



Tragédie ferroviaire de Lac-Mégantic



Évaluation de la toxicité des sédiments
de la rivière Chaudière pour deux
organismes benthiques

Coordination et rédaction

Cette publication a été réalisée par le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 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
Internet : www.mddelcc.gouv.qc.ca

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

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec
2700, rue Einstein
Québec (Québec) G1P 3W8
Téléphone : 418 643-1301

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, 2015. 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 pages et annexe. ISBN 978-2-550-73729-2

Dépôt légal – 2015
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
ISBN 978-2-550-73729-2 (PDF)

Tous droits réservés pour tous les pays.

© Gouvernement du Québec - 2015

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Rédaction

Gaëlle Triffault-Bouchet¹, Ph. D., Écotoxicologue
Marjorie Allaire-Verville², M. Sc. Biologiste
Mélanie Desrosiers¹, Ph. D., Écotoxicologue

Échantillonnage

Mélanie Desrosiers¹, Ph. D., Écotoxicologue
Jean-Pierre Mootz³, Technicien, Secteur agricole
Charles Gauthier⁴, Ph. D., Écotoxicologue

Analyses en laboratoire

Éloïse Veilleux¹, M. Sc., Biologiste
Paule-Émilie Groleau¹, Ph. D., Chimiste

Révision

Louis Martel¹, M. Sc., Directeur des expertises et des études
Émilien Pelletier², Ph. D., Écotoxicologue
Frédéric Dechamplain³, M. Sc.
Lyne Pelletier⁵, M. Sc., Biologiste
David Berryman⁵, M. Sc., Biologiste
Denis Laliberté⁵, Chimiste

Révision linguistique / mise en page

Vicky Gagnon¹, Agente de secrétariat
Carole Pâquet, Révisseure

¹ MDDELCC, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec

² ISMER, Université du Québec à Rimouski, Institut des sciences de la mer (ISMER)

³ MDDELCC, Direction régionale du Centre de contrôle environnemental de la Capitale-Nationale et de la Chaudière-Appalaches

⁴ Institut national de la recherche scientifique, Centre eau, terre et environnement (INRS-ETE)

⁵ MDDELCC, Direction du suivi de l'état de l'environnement

MISE EN CONTEXTE

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

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

En janvier 2014, le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) a demandé au Comité expert sur la rivière Chaudière de dégager un état de situation du cours d'eau sur la base des résultats obtenus en 2013, de déterminer les impacts potentiels 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 14 projets. Ce rapport présente les résultats du projet 2.1 – Évaluation de la toxicité des sédiments pour les organismes benthiques par des essais de toxicité standardisés. Il s'agit du rapport final du projet.

TABLE DES MATIÈRES

Mise en contexte	iv
Liste des figures	vi
1. INTRODUCTION	1
2. MÉTHODOLOGIE	3
2.1 Échantillonnage des sédiments	3
2.2 Analyse des hydrocarbures pétroliers C ₁₀ à C ₅₀	3
2.3 Survie et croissance de <i>Chironomus riparius</i>	3
2.4 Survie et croissance de <i>Hyalella azteca</i>	5
2.5 Interprétation des résultats	6
3. RÉSULTATS	7
3.1 Classe de qualité des sédiments	7
3.2 Survie et croissance de <i>Chironomus riparius</i>	8
3.3 Survie et croissance de <i>Hyalella azteca</i>	10
4. CONCLUSION	12
5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	14
Annexe	15

LISTE DES FIGURES

Figure 1 – Larve de <i>Chironomus riparius</i>	1
Figure 2 – Femelle adulte de <i>Hyalella azteca</i>	2
Figure 3 – Survie (%) des larves de <i>Chironomus riparius</i> , exposées pendant 7 jours aux sédiments de la rivière Chaudière (classe de qualité 1 : vert, classe de qualité 2 : jaune, classe de qualité 3 : orange; * : statistiquement différent du témoin ; ** : statistiquement différent du témoin et supérieur à la variabilité biologique).....	8
Figure 4 – Survie (%) des jeunes amphipodes <i>Hyalella azteca</i> , exposés pendant 14 jours aux sédiments de la rivière Chaudière (classe de qualité 1 : vert, classe de qualité 2 : jaune classe de qualité 3 : orange ; * : statistiquement différent du témoin ; ** : statistiquement différent du témoin et supérieur à la variabilité biologique).....	10

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 – Conditions de réalisation de l’essai de toxicité sur la survie et la croissance de <i>Chironomus riparius</i>	4
Tableau 2 – Conditions de réalisation de l’essai de toxicité de survie et de croissance de <i>Hyalella azteca</i>	5
Tableau 3 – Concentration en hydrocarbures pétroliers C ₁₀ -C ₅₀ dans les sédiments issus de la rivière Chaudière et la classe de qualité correspondante	7
Tableau 4 – Croissance des larves de <i>Chironomus riparius</i> , exposées pendant 7 jours aux sédiments de la rivière Chaudière (classe de qualité 1 : vert, classe de qualité 2 : jaune, classe de qualité 3 : orange; n/a; non déterminé, nombre d’organismes vivants très faibles; * : statistiquement différent du témoin ; ** : statistiquement différent du témoin et supérieur à la variabilité biologique).....	9
Tableau 5 – Croissance des jeunes amphipodes <i>Hyalella azteca</i> , exposés pendant 14 jours aux sédiments de la rivière Chaudière (classe de qualité 1 : vert, classe de qualité 2 : jaune, classe de qualité 3 : orange; * : statistiquement différent du témoin; ** : statistiquement et biologiquement différent du témoin)	11
Tableau 6 – Synthèse des résultats (les chiffres en gras indiquent les données supérieures au seuil d’effet de 20 % et significativement différentes de leur témoin)	13

1. INTRODUCTION

Les 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). Afin de disposer d'informations permettant de hiérarchiser les actions à mettre en œuvre, le Comité expert de la rivière Chaudière a recommandé la réalisation de caractérisations complémentaires des sédiments ainsi que l'évaluation de la toxicité de ces sédiments sur les organismes benthiques.

