

# PESTICIDES DANS LES SÉDIMENTS DE COURS D'EAU AU QUÉBEC

Échantillonnages exploratoires  
réalisés de 2018 à 2021

Avril 2023

### **Coordination et rédaction**

Cette publication a été réalisée par la Direction générale du suivi de l'état de l'environnement du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP). Elle a été produite par la Direction des communications du MELCCFP.

### **Renseignements**

Téléphone : 418 521-3830

1 800 561-1616 (sans frais)

Formulaire : [www.environnement.gouv.qc.ca/formulaires/renseignements.asp](http://www.environnement.gouv.qc.ca/formulaires/renseignements.asp)

Internet : [www.environnement.gouv.qc.ca](http://www.environnement.gouv.qc.ca)

Direction de la qualité des milieux aquatiques du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs  
675, boul. René-Lévesque Est, 7<sup>e</sup> étage, boîte 22  
Québec (Québec) G1R 5V7

### **Référence à citer**

GIROUX, I. (2023). *Pesticides dans les sédiments de cours d'eau au Québec – Échantillonnages exploratoires réalisés de 2018 à 2021*, Québec, ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, [En ligne], 38 pages et 4 annexes.

<https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/flrivlac/pesticides.htm>

(Consulté le jour/mois/année)

Dépôt légal – 2023

Bibliothèque et Archives nationales du Québec

ISBN 978-2-550-94620-5 (PDF)

Tous droits réservés pour tous les pays.

© Gouvernement du Québec – 2023

## RÉALISATION

---

**Coordination et rédaction**

Isabelle Giroux <sup>1</sup>

**Échantillonnage**

Félix Pouliot-Richard <sup>2</sup>  
Maeva Marimoutou <sup>3</sup>

**Analyse statistique**

François D'Auteuil-Potvin <sup>4</sup>

**Révision scientifique**

Lise Boudreau <sup>1</sup>  
Gabrielle Dubois<sup>5</sup>  
Nathalie Paquet <sup>6</sup>  
Éloïse Veilleux <sup>6</sup>

**Analyse de laboratoire**

Alexandra Bédard <sup>7</sup>  
Marie-Claire Grenon<sup>7</sup>  
Benoit Sarrasin<sup>7</sup>  
François Bossanyi<sup>8</sup>  
Hélène Supper<sup>8</sup>

---

<sup>1</sup>. Direction de la qualité des milieux aquatiques.

<sup>2</sup>. Direction de l'acquisition des données et des opérations.

<sup>3</sup>. Institut national de la recherche scientifique – Centre Eau Terre Environnement (NRS-ETE).

<sup>4</sup>. Direction de la qualité de l'air et du climat.

<sup>5</sup>. Direction des matières dangereuses et des pesticides.

<sup>6</sup>. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ), Direction des expertises et des études.

<sup>7</sup>. CEAEQ, Direction de l'analyse chimique.

<sup>8</sup>. CEAEQ, Division des contaminants industriels inorganiques.

**Mots clés :**

pesticides, sédiments, glyphosate, AMPA, chlorantraniliprole, cyantraniliprole, azoxystrobine, néonicotinoïdes, thiaméthoxame, clothianidine, imidaclopride

## RÉSUMÉ

Depuis trente ans, le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques documente la présence de pesticides dans l'eau des rivières du Québec. Cependant, jusqu'à récemment, on ne disposait pas d'information sur la présence des pesticides d'usage courant dans les sédiments de ces cours d'eau. De 2018 à 2021, des suivis exploratoires ont été réalisés pour vérifier la présence de pesticides dans les sédiments de 18 cours d'eau ou plans d'eau représentant divers types de milieux aquatiques, allant des rivières et ruisseaux drainant des secteurs agricoles aux grands plans d'eau comme le lac Saint-Pierre et la baie Missisquoi, incluant un étang de rétention recueillant les eaux de drainage et de ruissellement de champs agricoles.

Les principaux constats sont les suivants :

- L'herbicide glyphosate et son produit de dégradation, l'AMPA, ont été détectés dans les sédiments des 18 sites échantillonnés et à presque toutes les dates d'échantillonnage. Le glyphosate a été détecté dans 82,8 % des échantillons de sédiments prélevés alors que l'AMPA a été détecté dans 78,1 % des échantillons.
- Les concentrations de glyphosate et d'AMPA dans les sédiments varient selon les sites. Elles sont plus élevées dans les sédiments des sites qui drainent des secteurs maraîchers (820 µg/kg de glyphosate et 250 µg/kg d'AMPA dans le ruisseau Gibeault-Delisle) ainsi que dans le bassin agricole recueillant les eaux de champs en rotation de maïs et de soya (790 µg/kg de glyphosate et 550 µg/kg d'AMPA), mais plus faibles dans les plus grands plans d'eau comme le lac Saint-Pierre et la baie Missisquoi (maximum de 20 µg/kg pour le glyphosate et 30 µg/kg pour l'AMPA).
- En plus du glyphosate et de l'AMPA, 16 autres pesticides d'usage courant ont été détectés, mais seulement dans six des 18 cours d'eau, notamment dans ceux recueillant les eaux de secteurs agricoles

en cultures maraîchères, ou ceux qui présentaient une proportion plus élevée de matière organique.

- Dans l'ordre de leur fréquence de détection dans l'ensemble des 18 sites échantillonnés, les autres pesticides détectés sont le chlorantraniliprole (15,2 %), l'azoxystrobine (10,6 %), le cyantraniliprole (10,6 %), l'imidaclopride (9,1 %), le  $\beta$ -métolachlore (8,9%), le thiaméthoxame (7,6 %), l'imidacopride-guanidine (7,6 %), le pyriméthaniil (7,6 %), l'atrazine (6,7 %) et la clothianidine (6,1 %). Les six autres produits détectés dans moins de 5 % des échantillons sont le diuron, le diméthénamide, le fludioxonil, le thiaclopride, le fénamidone et le carbaryl.

- Les concentrations de glyphosate et d'AMPA mesurées dans les sédiments des cours d'eau au Québec sont généralement du même ordre de grandeur que celles qui ont été mesurées dans des régions agricoles en Argentine et aux États-Unis.

- Même si plusieurs études récentes montrent que le glyphosate et l'AMPA sont détectés dans les sédiments en concentrations relativement élevées par rapport aux autres pesticides d'usage courant, les études de leurs effets sur les espèces aquatiques sont peu nombreuses.

- Pour le moment, le risque lié à la présence de ces produits dans les sédiments est difficile à évaluer, car on ne dispose pas de critères de qualité pour la présence des pesticides d'usage courant dans les sédiments qui soient officiellement reconnus par le Québec ou d'autres provinces, États ou pays. Les concentrations de glyphosate fréquemment mesurées ici sont inférieures à une valeur guide proposée par des chercheurs français, alors que les quelques détections de carbaryl et de  $\beta$ -métolachlore sont supérieures à des valeurs guides proposées par des chercheurs américains. Dans les deux cas cependant, les valeurs guides proposées sont basées sur des

données limitées et des approches comportant d'importantes incertitudes. La signification environnementale à accorder aux dépassements ou aux non-dépassements de ces valeurs guides est actuellement incertaine. De plus, une revue de la documentation scientifique disponible sur les effets que peuvent avoir les pesticides présents dans les sédiments sur

les organismes aquatiques n'a pas permis de tirer des conclusions sur les effets potentiels des concentrations mesurées dans la présente étude.

## TABLE DES MATIÈRES

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>1 MÉTHODOLOGIE</b> .....	<b>2</b>
1.1 Sites échantillonnés .....	2
1.2 Pesticides analysés.....	2
1.3 Techniques d'échantillonnage utilisées .....	2
<b>2 RÉSULTATS</b> .....	<b>7</b>
2.1 Rivières de secteurs en culture de maïs et de soya .....	9
2.2 Rivières de secteurs maraîchers et cultures mixtes .....	9
2.3 Autres rivières, baie Missisquoi et lac Saint-Pierre.....	10
2.4 Étang de rétention en milieu agricole.....	20
<b>3 COMPARAISON À DES CONCENTRATIONS MESURÉES AILLEURS DANS LE MONDE</b> .....	<b>23</b>
3.1 Petits cours d'eau agricoles .....	23
3.2 Lacs ou grands plans d'eau .....	27
3.3 Techniques d'échantillonnage et paramètres d'accompagnement .....	27
3.4 Critères de qualité pour les pesticides dans les sédiments .....	27
<b>4 EFFETS SUR L'ÉCOSYSTÈME AQUATIQUE DE LA PRÉSENCE DE PESTICIDES DANS LES SÉDIMENTS</b> .....	<b>30</b>
<b>CONCLUSION</b> .....	<b>33</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>34</b>
<b>ANNEXES</b> .....	<b>39</b>

