiduelle de la rivière Chaudière par les hydrocarbures pétroliers – Constats, recommandations, actions proposées pour 2015-2017*. Québec, gouvernement du Québec, ISBN 978-2-550-73569-4 (PDF), 64 p.

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC), 2015b. *Tragédie ferroviaire de Lac-Mégantic – Suivi de la qualité de l'eau de la rivière Chaudière en temps de crue pour l'année 2014 et pour la crue printanière de 2015*. Québec, Direction régionale et Bureau de coordination des urgences du Centre de contrôle environnemental de la Capitale-Nationale et de la Chaudière-Appalaches, ISBN 978-2-550-73654-7 (PDF), 24 p.

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC), 2015c. *Tragédie ferroviaire de Lac-Mégantic – Évaluation de la toxicité des sédiments de la rivière Chaudière pour deux organismes benthiques*. Québec, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, ISBN 978-2-550-73729-2 (PDF), 14 p. + ann.

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, 2016a. *Tragédie ferroviaire de Lac-Mégantic – Évaluation de l'intégrité biotique des communautés de macroinvertébrés benthiques de la rivière Chaudière, automnes 2013 et 2014*. Québec, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-75636-1 (PDF), 31 p. + 9 ann.

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC), 2016b. *Tragédie ferroviaire de Lac-Mégantic – Évaluation in situ de la toxicité des sédiments de la rivière Chaudière sur les communautés de macroinvertébrés benthiques, un an après le déversement*. Québec, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-74871-7 (PDF), 14 p. + 3 ann.

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC) 2017a. *Tragédie ferroviaire de Lac-Mégantic – Caractérisation complémentaire de certaines zones d'accumulation de sédiments de la haute Chaudière en 2015*. Québec, Direction régionale et Bureau de coordination des urgences du Centre de contrôle environnemental de la Capitale-Nationale et de la Chaudière-Appalaches, ISBN 978-2-550-78420-3 (PDF), 41 p. + 2 ann.

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC) 2017b. *Tragédie ferroviaire de Lac-Mégantic – Troisième rapport du Comité expert sur la contamination résiduelle de la rivière Chaudière par les hydrocarbures pétroliers – État de situation en 2015-2016 et recommandations finales*. Québec, gouvernement du Québec, ISBN 978-2-550-79721-0 (PDF), 7 p. + 1 ann.

- MOISAN, J., 2010. *Guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, 2010 – Surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds*. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-58397-4 (PDF), 82 p. (dont 1 annexe).
- MOISAN, J., et L. PELLETIER, 2014. *Réponses des macroinvertébrés benthiques à la contamination métallique – Site minier de Notre-Dame-de-Montauban*. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN-978-2-550-70752-3 (PDF), 24 p. (dont 5 annexes).
- MOISAN, J., et L. PELLETIER, 2008. *Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec – Cours d'eau peu profonds à substrat grossier, 2008*. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-53591-1 (version imprimée), 86 p. (dont 6 annexes).
- PERHAR, G., et G. B. ARHONDITSIS, 2014. « Aquatic ecosystem dynamics following petroleum hydrocarbon perturbations: A review of the current state of knowledge ». *Journal of Great Lakes Research*, vol. 40, p. 56-72.
- PONTASCH, K. W., et M. A. BRUSVEN, 1988. « Macroinvertebrate response to a gasoline spill in Wolf Lodge Creek, Idaho, USA ». *Archiv für Hydrobiologie*, vol. 113, p. 41-60.
- POULTON, B. C., E. V. CALLAHAN, R. D. HURTUBISE et B. G. MUELLER, 1998. « Effects of an oil spill on leafpack-inhabiting macroinvertebrates in the Chariton river, Missouri ». *Environmental Pollution*, vol. 99, n° 1, p. 115-122.
- POULTON, B. C., S. E. FINDER et S. A. HUMPHREY, 1997. « Effects of a crude oil spill on the benthic invertebrate community in the Gasconade river, Missouri ». *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 33, n° 3, p. 268-276.
- ROSENBERG, D. M., et A. P. WIENS, 1976. « Community and species responses of Chironomidae (Diptera) to contamination of fresh waters by crude oil and petroleum products, with special reference to the Trail River, Northwest Territories ». *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, vol. 33, n° 9, p. 1955-1963.
- SAINT-JACQUES, N., et Y. RICHARD, 1998. « Développement d'un indice de qualité de la bande riveraine : application à la rivière Chaudière et mise en relation avec l'intégrité biotique du milieu aquatique ». Dans ministère de l'Environnement et de la Faune (éd.), *Le bassin de la rivière Chaudière : l'état de l'écosystème aquatique – 1996*, Direction des écosystèmes aquatiques, Québec, envirodoq n° EN980022, p. 6.1-6.41.
- SCHERRER, B., 1984. *Biostatistique*. Boucherville, Gaëtan Morin éditeur, 850 p.
- SIMPSON, K. W. 1980. « Abnormalities in the tracheal gills of aquatic insects collected from streams receiving chlorinated or crude oil wastes ». *Freshwater Biology*, vol. 10, n° 6, p. 581-583.
- SMITH, D. G., 2001. *Pennak's Freshwater Invertebrates of the United States: Porifera to Crustacean*, 4th Edition. New York, John Wiley & Sons, Inc., 648 p.
- SMITH, P., D. SNOOK, A. MUSCUTT et A. SMITH, 2010. « Effects of a diesel spill on freshwater macroinvertebrates in two urban watercourses, Wiltshire, UK ». *Water and Environment Journal*, vol. 24, n° 4, p. 249-260.

- THIBAUT, G., 2008. *État de l'écosystème aquatique du bassin versant de la rivière Chaudière : faits saillants 2004-2006*. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-53173-9 (PDF), 25 p.
- TORNÉS, E., J. CAMBRA, J. GOMÀ, M. LEIRA, R. ORTIZ et S. SABATER, 2007. « Indicator taxa of benthic diatom communities: a case study in Mediterranean streams ». *Annals of Limnology – International journal of Limnology*, vol. 43, no 1, p. 1-11.
- WOODWARD, D. F., E. E. LITTLE et L. M. SMITH, 1987. « Toxicity of five shale oils to fish and aquatic invertebrates ». *Archives of Environmental Contaminant and Toxicology*, vol. 16, n° 2, p. 239-246.
- WOODWARD, D. F., P. M. MEHRLE et N. L. MAUCK, 1981. « Accumulation and sublethal effects of a Wyoming crude oil on cutthroat trout ». *Transactions of the American Fisheries Society*, vol. 110, n° 3, p. 437-445.
- WSP, 2017. *Tragédie ferroviaire de Lac-Mégantic – Suivi temporel de la contamination des sédiments de la rivière Chaudière en 2016*. Rapport produit pour le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), 27 p. et annexes.

