



Tragédie ferroviaire de Lac-Mégantic

Caractérisation des sédiments du lac Mégantic dans le secteur de la marina et du parc des Vétérans en 2015



Coordination et rédaction

Cette publication a été réalisée par la Direction régionale de l'Estrie et de la Montérégie 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 mis en œuvre par le MDDELCC pour faire 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 remplir le formulaire disponible à cette adresse :

<http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/formulaires/renseignements.asp>

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

Télécopieur : 418 646-5974

Internet : www.mddelcc.gouv.qc.ca

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

Direction régionale de l'analyse et de l'expertise de l'Estrie et de la Montérégie
770, rue Goretti
Sherbrooke (Québec) J1E 3H4
Téléphone : 819 820-3882

Ce document peut être consulté sur le site du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques à l'adresse suivante :

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

Référence à citer

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. 2017. *Tragédie ferroviaire de Lac-Mégantic – Caractérisation des sédiments du lac Mégantic dans le secteur de la marina et du parc des Vétérans en 2015*, Québec, Direction régionale de l'analyse et de l'expertise de l'Estrie et de la Montérégie. 240 pages et 4 ann.

Dépôt légal – 2017
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
ISBN 978-2-550-78421-0 (PDF)

Tous droits réservés pour tous les pays.

© Gouvernement du Québec – 2017

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Rédaction

Jean-François Cloutier¹
Paule Émilie Groleau²

Échantillonnage

Jocelyn Déraps¹
Jean Campagna¹
Jean-François Cloutier¹

Analyses en laboratoire

Paule Émilie Groleau²
Félix Dupont²
Karine Côté²
Annie St-Germain²
Éric Lachance²
Jenny Wan²

Compilation et analyse de données

Daniel Blais³
Joany Suazo³

Révision scientifique

David Berryman⁴
Frédéric Dechamplain⁵
Mélanie Desrosiers²
Johanne Laberge⁶

¹ Direction régionale de l'analyse et de l'expertise de l'Estrie et de la Montérégie.

² Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec.

³ Direction générale de l'écologie et de la conservation.

⁴ Direction générale du suivi de l'état de l'environnement.

⁵ Direction régionale du Centre de contrôle environnemental de la Capitale-Nationale et de la Chaudière-Appalaches.

⁶ Direction générale des politiques en milieu terrestre.

RÉSUMÉ

Dans son deuxième rapport, le Comité expert sur la contamination résiduelle de la rivière Chaudière par les hydrocarbures pétroliers a recommandé de caractériser les sédiments du lac Mégantic, à Lac-Mégantic, plus précisément dans le secteur de la marina et du parc des Vétérans (MDDELCC, 2015). Par la suite, il a été convenu d'échantillonner aussi à la tête de la rivière Chaudière, en face d'un bassin temporaire de rétention des hydrocarbures, construit lors des événements de juillet 2013.

Quatorze échantillons de sédiments ont été prélevés dans le lac et trois autres à la tête de la rivière. Aucun échantillon n'a présenté une concentration d'hydrocarbures pétroliers C₁₀-C₅₀ supérieure à la valeur de référence – effet aigu (832 mg/kg). Un seul a présenté une teneur supérieure à la valeur de référence pour les effets chroniques (164 mg/kg). Par rapport aux résultats de 2014, une diminution de la contamination a été observée pour les hydrocarbures pétroliers C₁₀-C₅₀, mais pas pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Sur la base des résultats de 2014, le deuxième rapport du Comité expert faisait état d'une contamination des sédiments du lac par les HAP, mais signalait que cette contamination pourrait ne pas être due uniquement au déversement de pétrole de juillet 2013. Le présent rapport vient confirmer qu'une part de cette contamination en HAP et des dépassements de critères associés est due à une ou d'autres sources de contaminants.

TABLE DES MATIÈRES

Résumé	iv
Mise en contexte	viii
1. Introduction	1
2. Méthodologie	2
2.1 Échantillonnage	2
2.2 Observations visuelles de la contamination lors de l'échantillonnage	2
2.3 Analyses chimiques	3
2.4 Interprétation des résultats	4
3. Résultats	6
3.1 Hydrocarbures pétroliers (C ₁₀ -C ₅₀) et IPP	6
3.1.1 Résultats des campagnes d'échantillonnage 2013 et 2014	6
3.1.2 Résultats de la campagne d'échantillonnage 2015	7
3.1.3 Identification de produits pétroliers	8
3.2 Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	11
3.2.1 Concentrations d'HAP en 2013 et en 2014	11
3.2.2 Concentrations d'HAP en 2015	12
3.2.3 Profils d'HAP et d'HAP alkylés	14
3.3 Dioxines et furannes	20
3.4 Observations visuelles	21
4. Conclusions	23
5. Références bibliographiques	24

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Paramètres analysés en 2015 selon les stations d'échantillonnage _____	4
Tableau 2	Concentrations de dioxines et de furannes chlorés dans des échantillons de sédiments du lac Mégantic en 2015 et dépassements des critères de qualité des sédiments (EC et MDDEP, 2007) _____	20

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Localisation des stations d'échantillonnage _____	3
Figure 2	Concentration d'hydrocarbures pétroliers dans les sédiments du lac Mégantic près du parc des Vétérans et de la marina en 2013 et en 2014 _____	6
Figure 3	Résultats d'analyse des hydrocarbures pétroliers (C ₁₀ -C ₅₀) en 2015 _____	7
Figure 4	Concentrations d'hydrocarbures pétroliers (C ₁₀ -C ₅₀) pour les stations comparables en 2014 et en 2015 _____	8
Figure 5	IPP de l'échantillon de référence tank 19 (A) et d'un échantillon fortement contaminé par ce pétrole tel que retrouvé dans la rivière Chaudière en 2014 (B) _____	9
Figure 6	IPP des échantillons prélevés en 2014 au nord du parc des Vétérans aux stations PVet10-10 (A) et PVet-0 (B) _____	10
Figure 7	IPP de l'échantillon PVet-0 prélevé en 2015 _____	10
Figure 8	IPP des échantillons prélevés près de la marina en 2014 à la station PVET60-2 (A) et au large de la marina à la station LMeg350-5 (B) _____	11
Figure 9	Concentration d'HAP dans les sédiments du lac Mégantic près du parc des Vétérans et de la marina en 2013 et en 2014 _____	12
Figure 10	Concentration maximale d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) en 2015 _____	13
Figure 11	Concentrations d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) pour les stations comparables en 2014 et en 2015 _____	14
Figure 12	HAP et HAP alkylés présents dans le pétrole du tank 19 (A) et graphique tronqué à 500 mg/kg (B) _____	15
Figure 13	Histogramme d'HAP des stations les plus contaminées au nord du parc des Vétérans, PVet-0 (A) et PVet10-10 (B) _____	16
Figure 14	Histogramme d'HAP aux stations LM-10 et LMeg350-5 _____	17
Figure 15	Histogramme d'HAP aux stations LM-11 et PVet10-7 _____	18
Figure 16	Histogramme d'HAP aux stations PVet10-9 et PVet30-10 _____	19

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1	Critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments (EC et MDDEP, 2007)	25
Annexe 2	Concentrations d'HAP au-delà de la CEP et de la CEF en 2015	26
Annexe 3	Dépassements de la CEF aux stations échantillonnées en 2014 et en 2015	27
Annexe 4	Examen des résultats détaillés de l'analyse des HAP	28

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 quelque six millions de litres de pétrole dans le centre-ville, le lac Mégantic et la rivière Chaudière. Il a été estimé qu'environ 100 000 litres ont atteint la rivière Chaudière, dont la tête est située à Lac-Mégantic.

À la suite du déversement, des estacades ont été installées pour ceinturer les nappes de pétrole à proximité de la rive du parc des Vétérans, à la limite de la marina et dans la rivière Chaudière, à l'aval d'un bassin temporaire de rétention des hydrocarbures construit dans les jours suivant le déversement (photo 1). Le pétrole confiné a été retiré à l'aide de pompes de surface lors des opérations de nettoyage du centre-ville.



Photo 1 : Photographie aérienne prise le 10 juillet 2013 par Aéro-photo (1961) inc.

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 le mandat de dégager un état de situation de la rivière et du lac sur la base des résultats obtenus en 2013, de déterminer les impacts potentiels du déversement et d'élaborer un plan de gestion de la contamination résiduelle. Le plan proposé par le Comité expert (MDDELCC, 2014) a été adopté par le Ministère, rendu public le 12 mai 2014 et mis en œuvre en 2014-2015. Un deuxième plan d'action, qui vise trois objectifs et comprend neuf projets, a été publié en 2015 (MDDELCC, 2015). Ce rapport présente les résultats du projet 1.2 de ce deuxième plan d'action, soit un état de situation de la contamination résiduelle dans les sédiments du lac Mégantic, près du lieu du déversement, et dans la rivière Chaudière, en aval immédiat du point de déversement du bassin temporaire de rétention des hydrocarbures.

1. INTRODUCTION

Dans les heures suivant le déversement de juillet 2013, des estacades ont été installées afin de récupérer le pétrole flottant sur le lac et de restreindre le transfert vers la rivière Chaudière. Il a été estimé malgré tout qu'environ 100 000 L de pétrole avaient atteint la rivière à partir du lac ou via le réseau d'égouts pluviaux. En effet, plusieurs égouts pluviaux débouchent dans ce secteur du lac. Du pétrole aurait donc pu rejoindre la rivière par le lac, en contournant la marina, ou encore en la traversant. Les sédiments de ces secteurs ont été caractérisés en 2013 et en 2014, et les résultats sont présentés dans le deuxième rapport du Comité expert sur la contamination résiduelle de la rivière Chaudière par les hydrocarbures pétroliers, publié en 2015 (MDDELCC, 2015). Il a été démontré que certaines stations ont présenté des concentrations d'hydrocarbures pétroliers C₁₀-C₅₀ supérieures à la valeur de référence de toxicité chronique (VRC) et que trois stations excédaient même la valeur de référence – effet aigu (VRA). Pour ce qui est de la contamination en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), la majorité des stations ont présenté des niveaux de contamination supérieurs à la concentration d'effet fréquent (CEF).

Les objectifs de la caractérisation des sédiments du lac Mégantic, en 2015, étaient : 1) de revisiter les stations ayant une forte concentration en C₁₀-C₅₀ en 2014, pour mesurer le degré d'atténuation naturelle; 2) d'échantillonner les sédiments de la marina, qui n'avaient pas été caractérisés auparavant; 3) de caractériser les sédiments près de l'effluent d'un bassin temporaire de rétention des hydrocarbures situé à la tête de la rivière Chaudière; et 4) de déterminer si les HAP détectés en concentrations élevées dans le lac Mégantic en 2014 proviennent du déversement de 2013 ou s'ils ont une autre origine.

Ce rapport présente l'ensemble des résultats obtenus sur les sédiments du lac depuis 2013, afin d'interpréter l'évolution temporelle de la contamination et de dresser un bilan actuel de la contamination résiduelle.

2. MÉTHODOLOGIE

2.1 Échantillonnage

La campagne d'échantillonnage de 2015 visait à compléter le portrait de la contamination des sédiments du lac, afin de dresser un état de situation plus complet et actuel. Au cours des campagnes antérieures, 5 stations ont été échantillonnées en 2013 par des plongeurs du Centre d'expertise hydrique du Québec et 25 stations ont été échantillonnées sur 5 sections transversales du lac en 2014 par la firme Conestoga-Rovers & Associés (Québec) inc. (CRA), responsable de la caractérisation du lac et de la rivière Chaudière en 2014.

En 2015, l'échantillonnage des sédiments s'est déroulé les 10 et 17 juin 2015 dans trois secteurs du lac Mégantic et de la rivière Chaudière (figure 1) :

- 1) Partie nord du parc des Vétérans. Vu les concentrations élevées aux stations LM-3, PVet-0, PVet10-7, PVet10-9, PVet10-10, PVet30-8 et PVet30-10 en 2013 ou en 2014, selon la station, le Comité expert a recommandé d'échantillonner ces stations en 2015 afin d'effectuer un suivi de la concentration des $C_{10-C_{50}}$ dans le temps.
- 2) Marina. Sept nouvelles stations ont été échantillonnées dans ce secteur à la suite des recommandations du Comité expert afin d'évaluer si la marina a été contaminée par le déversement.
- 3) À l'effluent d'un ancien bassin de rétention dans la rivière Chaudière. Dans les jours qui ont suivi le déversement, l'équipe d'Urgence-Environnement du Ministère a fait construire un bassin temporaire de rétention du pétrole dont l'effluent se déchargeait dans la rivière Chaudière, juste à l'aval du barrage Mégantic. De l'eau possiblement contaminée par les hydrocarbures était rejetée dans le cours d'eau à cet endroit. Le Comité expert a donc recommandé de revisiter des stations échantillonnées en 2014 à proximité de l'effluent (480, 482). Une nouvelle station (480A) a été ajoutée en 2015.

L'échantillonnage a été réalisé à bord d'un bateau ou à gué à l'aide d'une tarière à sable manuelle de marque AMS (*sand auger*) munie de tiges d'extension. Neuf des stations échantillonnées en 2013 ou en 2014 ont été revisitées et huit nouvelles stations ont été ajoutées. L'échantillonnage a été réalisé conformément au *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales* (MDDELCC, 2008) ainsi qu'au *Guide d'échantillonnage des sédiments du Saint-Laurent pour les projets de dragage et de génie maritime* (Environnement Canada 2002a et b), et tous les échantillons ont été analysés au Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ). Les stations ont été localisées à l'aide d'un GPS portable d'une précision de +/- 5 mètres.

2.2 Observations visuelles de la contamination lors de l'échantillonnage

Pendant la campagne d'échantillonnage des 10 et 17 juin 2015, une recherche visuelle et olfactive d'hydrocarbures a été réalisée. Une seconde recherche visuelle a été effectuée le 17 novembre 2015, afin de déterminer si un deuxième échantillonnage était nécessaire. Pour ce faire, les sédiments étaient brassés avec les pieds et une perche, et l'irisation résultante à la surface de l'eau était notée.