## LISTE DES ANNEXES

Annexe 1	Méthodologie pour l'utilisation du carottier .....	40
Annexe 2	Ancienne zone d'exercice (zone CYR 606) du Centre d'essais et d'expérimentation en munitions (CEEM) du ministère de la Défense nationale .....	43
Annexe 3	Concentrations de pesticides détectés dans les sédiments des 18 sites échantillonnés de 2018 à 2021 (µg/kg).....	44
Annexe 4	Comparaison aux valeurs de référence proposées par Nowell et collab. (2018).....	47

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Sites échantillonnés pour les sédiments de 2018 à 2021.....	3
Tableau 2	Pesticides analysés et limites de détection des méthodes d'analyse dans les sédiments ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) .....	5
Tableau 3	Fréquence de détection (% du nombre total d'échantillons) et intervalle des concentrations mesurées dans l'ensemble des sites .....	8
Tableau 4	Nombre de pesticides détectés dans l'eau et dans les sédiments <sup>1</sup> .....	8
Tableau 5	Concentrations des pesticides détectés dans les sédiments de rivières de secteurs à dominance de cultures de maïs et de soya ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) .....	12
Tableau 6	Concentrations des pesticides détectés dans les sédiments de secteurs en cultures maraîchères ou mixtes ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ).....	13
Tableau 7	Concentrations des pesticides détectés dans les sédiments de quelques rivières, dans la baie Missisquoi et dans le lac Saint-Pierre ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) .....	14
Tableau 8	Nombre de pesticides dans les sédiments en fonction de caractéristiques du milieu.....	16
Tableau 9	Corrélation de Spearman entre le nombre de pesticides détectés dans les sédiments et les caractéristiques du milieu .....	18
Tableau 10	Corrélation de Spearman <sup>3</sup> entre les concentrations moyennes de glyphosate et d'AMPA dans les sédiments et les caractéristiques du milieu.....	18
Tableau 11	Corrélation de Spearman entre les concentrations individuelles de glyphosate et d'AMPA et les caractéristiques des sédiments.....	19
Tableau 12	Concentrations de pesticides détectés dans les sédiments en amont, en aval et dans un étang de rétention ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ).....	21
Tableau 13	Comparaison des concentrations d'herbicides mesurées dans les sédiments au Québec avec d'autres études ailleurs dans le monde .....	24
Tableau 14	Comparaison des concentrations d'insecticides et de fongicides mesurées dans les sédiments au Québec avec d'autres études ailleurs dans le monde.....	25
Tableau 15	Comparaison des concentrations d'herbicides dans les sédiments des lacs ou de grands plans d'eau.....	26

## LISTE DES FIGURES

Figure 1	Sites échantillonnés pour l'analyse des pesticides dans les sédiments de 2018 à 2021 .....	4
Figure 2	Fréquence de détection des 18 pesticides détectés dans les sédiments.....	7
Figure 3	Évolution des concentrations de glyphosate et d'AMPA dans les sédiments en amont, en aval et dans un étang de rétention agricole.....	22



## INTRODUCTION

Les sédiments ont un rôle écologique essentiel pour de nombreuses espèces aquatiques, car ils servent de support et d'abri pour une grande variété d'organismes, tels que les plantes aquatiques, le périphyton, les diatomées, les macroinvertébrés benthiques, les œufs et les jeunes stades de diverses espèces d'amphibiens et de poissons. Toutefois, ils peuvent aussi constituer un réservoir pour certains contaminants, incluant les pesticides, et contribuer à moyen ou à long terme, à la contamination des écosystèmes aquatiques.

De 1978 à 1987, à l'instar de ce qui était réalisé aux États-Unis (Nowell et collab., 1999) un suivi des pesticides de la famille des organochlorés avait été réalisé par le ministère dans les sédiments de différents bassins versants du Québec méridional (Paul et Laliberté, 1989; Laliberté, 1990). Ces insecticides, largement utilisés dans les années 1940 à 1960, ont été retirés du marché dans les années 1970 en raison de leur propriété de bioaccumulation, de leur toxicité et des effets néfastes sur la reproduction de plusieurs espèces d'oiseaux et de poissons. Douze pesticides organochlorés étaient recherchés dans les cours d'eau québécois : HCB, heptachlore, aldrine, mirex, méthoxychlore, alpha-BHC, bêta-BHC, lindane, époxy-heptachlore, p,p'-DDE, p,p'-TDE, p,p'-DDT. Dans les rivières L'Assomption, Richelieu, Yamaska, Saint-François et le lac Saint-Pierre échantillonnés en 1986, seul le p,p'-DDT et ses dérivés ont été trouvés en concentrations détectables. La concentration la plus élevée de p,p'-DDT, soit 112 µg/kg, était détectée dans le lac Waterloo (Paul et Laliberté, 1989). Parmi les 16 rivières échantillonnées en 1987, sept ont montré la présence de DDT et ses dérivés ainsi que du HCB. Les autres organochlorés n'étaient pas détectés. La concentration la plus élevée était de 65 µg/kg de HCB dans la rivière Quévillon (Laliberté, 1990).

Les insecticides organochlorés persistants ne sont plus utilisés de nos jours et le suivi de cette classe de produits dans l'eau et les sédiments ne s'est pas poursuivi.

Toutefois, depuis la fin des années 1980, un grand nombre de nouveaux pesticides sont apparus sur le marché. Beaucoup plus solubles dans l'eau que les pesticides organochlorés, la plupart d'entre eux se retrouvent davantage dans la colonne d'eau plutôt qu'adsorbés aux sédiments. Certains peuvent néanmoins être temporairement adsorbés sur la matière organique et les particules du sol et être transportés vers les cours d'eau. Ce rapport vise donc à faire le point sur la présence dans les sédiments des pesticides d'usage courant actuellement.

Depuis 2016, la Direction de la qualité des milieux aquatiques a mené quelques projets exploratoires afin de vérifier la présence des pesticides dans les sédiments dans divers contextes hydrologiques (bassin de rétention en milieu agricole, ruisseaux, rivières, grands lacs récepteurs). Les résultats d'une première campagne d'échantillonnage au lac Saint-Pierre en 2016 (Giroux, 2018) ont incité à investiguer davantage. L'objectif des projets menés ces dernières années était de vérifier la présence et de quantifier les concentrations de pesticides dans les sédiments de différents milieux aquatiques exposés à la présence de pesticides.

Ce document présente les résultats de ces campagnes d'échantillonnage et vise à orienter d'éventuels travaux de recherche. De plus, sur la base d'une revue de littérature réalisée pour le ministère par Carla Mahé et Yannick Nombre de l'UQAM en 2020, les résultats sont aussi comparés à ceux de campagnes d'échantillonnage des sédiments réalisées ailleurs dans le monde.

# 1 Méthodologie

## 1.1 Sites échantillonnés

Les sites échantillonnés et les années d'échantillonnage sont présentés dans le tableau 1 et leur localisation apparaît dans la figure 1. Dans l'ensemble, 18 sites, soit 18 cours d'eau ou plans d'eau, ont été échantillonnés dans le sud du Québec et un total de 74 prélèvements de sédiments ont été effectués. Ils regroupent différents contextes hydrologiques (rivières, ruisseaux, lacs, étang de rétention agricole).

Les rivières du réseau permanent de suivi des pesticides dans l'eau ont été échantillonnées deux fois par été (rivières Chibouet, des Hurons, Saint-Régis, Saint-Zéphirin, ruisseaux Gibeault-Delisle, Rousse et Déversant du Lac) alors que les autres rivières n'ont été échantillonnées qu'une seule fois. Le lac Saint-Pierre a été échantillonné deux fois en 2019 et une seule fois en 2020 (sauf la station 4 qui n'a pas été échantillonnée en 2020).

Dans le cas de l'étang de rétention, du cours d'eau amont (non influencé par l'étang de rétention) et du cours d'eau aval recevant les rejets de l'étang de rétention, les échantillons de sédiments ont été prélevés à six reprises de mai à septembre 2018 et à sept reprises d'avril à novembre 2019.

## 1.2 Pesticides analysés

Conformément aux directives du CEAEQ, 400 g de sédiments ont été recueillis à chaque site, soit 100 g respectivement pour deux des trois analyses, soit glyphosate-AMPA (acide aminométhylphosphonique) et pesticides émergents et 200 g pour l'analyse OPS+, laquelle couvre une cinquantaine de pesticides de diverses familles chimiques incluant les organophosphorés (OPS). La liste des 77 pesticides analysés et leur limite de détection dans les sédiments est présentée dans le tableau 2.

## 1.3 Techniques d'échantillonnage utilisées

Pour tenter de vérifier la présence de pesticides d'usage récent dans les sédiments, les dépôts sédimentaires superficiels étaient ciblés, soit d'une profondeur d'environ 5 cm. Les sections qui suivent présentent les techniques utilisées ainsi que leurs avantages et inconvénients.

