



Tragédie ferroviaire de Lac-Mégantic



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

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 (MDDELCC). Elle s'inscrit dans le plan d'action du MDDELCC 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 communiquer avec le Centre d'information du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques.

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

Télécopieur : 418 646-5974
Courriel : info@mddelcc.gouv.qc.ca
Internet : www.mddelcc.gouv.qc.ca

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
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, 2016.
Tragédie ferroviaire de Lac-Mégantic – Évaluation de l'intégrité biotique des communautés de macroinvertébrés benthiques de la rivière Chaudière, automnes 2013 et 2014, 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, 31 p. + 9 ann.
ISBN 978-2-550-75636-1

Dépôt légal – 2016
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
ISBN 978-2-550-75636-1 (PDF)

Tous droits réservés pour tous les pays.

© Gouvernement du Québec – 2016

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Rédaction

Lyne Pelletier¹, biologiste, M. Sc
Julie Moisan¹, spécialiste en science physique

Échantillonnage

Guillaume Desrosiers¹
Julie Moisan¹
Lyne Pelletier¹

Laboratoire – taxonomie

Jean-Philippe Baillargeon¹
Guillaume Desrosiers¹
Julie Moisan¹
René Therreault¹

Révision scientifique

David Berryman¹, biologiste, M. Sc.
Mélanie Desrosiers², Ph. D., écotoxicologue
Jean-François Cloutier³, biologiste
Christian Nozais⁴, Ph. D., écologie benthique
Frédéric Dechamplain⁵, M. Sc.
Clément Lapierre⁶, ingénieur, M. Sc.

¹Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement.

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

³Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction régionale de l'analyse et de l'expertise de l'Estrie et de la Montérégie.

⁴Université du Québec à Rimouski, Département de biologie, chimie et géographie.

⁵Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Bureau de coordination des urgences.

⁶Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction régionale du Centre de contrôle environnemental de la Capitale-Nationale et de la Chaudière-Appalaches.

RÉSUMÉ

Le déversement de pétrole qui a eu lieu en juillet 2013 à Lac-Mégantic a touché la rivière Chaudière de plusieurs façons. En effet, près de 100 000 litres de pétrole ont atteint la rivière, l'égout sanitaire de la municipalité y a été déversé sans traitement préalable durant 10 jours, les berges et le littoral des 20 premiers kilomètres ont été perturbés par des activités de nettoyage et le débit du cours d'eau a varié de façon marquée et non naturelle, en fonction d'exigences de travaux.

Une première étude a été réalisée à l'automne 2013 sur l'impact du déversement de pétrole et des perturbations qui y sont associées sur les communautés de macroinvertébrés benthiques des tronçons de seuils et de plats courants. Les résultats de cette étude montraient que l'ensemble des perturbations liées au déversement de pétrole avait un impact important sur les communautés benthiques et que cet impact diminuait de l'amont vers l'aval de la rivière Chaudière, sur une distance d'environ 40 km (Grenier, 2014a).

La majorité des communautés de macroinvertébrés benthiques échantillonnées en 2014 dans la rivière Chaudière sont différentes de celles échantillonnées en 2013. Les diverses analyses concluent à un début de rétablissement des communautés. L'indice de santé du benthos – variante volontaire – pour les substrats grossiers (ISB_{SurVol}) indiquait une intégrité précaire à la plupart des stations en 2013. En 2014, cet état précaire n'était pratiquement plus observé que dans les deux premiers kilomètres de la rivière. La richesse taxonomique en taxons du groupe éphéméroptères-plécoptères-trichoptères présente le même profil que celui de l'ISB_{SurVol}, le nombre de taxons de ce groupe étant plus faible aux stations près du déversement. Les perturbations de 2013 ont permis la prolifération des annélides oligochètes dans la majorité des stations échantillonnées dans la rivière Chaudière. Ce taxon est 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 des échantillons jusqu'au kilomètre 7,5, réapparaissent alors que l'abondance relative des annélides oligochètes diminue.

Le rétablissement des communautés benthiques est bel et bien amorcé aux stations étudiées en 2014. Des prélèvements effectués à l'automne 2015 permettront de vérifier si le rétablissement s'est poursuivi aux stations à proximité du barrage et s'il s'est maintenu aux autres stations.

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 6 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 la rivière 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 MDDELCC et rendu public le 12 mai 2014.

Le plan de gestion de la contamination résiduelle de la rivière Chaudière (MDDELCC, 2014) vise 5 objectifs et comprend 14 projets. Ce rapport présente les résultats du projet 5.4 *Suivi des communautés de macroinvertébrés benthiques*. Il s'agit du rapport final de ce projet.

TABLE DES MATIÈRES

Mise en contexte	v
1. INTRODUCTION	1
2. TERRITOIRE À L'ÉTUDE	3
3. MÉTHODOLOGIE	3
3.1 Échantillonnage, traitement des échantillons et identification des macroinvertébrés benthiques	3
3.2 Données descriptives recueillies	6
3.3 Analyse des données	6
4. RÉSULTATS ET DISCUSSION	10
4.1 Habitats et qualité de l'eau	10
4.2 Comparaison des communautés benthiques des neuf stations échantillonnées en 2013 et en 2014	12
4.3 Analyse de la structure de la communauté aux neuf stations échantillonnées en 2013 et en 2014	19
4.4 Profil longitudinal de l'indice de santé du benthos – variante volontaire (ISB_{SurVol}) aux dix-sept stations de 2014 et aux neuf stations de 2013	23
4.5 Rétablissement des communautés à la suite du déversement	24
4.6 Comparaison de l'indice de santé du benthos de base (ISB_g) et de la variante ISB_{SurVol} aux 17 stations échantillonnées en septembre 2014	25
5. CONCLUSION	27
6. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	28
7. ANNEXES	32

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Comparaison des débits (m^3/s) mensuels observés en période estivale (de juillet à octobre) pour les années 2013 et 2014 en aval du barrage de Lac-Mégantic (station 023427)	3
-----------	--	---

Tableau 2	Indice de santé du benthos – substrat grossier – variante SurVol (ISB_{SurVol}), niveau volontaire _____	7
Tableau 3	Indice de santé du benthos – substrat grossier (ISB_g) _____	7
Tableau 4	Caractéristiques des habitats aquatique et riverain des stations des rivières de référence et de la rivière Chaudière _____	11
Tableau 5	Qualité de l'eau aux stations de la rivière Chaudière en 2014 _____	12
Tableau 6	Valeurs (U) et niveau de signification (p) du test de Wilcoxon-Mann-Whitney de la comparaison de l' ISB_{SurVol} et de certaines variables de communauté entre les deux stations de référence et les sept stations de la rivière Chaudière _____	13
Tableau 7	Corrélation (r_s) entre l' ISB_{SurVol} ainsi que les variables qui le composent et la distance en kilomètres du barrage de Lac-Mégantic _____	18
Tableau 8	Meilleurs taxons indicateurs des groupes issus du groupement hiérarchique _____	20

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Évolution des débits moyens journaliers en m^3/s à l'exutoire du barrage de Lac-Mégantic (du 15 juin au 20 octobre 2013 et 2014) _____	4
Figure 2	Localisation des stations d'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques des suivis réalisés aux automnes 2013 et 2014 _____	5
Figure 3	Boîtes à moustaches représentant les valeurs d' ISB_{SurVol} pour les stations de la rivière Chaudière et des stations de référence a) en septembre et en octobre; 2013 b) en septembre 2014 _____	13
Figure 4	Valeurs d' ISB_{SurVol} , aux stations de la rivière Chaudière, de l'amont vers l'aval, et aux stations des rivières de référence pour les trois périodes d'échantillonnage _____	15
Figure 5	Profil longitudinal des valeurs obtenues pour les six variables composant l' ISB_{SurVol} , aux stations de la rivière Chaudière, ainsi que celles obtenues aux stations des rivières de référence pour les trois périodes _____	16
Figure 6	Variation des valeurs obtenues pour les variables du pourcentage a) de crustacés; b) des non-insectes; c) d'oligochètes; d) de plécoptères; et e) de la densité aux stations de la rivière Chaudière et aux stations des rivières de référence pour les trois périodes d'échantillonnage _____	17
Figure 7	Groupement hiérarchique des neuf stations étudiées en septembre et octobre 2013 et en septembre 2014 – niveau d'identification des organismes = SurVol _____	19
Figure 8	Analyse factorielle de correspondance redressée des stations étudiées en septembre et octobre 2013 et en septembre 2014 – niveau d'identification des organismes = SurVol _____	22
Figure 9	Variation de l'amont vers l'aval de l'indice de santé du benthos (ISB_{SurVol}) aux stations de la rivière Chaudière et aux stations de référence des rivières Nebnellis et Samson en septembre et octobre 2013 et en septembre 2014 _____	24
Figure 10	Variation des valeurs des indices ISB_g et ISB_{SurVol} , en septembre 2014 _____	26

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1	Localisation des stations d'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques en 2013 et en 2014 _____	32
Annexe 2	Localisation et description des stations d'échantillonnage de la qualité de d'eau _____	33
Annexe 3	Qualité de l'eau – paramètres et limites de détection _____	33
Annexe 4	Liste des variables de communauté analysées et réponse attendue de celles-ci à l'augmentation des perturbations _____	34
Annexe 5	a) Valeurs de l'ISB _{SurVol} et des six variables standardisées (échelle 0 à 100) qui le composent; b) Valeurs brutes des six variables de l'ISB _{SurVol} _____	35
Annexe 6	Valeurs brutes des variables de communauté _____	37
Annexe 7	Comparaison des valeurs médianes, moyennes, minimales et maximales de l'ISB _{SurVol} et de certaines variables de communauté aux sept stations de la rivière Chaudière et aux deux stations de référence en 2013 et en 2014 _____	39
Annexe 8	Valeurs de signification permettant d'évaluer l'effet des perturbations reliées au déversement de pétrole sur les variables de communauté (stations de la rivière Chaudière entre les périodes d'échantillonnage) _____	39
Annexe 9	Identification visée pour les différents taxons – Niveau 1 (tiré de MDDEFP, 2013b) _____	40

1. INTRODUCTION

L'accident ferroviaire de Lac-Mégantic 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. Dès la fin juillet 2013, les détections d'hydrocarbures dans l'eau et les dépassements de critères associés n'étaient plus que sporadiques (MDDELCC, 2014). Par contre, les différentes études de caractérisation de 2013 ont mis en évidence une contamination importante des sédiments de la haute Chaudière par les hydrocarbures pétroliers. Cette contamination était importante par son étendue et par les concentrations mesurées. Les dépassements de critères étaient plus nombreux dans les 30 premiers kilomètres de la rivière (MDDELCC, 2014). Le premier rapport du Comité expert (MDDELCC, 2014) arrivait à la conclusion qu'à l'automne 2013, un des principaux problèmes résiduels de la rivière Chaudière, à la suite du déversement, était la contamination de ses sédiments par les hydrocarbures pétroliers. Pour évaluer l'ampleur et l'étendue de ce problème, une nouvelle caractérisation des sédiments après la crue du printemps 2014 a été réalisée. Il s'est avéré que la contamination des sédiments par les hydrocarbures pétroliers a diminué de façon marquée de 2013 à 2014. Il reste cependant des endroits, dans les 10 premiers kilomètres de la rivière, où les sédiments sont contaminés en hydrocarbures pétroliers (C₁₀-C₅₀) au-delà de la valeur de référence d'effets aigus (VRA)¹ pour la protection de la vie aquatique (MDDELCC, 2015a). Puisque les concentrations d'hydrocarbures dans les eaux de surface n'étaient plus considérées comme problématiques pour l'écosystème à l'automne 2013, seul un suivi en temps de crue a été réalisé en 2014 (MDDELCC, 2014). Les résultats de ce suivi de la qualité de l'eau en temps de crue démontrent qu'il y a eu relargage d'hydrocarbures pétroliers dans l'eau de la haute Chaudière lors de la crue printanière de 2014. Ces périodes de relargage ont toutefois été peu fréquentes et de courte durée (MDDELCC, 2015b). Des essais de toxicité menés en laboratoire ont mis en évidence que les sédiments les plus contaminés par les hydrocarbures pétroliers (> 832 mg/kg) prélevés dans la rivière Chaudière en 2014 ont eu des effets négatifs sur les organismes benthiques *Chironomus riparius* et *Hyalella azteca* et ont causé une augmentation de l'incidence des déformations de la colonne vertébrale chez les stades larvaires de truites brunes (MDDELCC, 2015a, 2015c; Gauthier et Couture, 2015).

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 la faune de ses 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. Grenier (2014a) souligne que trois perturbations associées au déversement de pétrole peuvent être responsables de l'état précaire des communautés benthiques observé en 2013 : 1) le pétrole lui-même (estimation de 100 000 litres déversés dans la rivière); 2) le déversement d'eaux usées non traitées à Lac-Mégantic durant 10 jours (la station de traitement ayant subi des dommages); et 3) des variations inhabituelles de débits à la tête de la rivière (la gestion du barrage Mégantic devant répondre à différents impératifs de travaux). Les résultats de cette étude 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 significatif sur les communautés benthiques et que cet impact diminuait de l'amont vers l'aval de la rivière Chaudière (Grenier, 2014a). Selon la documentation scientifique consultée par 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. À plus long terme, il peut y avoir des effets par l'exposition aux résidus de pétrole adsorbés dans les sédiments et dans la matière organique. 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. La destruction et la contamination de la nourriture et

¹ Valeur de référence d'effets aigus pour la protection de la vie aquatique : 832 mg/kg d'hydrocarbures pétroliers C₁₀-C₅₀; MDDEFP (2013a), MDDELCC (2015a).

de l'habitat des communautés benthiques par les hydrocarbures peuvent être mises en cause. Dans les études consultées, le temps de rétablissement des communautés de macroinvertébrés benthiques à la suite d'un déversement d'hydrocarbures varie en fonction : 1) des caractéristiques des hydrocarbures; 2) des caractéristiques physiques des cours d'eau; et 3) des caractéristiques des communautés de macroinvertébrés elles-mêmes.

À la suite d'une revue de la documentation scientifique (Grenier 2014b) et des conclusions de l'étude de 2013 (Grenier 2014a), le Comité expert de la rivière Chaudière a recommandé la poursuite du suivi de l'intégrité biotique des communautés de macroinvertébrés benthiques en 2014. La présente étude comporte donc deux objectifs : 1) évaluer s'il y a rétablissement des communautés benthiques aux neuf stations échantillonnées à l'automne 2013 et rééchantillonnées en septembre 2014, soit un an après le déversement; et 2) évaluer l'intégrité biotique des communautés benthiques en septembre 2014, à dix-sept stations du tronçon amont de la rivière Chaudière, soit de Lac-Mégantic à Saint-Martin.

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). Elle draine un vaste territoire d'une superficie de 6 682 km² (Thibault, 2008). Les principaux tributaires de la rivière sont les rivières Beaurivage, Famine, du Loup et Saint-Victor. Le bassin versant de la rivière Chaudière chevauche deux régions 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 se situe dans la haute Chaudière, territoire majoritairement forestier, entre la décharge du lac Mégantic et la municipalité de Saint-Martin.

Le débit de la rivière Chaudière est très variable. Depuis l'été 2013, 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 médians et moyens mensuels observés en période estivale des deux années à l'étude. Les débits médians pour les deux années en août, en septembre et en octobre se situaient entre 3,3 et 5,8 m³/s. En septembre 2014, les débits n'ont pas dépassé les 10 m³/s. La figure 1 présente les variations moyennes journalières du débit à l'exutoire du barrage de Lac-Mégantic en période estivale. Les débits moyens journaliers nous indiquent qu'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 telle augmentation a été observée une dizaine de jours avant l'échantillonnage de septembre, par contre plusieurs oscillations du débit ont eu lieu avant l'échantillonnage d'octobre 2013 (figure 1). 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 Comparaison des débits (m³/s) mensuels observés en période estivale (de juillet à octobre) pour les années 2013 et 2014 en aval du barrage de Lac-Mégantic (station 023427)

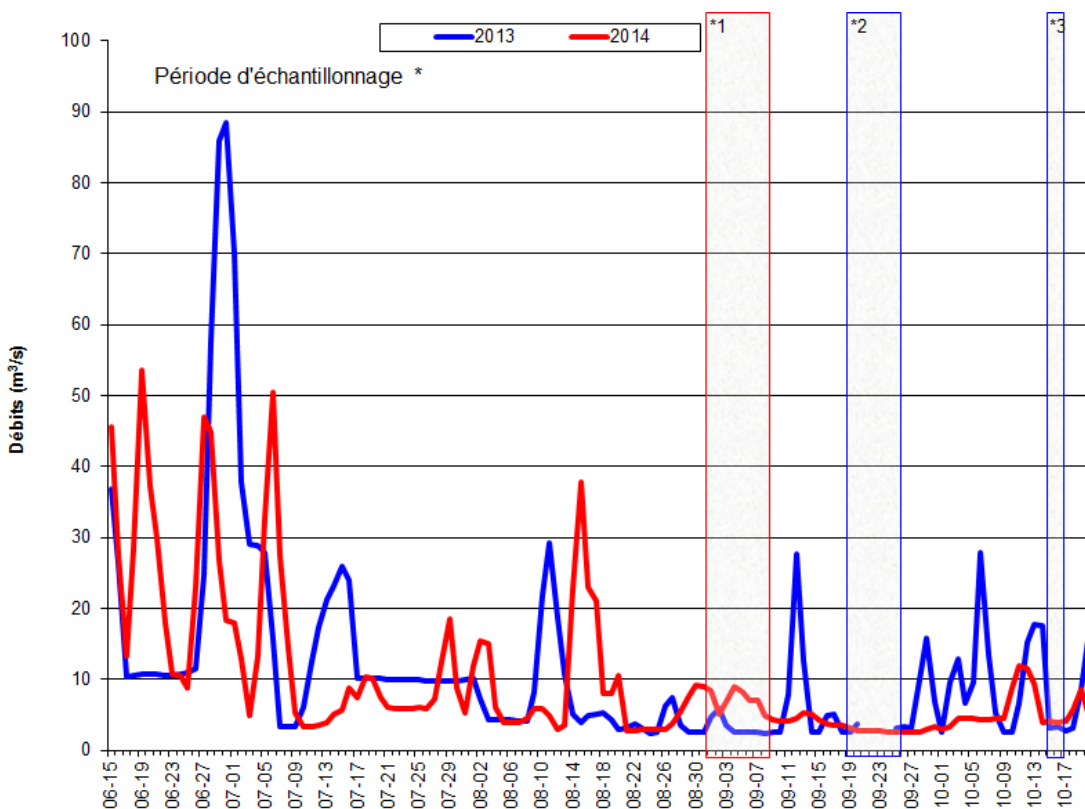
	juillet		août		septembre		octobre	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014
Min.	3,126	3,349	2,290	2,714	2,294	2,567	2,362	2,883
Max.	69,91	50,51	29,27	37,84	27,60	9,082	27,89	13,25
Médiane	10,01	7,224	4,125	5,788	4,106	3,860	3,254	4,611
Moyenne	16,01	10,85	6,399	8,751	6,986	4,412	7,378	5,984

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 2). 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 type troubleau (*D-net*) d'une

maille d'ouverture 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 par 30 cm (coups de filet), couvrant ainsi une surface totale d'environ 3 m². L'échantillon composite a été conservé dans l'alcool éthylique à 70 % de volume.