Figure 1 Localisation des stations d'échantillonnage

2.3 Analyses chimiques

En 2015, toutes les analyses ont été réalisées au Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. Les paramètres C_{10} - C_{50} , identification des produits pétroliers (IPP) et HAP réguliers et alkylés ont été demandés sur presque tous les échantillons. Les analyses d'identification des produits pétroliers et HAP avaient pour objectif de comparer la signature de la contamination des sédiments à celle du pétrole déversé. Cette comparaison vise à déterminer si les HAP trouvés dans les sédiments peuvent être associés au déversement ou s'ils peuvent venir d'une autre source. Quatre échantillons ont aussi été analysés pour les dioxines et furannes chlorés. Finalement, certains échantillons prélevés au large de la marina en 2014 et qui présentaient des concentrations élevées en HAP ou en hydrocarbures pétroliers ont été analysés à nouveau en 2015. Ces échantillons (LMeg350-4, LMeg350-5, PVet30-1, PVet30-3 et PVet60-1) ont d'abord été analysés pour les C_{10} - C_{50} et si le résultat était supérieur à 300 mg/kg, des analyses d'IPP et HAP étaient effectuées.

Tableau 1 Paramètres analysés en 2015 selon les stations d'échantillonnage

Secteur	Station	Profondeur échantillonnée (cm)		Paramètres analysés
Nord du parc des Vétérans	PVet-0	0-5		C ₁₀ -C ₅₀ , IPP, HAP, dioxines et furannes
	PVet10-7	0-5		C ₁₀ -C ₅₀ , IPP, HAP, dioxines et furannes
	PVet10-9	0-5		C ₁₀ -C ₅₀ , IPP, HAP, dioxines et furannes
	PVet10-10	0-5		C ₁₀ -C ₅₀ , IPP, HAP, dioxines et furannes
	PVet30-8	0-5		C ₁₀ -C ₅₀ , IPP, HAP
	PVet30-10	0-5		C ₁₀ -C ₅₀ , IPP, HAP
	LM-3	0-5		C ₁₀ -C ₅₀ , IPP, HAP
Marina	LM10*	0-5	15-20	C ₁₀ -C ₅₀ , IPP, HAP
	LM11*	0-5	15-20	C ₁₀ -C ₅₀ , IPP, HAP
	LM12*	0-5	15-20	C ₁₀ -C ₅₀ , IPP, HAP
	LM13*	0-5	15-20	C ₁₀ -C ₅₀ , IPP, HAP
	LM14*	0-5	15-20	C ₁₀ -C ₅₀ , IPP, HAP
	LM15*	0-5	15-20	C ₁₀ -C ₅₀ , IPP, HAP
	LM16*	0-5	15-20	C ₁₀ -C ₅₀ , IPP, HAP
Bassin de rétention	480	0-5		C ₁₀ -C ₅₀ , IPP, HAP
	480A*	0-5		C ₁₀ -C ₅₀ , IPP, HAP
	482	0-5		C ₁₀ -C ₅₀ , IPP, HAP
Secteur éloigné	PVet350-4			C ₁₀ -C ₅₀
	PVet350-5			C ₁₀ -C ₅₀ , IPP, HAP
	PVet30-1			C ₁₀ -C ₅₀
	PVet30-3			C ₁₀ -C ₅₀
	PVet60-1			C ₁₀ -C ₅₀

Légende : * = Nouvelle station en 2015

C₁₀-C₅₀ = hydrocarbures pétroliers (perte à 105 °C incluse = expression du résultat sur base sèche)

IPP = identification de produits pétroliers

HAP = hydrocarbures aromatiques polycycliques réguliers et alkylés

2.4 Interprétation des résultats

En l'absence de critères de qualité des sédiments pour les hydrocarbures pétroliers C₁₀-C₅₀, le MDDELCC a recommandé (MDDEFP, 2013), pour le contexte particulier du lac Mégantic et de la rivière Chaudière, l'utilisation des valeurs de référence générées par les études de l'Atlantic RBCA (2012), basées sur les travaux de Di Toro et collaborateurs (Di Toro et coll., 2000; DiToro et McGrath, 2000), c'est-à-dire :

- une valeur de référence – effet chronique : 164 mg/kg;
- une valeur de référence – effet aigu : 832 mg/kg.

Ces valeurs ont été utilisées pour interpréter les concentrations d'hydrocarbures pétroliers C₁₀-C₅₀ présents dans les sédiments de la rivière Chaudière et établir des classes de qualité :

- La concentration en hydrocarbures pétroliers C₁₀-C₅₀ est inférieure ou égale à la valeur de référence – effet chronique.
- La concentration d'hydrocarbures pétroliers C₁₀-C₅₀ est supérieure à la valeur de référence – effet chronique, mais inférieure ou égale à la valeur de référence – effet aigu.
- La concentration d'hydrocarbures pétroliers C₁₀-C₅₀ est supérieure à la valeur de référence – effet aigu.

Les résultats des analyses de dioxines/furannes et de HAP ont été comparés aux critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments au Québec (EC et MDDEP, 2007). Ces critères sont présentés sommairement à l'annexe 1. La qualité des sédiments pour les dioxines/furannes et les HAP a été déterminée selon les trois classes de qualité suivantes :

- La concentration de tous les contaminants est inférieure ou égale à la limite de détection de la méthode.
- La concentration de tous les contaminants est inférieure ou égale à la concentration d'effet rare (CER).
- La concentration de tous les contaminants est inférieure ou égale à la concentration d'effet probable (CEP).
- La concentration d'au moins un contaminant est supérieure à la CEP et inférieure ou égale à la concentration d'effet fréquent (CEF).
- La concentration d'au moins un contaminant est supérieure à la CEF.

De tous les HAP analysés, seulement 13 possèdent des critères de qualité. Les autres, dont les HAP alkylés, ont plutôt servi à établir le lien avec le pétrole déversé.

3. RÉSULTATS

3.1 Hydrocarbures pétroliers (C₁₀-C₅₀) et IPP

3.1.1 Résultats des campagnes d'échantillonnage 2013 et 2014

La figure 2 présente les concentrations d'hydrocarbures pétroliers C₁₀-C₅₀ retrouvés dans les sédiments au cours des différentes campagnes d'échantillonnage effectuées en 2013 et en 2014. Bien que ces résultats aient été présentés dans le deuxième rapport du Comité expert (MDDELCC, 2015), il importe de les rappeler ici, pour comprendre les objectifs de l'échantillonnage de 2015.

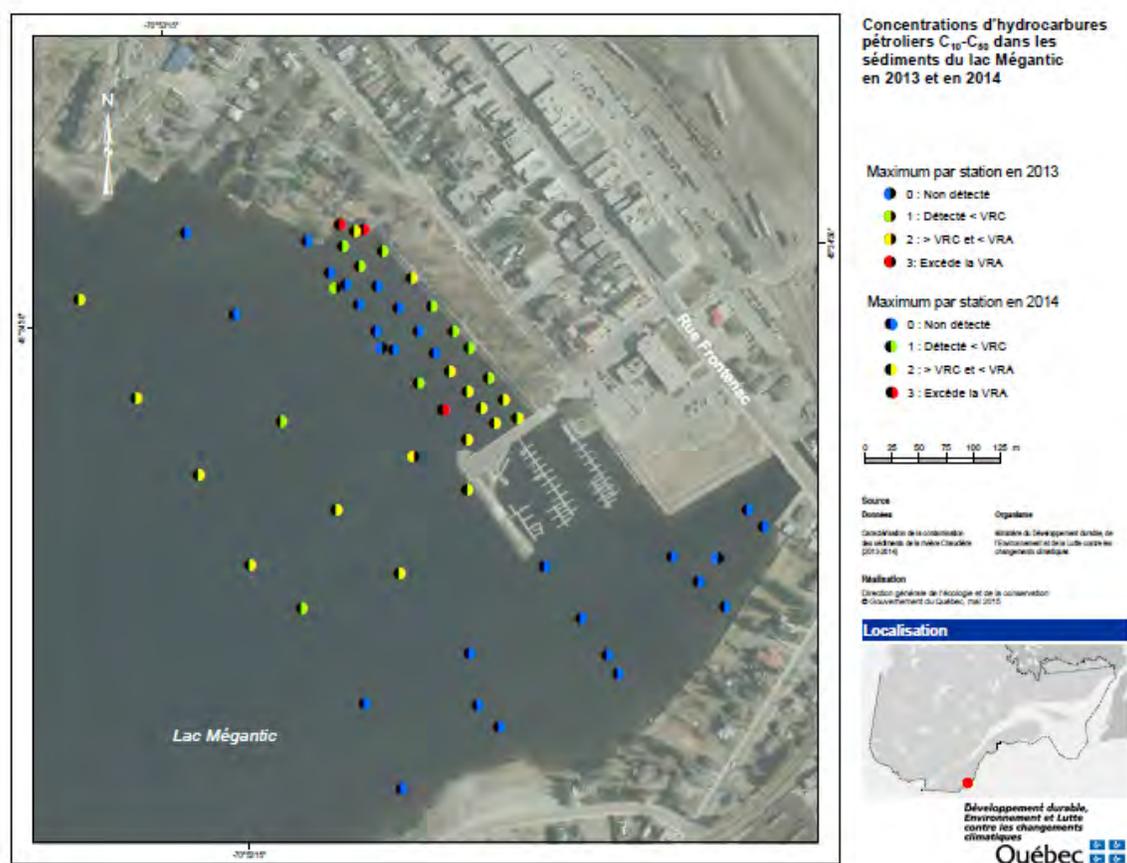


Figure 2 Concentration d'hydrocarbures pétroliers dans les sédiments du lac Mégantic près du parc des Vétérans et de la marina en 2013 et en 2014

Le secteur le plus contaminé en 2013 et en 2014 était celui au nord du parc des Vétérans où deux stations (PVet-0 et PVet10-10) présentaient une contamination en hydrocarbure C₁₀-C₅₀ dépassant la VRA. Un autre secteur du lac, soit près de la marina, présentait une contamination majoritairement entre la VRC et la VRA, avec un seul échantillon (PVet60-2) dépassant la VRA.

Les autres secteurs du lac ont été jugés non préoccupants en ce qui a trait aux hydrocarbures pétroliers. Toutefois, le Comité expert a recommandé que la zone au large de la marina soit investiguée à nouveau en 2015, principalement à cause des teneurs élevées en HAP, décrites plus loin. Des échantillons provenant de ce secteur du lac ont donc été analysés à nouveau et seul l'échantillon prélevé à la station LMeg350-5 a présenté une concentration en C_{10} - C_{50} supérieure à la VRC, soit de 410 mg/kg. Cet échantillon a été analysé également en IPP afin de vérifier si cette contamination est reliée au pétrole déversé (voir la section 3.1.3).

3.1.2 Résultats de la campagne d'échantillonnage 2015

Il y a eu 17 stations échantillonnées en 2015 (figure 3). Seul l'échantillon de la station PVet-0 a présenté une concentration supérieure à la VRC, soit 350 mg/kg. Dans la partie nord du parc des Vétérans, les six stations avoisinantes au PVet-0 avaient des concentrations sous la VRC ou non détectées.

Au niveau de la marina, les échantillons des sept stations avaient des concentrations sous la VRC ou non détectées. Dans le secteur de l'effluent de l'ancien bassin de rétention, les échantillons des trois stations avaient également des concentrations sous la VRC ou non détectées.



Figure 3 Résultats d'analyse des hydrocarbures pétroliers (C_{10} - C_{50}) en 2015

La figure 4 présente les résultats de 2014 et de 2015 aux six stations échantillonnées les deux années dans le secteur du parc des Vétérans. Quatre stations présentent une baisse de concentration, alors que les deux autres, où

les teneurs n'étaient pas élevées, sont restées dans la même classe de concentrations. La contamination en C₁₀-C₅₀ semble donc avoir diminué dans le secteur du parc des Vétérans. Des échantillonnages supplémentaires, en 2016 et possiblement au cours des années subséquentes, permettront de confirmer si la diminution apparente se maintient et se poursuit.

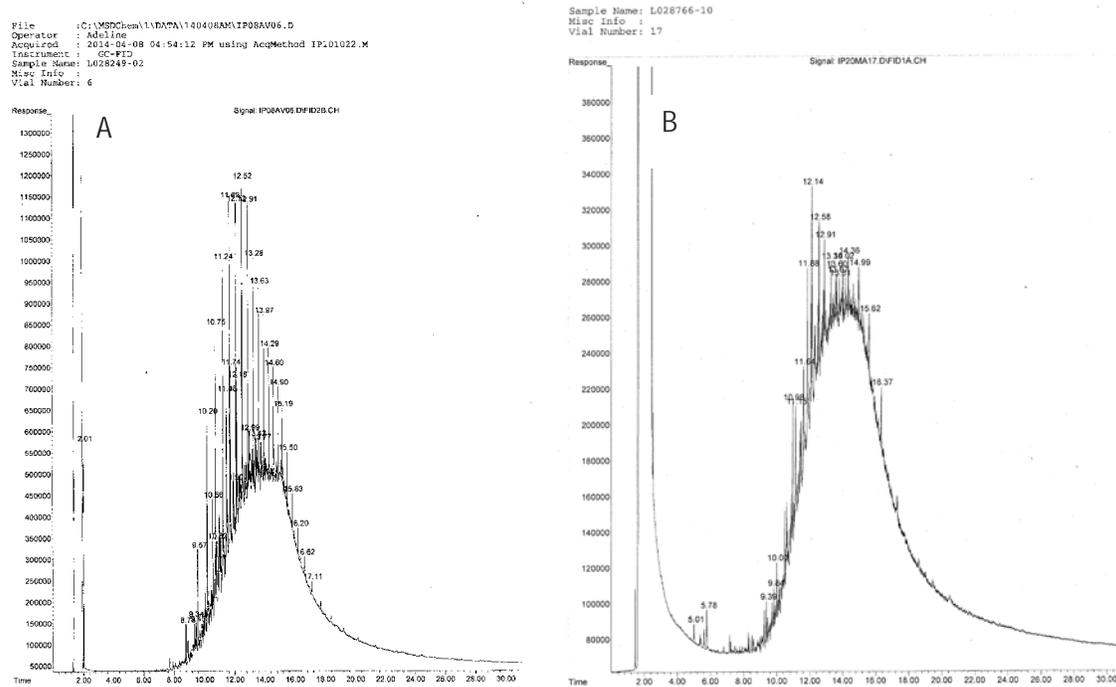


Figure 4 Concentrations d'hydrocarbures pétroliers (C₁₀-C₅₀) pour les stations comparables en 2014 et en 2015

3.1.3 Identification de produits pétroliers

Tous les échantillons dont la concentration en C₁₀-C₅₀ était supérieure à 300 mg/kg ont été analysés en IPP, et comparés à l'échantillon de référence, soit un échantillon de pétrole prélevé du tank 19, un des wagons impliqués

dans l'accident. La figure 5 présente le profil d'hydrocarbures de cet échantillon de référence, tel qu'analysé en 2013, ainsi que le profil d'un échantillon de sédiments fortement contaminés prélevé en 2014 dans la rivière Chaudière, soit après un an d'atténuation naturelle.