### Benne Ekman

La première campagne d'échantillonnage réalisée au lac Saint-Pierre en 2016 avait été effectuée à l'aide d'une benne Ekman (voir photo). Celle-ci permettait de prélever environ 2 ou 3 cm de sédiments de surface, mais la profondeur réelle de prélèvement demeurait imprécise. Dans les zones de sédiments sableux, jusqu'à trois plongées de la benne étaient parfois nécessaires pour recueillir la quantité requise de sédiments, car les sédiments sableux avaient tendance à s'écouler avec l'eau lors de la remontée de la benne.

Les échantillons prélevés avec cette technique étaient d'abord déposés dans un bac en plastique, puis un sous-échantillon était prélevé pour chacune des analyses. L'outil est simple d'utilisation et relativement peu coûteux, mais ne permet pas de préserver la structure des sédiments ni de connaître la profondeur précise du prélèvement.

### Carottier

En 2019 et 2021, un carottier à percussion (carottier à percussion universel Hoskin E-777) a été utilisé pour l'échantillonnage des sédiments à plusieurs sites. L'utilisation du carottier avait comme avantage de pouvoir connaître précisément la profondeur du prélèvement et de sélectionner les sédiments à la profondeur désirée, soit d'une profondeur maximale de 5 cm. La préparation, le fonctionnement ainsi que les avantages et inconvénients du carottier sont présentés

dans l'annexe 1. Le carottier se révèle utile pour les cours d'eau ou plans d'eau profonds avec des sédiments fins (argile, limon), mais il est plus difficile d'utilisation dans le cas de sédiments sableux ou en présence de cailloux.

#### *Échantillonnage au lac Saint-Pierre*

Des sédiments ont été recueillis à trois sites dans la partie sud du lac Saint-Pierre en 2019 et 2021. Une portion du secteur sud du lac Saint-Pierre est identifiée comme un territoire ayant autrefois servi de site d'exercice du ministère de la Défense nationale (voir carte à l'annexe 2). Dans cette zone, il y a présence possible d'engins explosifs dans le fond du lac. Même si nos prélèvements n'étaient pas situés précisément dans cette

zone, par mesure de précaution, l'échantillonnage des sédiments devait être précédé d'un examen à l'aide d'un détecteur de métal (modèle Garrett, Sea Hunter Mark II) afin de sécuriser la manœuvre d'ancrage du bateau et l'échantillonnage avec le carottier.

Le détecteur est conçu pour aller sous l'eau, mais sa portée est réduite. Le manche a donc été allongé pour en améliorer la portée. Le site était sondé avant de jeter l'ancre et avant chacun des prélèvements avec le carottier. De plus, par mesure de précaution, la station 4, plus rapprochée de la zone à risque, n'a pas été échantillonnée en 2021.

**Tableau 1 Sites échantillonnés pour les sédiments de 2018 à 2021**

Sites échantillonnés	No BQMA <sup>1</sup>	Année d'échantillonnage	Nombre total de prélèvements
Étang de rétention	-	2018, 2019	13
Cours d'eau (amont de l'étang)	-	2018, 2019	13
Cours d'eau (aval de l'étang)	-	2018, 2019	13
Riv. Chibouet	03030038	2019, 2021	4
Riv. des Hurons	03040007	2019, 2021	4
Riv. Saint-Régis	03080001	2019, 2021	4
Riv. Saint-Zéphirin	03010046	2019, 2021	4
Ruis. Gibeault-Delisle	03090069	2019	2
Ruis. Rousse	04310107	2021	2
Ruis. Déversant du Lac	03030433	2021	2
Riv. Beaudette	04440007	2021	1
Riv. Delisle	04610002	2021	1
Riv. À la Raquette	04630002	2021	1
Riv. La Guerre	03120001	2021	1
Lac Saint-Pierre, station 1	00004062	2019, 2021	3
Lac Saint-Pierre, station 2	00004058	2019, 2021	3
Lac Saint-Pierre, station 4	00004060	2019	2
Baie Missiquoi	03040332	2021	1

<sup>1</sup>. Base de données sur la qualité des milieux aquatiques.

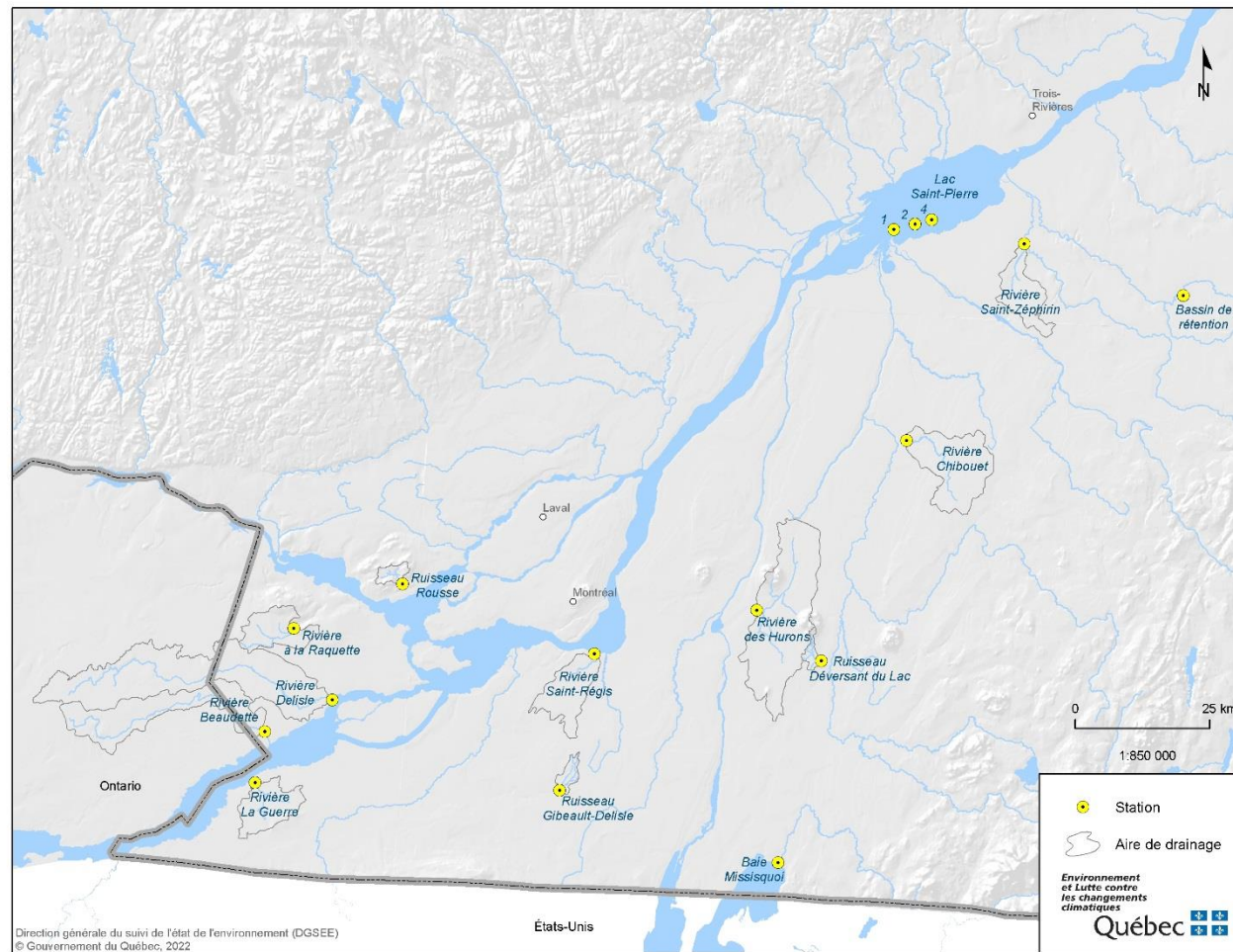


Figure 1 Sites échantillonnés pour l'analyse des pesticides dans les sédiments de 2018 à 2021