Les organismes benthiques vivent au fond des écosystèmes aquatiques, dans et sur les sédiments. En cas de contamination des sédiments, ces organismes sont les plus susceptibles de subir les impacts des contaminants. Or, ces organismes ont un rôle fondamental dans le fonctionnement des écosystèmes aquatiques, notamment parce qu'ils constituent un maillon important des chaînes trophiques, en tant que source de nourriture pour de nombreux organismes tels que des poissons, des amphibiens ou encore des oiseaux. Par conséquent, il apparaît fondamental de documenter les effets de la toxicité des sédiments de la haute Chaudière sur ces organismes benthiques. Plusieurs approches méthodologiques peuvent être utilisées. Il est possible d'avoir recours à des essais de toxicité standardisés, menés en laboratoire, ou à une caractérisation *in situ* des communautés de macroinvertébrés benthiques. La première approche a été utilisée dans l'étude présentée dans ce document. La deuxième approche fait l'objet du projet 2.3 du Plan de gestion de la contamination résiduelle de la rivière Chaudière (MDDELCC, 2014).

Les deux essais de toxicité suivants ont été retenus pour évaluer les effets des sédiments contaminés de la rivière Chaudière sur les organismes benthiques :

- survie et croissance de la larve de chironome *Chironomus riparius*; et
- survie et croissance de l'amphipode *Hyaella azteca*.

Chironomus riparius fait partie de la famille des Chironomidae qui constitue le groupe d'insectes le plus ubiquiste et le plus abondant parmi tous les types d'écosystèmes aquatiques d'eau douce. *C. riparius* est présent dans les milieux aquatiques lenticules et lotiques nord-américains et européens, dans les dix premiers centimètres des sédiments. Les larves y construisent des tubes, notamment à partir de matière organique, dans lesquels elles se développent. Elles collectent leur nourriture, composée de bactéries, de champignons, d'algues, de débris végétaux et de matière organique, à partir de ces tubes ou à proximité. Ces organismes constituent, au stade larvaire, une source de nourriture importante pour les oiseaux, les poissons, les batraciens et les invertébrés de grande taille. Le cycle de vie de *C. riparius* est divisé en quatre stades distincts : l'œuf, le stade larvaire (Figure 1), le stade nymphal et le stade imago (adulte ailé). Les essais de toxicité sont effectués au stade larvaire.



Figure 1 – Larve de *Chironomus riparius*

Hyalella azteca est un crustacé épibenthique d'eau douce, originaire d'Amérique du Nord. C'est un organisme brouteur, détritivore se nourrissant essentiellement de bactéries, de diatomées et d'algues présentes sur le sédiment. Il est une source importante de nourriture notamment pour les invertébrés de grande taille et les poissons. Le cycle de vie de *H. azteca* peut être divisé en trois stades distincts : le stade immature, le stade juvénile et le stade adulte (Figure 2). Les essais de toxicité sont réalisés au stade immature qui est, pour ces organismes, le stade le plus sensible aux contaminants.



Figure 2 – Femelle adulte de *Hyalella azteca*

Vingt échantillons de sédiments présentant, *a priori*, un gradient de concentrations en hydrocarbures pétroliers C₁₀-C₅₀ ont été prélevés dans la rivière Chaudière au cours de septembre et d'octobre 2014. Leur teneur en hydrocarbures pétroliers C₁₀-C₅₀ et leur toxicité vis-à-vis de *C. riparius* et de *H. azteca* ont ensuite été évaluées au laboratoire du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ). Les résultats de ces travaux sont présentés dans les sections suivantes.

2. MÉTHODOLOGIE

2.1 Échantillonnage des sédiments

Des échantillons de type composés de sédiments de surface (0-10 cm) de la rivière Chaudière ont été prélevés à vingt stations, représentatives d'un gradient de contamination aux hydrocarbures pétroliers C₁₀ à C₅₀ des sédiments. La sélection des stations s'est faite à partir des résultats de la caractérisation hâtive effectuée par le MDDELCC dans le cadre du projet 1.2 du Plan de gestion de la contamination résiduelle de la rivière Chaudière (MDDELCC, 2014), ainsi que des résultats préliminaires de la caractérisation de la contamination des sédiments de la rivière effectuée par Conestoga-Rovers & Associés dans le cadre du projet 1.1 (MDDELCC, 2014). Les stations d'échantillonnages étaient localisées dans les 30 premiers kilomètres de la rivière Chaudière en aval du barrage de Lac-Mégantic. Notons que l'échantillonnage des sédiments dans le secteur du PK 4,5 a été effectué avant les travaux de dragage afin d'obtenir le gradient de contamination optimal.

Les sédiments ont été prélevés à l'aide d'une pelle dans le littoral exondé ou inondé (< 15 cm d'eau), déposés dans des chaudières en aluminium de 20 litres et placés à 4 °C dès leurs arrivées au laboratoire. Par la suite, les sédiments ont été tamisés sur une maille de 4 mm, homogénéisés, subdivisés dans des contenants de verre pour les différentes analyses chimiques et biologiques et conservés congelés (-20 °C). Notons que de façon standard, les échantillons de sédiments sont tamisés sur une maille de 2 mm. Cependant, afin de bien correspondre au substrat généralement grossier de la rivière Chaudière, la maille de 4 mm a été privilégiée. La congélation des sédiments a permis d'éliminer la présence d'organismes indigènes, principale raison également du tamisage des sédiments avant la mise en œuvre d'essais de toxicité.