ANNEXES

Annexe 1 Localisation des stations d'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques en 2013 et en 2014

Numéro station BQMA	Rivière	Point kilométrique	Numéro station benthos	NAD83 latitude	NAD83 longitude	Date d'échantillonnage
02340237	Chaudière	1	CHAU1,0	45,579947	-70,874148	2015-09-08
						2014-09-02
						2013-09-19
						2013-10-17
02340238	Chaudière	1,8	CHAU1,8	45,581391	-70,868418	2015-09-08
						2014-09-02
						2013-09-20
						2013-10-17
02340239	Chaudière	2,3	CHAU2,3	45,585316	-70,861782	2015-09-08
						2014-09-02
						2013-09-26
						2013-10-17
02340268	Chaudière	4,0	CHAU4,0	45,593640	-70,858630	2015-09-09
						2014-09-03
02340080	Chaudière	5,0	CHAU5,0	45,599200	-70,859140	2015-09-09
						2014-09-03
02340240	Chaudière	7,5	CHAU7,5	45,614877	-70,858590	2015-09-09
						2014-09-03
						2013-09-26
						2013-10-16
02340269	Chaudière	10,5	CHAU10,5	45,634370	-70,851690	2015-09-09
						2014-09-03
02340267	Chaudière	14,5	CHAU14,5	45,646680	-70,807820	2015-09-10
						2014-09-04
02340241	Chaudière	21,5	CHAU21,5	45,686111	-70,791154	2015-09-10
						2014-09-04
						2013-09-19
						2013-10-16
02340242	Chaudière	26,0	CHAU26,0	45,700844	-70,761166	2015-09-11
						2014-09-08
						2013-09-20
						2013-10-16
02340078	Chaudière	30,5	CHAU30,5	45,720110	-70,732930	2015-09-11
						2014-09-08
02340243	Chaudière	39	CHAU39	45,759641	-70,675286	2015-09-14
						2014-09-08
						2013-09-26
						2013-10-15
02340074	Chaudière	56,7	CHAU56,7	45,871170	-70,638780	2015-09-14
						2014-09-09
02340073	Chaudière	66,7	CHAU66,7	45,943320	-70,653790	2015-09-22
						2014-09-09
02340072	Chaudière	75,0	CHAU75,0	46,012200	-70,658940	2015-09-22
						2014-09-09
02340244	Nebnellis	-	NEBN01	45,627643	-70,816374	2015-09-10
						2014-09-04
						2013-09-23
						2013-10-15
02340245	Samson	-	SAMS01	45,792590	-70,630050	2015-09-22
				45,792590	-70,630050	2014-09-05
				45,793436	-70,630777	2013-09-23
				45,793436	-70,630777	2013-10-15

Annexe 2 Localisation et description des stations d'échantillonnage de la qualité de l'eau

Nunéro station BQMA	DESCRIPTION	LATITUDE	LONGITUDE	Correspondance avec le numéro de station benthos
02340006	CHAUDIÈRE AU PONT DU CHEMIN DU LAC DROLET AU SUD-OUEST DE SAINT-LUDGER (Pk 22,7)	45,6912850	-70,7863790	proximité de la station CHAU21,5

Annexe 3 Qualité de l'eau – paramètres et limites de détection

PARAMÈTRES	ENDROIT D'ANALYSE	LIMITE DE DÉTECTION	UNITÉ DE MESURE
AZOTE TOTAL	CEAEQ	0,02	mg/l
PHOSPHORE TOTAL	CEAEQ	0,002 ou 0,0006	mg/l
SOLIDES EN SUSPENSION	CEAEQ	1	mg/l
COLIFORMES THERMOTOLÉRANTS (FÉCAUX) – DÉNOMBREMENT	CEAEQ	2	UFC/100ml
CHLOROPHYLLE A	CEAEQ	0,02	µg/l
AZOTE AMMONIACAL	CEAEQ	0,02	mg/l
NITRATES ET NITRITES	CEAEQ	0,02	mg/l

CEAEQ : [Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec](#)

Annexe 4 Liste des variables de communautés analysées et réponse attendue de celles-ci à l'augmentation des perturbations

Catégorie	Variable et abréviation (Acronyme)	Définition ou formule	Réponse attendue
Mesure de la richesse taxonomique	Nombre total de taxons (NTTOT)	Nombre total de taxons	<i>Diminue</i>
	Nombre de taxons EPT (NTEPT)	Nombre de taxons éphéméroptères-trichoptères-plécoptères	<i>Diminue</i>
	Nombre de taxons E (NTEPH)	Nombre de taxons éphéméroptères	<i>Diminue</i>
	Nombre de taxons P (NTPLE)	Nombre de taxons plécoptères	<i>Diminue</i>
	Nombre de taxons T (NTTRI)	Nombre de taxons trichoptères	<i>Diminue</i>
Mesure de la composition taxonomique	% d'insectes (PINS)	Abondance ¹ d'insectes / abondance totale * 100	<i>Diminue</i>
	% de non-insectes (PNINSECT)	Abondance de non-insectes / abondance totale * 100	<i>Augmente</i>
	% d'EPT (PEPT)	Abondance de taxons éphéméroptères-plécoptères-trichoptères / abondance totale * 100	<i>Diminue</i>
	% d'éphéméroptères (PEPH)	Abondance de taxons éphéméroptères / abondance totale * 100	<i>Diminue</i>
	% de plécoptères (PPLEC)	Abondance de taxons plécoptères / abondance totale * 100	<i>Diminue</i>
	% de trichoptères (PTRICH)	Abondance de taxons trichoptères / abondance totale * 100	<i>Variable</i>
	% d'EPT excluant Hydropsychidae (PEPTH)	Abondance de taxons éphéméroptères-plécoptères-trichoptères (excluant Hydropsychidae) / abondance totale * 100	<i>Diminue</i>
	% de Chironomidae (PC)	Abondance de Chironomidae / abondance totale * 100	<i>Augmente</i>
	% de mollusques (PMOLLUS)	Abondance de mollusques / abondance totale * 100	<i>n.d.</i> ⁴
	% de gastéropodes (PGAST)	Abondance de gastéropodes / abondance totale * 100	<i>n.d.</i>
	% de crustacés (PCRUST)	Abondance de crustacés / abondance totale * 100	<i>n.d.</i>
	% d'oligochètes (POLIGO)	Abondance d'oligochètes / abondance totale * 100	<i>Augmente</i>
	% d'Hydropsychidae (PHYDR)	Abondance d'Hydropsychidae / abondance totale * 100	<i>Augmente</i>
Mesure de la tolérance ² à la pollution organique ³	% du taxon dominant (famille) (PTD1)	Abondance du taxon le plus abondant / abondance totale * 100	<i>Augmente</i>
	% des deux taxons dominants (famille) (PTD2)	Abondance des deux taxons les plus abondants / abondance totale * 100	<i>Augmente</i>
	% des taxons tolérants (PTTOL)	Nombre de taxons ayant une cote de tolérance > 6 / nombre total de taxons * 100	<i>Augmente</i>
	% des taxons intolérants (PTINTO)	Nombre de taxons ayant une cote de tolérance < 4 / nombre total de taxons * 100	<i>Diminue</i>
	% d'organismes tolérants (PTOL)	Abondance d'organismes ayant une cote de tolérance > 6 / abondance totale * 100	<i>Augmente</i>
	% d'organismes intolérants (PINTO)	Abondance des organismes ayant une cote de tolérance < 4 / abondance totale * 100	<i>Diminue</i>
	Indice biotique d'Hilsenhoff (HBI et FBIv)	$\sum x_i t_i / n$; échelle de 0 à 10; x_i = nombre d'organismes de l' i^{e} taxon, t_i = tolérance au genre de l' i^{e} taxon, n = nombre d'organismes	<i>Augmente</i>

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 et 1996) et sont complétées au besoin, surtout pour le niveau d'identification à la famille, par Hilsenhoff (1988). Les variables en gras composent l'ISB₉ ou ISB_{SurVol}.³ Enrichissement par la matière organique et les nutriments.⁴ n.d. : non disponible.

