



## 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**

### **Coordination et rédaction**

Cette publication a été réalisée par la Direction 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 face 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](mailto:info@mddelcc.gouv.qc.ca)  
Internet : [www.mddelcc.gouv.qc.ca](http://www.mddelcc.gouv.qc.ca)

### **Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques**

Direction du suivi de l'état de l'environnement  
675, boul. René-Lévesque Est  
Québec (Québec) G1R 5V7  
Téléphone : 418 521-3820

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 in situ de la toxicité des sédiments de la rivière Chaudière sur les communautés de macroinvertébrés benthiques, un an après le déversement*, 14 pages et 3 annexes.  
ISBN 978-2-550-74871-7

Dépôt légal – 2016  
Bibliothèque et Archives nationales du Québec  
ISBN 978-2-550-74871-7 (PDF)

Tous droits réservés pour tous les pays.

© Gouvernement du Québec – 2016

## ÉQUIPE DE RÉALISATION

### Rédaction

Julie Moisan<sup>1</sup>, spécialiste en sciences physiques  
Lyne Pelletier<sup>1</sup>, M. Sc., biologiste

### Échantillonnage

Julie Moisan<sup>1</sup>  
Lyne Pelletier<sup>1</sup>  
Guillaume Desrosiers<sup>1</sup>

### Laboratoire - taxonomie

Diane Grenier<sup>2</sup>

### Révision scientifique

David Berryman, M. Sc.<sup>1</sup>  
Frédéric Dechamplain, M. Sc.<sup>3</sup>  
Mélanie Desrosiers, Ph. D., écotoxicologue<sup>4</sup>  
Bernadette Pinel-Alloul, professeure titulaire<sup>5</sup>  
Gaëlle Triffault-Bouchet, Ph. D., écotoxicologue<sup>4</sup>

---

<sup>1</sup> Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction du suivi de l'état de l'environnement

<sup>2</sup> Contrat personnel

<sup>3</sup> Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Bureau de coordination des urgences

<sup>4</sup> Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec

<sup>5</sup> Groupe de recherche interuniversitaire en limnologie (GRIL), Université de Montréal, Département de sciences biologiques

## RÉSUMÉ

La catastrophe ferroviaire de Lac-Mégantic survenue le 6 juillet 2013 a entraîné un déversement de pétrole dans la rivière Chaudière, causant ainsi la contamination des sédiments. En 2014, un an après la contamination, deux études ont été réalisées à la demande du Comité expert sur la contamination résiduelle de la rivière Chaudière par les hydrocarbures pétroliers (Comité expert) afin d'évaluer la toxicité des sédiments pour les communautés benthiques.

Ces deux études de caractérisation de la structure des communautés de macroinvertébrés benthiques ont été réalisées, 1) dans cinq zones de sédimentation présentant un gradient de contamination par les hydrocarbures pétroliers C<sub>10</sub>-C<sub>50</sub> et 2) dans le secteur de sédimentation le plus contaminé, soit le point kilométrique 4,5 (PK 4,5), à 4,5 kilomètres en aval du lac Mégantic. Soulignons que ce secteur a fait l'objet de travaux de restauration à l'automne 2014, après la caractérisation des communautés benthiques.

Le gradient de contamination n'a pu être inclus dans les analyses. Les données de ces deux études ont été traitées ensemble; les stations ont été considérées soit comme des stations de référence, soit comme des stations contaminées.

Les résultats montrent les effets de la présence d'hydrocarbures sur les communautés benthiques. Les groupes taxonomiques dont l'abondance varie en fonction de la contamination sont les oligochètes et les diptères Chironomidae. La présence d'hydrocarbures pétroliers favorise les oligochètes alors que les diptères Chironomidae de la tribu des Chironomini semblent sensibles aux hydrocarbures.

## TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	IV
MISE EN CONTEXTE	VII
1. INTRODUCTION	1
2. MÉTHODOLOGIE	2
2.1 Le choix des stations d'échantillonnage	2
2.2 L'échantillonnage, le traitement des échantillons et l'identification des macroinvertébrés benthiques	3
2.3 L'analyse des données	4
3. RÉSULTATS ET DISCUSSION	5
3.1 Les effets du pétrole sur les communautés de macroinvertébrés benthiques	5
3.2 Les différences de structure de communautés de macroinvertébrés peuvent-elles être attribuables à la nature du substrat?	8
3.3 La recolonisation	10
4. CONCLUSION	12
5. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	13
6. ANNEXES	16

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Hydrocarbures pétroliers (C <sub>10</sub> -C <sub>50</sub> ) dans les sédiments aux stations d'échantillonnage	2
Tableau 2	Résultats du test de Mann-Whitney effectué sur différentes variables de communauté	6
Tableau 3	Valeur moyenne, par station, des cinq variables de communauté sélectionnées	6

## LISTE DES FIGURES

Figure 1	Carte des stations d'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques	3
Figure 2	Analyse factorielle de correspondance réalisée sur les données d'abondance relative des taxons	5
Figure 3	Boîtes à moustaches des cinq variables de structure de communauté démontrant une habileté à répondre aux hydrocarbures pétroliers	7
Figure 4	Analyse canonique de correspondance réalisée sur les données d'abondance relative des taxons et sur la nature du substrat	9
Figure 5	Boîtes à moustaches du pourcentage d'Hydrobiidae – <i>Ammicola</i> sp. présents dans les différents groupes de stations	10
Figure 6	Tracé de la rivière Chaudière à la station 282	11

## LISTE DES ANNEXES

Annexe 1	Coordonnées des stations	16
Annexe 2	Liste des variables évaluées et abréviations utilisées	17
Annexe 3	Variables de communauté calculées par échantillon	19

## MISE EN CONTEXTE

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

Au cours de l'été et de l'automne 2013, des équipes ont été déployées pour nettoyer, autant que possible, le littoral et 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 contamination résiduelle de la rivière Chaudière par les hydrocarbures pétroliers (Comité expert) le mandat de dégager un état de situation de la rivière sur la base des résultats obtenus en 2013, de déterminer les conséquences potentielles du déversement sur l'écosystème et d'élaborer un plan de gestion de la contamination résiduelle. Le plan proposé par le Comité expert a été adopté par le Ministère et rendu public le 12 mai 2014.

Le plan de gestion de la contamination résiduelle de la rivière Chaudière (MDDELCC, 2014) vise cinq objectifs et comprend quatorze projets. Ce rapport présente les résultats du projet 2.3 – « Évaluation de la toxicité des sédiments sur les communautés benthiques ». Il présente également l'état de la communauté benthique dans le secteur le plus contaminé de la rivière Chaudière, le secteur du PK 4,5, avant les travaux de restauration qui s'y sont déroulés. Ces travaux ont été réalisés durant l'automne 2014, dans le cadre du projet 4.2 du plan de gestion.



## 1. INTRODUCTION

Les macroinvertébrés benthiques intègrent les multiples perturbations chimiques et physiques à court et moyen termes et vivent en contact direct avec les sédiments. Ils offrent donc un bon potentiel pour évaluer les effets des déversements pétroliers, surtout après un certain temps, lorsque la contamination de l'eau n'est plus importante mais que celle des sédiments est toujours présente. Une revue de la documentation scientifique sur les effets des déversements d'hydrocarbures sur les communautés benthiques a été réalisée en 2013-2014 (Grenier, 2014b). Les hydrocarbures peuvent affecter les organismes benthiques de diverses façons. Par contact direct, la toxicité du produit peut tuer certains organismes (Hoehn et collab., 1974) ou affecter les fonctions des organes respiratoires tels que les branchies (Woodward et collab., 1981). La présence d'hydrocarbures sur les substrats peut nuire à leur colonisation par les macroinvertébrés, affecter les sources alimentaires de ces derniers et modifier l'équilibre proie-prédateur. Par ailleurs, les microorganismes impliqués dans la dégradation des produits pétroliers consomment de l'oxygène et peuvent causer l'anoxie du milieu (Harrel, 1985; Couceiro et collab., 2006).