2.2 Analyse des hydrocarbures pétroliers C₁₀ à C₅₀

L'analyse des hydrocarbures pétroliers C₁₀ à C₅₀ dans les sédiments a été réalisée conformément à la méthode MA. 400 – HYD. 1.1 du CEAEQ (2013).

Pour déterminer le contenu en hydrocarbures pétroliers, l'échantillon de sédiment est déshydraté avec du sulfate de magnésium anhydre, puis les hydrocarbures pétroliers C₁₀ à C₅₀ sont extraits avec de l'hexane, dans un bain à ultrasons. Par la suite, du gel de silice est ajouté à l'extrait afin d'adsorber les substances polaires, puis le surnageant est analysé par chromatographie en phase gazeuse couplée à un détecteur à ionisation de flamme (GC-FID).

La concentration des hydrocarbures présents dans l'échantillon est déterminée en comparant la surface totale de l'ensemble des pics résolus et non résolus se situant entre n-C₁₀ et n-C₅₀, avec les surfaces de la courbe d'étalonnage établie dans les mêmes conditions de dosage.

Les résultats sont exprimés en mg/kg de sédiment sec. La limite de détection de la méthode est comprise entre 31 et 41 mg/kg de sédiment sec.

2.3 Survie et croissance de *Chironomus riparius*

L'essai de survie et de croissance sur la larve de chironome (*Chironomus riparius*) est un essai de toxicité sur le sédiment entier, d'une durée de sept jours. Cet essai vise à comparer, au terme de l'exposition, la survie et la croissance des organismes exposés par rapport à celles des témoins.

Les organismes sont issus des élevages du laboratoire de biologie du CEAEQ dans des aquariums de 20 litres, contenant 70 % de sable de silice grade 70 (\varnothing : 106 à 250 μm), 30 % de sable de silice (\varnothing : 250 à 500 μm) et de l'eau municipale déchlorée, traitée aux UV, avec une agitation douce (pH = 6,0 à 8,5; conductivité = 250 à 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$; dureté = 80 à 180 mg CaCO_3/l). Le volume d'eau renouvelée, une fois par semaine, est de 70 %. Les organismes sont nourris à l'aide d'une solution à 10 g/l de Tétramin® (Tetra Werke, Melle, Germany), trois fois par semaine.

Les essais de toxicité ont été réalisés conformément à la méthode SPE 1/RM/32 d'Environnement Canada (EC, 1997) avec des modifications provenant de la méthode AFNOR T90 339-1 (AFNOR, 2010). En effet, l'essai a été réalisé sur sept jours tel que le recommande la méthode AFNOR, plutôt que dix jours tel qu'il est recommandé par la méthode d'Environnement Canada, ce qui permet de conserver des larves jusqu'au terme de l'étude, les nymphes n'ayant pas le temps de se former, pas plus que les adultes. Le ratio eau/sédiment est plus élevé (4/1 tel que le recommande la méthode AFNOR au lieu de 1,75/1 pour la méthode d'Environnement Canada) afin de réduire le risque de dégradation de la qualité de l'eau due à l'apparition d'ammoniac, étant donné que l'eau n'est pas renouvelée en cours d'essai. Les conditions de réalisation des essais sont précisées dans le [Tableau 1](#).

L'ensemble des essais de toxicité a été effectué d'octobre 2014 à février 2015, un témoin est effectué sur chacun des échantillons afin d'assurer un contrôle de l'état de santé des organismes de laboratoire et afin de s'assurer que les témoins respectent les seuils de validité de l'essai de toxicité.

Tableau 1 – Conditions de réalisation de l'essai de toxicité sur la survie et la croissance de *Chironomus riparius*

Paramètre	Description
Type d'essai	Statique, sans dilution, avec alimentation
Durée d'exposition	7 jours
Organismes	10 larves, âgées de 48 heures après éclosion, élevage du CEAEQ
Récipient d'essai	Pot en verre de 500 ml
Ratio eau/sédiment	4/1
Origine de l'eau	Eau municipale déchlorée, traitée aux UV, aérée pendant 24 heures au minimum
Origine du sédiment témoin	Sédiment naturel échantillonné dans la rivière Chaudière, identifié par le numéro de station 301-302, non contaminé
Origine du sédiment évalué	Sédiment naturel échantillonné dans la rivière Chaudière
Traitement de l'échantillon	Tamisage sur une maille de 4 mm, congélation à -20 °C, décongélation à 4 °C
Préparation des milieux d'essai	24 h avant l'introduction des organismes
Nombre de réplicats/sédiment	5
Température	23 ± 1 °C
Luminosité	1 000 lux ± 20 %
Photopériode	16/8 h
Aération	Bullage léger (2 à 3 bulles par seconde)
Alimentation	1,25 ml d'une solution à 4 g/l de Tétramin® du lundi au jeudi 1,5 ml d'une solution à 4 g/l de Tétramin® le vendredi

Paramètre	Description
Paramètre d'effet	Survie Longueur des larves au terme de l'essai, déterminé sous loupe binoculaire (précision : 0,1 mm; validité des témoins : 9,0 mm)

La survie des larves de chironomes est établie au terme des sept jours d'exposition par dénombrement des organismes dans chaque enceinte d'essai. La croissance des larves est mesurée par la longueur de chaque organisme tel que recommandé par la méthode AFNOR (2010). L'essai est valide si la survie moyenne des témoins est de plus de 70 % et que la longueur moyenne des larves dans les témoins est supérieure à 9 mm (EC, 1997 ; AFNOR, 2010).