Annexe 5 a) Valeurs de l'ISB_{SurVol} et des six variables standardisées (échelle de 0 à 100) qui le composent; b) Valeurs brutes des six variables de l'ISB_{SurVol} (données rarifiées à 200)

a)

Rivière	Date	Numéro station BQMA	Station benthos	PK	ISB _{SurVol}	Nombre de taxons	Nombre de taxons EPT	Pourcentage de EPT excluant Hydropsychidae	Pourcentage de Chironomidae	Pourcentage de deux taxons dominants	Indice de Hilsenhoff
Valeurs standardisées											
CHAUDIÈRE	2013-09-19	02340237	CHAU1,0	1	58,6	77,3	38,5	11,7	82,9	86,2	55,09
CHAUDIÈRE	2013-09-20	02340238	CHAU1,8	1,8	45,6	63,6	23,1	24,1	57,9	58,7	46,48
CHAUDIÈRE	2013-09-26	02340239	CHAU2,3	2,3	57,6	77,3	38,5	35,4	67,4	72,1	54,81
CHAUDIÈRE	2013-09-26	02340240	CHAU7,5	7,5	64,8	68,2	23,1	46,6	88,2	91,7	71,16
CHAUDIÈRE	2013-09-19	02340241	CHAU21,5	21,5	66,8	90,9	53,8	33,5	83,6	78,0	60,69
CHAUDIÈRE	2013-09-20	02340242	CHAU26,0	26	65,1	81,8	53,8	26,2	82,4	81,0	65,14
CHAUDIÈRE	2013-09-26	02340243	CHAU39	39	75,1	81,8	46,2	64,5	92,0	88,6	77,91
NEBNELLIS	2013-09-23	02340244	NEBN01	-	91,5	81,8	84,6	93,7	92,5	99,6	96,70
SAMSON	2013-09-23	02340245	SAMS01	-	93,3	100,0	100,0	81,3	89,2	100,0	89,53
CHAUDIÈRE	2013-10-17	02340237	CHAU1,0	1	43,0	59,1	15,4	3,4	90,3	51,7	38,02
CHAUDIÈRE	2013-10-17	02340238	CHAU1,8	1,8	55,0	86,4	38,5	23,0	75,0	59,3	47,92
CHAUDIÈRE	2013-10-17	02340239	CHAU2,3	2,3	56,2	68,2	46,2	24,8	78,2	72,8	47,06
CHAUDIÈRE	2013-10-16	02340240	CHAU7,5	7,5	59,2	72,7	38,5	26,0	88,2	74,6	55,09
CHAUDIÈRE	2013-10-16	02340241	CHAU21,5	21,5	52,6	72,7	46,2	13,8	90,2	47,5	45,34
CHAUDIÈRE	2013-10-16	02340242	CHAU26,0	26	63,2	81,8	53,8	16,4	84,6	85,0	57,68
CHAUDIÈRE	2013-10-15	02340243	CHAU39	39	46,6	54,5	30,8	15,2	100,0	35,7	43,47
NEBNELLIS	2013-10-15	02340244	NEBN01	-	76,9	77,3	84,6	81,8	70,7	66,9	80,20
SAMSON	2013-10-15	02340245	SAMS01	-	89,8	90,9	100,0	82,9	88,2	81,3	95,27
CHAUDIÈRE	2014-09-02	02340237	CHAU1,0	1	56,7	63,6	38,5	17,8	96,5	51,0	72,74
CHAUDIÈRE	2014-09-02	02340238	CHAU1,8	1,8	69,0	81,8	53,8	29,6	97,0	81,0	71,02
CHAUDIÈRE	2014-09-02	02340239	CHAU2,3	2,3	74,7	90,9	61,5	38,6	92,8	98,8	65,85
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340268	CHAU4,0	4	74,4	81,8	69,2	46,1	97,0	78,0	74,03
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340080	CHAU5,0	5	82,2	90,9	76,9	60,3	94,5	90,8	79,91
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340240	CHAU7,5	7,5	86,7	100,0	84,6	62,7	97,0	96,6	79,48
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340269	CHAU10,5	10,5	82,2	90,9	69,2	63,4	92,3	92,1	85,22
CHAUDIÈRE	2014-09-04	02340267	CHAU14,5	14,5	81,7	90,9	84,6	57,6	93,4	85,7	77,91
CHAUDIÈRE	2014-09-04	02340241	CHAU21,5	21,5	81,7	90,9	76,9	58,0	95,5	92,7	76,18
CHAUDIÈRE	2014-09-08	02340242	CHAU26,0	26	81,8	81,8	76,9	61,0	97,0	85,7	88,24
CHAUDIÈRE	2014-09-08	02340078	CHAU30,5	30,5	87,5	100,0	84,6	71,6	99,1	75,0	94,69
CHAUDIÈRE	2014-09-08	02340243	CHAU39	39	72,4	77,3	61,5	47,8	96,0	66,9	84,94
CHAUDIÈRE	2014-09-09	02340074	CHAU56,7	56,7	83,0	86,4	69,2	76,0	98,0	74,0	94,12
CHAUDIÈRE	2014-09-09	02340073	CHAU66,7	66,7	75,1	81,8	69,2	52,5	98,1	63,3	85,94
CHAUDIÈRE	2014-09-09	02340072	CHAU75,0	75	84,2	95,5	92,3	60,1	90,0	85,3	82,35
NEBNELLIS	2014-09-04	02340244	NEBN01	-	85,4	86,4	100,0	65,8	89,3	83,5	87,66
SAMSON	2014-09-05	02340245	SAMS01	-	87,1	100,0	100,0	59,2	85,5	97,3	80,63
CHAUDIÈRE	2015-09-08	02340237	CHAU1,0	1	66,0	72,7	46,2	36,1	96,0	68,4	76,61
CHAUDIÈRE	2015-09-08	02340238	CHAU1,8	1,8	69,8	63,6	46,2	59,4	100,0	57,4	92,11
CHAUDIÈRE	2015-09-08	02340239	CHAU2,3	2,3	71,5	72,7	61,5	47,9	98,6	73,6	74,75
CHAUDIÈRE	2015-09-09	02340268	CHAU4,0	4	74,7	72,7	69,2	61,0	99,1	54,7	91,54
CHAUDIÈRE	2015-09-09	02340080	CHAU5,0	5	77,2	72,7	76,9	68,6	100,0	51,0	94,12
CHAUDIÈRE	2015-09-09	02340240	CHAU7,5	7,5	80,6	68,2	69,2	74,4	100,0	75,0	96,99
CHAUDIÈRE	2015-09-09	02340269	CHAU10,5	10,5	84,0	86,4	76,9	71,2	95,4	88,0	86,08
CHAUDIÈRE	2015-09-10	02340267	CHAU14,5	14,5	82,8	77,3	84,6	74,0	98,1	69,5	93,11
CHAUDIÈRE	2015-09-10	02340241	CHAU21,5	21,5	89,3	81,8	84,6	83,2	99,6	94,9	91,39
CHAUDIÈRE	2015-09-11	02340242	CHAU26,0	26	85,6	86,4	84,6	65,4	98,0	89,2	90,10
CHAUDIÈRE	2015-09-11	02340078	CHAU30,5	30,5	82,9	77,3	69,2	84,0	100,0	75,8	90,96
CHAUDIÈRE	2015-09-14	02340243	CHAU39	39	73,3	72,7	61,5	54,4	99,1	60,2	92,11
CHAUDIÈRE	2015-09-14	02340074	CHAU56,7	56,7	78,5	95,5	92,3	37,2	96,5	68,4	81,49
CHAUDIÈRE	2015-09-22	02340073	CHAU66,7	66,7	84,8	100,0	100,0	54,4	92,3	73,6	88,67
CHAUDIÈRE	2015-09-22	02340072	CHAU75,0	75	74,0	86,4	76,9	47,2	82,5	75,3	75,75
NEBNELLIS	2015-09-10	02340244	NEBN01	-	75,2	86,4	100,0	46,1	81,9	56,5	80,63
SAMSON	2015-09-22	02340245	SAMS01	-	84,4	90,9	100,0	59,4	90,8	79,5	85,94