**Tableau 2** Pesticides analysés et limites de détection des méthodes d'analyse dans les sédiments (µg/kg)

OPS+	LDM	OPS+	LDM	Pesticides émergents	LDM	Glyphosate-AMPA	LDM
Atrazine	10	Diuron	180	Acétamipride	0,5	Glyphosate	2
Deéthyl-atrazine	10	EPTC	10	Azoxystrobine	0,5	AMPA	8
Déisopropyl-atrazine	10	Fénitrothion	20	Chlorimuron-éthyl	0,5	Glufosinate	2
Azinphos-méthyl	110	Fludioxonil	20	Chlorantraniliprole	0,5		
Bendiocarbe	10	Fonofos	5	Clothianidine	0,5		
Butilate	10	Linuron	50	Cyantraniliprole	0,5		
Captafol	40	Malathion	10	Fénamidone	0,5		
Captane	30	Méthidathion	20	Fénamidone-métabolite	0,5		
Carbaryl	20	Métolachlore	8	Flumetsulame	0,5		
Carbofuran	20	Métribuzine	10	Flupyradifurone	0,5		
Chlorfenvinphos	40	Mévinphos	10	Imazapyr	0,5		
Chlorothalonil	20	Myclobutanil	20	Imazéthapyr	0,5		
Chloroxuron	40	Napropamide	40	Imidaclopride			
Chlorpyrifos	10	Parathion	20	Imidaclopride guanidine	0,5		
Cyanazine	20	Parathion-méthyl	20	Imidaclopride-oléfine	0,5		
Cyhalothrine	30	Perméthrine	60	Imidacloprid-urée	0,5		
Cyperméthrine	60	Phorate	30	Isoxaflutole	0,5		
Deltaméthrine	80	Phosalone	10	Mésotrione	0,5		
Diazinon	10	Phosmet	20	Nicosulfuron	0,5		
Dichlobénil	20	Pirimicarbe	20	Pyriméthanil	0,5		
Dichlorvos	20	Pyraclostrobin	170	Rimsulfuron	0,5		
Diméthénamide	10	Simazine	6	Sulfosulfuron	0,5		
Diméthoate	10	Tébutiuton	140	Thiaclopride	0,5		
Dimétomorphe	80	Terbufos	30	Thiaméthoxame	0,5		
Disulfoton	30	Trifluraline	10				

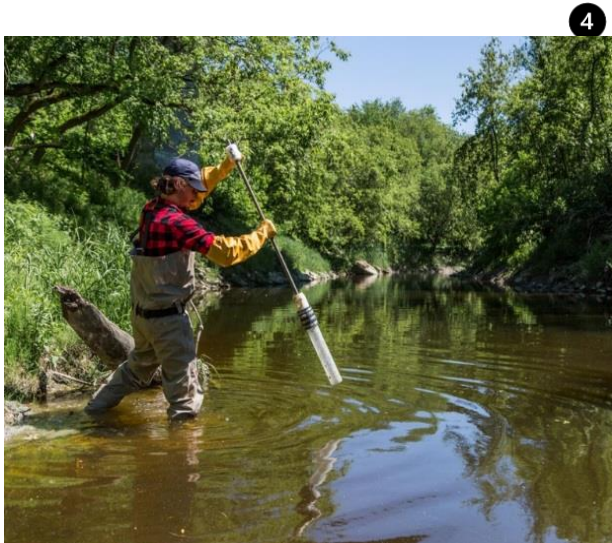
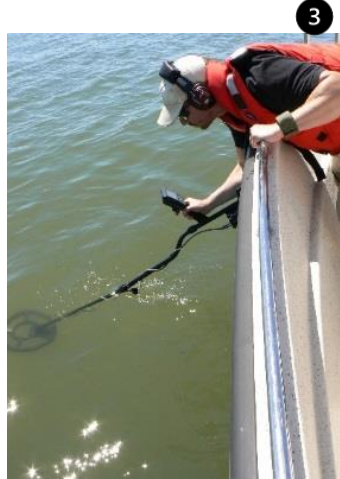
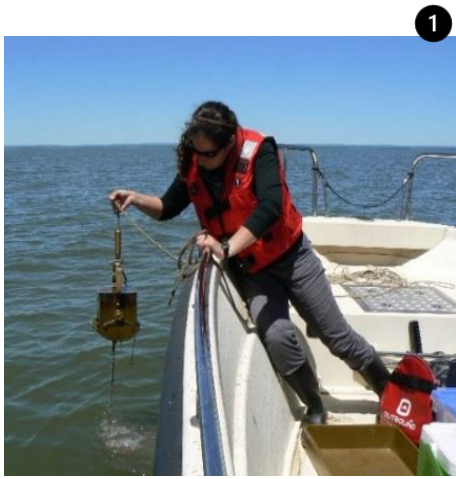
### Autres techniques d'échantillonnage

Pour les cours d'eau peu profonds et à substrat mixte (sable cailloux, etc.), où le carottier se révélait peu efficace, les échantillons ont été prélevés à l'aide d'une grande cuillère en acier inoxydable. Cette façon de faire est simple et suffisamment précise en regard de la strate superficielle désirée, mais n'est utilisable qu'à faible profondeur d'eau.

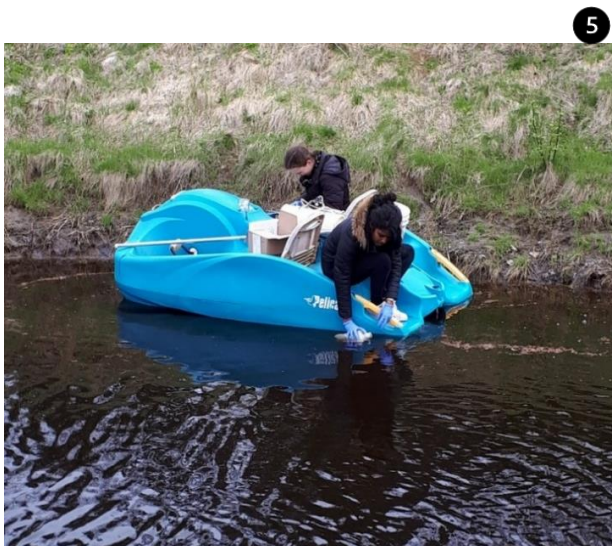
Dans le cadre du projet *Évaluation de l'utilisation des marais filtrants artificiels pour capter les pesticides et les nutriments dans les eaux de surface de drainage agricole du bassin versant du lac Saint-Pierre* du Plan d'action Saint-Laurent 2016-2021, l'efficacité d'un étang de rétention pour réduire les teneurs de différents contaminants provenant de champs en grandes cultures (maïs et soya) a été évaluée en 2018 et 2019. Le

projet est une collaboration entre le ministère (CEAEQ, DAMHA et DQMA), Agriculture et agroalimentaire Canada et l'INRS-ETE. Les pesticides étaient parmi les paramètres analysés dans l'eau et dans les sédiments. La planification de l'échantillonnage des sédiments a été faite par la DQMA en collaboration avec la DAMHA et l'échantillonnage sur le terrain a été réalisé par l'INRS-ETE. Les échantillons de sédiments étaient prélevés à l'aide d'une petite pelle dans le cas du ruisseau voisin représentant les conditions amont ainsi que pour le ruisseau en aval du bassin. Pour l'étang de rétention lui-même, l'échantillon était prélevé en pédalo au centre du bassin. Les échantillons étaient recueillis en raclant le fond à l'aide d'une perche sur laquelle était fixé un bécier en acier inoxydable. La manœuvre s'est révélée relativement difficile lorsque l'argile du fond du bassin était compacte.





1. Échantillonnage au lac Saint-Pierre avec une benne Ekman (photo : Francine Rochette, MELCCFP);
2. Échantillonnage au lac Saint-Pierre avec un carottier (photo : Francine Rochette, MELCCFP);
3. Utilisation d'un détecteur de métal au lac Saint-Pierre (photo : Francine Rochette, MELCCFP);
4. Utilisation d'un carottier en rivière (photo : Martin Tremblay, La Presse)
- 5, 6, 7. Échantillonnage d'un bassin de rétention drainant des champs en rotation de maïs et de soya (photo : Émilie Gagnon, MELCCFP)



## 2 Résultats

Dans l'ensemble des sites échantillonnés de 2018 à 2021, 18 pesticides ont été détectés dans les sédiments. Le glyphosate et son produit de dégradation, l'AMPA, ont été détectés à tous les sites échantillonnés (18 sites) et dans respectivement 82,8 % et 78,1 % des échantillons prélevés. La figure 2 et le tableau 3 montrent les fréquences de détection et l'intervalle des concentrations détectées. L'annexe 3 présente l'ensemble des résultats de détection pour toutes les stations échantillonnées. Les résultats sont repris par groupe de sites dans les sections qui suivent.

Le chlorantraniliprole, l'azoxystrobine et le cyantraniliprole sont détectés dans 10 % à 15 % des échantillons, alors que tous les autres produits sont détectés dans moins de 10 % des échantillons. Mis à part le glyphosate et l'AMPA, qui sont détectés à tous les sites, les autres pesticides sont détectés dans un nombre limité de sites.

L'intervalle des concentrations de glyphosate s'étend de la limite de détection (LD) à 820 µg/kg et celui de l'AMPA s'étend de la LD à 550 µg/kg. Les autres pesticides qui montrent des concentrations maximales supérieures à 50 µg/kg sont le diuron

(4800 µg/kg), le *s*-métolachlore (150 µg/kg), l'atrazine (100 µg/kg), le fénamidone (91 µg/kg), le fludioxonil (90 µg/kg) et l'azoxystrobine (66 µg/kg). Rappelons que ces détections ne sont que pour un nombre limité de sites.