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

Figure 1 Évolution des débits moyens journaliers en m³/s à l'exutoire du barrage de Lac-Mégantic (du 15 juin au 20 octobre 2013 et 2014)

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 » d'une superficie de 30 cm par 36 cm, séparée en 30 carreaux. La méthode de sous-échantillonnage utilisée était basée sur un compte fixe de 200. Des carreaux ont été choisis de façon aléatoire, jusqu'à l'obtention d'au moins 200 organismes, qui ont ensuite été triés et identifiés avec un stéréomicroscope. Chaque carreau dont le tri était amorcé devait obligatoirement être terminé même si le nombre final était supérieur à 200 organismes. L'identification a été réalisée aux niveaux taxonomiques présentés dans Moisan (2010), où la majorité des insectes sont identifiés à la famille.

Un second suivi des communautés benthiques de la rivière Chaudière a été réalisé par le MDDELCC à l'automne 2014. 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 dans des affluents (figure 2 et annexe 1). Huit nouvelles stations ont été ajoutées aux neuf stations suivies à l'automne 2013. Les mêmes méthodologies ont été utilisées pour la récolte et la préparation des échantillons en laboratoire.

(MDDEFP², 2013b). Toutefois, l'identification a été raffinée, les organismes ayant cette fois été majoritairement identifiés au genre. L'identification des insectes est basée sur les clés taxonomiques présentées par Merrit et collab. (2008) et l'identification des autres organismes sur celles présentées par Smith (2001).

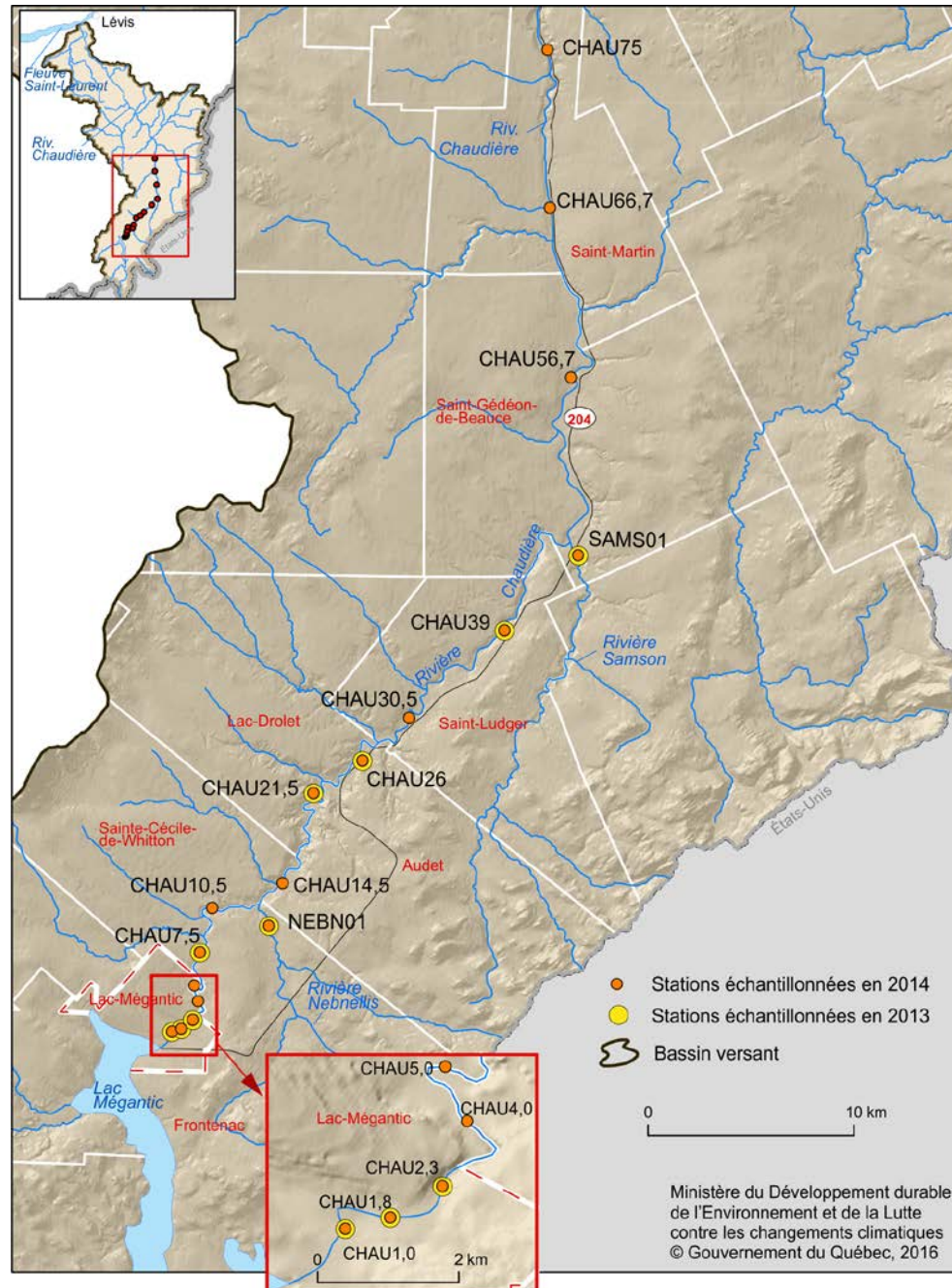


Figure 2 Localisation des stations d'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques des suivis réalisés aux automnes 2013 et 2014

² 2^e édition de Moisan et Pelletier (2008).

3.2 Données descriptives recueillies

Habitat

Des données descriptives de l'habitat riverain et aquatique ont été recueillies sur le terrain en 2013 et en 2014. 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 (IQH) et une adaptation de l'indice de qualité de la bande riveraine (IQBR) de Saint-Jacques et Richard (1998) (MDDEFP, 2013b).

Physicochimie de l'eau

Bien que cette étude ne comporte aucun suivi de la qualité de l'eau, des données étaient disponibles dans la Banque de données sur la qualité du milieu aquatique (BQMA). En 2013, il n'y a pas eu d'échantillonnage de l'eau aux stations étudiées pour les macroinvertébrés benthiques. En 2014, des données obtenues en juin, en juillet, en août et en septembre ont permis de documenter la qualité de l'eau à sept des dix-sept stations étudiées pour les macroinvertébrés benthiques et à trois stations supplémentaires intercalées dans le tronçon étudié. L'emplacement de ces stations est décrit à l'annexe 2. Dix stations n'ont aucune donnée. 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 (IQBP₆) 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

Évaluation du niveau d'intégrité biologique : l'indice de santé du benthos (ISB)

Pour les comparaisons des neuf stations échantillonnées les deux années, les données taxonomiques de 2014 ont été ajustées afin que leur niveau taxonomique soit identique à celui utilisé en 2013³ (Grenier, 2014a), soit au niveau 1 d'identification (Moisan, 2010; MDDEFP, 2013b). Ainsi, les variables de communauté et l'indice de santé du benthos sont calculés selon la variante adaptée pour la surveillance volontaire, communément appelée SurVol benthos (MDDEFP, 2013b). Les résultats de l'ISB_{SurVol} et de l'indice de base ISB_g (niveau d'identification taxonomique majoritairement au genre) obtenus aux 17 stations en 2014 sont également présentés.

Les valeurs de référence pour la standardisation des variables qui composent l'indice de base diffèrent de celles utilisées pour le calcul de l'ISB_{SurVol} 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 des six variables sélectionnées, 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 - 45), précaire (46 - 74) et bonne (75 - 100). Le seuil de bon état est atteint lorsque la valeur de l'indice est égale ou supérieure à 75. Le tableau 2 présente les variables de l'ISB_{SurVol}, la réponse prédite selon l'augmentation des perturbations ainsi que la formule de standardisation proposée pour chacune d'elles. Pour l'ISB_g, cinq classes d'intégrité ont été établies : très mauvaise (0 - 24,1), mauvaise (24,2 - 48,3), précaire (48,4 - 72,6), bonne (72,7 - 89,1) et très bonne (89,2 - 100). Le seuil de bon état est atteint lorsque la valeur de l'indice est égale ou supérieure à 72,7 (MDDEFP, 2013b). Le tableau 3 présente les variables de l'ISB_g, la réponse prédite selon l'augmentation des perturbations ainsi que la formule de standardisation proposée pour chacune d'elles.

³ Les résultats de l'ISB_{SurVol} obtenus en 2013 diffèrent légèrement de ceux présentés dans le rapport de Grenier (2014a), car une erreur dans les données a été corrigée.

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

Tableau 2 Indice de santé du benthos – substrat grossier – variante SurVol (ISB_{SurVol}), niveau volontaire

Variable (X)	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 EPT ¹ (NTEPT)	↓	13	$(X \div 13) \times 100$
% d'EPT sans 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 (PTD2)	↑	32,7	$[(100 - X) \div (100 - 32,7)] \times 100$
Indice biotique Hilsenhoff volontaire (FBI _v)	↑	3,03	$[(10 - X) \div (10 - 3,03)] \times 100$

¹ EPT : éphéméroptères-plécoptères-trichoptères.

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

Variable (X)	Réponse prédite selon l'augmentation des perturbations	Valeur de référence	Formule de standardisation
Nombre total de taxons	↓	35	$(X \div 35) \times 100$
Nombre de taxons EPT ¹	↓	22,4	$(X \div 22,4) \times 100$
% d'EPT sans Hydropsychidae	↓	72,5	$(X \div 72,5) \times 100$
% de Chironomidae	↑	4,1	$[(100 - X) \div (100 - 4,1)] \times 100$
% des deux taxons dominants	↑	32	$[(100 - X) \div (100 - 32)] \times 100$
Indice biotique Hilsenhoff (HBI)	↑	2,53	$[(10 - X) \div (10 - 2,53)] \times 100$

¹ EPT : éphéméroptères-plécoptères-trichoptères.

Variables de communauté

Plusieurs variables de communauté ont été calculées (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 organique⁵ (MDDEFP, 2013b). Les 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,

⁵Dans le présent document, l'expression « pollution organique » se rapporte à l'enrichissement par la matière organique et par les nutriments.

2003). Les annexes 5 et 6 présentent respectivement les résultats obtenus pour l'ISB_{SurVol} et les six variables qui le composent, et pour les dix-neuf autres variables calculées.

Stratégie d'analyse

La stratégie adoptée consiste à évaluer, dans un premier temps, si les communautés benthiques des 9 stations échantillonnées en 2013 et 2014 montrent des signes de rétablissement en 2014 (un an après le déversement de près de 100 000 litres de pétrole dans la rivière) et à analyser, dans un deuxième temps, l'intégrité biotique des 17 stations réparties sur le tronçon Lac-Mégantic–Saint-Martin qui ont été échantillonnées à l'automne 2014. La stratégie d'analyse est inspirée de celle utilisée dans Grenier (2014a).

Rétablissement des communautés de macroinvertébrés benthiques un an après le déversement de pétrole

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

- en déterminant si les niveaux d'intégrité biotique (ISB_{SurVol} et variables de communauté) aux différentes stations de la rivière Chaudière ont augmenté entre les périodes d'échantillonnage de 2013 et de 2014 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 2014.

Hypothèse de travail : le rétablissement des communautés est amorcé si :

- les valeurs d'ISB_{SurVol} et de certaines variables de communautés de macroinvertébrés augmentent ou diminuent significativement (selon la réponse aux perturbations) aux stations échantillonnées sur la rivière Chaudière entre 2013 et 2014 et se rapprochent de celles obtenues aux stations de référence;
- les valeurs de l'ISB_{SurVol} et de certaines variables de communautés de macroinvertébrés n'augmentent ou ne diminuent plus (selon la réponse aux perturbations) de l'amont vers l'aval de la rivière Chaudière, soit en s'éloignant du lieu du déversement, comme il a été constaté à l'automne 2013.

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 l'ISB_{SurVol} et des variables de communauté 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 (test *t* apparié). Dans cette étude, les valeurs d'ISB_{SurVol} et des variables de communauté d'une même station échantillonnée en septembre 2013, en octobre 2013 et en septembre 2014 ont été comparées.

Coefficient de corrélation de Spearman

Le coefficient de corrélation de rang de Spearman « r_s » indique le degré de liaison qui existe entre le classement en rang des valeurs d'une variable quantitative (x) par rapport à celui des valeurs d'une autre variable quantitative (y). Ce test est analogue au coefficient paramétrique de Pearson (r). Dans cette étude, la distance kilométrique d'un site à partir du barrage de Lac-Mégantic (km) est comparée à la valeur d'ISB_{SurVol}, ainsi qu'aux valeurs des variables qui

le composent. Selon le coefficient de corrélation de Spearman, si $r_s = 1$, les classements selon x et y s'avèrent exactement identiques. Si $r_s = -1$, les classements sont exactement inverses. Si $r_s = 0$, les deux variables sont indépendantes (Scherrer, 1984). Dans cette étude, une corrélation de Spearman a été jugée significative si $r_s \geq 0,5$.

Ces tests ont été réalisés à l'aide de SYSTAT (version 13).

Classification et ordination

Les données utilisées pour réaliser ces analyses sont l'abondance relative des taxons auxquels ont été retranchés les taxons présents dans moins de 5 % des échantillons.

Classification des communautés de macroinvertébrés benthiques et taxons indicateurs

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

La procédure de permutation à réponses multiples (*multiple response permutation procedure* ou MRPP) permet d'évaluer si la différence entre des groupes est significative ($p < 0,000$). 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 sous 0,1 sont communes et une valeur supérieure à 0,3 est considérée comme élevée.

L'analyse de taxons indicateurs (*indicator species analysis*) 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 (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).

L'ordination

L'analyse factorielle des correspondances (AFC; *correspondence analysis* ou CA) a été utilisée pour évaluer les dissemblances ou les ressemblances entre les communautés biologiques des différentes stations (Legendre et Legendre, 1998; 2012).

L'ordination a été réalisée à partir du logiciel CANOCO (version 4.5).

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 Habitats et qualité de l'eau

Le tableau 4 présente succinctement la description physique de l'habitat riverain et aquatique 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. Certaines stations présentent des caractéristiques différentes entre les tournées d'échantillonnage, particulièrement la station CHAU1,8 pour le type d'écoulement et le substrat dominants (tableau 4). Les deux premières stations (CHAU1,0 et CHAU1,8) sont fortement influencées par la gestion du barrage de Lac-Mégantic. La gestion a été différente entre les périodes d'échantillonnage, et les débits observés en 2013 ont été particulièrement fluctuants (figure 1). Ce facteur ainsi que le fait que les évaluations ont été effectuées par des équipes différentes en 2013 et en 2014 pourraient expliquer les 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 étaient 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. Les stations de référence présentent des caractéristiques physiques relativement comparables 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 en ce qui a trait à l'indice de qualité d'habitat et à l'indice de qualité de bande riveraine.

En 2014, la qualité physicochimique de l'eau dans le tronçon étudié est majoritairement bonne avec un indice de qualité bactériologique et physicochimique (IQBP₆) moyen supérieur à 80. Seules les stations CHAU39 et CHAU56,7, dont la moyenne de l'IQBP₆ est respectivement de 67 et 69, indiquent la présence de problèmes sporadiques, et l'eau y est qualifiée de douteuse (tableau 5). Les concentrations de phosphore total et d'azote total indiquent également, tout comme en 2013 après la remise en activité de la station d'épuration de Lac-Mégantic (Grenier, 2014a), que les eaux de la rivière Chaudière jusqu'à l'amont de Saint-Ludger sont généralement oligotrophes.