Différentes études de caractérisation réalisées en 2013 ont mis en évidence la contamination importante des sédiments de la haute Chaudière par des hydrocarbures pétroliers (MDDELCC, 2014). En 2013 et 2014, un suivi des communautés de macroinvertébrés benthiques a été réalisé dans des tronçons de seuils et des plats courants dont le substrat grossier est majoritairement constitué de roches, de galets et de blocs (Grenier, 2014a; MDDELCC, 2015a). Puisque les zones de sédiments fins présentaient une plus forte contamination par les hydrocarbures pétroliers (MDDELCC, 2014), une caractérisation des communautés de macroinvertébrés benthiques dans ces zones a été recommandée (Grenier, 2014a). En accord avec cette recommandation, le Comité expert a demandé la réalisation d'études supplémentaires pour évaluer la toxicité des sédiments sur les organismes benthiques de la rivière Chaudière dans les zones d'accumulation (MDDELCC, 2014).

En 2014, un an après le déversement, deux études sur la structure des communautés de macroinvertébrés benthiques ont été réalisées 1) dans cinq zones de sédimentation présentant un gradient de contamination par les hydrocarbures pétroliers C<sub>10</sub>-C<sub>50</sub> et 2) dans le secteur de sédimentation le plus contaminé, le PK 4,5, situé à 4,5 kilomètres en aval du lac Mégantic. Ce document présente les résultats de ces deux études.

## 2. MÉTHODOLOGIE

### 2.1 Le choix des stations d'échantillonnage

La sélection des stations d'échantillonnage est basée sur les résultats de la contamination des sédiments par les hydrocarbures C<sub>10</sub>-C<sub>50</sub> 1) obtenus en juin 2014 par le MDDELCC aux stations situées dans le secteur du PK 4,5 et 2) sur les résultats obtenus en septembre 2014 par Conestoga-Rovers & Associés (CRA) aux autres stations. Parmi les 20 stations visées par l'étude du MDDELCC (2015b), qui consistait en des essais de toxicité sur deux organismes benthiques (*Chironomus riparius* et *Hyaella azteca*), cinq stations présentant un gradient de contamination ont été choisies en plus des trois stations du PK 4,5.

De nouvelles analyses effectuées à la fin du mois de septembre (MDDELCC, 2015b), peu avant l'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques, ont cependant révélé des teneurs en C<sub>10</sub>-C<sub>50</sub> différentes de celles qui avaient été précédemment mesurées. De plus, certaines observations visuelles effectuées lors de l'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques ne semblaient pas concorder avec le niveau de contamination mesuré dans la caractérisation de CRA au début de septembre. Par exemple, à la station 48-49, on pouvait observer beaucoup d'irisation lorsque les sédiments étaient brassés, ce qui ne concordait pas avec le résultat de l'étude de CRA, laquelle révélait un niveau de contamination sous les limites de détection. Les différents résultats et les observations visuelles montrent que la contamination des sédiments varie dans un rayon de quelques mètres et dans le temps.

Dans cette étude, la station 282 a été classée parmi les stations de référence, même si des concentrations d'hydrocarbures C<sub>10</sub>-C<sub>50</sub> y atteignent jusqu'à 200 mg/kg. Lors de l'échantillonnage des communautés benthiques, seule cette station n'a présenté aucune irisation. D'après les coordonnées des différents points d'échantillonnage, une distance d'un peu moins de quatre mètres sépare le point d'échantillonnage des sédiments caractérisés et celui des prélèvements de macroinvertébrés benthiques. Cette distance correspond à peu près à la précision de positionnement du GPS utilisé.

Compte tenu de l'incertitude quant aux concentrations précises auxquelles les organismes ont été exposés, les analyses statistiques ont été faites sur la base du niveau général de contamination à la station (station de référence ou contaminée), plutôt que sur les concentrations mesurées en 2014. Ainsi, chaque station appartient soit au groupe « référence », soit au groupe « contaminé ».

Le positionnement des différentes stations échantillonnées est présenté à la figure 1 et leurs coordonnées géographiques se trouvent à l'annexe 1. Les niveaux de contamination sont décrits au tableau 1.

**Tableau 1 Hydrocarbures pétroliers (C<sub>10</sub>-C<sub>50</sub>) dans les sédiments aux stations d'échantillonnage**

Station	PK <sup>1</sup>	C <sub>10</sub> -C <sub>50</sub> 2013 (mg/kg)	C <sub>10</sub> -C <sub>50</sub> 2014 (mg/kg)	Classe de qualité <sup>2</sup>	Irisation lors de l'échantillonnage (octobre 2014)	Niveau de contamination considéré
121	9,0	0	< LD	1	oui	référence
282	1,2	0 – 100	88-200	2	non	référence
48 – 49	4,0	870 – 9400	< LD – 650	3	oui, beaucoup	contaminé
Sta-6A	5,0	540	480 – 1500	3	oui, beaucoup	contaminé
24	5,2	100 – 35000	< LD – 6000	3	oui, peu	contaminé
DR41	4,5	850 – 3500	< LD	3	nd <sup>3</sup>	contaminé
DR42	4,5	430 – 3500	2500 – 8000	3	nd	contaminé
DR49	4,5	nd	260 – 1100	3	nd	contaminé

<sup>1</sup> PK : point kilométrique, c.-à-d. la distance à partir du barrage de Lac-Mégantic

<sup>2</sup> Classe de qualité déterminée par l'analyse la plus déclassante en 2013 et 2014 : 1) x < 164 mg/kg; 2) 164 mg/kg ≤ x ≤ 832 mg/kg; 3) x > 832 mg/kg

Valeurs de référence : effet chronique = 164 mg/kg; effet aigu = 832 mg/kg

<sup>3</sup> nd : non disponible

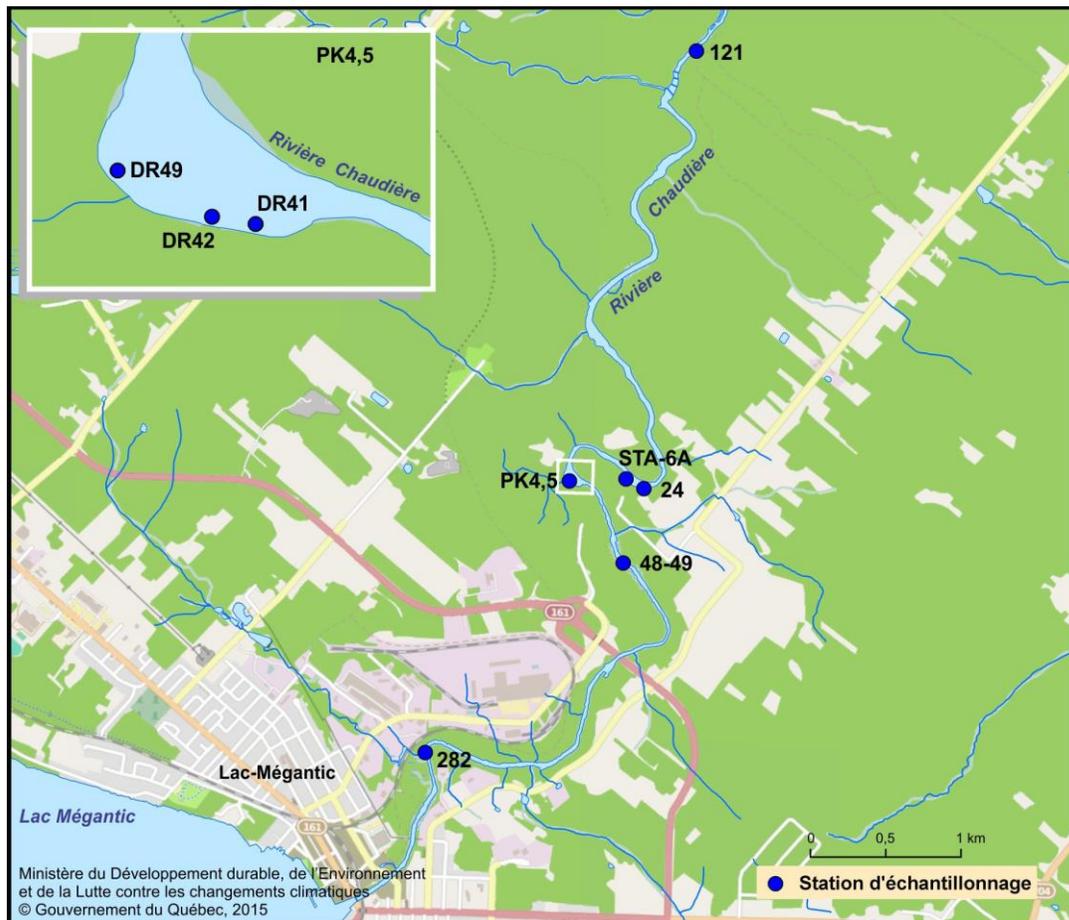


Figure 1 Carte des stations d'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques

## 2.2 L'échantillonnage, le traitement des échantillons et l'identification des macroinvertébrés benthiques

À chaque station, trois échantillons ont été prélevés à l'aide d'une benne Eckman standard (6 x 6 x 6 pouces) montée sur une tige de métal. L'échantillonnage a été fait à gué dans des zones peu profondes de la rivière où la benne était enfoncée dans le substrat meuble en amont de l'opérateur. Une fois qu'elle était bien fermée, la benne était sortie délicatement de l'eau et son contenu était transféré dans une chaudière à fond grillagée de 540 µm de maille. Le contenu de la chaudière était ensuite tamisé pour éliminer une partie des sédiments fins, puis transféré dans des pots. L'agent de conservation utilisé était l'alcool éthylique à 95 % de volume, préalablement coloré avec du rose bengale. Un minimum de concentration de 70 % de volume d'alcool était visé. Chacun des échantillons a été identifié par le numéro de station et les répliqués l'ont été par les lettres A, B et C. La distance entre chaque répliquat était de un à quelques mètres. Cependant, à la station 48-49, moins propice à la sédimentation, l'échantillon C se situait à une trentaine de mètres des deux autres échantillons.

Les stations situées dans le secteur du PK 4,5 (DR41, DR42 et DR49) ont été échantillonnées en juin 2014 afin d'être en mesure d'évaluer l'état des communautés benthiques avant que ce secteur ne subisse les travaux

d'enlèvement des sédiments contaminés, lesquels furent réalisés à l'automne. Ce secteur est l'unique endroit de la rivière où le dragage de sédiments a été effectué. Les autres stations ont été échantillonnées en octobre 2014. Les échantillons ont été transportés au laboratoire, où leur type de substrat a été évalué visuellement, puis répartis dans les classes suivantes : argile/limon, sable, gravier, matière organique et copeaux de bois. Ensuite, ils ont été tamisés sur une maille de 600 µm. Le tri et l'identification des macroinvertébrés benthiques ont été effectués sous une loupe binoculaire. Tous les organismes contenus dans les échantillons ont été identifiés, et ce, majoritairement au niveau taxonomique du genre. À noter que les oligochètes ont été identifiés comme tels (classe) et que les diptères Chironomidae ont été identifiés au niveau de la tribu (chironomini, tanytarsini et pentaneurini) ou à celui de la sous-famille. L'identification des insectes est basée sur les clés taxonomiques présentées par Merrit et collab. (2008) et l'identification des autres organismes se fonde sur les clés présentées par Smith (2001).

## 2.3 L'analyse des données

Plusieurs variables exprimant différents aspects de la structure de la communauté benthique ont été calculées. Elles se répartissent dans quatre grandes catégories : mesure de richesse taxonomique, diversité taxonomique, composition taxonomique et tolérance à la pollution (MDDEFP, 2013). Les valeurs des différentes variables ont été comparées entre le groupe « référence » et le groupe « contaminé » (tableau 1).

### Analyses statistiques

Les ordinations ont été réalisées au moyen du logiciel Canoco, version 4.5.

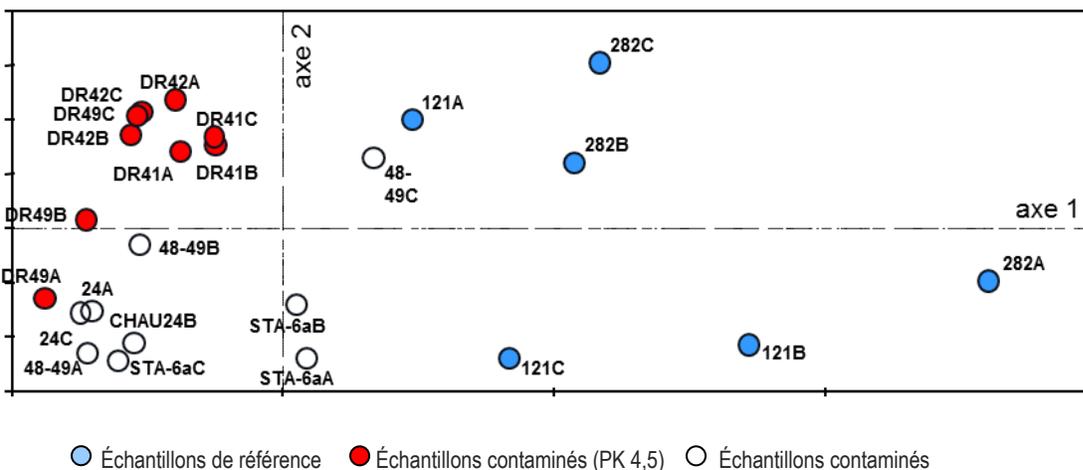
- L'analyse factorielle des correspondances (AFC; en anglais : *correspondence analysis*, CA) a été utilisée pour évaluer les dissemblances ou les ressemblances entre les communautés biologiques des échantillons « de référence » et « contaminés » (Legendre et Legendre, 1998).
- L'analyse canonique de correspondance (ACC; en anglais : *canonical correspondence analysis*, CCA) a été utilisée pour mettre en relation les données d'abondance relative des taxons et la nature du substrat de chaque échantillon (Legendre et Legendre, 1998).

Le test de Mann-Whitney (U-Mann-Whitney) a été utilisé (SYSTAT, version 13) pour vérifier si les valeurs des variables de communauté occupaient des rangs équivalents dans les échantillons « de référence » et « contaminés », de manière à révéler la similitude des deux distributions (Scherrer, 1984). Ce test est analogue au test paramétrique de Student (test de t).

### 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

#### 3.1 Les effets du pétrole sur les communautés de macroinvertébrés benthiques

L'analyse factorielle de correspondance démontre que la composition en taxons des échantillons permet de séparer les stations 121 et 282 des autres stations. En effet, dans la figure 2, les échantillons des stations contaminées sont groupés à la gauche du graphique, alors que les échantillons des stations de référence sont distribués à sa droite. On constate que l'échantillon C de la station 48-49 s'écarte des répliqués A et B. Rappelons que cet échantillon se trouvait à une trentaine de mètres de distance des deux autres. Cette analyse nous indique également que les stations situées au PK 4,5 (DR41, DR42 et DR49) sont différentes des autres stations contaminées. Cette différence est attribuable, entre autres, à un mollusque gastéropode qui est abondant dans les échantillons issus du PK 4,5. Dans ces échantillons, les oligochètes constituent le taxon dominant et dans huit échantillons sur neuf, la codominance va au taxon *Amnicola* sp., un gastéropode de la famille des Hydrobiidae. Le fait que les stations du PK 4,5 n'aient pas été échantillonnées au même moment que les autres stations pourrait aussi être responsable du regroupement de ces stations. Cependant, la décision d'analyser ensemble les données de juin et d'octobre demeure justifiée par deux raisons : 1) cela permettait d'augmenter le nombre de stations pour les analyses et 2) aucune donnée de référence n'était disponible pour juin. L'axe 1 explique 76,8 % de la variance des taxons et représente vraisemblablement l'effet de la contamination par le pétrole (figure 2).



**Figure 2** Analyse factorielle de correspondance réalisée sur les données d'abondance relative des taxons

Plus d'une trentaine de variables décrivant la communauté de macroinvertébrés benthiques (annexe 2) ont été calculées pour évaluer les effets des hydrocarbures pétroliers sur la communauté. Les résultats du test de Mann-Whitney, présentés dans le tableau 2, ont servi à dégager les variables adéquates. Les variables dont la valeur de U est basse, tel le pourcentage d'insectes, ou élevée, tel le pourcentage d'oligochètes, et dont la valeur de P est faible ( $P \leq 0,001$ ), ont été choisies.