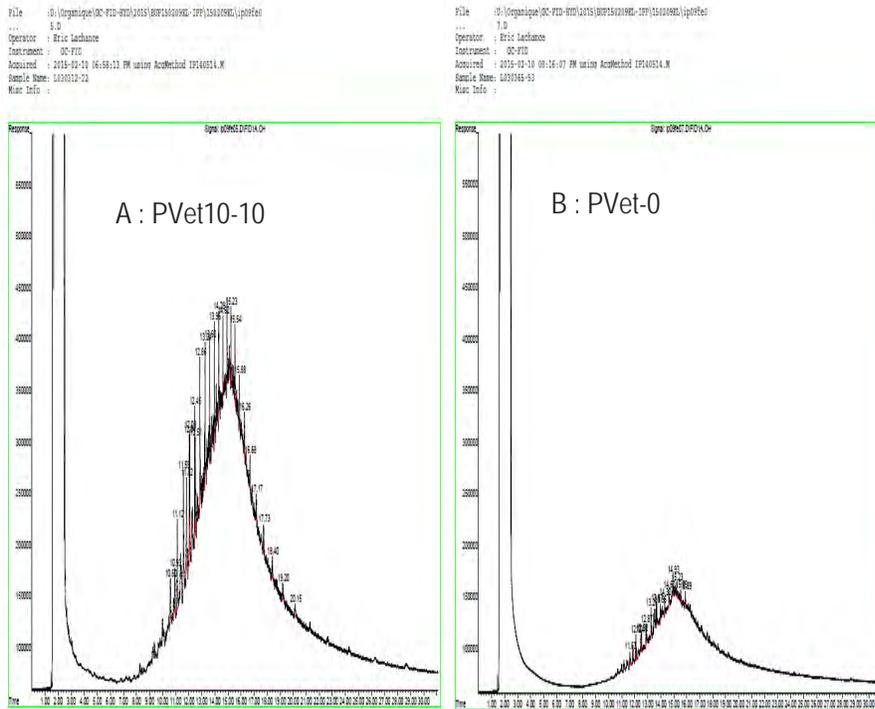


Figure 6 IPP des échantillons prélevés en 2014 au nord du parc des Vétérans aux stations PVet10-10 (A) et PVet-0 (B)

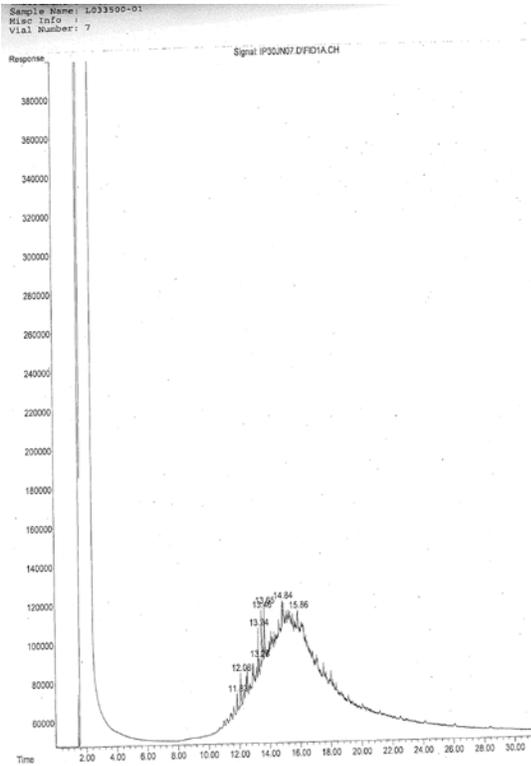


Figure 7 IPP de l'échantillon PVet-0 prélevé en 2015

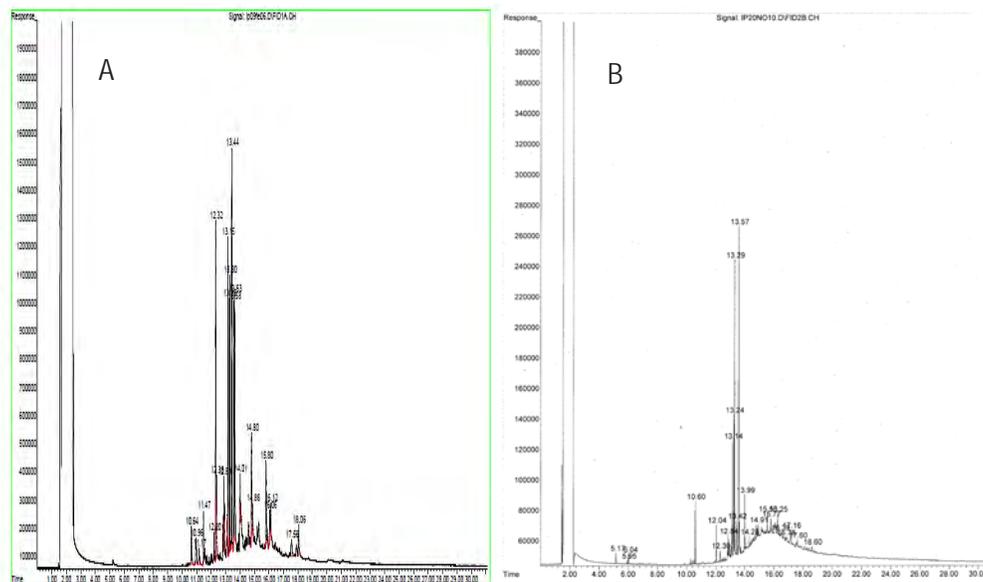


Figure 8 IPP des échantillons prélevés près de la marina en 2014 à la station PVET60-2 (A) et au large de la marina à la station LMeg350-5 (B)

3.2 Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

3.2.1 Concentrations d'HAP en 2013 et en 2014

La figure 9 présente les concentrations d'HAP qui avaient été retrouvées dans le lac au cours des campagnes 2013 et 2014. Plusieurs stations présentaient des concentrations élevées, excédant la CEF, même à 450 m au large. Toutefois, des résultats d'IPP et d'HAP de 2014 portaient à croire que cette contamination pouvait ne pas être due uniquement au déversement de 2013 (MDDELCC, 2015). C'est pourquoi un des objectifs de la présente étude était de mieux cerner l'origine de cette contamination, par l'analyse de profils d'IPP et d'HAP.

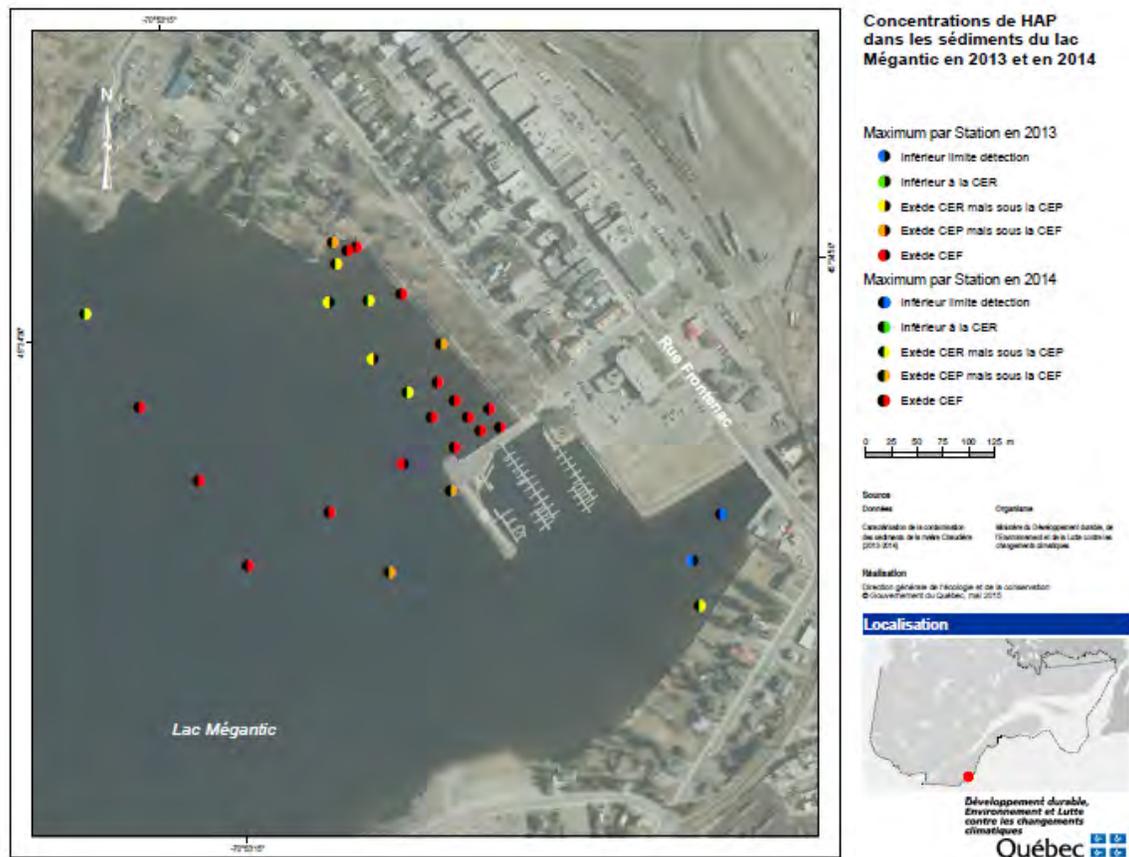


Figure 9 Concentration d'HAP dans les sédiments du lac Mégantic près du parc des Vétérans et de la marina en 2013 et en 2014

3.2.2 Concentrations d'HAP en 2015

Quatre stations échantillonnées en 2015 au nord du parc des Vétérans ont présenté une concentration supérieure à la CEF, un échantillon a présenté une concentration située entre la CEP et la CEF et deux échantillons ont présenté des concentrations inférieures à la CER (figure 10).

À l'intérieur de la marina, un seul échantillon a présenté une concentration supérieure à la CEF, un autre échantillon a présenté une concentration située entre la CEP et la CEF, quatre échantillons ont présenté des concentrations situées entre la CER et la CEP et un dernier échantillon a présenté une concentration inférieure à la CER. Dans le secteur de l'effluent de l'ancien bassin de rétention, un seul échantillon a présenté une concentration inférieure à la CER et aucun HAP n'a été détecté dans les deux autres échantillons. L'annexe 2 présente la liste des HAP individuels qui dépassent les critères CEP et CEF à chacune des stations d'échantillonnage.

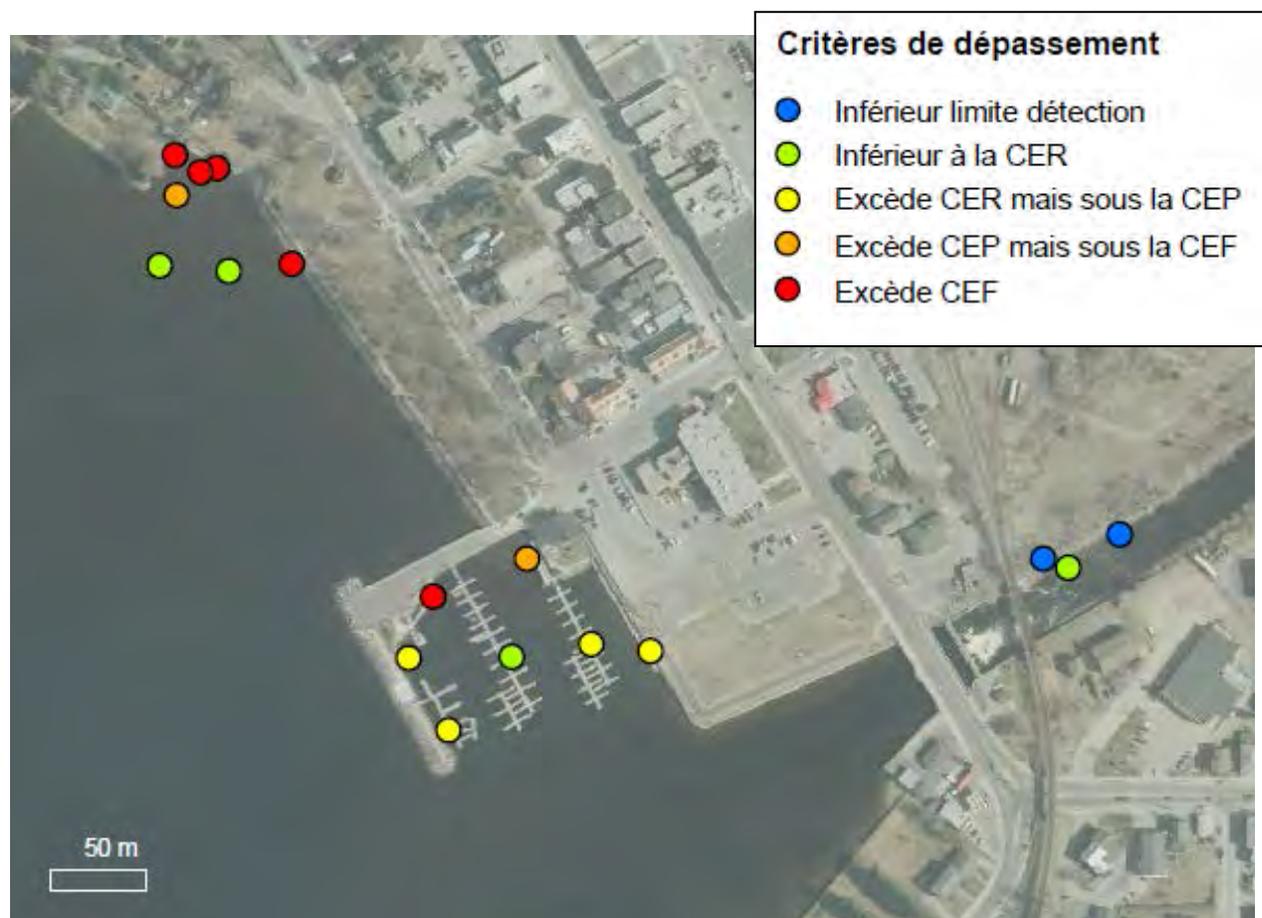


Figure 10 Concentration maximale d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) en 2015

Par ailleurs, contrairement à ce qui a été observé pour les hydrocarbures pétroliers, la figure 11 montre que les concentrations de HAP dans les sédiments n'ont pas vraiment diminué de 2014 à 2015. L'annexe 3 présente la liste des HAP individuels en dépassement de la CEF aux stations échantillonnées en 2014 et en 2015. À la station PVet-0, le nombre de HAP en dépassement de la CEF est moins élevé en 2015 qu'il ne l'était en 2014, alors que c'est l'inverse aux stations Pvet10-7 et Pvet10-10 et que ce nombre est resté pratiquement le même à la station Pvet10-9. L'annexe 3 montre aussi que l'amplitude des dépassements de la CEF n'a pas vraiment changé de 2014 à 2015. Ces résultats concordent avec le fait que les HAP sont persistants dans les sédiments des milieux lacustres (Huang et coll., 2014).