Pour les sites où des prélèvements ont été effectués à la fois dans l'eau et dans les sédiments, on détecte un plus grand nombre de pesticides dans l'eau que dans les sédiments (tableau 4). Compte tenu des caractéristiques des produits actuellement en usage, on s'attendait à ce constat. Le ruisseau Gibeault-Delisle et la rivière Saint-Régis sont les deux cours d'eau qui présentent le plus grand nombre de pesticides dans les sédiments.

Les résultats de l'analyse des sédiments des quinze sites échantillonnés en 2019 et 2021 sont présentés dans les tableaux 4 à 6. Il n'a pas été possible de faire les paramètres d'accompagnement (granulométrie, pourcentage de matière organique) pour tous les échantillons, mais, lorsque ces renseignements sont disponibles, ils sont présentés au bas du tableau.

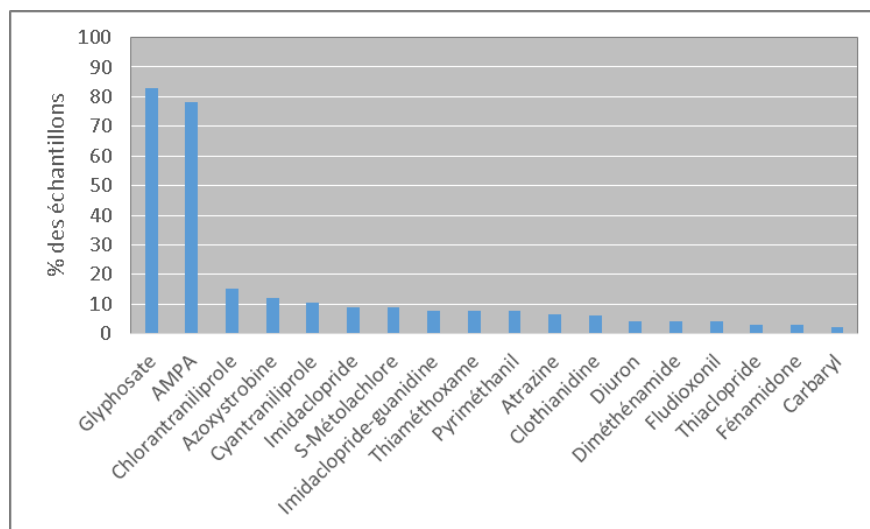


Figure 2 Fréquence de détection des 18 pesticides détectés dans les sédiments

**Tableau 3** *Fréquence de détection (% du nombre total d'échantillons) et intervalle des concentrations mesurées dans l'ensemble des sites*

Analyses/Pesticides détectés	Fréquence de détection (%)	Intervalle des concentrations (µg/kg)
<b>Glyphosate-AMPA</b>		
Glyphosate	82,8	< 2 - 820
AMPA	78,1	< 8 - 550
<b>Pesticides émergents</b>		
Chlorantranilprole	15,2	< 0,5 - 9,2
Azoxystrobine	12,1	< 0,5 - 66
Cyantranilprole	10,6	< 0,5 - 3,8
Imidaclopride	9,1	< 0,5 - 4,4
Imidaclopride-guanidine	7,6	< 0,5 - 5,3
Thiaméthoxame	7,6	< 0,5 - 4,9
Pyriméthanil	7,6	< 0,5 - 4,6
Clothianidine	6,1	< 0,5 - 24
Thiaclopride	3,0	< 0,5 - 1,5
Fénamidone	3,0	< 0,5 - 91
<b>OPS+</b>		
S-Métolachlore	8,9	< 8 - 150
Atrazine	6,7	< 10 - 100
Diuron	4,4	< 180 - 4800
Diméthénamide	4,4	< 10 - 40
Fludioxonil	4,4	< 20 - 90
Carbaryl	2,2	< 20 - 30

**Tableau 4** *Nombre de pesticides détectés dans l'eau et dans les sédiments<sup>1</sup>*

Cours d'eau	2019		2021	
	Eau	Sédiments	Eau	Sédiments
Chibouet	25	2	22	2
Des Hurons	36	3	37	3
Saint-Régis	37	10	38	12
Saint-Zéphirin	25	2	20	2
Gibeault-Delisle	49	15	-	-
Rousse	-	-	36	8
Déversant du Lac	-	-	34	3
Beaudette	-	-	15	2
Delisle	-	-	20	2
À la Raquette	-	-	20	2
La Guerre	-	-	17	3
Lac Saint-Pierre ST1	10	2	14	1
Lac Saint-Pierre ST2	8	2	5	1
Lac Saint-Pierre ST4	7	2	6	-

1. Notons que le nombre de pesticides dans l'eau correspond au nombre total détecté pour la période de mai à août alors que, pour les sédiments, il s'agit du nombre de pesticides détectés lors de quelques prélèvements (1 ou 2 par été).

Tiret : le tiret signifie qu'il n'y a pas eu de prélèvement.



## 2.1 Rivières de secteurs en culture de maïs et de soya

Le tableau 5 présente les concentrations des pesticides détectés aux stations situées dans des secteurs en maïs et soya, soit les rivières Chibouet, des Hurons, Saint-Régis et Saint-Zéphirin.

Le glyphosate et l'AMPA ont été détectés dans les sédiments de ces quatre cours d'eau. Pour les deux années d'échantillonnage, les concentrations tendent à être plus élevées lors du deuxième prélèvement effectué plus tard dans l'été que dans le premier, à l'exception de la rivière Saint-Zéphirin. La rivière Saint-Régis présente une concentration moyenne<sup>1</sup> de glyphosate et d'AMPA plus élevée que celle des trois autres cours d'eau, soit de 141,8 µg/kg de glyphosate et de 200 µg/kg d'AMPA. À l'opposé, la rivière Saint-Zéphirin est celle qui présente les concentrations moyennes les plus faibles pour ces deux produits, soit 27,3 µg/kg de glyphosate et 26,8 µg/kg d'AMPA. La rivière Chibouet présente une concentration moyenne de 98,8 µg/kg de glyphosate et de 47 µg/kg d'AMPA alors que la rivière des Hurons montre des moyennes de 74,8 µg/kg de glyphosate et de 57,8 µg/kg d'AMPA.

Huit autres pesticides ont été détectés dans les sédiments de la rivière Saint-Régis. En plus du glyphosate et de l'AMPA, les sédiments de la rivière Saint-Régis révèlent la présence des insecticides diamides chlorantraniliprole (1,8-9,2 µg/kg) et cyantraniliprole (< 0,5-2,5 µg/kg), des insecticides néonicotinoïdes thiaméthoxame (< 0,5-4,9 µg/kg), imidaclopride (0,6-4,4 µg/kg), clothianidine (< 0,5-2,9 µg/kg) ainsi que le produit de dégradation imidaclopride-guanidine (< 0,5-2,9 µg/kg).

Deux fongicides ont également été détectés, soit l'azoxystrobine (2,4-10 µg/kg) et le pyriméthanol (< 0,5-1,6 µg/kg).

L'imidaclopride-guanidine a également été détecté ponctuellement dans les sédiments de la rivière des Hurons (< 0,5-1,2 µg/kg). Dans les bassins versants des rivières Saint-Régis et des Hurons, on trouve une certaine proportion de cultures maraîchères où le produit parent, l'imidaclopride, a pu être utilisé.

## 2.2 Rivières de secteurs maraîchers et cultures mixtes

Le tableau 6 présente les résultats des concentrations de pesticides dans les sédiments de trois cours d'eau situés dans des secteurs de cultures maraîchères, de vergers et de cultures mixtes. Il s'agit du ruisseau Gibeault-Delisle échantillonné en 2019 (maraîcher incluant pomme de terre), du ruisseau Rousse (mixte vergers et maraîcher) et du ruisseau Déversant du Lac (mixte maïs-soya et vergers), tous deux échantillonnés en 2021.

Tout comme pour les quatre cours d'eau des secteurs en maïs-soya, le glyphosate et l'AMPA ont été détectés dans les cours d'eau des secteurs maraîchers et de cultures mixtes. La concentration moyenne de glyphosate dans les sédiments du ruisseau Gibeault-Delisle est plus élevée que celle dans les sédiments des rivières provenant de secteurs en maïs-soya, soit de 465 µg/kg. La concentration moyenne d'AMPA est de 159 µg/kg, une concentration similaire à celle de la rivière Saint-Régis. Le ruisseau Rousse montre 60 µg/kg de glyphosate et 96 µg/kg d'AMPA dans les sédiments, alors que les concentrations sont respectivement de 12 et 13 µg/kg pour le glyphosate et l'AMPA dans le ruisseau Déversant du Lac.

---

<sup>1</sup> Moyenne calculée avec les quatre données et les deux années de suivi.