2.4 Survie et croissance de *Hyalella azteca*

L'essai de survie et de croissance sur l'amphipode *Hyalella azteca* est un essai de toxicité sur sédiment entier, d'une durée de quatorze jours. Cet essai vise à comparer, au terme de l'exposition, la survie et la croissance des organismes exposés par rapport à celles des témoins.

Les organismes sont issus de l'élevage du laboratoire de Biologie du CEAEQ dans des aquariums de 20 litres, dans du milieu M5 (pH = 6,5 à 8,5; conductivité = 300 à 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$; dureté = 120 à 140 mg CaCO_3/l). Le volume d'eau renouvelée, une fois par semaine, est de 70 %. Les organismes sont nourris à l'aide d'une solution à 10 g/l de Tétramin® (Tetrawerke, Melle, Germany), trois fois par semaine.

Les essais de toxicité ont été réalisés conformément à la méthode SPE 1/RM/33 d'Environnement Canada (EC, 2013), adaptée pour la mesure de la croissance. En effet, la croissance des amphipodes est évaluée par mesure de la longueur de chaque organisme tel que le recommande la méthode AFNOR (2004). Les conditions de réalisation des essais sont précisées dans le [Tableau 2](#). L'essai est valide si la survie moyenne des témoins est de plus de 80 % (EC, 2013). La méthode AFNOR (2004) ne précise pas le critère de validité pour la mesure des organismes après quatorze jours d'exposition. Néanmoins, les résultats obtenus dans les témoins de cette étude étaient très stables et reproductibles avec une longueur moyenne des amphipodes de $2,5 \pm 0,2$ mm. Par conséquent, étant donnée la stabilité des témoins, tous les essais présentés dans ce rapport ont été considérés comme valides.

L'ensemble des essais de toxicité a été effectué d'octobre 2014 à février 2015, un témoin est effectué sur chacun des échantillons afin d'assurer un contrôle de l'état de santé des organismes de laboratoire et afin de s'assurer que les témoins respectent les seuils de validité de l'essai de toxicité.

Tableau 2 – Conditions de réalisation de l'essai de toxicité de survie et de croissance de *Hyalella azteca*

Paramètre	Description
Type d'essai	Statique, sans dilution, avec alimentation
Durée d'exposition	14 jours
Organismes	Élevage du CEAEQ 10 jeunes âgés de 2 à 9 jours (écart maximal de 3 jours)
Récipient d'essai	Pot en verre de 500 ml
Ratio eau/sédiment	4/1
Origine de l'eau	Eau reconstituée (milieu M5; annexe 1 pour la composition du milieu)

Paramètre	Description
Origine du sédiment témoin	Sédiment naturel échantillonné dans la rivière Chaudière, identifié par le numéro de station 301-302, non contaminé
Origine du sédiment évalué	Sédiment naturel échantillonné dans la rivière Chaudière
Traitement de l'échantillon	Tamisage sur une maille de 4 mm, congélation à -20 °C, décongélation à 4 °C
Préparation des milieux d'essai	24 h avant l'introduction des organismes
Nombre de réplicats/sédiment	5
Température	23 ± 1 °C
Luminosité	1 000 lux ± 20 %
Photopériode	16/8 h
Aération	Bullage léger (2 à 3 bulles par seconde)
Alimentation	500 µl de LCT ^a du lundi au jeudi 750 µl de LCT le vendredi 200 µl d'une culture d'algues <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> , en phase exponentielle de croissance, une fois par 2 jours
Paramètre d'effet	Survie Longueur des organismes au terme de l'essai, déterminé sous loupe binoculaire (précision : 0,1 mm)

^a Le LCT est un mélange de levures, de Cerophyll^{MC} et de nourriture pour truite. Le protocole permettant la préparation de ce mélange est décrit dans la méthode d'essai d'Environnement Canada (2013).

2.5 Interprétation des résultats

Un effet sur la survie ou la croissance des organismes *Chironomus riparius* et *Hyalella azteca* est considéré significatif lorsque la réponse est supérieure à 20 % d'effets et significativement différente (t-test ; $p < 0,05$) de celle des témoins (MDDEFP et EC, 2013a). Le seuil de 20 % permet de tenir compte de la variabilité biologique des paramètres mesurés.

3. RÉSULTATS

3.1 Classe de qualité des sédiments

En l'absence de critères de qualité des sédiments pour les hydrocarbures pétroliers C₁₀-C₅₀ et afin de permettre la gestion des sédiments contaminés par les hydrocarbures, le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDEFP, 2013b) a retenu des valeurs de référence basées sur des effets mesurés sur les communautés benthiques. Il s'agit de :

- la valeur de référence – effets chroniques qui est de 164 mg/kg d'hydrocarbures pétroliers C₁₀-C₅₀ ;
- la valeur de référence – effets aigus qui est de 832 mg/kg d'hydrocarbures pétroliers C₁₀-C₅₀.

Si la concentration en hydrocarbures pétroliers C₁₀-C₅₀ est inférieure à la valeur de référence – effets chroniques, le sédiment est de classe 1. Si la concentration en hydrocarbures pétroliers C₁₀-C₅₀ est comprise entre les deux valeurs de référence, le sédiment est de classe 2. Enfin, si la concentration en hydrocarbures pétroliers C₁₀-C₅₀ est supérieure à la valeur de référence – effets aigus, le sédiment est de classe 3.

Le **Tableau 3** présente les concentrations en hydrocarbures pétroliers C₁₀-C₅₀ de chacun des échantillons de sédiments prélevés, ainsi que la classe de qualité qui est associée à cette concentration. Cinq échantillons de sédiments sont de classe 3 : STA6A, STA9A-9B, DR42-56, DR57 et DR58. Sept échantillons de sédiments sont de classe 2. Il s'agit des échantillons de sédiments prélevés aux stations 282, 48-49, 405-406, 388, 24, DR50 et DR49. Les huit stations restantes sont de classe 1 avec des concentrations inférieures à la valeur de référence - effet chronique avec sept des huit stations avec des concentrations inférieures aux limites de détection de la méthode d'analyse. Ce sont les stations 301-302, STA4A-4B, 394, 9, STA3A-3B, 121, 469b/ZA-39 et 95.