Figure 11 Concentrations d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) pour les stations comparables en 2014 et en 2015

3.2.3 Profils d'HAP et d'HAP alkylés

L'analyse des HAP permet de supporter l'IPP dans la recherche de la source de la contamination. En établissant un profil type d'HAP sous forme d'histogramme, on peut comparer les sources de contamination. La figure 12 présente l'histogramme des HAP du pétrole du tank 19. Dans ce profil de référence, pour un même HAP, les dérivés alkylés (C1, C2, C3 et C4) sont en plus grandes concentrations que l'analogue de base non alkylé. Il en résulte un profil en cloche, bien visible pour les naphthalènes et les phénanthrènes/anthracènes dans la figure 12A. Le graphique tronqué à 500 mg/kg en ordonnée (figure 12B) fait voir que pour les autres HAP aussi, les teneurs des formes alkylées sont plus élevées que celle de la forme non alkylée. Ce profil, dominé par les formes alkylées par rapport aux formes non alkylées, est typique du pétrole (Wang et Stout, 2007).

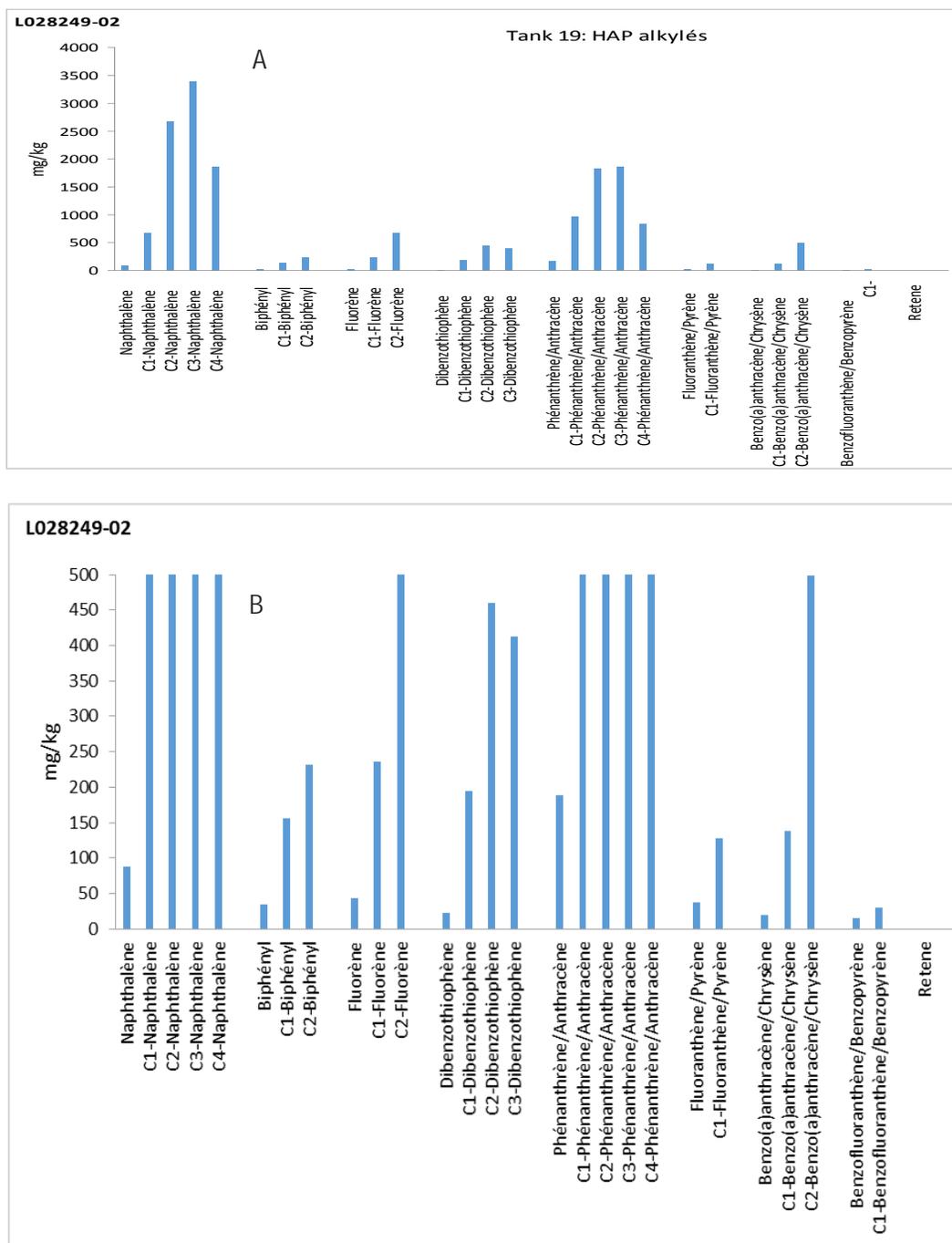


Figure 12 HAP et HAP alkylés présents dans le pétrole du tank 19 (A) et graphique tronqué à 500 mg/kg (B)

Dans les échantillons de sédiments, ce profil est visible pour les quatre premiers HAP, soit du naphthalène au dibenzothiophène (figures 13 et 15). À partir du cinquième groupe d'HAP, le phénanthrène/anthracène, le profil change : pour un même HAP, c'est la forme non alkylée qui est dominante (figures 13 à 16), sauf dans l'échantillon de la station LM-11 (figure 15). De plus, dans le pétrole (figure 12), les HAP dominants sont les plus légers, situés

dans la partie gauche du graphique, c'est-à-dire du naphthalène au phénanthrène/anthracène. Dans les sédiments, le profil est dominé par des HAP plus lourds, situés du côté droit des graphiques, du phénanthrène/anthracène au rétène. Ce dernier, absent du pétrole et provenant de la combustion du bois (Ramdahl, 1983), est le HAP dominant des échantillons LM-10, LMEG350-5 et PVet10-9 (figures 14 et 16).

Ces résultats confirment que les sédiments du lac sont affectés par le pétrole provenant du déversement du 6 juillet 2013, mais aussi par une ou d'autres sources de HAP. D'autres observations, rapportées dans l'annexe 4, appuient ce constat et démontrent que cette ou ces autres sources contribuent aux dépassements de critères en HAP.

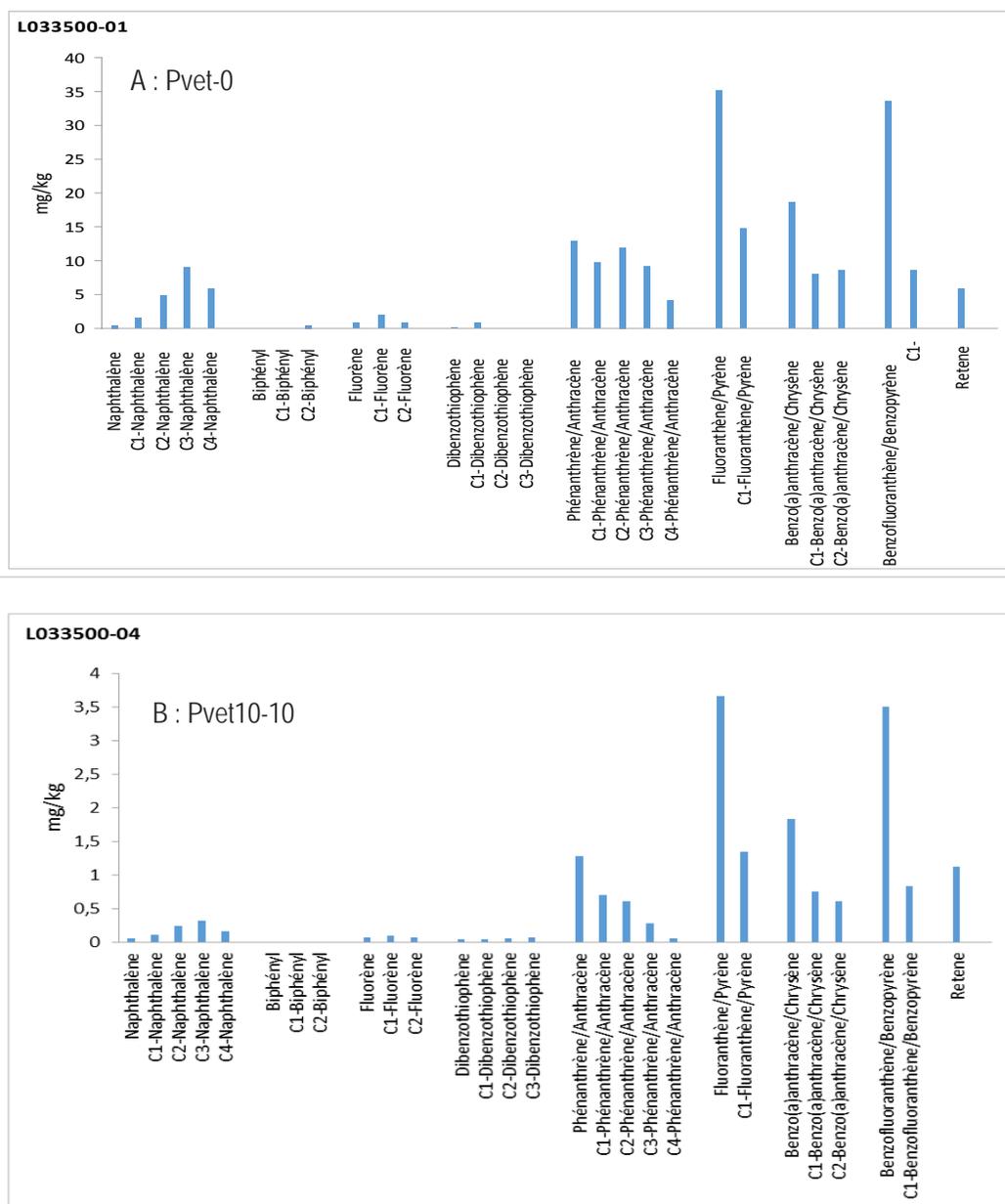


Figure 13 Histogramme d'HAP des stations les plus contaminées au nord du parc des Vétérans, PVet-0 (A) et PVet10-10 (B)