Le ruisseau Gibeault-Delisle, dont le bassin versant compte 46 % de cultures maraîchères cultivées sur des sols organiques, est celui qui présente le plus grand nombre de pesticides dans les sédiments, soit 15 pesticides ou produits de dégradation. Notons qu'en 2019, au cours de la même saison d'échantillonnage, 49 pesticides ont été détectés dans l'eau de ce ruisseau.

Outre le glyphosate et l'AMPA, les autres pesticides qui ont montré les concentrations les plus élevées dans le ruisseau Gibeault-Delisle sont, dans l'ordre de leurs concentrations moyennes, le diuron (3050 µg/kg), le fludioxonil (70 µg/kg), l'azoxystrobine (51,5 µg/kg), le fénamidone (47 µg/kg), le diméthénamide (25 µg/kg), la clothianidine (16,3 µg/kg) et le carbaryl (15 µg/kg). Les autres produits détectés ont pour la plupart présenté des concentrations moyennes inférieures à 5 µg/kg. Notons que, dans le cas du diuron, le résultat de l'analyse peut être dû soit à la présence réelle du diuron dans l'échantillon, soit à la présence du produit de dégradation du linuron, l'isocyanate de 3,4 dichlorophényle, chimiquement très similaire au diuron. Cette difficulté analytique à distinguer ces deux produits a déjà été décrite dans un rapport antérieur (Giroux et Fortin, 2010). Compte tenu de la détection de fortes concentrations de linuron dans la colonne d'eau, la présence du produit de dégradation du linuron est la situation la plus probable. La présence de nombreux pesticides dans les sédiments du ruisseau Gibeault-Delisle pourrait être reliée à la forte proportion de matière organique (26 %-30 %) dans les sédiments.

Dans le ruisseau Rousse, outre le glyphosate et l'AMPA qui présentent les concentrations les plus élevées (60 et 96 µg/kg), les sept autres pesticides détectés dans les sédiments sont, dans l'ordre de leur concentration moyenne, le chlorantraniliprole (6,2 µg/kg), le *s*-métolachlore (5,5 µg/kg) l'azoxystrobine (5 µg/kg), le pyriméthanil (0,25 µg/kg), le cyantraniliprole (1,15 µg/kg) et l'imidaclopride-guanidine (0,035 µg/kg).

Dans le ruisseau Déversant du Lac, trois pesticides ont été détectés. En plus du glyphosate et de l'AMPA, détectés respectivement à une concentration de 12 et 13 µg/kg, le thiaclopride, un insecticide homologué pour les vergers de pommiers, a aussi été détecté à une concentration de 1,5 µg/kg dans les sédiments.

### 2.3 Autres rivières, baie Missisquoi et lac Saint-Pierre

Dans tous les autres cours d'eau où les sédiments ont été échantillonnés, c'est essentiellement le glyphosate et l'AMPA qui ont été détectés (tableau 7). Seule la rivière La Guerre a également montré une concentration de 1,1 µg/kg de l'insecticide chlorantraniliprole. Dans les quatre rivières, les concentrations de glyphosate se situent entre 31 et 61 µg/kg et celles de l'AMPA entre 33 et 78 µg/kg. L'échantillon prélevé dans la baie Missisquoi montre des concentrations de 20 et 30 µg/kg respectivement pour le glyphosate et l'AMPA.

Parmi les pesticides analysés, seuls le glyphosate et l'AMPA ont été détectés au lac Saint-Pierre. Ils ont été décelés dans les sédiments des trois sites échantillonnés. Globalement, les concentrations semblent diminuer de l'amont vers l'aval, soit des concentrations plus élevées à la station LSP-ST1 et progressivement plus faibles aux stations LSP-ST2 et LSP-ST4. Les concentrations moyennes de glyphosate sont de 15 µg/kg à la station 1, de 10 µg/kg à la station 2 et 3,5 µg/kg à la station 4. Celles de l'AMPA sont respectivement de 15,3 µg/kg, 9,3 µg/kg et 4,5 µg/kg.

En 2016, des concentrations plus élevées de glyphosate et d'AMPA avaient été mesurées dans les sédiments des stations 1 et 2 (juin 2016) alors que les produits n'avaient pas été détectés plus tard dans l'été. Les concentrations mesurées le 16 juin étaient alors de 390 µg/kg de glyphosate et 450 µg/kg d'AMPA à la station 1 et de 7 100 µg/kg de glyphosate et 1100 µg/kg d'AMPA à la station 2 le 16 juin (Giroux, 2018).

Au lac Saint-Pierre, notons que, pour les 12 à 15 prélèvements effectués durant la période de juin et juillet 2019, 2020 et 2021, le glyphosate n'a été que rarement détecté dans l'eau, et en très faible concentration, alors qu'il est détecté dans les sédiments.

Les sédiments prélevés aux trois sites sont majoritairement composés de sable et de limon. La proportion d'argile est relativement faible, soit de 2 % à 7,5 %. La proportion de matière organique dans les sédiments est aussi relativement faible, soit de 1 % à 3 %.

**Tableau 5** Concentrations des pesticides détectés dans les sédiments de rivières de secteurs à dominance de cultures de maïs et de soya (µg/kg)

Pesticides détectés	Chibouet 03030038				Des Hurons 03040007				Saint-Régis 03080001				Saint-Zéphirin 03010046			
	2019-06-12	2019-07-10	2021-07-21	2021-09-23	2019-06-18	2019-07-17	2021-07-21	2021-09-23	2019-06-19	2019-07-17	2021-07-20	2021-09-22	2019-06-27	2019-07-25	2021-07-21	2021-09-23
<b>OPS +</b>																
Atrazine	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	50	40	100	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
S-Métolachlore	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	26	53	150	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8
<b>Pesticides émergents</b>																
Chlorantraniliprole	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,8	5,8	9,2	3,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Cyantraniliprole	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,8	2,5	1,1	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Thiaméthoxame	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,3	4,9	1	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Imidaclopride	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,1	4,4	1	0,6	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
<i>Imidaclopride-guanidine</i>	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,2	< 0,5	< 0,5	< 0,5	2,9	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Clothianidine	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	2,9	0,6	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Azoxystrobine	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	3,6	3,5	2,4	10	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Pyriméthanol	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,4	1,6	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
<b>Glyphosate-AMPA</b>																
Glyphosate	10	220	35	130	18	87	54	140	27	110	230	200	44	20	5	40
<i>AMPA</i>	19	30	29	110	17	59	55	100	30	100	280	390	27	20	< 8	60
M.O. (%)	3,12	3,18	1,7	4,9	3,08	3,1	3,4	3,4	4,05	2,62	7,7	9,2	1,18	0,72	0,9	1
Sable (%)	2	4	1,3	NA	65	55	69	NA	59	82,5	27	NA	84	87	82,5	NA
Limon (%)	35	56	52,5	NA	20	27	16	NA	30	15	70	NA	9	10	12,5	NA
Argile (%)	63	40	46,2	NA	15	18	15	NA	11	2,5	3	NA	7	3	5	NA

Italique : produits de dégradation.

NA : paramètre non analysé.

Jaune : bris d'équipement; échantillon analysé hors délais de conservation; les valeurs peuvent être sous-estimées.

Tableau 6 Concentrations des pesticides détectés dans les sédiments de secteurs en cultures maraîchères ou mixtes (µg/kg)

Pesticides détectés	Gibeault-Delisle 03090069		Rousse 0431017		Déversant du Lac 03030433	
	2019-06-27	2019-07-17	2021-07-19	2021-09-22	2021-07-21	2021-09-22
<b>OPS+</b>						
Diuron <sup>1</sup>	1300	4 800	< 180	< 180	< 180	< 180
Diméthénamide	10	40	< 10	< 10	< 10	< 10
S-Métolachlore	< 8	< 8	< 8	11	< 8	< 8
Carbaryl	< 20	30	< 20	< 20	< 20	< 20
Fludioxonil	50	90	< 20	< 20	< 20	< 20
<b>Pesticides émergents</b>						
Chlorantraniliprole	2,2	4,1	3,7	8,7	< 0,5	< 0,5
Cyantraniliprole	1,9	3,8	1,2	1,1	< 0,5	< 0,5
Thiaméthoxame	4	1	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Imidaclopride	3,2	4,2	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
<i>Imidaclopride-guanidine</i>	2,3	5,3	< 0,5	0,7	< 0,5	< 0,5
Clothianidine	24	8,6	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Thiaclopride	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,3	1,5
Azoxystrobine	37	66	5,7	4,3	< 0,5	< 0,5
Pyriméthanil	1,7	4,6	< 0,5	0,5	< 0,5	< 0,5
Fénamidone	2,9	91	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
<b>Glyphosate-AMPA</b>						
Glyphosate	110	820	60	NA	12	NA
AMPA	68	250	96	NA	13	NA
M.O.(%)	26,2	30,8	1,7	3,4	1,4	1,7
Sable (%)	10	15	75	NA	84	NA
Limon (%)	61	45	20	NA	11	NA
Argile (%)	29	40	5	NA	5	NA

Italique : produits de dégradation.