**Tableau 2 Résultats du test de Mann-Whitney effectué sur différentes variables de communauté**

Variable*	U	P	Variable*	U	P	Variable*	U	P	Variable*	U	P
<b>Nbtax</b>	16,500	0,012	<b>%ET</b>	32,000	0,135	<b>%tany/ech</b>	9,500	0,000	<b>%taxtol</b>	88,500	0,021
<b>NbtaxEph</b>	27,000	0,043	<b>%inse</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>%crus</b>	42,500	0,437	<b>Nbtaxtol</b>	68,000	0,336
<b>NbtaxTri</b>	47,000	0,538	<b>%chiro</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>%olig</b>	<b>107,000</b>	<b>0,000</b>	<b>%tol</b>	64,000	0,505
<b>NbtaxET</b>	30,000	0,075	<b>%ort/Chir</b>	51,500	0,861	<b>%gast</b>	70,000	0,286	<b>%taxinto</b>	29,500	0,068
<b>NbtaxOET</b>	38,000	0,229	<b>%ort/ech</b>	41,000	0,362	<b>%pele</b>	51,000	0,841	<b>%intol</b>	18,500	0,008
<b>NbtaxChiro</b>	17,000	0,009	<b>%chirni/chiro</b>	43,500	0,483	<b>%moll</b>	68,500	0,334	<b>HBI</b>	61,000	0,641
<b>NbtaxGas</b>	46,500	0,596	<b>%chirni/ech</b>	<b>4,000</b>	<b>0,001</b>	<b>%amnico</b>	62,500	0,564	<b>abond</b>	43,000	0,463
<b>%ephe</b>	29,500	0,075	<b>%chirnae/ech</b>	<b>1,500</b>	<b>0,000</b>	<b>%taxdom</b>	80,000	0,083			
<b>%trich</b>	48,000	0,599	<b>%tany/Chir</b>	9,500	0,000	<b>%taxdeuxdo</b>	63,000	0,549			

\* Les abréviations des variables sont disponibles à l'annexe 1.

Tous les résultats des variables calculées par échantillon sont présentés à l'annexe 3 et les moyennes des variables les plus pertinentes sont présentées par station au tableau 3. Seules quelques-unes des variables testées ont montré une habileté à répondre à la contamination. Il s'agit de l'abondance relative des insectes, des Chironomidae, des Chironominae, des Chironomini et des oligochètes.

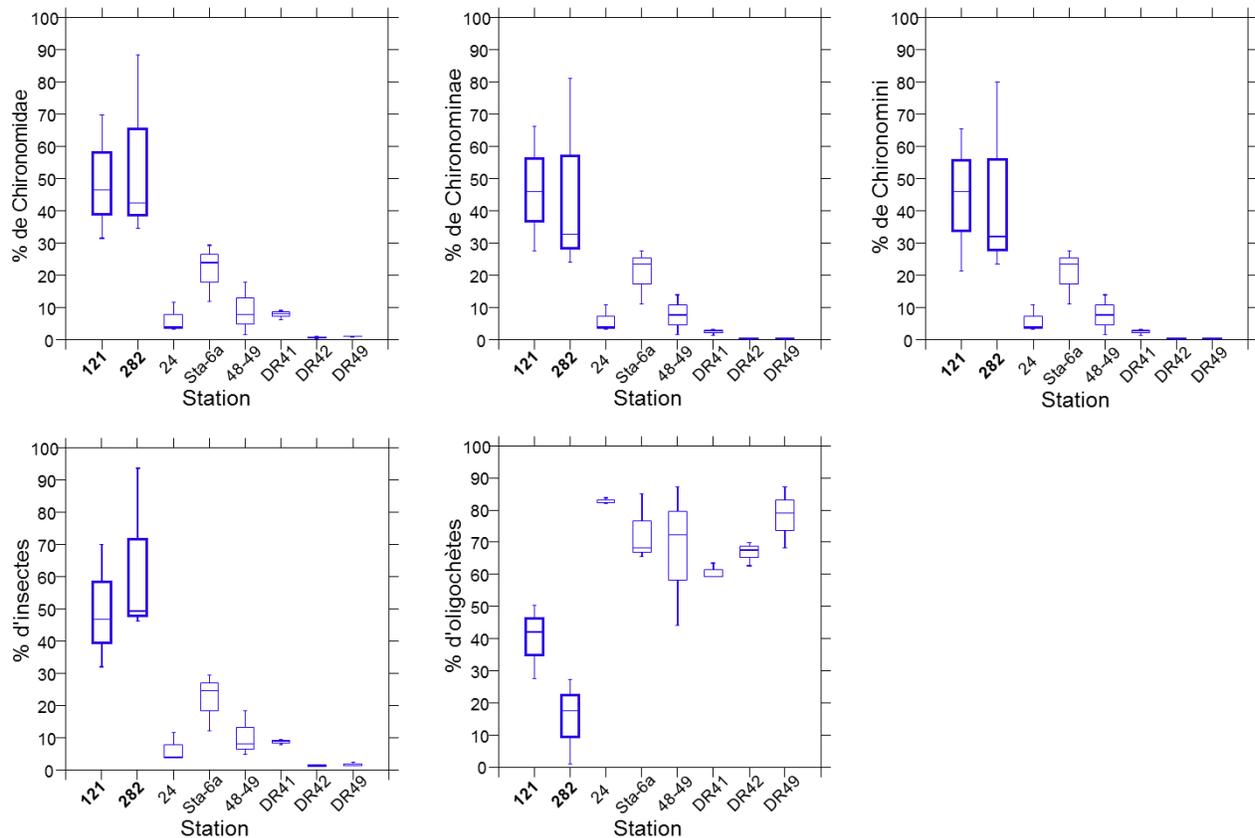
**Tableau 3 Valeur moyenne, par station, des cinq variables de communauté sélectionnées**

Station	%Insectes	%Chironomidae	%Chironominae	%Chironomini	%Oligochètes
DR41	8,8	7,8	2,4	2,4	60,7
DR42	1,3	0,6	0,2	0,2	66,7
DR49	1,6	1,0	0,2	0,2	78,1
48-49	10,4	9,1	7,7	7,7	67,9
24	6,4	6,2	6,0	6,0	82,8
STA-6a	22,0	21,7	20,7	20,7	72,9
121	49,6	49,2	46,6	44,3	40,0
282	63,1	55,2	46,0	45,1	15,3

Les variables « pourcentage de Tanytarsini » et « organismes intolérants à la pollution » montrent des différences significatives entre les échantillons du groupe de référence et ceux du groupe contaminé. Cependant, leurs valeurs de U sont plus éloignées de 0 que ne le sont celles des autres variables qui diminuent en présence de pollution pétrolière (test de Mann-Whitney – tableau 2). Ces variables n'ont pas été retenues. Le pourcentage d'organismes intolérants à la pollution organique\* comprend les taxons dont la cote de tolérance est inférieure à 4. Les cotes de tolérance utilisées sont tirées de Bode et collab. (2002, 1996) et complétées au besoin par celles de Hilsenhoff (1988).

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

Le pourcentage d'insectes varie en fonction des deux plus importants groupes étudiés, soit les annélides oligochètes (non-insectes) et les diptères Chironomidae (insectes). Les oligochètes constituent de 60 à 83 % de la communauté dans les stations contaminées, alors que les Chironomidae dominent les stations de référence à environ 50 %. Les boîtes à moustaches de la figure 3 illustrent l'étendue des données des cinq variables retenues. Ces graphiques présentent les valeurs médiane, minimale et maximale, le 25<sup>e</sup> centile et le 75<sup>e</sup> centile d'une variable. L'espace interquartile, celle qui sépare les 25<sup>e</sup> et 75<sup>e</sup> centiles, estime la variabilité centrale des valeurs de la variable.