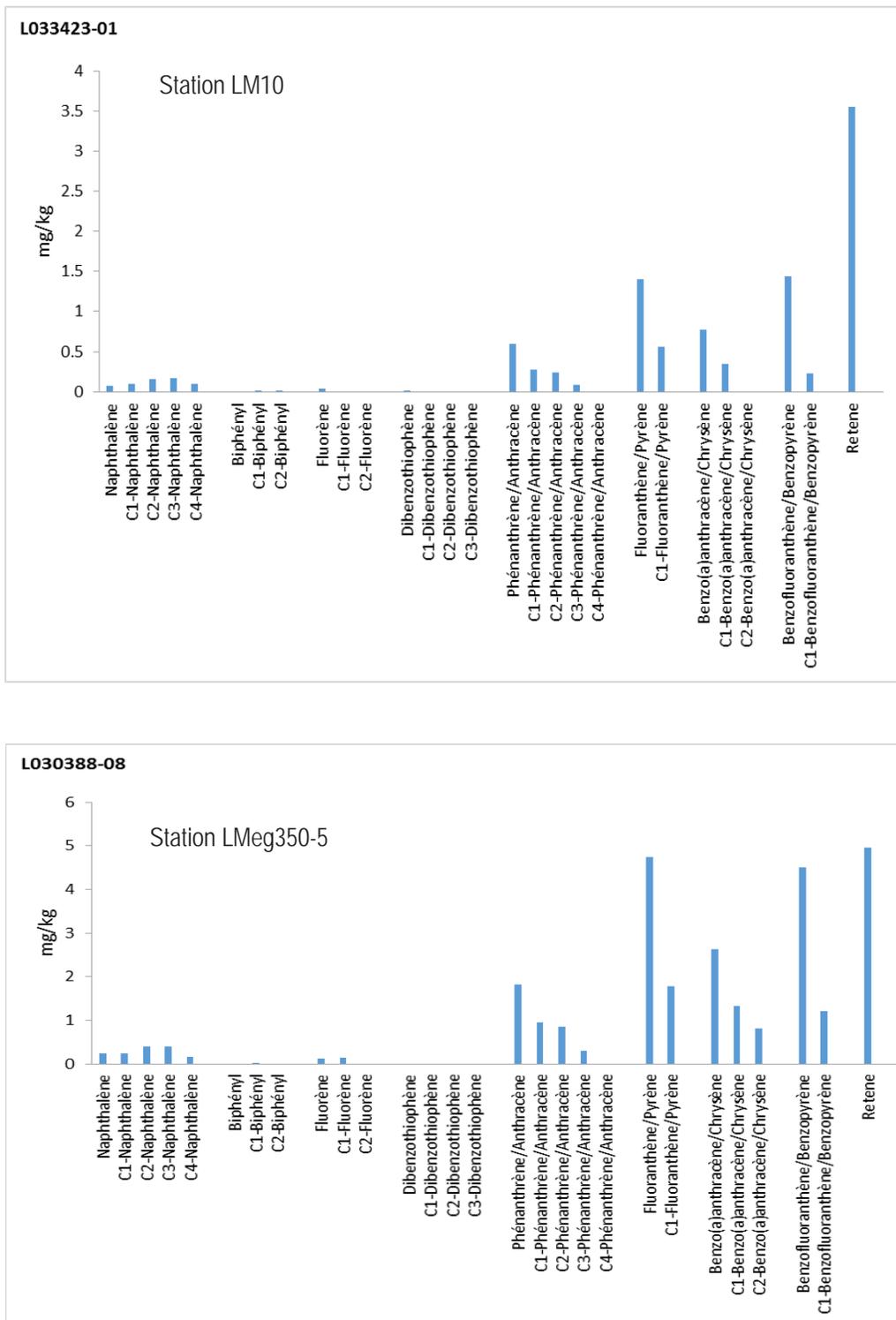


Figure 14 Histogramme d'HAP aux stations LM-10 et LMeg350-5

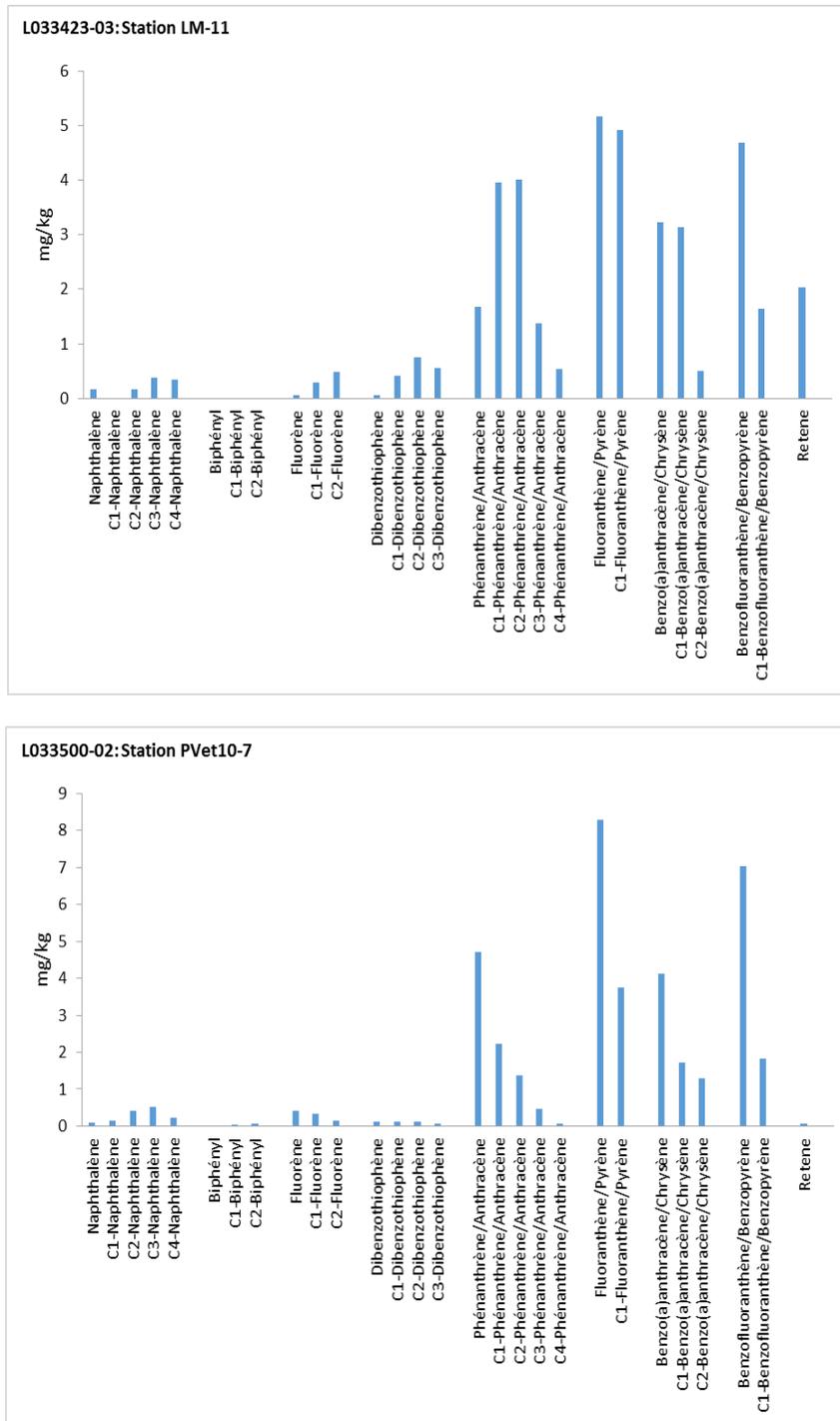


Figure 15 Histogramme d'HAP aux stations LM-11 et PVet10-7

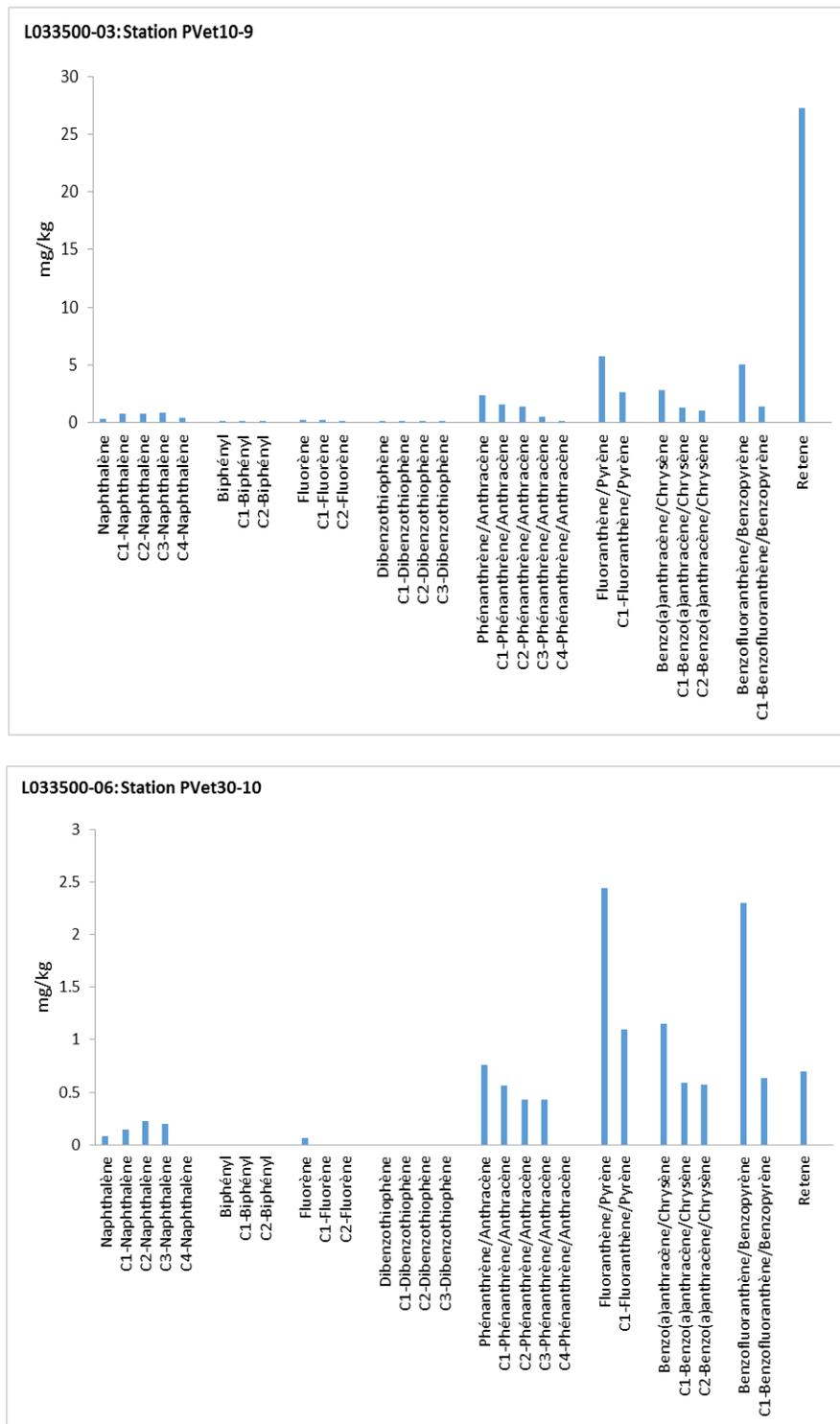


Figure 16 Histogramme d'HAP aux stations PVet10-9 et PVet30-10

3.3 Dioxines et furannes

Les dioxines et furannes sont des produits de dégradation de la combustion de composés chlorés. Les produits pétroliers ne contiennent généralement pas de ces substances. Toutefois, le déversement de 2013 a entraîné plusieurs incendies et des dioxines et furannes auraient pu être dégagés.

Le tableau 2 présente les résultats de l'analyse des dioxines et furannes chlorés dans les quatre échantillons du lac présentant les concentrations les plus élevées de C₁₀-C₅₀. Aucun résultat ne dépasse la CEF; il n'a donc pas été jugé nécessaire de refaire ce type d'analyse sur d'autres échantillons, ni d'en investiguer la provenance. D'ailleurs, déterminer l'origine des dioxines et furannes détectés serait difficile, car ces substances sont persistantes, peuvent venir d'activités antérieures et il n'y a pas de données sur leurs concentrations dans les sédiments du lac avant le déversement.

Tableau 2 Concentrations de dioxines et de furannes chlorés dans des échantillons de sédiments du lac Mégantic en 2015 et dépassements des critères de qualité des sédiments (EC et MDDEP, 2007)

Station	Dioxines et furannes en équivalents toxiques de la 2,3,7,8-TCDD (pg/g)	Critère dépassé
PVet-0	12,34	CEO
PVet10-7	13,71	CEO
PVet10-9	0,78	CER
PVet10-10	20,22	CEO

Légende : CEO = Concentration d'effet occasionnel
CER = Concentration d'effet rare

3.4 Observations visuelles

La recherche visuelle et olfactive d'hydrocarbures a été réalisée par l'équipe d'échantillonnage les 10 et 17 juin 2015. Des traces d'irisations ont été observées dans les secteurs au nord du parc des Vétérans et à l'effluent de l'ancien bassin de rétention (photos 2 et 3). Le 17 novembre 2015, des membres du Comité expert ont refait la recherche visuelle et olfactive devant le parc des Vétérans et dans la marina. Aucune irisation n'a été détectée (photo 4).



Photo 2 : Irisation observée lors de l'échantillonnage à la station PVet-0 en juin 2015



Photo 3 : Irisation observée lors de l'échantillonnage de la station 480 en juin 2015



Photo 4 : Observation visuelle effectuée par un membre du Comité expert le 17 novembre 2015

4. CONCLUSIONS

Les objectifs de la caractérisation des sédiments du lac Mégantic en 2015 étaient : 1) de revisiter les stations ayant une forte concentration en C_{10} - C_{50} en 2014, pour mesurer le degré d'atténuation naturelle; 2) d'échantillonner les sédiments de la marina qui n'avaient pas été caractérisés auparavant; 3) de caractériser les sédiments près de l'effluent d'un bassin temporaire de rétention d'hydrocarbures situé à la tête de la rivière Chaudière; et 4) de déterminer si les HAP détectés en concentrations élevées dans le lac Mégantic en 2014 proviennent du déversement de 2013 ou s'ils ont une autre origine. Les constats sont les suivants :

- En 2015, la contamination des sédiments par les hydrocarbures pétroliers C_{10} - C_{50} est inférieure à la VRA dans les trois secteurs à l'étude, soit devant le parc des Vétérans, dans la marina et à la tête de la rivière Chaudière, devant le bassin temporaire de rétention des hydrocarbures construit lors des événements de juillet 2013.
- Devant le parc des Vétérans, la contamination par les hydrocarbures pétroliers a diminué de façon marquée de 2014 à 2015. À l'automne 2015, le brassage des sédiments dans le secteur du parc et dans la marina ne créait plus d'irisation à la surface de l'eau.
- Contrairement à ce qui a été observé pour les hydrocarbures pétroliers C_{10} - C_{50} , il n'y a pas eu de diminution notable des concentrations de HAP aux stations échantillonnées en 2014 et en 2015, toutes situées dans la partie nord du parc des Vétérans.
- Sauf à une station d'échantillonnage, les concentrations de HAP sont faibles dans les sédiments de la marina et à la tête de la rivière, en face de l'ancien bassin de rétention des hydrocarbures.
- La contamination des sédiments du lac par les HAP est en partie attribuable à une ou d'autres sources que le déversement du 6 juillet 2013. Les dépassements des critères pour les HAP sont eux aussi en partie attribuables à cette ou ces autres sources, possiblement liées à l'historique d'industrie de Lac-Mégantic.

5. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ATLANTIC RBCA, 2012. *Ecological Screening Protocol for Petroleum Impacted Sites in Atlantic Canada – Scientific Rationale*, Version 3, 44 p.
- CRA QUÉBEC, 2015. *Rapport préliminaire. Caractérisation des sédiments de la rivière Chaudière et du lac Mégantic*. 1 322 p.
- DI TORO, D. M., J. A. MCGRATH ET D. J. HANSEN, 2000. "Technical basis for narcotic chemicals and polycyclic aromatic hydrocarbon criteria. I. Water and tissue". *Environmental Toxicology and Chemistry* 19(8): 1951-1970.
- DI TORO, D. M. ET J. A. MCGRATH, 2000. "Technical basis for narcotic chemicals and polycyclic aromatic hydrocarbon criteria. II. Mixtures and sediments". *Environmental Toxicology and Chemistry* 19(8): 1971-1982.
- ENVIRONNEMENT CANADA et MDDEP, 2007. *Critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments au Québec et cadres d'application : prévention, dragage et restauration*. 39 p.
- ENVIRONNEMENT CANADA. 2002a. *Guide d'échantillonnage des sédiments du Saint-Laurent pour les projets de dragage et de génie maritime. Volume 1 : Directive de planification*. Environnement Canada, Direction de la Protection de l'environnement, Région du Québec, Section innovation technologique et secteurs industriels, 92 p.
- ENVIRONNEMENT CANADA, 2002b. *Guide d'échantillonnage des sédiments du Saint-Laurent pour les projets de dragage et de génie maritime. Volume 2 : Manuel du praticien de terrain*. Environnement Canada, Direction de la Protection de l'environnement, Région du Québec, Section innovation technologique et secteurs industriels, 93 p.
- HUANG L., S. M. CHERNYAK ET S. A. BATTERMAN, 2014. "PAHs (polycyclic aromatic hydrocarbons), nitro-PAHs, and hopane sterane biomarkers in sediments of southern Lake Michigan". *Science of the Total Environment* 487: 173-186.
- MDDELCC, 2008. *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales : Cahier 1 – Généralités*. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 58 p. et 3 annexes.
- MDDEFP, 2013. *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*. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, 6 p.
- MDDELCC, 2014. *Tragédie ferroviaire du Lac-Mégantic. Rapport du Comité expert sur la contamination résiduelle de la rivière Chaudière par les hydrocarbures pétroliers – constats, recommandations, actions proposées*. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 40 p. et 4 annexes.
- MDDELCC, 2015. *Tragédie ferroviaire du Lac-Mégantic. Deuxième rapport du Comité expert sur la contamination résiduelle de la rivière Chaudière par les hydrocarbures pétroliers – constats, recommandations, actions proposées pour 2015-2017*. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 64 p.
- RAMDAHL, T., 1983. "Retene – a molecular marker of wood combustion in ambient air". *Nature* 306: 580-582.
- WANG, Z., ET S. A. STOUT, 2007. *Oil Spill Environmental Forensics: Fingerprinting and Source Identification*. Elsevier, Burlington, MA. (ISBN 0-12-369523-6).