Tableau 4 Caractéristiques des habitats aquatique et riverain 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	2014-09-02	5	391	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	2014-09-02	5	391	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	2014-09-02	5	386	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	2014-09-03	5	383	25	0,5	Seuil	rapide	Galet	93	95	élevée
02340080	Chaudière	CHAU5,0	2014-09-03	5	381	34	0,35	Seuil	rapide	Galet-bloc	90	90	élevée
02340240	Chaudière	CHAU7,5	2014-09-03	5	377	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	2014-09-03	5	395	41	0,45	Seuil	modérée	Bloc	92	96	élevée
02340267	Chaudière	CHAU14,5	2014-09-04	5	365	35	0,6	Seuil	rapide	Bloc	96	83	moyenne
02340241	Chaudière	CHAU21,5	2014-09-04	5	336	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	2014-09-08	5	335	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	2014-09-08	5	335	36	0,5	Seuil	modérée	Galet	77	59	élevée
02340243	Chaudière	CHAU39	2014-09-08	5	304	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	2014-09-09	5	274	60	0,35	Seuil	rapide	Bloc	87	66	élevée
02340073	Chaudière	CHAU66,7	2014-09-09	5	244	60	0,35	Seuil	modérée	Bloc	81	69	élevée
02340072	Chaudière	CHAU75,0	2014-09-09	5	245	65	0,35	Seuil	modérée	Bloc	90	70	élevée
02340244	Nebnellis	NEBN01	2014-09-04	4	365	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⁾	2014-09-05	4	274	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

⁽¹⁾ Station légèrement déplacée en 2014; données de 2013 : COBARIC; données de 2014 : MDELCC.

Tableau 5 Qualité de l'eau aux stations de la rivière Chaudière en 2014

Station benthos	Numéro de station BQMA ¹	Distance du barrage de Lac-Mégantic (km)	IQBP ₆ ² min.	IQBP ₆ max.	IQBP ₆ moyen ³	Phosphore total moyenne ³ (mg/l)	Azote total moyenne ³ (mg/l)	SS moyenne ³ (mg/l)
CHAU5,0	02340080	5,2	79	90	86	0,008	0,44	1,5
_ ⁴	02340079	8,8	77	91	85	0,008	0,37	1,3
CHAU21,5	02340006	22,7	85	92	89	0,009	0,303	2,5
CHAU30,5	02340078	30,5	84	94	89	0,009	0,37	3
CHAU39	02340077	39,2	1	94	67	0,014	0,62	77,1
_ ⁴	02340076	45,4	89	96	92	0,009	0,34	2,3
_ ⁴	02340075	52,7	72	94	87	0,01	0,29	3
CHAU56,7	02340074	56,7	1	94	69	0,015	0,39	39,9
CHAU66,7	02340073	66,7	30	96	76	0,009	0,29	2,8
CHAU75,0	02340072	75	54	95	83	0,011	0,26	5,8

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

² Classe de qualité de l'IQBP₆ : 0 - 19 : très mauvaise; 20 - 39 : mauvaise; 49 - 59 : douteuse; 60 - 79 : satisfaisante; 80 - 100 : bonne.

³ Calculée à partir de quatre données (juin, juillet, août et septembre).

⁴ Pas de station du suivi des macroinvertébrés benthiques à cette station BQMA.

4.2 Comparaison des communautés benthiques des neuf stations échantillonnées en 2013 et en 2014

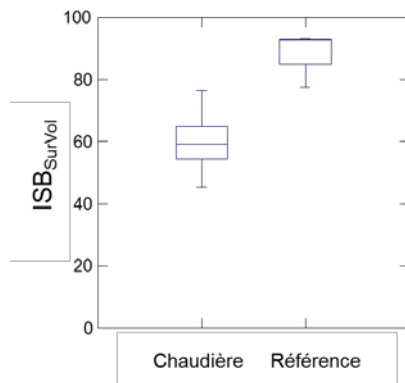
Les valeurs moyennes de l'indice de santé du benthos, variante volontaire (ISB_{SurVol}) obtenues en septembre et en octobre 2013 dans la rivière Chaudière sont respectivement de 63 et de 55,5, soulignant une qualité précaire, alors qu'en septembre 2014 la valeur moyenne de l'ISB_{SurVol} est de 76,2, affichant une certaine amélioration de l'intégrité biotique. Cette valeur est légèrement supérieure à la valeur seuil de bon état établie à 75. Les stations de référence (NEBN01 et SAMS01, respectivement situées dans les rivières Nebnellis et Samson) pour les trois périodes d'échantillonnage ont affiché des valeurs moyennes de l'ISB_{SurVol} supérieures à 85, indiquant une bonne intégrité (annexe 7). Les communautés de macroinvertébrés des sept stations de la rivière Chaudière diffèrent significativement ($p < 0,05$) de celles des deux stations des rivières de référence en septembre et en octobre 2013 (tableau 6). En effet, les valeurs d'ISB_{SurVol}, du nombre de taxons d'éphéméroptères-plécoptères-trichoptères (NTEPT) et du pourcentage d'éphéméroptères-plécoptères-trichoptères excluant les taxons Hydropsychidae (PEPTH), sont significativement plus faibles dans les stations de la rivière Chaudière, alors que l'indice biotique d'Hilsenhoff (FBI_v) y est significativement plus élevé (tableau 6). En 2014, les valeurs d'ISB_{SurVol} et de quatre variables de l'indice (NTTOT, PEPTH, PTD2, FBI_v) sur six ne diffèrent pas significativement entre les stations de la rivière Chaudière et celles des rivières de référence (tableau 6). Ces résultats indiquent un certain rétablissement des communautés benthiques. Les valeurs de 2014 de l'ISB_{SurVol} aux stations de la rivière Chaudière demeurent généralement inférieures à celles des stations de référence (figure 3b), mais cette différence est moins grande qu'en 2013 (figure 3a) et n'est pas significative (tableau 6).

Tableau 6 Valeurs (U) et niveau de signification (p) du test de Wilcoxon-Mann-Whitney de la comparaison de l'ISB_{SurVol} et de certaines variables de communauté entre les deux stations de référence et les sept stations de la rivière Chaudière

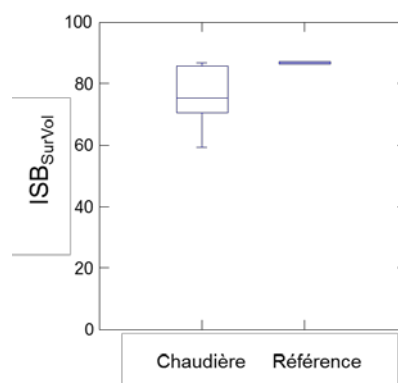
Variables		septembre 2013		octobre 2013		septembre 2014	
		Test Wilcoxon-Mann-Whitney ($p < 0,05$)					
		p	U	p	U	p	U
ISB _{SurVol}	ISB _{SurVol}	0,04	0,0	0,04	0,0	0,079	1,0
	NTTOT	0,1	1,5	0,239	3,0	0,184	2,5
	NTEPT	0,038	0,0	0,039	0,0	0,039	0,0
	PEPTH	0,04	0,0	0,04	0,0	0,143	2,0
	PC	0,242	11,0	0,38	4,0	0,039	0,0
	PTD2	0,04	14,0	0,38	10,0	0,558	9,0
	FBIV	0,04	14,0	0,04	14,0	0,242	11,0
Autres variables	NTEPH	0,029	0,0	0,029	0,0	0,09	1,5
	NTPLE	0,109	2,0	0,176	3,0	0,294	4,0
	NTTRI	0,036	0,0	0,036	0,0	0,036	0,0
	PEPH	0,242	3,0	0,04	0,0	0,38	10,0
	PPLEC	0,032	0,0	0,032	0,0	0,378	4,0
	PTRICH	0,04	0,0	0,04	0,0	0,143	2,0
	PEPT	0,04	0,0	0,04	0,0	0,38	4,0
	PCRUST	0,039	14,0	0,04	14,0	0,2	11,0
	POLIGO	0,04	14,0	0,04	14,0	0,04	14,0
	PNONINSECT	0,04	14,0	0,04	14,0	0,04	14,0
	PGAST	0,04	14,0	0,04	14,0	0,04	14,0
	PTOL	0,04	14,0	0,04	14,0	0,38	10,0
	PINTOL	0,079	1,0	0,04	0,0	0,143	2,0
	PMOLLUS	0,04	14,0	0,04	14,0	0,04	14,0

Note : les valeurs en gras ont un effet significatif. Abréviations : NTTOT : nombre total de taxons; NTEPT : nombre de taxons éphéméroptères-plécoptères-trichoptères; PEPH : % d'éphéméroptères-plécoptères-trichoptères sans Hydropsychidae; PC : % de Chironomidae; PTD2 : % deux taxons dominants; FBIV : indice biotique Hilsenhoff; NTEPH : nombre de taxons éphéméroptères; NTPLE : nombre de taxons plécoptères; NTTRI : nombre de taxons trichoptères; PEPH : % éphéméroptères; PPLEC : % plécoptères; PTRICH : % trichoptères; PEPT : % éphéméroptères-plécoptères-trichoptères; PCRUST : % crustacés; POLIGO : % oligochètes; PNONINSECT : % non-insectes; PGAST : % gastéropodes; PTOL : % tolérants; PINTO : % intolérants; PMOLLUS : % mollusques.

a) 2013



b) 2014



Note : la médiane, les 25^e et 75^e percentiles, le 25^e percentile - 1,5 x écart interquartile, le 75^e percentile + 1,5 x écart interquartile sont représentés.

Figure 3 Boîtes à moustaches représentant les valeurs d'ISB_{SurVol} pour les stations de la rivière Chaudière et des stations de référence a) en septembre et en octobre; 2013 b) en septembre 2014

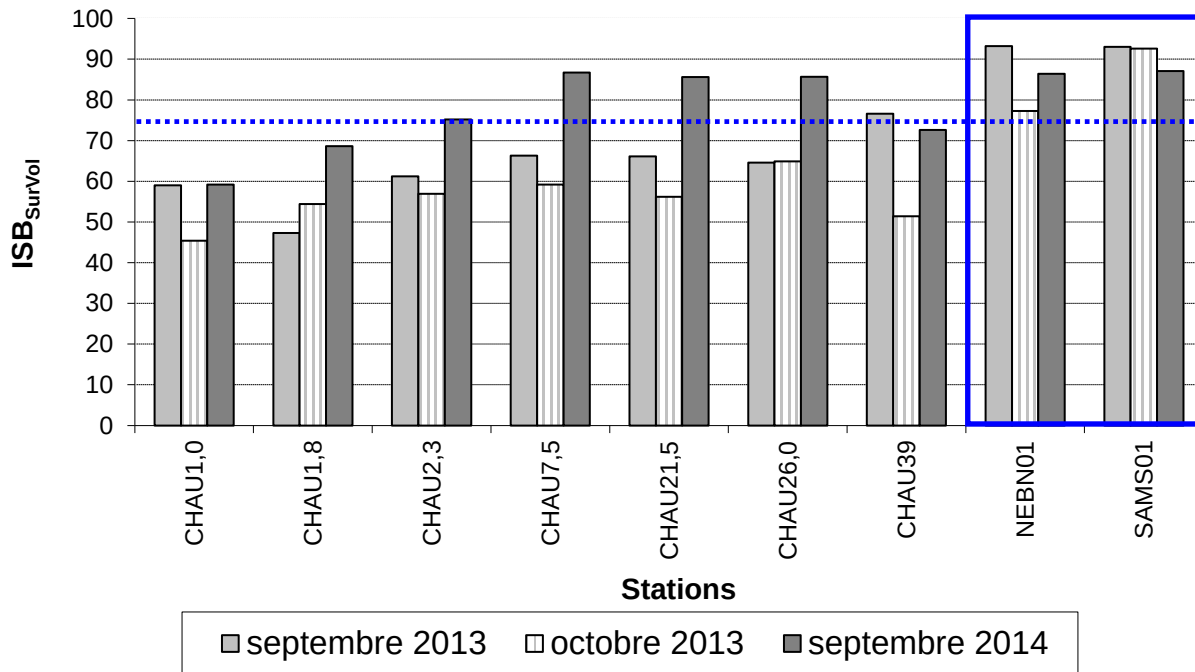
Bien qu'elles ne participent pas au calcul de l'ISB_{SurVol}, plusieurs variables de communauté diffèrent significativement entre les stations des rivières de référence et les stations échantillonnées dans la rivière Chaudière lors des deux périodes d'échantillonnage de 2013 (tableau 6). De fait, plusieurs variables se rapportant aux éphéméroptères-plécoptères-trichoptères (tels NTEPH, NTTRI, PEPH, PPLEC, PTRICH et PEPT), généralement considérés comme intolérants aux perturbations, montrent de plus faibles valeurs aux stations de la rivière Chaudière (annexe 6). Au contraire, les variables du pourcentage d'oligochètes (POLIGO), taxon tolérant à la pollution, et du pourcentage de crustacés (PCRUST) affichent des valeurs plus élevées. Ces différences observées entre les stations de référence et celles de la rivière Chaudière sont vraisemblablement liées à la catastrophe ferroviaire (Rosenberg et Wiens, 1976; Barton et Wallace, 1979; Pontasch et Brusven, 1988; Crunkilton et Duchrow, 1990; Poulton et collab., 1997; 1998; McCauley, 1966; Harrel, 1985; Lytle et Peckarsky, 2001; Smith et collab., 2010). Par contre, les différences significatives observées pour les variables pourcentage de mollusques (PMOLLUS) et pourcentage de gastéropodes (PGAST) entre les stations de référence et celles de la rivière Chaudière ne seraient pas liées au déversement des hydrocarbures mais à une différence d'origine naturelle. Les mollusques sont présents à toutes les stations de la rivière Chaudière, alors qu'ils sont absents ou en très faible abondance relative (moins de 3 %) aux stations des rivières de référence lors des trois tournées d'échantillonnage (annexe 6). En 2014, les pourcentages d'oligochètes (POLIGO), de non-insectes (PNONINSECT) et de mollusques sont encore significativement plus élevés dans les stations de la rivière Chaudière, alors que le nombre de taxons de trichoptères (NTTRI) y est significativement plus faible (tableau 6). Tous ces résultats et particulièrement la présence notable des oligochètes en 2013 et en 2014 suggèrent que les communautés benthiques montrent toujours des signes de perturbation.

En comparant les valeurs de l'ISB_{SurVol} aux sept stations échantillonnées dans la rivière Chaudière, on constate que les valeurs obtenues en septembre 2014 diffèrent significativement des valeurs obtenues en septembre et en octobre 2013 (Wilcoxon : $p < 0,05$; annexe 8). Les valeurs de l'ISB_{SurVol} obtenues aux stations des rivières de référence (NEBN01 et SAMS01) ne présentent pas ce patron, les valeurs étant comparables entre les périodes d'échantillonnage (figure 4). Le rétablissement de la communauté semble bien amorcé à partir du kilomètre 7,5, où les valeurs de l'ISB_{SurVol} sont généralement supérieures à la valeur seuil de bon état de 75. Plus près du barrage de Lac-Mégantic, aux stations CHAU1,0, CHAU1,8 et CHAU2,3, l'indice n'atteint pas ce seuil (figure 4). Puisque la valeur de l'ISB_{SurVol} est la résultante de la moyenne des six variables standardisées, les variables qui ont été les plus déclassantes en 2013, montrant les plus grands effets des perturbations, sont le nombre de taxons éphéméroptères-plécoptères-trichoptères (EPT), le pourcentage de taxons EPT excluant les Hydropsychidae et l'indice biotique d'Hilsenhoff (annexe 5a; figure 5). La majorité des variables standardisées de l'ISB_{SurVol} en 2014 ont montré des augmentations notables par rapport à 2013, à l'exception des stations à proximité du déversement (annexe 5a).

La richesse taxonomique en taxons éphéméroptères-plécoptères-trichoptères (EPT) présente le même profil que celui de l'ISB_{SurVol} : le nombre de taxons est plus faible aux stations près du barrage de Lac-Mégantic; ce nombre croît de l'amont vers l'aval, ainsi qu'entre 2013 et 2014 (figure 5b), et ces différences sont significatives (Wilcoxon : $p < 0,05$; annexe 8). Le pourcentage des diptères Chironomidae présente une diminution entre les trois périodes échantillonnées. Le pourcentage est particulièrement élevé aux stations CHAU1,8 et CHAU2,3 en septembre 2013. En 2014, le pourcentage de Chironomidae dans les stations de la rivière Chaudière est comparable à celui obtenu dans les stations de référence (figure 5d). Dans les stations de la rivière Chaudière, l'indice biotique d'Hilsenhoff (FBI_v) présente des valeurs significativement plus faibles en septembre 2014 (annexe 8), se rapprochant ainsi de celles des stations de référence (figure 5f), où les valeurs se trouvent dans les classes⁶ de bonne à excellente qualité (3,25 à 4,39). Les résultats obtenus relativement à l'ISB_{SurVol}, au nombre de taxons éphéméroptères-plécoptères-trichoptères (EPT) et à l'indice biotique d'Hilsenhoff (FBI_v) montrent que les stations CHAU1,0, CHAU1,8 et CHAU2,3

⁶ Échelle d'interprétation du FBI : 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 (Hilsenhoff, 1988; MDDEFP, 2013b).

présentent toujours, en septembre 2014, des communautés benthiques altérées. Les taxons du groupe EPT 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; 1998).