Annexe 5 a) Valeurs de l'ISB_{SurVol} et des six variables standardisées (échelle de 0 à 100) qui le composent; b) Valeurs brutes des six variables de l'ISB_{SurVol} (données rarifiées à 200) (suite)

b)

Rivière	Date	Numéro station BQMA	Station benthos	PK	Nombre total de taxons	Nombre de taxons EPT	Pourcentage de EPT excluant Hydropsychidae	Pourcentage de Chironomidae	Pourcentage de deux taxons dominants	Indice de Hilsenhoff
Valeurs brutes										
CHAUDIÈRE	2013-09-19	02340237	CHAU1,0	1	17	5	8,5	20,5	42,0	6,16
CHAUDIÈRE	2013-09-20	02340238	CHAU1,8	1,8	14	3	17,5	44,5	60,5	6,76
CHAUDIÈRE	2013-09-26	02340239	CHAU2,3	2,3	17	5	25,7	35,4	51,5	6,18
CHAUDIÈRE	2013-09-26	02340240	CHAU7,5	7,5	15	3	33,8	15,4	38,3	5,04
CHAUDIÈRE	2013-09-19	02340241	CHAU21,5	21,5	20	7	24,3	19,8	47,5	5,77
CHAUDIÈRE	2013-09-20	02340242	CHAU26,0	26	18	7	19,0	21,0	45,5	5,46
CHAUDIÈRE	2013-09-26	02340243	CHAU39	39	18	6	46,8	11,8	40,4	4,57
NEBNELLIS	2013-09-23	02340244	NEBN01	-	18	11	68,0	11,3	33,0	3,26
SAMSON	2013-09-23	02340245	SAMS01	-	27	16	59,0	14,5	29,0	3,76
CHAUDIÈRE	2013-10-17	02340237	CHAU1,0	1	13	2	2,5	13,4	65,2	7,35
CHAUDIÈRE	2013-10-17	02340238	CHAU1,8	1,8	19	5	16,7	28,1	60,1	6,66
CHAUDIÈRE	2013-10-17	02340239	CHAU2,3	2,3	15	6	18,0	25,0	51,0	6,72
CHAUDIÈRE	2013-10-16	02340240	CHAU7,5	7,5	16	5	18,9	15,4	49,8	6,16
CHAUDIÈRE	2013-10-16	02340241	CHAU21,5	21,5	16	6	10,0	13,5	68,0	6,84
CHAUDIÈRE	2013-10-16	02340242	CHAU26,0	26	18	7	11,9	18,9	42,8	5,98
CHAUDIÈRE	2013-10-15	02340243	CHAU39	39	12	4	11,0	2,5	76,0	6,97
NEBNELLIS	2013-10-15	02340244	NEBN01	-	17	11	59,4	32,2	55,0	4,41
SAMSON	2013-10-15	02340245	SAMS01	-	20	13	60,2	15,4	45,3	3,36
CHAUDIÈRE	2014-09-02	02340237	CHAU1,0	1	14	5	12,9	7,5	65,7	4,93
CHAUDIÈRE	2014-09-02	02340238	CHAU1,8	1,8	18	7	21,5	7,0	45,5	5,05
CHAUDIÈRE	2014-09-02	02340239	CHAU2,3	2,3	20	8	28,0	11,0	33,5	5,41
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340268	CHAU4,0	4	18	9	33,5	7,0	47,5	4,84
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340080	CHAU5,0	5	20	10	43,8	9,4	38,9	4,43
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340240	CHAU7,5	7,5	22	11	45,5	7,0	35,0	4,46
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340269	CHAU10,5	10,5	20	9	46,0	11,5	38,0	4,06
CHAUDIÈRE	2014-09-04	02340267	CHAU14,5	14,5	20	11	41,8	10,4	42,3	4,57
CHAUDIÈRE	2014-09-04	02340241	CHAU21,5	21,5	20	10	42,1	8,4	37,6	4,69
CHAUDIÈRE	2014-09-08	02340242	CHAU26,0	26	18	10	44,3	7,0	42,3	3,85
CHAUDIÈRE	2014-09-08	02340078	CHAU30,5	30,5	22	11	52,0	5,0	49,5	3,40
CHAUDIÈRE	2014-09-08	02340243	CHAU39	39	17	8	34,7	7,9	55,0	4,08
CHAUDIÈRE	2014-09-09	02340074	CHAU56,7	56,7	19	9	55,2	6,0	50,2	3,44
CHAUDIÈRE	2014-09-09	02340073	CHAU66,7	66,7	18	9	38,1	5,9	57,4	4,01
CHAUDIÈRE	2014-09-09	02340072	CHAU75,0	75	21	12	43,6	13,7	42,6	4,26
NEBNELLIS	2014-09-04	02340244	NEBN01	-	19	14	47,8	14,4	43,8	3,89
SAMSON	2014-09-05	02340245	SAMS01	-	23	14	43,0	18,0	34,5	4,38
CHAUDIÈRE	2015-09-08	02340237	CHAU1,0	1	16	6	26,2	7,9	54,0	4,66
CHAUDIÈRE	2015-09-08	02340238	CHAU1,8	1,8	14	6	43,1	2,0	61,4	3,58
CHAUDIÈRE	2015-09-08	02340239	CHAU2,3	2,3	16	8	34,8	5,4	50,5	4,79
CHAUDIÈRE	2015-09-09	02340268	CHAU4,0	4	16	9	44,3	5,0	63,2	3,62
CHAUDIÈRE	2015-09-09	02340080	CHAU5,0	5	16	10	49,8	1,0	65,7	3,44
CHAUDIÈRE	2015-09-09	02340240	CHAU7,5	7,5	15	9	54,0	2,5	49,5	3,24
CHAUDIÈRE	2015-09-09	02340269	CHAU10,5	10,5	19	10	51,7	8,5	40,8	4,00
CHAUDIÈRE	2015-09-10	02340267	CHAU14,5	14,5	17	11	53,7	5,9	53,2	3,51
CHAUDIÈRE	2015-09-10	02340241	CHAU21,5	21,5	18	11	60,4	4,5	36,1	3,63
CHAUDIÈRE	2015-09-11	02340242	CHAU26,0	26	19	11	47,5	6,0	40,0	3,72
CHAUDIÈRE	2015-09-11	02340078	CHAU30,5	30,5	17	9	61,0	2,5	49,0	3,66
CHAUDIÈRE	2015-09-14	02340243	CHAU39	39	16	8	39,5	5,0	59,5	3,58
CHAUDIÈRE	2015-09-14	02340074	CHAU56,7	56,7	21	12	27,0	7,5	54,0	4,32
CHAUDIÈRE	2015-09-22	02340073	CHAU66,7	66,7	22	13	39,5	11,5	50,5	3,82
CHAUDIÈRE	2015-09-22	02340072	CHAU75,0	75	19	10	34,3	20,9	49,3	4,72
NEBNELLIS	2015-09-10	02340244	NEBN01	-	19	13	33,5	21,5	62,0	4,38
SAMSON	2015-09-22	02340245	SAMS01	-	20	13	43,1	12,9	46,5	4,01