Annexe 1 Critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments (EC et MDDEP, 2007)

Tableau 1 Critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments d'eau douce

Groupes	Substances	Concentrations (mg/kg) ^{a,b}				
		CER	CSE	CEO	CEP	CEF
<i>Métaux et métalloïdes</i>	Arsenic	4,1	5,9	7,6	17	23
	Cadmium	0,33	0,60	1,7	3,5	12
	Chrome	25	37	57	90	120
	Cuivre	22	36	63	200	700
	Mercuré*	0,094	0,17	0,25	0,49	0,87
	Nickel	ND	ND	47	ND	ND
	Plomb	25	35	52	91	150
	Zinc	80	120	170	310	770
<i>Composés organiques</i>	BPC totaux*	0,025	0,034	0,079	0,28	0,78
	Nonylphénol et ses dérivés éthoxylés ^c	ND	1,4	ND	ND	ND
	PCDD et PCDF (ng éq. tox./kg) ^d	0,27	0,85	10	22	36
<i>Hydrocarbures aromatiques polycycliques</i>	Acénaphthène ^e	0,003 7	0,006 7	0,021	0,089	0,94
	Acénaphthylène ^e	0,003 3	0,005 9	0,030	0,13	0,34
	Anthracène ^e	0,016	0,047	0,11	0,24	1,1
	Benzo[<i>a</i>]anthracène	0,014	0,032	0,12	0,39	0,76
	Benzo[<i>a</i>]pyrène	0,011	0,032	0,15	0,78	3,2
	Chrysène	0,026	0,057	0,24	0,86	1,6
	Dibenzo[<i>a,h</i>]anthracène ^e	0,003 3	0,006 2	0,043	0,14	0,20
	Fluoranthène	0,047	0,11	0,45	2,4	4,9
	Fluorène ^e	0,010	0,021	0,061	0,14	1,2
	2-Méthylnaphtalène ^e	0,016	0,020	0,063	0,20	0,38
	Naphtalène ^e	0,017	0,035	0,12	0,39	1,2
	Phénanthrène	0,025	0,042	0,13	0,52	1,1
	Pyrène	0,029	0,053	0,23	0,88	1,5
	<i>Pesticides organochlorés</i>	Chlordane*	0,001 5	0,004 5	0,006 7	0,008 9
DDD ^f		0,000 35	0,003 5	0,008 5	0,008 5	0,015
DDE ^g		0,000 25	0,001 4	0,002 6	0,006 8	0,019
DDT ^h e, h		0,000 33	0,001 2	0,003 8	0,004 8	0,010
Dieldrine*		0,000 44	0,002 9	0,003 9	0,006 7	0,017
Endrine		0,000 63	0,002 7	0,036	0,062	0,33
Heptachlore époxyde		0,000 26	0,000 60	0,002 7	0,002 7	0,004 0
Lindane		0,000 22	0,000 94	0,001 4	0,001 4	0,011
Toxaphène ⁱ		ND	0,000 10	ND	ND	ND

Légende. – CER : Concentration d'effets rares. CSE : Concentration seuil produisant un effet. CEO : Concentration d'effets occasionnels. CEP : Concentration produisant un effet probable. CEF : Concentration d'effets fréquents.

* Pour ces substances persistantes, toxiques et bioaccumulables (SLV 2000, 1999), des effets dus à la bioaccumulation peuvent toucher les consommateurs aquatiques, aviaires ou terrestres de divers niveaux trophiques. Les critères de qualité présentés ici ne tiennent pas compte de ces effets. Des précisions sur ces effets sont présentées à la section 3.1 et au point 2 de la section 5.2.

^a Les valeurs ont été arrondies à deux chiffres significatifs. Dans les colonnes grises, apparaissent les valeurs calculées par le CCME, et dans les colonnes blanches, les valeurs de référence additionnelles.

^b Toutes les valeurs sont exprimées en milligrammes par kilogramme (mg/kg) de sédiments secs à l'exception des PCDD et PCDF qui sont en unités d'équivalence de la toxicité en nanogrammes par kilogramme (ng éq. tox./kg).

^c Valeur déterminée par le CCME (2002b) à partir de la méthode de partage à l'équilibre en supposant une teneur en carbone organique total (COT) de 1 %. Le calcul est basé sur les facteurs d'équivalence de la toxicité (annexe 1).

^d PCDD et PCDF : Dibenzo-*p*-dioxines polychlorées et dibenzofuranes polychlorés; les valeurs sont exprimées en unité d'équivalence de la toxicité (annexe 1). Comme le prescrit le CCME (1999), les valeurs initiales obtenues lors du calcul des critères de qualité ont été corrigées en les divisant par un facteur de sécurité de 10.

^e Par défaut les valeurs calculées pour les sédiments marins ont été retenues.

^f DDD : 2,2-Bis(*p*-chlorophényl)-1,1-dichloroéthane ou dichlorodiphényldichloroéthane. Ce critère s'applique à la somme des isomères *p,p'* et *o,p'*.

^g DDE : 1,1-Dichloro-2,2-bis(*p*-chlorophényl)-éthène ou dichlorodiphényldichloroéthylène. Ce critère s'applique à la somme des isomères *p,p'* et *o,p'*.

^h DDT : 2,2-Bis(*p*-chlorophényl)-1,1,1-trichloroéthane ou dichlorodiphényltrichloroéthane. Ce critère s'applique à la somme des isomères *p,p'* et *o,p'*.

ⁱ Valeur adoptée du New York State Department of Environmental Conservation (1994) par le CCME (2002c). La valeur a été déterminée à partir de la méthode de partage à l'équilibre en supposant une teneur en carbone organique total (COT) de 1 %.

ND : Valeurs non déterminées.

Annexe 2 Concentrations d'HAP au-delà de la CEP et de la CEF en 2015

Station	Profondeur d'échantillon (m)	HAP	Résultat (mg/kg)	Seuil de détection	Critère dépassé
PVet-0	0,05	Pyrène	1,2	0,005	CEP
PVet-0	0,05	Phénanthrène	0,81	0,005	CEP
PVet-0	0,05	Benzo(a)anthracène	0,81	0,005	CEF
PVet-0	0,05	Anthracène	0,24	0,005	CEP
PVet10-7	0,05	Phénanthrène	3,6	0,005	CEF
PVet10-7	0,05	Fluorène	0,41	0,005	CEP
PVet10-7	0,05	Anthracène	1,1	0,005	CEF
PVet10-7	0,05	Fluoranthène	4,9	0,004	CEF
PVet10-7	0,05	Pyrène	3,4	0,004	CEF
PVet10-7	0,05	Benzo(a)anthracène	2,3	0,004	CEF
PVet10-7	0,05	Acénaphthène	0,17	0,005	CEP
PVet10-7	0,05	Chrysène	1,8	0,004	CEF
PVet10-7	0,05	Benzo(a)pyrène	2	0,004	CEP
PVet10-7	0,05	Dibenzo(a,h) anthracène	0,23	0,005	CEF
PVet10-9	0,05	Acénaphtylène	0,13	0,006	CEP
PVet10-9	0,05	Phénanthrène	1,9	0,005	CEF
PVet10-9	0,05	Fluoranthène	3,3	0,005	CEP
PVet10-9	0,05	Benzo(a)anthracène	1,6	0,006	CEF
PVet10-9	0,05	Chrysène	1,3	0,006	CEP
PVet10-9	0,05	Acénaphthène	0,089	0,006	CEP
PVet10-9	0,05	Fluorène	0,21	0,005	CEP
PVet10-9	0,05	Anthracène	0,45	0,005	CEP
PVet10-9	0,05	Benzo(a)pyrène	1,4	0,006	CEP
PVet10-9	0,05	2-Méthylnaphtalène	0,39	0,006	CEF
PVet10-9	0,05	Pyrène	2,5	0,005	CEF
PVet10-9	0,00	Dibenzo(a,h)anthracène	0,17	0,006	CEP
PVet10-10	0,05	Chrysène	0,87	0,006	CEP
PVet10-10	0,05	Benzo(a)anthracène	0,95	0,006	CEF
PVet10-10	0,05	Phénanthrène	1	0,006	CEP
PVet10-10	0,05	Benzo(a)pyrène	0,96	0,006	CEP
PVet10-10	0,05	Pyrène	1,6	0,006	CEF
PVet30-10	0,05	Phénanthrène	0,62	0,005	CEP
PVet30-10	0,05	Pyrène	1,1	0,005	CEP
PVet30-10	0,05	Benzo(a)anthracène	0,61	0,006	CEP
LM-10	0,05	Benzo(a)anthracène	0,41	0,006	CEP
LM-11	0,05	Phénanthrène	1,3	0,009	CEF
LM-11	0,05	Pyrène	3	0,008	CEF
LM-11	0,05	Anthracène	0,34	0,009	CEP
LM-11	0,05	Chrysène	1,6	0,009	CEF
LM-11	0,05	Benzo(a)pyrène	1,5	0,009	CEP
LM-11	0,05	Benzo(a)anthracène	1,6	0,009	CEF
LM-11	0,05	Dibenzo(a,h) anthracène	0,21	0,009	CEF

Annexe 3 Dépassements de la CEF aux stations échantillonnées en 2014 et en 2015

N° station	Paramètre	Résultats de 2014			Résultats de 2015		
		Profondeur (cm)	Teneur (mg/kg)	Facteur de dépassement	Profondeur (cm)	Teneur (mg/kg)	Facteur de dépassement
PVet-0	Anthracène	0 - 5	1,1				
	Benzo(a)anthracène	0 - 5	2,4	3,2	0 - 5	0,81	1,1
		0 - 5	0,99	1,3			
	Benzo(a)pyrène	15 - 20	0,76	1,0			
	Chrysène	0 - 5	2,5	1,6			
	Dibenzo(a,c)+(a,h)anthracène	0 - 5	0,28	1,4			
	Fluoranthène	0 - 5	5,4	1,1			
	Phénanthrène	0 - 5	4,5	4,1			
		0 - 5	1,1	1,0			
	Pyrène	0 - 5	4,1	2,7			
PVet10-7	Anthracène				0 - 5	1,1	
	Benzo(a)anthracène	0 - 5	0,96	1,3	0 - 5	2,3	3
	Crysène				0 - 5	1,8	1,1
	Fluoranthène				0 - 5	4,9	
	Phénanthrène	0 - 5	1,1		0 - 5	3,6	3,2
	Pyrène				0 - 5	3,4	2,2
	Dibenzo(a,h)anthracène				0 - 5	0,23	1,2
PVet10-9	2-Méthylnaphtalène				0 - 5	0,39	1
	Benzo(a)anthracène	0 - 5	2,6	3,4	0 - 5	1,6	2,1
	Chrysène	0 - 5	2,6	1,6			
	Dibenzo(a,c)+(a,h)anthracène	0 - 5	0,31	1,6			
	Phénanthrène				0 - 5	1,9	1,7
	Fluoranthène	0 - 5	6	1,2			
	Pyrène	0 - 5	4,3	2,9	0 - 5	2,5	1,6
PVet10-10	Benzo(a)anthracène				0 - 5	0,95	1,2
	Pyrène				0 - 5	1,6	

Annexe 4 Examen des résultats détaillés de l'analyse des HAP

Des résultats de l'analyse *Identification des produits pétroliers*, ainsi que de HAP et de HAP alkylés, présentés respectivement dans les sections 3.1.3 et 3.2.3 du rapport, indiquent que les sédiments du lac Mégantic, près de la ville le Lac-Mégantic, ont été contaminés par les hydrocarbures déversés le 6 juillet 2013, mais aussi par une ou d'autres sources de contamination. Les trois premières sections de la présente annexe rapportent d'autres observations qui viennent appuyer ce constat : la présence, dans les sédiments du lac, d'HAP absents du pétrole déversé, des sédiments ayant une composition en HAP qui présente des différences avec celle du pétrole et des ratios de différents HAP indicateurs d'autres sources de contamination.

La quatrième section de la présente annexe concerne les dépassements de critères en HAP. Des observations et les résultats de calculs démontrent que des dépassements de la CEF constatés dans des échantillons de sédiments du lac sont en partie attribuables à une ou d'autres sources de contamination que le déversement de juillet 2013.

1. Présence dans les sédiments de HAP absents du pétrole

L'analyse des HAP et des HAP alkylés fournit des résultats pour 139 composés différents. Comme le montre le tableau A4.1, une majorité de ces composés ont été détectés dans le pétrole déversé et dans les sédiments du lac, mais 13 produits ont été détectés dans les sédiments, même s'ils étaient absents ou en concentrations non mesurables dans le pétrole. Ces résultats démontrent que les sédiments du lac contiennent des HAP qui ne proviennent pas du déversement.

Parmi les HAP absents du pétrole mais détectés dans le lac, le rétène, qui provient de la combustion du bois résineux (Ramdahl, 1983), a été détecté dans 24 des 27 échantillons analysés en 2014 et en 2105. Des concentrations notables de rétène ont été mesurées à proximité de la rive (43 mg/kg au PVet10-9), ainsi qu'à plus de 100 mètres de la rive (5 mg/kg à LMeg350-5).

2. Différences de composition en HAP

La section 3.2.3 du rapport montre que le pétrole déversé et les sédiments n'ont pas exactement la même signature en ce qui a trait aux HAP. Par rapport au pétrole (figure 12), les sédiments (figures 13 à 16) ont une plus grande proportion de HAP plus lourds, situés du côté droit des graphiques. La figure A4.1 présente les résultats d'une analyse en composante principale sur la proportion des différents HAP dans les échantillons de sédiments de 2014 et dans les trois échantillons de pétrole analysés. Ces résultats confirment que de par leur composition en HAP, les trois échantillons de pétrole se ressemblent, qu'il en de même pour les échantillons de sédiments, mais qu'il y a des différences entre ces deux groupes. La position intermédiaire pour l'échantillon LMeg50-2 résulte d'un artefact de calcul, presque tous les HAP dans cet échantillon étant sous les limites de détection.