**Figure 3** Boîtes à moustaches des cinq variables de structure de communauté démontrant une habileté à répondre aux hydrocarbures pétroliers

### Les Chironomidae

Les Chironomidae, reconnus pour leur tolérance à l'enrichissement par la matière organique et par les nutriments, regroupent plusieurs espèces intolérantes aux hydrocarbures pétroliers (Mozley et Butler, 1978; Pettigrove et Hoffmann, 2005; Anson et collab., 2008). Ils représentent une famille composée d'une multitude d'espèces et sont omniprésents dans les milieux aquatiques. Les Chironominae, sous-famille des Chironomidae, comportent deux tribus, les Chironomini et les Tanytarsini. Dans leur étude en microcosmes, Anson et collab. (2008) ont démontré que les Chironominae dominaient dans les échantillons de référence et non dans les échantillons contaminés par différents types d'hydrocarbures pétroliers d'origine anthropique. De plus, ils ont démontré que les échantillons contenant des hydrocarbures issus de la matière organique en décomposition étaient également dominés par les

Chironominae, comme l'étaient les échantillons de référence. Rosenberg et Wiens (1976) avaient également constaté l'intolérance des Chironominae aux hydrocarbures pétroliers d'origine anthropique. Les membres de cette sous-famille vivent généralement dans les sédiments, où ils se nourrissent de matière organique, ce qui expliquerait leur sensibilité à la contamination des sédiments (Anson et collab., 2008).

Les stations de référence de cette étude, soit les stations 121 et 282, sont dominées par les Chironomidae de la sous-famille des Chironominae. La tribu des Chironimini en compose l'essentiel avec quelques Tanytarsini (annexe 3). Cette domination semble attribuable à la quasi-absence d'hydrocarbures pétroliers.

### **Les oligochètes**

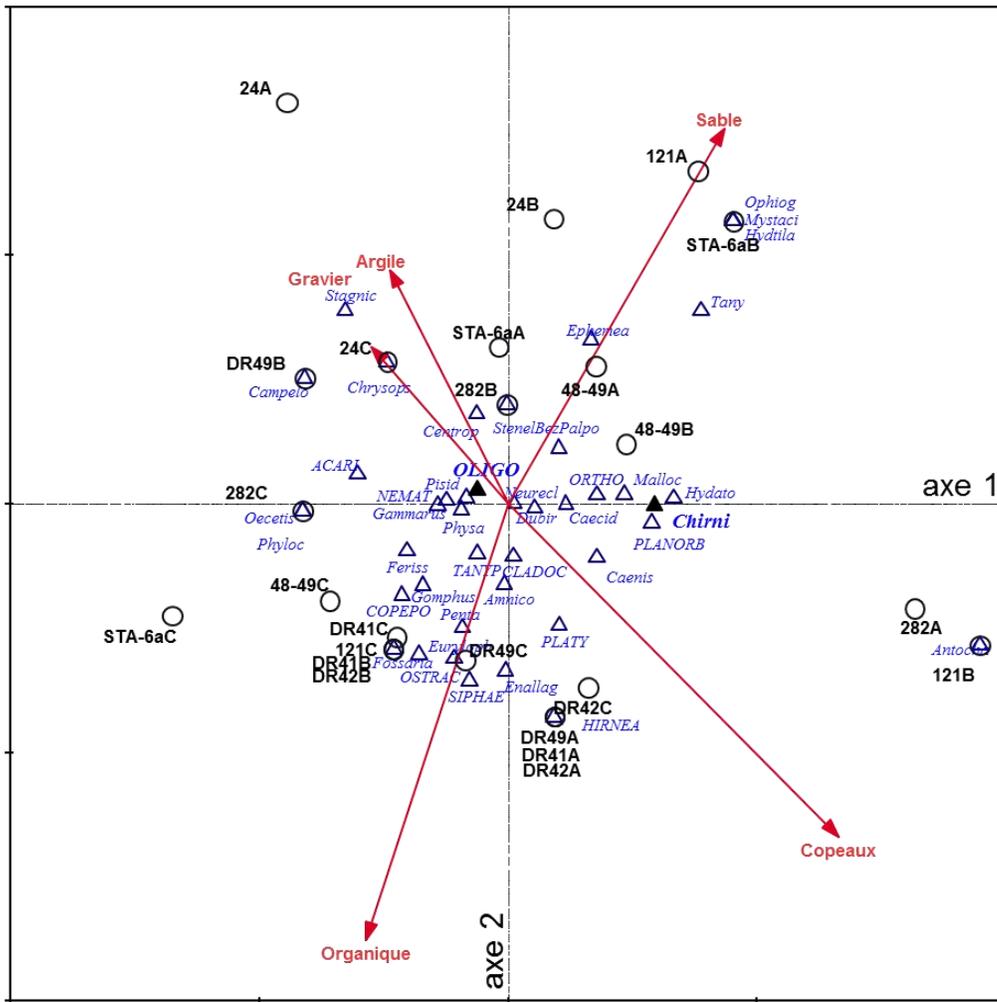
Les oligochètes sont considérés comme tolérants aux hydrocarbures par plusieurs auteurs (McCauley, 1966; Harrel, 1985; Crunkilton et Duchrow, 1990; Smith et collab., 2010). Une revue de littérature sur les dynamiques des écosystèmes aquatiques suivant les perturbations causées par les hydrocarbures pétroliers indique que la prolifération de taxons opportunistes comme les polychètes, les oligochètes et les nématodes 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) la tolérance aux matières toxiques présentes dans les hydrocarbures; 2) une réponse à l'augmentation d'une source de nourriture appropriée; ou 3) l'absence de prédateurs. Que ce soit pour l'une ou l'autre de ces raisons, ou plus vraisemblablement à cause d'une combinaison de celles-ci, les oligochètes dominent aux stations contaminées.

## **3.2 Les différences de structure de communautés de macroinvertébrés peuvent-elles être attribuables à la nature du substrat?**

Lors de l'échantillonnage des macroinvertébrés, la présence de copeaux de bois a été notée à plusieurs endroits dans la rivière Chaudière. En laboratoire, la nature du substrat a donc été évaluée pour vérifier si cette particularité pouvait influencer les communautés et particulièrement les taxons qui répondent à la présence d'hydrocarbures, soit les Chironomini et les oligochètes. L'analyse canonique de correspondance (figure 4) montre que les deux taxons qui varient en fonction des hydrocarbures (triangles noirs) sont près du milieu du graphique; ils ne sont donc pas influencés par un type de substrat en particulier. Les taxons les plus influencés positivement par le sable sont les odonates Gomphidae *Ophiogomphus* sp., les trichoptères Leptoceridae *Mystacides* sp. et Hydroptilidae *Hydroptila* sp. Les diptères Tipulidae *Antocha* sp. semblent affectionner les copeaux. Ces taxons, tous présents à une seule station, ont une très faible abondance (moins de 4 %) et n'ont aucune signification particulière dans la présente étude.

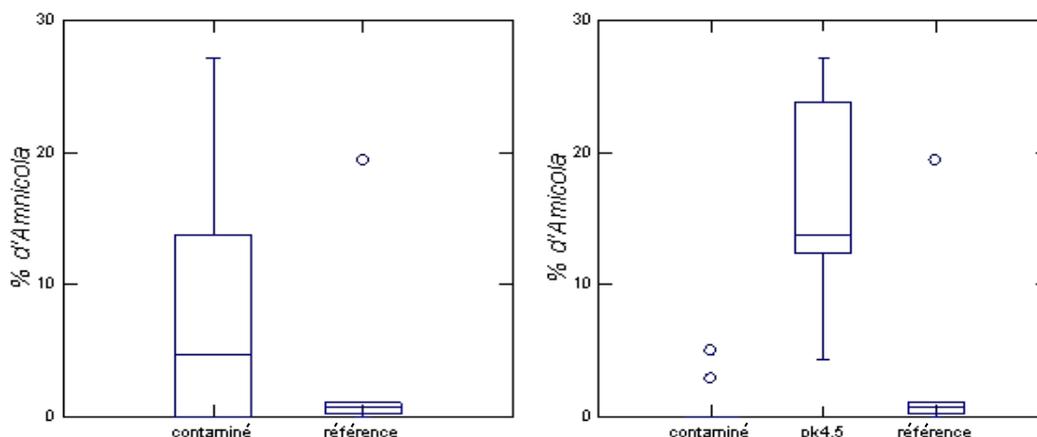
Aux stations du PK 4,5, on observe une grande abondance du taxon *Amnicola* sp., un gastéropode de la famille des Hydrobiidae (figure 5). Le pourcentage médian dans les échantillons des stations de ce secteur est de 13,8 %. Aux autres stations contaminées, la médiane est de 0 alors qu'elle est de 0,8 aux stations de référence. Dans le fleuve Saint-Laurent, Lamarche et collab. (1982) soulignent que des niveaux élevés d'hydrocarbures pétroliers découlant de déversements sporadiques causent une baisse importante dans la diversité des gastéropodes vivant dans la végétation, mais pas de baisse dans la diversité des gastéropodes associés au substrat. Or, les gastéropodes pulmonés sont principalement associés à la végétation, alors que les prosobranches, tel *Amnicola* sp., habitent plutôt le substrat. Des bioessais concernant deux types d'hydrocarbures pétroliers, menés par Millemann et collab. (1984) sur deux espèces de gastéropodes pulmonés, ont montré que les hydrocarbures n'avaient causé aucune mortalité et qu'ils n'avaient empêché ni la reproduction ni l'éclosion des œufs. L'éclosion a cependant été retardée de deux jours, et les auteurs évoquent la possibilité de malformations congénitales chez les embryons. Dillon et collab. (2013) rapportent que l'espèce *Amnicola limosa* est souvent associée aux débris de bois. Le secteur du PK 4,5 était caractérisé par une importante quantité de copeaux de bois associés au substrat. L'ACC présenté à la figure 4