Note : seuil de bon état : ISB_{SurVol} ligne pointillée bleue

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

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. Au contraire, les diptères Chironomidae et les Simuliidae semblent être tolérants aux hydrocarbures (Rosenberg et Wiens, 1976; Crunkilton et Duchrow, 1990).

Parmi les autres variables de communauté, celles qui semblent répondre aux effets du déversement de pétrole et à sa contamination résiduelle sont présentées à la figure 6. Dans les stations de la rivière Chaudière, les pourcentages de crustacés et d'oligochètes étaient plus élevés en 2013 qu'en 2014 et également plus élevés qu'aux stations de référence, et ce, quelle que soit l'année (figures 6a et 6c). La variable non-insectes, composée entre autres des crustacés et des oligochètes, suggère clairement qu'il y a eu un fort impact des hydrocarbures sur les communautés en 2013 et que cet impact est encore perceptible en 2014. Dans les stations de référence, le pourcentage de non-insectes ne dépasse pas 10 % (figure 6b). Des études portant sur l'impact de déversements d'hydrocarbures sur les communautés de macroinvertébrés benthiques ont montré également que les annélides, telles que les sous-classes Hurlidinea et les oligochètes, sont tolérants aux hydrocarbures (McCauley, 1966; Harrel, 1985; Crunkilton et Duchrow, 1990; Lytle et Peckarsky, 2001; Smith et collab., 2010). La variable pourcentage de plécoptères semble confirmer que le rétablissement des communautés benthiques est bien amorcé. En 2013, l'absence de plécoptères a

été constatée jusqu'au kilomètre 7,5 inclusivement (CHAU7,5), alors qu'en 2014, les plécoptères Perlidae, bien qu'en très faible pourcentage, réapparaissent dès le kilomètre 1,8 (figure 6d).

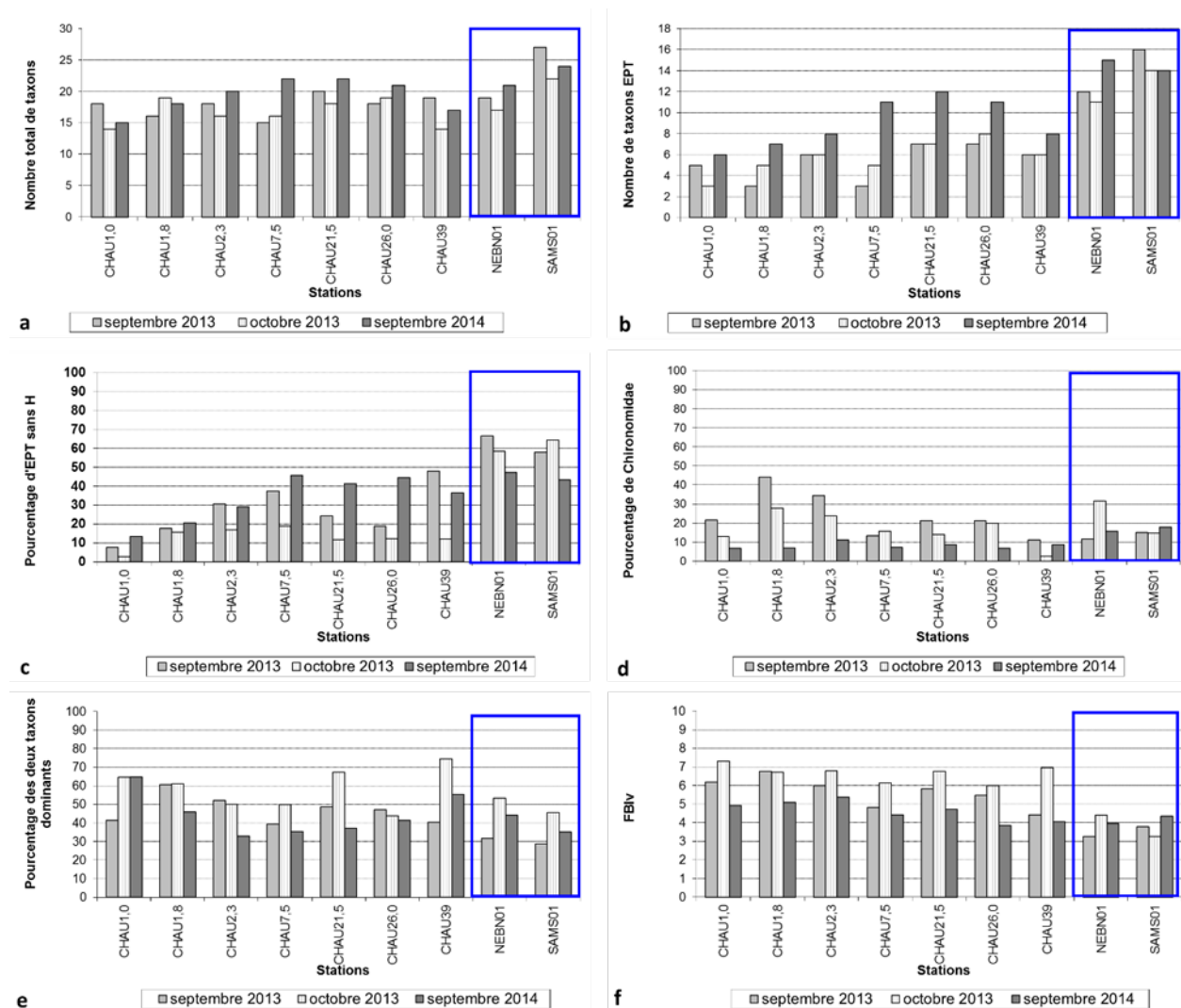


Figure 5 Profil longitudinal des valeurs obtenues pour les six variables composant l'ISB_{SurVol}, aux stations de la rivière Chaudière, ainsi que celles obtenues aux stations des rivières de référence pour les trois périodes

Les éphéméroptères Heptageniidae étaient aussi absents jusqu'au kilomètre 7,5 en 2013. En raison de leur morphologie aplatie et de la présence de branchies externes, ces deux taxons 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 pourraient être affectés physiquement par les hydrocarbures (particulièrement le pétrole); ces derniers colmatent leurs organes respiratoires (branchies). L'absence des plécoptères Perlidae et des éphéméroptères Heptageniidae en 2013 est probablement attribuable au déversement d'hydrocarbures. Sur la base des données de 2013, Grenier (2014a) mentionnait que la densité de macroinvertébrés ne semblait pas avoir été affectée par le déversement d'hydrocarbures. L'analyse des données acquises en 2014 suggère la réduction du nombre

d'organismes à la suite du déversement. En effet, à cinq des sept stations de la rivière Chaudière, la densité de macroinvertébrés benthiques est nettement plus élevée en 2014 (plus de 800 organismes/m²) qu'elle ne l'était en 2013 (figure 6e).

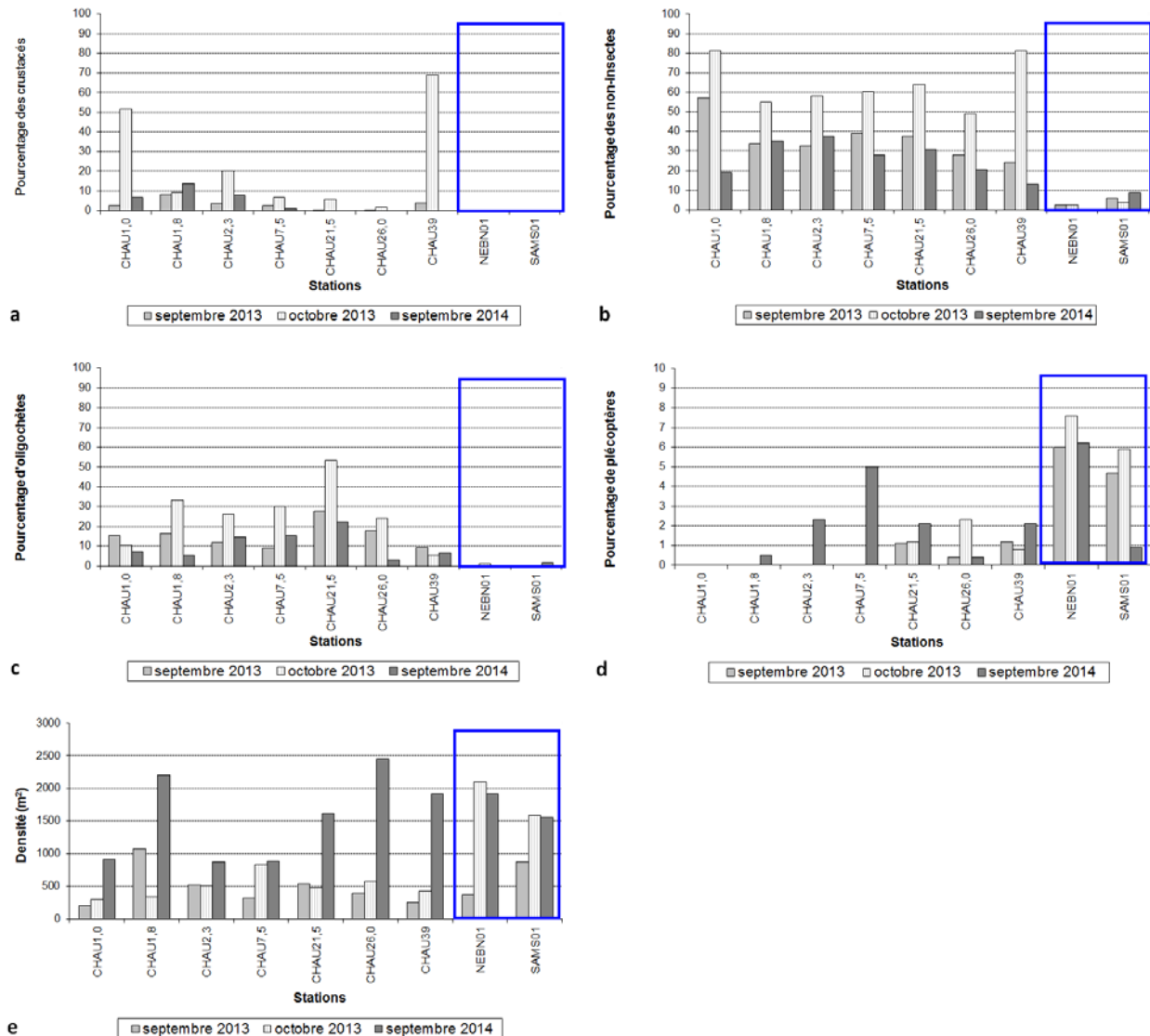


Figure 6 Variation des valeurs obtenues pour les variables du pourcentage a) de crustacés; b) des non-insectes; c) d'oligochètes; d) de plécoptères; et e) de la densité aux stations de la rivière Chaudière et aux stations des rivières de référence pour les trois périodes d'échantillonnage

Dans une revue de littérature, Grenier (2014b) a recensé plusieurs études qui ont montré une réduction immédiate du nombre d'organismes ou de leur densité dans les cours d'eau à la suite d'un déversement d'hydrocarbures. Les faibles densités observées aux stations des rivières de référence (NEBN01 et SAMS01) en septembre 2013 sont sans doute attribuables à quelques événements de fortes pluies avant l'échantillonnage des macroinvertébrés. Par exemple, près de 25 mm de pluie tombés en moins de 4 heures ont été mesurés à la station climatologique de Saint-

Ludger (n° 7027516, MDDELCC), et ce, moins de 24 heures avant l'échantillonnage. Ces précipitations ont fait augmenter les niveaux d'eau et les débits et, par le fait même, la dérive des macroinvertébrés qui sont emportés par le courant. Les profondeurs moyennes observées en septembre aux stations de référence étaient d'ailleurs beaucoup plus élevées que celles d'octobre 2013 (tableau 4). Les effets de ces événements de pluie sont probablement moindres dans le haut de la rivière Chaudière, en raison de la gestion des niveaux d'eau par le barrage de Lac-Mégantic. C'est peut-être pour cela que les densités de macroinvertébrés benthiques mesurées en septembre et en octobre 2013 y sont comparables (figure 6e).

Effets de la contamination sur l'ISB_{SurVol} et les variables de communauté le composant en fonction de la distance du lieu du déversement

Le tableau 7 présente le lien entre les valeurs de l'ISB_{SurVol} et les variables le composant et la distance du lieu de déversement. L'indice ISB_{SurVol} et le pourcentage d'éphéméroptères-plécoptères-trichoptères excluant les Hydropsychidae (PEPTH) augmentent en fonction de la distance du lieu de l'accident ferroviaire (barrage de Lac-Mégantic), c'est-à-dire de l'amont vers l'aval de la rivière Chaudière en septembre 2013 et en 2014, quoique cette augmentation soit beaucoup moins marquée en 2014. Le nombre de taxons d'éphéméroptères-plécoptères-trichoptères (NTEPT) augmente de l'amont vers l'aval aux trois périodes d'échantillonnage. Au contraire, le pourcentage de diptères Chironomidae (PC) diminue de l'amont vers l'aval en septembre 2013 ainsi que l'indice biotique d'Hilsenhoff (FBI_v) en septembre 2013 et en 2014. Certaines variables de communauté (ISB_{SurVol}, NTEPT, PEPTH, FBI_v) soulignent qu'encore en 2014, la communauté benthique est plus altérée à proximité du lieu du déversement.

Tableau 7 Corrélation (r_s) entre l'ISB_{SurVol} ainsi que les variables qui le composent et la distance en kilomètres du barrage de Lac-Mégantic

Indice et variables	période d'échantillonnage	$r_s > 0,5$
ISB _{SurVol}	septembre 2013	0,821
ISB _{SurVol}	octobre 2013	0,357
ISB _{SurVol}	septembre 2014	0,536
NTTOT	septembre 2013	0,482
NTTOT	octobre 2013	0,055
NTTOT	septembre 2014	0,342
NTEPT	septembre 2013	0,606
NTEPT	octobre 2013	0,764
NTEPT	septembre 2014	0,655
PEPTH	septembre 2013	0,679
PEPTH	octobre 2013	0
PEPTH	septembre 2014	0,679
PC	septembre 2013	-0,75
PC	octobre 2013	-0,357
PC	septembre 2014	0,273
PTD2	septembre 2013	-0,357
PTD2	octobre 2013	0,107
PTD2	septembre 2014	-0,107
FBI _v	septembre 2013	-0,857
FBI _v	octobre 2013	-0,286
FBI _v	septembre 2014	-0,786

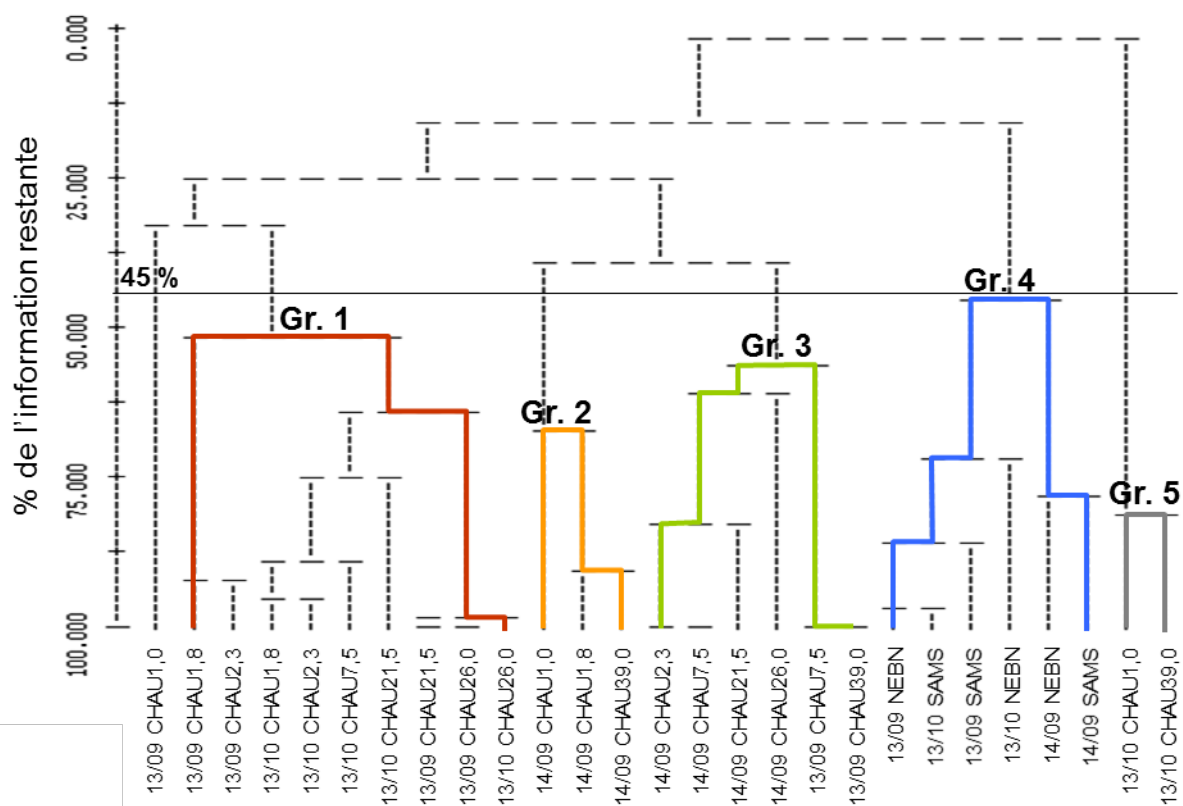
Note : signification des abréviations : NTTOT : nombre total de taxons; NTEPT : nombre de taxons éphéméroptères-plécoptères-trichoptères; PEPTH : % d'éphéméroptères-plécoptères-trichoptères sans Hydropsychidae; PC : % de Chironomidae; PTD2 : % deux taxons dominants; FBI_v : indice biotique Hilsenhoff.