Annexe 6 Valeurs des variables de communautés (données de la matrice rarifiée à 200 organismes de SurVol benthos)

Rivière	Date	Station	StatBio	Km	Nombre de taxons éphéméroptères		Nombre de taxons plécoptères		Nombre de taxons trichoptères		%Éphéméroptères	%plécoptères	%Trichoptères	%EPT	%Insectes	%Hydropsychidae	%Crustacés
					NTEPH	NTPLE	NTTRI	PEPH	PPEC	PTRICH	PEPT	PINS	PHYDR	PCRUST			
CHAUDIÈRE	2013-09-19	02340237	CHAU1,0	1	2	0	3	7	0	9,5	16,5	42,5	8	2			
CHAUDIÈRE	2013-09-20	02340238	CHAU1,8	1,8	2	0	1	17,5	0	2	19,5	66,5	2	7,5			
CHAUDIÈRE	2013-09-26	02340239	CHAU2,3	2,3	2	0	3	19,4	0	6,3	25,7	63,6	0	3,4			
CHAUDIÈRE	2013-09-26	02340240	CHAU7,5	7,5	2	0	1	33,8	0	0,5	34,3	58,7	0,5	2,5			
CHAUDIÈRE	2013-09-19	02340241	CHAU21,5	21,5	3	2	2	19,3	1,5	3,5	24,3	62,9	0	0,5			
CHAUDIÈRE	2013-09-20	02340242	CHAU26,0	26	3	1	3	16	0,5	4	20,5	72	1,5	0,5			
CHAUDIÈRE	2013-09-26	02340243	CHAU39	39	3	2	1	45,8	1	3,4	50,2	73,9	3,4	4,4			
NEBNELLIS	2013-09-23	02340244	NEBN01	-	5	1	5	47,3	5,4	17,2	70	97	2	0			
SAMSON	2013-09-23	02340245	SAMS01	-	7	2	7	36,5	4,5	27,5	68,5	93	9,5	0			
CHAUDIÈRE	2013-10-17	02340237	CHAU1,0	1	1	0	1	2,5	0	2	4,5	18,4	2	51,7			
CHAUDIÈRE	2013-10-17	02340238	CHAU1,8	1,8	2	0	3	12,3	0	4,4	16,7	46,3	0	9,4			
CHAUDIÈRE	2013-10-17	02340239	CHAU2,3	2,3	2	0	4	8,5	0	9,5	18	44	0	18			
CHAUDIÈRE	2013-10-16	02340240	CHAU7,5	7,5	2	0	3	14,9	0	4	18,9	39,3	0	7,5			
CHAUDIÈRE	2013-10-16	02340241	CHAU21,5	21,5	3	2	1	8,5	1,5	1	11	34,5	1	6			
CHAUDIÈRE	2013-10-16	02340242	CHAU26,0	26	3	2	2	9	2,5	3,5	14,9	50,2	3	1,5			
CHAUDIÈRE	2013-10-15	02340243	CHAU39	39	3	0	1	11	0	2,5	13,5	18,5	2,5	68,5			
NEBNELLIS	2013-10-15	02340244	NEBN01	-	4	2	5	47	6,9	8,9	62,9	98,5	3,5	0			
SAMSON	2013-10-15	02340245	SAMS01	-	6	2	5	49,8	6	10,9	66,7	95	6,5	0			
CHAUDIÈRE	2014-09-02	02340237	CHAU1,0	1	3	0	2	7,5	0	63,2	70,6	82,1	57,7	6			
CHAUDIÈRE	2014-09-02	02340238	CHAU1,8	1,8	4	1	2	19	0,5	36	55,5	65	34	13,5			
CHAUDIÈRE	2014-09-02	02340239	CHAU2,3	2,3	3	1	4	17,5	2,5	26	46	61,5	18	8			
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340268	CHAU4,0	4	4	1	4	26,5	3,5	26,5	56,5	65	23	0,5			
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340080	CHAU5,0	5	4	1	5	36	4,9	17,7	58,6	72,4	14,8	1			
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340240	CHAU7,5	7,5	5	1	5	35,5	5	21,5	62	71,5	16,5	1			
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340269	CHAU10,5	10,5	3	1	5	30	5	34,5	69,5	89	23,5	0			
CHAUDIÈRE	2014-09-04	02340267	CHAU14,5	14,5	5	1	5	29,4	2	36,3	67,7	80,6	25,9	0			
CHAUDIÈRE	2014-09-04	02340241	CHAU21,5	21,5	4	2	4	35,1	2	18,3	55,4	68,8	13,4	0			
CHAUDIÈRE	2014-09-08	02340242	CHAU26,0	26	5	0	5	40,3	0	22,9	63,2	79,6	18,9	0			
CHAUDIÈRE	2014-09-08	02340078	CHAU30,5	30,5	6	1	4	48,5	0,5	22,3	71,3	86,1	19,3	0			
CHAUDIÈRE	2014-09-08	02340243	CHAU39	39	4	1	3	29,2	2	44,1	75,2	86,6	40,6	0			
CHAUDIÈRE	2014-09-09	02340074	CHAU56,7	56,7	4	2	3	51,2	1,5	30,8	83,6	93	28,4	0			
CHAUDIÈRE	2014-09-09	02340073	CHAU66,7	66,7	5	1	3	35,1	1,5	44,6	81,2	93,1	43,1	0			
CHAUDIÈRE	2014-09-09	02340072	CHAU75,0	75	5	1	6	36,3	1	35,3	72,5	91,7	28,9	0			
NEBNELLIS	2014-09-04	02340244	NEBN01	-	5	2	7	26,4	6,5	44,3	77,1	100	29,4	0			
SAMSON	2014-09-05	02340245	SAMS01	-	6	1	7	15,5	0,5	43,5	59,5	91	16,5	0			
CHAUDIÈRE	2015-09-08	02340237	CHAU1,0	1	2	1	3	16,3	0,5	52	68,8	80,7	42,6	2,5			
CHAUDIÈRE	2015-09-08	02340238	CHAU1,8	1,8	3	0	3	38,6	0	45	83,7	87,1	40,6	0			
CHAUDIÈRE	2015-09-08	02340239	CHAU2,3	2,3	3	0	5	27	0	35,3	62,3	70,1	27,5	1			
CHAUDIÈRE	2015-09-09	02340268	CHAU4,0	4	4	1	4	38,8	1,5	42,8	83,1	90,5	38,8	0			
CHAUDIÈRE	2015-09-09	02340080	CHAU5,0	5	3	2	5	44,8	2,5	38,3	85,6	88,6	35,8	0			
CHAUDIÈRE	2015-09-09	02340240	CHAU7,5	7,5	4	2	3	42,5	4,5	37	84	90	30	0			
CHAUDIÈRE	2015-09-09	02340269	CHAU10,5	10,5	4	2	4	39,8	1,5	21,4	62,7	73,6	10,9	0			
CHAUDIÈRE	2015-09-10	02340267	CHAU14,5	14,5	5	1	5	40,9	3,9	42,4	87,2	94,1	33,5	0			
CHAUDIÈRE	2015-09-10	02340241	CHAU21,5	21,5	5	2	4	46,5	2,5	32,2	81,2	91,1	20,8	0			
CHAUDIÈRE	2015-09-11	02340242	CHAU26,0	26	5	1	5	34,5	1,5	38,5	74,5	89	27	0			
CHAUDIÈRE	2015-09-11	02340078	CHAU30,5	30,5	5	0	4	49,5	0	35,5	85	94,5	24	0			
CHAUDIÈRE	2015-09-14	02340243	CHAU39	39	4	1	3	35	2	38,5	75,5	90,5	36	0			
CHAUDIÈRE	2015-09-14	02340074	CHAU56,7	56,7	6	1	5	18	1	54,5	73,5	90	46,5	0			
CHAUDIÈRE	2015-09-22	02340073	CHAU66,7	66,7	4	2	7	22	1,5	54	77,5	97,5	38	0			
CHAUDIÈRE	2015-09-22	02340072	CHAU75,0	75	4	1	5	16,4	0,5	45,8	62,7	93	28,4	0			
NEBNELLIS	2015-09-10	02340244	NEBN01	-	5	2	6	22	4,5	47,5	74	99	40,5	0			
SAMSON	2015-09-22	02340245	SAMS01	-	5	2	6	29,2	4	43,1	76,2	96	33,2	0			