indique une affinité d'*Amnicola* pour le substrat organique et les copeaux. Les effets des hydrocarbures sur les gastéropodes dulcicoles sont peu connus et il est difficile de tirer des conclusions considérant le nombre de stations disponibles. L'abondance observée pourrait être due à la fois à une résistance aux produits pétroliers et à une affinité pour le substrat plus organique accompagné de matière ligneuse du PK 4,5.



(cercle = échantillons; triangle = taxons; vecteur = substrat, OLIGO = Oligochète, Chirni = Chironomini, Amnico = Amnicola)

**Figure 4** Analyse canonique de correspondance réalisée sur les données d'abondance relative des taxons et sur la nature du substrat



**Figure 5** Boîtes à moustaches du pourcentage d'Hydrobiidae – *Amnicola* sp. présents dans les différents groupes de stations

### 3.3 La recolonisation

La recolonisation, à la suite d'un déversement d'hydrocarbures, peut se faire de l'amont vers l'aval grâce à la dérive des organismes provenant d'une zone non affectée. Cette hypothèse est peu plausible dans le cas présent, car le déversement a eu lieu à la tête de la rivière Chaudière. Cependant, certaines zones des secteurs affectés par la contamination sont parfois épargnées et contribuent à la recolonisation. Les espèces qui se trouvent dans ces refuges lorsque surviennent des conditions adverses y sont à l'abri, et celles qui ont une bonne mobilité peuvent y accéder.

Le cas de la station 282, située à 1,2 kilomètre en aval du déversement, en est un exemple (figure 6). À cause de la configuration du tracé de la rivière, le pétrole a suivi l'écoulement, et l'anse dans laquelle se trouve la station a probablement été épargnée en grande partie par la contamination. Rappelons qu'à cette station, aucune irisation de pétrole n'a été observée lors de l'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques. La station se trouve dans une anse inverse au sens d'écoulement et elle est alimentée par un petit ruisseau. Cette particularité nous renseigne sur l'importance des microhabitats fournis par le tracé naturel d'un cours d'eau. En devenant des refuges, ces microhabitats peuvent participer à la récupération d'un système à la suite d'une perturbation.

La recolonisation peut également venir de la dérive d'organismes provenant des tributaires. Or, le système hydrographique de la rivière Chaudière en comprend plusieurs. Les insectes terrestres qui pondent en milieu aquatique contribuent également au rétablissement des communautés. Leurs œufs se développeront en forme larvaire si les conditions environnantes sont propices à leur survie.



Figure 6 Tracé de la rivière Chaudière à la station 282

## 4. CONCLUSION

Le plan initial, qui visait l'évaluation de l'état des communautés benthiques selon un gradient de contamination des sédiments, n'a pu être réalisé, car cette contamination est trop variable sur de petites échelles spatiales. De fait, les observations réalisées sur le terrain montraient des différences d'irisation à des emplacements distants de seulement quelques mètres. On peut penser que les taux de contamination sont irréguliers dans les différents tronçons de la rivière selon les courants, les contre-courants, la sédimentation, les algues présentes, etc. De plus, à plusieurs stations, des variations dans la contamination ont été observées entre les différentes caractérisations effectuées en 2014. Pour ces raisons, les stations ont été divisées en deux groupes, celui des stations de référence et celui des stations contaminées.

Des différences significatives ont été observées entre les communautés qu'on retrouve aux stations de référence et aux stations dont le substrat est contaminé par les hydrocarbures. Les groupes taxonomiques dont l'abondance semble varier en fonction de la contamination sont les oligochètes et les Chironomidae. Les oligochètes sont des opportunistes qui ne paraissent pas affectés par la présence d'hydrocarbures pétroliers; ils semblent même en tirer profit. Au contraire, les Chironomidae de la sous-famille des Chironominae, ici principalement représentés par la tribu des Chironomini, semblent sensibles aux hydrocarbures. Les Chironomini, considérés comme tolérants à l'enrichissement par la matière organique et par les nutriments, sont défavorisés en présence d'hydrocarbures. Leur mode de vie, étroitement lié au substrat, les rendrait plus vulnérables que d'autres membres de cette famille.

La nature du substrat ne paraît pas avoir influé sur l'abondance relative des oligochètes et des Chironimini. Un substrat plus organique et la présence de copeaux de bois au PK 4,5 peuvent cependant être mis en cause dans la forte abondance du gastéropode *Amnicola* sp. Cet organisme pourrait également être tolérant aux hydrocarbures, mais il est difficile de déterminer exactement la cause de son abondance dans le secteur du PK 4,5.

Les taxons qui composent une communauté ont des cycles de vie variables. De manière générale, les organismes dont la vie aquatique est plus longue, comme plusieurs espèces d'odonates, n'ont qu'une génération par année, ce qui implique une recolonisation plus lente. Un taxon pourrait avoir été affecté en 2013 et même si, en 2014, la contamination était sous le critère d'effet chronique, son absence pourrait persister au-delà de la durée de la contamination. Seul un suivi à long terme pourrait le démontrer.

La récolte d'échantillons à différentes périodes de l'année est à éviter autant que possible. Le rapport du Comité expert (2015a) recommande un nouvel échantillonnage du secteur du PK 4,5 en 2016, soit près de deux ans après l'enlèvement des sédiments et un an après les travaux de végétalisation des berges. Une telle étude devrait être réalisée en juin et les stations de référence de la présente étude devraient être échantillonnées durant la même période.

## 5. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANSON, J. R., V. PETTIGROVE, M. E. CAREW, et collab., 2008. "High molecular weight petroleum hydrocarbons differentially affect freshwater benthic macroinvertebrate assemblages", *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 27, no 5, p. 1077-1083.
- BODE, R. W., M. A. NOVAK et L. E. ABELE, 1996. *Quality Assurance Work Plan for Biological Stream Monitoring in New York State*, Albany (New York), NYS Department of Environmental Conservation, 89 p.
- BODE, R. W., 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. (incluant 13 ann.).
- COUCEIRO, S. R. M., FORSBERG, B. R., HAMADA, N. ET FERREIRA, R. L. M. 2006. "Effects of an oil spill and discharge of domestic sewage on the insect fauna of Cururu stream, Manaus, AM, Brazil", *Brazilian Journal of Biology*, vol. 66, no 1A, p. 35-44.
- 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.
- DILLON, R. T., Jr., M. ASHTON, M. KOHL, W. REEVES, T. SMITH, T. STEWART et B. WATSON, 2013. *The freshwater gastropods of North America*. [En ligne]. [<http://www.fwgna.org>] (Consulté le 13 juillet 2015)
- 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.
- 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.
- HILSENHOFF, W. L., 1988. "Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index", *J. N. Am. Benthol. Soc.*, vol. 7, no 1, p. 65-68.
- HOEHN, R. C., J. R. STAUFFER, M. T. MASNIK et collab., 1974. "Relationships between sediment oil concentrations and the macroinvertebrates present in a small stream following an oil spill", *Environmental letters*, vol. 7, no 4, p. 345-352.
- LAMARCHE, A., P. LEGENDRE et A. CHODOROWSKI, 1982. « Facteurs responsables de la distribution des gastéropodes dulcicoles dans le fleuve Saint-Laurent », *Hydrobiologia*, vol. 89, no 1, p. 61-76.