4.3 Analyse de la structure de la communauté aux neuf stations échantillonnées en 2013 et en 2014

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 (liaison moyenne et distance de Bray-Curtis) a permis de classer les stations dans cinq groupes en coupant à 45 % de l'information restante (% *information remaining*)⁷ (figure 7). L'homogénéité à l'intérieur des groupes est élevée ($A = 0,3263$) et les groupes sont significativement différents ($p < 0,000$; MRPP). Les résultats de l'analyse de taxons indicateurs des différents groupes issus du groupement hiérarchique sont présentés dans le tableau 8. Les meilleurs taxons indicateurs de chacun des groupes ont été retenus en choisissant la valeur indicatrice (VI) de 45 ou plus, accompagnée d'une probabilité $p \leq 0,05$.



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

Figure 7 Groupement hiérarchique des neuf stations étudiées en septembre et octobre 2013 et en septembre 2014 – niveau d'identification des organismes = SurVol

⁷ Pourcentage de stations qu'il reste à grouper.

La station CHAU1,0 du mois de septembre 2013 est la seule qui ne fait partie d'aucun groupe (13/09 CHAU1,0; figure 7). Cette station est située plus près du déversement que les autres. Lors de son échantillonnage en septembre 2013, aucun nettoyage du secteur n'avait eu lieu, alors que ce fut le cas en octobre. Ce facteur pourrait expliquer que ces deux périodes d'échantillonnage ne sont pas groupées ensemble, ajouté au fait qu'étant à proximité du barrage, cette station a été plus affectée par sa gestion. La structure de la communauté échantillonnée en septembre est totalement différente de celles des autres stations. Elle était caractérisée par l'absence de cladocères, et une abondance relative de 19,8 % de némerthes la distingue de toutes les autres stations.

Tableau 8 Meilleurs taxons indicateurs des groupes issus du groupement hiérarchique

Groupe	Taxons* (VI = valeur indicatrice et p = probabilité)
1	Oligochète (VI : 49,4 – p : 0,0050)
2	Hydropsychidae (VI : 62,5 – p : 0,0024)
3	Éphéméroptère du Groupe 1.2* (VI : 46,1 – p : 0,0060)
4	Trichoptère du Groupe 2.2* (VI : 93,1 – p : 0,0002) Tipulidae (VI : 72,1 – p : 0,0026) Heptageniidae (VI : 60,7 – p : 0,0078) Helicopsychidae (VI : 66,7 – p : 0,0104) Glossosomatidae (VI : 61,7 – p : 0,0368) Isonychiidae (VI : 55,1 – p : 0,0394)
5	Cladocère (VI : 81,4 – p : 0,0016) Némerte (VI : 70,1 – p : 0,0292)

*Taxonomie de Moisan (2013); annexe 9; MDDEFP, 2013b.

Groupe 1

La plupart des stations de la rivière Chaudière échantillonnées en septembre et en octobre 2013 constituent le groupe 1. Le taxon indicateur de ce groupe est l'annélide oligochète (tableau 8). 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 6d). 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 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, 2016) 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.

Groupe 2

Le groupe 2 est constitué de trois stations échantillonnées en 2014. Les deux stations les plus en amont (CHAU1,0 et CHAU1,8), qu'on peut raisonnablement considérer comme étant plus affectées par le déversement, sont liées à la station CHAU39. La communauté benthique de la station CHAU39 semble affectée par d'autres facteurs. Le taxon indicateur est le trichoptère Hydropsychidae (tableau 8). Les Hydropsychidae prolifèrent souvent dans des milieux enrichis en matières organiques et en nutriments (MDDEFP, 2013b; Voshell, 2002). Ils se nourrissent principalement d'algues et de détritus aux jeunes stades, et d'algues et d'invertébrés aux stades plus âgés (Tachet, 2010). La station CHAU39 semble avoir des problèmes sporadiques de qualité d'eau (tableau 2). Un échantillon sur quatre présentait des dépassements des critères ou des valeurs repères utilisés pour les coliformes fécaux, la chlorophylle a totale, l'azote total et les solides en suspension (données non présentées). Aucune donnée de qualité d'eau n'est toutefois disponible pour les deux autres stations de ce groupe.

Groupe 3

Le groupe 3 est formé des autres stations de la rivière Chaudière échantillonnées en 2014 et des stations CHAU7,5 et CHAU39 de septembre 2013. Le taxon indicateur est le Groupe 1.2 des éphéméroptères (tableau 8; annexe 9). Une identification plus fine a permis de confirmer que tous les organismes appartenaient à la famille des Baetidae. Bien que présents en plus grande abondance aux stations du groupe 3, les Baetidae étaient dans tous les échantillons étudiés. Les taxons de cette famille d'éphéméroptère, qui sont de bons nageurs, possèdent une faculté à recoloniser rapidement des sites perturbés (Moisan et Pelletier, 2014).

Groupe 4

Les stations des rivières de référence composent le groupe 4 peu importe l'année ou le mois où l'échantillonnage a eu lieu. Sans surprise, les taxons indicateurs des stations des rivières de référence sont tous des insectes et appartiennent tous, à l'exception des Tipulidae, au groupe éphéméroptères-plécoptères-trichoptères (EPT). Le nombre de taxons indicateurs illustre bien la diversité qui caractérise les stations de référence (tableau 8).

Groupe 5

Étonnamment, les stations CHAU1,0 et CHAU39 échantillonnées en octobre 2013 forment le groupe 5 (figure 7). Contrairement à CHAU1,0, la station CHAU39 n'a subi aucun nettoyage et était peu affectée par la fluctuation des débits découlant de la gestion du barrage de Lac-Mégantic, ce qui suggère que sa communauté est affectée par un ou des facteurs environnementaux non liés au déversement de pétrole. De fait, aucun dépassement de valeurs de référence – effets aigus n'a été constaté en 2013 à cette station et sur environ cinq kilomètres en amont de cette dernière (MDDELCC, 2014). Cette station est située immédiatement en aval de la ville de Saint-Ludger. Les cladocères sont présents à plus de 50 % dans les échantillons d'octobre des stations CHAU1,0 et CHAU39. Il est difficile de comprendre ce qui lie ces deux stations. La première se situe en tête de rivière et ce secteur a été nettoyé avant l'échantillonnage d'octobre, tandis que la station CHAU39 ne possède ni l'une ni l'autre de ces caractéristiques. En 2013, tous les échantillons de la rivière Chaudière, sauf ceux de septembre aux stations CHAU1,0 et CHAU26,0, avaient des cladocères, alors qu'en 2014, seules les trois stations les plus en amont en avaient. Ce taxon n'était présent dans aucune des stations de référence. La présence des cladocères semble liée au déversement et aux perturbations qui y ont été associées (nettoyage, gestion du niveau d'eau, rejet d'eaux usées). Leur abondance en 2013 pourrait être liée à une augmentation de nourriture disponible et à la disparition des prédateurs. Certaines études ont démontré l'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. Malheureusement, aucune donnée de chlorophylle a n'était disponible pour appuyer cette hypothèse.

Ainsi, l'analyse de groupement indique que les communautés de la rivière Chaudière échantillonnées en 2014 diffèrent de celles échantillonnées en 2013. La récupération est amorcée, mais on ne peut savoir si elle est terminée. Tout indique que ce processus de rétablissement est moins avancé aux deux stations CHAU1,0 et CHAU1,8, situées

en amont (figure 7; groupe 2). La station CHAU39 demeure énigmatique avec une structure de communauté particulière lors des trois tournées d'échantillonnage, soulignant un possible problème de pollution non liée au déversement.

Analyse factorielle de correspondance redressée (AFCr; *detrended correspondence analysis* ou DCA)

Une analyse factorielle de correspondance redressée a été effectuée afin d'évaluer les dissemblances et ressemblances des communautés benthiques des différentes stations (figure 8). L'axe 1 représente l'axe des perturbations qui, étant donné le positionnement des stations de référence à droite, augmentent de droite à gauche. Afin d'alléger le graphique, les étiquettes d'identification des stations ont été retirées; ce sont plutôt les cinq groupes de l'analyse de groupement (figure 7) qui sont présentés. Les couleurs des stations et des taxons indicateurs sont agencées selon leur appartenance à un groupe donné. Bien que l'analyse de groupement et l'AFCr soient indépendantes l'une de l'autre, on constate que la seconde confirme la première et que la disposition des stations est conséquente aux perturbations. Les taxons des précédentes analyses sont tous inclus dans celle-ci, mais les taxons identifiés sont ceux qui sont issus de l'analyse des taxons indicateurs. Cette analyse, telle que présentée, permet de visualiser les résultats issus de l'analyse de groupements et de celle des taxons indicateurs et d'en confirmer les résultats.

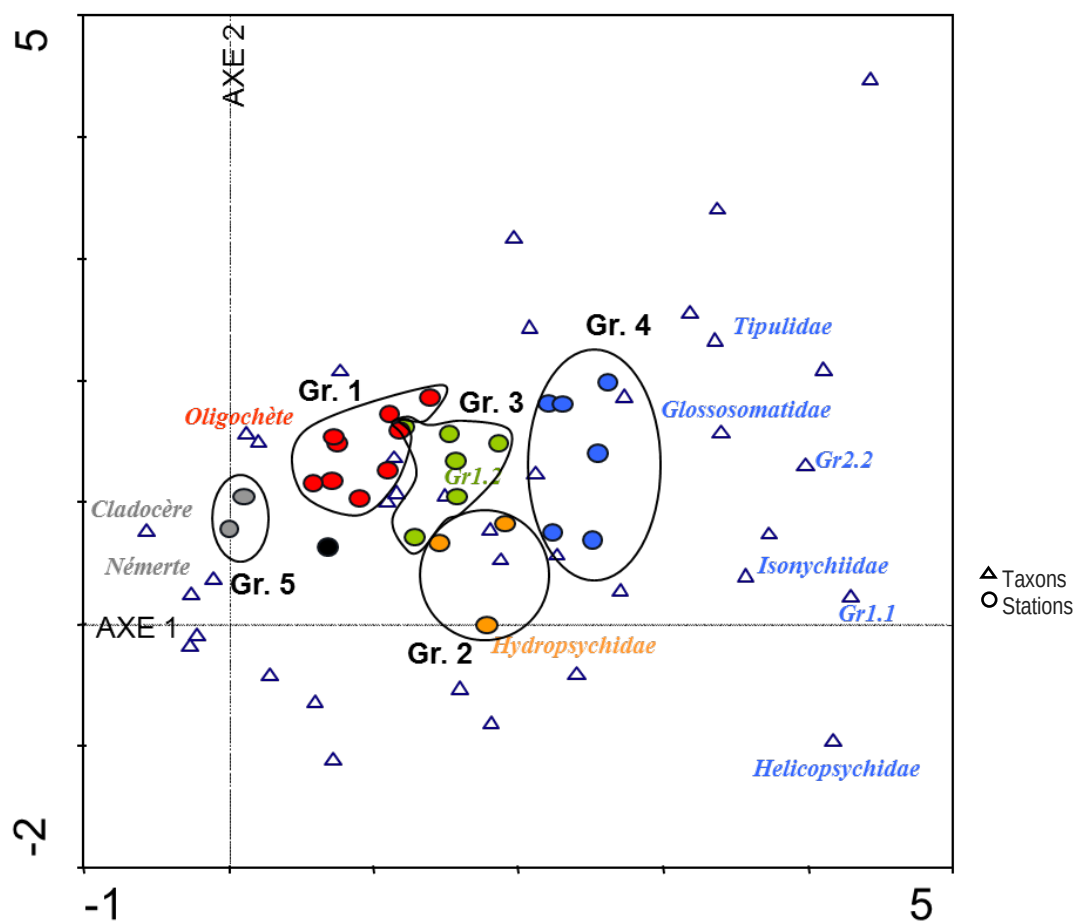


Figure 8 Analyse factorielle de correspondance redressée des stations étudiées en septembre et octobre 2013 et en septembre 2014 – niveau d'identification des organismes = SurVol

4.4 Profil longitudinal de l'indice de santé du benthos – variante volontaire (ISB_{SurVol}) aux dix-sept stations de 2014 et aux neuf stations de 2013

Les valeurs d'ISB_{SurVol} obtenues en septembre 2014 montrent que l'intégrité biotique de la majorité des stations échantillonnées s'est améliorée par rapport aux valeurs d'ISB_{SurVol} obtenues à ces mêmes stations en 2013 (figure 9). En 2013, toutes les stations, à l'exception de la station CHAU39 en septembre, affichaient une intégrité précaire. En 2014, seules les stations CHAU1,0, CHAU1,8 (stations à proximité du barrage de Lac-Mégantic) et CHAU39 affichaient encore une intégrité précaire. Les autres stations montrent une bonne intégrité, comparable à celle des rivières de référence, Nebnellis et Samson (figure 9). Les stations de référence des rivières Nebnellis et Samson (NEBN01 et SAMS01) ont conservé une bonne intégrité biologique en 2013 et en 2014, avec des valeurs d'ISB_{SurVol} qui ont varié de 77,3 à 93,2. Selon ces résultats, le rétablissement des communautés benthiques échantillonnées dans les tronçons à substrats rocheux et d'eau courante de la rivière Chaudière semble bien amorcé. Afin d'évaluer la toxicité des sédiments, une étude de la caractérisation de la structure des macroinvertébrés benthiques a été réalisée en 2014 dans quelques zones de sédimentation contaminées à différents degrés (MDDELCC, 2016). Les résultats indiquent que la structure des communautés est différente dans les sédiments contaminés aux hydrocarbures pétroliers, avec une dominance d'un taxon tolérant à la pollution, l'annélide oligochète. La contamination des sédiments par les hydrocarbures pétroliers a diminué de façon marquée de 2013 à 2014, tant par son étendue que par les concentrations mesurées. Il reste cependant des zones, dans les 10 premiers kilomètres de la rivière, où les sédiments sont contaminés au-delà de la valeur de référence d'effets aigus⁸ pour la protection de la vie aquatique du Ministère (MDDELCC, 2015a). Puisque l'échantillonnage du fond de la rivière est impossible dans les tronçons couverts de galets et de roches, une évaluation visuelle du niveau de contamination a été faite, sans prélèvement d'échantillons. Dans ces tronçons, les résultats de 2014 indiquent aussi une amélioration par rapport à 2013 : 58 % des sites évalués ne présentaient plus de traces de pétrole en 2014, alors que cette proportion n'était que de 9,3 % en 2013. Au cours de la même période, la proportion de sites dans les trois plus fortes classes de contamination est passée de 25 à 15 % (MDDELCC, 2015a). Selon l'étude de Poulton et collab. (1997), les communautés de macroinvertébrés échantillonnées dans les seuils se sont rétablies majoritairement à l'intérieur de six mois après un déversement de 3,3 millions de litres de pétrole brut (bris d'oléoduc) dans la rivière Gasconade au Missouri en décembre 1988. Par contre, la diversité demeurait plus faible dans les zones d'eau stagnante 18 mois plus tard, soit à la fin de l'étude. Poulton et collab. (1997) suggèrent que les plus grandes vitesses de courant et le brassage des eaux ont pu favoriser un rétablissement plus rapide dans les seuils.

⁸ Valeur de référence d'effets aigus pour la protection de la vie aquatique : 832 mg/kg d'hydrocarbures pétroliers C₁₀-C₅₀; MDDEFP (2013a), MDDELCC (2015a).