Annexe 6 Valeurs des variables de communautés (données de la matrice rarifiée à 200 organismes de SurVol benthos) (suite)

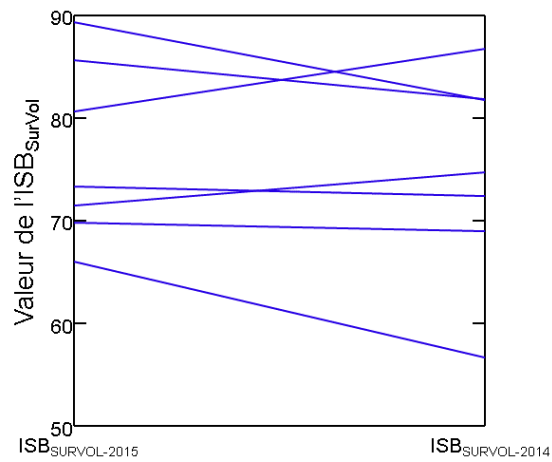
Rivière	Date	Station	StatBio	Km	% Non-insectes				Taxon dominant	% Un taxon dominant	Deux taxons dominants		% Tolérants	% Intolérants	% taxons Tolérants	% taxons Intolérants
					% Oligochètes	% Gastéropodes	% Mollusques	% Non-insectes			PTDI	PTOL				
					POLIGO	PGAST	PMOLLUS	PNONINSECT			PTOL	PINTO	PTTOL	PTINTO		
CHAUDIÈRE	2013-09-19	02340237	CHAU1.0	1	15,5	8,5	9	57,5	NEMERTEA	21,5	NEMERTEA, CHIRONOMIDAE	38	7	17,6	11,8	
CHAUDIÈRE	2013-09-20	02340238	CHAU1.8	1,8	16	6	6	33,5	CHIRONOMIDAE	44,5	CHIRONOMIDAE, OLIGOCHAETA	73,5	17,5	42,9	14,3	
CHAUDIÈRE	2013-09-26	02340239	CHAU2.3	2,3	13,1	17,5	17,5	36,4	CHIRONOMIDAE	35,4	CHIRONOMIDAE, ANCYLIDAE	51,9	19,9	17,6	17,6	
CHAUDIÈRE	2013-09-26	02340240	CHAU7.5	7,5	9	22,4	22,4	41,3	ANCYLIDAE	20,4	ANCYLIDAE, GROUPE 1.2	27,4	33,8	26,7	13,3	
CHAUDIÈRE	2013-09-19	02340241	CHAU21.5	21,5	27,7	5,4	5,9	37,1	OLIGOCHAETA	27,7	OLIGOCHAETA, CHIRONOMIDAE	48,5	18,3	20	20	
CHAUDIÈRE	2013-09-20	02340242	CHAU26.0	26	18,5	7,5	7,5	28	ELMIDAE, LUTROCHUS	24,5	ELMIDAE, LUTROCHUS, CHIRONOMIDAE	40	17	16,7	22,2	
CHAUDIÈRE	2013-09-26	02340243	CHAU39	39	11,3	4,4	4,4	26,1	GROUPE 1.2	23,6	GROUPE 1.2 et EPHEMERELLIDAE	28,1	42,9	22,2	27,8	
NEBNELLIS	2013-09-23	02340244	NEBN01	-	0	0	0	3	EPHEMERELLIDAE	19,2	EPHEMERELLIDAE, HEPTAGENIIDAE	11,3	58,1	5,6	44,4	
SAMSON	2013-09-23	02340245	SAMS01	-	0,5	0	0,5	7	HEPTAGENIIDAE	14,5	HEPTAGENIIDAE, CHIRONOMIDAE	15	42,5	7,4	37	
CHAUDIÈRE	2013-10-17	02340237	CHAU1.0	1	11,4	4	4	81,6	CLADOCERA	51,7	CLADOCERA, CHIRONOMIDAE	77,1	2,5	30,8	7,7	
CHAUDIÈRE	2013-10-17	02340238	CHAU1.8	1,8	32	5,9	6,4	53,7	OLIGOCHAETA	32	OLIGOCHAETA, CHIRONOMIDAE	74,4	13,8	31,6	15,8	
CHAUDIÈRE	2013-10-17	02340239	CHAU2.3	2,3	26	8,5	8,5	56	OLIGOCHAETA	26	OLIGOCHAETA, CHIRONOMIDAE	69	11,5	20	33,3	
CHAUDIÈRE	2013-10-16	02340240	CHAU7.5	7,5	30,3	20,9	20,9	60,7	OLIGOCHAETA	30,3	OLIGOCHAETA, ANCYLIDAE	54,7	18,9	25	31,2	
CHAUDIÈRE	2013-10-16	02340241	CHAU21.5	21,5	54,5	3,5	3,5	65,5	OLIGOCHAETA	54,5	OLIGOCHAETA, CHIRONOMIDAE	74	9,5	18,8	25	
CHAUDIÈRE	2013-10-16	02340242	CHAU26.0	26	23,9	18,4	18,4	49,8	OLIGOCHAETA	23,9	OLIGOCHAETA, CHIRONOMIDAE	44,3	10,4	16,7	22,2	
CHAUDIÈRE	2013-10-15	02340243	CHAU39	39	5,5	4	4	81,5	CLADOCERA	68,5	CLADOCERA, EPHEMERELLIDAE	76,5	9,5	25	25	
NEBNELLIS	2013-10-15	02340244	NEBN01	-	0,5	0	0	1,5	CHIRONOMIDAE	32,2	CHIRONOMIDAE, HEPTAGENIIDAE	32,7	36,1	11,8	47,1	
SAMSON	2013-10-15	02340245	SAMS01	-	0	0	0	5	EPHEMERELLIDAE	29,9	EPHEMERELLIDAE, CHIRONOMIDAE	15,4	56,2	5	45	
CHAUDIÈRE	2014-09-02	02340237	CHAU1.0	1	8	3,5	3,5	17,9	HYDROPSYCHIDAE	57,7	HYDROPSYCHIDAE, OLIGOCHAETA	24,9	7	42,9	14,3	
CHAUDIÈRE	2014-09-02	02340238	CHAU1.8	1,8	5,5	13	13	35	HYDROPSYCHIDAE	34	HYDROPSYCHIDAE, CLADOCERA	30	18,5	38,9	22,2	
CHAUDIÈRE	2014-09-02	02340239	CHAU2.3	2,3	15,5	13	13	38,5	HYDROPSYCHIDAE	18	HYDROPSYCHIDAE, OLIGOCHAETA	39,5	21	30	25	
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340268	CHAU4.0	4	10,5	20,5	21	35	GROUPE 1.2	24,5	GROUPE 1.2, HYDROPSYCHIDAE	20,5	30	22,2	27,8	
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340080	CHAU5.0	5	9,4	16,3	16,3	27,6	GROUPE 1.2	23,2	GROUPE 1.2, ANCYLIDAE	20,2	41,4	20	40	
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340240	CHAU7.5	7,5	16,5	10	10	28,5	GROUPE 1.2	18,5	GROUPE 1.2, (HYDROPSYCHIDAE, OLIGOCHAETA)	26	39,5	22,7	31,8	