- LEGENDTRE, P. et L. LEGENDRE, 1998. *Numerical Ecology: Developments in Environmental Modelling*, deuxième édition anglaise, Amsterdam, Pays-Bas, Elsevier science B.V., vol. 20, 853 p.
- MCCAULEY, R. N., 1966. "The biological effects of oil pollution in a river", *Limnology and Oceanography*, vol. 11, p. 475-486.
- MDDEFP, 2013. *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, ISBN 978-2-550-69169-3 (PDF), 2<sup>e</sup> édition, 88 p. (incluant 6 ann.).
- MDDELCC, 2014. *Tragédie ferroviaire de Lac-Mégantic – Rapport du Comité expert sur la contamination résiduelle de la rivière Chaudière par les hydrocarbures pétroliers. Constats, recommandations, actions proposées*, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, ISBN 978-2-550-70519-2 (PDF), 40 p. et 4 ann.
- 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*, ISBN 978-2-550-73569-4, 64 p.
- MDDELCC, 2015b. *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. et ann. ISBN 978-2-550-73729-2.
- MERRIT, R. W., K. W. CUMINS et M. B. BERG, 2008. *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*, 4<sup>e</sup> édition, Dubuque (Iowa), Kendall/Hunt Publishing Company, 1158 p.
- MILLEMANN, R. E., S. J., TUMMINIA, J. L FORTE et collab., 1984. "Comparative toxicities of coal-and shale-derived crude oils and a petroleum-derived fuel oil to the freshwater snails *Helisoma trivolvis* and *Physa gyrina*", *Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological*, vol. 33, no 1, p. 23-38.
- MOZLEY, S.C. et M.G. BUTLER, 1978. "Effects of crude oil on aquatic insects of tundra pond", *Artic*, vol. 31, no 3, p. 229-241.
- 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.
- PETTIGROVE, V. et A. HOFFMANN, 2005. "Effects of long-chain hydrocarbon-polluted sediment on freshwater macroinvertebrates", *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 24, no 10, p. 2500-2508.
- 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.
- SCHERRER, B., 1984. *Biostatistique*, Boucherville, Gaëtan Morin éditeur, 850 p.
- SMITH, D. G., 2001. *Pennak's Freshwater Invertebrates of the United States: Porifera to Crustacean*, 4<sup>e</sup> 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, no 4, p. 249-260.

WOODWARD, D. F., P.M. JR. MEHRLE, et W.L. MAUCK, 1981. "Accumulation and sublethal effects of a Wyoming crude oil in cutthroat trout", *Transactions of the American Fisheries Society*, vol. 110, no 3, p. 437-445.

## 6. ANNEXES

### Annexe 1 Coordonnées des stations

<b>STATION</b>	<b>LATITUDE NAD 83</b>	<b>LONGITUDE NAD83</b>
282	45,58216	-70,87526
STA-6A	45,59889	-70,85896
24	45,59835	-70,85743
48-49	45,59387	-70,85897
121	45,62460	-70,85418
DR42	45,59841	-70,86346
DR41	45,59845	-70,86312
DR49	45,59885	-70,86415

## Annexe 2 Liste des variables évaluées et abréviations utilisées

1. Nombre total de taxons - *nbtax*
2. Nombre de taxons éphéméroptères - *nbtaxEph*
3. Nombre de taxons trichoptères - *nbtaxTri*
4. Nombre de taxons ET (éphéméroptères et trichoptères) - *nbtaxET*
5. Nombre de taxons OET (odonates éphéméroptères et trichoptères) - *nbtaxEOT*
6. Nombre de taxons Chironomidae - *nbtaxChiro*
7. Nombre de taxons gastéropodes - *nbtaxGas*
8. % Ephéméroptères - *%ephe*
9. % Trichoptères - *%trich*
10. % Ephéméroptères et trichoptères - *%ET*
11. % insectes - *%inse*
12. % Chironomidae - *%chiro*
13. % Orthocladinae/Chironomidae - *%ortho/chiro*
14. % Orthocladinae - *%ortho/ech*
15. % Chironomini/Chironomidae - *%chirni/chiro*
16. % Chironomini - *%chirni/ech*
17. % Chironominae - *%chirnea/ech*
18. % Tanytarsini/Chironomidae - *%tany/chir*
19. % Tanytarsini - *%tany/ech*
20. % crustacés - *%crus*
21. % oligochètes- *%olig*
22. % gastéropodes- *%gast*
23. % pélicypodes- *%pele*
24. % Mollusques- *%moll*
25. % Amnicola- *%Amni*
26. % du taxon dominant - *%taxdom*
27. % des deux taxons dominants - *%taxdeuxdo*
28. % de taxons tolérants à la pollution organique\* (cote de tolérance > 6) - *%taxtol*
29. Nombre de taxons tolérants à la pollution organique\* (cote de tolérance > 6) - *nbtaxtol*
30. % d'organismes tolérants à la pollution organique\* (cote de tolérance > 6) - *%tol*
31. % de taxons intolérants à la pollution organique\* (cote de tolérance < 4) - *%taxinto*
32. % d'organismes intolérants à la pollution organique\* (cote de tolérance < 4) - *%intol*
33. Indice biotique d'Hilsenhoff - *HBI*
34. Abondance - *Abond*

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



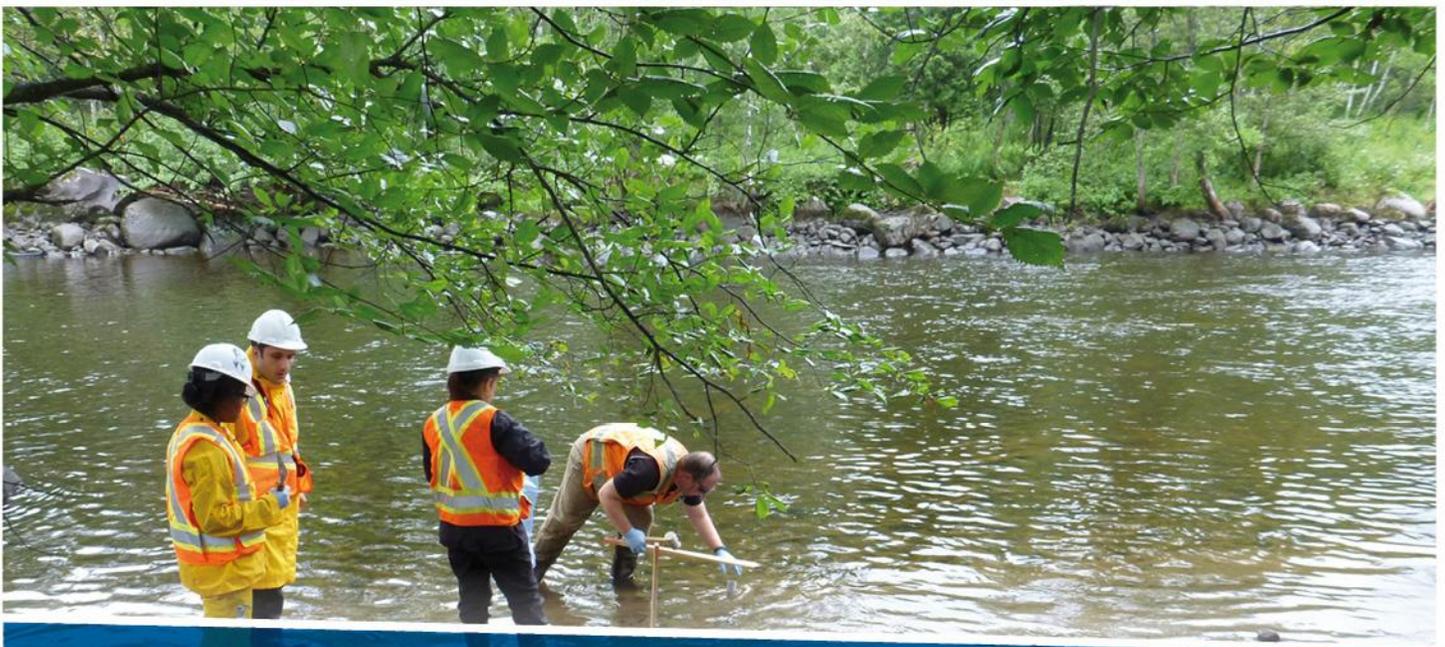
### Annexe 3 Variables de communauté calculées par échantillon