L'échantillon de sédiment identifié 301-302 a été utilisé comme sédiment témoin pour la réalisation des essais de toxicité de survie et de croissance des chironomes et des amphipodes. En effet, les résultats des analyses chimiques ont mis en évidence une absence de contamination de ce sédiment par les hydrocarbures pétroliers, les métaux, les composés perfluorés et les dioxines/furanes. De plus, les prétests réalisés avec les organismes ont permis de valider que la survie des organismes était supérieure à 80 % avec ce sédiment et leur croissance a été jugée acceptable sur la base des critères de validité disponibles.

Tableau 3 – Concentration en hydrocarbures pétroliers C₁₀-C₅₀ dans les sédiments issus de la rivière Chaudière et la classe de qualité correspondante

Localisation	Identification de la station	Concentration C ₁₀ -C ₅₀ (mg/kg sédiment sec)	Classe de qualité (C ₁₀ -C ₅₀)
PK 3,4	STA4A-4B	<31	1
PK 3,2	394	<31	1
PK 4,8	9	<31	1
PK 2,7	STA3A-3B	<35	1
PK 9,1	121	<35	1
PK 31,7	301-302	<36	1
PK 7,6	95	<41	1
PK 2,0	469b/ZA-39	140	1
PK 1,2	282	200	2
PK 3,1	388	200	2
PK 5,4	24	210	2
PK 4,7	DR49	260	2
PK 4,7	DR50	370	2

Localisation	Identification de la station	Concentration C ₁₀ -C ₅₀ (mg/kg sédiment sec)	Classe de qualité (C ₁₀ -C ₅₀)
PK 4,3	405-406	550	2
PK 4,0	48-49	650	2
PK 8,6	STA9A-9B	890	3
PK 4,6	DR58	1100	3
PK 5,3	STA6A	1500	3
PK 4,6	DR57	3200	3
PK 4,6	DR42-56	8000	3

3.2 Survie et croissance de *Chironomus riparius*

La survie moyenne des larves de *Chironomus riparius* exposées au sédiment témoin (sédiment 301-302) était de 95 % (CV = 7,4 %). Les sédiments des stations pour lesquels la survie des larves de chironomes était statistiquement différente de celle des témoins sont les suivants : STA4A-4B, DR42-56, DR49, DR57 (Figure 3). En considérant la variabilité biologique des larves des témoins, seuls les sédiments DR42-56 et DR49 présentent une mortalité supérieure au seuil d'effet (20 %).

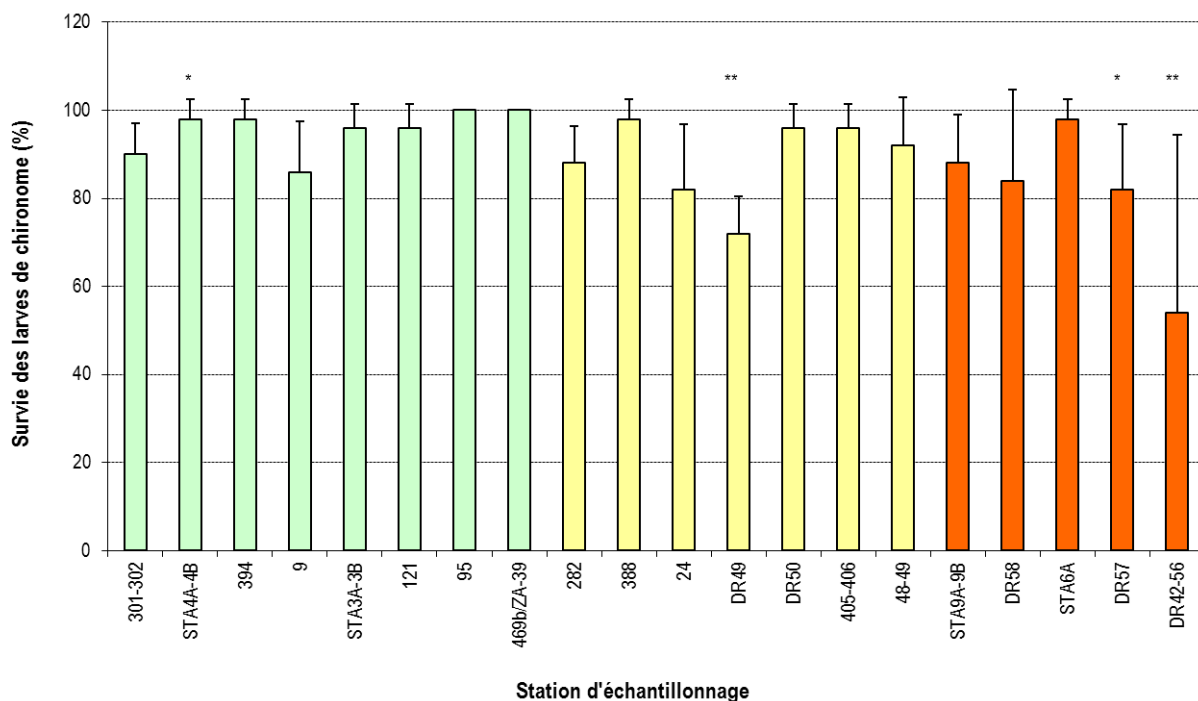


Figure 3 – Survie (%) des larves de *Chironomus riparius*, exposées pendant 7 jours aux sédiments de la rivière Chaudière (classe de qualité 1 : vert, classe de qualité 2 : jaune, classe de qualité 3 : orange; * : statistiquement différent du témoin ; ** : statistiquement différent du témoin et supérieur à la variabilité biologique)