3. Ratios de différents HAP indicateurs d'autres sources de contamination

La dominance des HAP alkylés par rapport aux HAP non alkylés, rapportée dans la section 3.2.3 du rapport, démontre que les sédiments du lac portent la marque du déversement de pétrole. Cependant, les ratios de certains HAP non alkylés démontrent que les sédiments portent aussi la marque d'une ou d'autres sources de contamination. En effet, selon certaines études, les différentes sources de HAP, comme les déversements de produits pétroliers, la combustion du pétrole et la combustion du bois, émettent les HAP dans l'environnement dans des proportions différentes. Cela a permis d'établir des ratios de certains HAP non alkylés dans les sédiments qui sont indicateurs de l'origine de la contamination (tableau A4.2).

Ces ratios ont été calculés pour le pétrole du déversement de Lac-Mégantic et pour des échantillons de sédiments du lac (tableau A4.3). Les ratios obtenus pour le pétrole des tanks 19 et 54 sont parfaitement conformes à ceux attendus pour des produits pétroliers. Ceux obtenus pour le tank 7 sont mixtes : trois sont conformes aux produits pétroliers, un est indicateur de combustion de liquide fossile et trois sont indicateurs de combustion. Dans les trois échantillons de sédiments du tableau A4.3, 20 ratios sur 21 sont indicateurs de combustion.

Ces résultats confirment que même à des stations d'échantillonnage situées proche du parc des Vétérans (PVet-0 et PVet10-10), les sédiments portent la marque d'une source pyrogénique de contamination (combustion) et non seulement la marque du déversement de pétrole, comme observé à la figure 13 du rapport. Cette source de combustion pourrait-elle être le pétrole en flamme qui a atteint le lac lors de la catastrophe? Les ratios FLA / FLA+PYR et IND / IND+BGP, supérieurs à 0,5, sont davantage indicateurs d'une combustion d'herbes, de bois ou de charbon que d'une combustion de produits pétroliers (tableau A4.3).

L'hypothèse d'une contamination par les retombées de l'incendie des bâtiments et de la végétation, le 6 juillet 2013, peut aussi être avancée. Cependant, cette source récente de HAP pourrait difficilement expliquer la contamination observée en 2014 à une profondeur de 15 à 20 centimètres dans les sédiments du lac (MDDELCC, 2015a). La profondeur de cette contamination et sa signature pyrogénique pointent davantage vers une contamination historique, possiblement associée au passé d'industrie de Lac-Mégantic. La présence de copeaux de bois enfouis dans les sédiments du lac et à certains endroits dans la rivière Chaudière témoigne également de ce passé industriel.

4. Dépassements de critères en HAP et autres sources de contamination

Les résultats de 2014 (figure 9) montrent qu'à plusieurs endroits, même à 450 m de la rive du parc des Vétérans, les teneurs de certains HAP dans les sédiments du lac dépassent la concentration d'effet fréquent (CEF), le plus élevé des critères à cinq niveaux utilisés pour les sédiments (annexe 1). Les observations et calculs qui suivent indiquent que ces dépassements sont en partie attribuables à d'autres sources de HAP que le déversement.

4.1 Le cas du dibenzo(a,h)anthracène

L'annexe 2 montre qu'en 2015, les concentrations de dibenzo(a,h)anthracène dépassaient la CEF aux stations Pvet1-7, Pvet10-9, Pvet10-10 et LM-11. Or, ce HAP n'a pas été détecté dans le pétrole déversé (tableau A4.1). Les dépassements de critères pour ce HAP ne peuvent donc pas être attribués au déversement de pétrole.

4.2 La part de HAP attribuable à d'autres sources

Les critères actuels de qualité des sédiments, présentés à l'annexe 1, ne couvrent que 33 substances, dont seulement 13 HAP, ne comprenant qu'un seul HAP alkylé. Des études récentes, rapportées par le MDDELCC (2015b), démontrent que les formes alkylées de certains HAP ont de la toxicité pour les organismes aquatiques, parfois davantage que leur forme non alkylée. Toutefois, ces connaissances récentes n'ont pas encore été prises en compte dans les critères de qualité de sédiments.

Comme expliqué dans la section 3.2.3, le pétrole déversé à Lac-Mégantic contenait relativement peu de HAP non alkylés. Pouvait-il, à lui seul, causer les dépassements des critères pour ces HAP? Pour répondre à cette question, il faut estimer le taux de dilution du pétrole dans les sédiments. Cela peut se faire à partir des résultats obtenus pour les HAP alkylés, car ils proviennent essentiellement du pétrole. Dans l'exemple du tableau A4.4, les teneurs en C1, C2, C3 et C4-phénanthrène/anthracène, dans l'échantillon de sédiments du 10 juin 2015 à la station LM-11, ne représentent que 0,52 %, 0,28 %, 0,10 % et 0,08 %, respectivement, de ce qui se trouvait dans le pétrole déversé. Cet échantillon de sédiment ne comprend donc qu'environ 0,245 % de pétrole (la moyenne des quatre valeurs). En tenant pour acquis que le phénanthrène non alkylé du pétrole s'est dilué dans les sédiments au même taux de

dilution que les formes alkylées, c'est environ 0,245 % du phénanthrène présent dans le pétrole que l'on peut trouver dans les sédiments. La concentration de phénanthrène dans le pétrole étant de 196 mg/kg, la concentration résultante dans les sédiments devrait être de 0,48 mg/kg ($196 \text{ mg/kg} \times 0,245 \%$). Or, la concentration réelle de phénanthrène mesurée dans les sédiments est de 1,3 mg/kg. La différence de 0,82 mg/kg ($1,3 \text{ mg/kg} - 0,48 \text{ mg/kg}$) doit être attribuée à d'autres sources. C'est donc 63 % ($0,82 \text{ mg/kg} / 1,3 \text{ mg/kg}$) du phénanthrène mesuré dans cet échantillon de sédiments qui proviendrait d'une ou d'autres sources que le déversement.

Douze des dix-sept dépassements de la CEF en 2015 sont pour le phénanthrène, le benzo(a)anthracène et le pyrène, dans les échantillons provenant des stations Pvet0, Pvet10-7, Pvet10-9, Pvet10-10 et LM-11. Le tableau A4.5 présente les résultats des calculs expliqués ci-dessus pour ces 12 cas. Les résultats démontrent que pour tous ces cas, la ou les sources de HAP autres que le déversement seraient à l'origine de 63 à 99 % des concentrations mesurées dans les sédiments et seraient, par le fait même, en partie responsables des dépassements de la CEF observés.

Tableau A4.1 Concentrations de HAP et de HAP alkylés dans les échantillons de pétrole et des échantillons de sédiments prélevés dans le lac Mégantic en 2014

Composés détectés en concentrations mesurables dans	HAP ou HAP alkylé	Pétrole			Sédiments		
		Tank 7 (mg/kg)	Tank 19 (mg/kg)	Tank 54* (mg/kg)	Pvet10-10 (mg/kg)	Pvet60-2 (mg/kg)	Pvet0 (mg/kg)
pétrole et sédiments	Naphthalene	718,4	88,5	184,0	0,033	0,105	0,077
	C1-Naphthalene	1271,8	681,4	1599,6	0,102	0,161	0,184
	C2-Naphthalene	3385,9	2694,2	3982,5	0,612	0,313	0,689
	C3-Naphthalene	3859,3	3404,4	3434,9	1,262	0,412	1,098
	C4-Naphthalene	2288,4	1861,2	1502,8	0,876	0,249	0,585
	1-Methylnaphthalene	557,4	307,7	620,1	0,044	0,071	0,083
	2-Methylnaphthalene	714,4	373,8	979,5	0,057	0,090	0,101
	1,2-Dimethylnaphthalene	190,4	134,6	107,0	0,026	0,024	0,036
	1,3 + 1,6-Dimethylnaphthalene	1122,3	891,8	1260,6	0,199	0,097	0,219
	1,4-Dimethylnaphthalene	160,7	126,6	139,7	0,029	0,018	0,033
	1,5-Dimethylnaphthalene	193,5	156,5	174,9	0,034	0,019	0,037
	1,7-Dimethylnaphthalene	530,1	425,4	654,0	0,088	0,041	0,099
	2,3-Dimethylnaphthalene	200,1	157,8	217,4	0,035	0,029	0,045
	2,6-Dimethylnaphthalene	361,1	307,3	603,4	0,080	0,035	0,082
	2,7-Dimethylnaphthalene	374,6	321,7	556,8	0,068	0,023	0,071
	1-Ethylnaphthalene	71,6	37,6	29,2	0,008	DNQ	0,011
	2-Ethylnaphthalene	158,5	105,0	149,3	0,023	0,014	0,025
	2,3,5-Trimethylnaphthalene	443,0	429,8	365,0	0,135	0,046	0,116
	2,3,6 + 1,4,6-Trimethylnaphthalene	845,7	820,3	827,3	0,274	0,069	0,222
	2-Isopropylnaphthalene	48,5	36,7	35,2	0,013	ND	0,011
	1,2,5,6-Tetramethylnaphthalene	88,6	72,4	17,5	0,032	0,037	0,032
	1,4,6,7-Tetramethylnaphthalene	106,0	112,4	68,9	0,041	DNQ	0,029
	Eudalene	36,0	32,1	24,3	0,013	0,004	0,009
	Cadalene	25,4	25,9	15,7	0,000	0,049	0,009
	Biphenyl	94,0	34,0	80,0	0,013	0,023	0,017
	C1-Biphenyl	168,4	155,4	303,6	0,057	0,041	0,061
	C2-Biphenyl	209,1	232,3	338,3	0,098	0,041	0,083
	2-Methylbiphenyl	26,9	17,4	33,0	0,006	ND	DNQ
	3-Methylbiphenyl	102,7	101,2	204,5	0,035	0,028	0,039
	4-Methylbiphenyl	38,8	36,8	66,2	0,016	0,013	0,017
	3,3'-Dimethylbiphenyl	46,5	61,2	95,6	0,029	0,016	0,028
	Fluorene	53,3	43,1	36,4	0,081	0,127	0,139
	C1-Fluorene	174,2	236,4	206,3	0,155	0,126	0,175
	C2-Fluorene	507,3	688,2	487,6	0,247	0,101	0,184
	1-Methylfluorene	95,7	132,4	107,8	0,053	0,041	0,059
	2-Methylfluorene	42,4	56,2	51,3	0,035	0,051	0,061
1,7-Dimethylfluorene	65,5	97,2	74,6	0,047	0,019	0,040	

Tableau A4.1 Concentrations de HAP et de HAP alkylés dans les échantillons de pétrole et des échantillons de sédiments prélevés dans le lac Mégantic en 2014 (suite)

Composés détectés en concentrations mesurables dans	HAP ou HAP alkylé	Pétrole			Sédiments		
		Tank 7 (mg/kg)	Tank 19 (mg/kg)	Tank 54* (mg/kg)	Pvet10-10 (mg/kg)	Pvet60-2 (mg/kg)	Pvet0 (mg/kg)
Dibenzothiophene		23,8	23,1	4,4	0,031	0,051	0,044
C1-Dibenzothiophene		166,0	195,2	54,7	0,100	0,075	0,098
C2-Dibenzothiophene		355,3	459,7	177,9	0,246	0,110	0,174
C3-Dibenzothiophene		320,2	411,9	148,3	0,188	0,054	0,123
2-Methyldibenzothiophene		21,6	24,7	6,4	0,019	0,019	0,021
4-Methyldibenzothiophene		92,9	107,2	34,6	0,056	0,031	0,048
4,6-Dimethyldibenzothiophene		77,6	110,3	62,6	0,064	0,016	0,044
4-Ethyldibenzothiophene		19,4	23,5	5,9	0,013	0,000	0,008
2,4,7-Trimethyldibenzothiophene		21,7	31,9	14,6	0,021	DNQ	0,015
Phenanthrene		294,4	183,7	108,4	0,614	0,987	1,072
Anthracene		34,6	5,4	ND	0,174	0,378	0,385
C1-Phenanthrene/Anthracene		705,2	987,0	613,3	0,787	1,112	1,065
C2-Phenanthrene/Anthracene		1397,1	1841,0	1098,2	1,284	0,873	1,243
C3-Phenanthrene/Anthracene		1325,8	1861,2	966,0	1,509	4,316	0,987
C4-Phenanthrene/Anthracene		679,4	854,4	485,2	0,427	0,121	0,273
1-Methylphenanthrene		150,4	196,9	109,0	0,135	0,156	0,168
2-Methylphenanthrene		161,4	219,1	149,1	0,205	0,264	0,302
9-Methylphenanthrene		233,1	307,3	174,1	0,170	0,148	0,182
2-Methylanthracene		12,3	ND	ND	0,052	0,126	0,125
1,6-Dimethylphenanthrene		229,4	341,7	204,7	0,209	0,097	0,176
1,8-Dimethylphenanthrene		95,0	127,6	56,7	0,079	ND	0,061
3,6-Dimethylphenanthrene		30,3	49,8	34,3	0,037	0,037	0,040
9,10-Dimethylphenanthrene		11,7	13,9	6,1	ND	0,010	0,006
9-Ethylphenanthrene		34,0	41,0	ND	0,018	ND	ND
1,2,6-Trimethylphenanthrene		69,7	95,7	43,6	0,065	ND	ND
1,2,8-Trimethylphenanthrene		87,3	76,1	12,1	0,051	0,025	0,039
1,2,9-Trimethylphenanthrene		24,7	27,1	8,2	0,017	ND	0,011
1,2,6,9-Tetramethylphenanthrene		21,0	22,3	7,0	0,016	ND	ND
Fluoranthene		87,6	13,8	DNQ	1,063	2,713	1,942
Pyrene		137,6	23,0	6,8	0,785	1,963	1,392
C1-Fluoranthene/Pyrene		144,1	127,6	61,8	0,875	2,209	1,556
2-Methylfluoranthene		5,4	4,1	DNQ	0,047	0,127	0,086
1-Methylpyrene		21,3	18,0	8,0	0,058	0,125	0,095
Benzo(a)anthracene		25,3	ND	ND	0,529	1,247	0,989
Chrysene		29,4	19,3	8,2	0,458	1,017	0,834
C1-Benzo(a)anthracene/Chrysene		106,7	138,3	83,1	0,527	0,974	0,827
C2-Benzo(a)anthracene/Chrysene		347,4	498,6	229,0	0,659	0,604	0,588
2-Methylchrysene		22,5	32,6	18,1	0,082	0,137	0,117
3-Methylchrysene		9,8	14,0	9,4	0,047	0,082	0,066

Tableau A4.1 Concentrations de HAP et de HAP alkylés dans les échantillons de pétrole et des échantillons de sédiments prélevés dans le lac Mégantic en 2014 (suite)