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340269	CHAU10.5	10,5	3,5	6	6	11	HYDROPSYCHIDAE	23,5	HYDROPSYCHIDAE, EPHEMERELLIDAE	17,5	35,5	15	30	
CHAUDIÈRE	2014-09-04	02340267	CHAU14.5	14,5	14,9	3	3	19,4	HYDROPSYCHIDAE	25,9	HYDROPSYCHIDAE, GROUPE 1.2	25,4	29,9	10	35	
CHAUDIÈRE	2014-09-04	02340241	CHAU21.5	21,5	21,8	5,9	5,9	31,2	OLIGOCHAETA	21,8	OLIGOCHAETA, EPHEMERELLIDAE	30,2	31,7	10	35	
CHAUDIÈRE	2014-09-08	02340242	CHAU26.0	26	3,5	16,4	16,4	20,4	EPHEMERELLIDAE	23,4	EPHEMERELLIDAE, HYDROPSYCHIDAE	10,4	36,3	11,1	33,3	
CHAUDIÈRE	2014-09-08	02340078	CHAU30.5	30,5	2,5	7,9	8,4	13,9	EPHEMERELLIDAE	30,2	EPHEMERELLIDAE, HYDROPSYCHIDAE	7,4	46,5	9,1	31,8	
CHAUDIÈRE	2014-09-08	02340243	CHAU39	39	5,9	4,5	4,5	13,4	HYDROPSYCHIDAE	40,6	HYDROPSYCHIDAE, EPHEMERELLIDAE	13,9	28,7	11,8	29,4	
CHAUDIÈRE	2014-09-09	02340074	CHAU56.7	56,7	2	1,5	1,5	7	HYDROPSYCHIDAE	28,4	HYDROPSYCHIDAE, EPHEMERELLIDAE	8	44,8	10,5	36,8	
CHAUDIÈRE	2014-09-09	02340073	CHAU66.7	66,7	2	3,5	4	6,9	HYDROPSYCHIDAE	43,1	HYDROPSYCHIDAE, HEPTAGENIIDAE	7,9	23,8	11,1	38,9	
CHAUDIÈRE	2014-09-09	02340072	CHAU75.0	75	1,5	3,4	3,4	8,3	HYDROPSYCHIDAE	28,9	HYDROPSYCHIDAE, (HEPTAGENIIDAE, CHIRONOMIDAE)	15,2	27	9,5	42,9	
NEBNELLIS	2014-09-04	02340244	NEBN01	-	0	0	0	0	HYDROPSYCHIDAE	29,4	HYDROPSYCHIDAE, CHIRONOMIDAE	14,4	36,3	5,3	57,9	
SAMSON	2014-09-05	02340245	SAMS01	-	2	0	0	9	CHIRONOMIDAE	18	CHIRONOMIDAE, HYDROPSYCHIDAE	20	37,5	8,7	39,1	
CHAUDIÈRE	2015-09-08	02340237	CHAU1.0	1	10,9	3	3	19,3	HYDROPSYCHIDAE	42,6	HYDROPSYCHIDAE, GROUPE 1.2	24,3	20,8	37,5	25	
CHAUDIÈRE	2015-09-08	02340238	CHAU1.8	1,8	5,9	5,4	5,4	12,9	HYDROPSYCHIDAE	40,6	HYDROPSYCHIDAE, EPHEMERELLIDAE	10,4	41,6	21,4	28,6	
CHAUDIÈRE	2015-09-08	02340239	CHAU2.3	2,3	23	5,4	5,9	29,9	HYDROPSYCHIDAE	27,5	HYDROPSYCHIDAE, OLIGOCHAETA	29,4	29,9	18,8	31,2	
CHAUDIÈRE	2015-09-09	02340268	CHAU4.0	4	1	8	8	9,5	HYDROPSYCHIDAE	38,8	HYDROPSYCHIDAE, GROUPE 1.2	6	42,8	12,5	43,8	
CHAUDIÈRE	2015-09-09	02340080	CHAU5.0	5	1	10,4	10,4	11,4	HYDROPSYCHIDAE	35,8	HYDROPSYCHIDAE, GROUPE 1.2	2	48,8	12,5	50	
CHAUDIÈRE	2015-09-09	02340240	CHAU7.5	7,5	1,5	8,5	8,5	10	HYDROPSYCHIDAE	30	HYDROPSYCHIDAE, GROUPE 1.2	4	49,5	13,3	46,7	
CHAUDIÈRE	2015-09-09	02340269	CHAU10.5	10,5	4	21,9	21,9	26,4	EPHEMERELLIDAE	20,4	EPHEMERELLIDAE, ANCYLIDAE	13,9	40,8	15,8	42,1	
CHAUDIÈRE	2015-09-10	02340267	CHAU14.5	14,5	1	3,9	3,9	5,9	HYDROPSYCHIDAE	33,5	HYDROPSYCHIDAE, GROUPE 1.2	6,9	42,4	11,8	47,1	
CHAUDIÈRE	2015-09-10	02340241	CHAU21.5	21,5	2	6,4	6,4	8,9	HYDROPSYCHIDAE	20,8	HYDROPSYCHIDAE, GROUPE 1.2	6,4	38,6	11,1	44,4	
CHAUDIÈRE	2015-09-11	02340242	CHAU26.0	26	0,5	8,5	8,5	11	HYDROPSYCHIDAE	27	HYDROPSYCHIDAE, HEPTAGENIIDAE	6,5	30	10,5	47,4	
CHAUDIÈRE	2015-09-11	02340078	CHAU30.5	30,5	1	4,5	4,5	5,5	HEPTAGENIIDAE	25	HEPTAGENIIDAE, HYDROPSYCHIDAE	3,5	27	11,8	41,2	
CHAUDIÈRE	2015-09-14	02340243	CHAU39	39	3	6	6	9,5	HYDROPSYCHIDAE	36	HYDROPSYCHIDAE, EPHEMERELLIDAE	8	33,5	12,5	37,5	
CHAUDIÈRE	2015-09-14	02340074	CHAU56.7	56,7	7	2	2	10	HYDROPSYCHIDAE	46,5	HYDROPSYCHIDAE, CHIRONOMIDAE	14,5	16	9,5	33,3	
CHAUDIÈRE	2015-09-22	02340073	CHAU66.7	66,7	1	1	1	2,5	HYDROPSYCHIDAE	38	HYDROPSYCHIDAE, EPHEMERELLIDAE	12,5	25,5	9,1	40,9	
CHAUDIÈRE	2015-09-22	02340072	CHAU75.0	75	2,5	3,5	3,5	7	HYDROPSYCHIDAE	28,4	HYDROPSYCHIDAE, CHIRONOMIDAE	23,4	15,9	10,5	31,6	
NEBNELLIS	2015-09-10	02340244	NEBN01	-	1	0	0	1	HYDROPSYCHIDAE	40,5	HYDROPSYCHIDAE, CHIRONOMIDAE	22,5	24	10,5	57,9	
SAMSON	2015-09-22	02340245	SAMS01	-	0,5	0	0	4	HYDROPSYCHIDAE	33,2	HYDROPSYCHIDAE, HEPTAGENIIDAE	13,4	27,7	10	45	