La croissance moyenne des larves exposées au sédiment témoin était de $9,6 \pm 0,4$ mm (moyenne des 19 essais témoins, 900 larves de chironomes). Les sédiments des stations pour lesquels la taille des larves de chironomes était statistiquement différente de celle du témoin sont les suivants : 9, STA6A, 405-406, STA9A-9B, 24, DR58 et DR42-56 (Tableau 4). En considérant la variabilité biologique, seul le sédiment DR42-56 est significativement différent des témoins et supérieur au seuil d'effet de 20 %, avec une inhibition de la croissance des larves de 45,8 % (Tableau 4).

Tableau 4 – Croissance des larves de *Chironomus riparius*, exposées pendant 7 jours aux sédiments de la rivière Chaudière (classe de qualité 1 : vert, classe de qualité 2 : jaune, classe de qualité 3 : orange; n/a; non déterminé, nombre d'organismes vivants très faibles; * : statistiquement différent du témoin ; ** : statistiquement différent du témoin et supérieur à la variabilité biologique)

Station d'échantillonnage	Taille des larves témoins (mm)	Taille des larves exposées (mm)	Inhibition de la croissance (%)
301-302	9,6 ± 0,4	n/a	n/a
STA4A-4B	9,3 ± 1,0	9,2 ± 1,5	0,4
394	9,9 ± 1,5	9,7 ± 1,2	2,2
9	9,7 ± 1,4	8,3 ± 1,6	14,3*
STA3A-3B	9,7 ± 1,3	9,4 ± 1,1	3,4
121	10,2 ± 1,3	10,5 ± 1,6	- 2,8
95	9,7 ± 1,6	9,8 ± 1,3	- 2,1
469b/ZA-39	10,2 ± 1,4	10,5 ± 1,3	- 3,4
282	8,9 ± 1,3	8,6 ± 1,0	2,9
388	9,1 ± 1,2	9,5 ± 1,5	- 4,4
24	9,7 ± 1,3	8,0 ± 1,2	17,6*
DR49	10,4 ± 1,3	10,0 ± 1,1	3,8
DR50	9,8 ± 1,1	9,7 ± 1,3	0,2
405-406	9,4 ± 1,2	9,9 ± 1,7	- 5,5*
48-49	9,2 ± 1,1	9,0 ± 1,0	1,6
STA9A-9B	9,1 ± 1,2	9,7 ± 1,5	- 7,1*
DR58	9,0 ± 1,4	8,1 ± 1,6	-10,6*
STA6A	9,2 ± 1,0	7,4 ± 1,7	19,5*
DR57	9,3 ± 1,6	9,8 ± 1,4	- 5,4
DR42-56	10,2 ± 1,0	5,6 ± 0,8	45,8**

3.3 Survie et croissance de *Hyaella azteca*

La survie moyenne des amphipodes exposés au sédiment témoin était de 98 % (CV = 5,7 %). Les sédiments des stations pour lesquels la survie des amphipodes était statistiquement différente de celle du sédiment témoin sont les suivants : STA6A, STA3A-3B, DR42-56, DR57 et 469b (ZA-39) (Figure 4). Seuls les sédiments STA3A-3B, DR42-56 et DR57 présentent une mortalité qui est significativement différente du témoin et supérieure au seuil d'effet de 20 %.

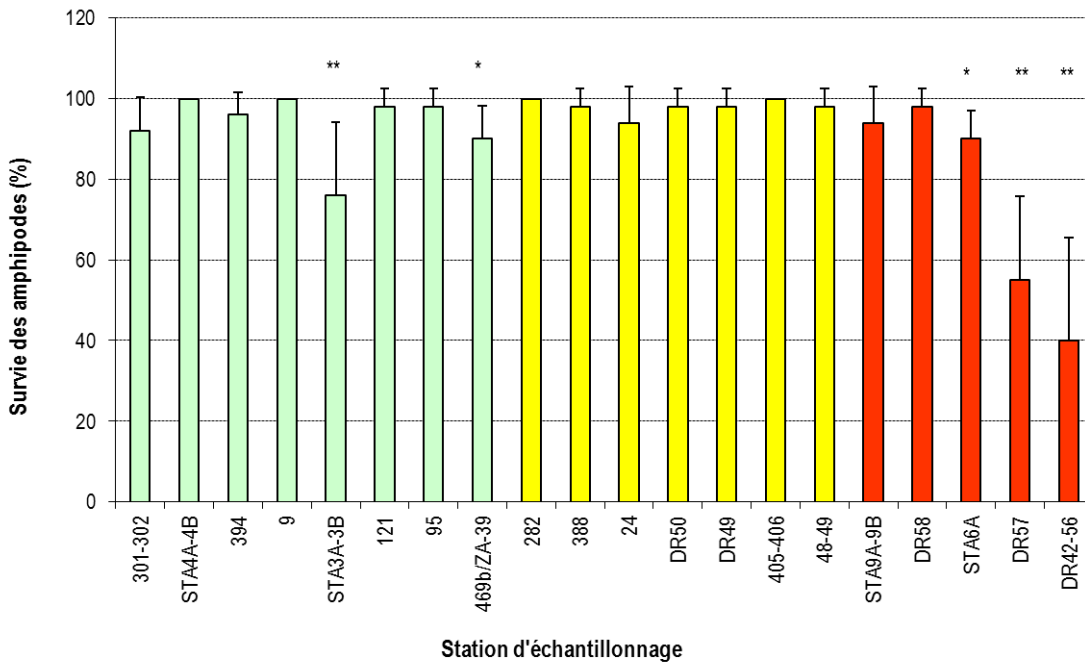


Figure 4 – Survie (%) des jeunes amphipodes *Hyaella azteca*, exposés pendant 14 jours aux sédiments de la rivière Chaudière (classe de qualité 1 : vert, classe de qualité 2 : jaune classe de qualité 3 : orange ; * : statistiquement différent du témoin ; ** : statistiquement différent du témoin et supérieur à la variabilité biologique)