NA : paramètre non analysé.

Jaune : bris d'équipement; échantillon analysé hors délais de conservation; les valeurs peuvent être sous-estimées.

<sup>1</sup> : Pour le diuron, le résultat correspond à la concentration du diuron ou au produit de dégradation du linuron.

Tableau 7 Concentrations des pesticides détectés dans les sédiments de quelques rivières, dans la baie Missisquoi et dans le lac Saint-Pierre (µg/kg)

Pesticides détectés	Beaudette	Delisle	La Guerre	À la Raquette	Baie Missisquoi	LSP-ST1			LSP-ST2			LSP-ST4	
	2021-07-19	2021-07-20	2021-07-20	2021-07-21	2021-08-01	2019-06-17	2019-07-15	2021-07-12	2019-06-17	2019-07-15	2021-07-12	2019-06-17	2019-07-15
<b>OPS+</b>													
Tous	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<b>Pesticides émergents</b>													
Chlorantraniliprole	<0,5	<0,5	1,1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
<b>Glyphosate-AMPA</b>													
Glyphosate	31	41	54	61	20	16	14	< 2	11	9	< 2	4	3
AMPA	44	41	78	33	30	15	12	19	17	< 8	11	9	< 8
M.O. (%)	7,3	14	28	2,4	18,3	2,96	2,65	2,1	2,97	3,01	2,3	1,54	1,36
Sable (%)	21,8	15,5	10	58	67	67	53	50	63	52	21	84	78
Limon (%)	74,2	42,2	59	24,5	28	28	42	45	32	43	71,5	14	19
Argile (%)	4	42,3	31	17,5	5	5	5	5	5	5	7,5	2	3

Italique : produits de dégradation.

nd : non détecté.

Jaune : bris d'équipement; échantillon analysé hors délais de conservation.

### Constats en regard des caractéristiques des sédiments et du milieu

Selon la documentation scientifique, la granulométrie et le contenu en matières organiques des sédiments pourraient jouer un rôle clé dans l'adsorption des pesticides.

Ainsi, Wang et collab. (2016) indiquent que l'adsorption rapide du glyphosate dans leurs essais en laboratoire serait reliée à une proportion importante de limon et d'argile dans des sédiments. Dans des essais de 80 jours sur des microcosmes en laboratoire, Wang et collab. (2016) ont étudié le devenir du glyphosate et de l'AMPA dans différents systèmes eau-sédiment. À l'aide de glyphosate marqué avec un isotope stable ( $^{13}\text{C}^{15}\text{N}$ ), ils ont étudié six incubations de systèmes eau et sédiments (avec ou sans glyphosate, glyphosate marqué ou non marqué, système biotique ou stérile).

Dans le système biotique eau-sédiments, le glyphosate n'était plus détecté dans l'eau après 40 jours. En effet, bien qu'au départ le produit ait été ajouté dans l'eau du système eau-sédiments, à partir du jour 40, le glyphosate était détecté seulement dans les sédiments. Dans ce système, 56 % du glyphosate marqué était minéralisé<sup>2</sup> alors que la minéralisation était de seulement 2 % dans un système avec de l'eau seulement,

démontrant le rôle clé des sédiments « biotiques » dans la minéralisation du glyphosate. Selon les auteurs, cela indiquerait que le glyphosate est éliminé de la colonne d'eau par un processus combiné d'adsorption aux sédiments et de biodégradation microbienne. Seulement trois heures après l'ajout du glyphosate dans l'eau, 16 % du glyphosate marqué était décelé dans les sédiments. Selon eux, comme le glyphosate a tendance à se lier aux oxydes de fer et d'aluminium, la présence d'une proportion importante de limon et d'argile riches en oxydes de fer et d'aluminium dans les sédiments testés dans leur étude (62 %) contre 38 % de sable expliquerait cette rapide élimination du glyphosate de la colonne d'eau. Finalement du jour 40 au jour 80, lorsque le glyphosate est détecté seulement dans les sédiments, le processus de minéralisation était très lent, indiquant, selon les auteurs, une biodisponibilité limitée du glyphosate adsorbé pour la communauté microbienne.

Par ailleurs, par le passé et encore récemment, plusieurs auteurs ont montré une corrélation entre les pesticides organochlorés et la matière organique ou le carbone organique total des sédiments (Ma et collab., 2021; Hung et collab., 2007; Nowell et collab., 1999).

---

<sup>2</sup> Le glyphosate est principalement dégradé par les micro-organismes présents dans le sol. La dégradation conduit à la formation de l'acide aminométhylphosphonique (AMPA) et

d'acide glyoxylique et se termine par la libération de dioxyde de carbone, de phosphate et d'ammonium.

Dans la présente étude, les données de granulométrie et de pourcentage de matières organiques dans les sédiments pour chaque site en rivière ainsi que le pourcentage du bassin en cultures maraîchères et en sols organiques ont été examinés pour vérifier une possible corrélation positive avec le nombre de pesticides présents dans les sédiments.

On a aussi examiné la relation entre les concentrations de glyphosate et d'AMPA et le contenu en matières organiques et en limon et argile dans les sédiments (tableau 10).

Des analyses de corrélation de Spearman ont été effectuées en utilisant la version unilatérale à droite (test unilatéral positif) qui suppose que ces paramètres augmentent la possibilité de la présence de pesticides. Le coefficient de corrélation de Spearman (Rho) a été estimé en utilisant la fonction

« cor.test » du logiciel R (R Core Team, 2022). Le Rho de Spearman est un coefficient de corrélation non paramétrique entre deux variables. Il se situe sur une échelle variant de -1 à +1, +1 signifiant une corrélation positive parfaite et -1 une corrélation négative parfaite.

#### *Nombre de pesticides détectés*

L'analyse statistique montre une corrélation positive significative (au seuil de 5 %) entre le nombre de pesticides détectés dans les sédiments et la proportion de cultures maraîchères dans le bassin versant (tableau 9). Il existe aussi une corrélation positive significative, mais cette fois au seuil de 10 %, entre le nombre de pesticides et la proportion de sols organiques dans le bassin versant ainsi qu'avec le pourcentage de matières organiques dans les sédiments.

**Tableau 8** *Nombre de pesticides dans les sédiments en fonction de caractéristiques du milieu*

Cours d'eau	Nombre de pesticides dans les sédiments	Superficie du bassin versant		Nature des sédiments	
		% Sols organiques <sup>1</sup>	% Cultures maraîchères <sup>2</sup>	% Matière organique	% Limon et argile <sup>3</sup>
Gibeault-Delisle	15	42,8	29	28,5	87,5
Saint-Régis	11	1	7,04	5,9	43,8
Rousse	8	10,8	5,58	2,55	25
Des Hurons	3	0,2	3,01	3,24	37
Déversant du Lac	3	0	0,2	2,25	16
La Guerre	3	14,6	2,2	28	90
Chibouet	2	12,6	1,16	3,22	97,6
Saint-Zéphirin	2	0,2	0,31	0,95	15,5
Beaudette	2	0	5,5	7,3	78,2
Delisle	2	0,5	2,2	14	84,5
À la Raquette	2	0,2	3	2,4	42
LSP-ST1	2	nd	nd	2,57	43,3
LSP-ST2	2	nd	nd	2,76	54,6
LSP-ST4	2	nd	nd	1,45	19

nd : non déterminé.

<sup>1</sup>. Études pédologiques, IRDA, [Études pédologiques - IRDA](#) consulté en 2022.

<sup>2</sup>. Pourcentage de la superficie en maraîcher incluant la pomme de terre; Base de données des parcelles et productions agricoles déclarées (BDPPAD, 2016-2020) et Agriculture et agroalimentaire Canada, 2016-2020.

<sup>3</sup>. Pour les rivières Chibouet, des Hurons, Saint-Régis et Saint-Zéphirin, la valeur correspond à la moyenne de plusieurs prélèvements. Notons que la portion résiduelle pour totaliser 100 % est représentée par la fraction sableuse du sédiment.



Toutefois, dans le cas présent, les résultats ne montrent pas de corrélation entre le nombre de pesticides et la proportion de limon et argile dans les sédiments.

#### *Concentrations de glyphosate et AMPA*

Des analyses de corrélation de Spearman ont aussi été effectuées pour vérifier l'existence d'une corrélation positive entre les concentrations moyennes de glyphosate et d'AMPA par station et les caractéristiques du milieu (tableau 10). Les résultats montrent une corrélation positive significative (au seuil de 5 %) entre les concentrations moyennes de glyphosate et la proportion de cultures maraîchères, la proportion de sols organiques dans le bassin versant et le pourcentage de matières organiques dans les sédiments. La concentration moyenne de glyphosate est aussi corrélée à la présence de limon et d'argile dans les sédiments, mais seulement si l'on applique un seuil de 10%. Le constat est similaire pour les concentrations moyennes d'AMPA, de même que pour les médianes de glyphosate et d'AMPA.