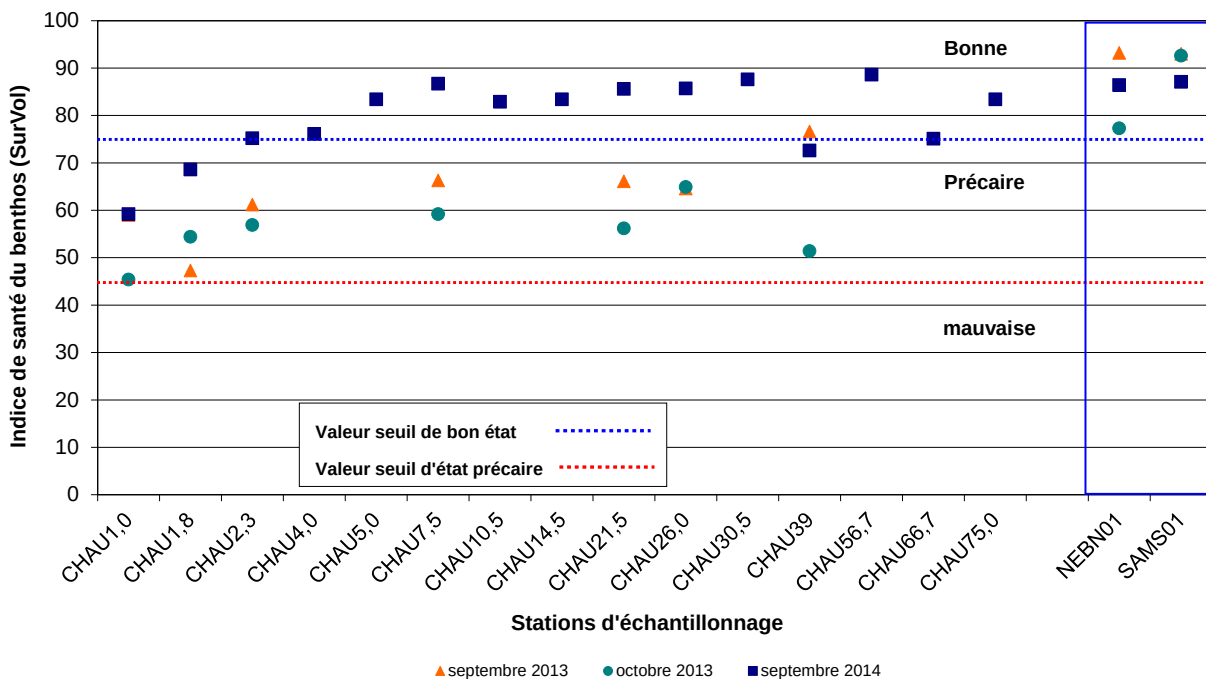


Figure 9 Variation de l'amont vers l'aval de l'indice de santé du benthos (ISB_{SurVol}) aux stations de la rivière Chaudière et aux stations de référence des rivières Nebnellis et Samson en septembre et octobre 2013 et en septembre 2014

4.5 Rétablissement des communautés à la suite du déversement

Selon la revue de littérature réalisée par Grenier (2014b), le temps de rétablissement des communautés de macroinvertébrés benthiques à la suite d'un déversement d'hydrocarbures diffère en fonction des caractéristiques des hydrocarbures, des caractéristiques physiques des cours d'eau et des caractéristiques des communautés de macroinvertébrés elles-mêmes. Bien que le pétrole brut soit reconnu comme étant plus persistant dans l'environnement que les dérivés plus légers, les résultats obtenus relativement à la contamination des sédiments en 2014 sont encourageants. Les résultats montrent une diminution de la contamination dans les sédiments (MDDELCC, 2015a). En 2013, des teneurs en hydrocarbures pétroliers supérieures à la valeur de référence d'effets aigus étaient observées jusqu'à 80 km en aval de Lac-Mégantic, soit pratiquement jusqu'à Saint-Georges. En 2014, de tels dépassements n'ont plus été observés que dans les 10 premiers kilomètres de la rivière. Les deux principales caractéristiques physiques du cours d'eau qui conditionnent les effets des déversements d'hydrocarbures sur les communautés de macroinvertébrés sont le débit (quantité d'eau) et le type d'écoulement de l'eau, eux-mêmes fortement influencés par les saisons. Les écoulements turbulents accélèrent le rétablissement à la suite de déversements, pas 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 collab. (1997) suggèrent que les plus grandes vitesses de courant et le brassage des eaux dans les seuils peuvent favoriser un rétablissement plus rapide. Le succès de recolonisation dépend de plusieurs mécanismes et indirectement de la saison durant laquelle a lieu le déversement. Au printemps, lorsque les rivières sont gonflées par l'eau de la fonte des neiges, les effets des déversements sont souvent moins importants que lorsqu'ils surviennent durant l'étiage d'été. Le principal facteur de recolonisation cité dans la documentation consultée est la dérive d'organismes en provenance de l'amont du cours d'eau et de ses tributaires, suivie de l'oviposition (ponte d'œufs) par les insectes ailés adultes de toute provenance.

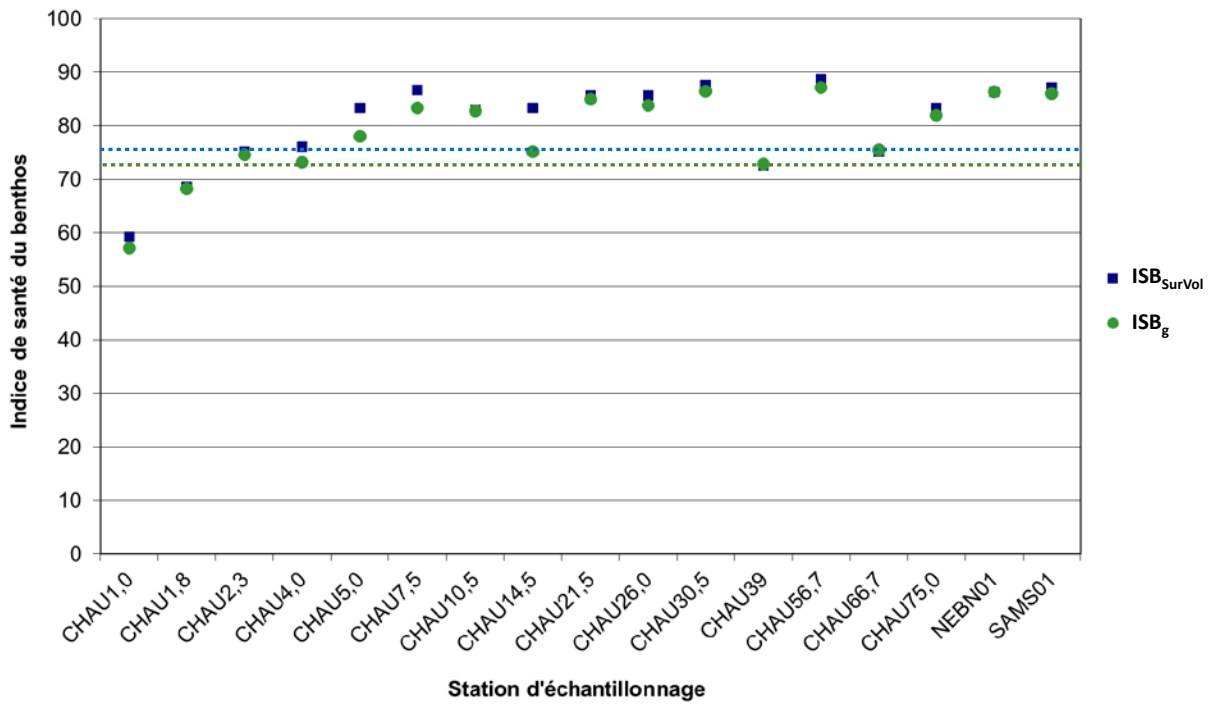
Grenier (2014a) concluait que le rétablissement de la rivière Chaudière impliquera la recolonisation par des organismes en provenance de sources externes ou de refuges et sera principalement réalisé par la dérive de macroinvertébrés en provenance des tributaires à l'amont de la rivière Chaudière (ex. : Nebnellis, Samson, Madisson, Glen, etc.).

Dans une étude sur le patron de recolonisation de cours d'eau restaurés, Winking et collab. (2014) suggèrent que trois facteurs conditionnent ce patron : 1) la capacité de dispersion et le degré de spécialisation des espèces; 2) la connectivité des cours d'eau, particulièrement avec des sections naturelles situées en amont; et 3) l'établissement d'habitats matures, particulièrement de la végétation riveraine boisée. Winking et collab. (2014) ont constaté, tout comme Sundermann et collab. (2011), que la majorité des événements de recolonisation proviennent d'une communauté située à moins de cinq kilomètres. En 2014, la recolonisation progressive des taxons d'éphéméroptères-plécoptères-trichoptères, particulièrement par les plécoptères Perlidae et les éphéméroptères Heptageniidae, a été constatée. Bien que le déversement soit survenu en amont du cours d'eau, limitant ainsi la dérive de taxons en provenance de l'amont, il semble que la présence de tributaires de bonne qualité, dont les rivières Glen, Nebnellis, Madisson et Samson, ait permis une recolonisation de la rivière Chaudière dès 2014. Ces organismes en dérive ont, grâce à la diminution de la contamination, trouvé un habitat favorable à leur survie. Trois facteurs, pris séparément ou ensemble, pourraient expliquer que les stations situées dans les premiers kilomètres de la rivière ont des valeurs de l'ISB_{SurVol} et du nombre de taxons d'éphéméroptères-plécoptères-trichoptères plus basses : 1) le premier tributaire d'importance et de bonne qualité, la rivière Glen, se jette dans la rivière Chaudière au kilomètre 8,5; 2) il reste toujours de la contamination, présente de façon sporadique, dans les sédiments des 10 premiers kilomètres (MDDELCC, 2015a); et 3) étant donnée leur proximité avec le barrage de Lac-Mégantic, les toutes premières stations sont plus exposées à un régime hydrique non naturel. En 2014, le profil de l'ISB_{SurVol}, qui montre une augmentation de l'amont vers l'aval, n'est plus aussi systématique qu'en 2013 mais demeure bien net jusqu'au kilomètre 7,5.

4.6 Comparaison de l'indice de santé du benthos de base (ISB_g) et de la variante ISB_{SurVol}, aux 17 stations échantillonnées en septembre 2014

En 2013, neuf stations ont été échantillonnées, et les organismes ont été identifiés au niveau d'identification SurVol (Grenier, 2014). En 2014, dix-sept stations (dont neuf communes à 2013) ont été échantillonnées, et la majorité des identifications atteignent le niveau du genre. L'indice de santé du benthos, l'ISB_g, adapté à ce niveau d'identification, a été calculé et est présenté à la figure 10. L'ISB_{SurVol}, variante de l'ISB_g, adaptée à la surveillance volontaire, y est également présenté.

Les deux indices se déploient sur une échelle 0 - 100 pour laquelle le seuil de bon état est légèrement différent (ISB_g = 72,7 et ISB_{SurVol} = 75) (MDDEFP, 2013b). L'ISB_g est plus précis, mais les deux indices produisent des profils longitudinaux similaires à peu de choses près et classent les stations de la même façon (figure 10).



Seuil de bon état : ISB_g ligne pointillée verte; ISB_{SurVol} ligne pointillée bleue

Figure 10 Variation des valeurs des indices ISB_g et ISB_{SurVol}, en septembre 2014

5. CONCLUSION

Le déversement de pétrole en tête de la rivière Chaudière qui a eu lieu en juillet 2013 à Lac-Mégantic a été accompagné de multiples perturbations. Les communautés benthiques échantillonnées en 2014 sont différentes de celles échantillonnées en 2013. Leur rétablissement a été observé sous différents aspects.

Malgré l'affinité des oligochètes pour les substrats meubles, les perturbations de 2013 leur ont permis de proliférer, dans les sections à substrat rocheux. En 2014, avec les baisses des teneurs en hydrocarbures dans les sédiments, les insectes réapparaissent, faisant ainsi baisser l'abondance relative des oligochètes. La recolonisation progressive des taxons d'éphéméroptères-plécoptères-trichoptères, particulièrement celles des plécoptères Perlidae et des éphéméroptères Heptageniidae, a été constatée. Bien que le déversement soit survenu en amont du cours d'eau, limitant ainsi la dérive de taxons en provenance de l'amont de la rivière Chaudière, il semble que la présence de tributaires de bonne qualité, dont les rivières Glen, Nebnellis, Madisson et Samson, ait permis une recolonisation de la rivière Chaudière. Les organismes en dérive provenant de ces tributaires ont, grâce à la diminution de la contamination, trouvé un habitat favorable à leur survie. L'amélioration constatée des communautés benthiques coïncide donc avec la diminution de la contamination dans les sédiments. Le suivi de la qualité physicochimique de l'eau réalisé en 2014 révèle que celle-ci est généralement de bonne qualité, à l'exception de deux stations où apparaissent des problèmes sporadiques.

Le rétablissement des communautés benthiques dans la haute Chaudière est bel et bien en cours, car : 1) à l'exception des stations des premiers kilomètres, les valeurs d'ISB_{Surv} et de certaines variables de communautés de macroinvertébrés sensibles aux perturbations ont augmenté significativement de 2013 à 2014 et se rapprochent de celles obtenues aux stations de référence; et 2) en 2014, il y a moins de relation qu'il y en avait en 2013 entre l'état des communautés et la distance par rapport au site de déversement. Les quatre premiers kilomètres de la rivière pourraient encore être affectés par les produits pétroliers en 2014. Un suivi de macroinvertébrés benthiques effectué à l'automne 2015 permettra de vérifier si le rétablissement s'est poursuivi dans les premiers kilomètres de la rivière et s'il s'est maintenu plus en aval.

6. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARTON, D. R., et R. R. WALLACE, 1979. "The effects of an experimental spillage of oil sands tailings sludge on benthic invertebrates". *Fisheries and Environment Canada*, vol. 18, p. 305-312.
- 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, p. 205-215.
- 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 Virginia Department of Environmental Quality, 163 p.
- BURY, R. B., 1972. "The effects of diesel fuel on a stream fauna". *California Fish and Game Bulletin*, vol. 58, 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 p. 13-31.
- 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 No R1535, ISBN 978-2-550-73730-8. 21 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 (MDDEFP), 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 (MDDEFP) 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, 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, 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 no 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 English edition*. Elsevier Science BV, Amsterdam.
- LEGENDRE, P., et L. LEGENDRE, 1998. *Écologie numérique*, 2^e édition, tome 2, Masson, Paris, 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, p. 693-704.
- MCCAULEY, R. N. 1966. "The biological effects of oil pollution in a river". *Limnology and Oceanography*, vol. 11, p. 475-486.
- 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, p. 1197-1207.
- 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*, 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, Direction du suivi de l'état de l'environnement, 2^e édition, 88 p. (incluant 6 ann.), ISBN 978-2-550-69169-3 (PDF).
- 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 pétrolier – Constats, recommandations, actions proposées*, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 40 p., 4 ann., ISBN 978-2-550-70519-2 (PDF).
- 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*, 64 p., ISBN 978-2-550-73569-4.
- 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, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction régionale et Bureau de coordination des urgences du Centre de contrôle environnemental de la Capitale-Nationale et de la Chaudière-Appalaches, 24 p., ISBN 978-2-550-73654-7.

- 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*, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 14 p. + ann., ISBN 978-2-550-73729-2.
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC), 2016. *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, 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, 14 p., 3 ann., ISBN 978-2-550-74871-7.
- MOISAN, J., 2010. *Guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, 2010 – Surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds*, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 82 p. (incluant 1 ann.), ISBN 978-2-550-58416-2 (version imprimée).
- 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, 24 p. (incluant 5 ann.), ISBN-978-2-550-70752-3.
- 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*, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 86 p. (incluant 6 ann.), ISBN 978-2-550-53591-1 (version imprimée).
- 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, 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, 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, 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 no 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, p. 581-583.
- SMITH, D. G., 2001. *Pennak's Freshwater Invertebrates of the United States: Porifera to Crustacean*. 4^e édition, 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.
- SUNDERMANN A., S. STOLL et P. HAASE, (2011). "River restoration success depends on the species pool of the immediate surroundings". *Ecological Applications*, vol. 21, p. 1962–1971.
- TACHET, H., P. RICHOUX, M. BOURNAUD et P. USSEGLIO-POLATERA, 2010. *Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie*, nouvelle édition, Paris, CNRS Éditions, 607 p.
- 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, 25 p., ISBN 978-2-550-53173-9 (PDF).
- VOSHELL Jr., J. R., 2002. *A Guide to Common Freshwater Invertebrates of North America*. Blacksburg, Virginia, The McDonald & Woodward Publishing Company, 442 p.
- WINKING, C., A.W. LORENZ, B. SURES et D. HERING, 2014. "Recolonisation patterns of benthic invertebrates: a field investigation of restored former sewage channels". *Freshwater Biology*, vol. 59, n° 9, p. 1932-1944.
- WOODWARD, D. F., E. E. LITTLE et L. M. SMITH, 1987. "Toxicity of five shale oils to fish and aquatic invertebrates". *Archives of Environment Contaminant Toxicology*, vol. 16, 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.