La croissance moyenne des amphipodes exposés au sédiment témoin était de $2,5 \pm 0,2$ mm (moyenne des 20 essais témoins, 757 organismes). Les échantillons de sédiments pour lesquels la taille des amphipodes était statistiquement différente de celle des témoins sont les suivants : 282, STA4A-4B, 48-49, 9, STA6A, 405-406, 24, DR50, DR42-56 et le 121 (Tableau 5). La croissance des amphipodes est significativement affectée pour les organismes exposés aux sédiments 9, 405-406, 24 et DR42-56 (Tableau 5). En ce qui concerne l'échantillon de sédiment de la station 405-406 une stimulation de la croissance a été observée. Cette stimulation de croissance est proche du seuil d'effet de 20 %. L'explication la plus probable est la présence plus importante d'éléments nutritifs dans ce sédiment naturel par rapport au témoin qui a induit une stimulation de la croissance des organismes (Borgmann, 1994; MDDEFP et EC, 2013).

Tableau 5 – Croissance des jeunes amphipodes *Hyalella azteca*, exposés pendant 14 jours aux sédiments de la rivière Chaudière (classe de qualité 1 : vert, classe de qualité 2 : jaune, classe de qualité 3 : orange; * : statistiquement différent du témoin; ** : statistiquement et biologiquement différent du témoin)

Station d'échantillonnage	Croissance des témoins (mm)	Croissance des larves exposées (mm)	Inhibition de la croissance (%)
301-302	2,5 ± 0,2	n/a	n/a
STA4A-4B	2,4 ± 0,3	2,6 ± 0,3	- 11,1*
394	2,7 ± 0,3	2,7 ± 0,3	- 1,9
9	2,8 ± 0,3	2,1 ± 0,2	24,9**
STA3A-3B	2,6 ± 0,3	2,6 ± 0,3	- 1,4
121	2,4 ± 0,4	2,7 ± 0,4	- 13,5*
95	2,7 ± 0,4	2,7 ± 0,5	- 2,6
469b/ZA-39	2,7 ± 0,4	2,7 ± 0,3	- 1,4
282	2,5 ± 0,3	2,4 ± 0,4	4,9*
388	2,3 ± 0,3	2,3 ± 0,4	- 3,9
24	2,4 ± 0,4	1,7 ± 0,3	32,1**
DR49	2,3 ± 0,2	2,3 ± 0,4	- 0,5
DR50	2,7 ± 0,3	2,4 ± 0,4	12,4*
405-406	2,4 ± 0,3	2,9 ± 0,3	- 21,5**
48-49	2,5 ± 0,3	2,3 ± 0,4	7,1*
STA9A-9B	2,3 ± 0,3	2,2 ± 0,3	2,7
DR58	2,3 ± 0,2	2,3 ± 0,3	0,5
STA6A	2,6 ± 0,3	2,3 ± 0,4	11,9*
DR57	2,7 ± 0,4	2,6 ± 0,6	4,4
DR42-56	2,6 ± 0,3	1,6 ± 0,3	37,5**

4. CONCLUSION

Parmi les sédiments de classe 1, c'est-à-dire dont la concentration en hydrocarbures pétroliers C_{10} - C_{50} était inférieure à la valeur de référence – effets chroniques (164 mg/kg), des effets significatifs, mais proches du seuil d'effet, sur la mortalité à la station STA3A-3B et d'inhibition de la croissance à la station 9 ont été mesurés sur les amphipodes exposés à des sédiments dont les concentrations d'hydrocarbures pétroliers C_{10} - C_{50} étaient inférieures aux limites de détection (< 35 mg/kg C_{10} - C_{50} ; [Tableau 6](#)).

Pour les sédiments de classe 2, c'est-à-dire dont la concentration en hydrocarbures pétroliers C_{10} - C_{50} est comprise entre les deux valeurs de référence, c'est-à-dire entre 164 et 832 mg/kg, une augmentation du pourcentage de mortalité a été mesurée sur les chironomes exposés aux sédiments DR49 (260 mg/kg C_{10} - C_{50}) ainsi qu'une inhibition de la croissance des amphipodes exposés aux sédiments 24 (210 mg/kg C_{10} - C_{50}). Une stimulation de croissance a été observée pour les amphipodes exposés aux sédiments 405-406 (550 mg/kg C_{10} - C_{50} ; [Tableau 6](#)).

Enfin, pour les sédiments de classe 3, c'est-à-dire dont la concentration supérieure à la valeur de référence – effets aigus (832 mg/kg), deux sédiments ont eu des effets sur les organismes ([Tableau 6](#)). Le sédiment DR57 (3200 mg/kg C_{10} - C_{50}) a eu des effets d'inhibition sur la survie des amphipodes. Le sédiment DR42-56 (8000 mg/kg C_{10} - C_{50}), qui est le sédiment le plus contaminé en hydrocarbures pétroliers C_{10} - C_{50} parmi les sédiments échantillonnés, est le seul qui a eu des effets sur tous les paramètres d'effet mesurés.