échantillon	nbtax	nbtaxEph	nbtaxTri	nbtaxET	nbtaxOET	nbtaxChiro	nbtaxGas	% ephe	% trich	% ET	% inse	% chiro	% ort/chiro	% ort/ech	% chirni/chiro	% chirni/ech	% chirnae/ech
DR41A	11	1	0	1	1	3	2	1,4	0	1,4	9,5	8,1	50,0	4,1	16,7	1,4	1,4
DR41B	9	1	0	1	1	2	1	1,6	0	1,6	7,8	6,2	0,0	0,0	50,0	3,1	3,1
DR41C	10	0	0	0	0	3	3	0,0	0	0,0	9,0	9,0	23,1	2,1	30,8	2,8	2,8
DR42A	10	1	0	1	1	2	1	0,3	0	0,3	1,6	0,6	0,0	0,0	50,0	0,3	0,3
DR42B	12	3	0	3	4	2	2	0,7	0	0,7	1,2	0,3	0,0	0,0	50,0	0,2	0,2
DR42C	9	0	0	0	1	1	2	0,0	0	0,0	1,1	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0
DR49A	9	0	0	0	0	3	2	0,0	0	0,0	1,3	1,0	33,3	0,3	33,3	0,3	0,3
DR49B	11	0	0	0	1	3	2	0,0	0	0,0	1,3	1,0	33,3	0,3	33,3	0,3	0,3
DR49C	8	1	0	1	2	1	1	0,9	0	0,9	2,3	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0
121A	10	1	0	1	1	4	2	0,6	0	0,6	32,0	31,5	10,7	3,4	67,9	21,3	27,5
121B	12	0	1	1	1	4	2	0,0	0,2	0,2	70,1	69,7	2,9	2,0	93,9	65,5	66,3
121C	12	1	0	1	1	3	4	0,1	0	0,1	46,7	46,5	0,3	0,1	99,0	46,0	46
48-49A	10	0	0	0	0	2	2	0,0	0	0,0	8,1	7,9	2,9	0,2	97,1	7,7	7,7
48-49B	11	0	1	1	1	1	4	0,0	0,8	0,8	4,8	1,6	0,0	0,0	100,0	1,6	1,6
48-49C	12	0	1	1	1	2	3	0,0	0,5	0,5	18,3	17,8	0,0	0,0	78,4	13,9	13,9
24A	6	0	0	0	0	1	2	0,0	0	0,0	3,9	3,9	0,0	0,0	100,0	3,9	3,9
24B	8	1	0	1	1	2	2	0,1	0	0,1	11,6	11,5	5,9	0,7	94,1	10,8	10,8
24C	6	0	1	1	1	1	0	0,0	0,2	0,2	3,7	3,2	0,0	0,0	100,0	3,2	3,2
282A	13	1	0	1	1	3	1	0,2	0	0,2	93,7	88,5	0,0	0,0	90,4	80,0	81,2
282B	17	1	0	1	1	3	2	2,7	0	2,7	46,2	34,7	5,4	1,9	92,2	32,0	32,8
282C	21	2	2	4	4	3	3	0,8	0,8	1,6	49,3	42,5	0,0	0,0	54,9	23,4	24,1
STA-6aA	12	0	0	0	0	3	3	0,0	0	0,0	29,4	29,3	1,7	0,5	93,9	27,5	27,5
STA-6aB	18	0	2	2	3	4	4	0,0	0,5	0,5	24,6	23,9	0,6	0,2	98,1	23,5	23,5
STA-6aC	11	0	0	0	0	3	1	0,0	0	0,0	12,0	11,9	3,1	0,4	93,1	11,1	11,1

### Annexe 3 Variables de communauté calculées par échantillon (suite)

échantillon	%tany/Chir	%tany/ech	%crus	%olig	%gast	%pele	%moll	%amnico	%taxdom	%taxdeuxdo	%taxtol	nbtaxtol	%tol	%taxinto	%intol	HBI	abond
DR41A	0,0	0,0	1,4	63,5	14,9	1,4	16,2	13,5	63,5	77,0	45,5	5	68,9	0,0	0,0	7,1	74
DR41B	0,0	0,0	4,7	59,4	10,9	3,1	14,1	10,9	59,4	73,4	55,6	5	70,3	0,0	0,0	7,1	64
DR41C	0,0	0,0	2,1	59,3	14,5	5,5	20,0	12,4	59,3	71,7	40,0	4	66,2	0,0	0,0	7,1	145
DR42A	0,0	0,0	0,3	62,7	22,7	6,2	28,9	22,7	62,7	85,4	60,0	6	64,6	0,0	0,0	7	308
DR42B	0,0	0,0	0,2	69,8	24,1	2,5	26,6	23,8	69,8	93,6	50,0	6	71,0	16,7	0,3	7,1	593
DR42C	0,0	0,0	0,5	67,6	26,9	2,3	29,2	26,4	67,6	94,0	55,6	5	69,2	0,0	0,0	7,1	435
DR49A	0,0	0,0	0,0	87,2	4,9	3,3	8,2	4,3	87,2	91,4	44,4	4	88,5	0,0	0,0	7,7	304
DR49B	0,0	0,0	0,0	79,0	13,9	3,9	17,8	13,8	79,0	92,8	18,2	2	79,4	0,0	0,0	7,4	596
DR49C	0,0	0,0	0,0	68,2	27,1	0,0	27,1	27,1	68,2	95,3	12,5	1	68,2	12,5	0,9	7	214
121A	19,6	6,2	0,0	42,1	19,9	3,7	23,6	19,4	42,1	73,6	30,0	3	64,0	10,0	0,6	7	356
121B	1,2	0,8	0,2	27,5	1,0	0,6	1,6	0,2	69,7	97,2	33,3	4	94,5	16,7	0,4	7,8	495
121C	0,0	0,0	0,1	50,4	1,6	1,0	2,6	1,1	50,4	96,9	41,7	5	97,1	8,3	0,1	7,9	1438
48-49A	0,0	0,0	0,6	87,2	0,3	3,0	3,3	0	87,2	95,2	50,0	5	95,7	0,0	0,0	7,9	869
48-49B	0,0	0,0	0,8	72,2	16,7	1,6	18,3	0	72,2	85,7	54,5	6	90,5	0,0	0,0	7,8	126
48-49C	0,0	0,0	10,1	44,2	21,6	3,8	25,5	2,9	44,2	62,0	58,3	7	88,9	0,0	0,0	7,7	208
24A	0,0	0,0	0,0	82,4	3,4	0,5	3,9	0	82,4	92,2	50,0	3	88,8	0,0	0,0	7,7	205
24B	0,0	0,0	0,0	82,1	0,3	1,9	2,2	0	82,1	93,5	50,0	4	93,1	12,5	0,1	7,8	741
24C	0,0	0,0	0,0	83,8	0,0	1,3	1,3	0	83,8	95,0	33,3	2	87,0	16,7	0,2	7,6	462
282A	1,4	1,2	3,9	1,0	0,7	0,0	0,7	0	88,5	92,0	38,5	5	89,5	0,0	0,0	7,7	410
282B	2,3	0,8	4,3	27,4	1,1	16,7	17,7	0,8	34,7	62,1	23,5	4	61,0	5,9	2,7	7	372
282C	1,9	0,8	14,7	17,6	1,8	12,6	14,4	0,8	42,5	60,1	19,0	4	59,8	4,8	0,5	7	381
STA-6aA	0,0	0,0	0,6	68,2	0,5	0,7	1,2	0	68,2	97,4	50,0	6	97,3	0,0	0,0	7,9	1011
STA-6aB	0,3	0,1	0,7	65,5	5,9	2,2	8,1	5	65,5	89,4	27,8	5	89,8	5,6	0,1	7,7	1308
STA-6aC	0,0	0,0	0,3	85,1	0,1	0,6	0,7	0	85,1	97,1	45,5	5	96,8	0,0	0,0	7,9	1331





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

**Québec** 