7. 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	2014-09-02
						2013-09-19
						2013-10-17
02340238	Chaudière	1,8	CHAU1,8	45,581391	-70,868418	2014-09-02
						2013-09-20
						2013-10-17
02340239	Chaudière	2,3	CHAU2,3	45,585316	-70,861782	2014-09-02
						2013-09-26
						2013-10-17
02340268	Chaudière	4,0	CHAU4,0	45,593640	-70,858630	2014-09-03
02340080	Chaudière	5,0	CHAU5,0	45,599200	-70,859140	2014-09-03
02340240	Chaudière	7,5	CHAU7,5	45,614877	-70,858590	2014-09-03
						2013-09-26
						2013-10-16
02340269	Chaudière	10,5	CHAU10,5	45,634370	-70,851690	2014-09-03
02340267	Chaudière	14,5	CHAU14,5	45,646680	-70,807820	2014-09-04
02340241	Chaudière	21,5	CHAU21,5	45,686111	-70,791154	2014-09-04
						2013-09-19
						2013-10-16
02340242	Chaudière	26,0	CHAU26,0	45,700844	-70,761166	2014-09-08
						2013-09-20
						2013-10-16
02340078	Chaudière	30,5	CHAU30,5	45,720110	-70,732930	2014-09-08
02340243	Chaudière	39	CHAU39	45,759641	-70,675286	2014-09-08
						2013-09-26
						2013-10-15
02340074	Chaudière	56,7	CHAU56,7	45,871170	-70,638780	2014-09-09
02340073	Chaudière	66,7	CHAU66,7	45,943320	-70,653790	2014-09-09
02340072	Chaudière	75,0	CHAU75,0	46,012200	-70,658940	2014-09-09
02340244	Nebnellis	-	NEBN01	45,627643	-70,816374	2014-09-04
						2013-09-23
						2013-10-15
02340245	Samson	-	SAMS01	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
02340080	CHAUDIÈRE EN AVAL DE LAC-MÉGANTIC (Pk 5,2)	45,6002769	-70,8599746	CHAU5,0
02340079	CHAUDIÈRE EN AVAL DE LA RIVIÈRE GLEN (Pk 8,8)	45,6251210	-70,8543816	-
02340006	CHAUDIÈRE AU PONT DU CHEMIN DU LAC DROLET AU SUD-OUEST DE SAINT-LUDGER (Pk 22,7)	45,6912850	-70,7863790	CHAU21,5
02340078	CHAUDIÈRE EN AMONT DE SAINT-LUDGER (Pk 30,5)	45,7156329	-70,7365917	CHAU30,5
02340077	CHAUDIÈRE EN AVAL DE SAINT-LUDGER (Pk 39,2)	45,7606478	-70,6756193	CHAU39
02340076	CHAUDIÈRE EN AMONT DE LA RIVIÈRE SAMSON (Pk 45,4)	45,8019861	-70,6491900	-
02340075	CHAUDIÈRE EN AMONT DE SAINT-GÉDÉON (Pk 52,7)	45,8430705	-70,6401008	-
02340074	CHAUDIÈRE EN AVAL DE SAINT-GÉDÉON (Pk 56,7)	45,8709981	-70,6383453	CHAU56,7
02340073	CHAUDIÈRE EN AMONT DE SAINT-MARTIN (Pk 66,7)	45,9445683	-70,6547033	CHAU66,7
02340072	CHAUDIÈRE EN AVAL DE SAINT-MARTIN (Pk 75,0)	46,0138055	-70,6593505	CHAU75,1

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

PARAMÈTRE	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 communauté analysées et réponse attendue de celles-ci à l'augmentation des perturbations

Catégorie	Variable et abréviation	Définition ou formule	Réponse
Mesure de la richesse taxonomique	Nombre total de taxons	Nombre total de taxons	<i>Diminue</i>
	Nombre de taxons EPT	Nombre de taxons éphéméroptères-trichoptères-plécoptères	<i>Diminue</i>
	Nombre de taxons E	Nombre de taxons éphéméroptères	<i>Diminue</i>
	Nombre de taxons P	Nombre de taxons plécoptères	<i>Diminue</i>
	Nombre de taxons T	Nombre de taxons trichoptères	<i>Diminue</i>
Mesure de la composition taxonomique	% d'insectes	Abondance ¹ d'insectes / abondance totale * 100	<i>Diminue</i>
	% de non-insectes	Abondance de non-insectes / abondance totale * 100	<i>Augmente</i>
	% d'EPT	Abondance de taxons éphéméroptères-plécoptères-trichoptères / abondance totale * 100	<i>Diminue</i>
	% d'éphéméroptères	Abondance de taxons éphéméroptères / abondance totale * 100	<i>Diminue</i>
	% de plécoptères	Abondance de taxons plécoptères / abondance totale * 100	<i>Diminue</i>
	% de trichoptères	Abondance de taxons trichoptères / abondance totale * 100	<i>Variable</i>
	% d'EPT sans Hydropsychidae	Abondance de taxons éphéméroptères-plécoptères-trichoptères (excluant Hydropsychidae) / abondance totale * 100	<i>Diminue</i>
	% de Chironomidae	Abondance de Chironomidae / abondance totale * 100	<i>Augmente</i>
	% de mollusques	Abondance de mollusques / abondance totale * 100	<i>nd⁴</i>
	% de gastéropodes	Abondance de gastéropodes / abondance totale * 100	<i>nd</i>
	% de crustacés	Abondance de crustacés / abondance totale * 100	<i>nd</i>
	% d'oligochètes	Abondance d'oligochètes / abondance totale * 100	<i>Augmente</i>
	% d'Hydropsychidae	Abondance d'Hydropsychidae / abondance totale * 100	<i>Augmente</i>
Mesure de la tolérance² à la pollution organique³	% du taxon dominant (famille)	Abondance du taxon le plus abondant / abondance totale * 100	<i>Augmente</i>
	% des deux taxons dominants (famille)	Abondance des deux taxons les plus abondants / abondance totale * 100	<i>Augmente</i>
	% d'organismes tolérants	Abondance d'organismes ayant une cote de tolérance > 6 / abondance totale * 100	<i>Augmente</i>
	% d'organismes intolérants	Abondance des organismes ayant une cote de tolérance < 4 / abondance totale * 100	<i>Diminue</i>
	Indice biotique d'Hilsen hoff (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; 1996) et sont complétées au besoin, surtout pour le niveau d'identification à la famille, par Hilsen hoff (1988). Les variables en gras composent l'ISB_g.

³ Enrichissement par la matière organique et les nutriments.

⁴ nd : non disponible.

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

a)

Rivière	Date	Numéro station BQMA	Station benthos	PK	ISB _{SurVol}	Nombre de taxons	Nombre de taxons EPT	Pourcentage de EPT sans Hydropsychidae	Pourcentage de Chironomidae	Pourcentage de deux taxons dominants	Indice de Hilsenhoff
Valeurs standardisées											
CHAUDIÈRE	2013-09-19	02340237	CHAU1,0	1	59,0	81,8	38,5	10,6	81,8	87,1	54,52
CHAUDIÈRE	2013-09-20	02340238	CHAU1,8	1,8	47,3	72,7	23,1	24,5	58,2	58,7	46,63
CHAUDIÈRE	2013-09-26	02340239	CHAU2,3	2,3	61,2	81,8	46,2	42,1	68,5	71,2	57,53
CHAUDIÈRE	2013-09-26	02340240	CHAU7,5	7,5	66,3	68,2	23,1	51,8	90,4	89,9	74,18
CHAUDIÈRE	2013-09-19	02340241	CHAU21,5	21,5	66,1	90,9	53,8	33,3	82,2	76,2	60,11
CHAUDIÈRE	2013-09-20	02340242	CHAU26,0	26	64,6	81,8	53,8	26,0	82,1	78,8	64,99
CHAUDIÈRE	2013-09-26	02340243	CHAU39	39	76,6	86,4	46,2	66,1	92,7	88,4	80,06
NEBNELLIS	2013-09-23	02340244	NEBN01	-	93,2	86,4	92,3	91,6	92,2	100,0	96,84
SAMSON	2013-09-23	02340245	SAMS01	-	93,0	100,0	100,0	80,0	88,6	100,0	89,38
CHAUDIÈRE	2013-10-17	02340237	CHAU1,0	1	45,4	63,6	23,1	3,7	90,8	52,7	38,45
CHAUDIÈRE	2013-10-17	02340238	CHAU1,8	1,8	54,4	86,4	38,5	21,6	75,2	57,8	47,06
CHAUDIÈRE	2013-10-17	02340239	CHAU2,3	2,3	56,9	72,7	46,2	23,3	79,5	74,0	46,05
CHAUDIÈRE	2013-10-16	02340240	CHAU7,5	7,5	59,2	72,7	38,5	25,9	87,9	74,6	55,38
CHAUDIÈRE	2013-10-16	02340241	CHAU21,5	21,5	56,2	81,8	53,8	16,4	89,8	48,7	46,63
CHAUDIÈRE	2013-10-16	02340242	CHAU26,0	26	64,9	86,4	61,5	16,8	83,5	83,4	57,53
CHAUDIÈRE	2013-10-15	02340243	CHAU39	39	51,4	63,6	46,2	16,5	100,0	38,0	43,76
NEBNELLIS	2013-10-15	02340244	NEBN01	-	77,3	77,3	84,6	80,7	71,4	69,2	80,49
SAMSON	2013-10-15	02340245	SAMS01	-	92,6	100,0	100,0	88,6	88,9	81,0	96,84
CHAUDIÈRE	2014-09-02	02340237	CHAU1,0	1	59,2	68,2	46,2	18,7	97,4	52,2	72,88
CHAUDIÈRE	2014-09-02	02340238	CHAU1,8	1,8	68,6	81,8	53,8	28,4	97,1	80,4	70,30
CHAUDIÈRE	2014-09-02	02340239	CHAU2,3	2,3	75,2	90,9	61,5	40,2	92,7	99,7	66,43
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340268	CHAU4,0	4	76,1	86,4	76,9	44,8	95,5	79,0	73,74
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340080	CHAU5,0	5	83,4	100,0	76,9	60,9	94,8	87,8	79,91
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340240	CHAU7,5	7,5	86,7	100,0	84,6	63,2	96,7	95,8	79,91
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340269	CHAU10,5	10,5	82,9	90,9	69,2	65,0	92,7	94,4	85,37
CHAUDIÈRE	2014-09-04	02340267	CHAU14,5	14,5	83,4	95,5	92,3	54,4	93,1	88,7	76,33
CHAUDIÈRE	2014-09-04	02340241	CHAU21,5	21,5	85,6	100,0	92,3	56,9	95,2	93,3	75,61
CHAUDIÈRE	2014-09-08	02340242	CHAU26,0	26	85,7	95,5	84,6	61,4	97,4	87,2	88,09
CHAUDIÈRE	2014-09-08	02340078	CHAU30,5	30,5	87,6	100,0	84,6	72,6	97,8	76,2	94,26
CHAUDIÈRE	2014-09-08	02340243	CHAU39	39	72,6	77,3	61,5	50,1	95,2	66,3	85,22
CHAUDIÈRE	2014-09-09	02340074	CHAU56,7	56,7	88,6	100,0	84,6	73,0	97,9	82,8	93,26
CHAUDIÈRE	2014-09-09	02340073	CHAU66,7	66,7	75,1	81,8	69,2	51,8	97,9	64,2	85,80
CHAUDIÈRE	2014-09-09	02340072	CHAU75,0	75	83,4	95,5	92,3	57,7	90,6	82,3	81,78
NEBNELLIS	2014-09-04	02340244	NEBN01	-	86,4	95,5	100,0	65,2	87,8	83,2	86,80
SAMSON	2014-09-05	02340245	SAMS01	-	87,1	100,0	100,0	59,6	85,5	96,3	81,21

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

b)

Rivière	Date	Numéro station BQMA	Station benthos	PK	Nombre total de taxons	Nombre de taxons EPT	Pourcentage de EPT sans Hydropsychidae	Pourcentage de Chironomidae	Pourcentage de deux taxons dominants	Indice de Hilsenhoff
Valeurs brutes										
CHAUDIÈRE	2013-09-19	02340237	CHAU1,0	1	18	5	7,7	21,6	41,4	6,20
CHAUDIÈRE	2013-09-20	02340238	CHAU1,8	1,8	16	3	17,8	44,2	60,5	6,75
CHAUDIÈRE	2013-09-26	02340239	CHAU2,3	2,3	18	6	30,6	34,3	52,1	5,99
CHAUDIÈRE	2013-09-26	02340240	CHAU7,5	7,5	15	3	37,6	13,3	39,5	4,83
CHAUDIÈRE	2013-09-19	02340241	CHAU21,5	21,5	20	7	24,2	21,2	48,7	5,81
CHAUDIÈRE	2013-09-20	02340242	CHAU26,0	26	18	7	18,9	21,3	47,0	5,47
CHAUDIÈRE	2013-09-26	02340243	CHAU39	39	19	6	48,0	11,1	40,5	4,42
NEBNELLIS	2013-09-23	02340244	NEBN01	-	19	12	66,5	11,6	31,8	3,25
SAMSON	2013-09-23	02340245	SAMS01	-	27	16	58,1	15,0	28,6	3,77
CHAUDIÈRE	2013-10-17	02340237	CHAU1,0	1	14	3	2,7	12,9	64,5	7,32
CHAUDIÈRE	2013-10-17	02340238	CHAU1,8	1,8	19	5	15,7	27,9	61,1	6,72
CHAUDIÈRE	2013-10-17	02340239	CHAU2,3	2,3	16	6	16,9	23,8	50,2	6,79
CHAUDIÈRE	2013-10-16	02340240	CHAU7,5	7,5	16	5	18,8	15,7	49,8	6,14
CHAUDIÈRE	2013-10-16	02340241	CHAU21,5	21,5	18	7	11,9	13,9	67,2	6,75
CHAUDIÈRE	2013-10-16	02340242	CHAU26,0	26	19	8	12,2	19,9	43,9	5,99
CHAUDIÈRE	2013-10-15	02340243	CHAU39	39	14	6	12,0	2,5	74,4	6,95
NEBNELLIS	2013-10-15	02340244	NEBN01	-	17	11	58,6	31,5	53,4	4,39
SAMSON	2013-10-15	02340245	SAMS01	-	22	14	64,3	14,7	45,5	3,25
CHAUDIÈRE	2014-09-02	02340237	CHAU1,0	1	15	6	13,6	6,6	64,9	4,92
CHAUDIÈRE	2014-09-02	02340238	CHAU1,8	1,8	18	7	20,6	6,9	45,9	5,10
CHAUDIÈRE	2014-09-02	02340239	CHAU2,3	2,3	20	8	29,2	11,1	32,9	5,37
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340268	CHAU4,0	4	19	10	32,5	8,4	46,8	4,86
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340080	CHAU5,0	5	23	10	44,2	9,1	40,9	4,43
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340240	CHAU7,5	7,5	22	11	45,9	7,3	35,5	4,43
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340269	CHAU10,5	10,5	20	9	47,2	11,1	36,5	4,05
CHAUDIÈRE	2014-09-04	02340267	CHAU14,5	14,5	21	12	39,5	10,7	40,3	4,68
CHAUDIÈRE	2014-09-04	02340241	CHAU21,5	21,5	22	12	41,3	8,7	37,2	4,73
CHAUDIÈRE	2014-09-08	02340242	CHAU26,0	26	21	11	44,6	6,6	41,3	3,86
CHAUDIÈRE	2014-09-08	02340078	CHAU30,5	30,5	22	11	52,7	6,2	48,7	3,43
CHAUDIÈRE	2014-09-08	02340243	CHAU39	39	17	8	36,4	8,7	55,4	4,06
CHAUDIÈRE	2014-09-09	02340074	CHAU56,7	56,7	22	11	53,0	6,1	44,3	3,50
CHAUDIÈRE	2014-09-09	02340073	CHAU66,7	66,7	18	9	37,6	6,1	56,8	4,02
CHAUDIÈRE	2014-09-09	02340072	CHAU75,0	75	21	12	41,9	13,1	44,6	4,30
NEBNELLIS	2014-09-04	02340244	NEBN01	-	21	15	47,3	15,8	44,0	3,95
SAMSON	2014-09-05	02340245	SAMS01	-	24	14	43,3	18,0	35,2	4,34

Annexe 6 Valeurs brutes des variables de communauté

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	PPLC	PTRICH	PEPT	PINS	PHYDR	PCRUST
CHAUDIÈRE	2013-09-19	02340237	CHAU1,0	1	2	0	3	6,3	0	8,6	14,9	42,8	7,2	2,3
CHAUDIÈRE	2013-09-20	02340238	CHAU1,8	1,8	2	0	1	17,8	0	1,9	19,8	66,3	1,9	8,1
CHAUDIÈRE	2013-09-26	02340239	CHAU2,3	2,3	2	0	4	22,6	0	8,3	30,9	67,2	0,4	3,4
CHAUDIÈRE	2013-09-26	02340240	CHAU7,5	7,5	2	0	1	37,6	0	0,4	38,0	60,9	0,4	2,6
CHAUDIÈRE	2013-09-19	02340241	CHAU21,5	21,5	3	2	2	19,4	1,1	3,7	24,2	62,3	0,0	0,4
CHAUDIÈRE	2013-09-20	02340242	CHAU26,0	26	3	1	3	15,7	0,4	4,8	20,9	71,9	2,0	0,4
CHAUDIÈRE	2013-09-26	02340243	CHAU39	39	3	2	1	46,8	1,2	4	52,0	75,8	4,0	4,0
NEBNELLIS	2013-09-23	02340244	NEBN01	-	5	2	5	44,2	6	18,9	69,1	97,4	2,6	0,0
SAMSON	2013-09-23	02340245	SAMS01	-	7	2	7	36,8	4,7	24,8	66,2	94,0	8,1	0,0
CHAUDIÈRE	2013-10-17	02340237	CHAU1,0	1	2	0	1	2,7	0	2,3	5,1	18,8	2,3	51,6
CHAUDIÈRE	2013-10-17	02340238	CHAU1,8	1,8	2	0	3	11,4	0	4,4	15,7	45,0	0,0	9,2
CHAUDIÈRE	2013-10-17	02340239	CHAU2,3	2,3	2	0	4	7,7	0	9,2	16,9	41,8	0,0	20,3
CHAUDIÈRE	2013-10-16	02340240	CHAU7,5	7,5	2	0	3	14,8	0	4	18,8	39,5	0,0	6,7
CHAUDIÈRE	2013-10-16	02340241	CHAU21,5	21,5	3	2	2	10,2	1,2	1,2	12,7	36,1	0,8	5,7
CHAUDIÈRE	2013-10-16	02340242	CHAU26,0	26	3	2	3	8,6	2,3	4,1	14,9	51,1	2,7	1,8
CHAUDIÈRE	2013-10-15	02340243	CHAU39	39	3	2	1	11,2	0,8	2,1	14,0	18,6	2,1	69,0
NEBNELLIS	2013-10-15	02340244	NEBN01	-	4	2	5	45,4	7,6	9,6	62,5	97,6	4,0	0,0
SAMSON	2013-10-15	02340245	SAMS01	-	6	2	6	51,4	5,9	13,6	71,0	96,2	6,6	0,0
CHAUDIÈRE	2014-09-02	02340237	CHAU1,0	1	3	0	3	6,6	0	64,5	71,1	81,0	57,4	6,6
CHAUDIÈRE	2014-09-02	02340238	CHAU1,8	1,8	4	1	2	17,9	0,5	36,2	54,6	64,7	33,9	13,8
CHAUDIÈRE	2014-09-02	02340239	CHAU2,3	2,3	3	1	4	19,4	2,3	25,5	47,2	62,5	18,1	7,9
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340268	CHAU4,0	4	4	1	5	26,2	3	26,2	55,3	65,4	22,8	0,8
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340080	CHAU5,0	5	4	1	5	36,8	4,4	18,4	59,6	72,8	15,5	1,5
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340240	CHAU7,5	7,5	5	1	5	35,9	5	21,4	62,3	71,8	16,4	0,9
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340269	CHAU10,5	10,5	3	1	5	29,0	5,2	35,3	69,4	89,7	22,2	0,0
CHAUDIÈRE	2014-09-04	02340267	CHAU14,5	14,5	6	1	5	26,9	3,2	33,6	63,6	77,5	24,1	0,0
CHAUDIÈRE	2014-09-04	02340241	CHAU21,5	21,5	5	2	5	34,3	2,1	18,2	54,5	69,0	13,2	0,0
CHAUDIÈRE	2014-09-08	02340242	CHAU26,0	26	5	1	5	40,1	0,4	23,1	63,6	79,3	19,0	0,0
CHAUDIÈRE	2014-09-08	02340078	CHAU30,5	30,5	6	1	4	49,8	0,7	21,5	72,0	86,9	19,3	0,0
CHAUDIÈRE	2014-09-08	02340243	CHAU39	39	4	1	3	30,6	2,1	42,6	75,2	86,8	38,8	0,0
CHAUDIÈRE	2014-09-09	02340074	CHAU56,7	56,7	4	2	5	47,6	2	34,1	83,8	93,2	30,7	0,0
CHAUDIÈRE	2014-09-09	02340073	CHAU66,7	66,7	5	1	3	34,7	1,4	44,6	80,8	92,5	43,2	0,0
CHAUDIÈRE	2014-09-09	02340072	CHAU75,0	75	5	1	6	34,2	0,8	37,7	72,7	91,5	30,8	0,0
NEBNELLIS	2014-09-04	02340244	NEBN01	-	5	2	8	24,9	6,2	44,4	75,5	100,0	28,2	0,0
SAMSON	2014-09-05	02340245	SAMS01	-	6	1	7	16,3	0,9	43,3	60,5	91,0	17,2	0,0