Composés détectés en concentrations mesurables dans	HAP ou HAP alkylé	Pétrole			Sédiments		
		Tank 7 (mg/kg)	Tank 19 (mg/kg)	Tank 54* (mg/kg)	Pvet10-10 (mg/kg)	Pvet60-2 (mg/kg)	Pvet0 (mg/kg)
	Benzo(b)fluoranthene	16,0	3,6	DNQ	0,444	1,098	0,823
	Benzo(k)fluoranthene	7,9	DNQ	ND	0,259	0,627	0,488
	Benzo(j)fluoranthene	9,8	DNQ	ND	0,267	0,679	0,503
	Benzo(a)pyrene	29,2	3,7	ND	0,401	0,882	0,755
	Benzo(e)pyrene	30,2	7,8	3,0	0,323	0,748	0,568
	C1-Benzofluoranthene/Benzopyrene	32,9	29,6	11,8	0,458	1,041	0,792
	Acenaphthene	25,8	8,0	4,5	0,056	0,048	0,048
	Acenaphthylene	47,7	16,5	ND	0,042	0,156	0,079
	Benzo(c)acridine	11,4	18,5	6,7	0,058	0,113	0,080
	Indeno(1,2,3-cd)pyrene	18,1	ND	ND	0,323	0,692	0,599
	Perylene	6,2	ND	ND	0,129	0,276	0,243
	Anthanthrene	11,0	ND	ND	0,113	0,222	0,215
	Benzo(g,h,i)perylene	30,2	2,8	ND	0,321	0,663	0,566
	Coronene	6,0	ND	ND	0,058	0,105	0,093
	Dibenzo(a,e)pyrene	4,5	ND	ND	0,066	0,133	0,117
	Dibenzo(a,i)pyrene	3,1	ND	ND	0,054	0,086	0,095
pétrole uniquement	2,2'-Dimethylbiphenyl	3,9	DNQ	3,1	ND	ND	ND
	6-Methylchrysene	15,5	16,8	9,1	ND	ND	ND
	3-Methylcholanthrene	2,5	ND	ND	ND	ND	ND
sédiments uniquement	9-Methylanthracene	ND	ND	DNQ	ND	0,014	0,009
	8-Methylbenzo(a)pyrene	DNQ	ND	ND	0,017	0,042	0,028
	9-Methylbenzo(a)pyrene	ND	ND	ND	0,013	0,026	0,020
	Carbazole	ND	ND	ND	0,050	0,063	0,040
	Retene	ND	ND	ND	1,534	29,204	0,493
	Benzo(c)phenanthrene	ND	ND	ND	0,087	0,219	0,144
	Dibenzo(a,h)acridine	ND	ND	ND	0,012	0,030	0,025
	Dibenzo(a,j)anthracene	DNQ	ND	ND	0,055	0,147	0,102
	Indeno(1,2,3-cd)fluoranthene	ND	ND	ND	0,009	0,022	0,018
	Dibenzo(a,c)anthracene	ND	ND	ND	0,035	0,097	0,067
	Dibenzo(a,h)anthracene	ND	ND	ND	0,053	0,162	0,108
	Dibenzo(a,e)fluoranthene	DNQ	ND	ND	0,087	0,193	0,160
	Dibenzo(a,h)pyrene	ND	ND	ND	0,018	0,035	0,033

Tableau A4.1 Concentrations de HAP et de HAP alkylés dans les échantillons de pétrole et des échantillons de sédiments prélevés dans le lac Mégantic en 2014 (suite)

Composés détectés en concentrations mesurables dans	HAP ou HAP alkylé	Pétrole			Sédiments		
		Tank 7 (mg/kg)	Tank 19 (mg/kg)	Tank 54* (mg/kg)	Pvet10-10 (mg/kg)	Pvet60-2 (mg/kg)	Pvet0 (mg/kg)
non détecté	1,8-Dimethylnaphthalene	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	1,4,5-Trimethylnaphthalene	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	4,4'-Dimethylbiphenyl	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	4-Ethylbiphenyl	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	9-Ethylfluorene	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	9-n-Propylfluorene	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	9-n-Butylfluorene	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2,8-Dimethyldibenzothiophene	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	4,6-Diethyldibenzothiophene	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	1,4-Dimethylantracene	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2,3-Dimethylantracene	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2-Ethylantracene	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	3-Ethylfluoranthene	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	1-n-Propylpyrene	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	1-n-Butylpyrene	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	4-Methylchrysene	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	5-Methylchrysene	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	7,12-Dimethylbenzo(a)anthracene	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	6-Ethylchrysene	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	6-n-Propylchrysene	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	6-n-Butylchrysene	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	C2-Benzofluoranthene/Benzopyrene	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	7-Methylbenzo(a)pyrene	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	10-Methylbenzo(a)pyrene	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	7,10-Dimethylbenzo(a)pyrene	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	1-Chloronaphthalene	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2-Chloronaphthalene	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	1-Nitropyrene	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Dibenzo(a,j)acridine	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	7H-Dibenzo(c,g)carbazole	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Dibenzo(a,l)pyrene	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND : non détecté DNQ : détecté mais sous la limite de quantification * non exposé à l'incendie

Tableau A4.2 Ratios indicateurs de l'origine des HAP*

Ratio	Interprétation		Référence d'origine
PHE / ANT	< 10 : pétrole	> 10 : pétrole	Buzinski et al., 1997
FLA / PYR	< 1 : pétrole	> 1 : combustion	Buzinski et al., 1997
ANT / (ANT+PHE)	< 0,1 : pétrole	> 0,1 : combustion	Yunker et al., 2002
FLA / (FLA+PYR)	< 0,4 : pétrole	0,4 - 0,5 : combustion de liquide fossile	Yunker et al., 2002
		> 0,5 : combustion d'herbe, bois ou charbon	
BAA / (BAA+CHR)	< 0,2 : pétrole	> 0,35 : combustion	Yunker et al., 2002
IND / (IND+BGP)	< 0,2 : pétrole	0,2 - 0,5 : combustion de liquide fossile	Yunker et al., 2002
		> 0,5 : combustion d'herbe, bois ou charbon	
$\Sigma \leq 3 \text{ NB} / \Sigma > 3 \text{ NB}^{**}$	> 1 : pétrole	< 1 : combustion	Wang et al., 2006

* source : Huang et al. 2014, sauf ** source : Wang et al., 2006. ; PHE : phénanthrène; ANT : anthracène; FLA : fluoranthène; PYR : pyrène;

BAA: benzo(a)anthracène; CHR : chrysène; IND : indéno (1,2,3-cd)pyrène; BGP : benzo(g,h,i)pérylène.

$\Sigma \leq 3 \text{ NB} / \Sigma > 3 \text{ NB}$: somme des HAP à 2 ou 3 noyaux benzéniques sur la somme des HAP à plus que trois noyaux benzéniques

Tableau A4.3 Ratios indicateurs obtenus dans le pétrole et dans les échantillons de sédiments du lac Mégantic en 2014 et leur interprétation

Ratio indicateur	Pétrole					Sédiments			
	Tank 19 (mg/kg)	Tank 54 ¹ (mg/kg)	Interprétation ²	Tank 7 (mg/kg)	Interprétation ²	Pvet10-10 (mg/kg)	Pvet60-2 (mg/kg)	Pvet0 (mg/kg)	Interprétation ²
PHE / ANT	33,9	> 108	> 10 : pétrole	8,5	< 10 : combustion	3,5	2,6	2,8	< 10 : combustion
FLA / PYR	0,6	< 1	< 1 : pétrole	0,6	< 1 : pétrole	1,4	1,4	1,4	> 1 : combustion
ANT / (ANT+PHE)	0,03	< 0,01	< 0,1 : pétrole	0,11	> 0,1 : combustion	0,22	0,28	0,26	> 0,1 : combustion
FLA / (FLA+PYR)	0,38	< 0,15	< 0,4 : pétrole	0,39	< 0,4 : pétrole	0,575	0,580	0,583	> 0,5 : combustion HBC
BAA / (BAA+CHR)	< 0,05	< 0,11	< 0,2 : pétrole	0,46	> 0,35 : combustion	0,536	0,551	0,542	> 0,35 : combustion
IND / (IND+BGP)	< 0,2	ND	< 0,2 : pétrole	0,37	0,2 - 0,5 : combustion LF	0,501	0,511	0,514	> 0,5 : combustion HBC
$\Sigma \leq 3 \text{ NB} / \Sigma > 3 \text{ NB}$	25	53	> 1 : pétrole	23	> 1 : pétrole	1,350	0,310	0,980	< 1 : combustion

1 pétrole non exposé à l'incendie; 2 règles d'interprétation du tableau A4.2; LF : combustion de liquides fossiles; HBC : combustion d'herbe, bois ou charbon

PHE : phénanthrène; ANT : anthracène; FLA : fluoranthène; PYR : pyrène; BAA: benzo(a)anthracène; CHR : chrysène; IND : indéno (1,2,3-cd)pyrène; BGP : benzo(g,h,i)pérylène;

$\Sigma \leq 3 \text{ NB} / \Sigma > 3 \text{ NB}$: somme des HAP à 2 ou 3 noyaux benzéniques sur la somme des HAP à plus de trois noyaux benzéniques

Tableau A4.4 Calcul du taux de dilution phénanthrène/anthracène dans les sédiments à la station LM-11

	Pétrole				Sédiment LM-11 (mg/kg)	Dilution séd. LM-11 / tank (%)
	tank 7 (mg/kg)	tank 19 (mg/kg)	tank 54 (mg/kg)	Moy. 3 tanks (mg/kg)		
C1-Phénanthrène/Anthracène	705	987	613	768	4,00	0,52051
C2-Phénanthrène/Anthracène	1 397	1 841	1 098	1 445	4,00	0,27674
C3-Phénanthrène/Anthracène	1 326	1 861	966	1 384	1,40	0,10113
C4-Phénanthrène/Anthracène	679	854	485	673	0,55	0,08172
Moyenne						0,2450

Tableau A4.5 Pourcentage des concentrations de HAP associées à d'autres sources que le déversement pour 12 résultats dépassant la CEF en 2015

Station	HAP	CEF (mg/kg)	Mesurée (mg/kg)	Estimation autres sources (mg/kg)	(%)
Pvet-0	Benzo(a)anthracène	0,76	0,81	0,776	96
Pvet10-7	Phénanthrène	1,1	3,6	3,45	94
	Benzo(a)anthracène	0,76	2,3	2,22	97
	Pyrène	1,5	3,4	3,29	97
Pvet10-9	Phénanthrène	1,1	1,9	1,78	91
	Benzo(a)anthracène	0,76	1,6	1,54	96
	Pyrène	1,5	2,5	2,44	98
Pvet10-10	Benzo(a)anthracène	0,76	0,95	0,914	96
	Pyrène	1,5	1,6	1,58	99
LM-11	Phénanthrène	1,1	1,3	0,934	63
	Benzo(a)anthracène	0,76	1,6	1,47	92
	Pyrène	1,5	3,0	2,87	96

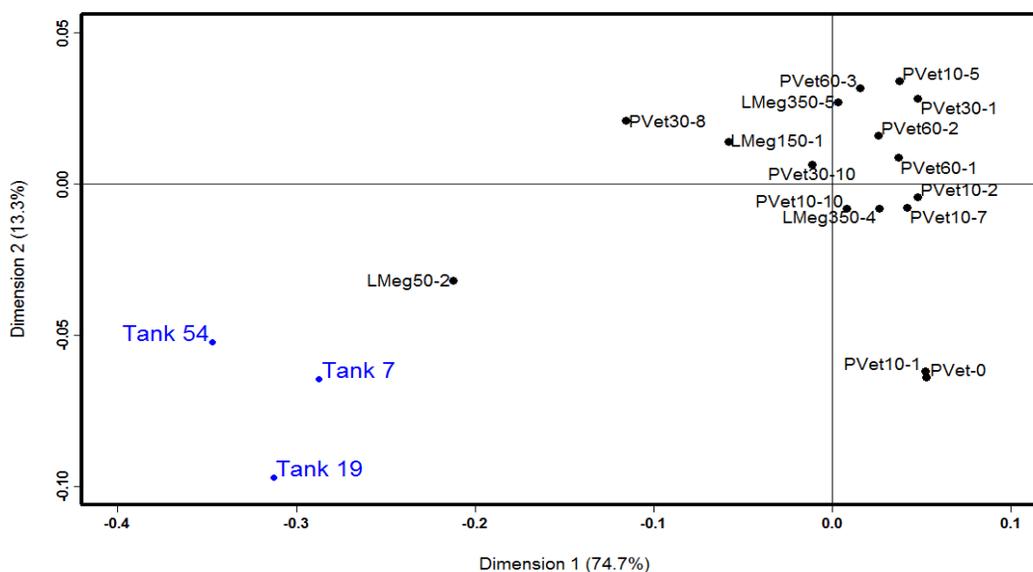


Figure A4.1 Résultats de l'analyse en composante principale de la composition en HAP des échantillons de pétrole et des échantillons de sédiments de 2014

Références

- BUZINSKI, H., I. JONES, J. BELLOCQ, C. PIERARD ET P. GARRIGUES, 1997. "Evaluation of sediment contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Gironde estuary". *Marine Chemistry* 58: 85-97.
- HUANG L., S. M. CHERNYAK ET S. A. BATTERMAN, 2014. "PAHs (polycyclic aromatic hydrocarbons), nitro-PAHs, and hopane sterane biomarkers in sediments of southern Lake Michigan". *Science of the Total Environment* 487: 173-186.
- MDDELCC, 2015A. *Tragédie ferroviaire du Lac-Mégantic. Deuxième rapport du Comité expert sur la contamination résiduelle de la rivière Chaudière par les hydrocarbures pétroliers – constats, recommandations, actions proposées pour 2015-2017*. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 64 p.
- MDDELCC, 2015b. *Tragédie ferroviaire de Lac-Mégantic – Évaluation du risque écotoxicologique associé à la contamination des sédiments de la rivière Chaudière*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 46 p. + annexes. ISBN 978-2-550-73936-4.
- RAMDAHL, T., 1983. "Retene – a molecular marker of wood combustion in ambient air". *Nature* 306: 580-582.
- WANG, X. C., S. SUNG, H.-Q. MA ET Y. LIU, 2006. "Sources and distribution of aliphatic and polyaromatic hydrocarbons in sediments of Jaozhou Bay, Qingdao, China". *Marine Pollution Bulletin* 52(2): 129-138.
- YUNKER, M. B., R. W. MACDONALD, R. VINGARZAN, R. H. MITCHELL, D. GOYETTE ET S. SYLVESTRE, 2002. "PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition". *Organic Geochemistry* 33: 489-515.



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