Note : Groupe 1.2 (Ameletidae, Baetidae, Siphonuridae, Metretopodidae)

Annexe 7 Valeurs de signification permettant d'évaluer l'effet des perturbations reliées au déversement de pétrole sur les variables de communautés (stations de la rivière Chaudière entre les périodes d'échantillonnage)

	Différence moyenne	t	Degré de liberté	Test t apparié Valeur de p
ISB _{SuVol} 2013/septembre	8,257	1,779	6	0,126
ISB _{SuVol} 2013/octobre				
ISB _{SuVol} 2013/septembre	-12,771	-3,152	6	0,020
ISB _{SuVol} 2014				
ISB _{SuVol} 2013/octobre	-21,029	-8,703	6	0,000
ISB _{SuVol} 2014				
ISB _{SuVol} 2013/septembre	-14,643	-4,193	6	0,006
ISB _{SuVol} 2015				
ISB _{SuVol} 2013/octobre	-22,9	-8,16	6	0,000
ISB _{SuVol} 2015				
ISB _{SuVol} 2014	-1,871	-0,896	6	0,405
ISB _{SuVol} 2015				

Test t pairé



Annexe 8 Identification visée pour les différents taxons – Niveau 1 (tiré de MDDEFP, 2013b)

#	Taxons	Identification	Tolérance
1	Éphéméroptère	Baetiscidae	3
2	Éphéméroptère	Groupe 1.1 (Ephemeraeidae, Polymitaeridae)	4*
3	Éphéméroptère	Potamanthidae	4
4	Éphéméroptère	Ephemerellidae	1
5	Éphéméroptère	Leptophlebiidae	2
6	Éphéméroptère	Caenidae	7
7	Éphéméroptère	Leptoehyphidae (anciennement Tricorythidae)	4
8	Éphéméroptère	Heptageniidae	4
9	Éphéméroptère	<i>Isonychiidae–Isonychia</i>	2
10	Éphéméroptère	Groupe 1.2 (Ameletidae, Baetidae, Siphonuridae, Metretopodidae)	3*
	Éphéméroptère	Éphéméroptère non identifié	3*
11	Trichoptère	Hydropsychidae	4
12	Trichoptère	Hydroptilidae	4
13	Trichoptère	Helicopsychidae	3
14	Trichoptère	Rhyacophilidae	0
15	Trichoptère	Groupe 2.1 (Philopotamidae, Polycentropodidae, Psychomyiidae, Dipseudopsidae)	4*
16	Trichoptère	Goeridae	3
17	Trichoptère	Leptoceridae	4
18	Trichoptère	Molannidae	6
19	Trichoptère	Groupe 2.2 (Limnephilidae, Apataniidae, Lepidostomatidae, Brachycentridae, Odontoceridae, Uenoidae)	2*
20	Trichoptère	Phryganeidae	4
21	Trichoptère	Glossosomatidae	0
	Trichoptère	Trichoptère non identifié	3*
22	Plécoptère	Peltoperlidae	0
23	Plécoptère	Pteronarcyidae	0
24	Plécoptère	Perlidae	1
25	Plécoptère	Groupe 3.1 (Capniidae, Chloroperlidae, Leuctridae, Nemouridae, Taeniopterygidae, Perlodidae)	1*
	Plécoptère	Plécoptère non identifié	1
26	Hémiptère	Corixidae	5
27	Hémiptère	Notonectidae	-
28	Hémiptère	Nepidae	-
29	Hémiptère	Naucoridae	-
30	Hémiptère	Belostomatidae	-
31	Hémiptère	Pleidae	-
32	Hémiptère	Géromorphe (Hydrometridae, Mesoveliidae, Veliidae, Gerridae, Saldidae)	p-a
	Hémiptère	Hémiptère non identifié	-
33	Mégaloptère	Sialidae- <i>Sialis</i>	4
34	Mégaloptère	Corydalidae	0
	Mégaloptère	Mégaloptère non identifié	2
35	Coléoptère (larve)	Psephenidae	4
36	Coléoptère (larve)	Elmidae, Lutrochidae- <i>Lutrochus</i>	4
37	Coléoptère (larve)	Haliplidae	5
38	Coléoptère (larve)	Gyrinidae	4
39	Coléoptère (larve)	Dytiscidae	5
40	Coléoptère (larve)	Hydrophiloidea (Hydrophilidae, Hydrochidae, Helophoridae)	5
	Coléoptère (larve)	Coléoptère (larve) non identifié	5

Annexe 8 Identification visée pour les différents taxons – Niveau 1 (tiré de MDDEFP, 2013b) (suite)

#	Taxons	Identification	Tolérance
41	Coléoptère (adulte)	Haliplidae	5
42	Coléoptère (adulte)	Gyrinidae	4
43	Coléoptère (adulte)	Curculionidae	5
44	Coléoptère (adulte)	Groupe 4.1 (Hydrophilidae, Dytiscidae, Noteridae)	5*
45	Coléoptère (adulte)	Groupe 4.2 (Elmidae, Dryopidae, Helophoridae, Hydrochidae)	5*
	Coléoptère (adulte)	Coléoptère (adulte) non identifié	5
46	Lépidoptère		5
47	Odonate	Zygoptera	7*
48	Odonate	Anisoptera	5
	Odonate	Odonate non identifié	5
49	Diptère	Chironomidae	8
50	Diptère	Ceratopogonidae	6
51	Diptère	Simuliidae	6
52	Diptère	Groupe 5.1 (Culicidae, Chaoboridae)	8
53	Diptère	Tipulidae (enpartie)	3
54	Diptère	Groupe 5.2 (Empididae, Athericidae- <i>Atherix</i>)	5
	Diptère	Diptère non identifié	5*
55	Tardigrade	Tardigrada	-
56	Hydracarien	Hydracarina	6
57	Planaire	Planaire	6
58	Némerte	Nemerta	6
59	Nématode	Nematoda	5
60	Annélide-Oligochète	Annelida–Oligochaeta	8
61	Sangsue	Sangsue	8
62	Isopode	Isopoda	8
63	Amphipode	Amphipoda	7
64	Décapode	Decapoda	6
65	Ostracode	Ostracoda	8
66	Cladocère	Cladocera	8
67	Copépode	Copepoda	8
68	Bivalve	Sphaeriidae	6
69	Bivalve	Dreissenidae (Moule zebra ou quagga)	8
70	Bivalve	Unionide (Margaritiferidae, Unionidae)	6
71	Gastéropode sans opercule	Planorbidae	6
72	Gastéropode sans opercule	Lymnaeidae	6
73	Gastéropode sans opercule	Physidae	8
74	Gastéropode sans opercule	Ancylidae	6
75	Gastéropode avec opercule	Prosobranche (Pleuroceridae, Hydrobiidae, Viviparidae, Bithyniidae)	7*

Les cotes de tolérance sont tirées de Hilsenhoff (1988) et complétées au besoin par Bode et collab. (2002) et Bode et collab.(1996).

* cote provisoire

p-a : aucun dénombrement, taxon indiqué en présence-absence



**Développement durable,
Environnement et Lutte
contre les changements
climatiques**