L'ensemble des résultats obtenus est présenté dans le [Tableau 6](#). Ces résultats indiquent que les hydrocarbures pétroliers présents dans certaines portions de la haute Chaudière sont susceptibles d'engendrer des effets négatifs sur les organismes benthiques.

Une inhibition de la survie de l'ordre de 40 % et de 60 % ont été observées pour les amphipodes lorsque les concentrations en C_{10} - C_{50} dans les sédiments étaient de 3200 mg/kg et de 8000 mg/kg respectivement. Pour les chironomes, une inhibition de survie et de croissance de l'ordre 45 % a été observée lorsque la concentration en C_{10} - C_{50} dans les sédiments était de 8000 mg/kg.

Afin d'évaluer le risque pour les écosystèmes aquatiques de la rivière Chaudière, les données générées dans cette étude vont également être interprétées en fonction de l'ensemble des données de caractérisations chimiques disponibles pour ces sédiments et comparées aux résultats obtenus à suite de l'exposition de poissons à ces sédiments. Cette interprétation sera disponible dans un rapport portant sur l'évaluation du risque écotoxicologique associé à la contamination résiduelle présente dans les sédiments de la rivière Chaudière, dans le cadre du projet 3.1 du Plan de gestion de la contamination de la rivière Chaudière (MDDELCC, 2014).

Tableau 6 – Synthèse des résultats (les chiffres en gras indiquent les données supérieures au seuil d'effet de 20 % et significativement différentes de leur témoin)

Classe de qualité	Stations	C ₁₀ -C ₅₀	Mortalité (%)		Inhibition de la croissance (%)	
			<i>C. riparius</i>	<i>H. azteca</i>	<i>C. riparius</i>	<i>H. azteca</i>
Classe 1	STA4A-4B	<31	2	0	0,4	- 11,1
	394	<31	3	4	2,2	- 1,9
	9	<31	14	0	14,3	24,9
	STA3A-3B	<35	4	24	3,4	- 1,4
	121	<35	4	2	- 2,8	- 13,5
	301-302	<36	5	2	0,0	0,0
	95	<41	0	2	- 2,1	- 2,6
	469b (ZA-39)	140	0	10	- 3,4	- 1,4
Classe 2	282	200	12	0	2,9	4,9
	388	200	2	2	- 4,4	- 3,9
	24	210	18	10	17,6	32,1
	DR49	260	28	2	3,8	- 0,5
	DR50	370	4	2	0,2	12,4
	405-406	550	4	0	- 5,5	- 21,5
	48-49	650	8	2	1,6	7,1
Classe 3	STA9A-9B	890	12	6	- 7,1	2,7
	DR58	1100	16	2	10,6	0,5
	STA6A	1500	2	12	19,5	11,9*
	DR57	3200	18	45	- 5,4	4,4
	DR42-56	8000	46	60	45,8	37,5

5. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [AFNOR] ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION, 2010. *Qualité de l'eau - Détermination de la toxicité des sédiments d'eaux douces vis-à-vis de Chironomus riparius - Partie 1 : sédiments naturels, XP T90-339-1*. Paris, France, Rapport technique, AFNOR.
- [AFNOR] ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION, 2004. *Qualité de l'eau - Détermination de la toxicité des sédiments d'eaux douces vis-à-vis de Hyallela azteca – Partie 1 : sédiments naturels, XP T90-338-1*. Paris, France, Rapport technique, AFNOR.
- BORGMANN, U., 1994, «°Chronic toxicity of ammonia to the amphipod *hyallela azteca*; importance of ammonium ion and water hardness°». *Environmental Pollution* 86: 329-335.
- [CEAEQ] CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC, 2013. *Détermination des hydrocarbures pétroliers (C10 à C50) : dosage par chromatographie en phase gazeuse couplée à un détecteur à ionisation de flamme*, MA. 400 – HYD. 1.1. Rév. 1, ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec, 16 p.
- [EC] ENVIRONNEMENT CANADA, 2013. *Méthode d'essai biologique : essai de survie et de croissance de l'amphipode dulcicole Hyallela azteca dans les sédiments et l'eau*, Environnement Canada, Direction générale de la science et de la technologie, rapport SPE 1/RM/33, deuxième édition, 180 p.
- [EC] ENVIRONNEMENT CANADA, 1997. *Méthode d'essai biologique : essai de survie et de croissance des larves dulcicoles de chironomes (Chironomus tentans ou Chironomus riparius) dans les sédiments*, Environnement Canada, Centre de technologie environnementale, Section de l'élaboration et de l'application des méthodes, rapport SPE 1/RM/32, 133 p.
- [MDDELCC] MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, 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*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 40 p. et annexes.
- [MDDEFP et EC] MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS DU QUÉBEC ET ENVIRONNEMENT CANADA, 2013a. *L'évaluation du risque écotoxicologique (ER) du rejet en eau libre des sédiments, en soutien à la gestion des projets de dragage en eau douce*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec, 35 p. + annexes.
- [MDDEFP et EC] MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS DU QUÉBEC ET ENVIRONNEMENT CANADA, 2013b. *Lignes directrices pour l'évaluation de la qualité des sédiments du Lac-Mégantic et de la rivière Chaudière, en lien avec l'accident ferroviaire du 6 juillet 2013*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec, 7 p.

ANNEXE

ANNEXE 1 - COMPOSITION DU MILIEU M5 (ENVIRONNEMENT CANADA, 2013)

Préparation de 40 litres de milieu M5	Quantité (g)
Chlorure de calcium (CaCl_2 ou $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	4,44 si CaCl_2 ou 5,83 si $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Bicarbonate de sodium (NaHCO_3)	3,36
Sulfate de magnésium (MgSO_4)	1,20
Chlorure de potassium (KCl)	0,149
Bromure de sodium (NaBr)	0,0412



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

Québec 