Annexe 6 (suite) Valeurs brutes des variables de communauté

Rivière	Date	Station	StatBio	Km	% Oligochètes				% Gastéropodes	% Mollusques	% Non-insectes	Taxon dominant	% Un taxon dominant	Deux taxons dominants	% deux taxons dominants		
					POLIGO	PGAST	PMOLLUS	PNONINSECT							PTD1	PTD2	PTOL
CHAUDIÈRE	2013-09-19	02340237	CHAU1,0	1	15,3	8,1	8,6	57,2				CHIRONOMIDAE	21,6	CHIRONOMIDAE, NEMERTEA	41,4	39,2	6,8
CHAUDIÈRE	2013-09-20	02340238	CHAU1,8	1,8	16,3	5,4	5,4	33,7				CHIRONOMIDAE	44,2	CHIRONOMIDAE, OLIGOCHAETA	60,5	73,3	17,8
CHAUDIÈRE	2013-09-26	02340239	CHAU2,3	2,3	11,7	14,7	14,7	32,8				CHIRONOMIDAE	34,3	CHIRONOMIDAE (GROUPE 1,2 (AMELETIDAE, BAETIDAE, SIPHLONURIDAE, METRETOPODIDAE))	52,1	49,4	23,4
CHAUDIÈRE	2013-09-26	02340240	CHAU7,5	7,5	8,9	21,4	21,4	39,1				GROUPE 1,2 (AMELETIDAE, BAETIDAE, SIPHLONURIDAE, METRETOPODIDAE)	19,9	GROUPE 1,2 (AMELETIDAE, BAETIDAE, SIPHLONURIDAE, METRETOPODIDAE), ANCYLIDAE	39,5	25,1	37,6
CHAUDIÈRE	2013-09-19	02340241	CHAU21,5	21,5	27,5	5,5	6,2	37,7				OLIGOCHAETA	27,5	OLIGOCHAETA, CHIRONOMIDAE	48,7	49,5	18,7
CHAUDIÈRE	2013-09-20	02340242	CHAU26,0	26	17,7	8,8	8,8	28,1				ELMIDAE, LUTROCHIDAE - LUTROCHUS	25,7	ELMIDAE, LUTROCHIDAE, LUTROCHUS, CHIRONOMIDAE	47	39,4	16,1
CHAUDIÈRE	2013-09-26	02340243	CHAU39	39	9,5	4,4	4,8	24,2				GROUPE 1,2 (AMELETIDAE, BAETIDAE, SIPHLONURIDAE, METRETOPODIDAE)	23,0	GROUPE 1,2 (AMELETIDAE, BAETIDAE, SIPHLONURIDAE, METRETOPODIDAE), EPHEMERELLIDAE	40,5	25,0	42,9
NEBNELLIS	2013-09-23	02340244	NEBN01	-	0,0	0,0	0,0	2,6				EPHEMERELLIDAE	18,5	EPHEMERELLIDAE (GROUPE 2,2 (LIMNPHILIDAE, APATANIDAE, LEPIDOSTOMATIDAE, BRACHYCENTRIDAE, ODONTOCERIDAE, VENOIDAE))	31,8	11,6	59,2
SAMSON	2013-09-23	02340245	SAMS01	-	0,4	0,0	0,4	6,0				CHIRONOMIDAE	15,0	CHIRONOMIDAE, HEPTAGENIIDAE	28,6	15,4	42,7
CHAUDIÈRE	2013-10-17	02340237	CHAU1,0	1	10,5	3,9	3,9	81,2				CLADOCERA	51,6	CLADOCERA, CHIRONOMIDAE	64,5	75,8	2,7
CHAUDIÈRE	2013-10-17	02340238	CHAU1,8	1,8	33,2	6,1	6,6	55,0				OLIGOCHAETA	33,2	OLIGOCHAETA, CHIRONOMIDAE	61,1	75,1	12,7
CHAUDIÈRE	2013-10-17	02340239	CHAU2,3	2,3	26,4	8,4	8,4	58,2				OLIGOCHAETA	26,4	OLIGOCHAETA, CHIRONOMIDAE	50,2	70,5	10,3
CHAUDIÈRE	2013-10-16	02340240	CHAU7,5	7,5	30,0	21,1	21,1	60,5				OLIGOCHAETA	30,0	OLIGOCHAETA, ANCYLIDAE	49,8	53,8	18,8
CHAUDIÈRE	2013-10-16	02340241	CHAU21,5	21,5	53,3	3,7	3,7	63,9				OLIGOCHAETA	53,3	OLIGOCHAETA, CHIRONOMIDAE	67,2	73,0	11,5
CHAUDIÈRE	2013-10-16	02340242	CHAU26,0	26	24,0	17,6	17,6	48,9				OLIGOCHAETA	24,0	OLIGOCHAETA, CHIRONOMIDAE	43,9	45,7	10,4
CHAUDIÈRE	2013-10-15	02340243	CHAU39	39	5,4	4,1	4,1	81,4				CLADOCERA	69,0	CLADOCERA, OLIGOCHAETA	74,4	76,9	9,9
NEBNELLIS	2013-10-15	02340244	NEBN01	-	1,2	0,0	0,0	2,4				CHIRONOMIDAE	31,5	CHIRONOMIDAE, HEPTAGENIIDAE	53,4	32,7	36,3
SAMSON	2013-10-15	02340245	SAMS01	-	0,0	0,0	0,0	3,8				EPHEMERELLIDAE	30,8	EPHEMERELLIDAE, CHIRONOMIDAE	45,5	14,7	56,3
CHAUDIÈRE	2014-09-02	02340237	CHAU1,0	1	7,4	4,1	4,1	19,0				HYDROPSYCHIDAE	57,4	HYDROPSYCHIDAE, OLIGOCHAETA	64,9	24,8	6,2
CHAUDIÈRE	2014-09-02	02340238	CHAU1,8	1,8	5,5	12,4	12,4	35,3				HYDROPSYCHIDAE	33,9	HYDROPSYCHIDAE, CLADOCERA	45,9	30,7	17,4
CHAUDIÈRE	2014-09-02	02340239	CHAU2,3	2,3	14,8	13,0	13,0	37,5				HYDROPSYCHIDAE	18,1	HYDROPSYCHIDAE (GROUPE 1,2 (AMELETIDAE, BAETIDAE, SIPHLONURIDAE, METRETOPODIDAE), OLIGOCHAETA)	32,9	38,9	22,7
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340268	CHAU4,0	4	8,9	21,5	21,9	34,6				GROUPE 1,2 (AMELETIDAE, BAETIDAE, SIPHLONURIDAE, METRETOPODIDAE)	24,1	GROUPE 1,2 (AMELETIDAE, BAETIDAE, SIPHLONURIDAE, METRETOPODIDAE), HYDROPSYCHIDAE	46,8	20,7	29,5
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340080	CHAU5,0	5	8,8	15,8	15,8	27,2				GROUPE 1,2 (AMELETIDAE, BAETIDAE, SIPHLONURIDAE, METRETOPODIDAE)	25,4	GROUPE 1,2 (AMELETIDAE, BAETIDAE, SIPHLONURIDAE, METRETOPODIDAE), HYDROPSYCHIDAE	40,9	20,2	41,5
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340240	CHAU7,5	7,5	15,5	10,5	10,5	28,2				GROUPE 1,2 (AMELETIDAE, BAETIDAE, SIPHLONURIDAE, METRETOPODIDAE)	19,1	GROUPE 1,2 (AMELETIDAE, BAETIDAE, SIPHLONURIDAE, METRETOPODIDAE), HYDROPSYCHIDAE	35,5	25,0	40,0
CHAUDIÈRE	2014-09-03	02340269	CHAU10,5	10,5	3,6	5,6	5,6	10,3				HYDROPSYCHIDAE	22,2	HYDROPSYCHIDAE, EPHEMERELLIDAE	36,5	17,1	34,9
CHAUDIÈRE	2014-09-04	02340267	CHAU14,5	14,5	16,2	4,3	4,3	22,5				HYDROPSYCHIDAE	24,1	HYDROPSYCHIDAE, OLIGOCHAETA	40,3	26,9	28,1
CHAUDIÈRE	2014-09-04	02340241	CHAU21,5	21,5	22,3	5,4	5,4	31,0				OLIGOCHAETA	22,3	OLIGOCHAETA, EPHEMERELLIDAE	37,2	31,0	31,4
CHAUDIÈRE	2014-09-08	02340242	CHAU26,0	26	2,9	16,9	16,9	20,7				EPHEMERELLIDAE	22,3	EPHEMERELLIDAE, HYDROPSYCHIDAE	41,3	9,5	35,5
CHAUDIÈRE	2014-09-08	02340078	CHAU30,5	30,5	2,2	8,0	8,4	13,1				EPHEMERELLIDAE	29,5	EPHEMERELLIDAE, HYDROPSYCHIDAE	48,7	8,4	48,0
CHAUDIÈRE	2014-09-08	02340243	CHAU39	39	6,6	4,1	4,1	13,2				HYDROPSYCHIDAE	38,8	HYDROPSYCHIDAE, EPHEMERELLIDAE	55,4	15,3	30,2
CHAUDIÈRE	2014-09-09	02340074	CHAU56,7	56,7	2,0	1,4	1,4	6,8				HYDROPSYCHIDAE	30,7	HYDROPSYCHIDAE (GROUPE 1,2 (AMELETIDAE, BAETIDAE, SIPHLONURIDAE, METRETOPODIDAE))	44,3	8,1	42,9
CHAUDIÈRE	2014-09-09	02340073	CHAU66,7	66,7	2,3	3,3	3,8	7,5				HYDROPSYCHIDAE	43,2	HYDROPSYCHIDAE, HEPTAGENIIDAE	56,8	8,5	23,9
CHAUDIÈRE	2014-09-09	02340072	CHAU75,0	75	1,5	3,5	3,5	8,5				HYDROPSYCHIDAE	30,8	HYDROPSYCHIDAE, HEPTAGENIIDAE	44,6	14,6	25,0
NEBNELLIS	2014-09-04	02340244	NEBN01	-	0,0	0,0	0,0	0,0				HYDROPSYCHIDAE	28,2	HYDROPSYCHIDAE, CHIRONOMIDAE	44	15,8	35,7
SAMSON	2014-09-05	02340245	SAMS01	-	1,7	0,4	0,4	9,0				CHIRONOMIDAE	18,0	CHIRONOMIDAE, HYDROPSYCHIDAE	35,2	19,7	38,6

Annexe 7 Comparaison des valeurs médianes, moyennes, minimales et maximales de l'ISB_{SurVol} et de certaines variables de communauté aux sept stations de la rivière Chaudière et aux deux stations de référence en 2013 et en 2014

		Référence			Chaudière		
		septembre 2013	octobre 2013	septembre 2014	septembre 2013	octobre 2013	septembre 2014
	Nombre de stations	2	2	2	7	7	7
ISB _{SurVol}	médiane	93,1	85	86,8	64,6	56,2	75,2
	moyenne	93,1	85	86,8	63	55,5	76,2
	minimum	93	77,3	86,4	47,3	45,4	59,2
	maximum	93,2	92,6	87,1	76,6	64,9	86,7
NTTOT	médiane	23	19,5	22,5	18	16	20
	moyenne	23	19,5	22,5	17,7	16,6	19,3
	minimum	19	17	21	15	14	15
	maximum	27	22	24	20	19	22
NTEPT	médiane	14	12,5	14,5	6	6	8
	moyenne	14	12,5	14,5	5,3	5,7	9
	minimum	12	11	14	3	6	7,7
	maximum	16	14	15	7	8	12
PEPTH	médiane	62,3	61,5	45,3	24,2	12,2	36,4
	moyenne	62,3	61,5	45,3	26,4	12,9	33,1
	minimum	58,1	58,6	43,3	7,7	2,7	13,6
	maximum	66,5	64,3	47,3	48	18,8	45,9
PC	médiane	13,3	23,1	16,9	21,3	15,7	7,3
	moyenne	13,3	23,1	16,9	23,9	16,7	7,3
	minimum	11,6	14,7	15,8	11,1	2,5	6,6
	maximum	15	31,5	18	44,2	27,9	11,1
PTD2	médiane	30,2	49,5	39,6	47	61,1	41,3
	moyenne	30,2	49,5	39,6	47,1	58,7	44,7
	minimum	28,6	45,5	35,2	39,5	43,9	32,9
	maximum	31,8	49,5	39,6	60,5	74,4	64,9
FBIv	médiane	3,51	3,82	4,15	5,81	6,75	4,73
	moyenne	3,51	3,82	4,15	5,64	6,67	4,64
	minimum	3,25	3,25	3,95	4,42	5,99	3,86
	maximum	3,77	4,39	4,34	6,75	7,32	5,37

Annexe 8 Valeurs de signification permettant d'évaluer l'effet des perturbations reliées au déversement de pétrole sur les variables de communauté (stations de la rivière Chaudière entre les périodes d'échantillonnage)

	Variables	septembre 2013	septembre 2013	octobre 2013
		octobre 2013	septembre 2014	septembre 2014
ISB _{SurVol}	ISB	0,108	0,043	0,018
	NTTOT	0,309	0,301	0,034
	NTEPT	0,45	0,018	0,017
	PEPTH	0,018	0,176	0,018
	PC	0,043	0,018	0,043
	PTD2	0,128	0,735	0,028
	FBI	0,028	0,063	0,018
Autres	Densité	0,499	0,018	0,018
	PTRICH	0,799	0,018	0,018
	PPLEC	0,593	0,043	0,173
	PEPHE	0,018	0,866	0,018
	POLIGO	0,063	0,176	0,028
	PNONINSECT	0,018	0,063	0,018
	PMOLLUSC	0,499	0,612	0,6
	PCRUST	0,018	0,498	0,043

Test Wilcoxon pour échantillons appariés (p < 0,05)

Annexe 9 Identification visée pour les différents taxons – Niveau 1 (tiré de MDDEFP, 2013b)

#	Taxons	Identification	Tolérance
1	Éphéméroptère	Baetiscidae	3
2	Éphéméroptère	Groupe 1.1 (Ephemeridae, Polymitarcyidae)	4*
3	Éphéméroptère	Potamanthidae	4
4	Éphéméroptère	Ephemerellidae	1
5	Éphéméroptère	Leptophlebiidae	2
6	Éphéméroptère	Caenidae	7
7	Éphéméroptère	Leptohyphidae (anciennement Tricorythidae)	4
8	Éphéméroptère	Heptageniidae	4
9	Éphéméroptère	Isonychiidae – <i>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	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	Gérromorphe (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)	Halplidae	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 9 (suite) Identification visée pour les différents taxons – Niveau 1 (tiré de MDDEFP, 2013b)

#	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 (en partie)	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	Némertea	6
59	Nématode	Nématoda	5
60	Annélide - Oligochète	Annélide – 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	Prosobranchie (Pleuroceridae, Hydrobiidae, Viviparidae, Bithyniidae,	7*
	Macroinvertébré non- identifié		

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**

Québec