Finalement une analyse de corrélation a aussi été appliquée aux données de concentrations individuelles à chaque site (tableau 11). L'analyse montre une corrélation positive et significative au seuil de 5 % entre les concentrations de glyphosate et d'AMPA et le pourcentage de matières organiques dans les sédiments. La corrélation est plus faiblement significative en ce qui concerne la présence de limon et argile dans les sédiments. Dans ce cas, un plus grand nombre de données serait recommandé pour mieux statuer sur la corrélation avec cette variable.

**Tableau 9** *Corrélation de Spearman<sup>3</sup> entre le nombre de pesticides détectés dans les sédiments et les caractéristiques du milieu*

Caractéristiques	n	Coefficient de Spearman (Rho)	P-value (bilatéral)	P-value (unilatéral positif)	Signification
% du bassin versant en cultures maraîchères	11	0,618	0,043	<b>0,021</b>	Significatif au seuil de 5 %
% du bassin versant en sols organiques	11	0,477	0,138	<b>0,069</b>	Significatif au seuil de 10 %
% de matières organiques dans les sédiments	14	0,382	0,178	<b>0,089</b>	Significatif au seuil de 10 %
% de limon+argile dans les sédiments	14	0,034	0,907	0,454	Non significatif

**Tableau 10** *Corrélation de Spearman<sup>3</sup> entre les concentrations moyennes de glyphosate et d'AMPA dans les sédiments et les caractéristiques du milieu*

Caractéristiques	n	Coefficient de Spearman (Rho)	P-value (bilatéral)	P-value (unilatéral positif)	Signification
<b>Glyphosate</b>					
% du bassin versant en cultures maraîchères	11	0,670	0,024	<b>0,012</b>	Significatif au seuil de 5 %
% du bassin versant en sols organiques	11	0,662	0,265	<b>0,013</b>	Significatif au seuil de 5 %
% de matières organiques dans les sédiments	14	0,543	0,048	<b>0,024</b>	Significatif au seuil de 5 %
% de limon+argile dans les sédiments	14	0,437	0,120	<b>0,060</b>	Significatif au seuil de 10 %
<b>AMPA</b>					
% du bassin versant en cultures maraîchères	11	0,811	0,002	<b>0,001</b>	Significatif au seuil de 5 %
% du bassin versant en sols organiques	11	0,717	0,013	<b>0,006</b>	Significatif au seuil de 5 %
% de matières organiques dans les sédiments	14	0,657	0,013	<b>0,006</b>	Significatif au seuil de 5 %
% de limon+argile dans les sédiments	14	0,442	0,116	<b>0,058</b>	Significatif au seuil de 10 %

<sup>3</sup> Le coefficient de corrélation de Spearman a été estimé à l'aide de la fonction cor.test du logiciel R (R Core Team, 2022).

Tableau 11 *Corrélation de Spearman<sup>4</sup> entre les concentrations individuelles de glyphosate et d'AMPA et les caractéristiques des sédiments*

Caractéristiques	n	Coefficient de Spearman (Rho)	P-value (bilatéral)	P-value (unilatéral positif) <sup>1</sup>	Signification
<b>Glyphosate</b>					
% de matières organiques dans les sédiments	17	0,463	0,062	<b>0,031</b>	Significatif au seuil de 5 %
% de limon+argile dans les sédiments	29	0,254	0,184	<b>0,092</b>	Significatif au seuil de 10 %
<b>AMPA</b>					
% de matières organiques dans les sédiments	17	0,544	0,024	<b>0,012</b>	Significatif au seuil de 5 %
% de limon+argile dans les sédiments	29	0,305	0,107	<b>0,054</b>	Significatif au seuil de 10 %

<sup>4</sup> Le coefficient de corrélation de Spearman a été estimé à l'aide de la fonction cor.test du logiciel R (R Core Team, 2022).

## 2.4 Étang de rétention en milieu agricole

Dans le cadre du projet *Évaluation de l'utilisation des marais filtrants artificiels pour capter les pesticides et les nutriments dans les eaux de surface de drainage agricole du bassin du lac Saint-Pierre* du Plan d'action Saint-Laurent 2016-2021 (PASL<sup>5</sup>), l'efficacité d'un étang de rétention pour réduire les teneurs de différents contaminants provenant de champs en grandes cultures (maïs et soya) a été évaluée. Les pesticides étaient parmi les paramètres testés dans l'eau et dans les sédiments. L'étang, aménagé en 2014, a fait l'objet d'analyses plus détaillées au fil des ans. Seules les données de 2018 et 2019 sont rapportées ici. En 2018 et 2019, les prélèvements de sédiments ont été faits à trois sites : dans un ruisseau à proximité de l'étang, mais non sous son influence (ruisseau amont), dans le ruisseau à l'exutoire de l'étang (représentant les conditions aval) ainsi que dans l'étang lui-même. Les échantillons de sédiments ont été prélevés par l'équipe de l'INRS-ETE (Maëva Marimoutou, 2020).

Les résultats de 2018 et 2019 montrent que ce sont essentiellement le glyphosate et son produit de dégradation, l'AMPA, qui ont été détectés le plus souvent dans les sédiments. L'herbicide  $\beta$ -métoalachlore a été détecté une seule fois dans les sédiments de l'étang de rétention en 2018 et l'insecticide chlorantraniliprole une fois également en 2019 (tableau 12). En comparaison, une dizaine de pesticides ou produits de dégradation ont été détectés dans l'eau des ruisseaux en amont et en aval et dans l'étang lui-même. Notons toutefois que le chlorantraniliprole et le cyantraniliprole n'ont pas été analysés dans les sédiments en 2018.

Les concentrations de glyphosate détectées dans les sédiments du ruisseau amont se

situaient entre 6 et 220  $\mu\text{g}/\text{kg}$  et entre 15 et 260  $\mu\text{g}/\text{kg}$  dans le cas de l'AMPA.

Dans les sédiments de l'étang lui-même, les concentrations de glyphosate variaient entre 29 et 790  $\mu\text{g}/\text{kg}$  alors que, pour l'AMPA, les concentrations ont varié entre 13 et 550  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Sur l'ensemble de la période 2018 et 2019, les concentrations moyennes de glyphosate et d'AMPA dans les sédiments du cours d'eau en aval de l'étang sont plus faibles que celle en amont, soit de 23,2  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de glyphosate et 14,7  $\mu\text{g}/\text{kg}$  d'AMPA en aval, contre 61,8  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de glyphosate et 104,3  $\mu\text{g}/\text{kg}$  d'AMPA en amont.

Entre 2018 et 2019, les concentrations de glyphosate dans les sédiments de l'étang ont augmenté. Alors qu'on note une concentration moyenne de glyphosate et d'AMPA de 25  $\mu\text{g}/\text{kg}$  et 11,7  $\mu\text{g}/\text{kg}$  en 2018, elle est de 342  $\mu\text{g}/\text{kg}$  et de 230,6  $\mu\text{g}/\text{kg}$  en 2019. La figure 3 montre que du mois de juin au mois d'octobre 2019, les concentrations de glyphosate et d'AMPA augmentent dans les sédiments du bassin de rétention. Ces constats tendent à confirmer que le glyphosate et l'AMPA provenant des champs voisins sont en partie retenus dans les sédiments de l'étang.

Les concentrations pour les deux autres produits détectés ponctuellement dans les sédiments étaient de 10  $\mu\text{g}/\text{kg}$  pour le  $\beta$ -métoalachlore et de 1,4  $\mu\text{g}/\text{kg}$  pour le chlorantraniliprole.

La présence du glyphosate et de l'AMPA dans les sédiments du bassin alors que les autres produits y sont peu présents tendrait à indiquer une certaine rétention de ces deux produits. Toutefois l'étude ne permet pas de conclure si la réduction est suffisamment importante pour être significative. Par ailleurs, l'étang ne s'est pas révélé efficace pour la rétention des autres produits (Marimoutou, 2020).

<sup>5</sup> Le Plan d'action Saint-Laurent (PASL) est la réalisation d'actions conjointes des gouvernements du Canada et du Québec pour conserver, restaurer, protéger et mettre en valeur le Saint-Laurent. Des actions sont réalisées sous plusieurs thèmes, entre autres l'amélioration de la qualité de l'eau, la conservation de la biodiversité, la pérennité des usages. Le projet mentionné s'inscrit dans la thématique de protection de la qualité de l'eau. Les collaborateurs étaient, au

fédéral, Agriculture et agroalimentaire Canada et, au provincial, le CEAEQ, la Direction de l'agroenvironnement et du milieu hydrique, la Direction de la qualité des milieux aquatiques. L'INRS-ETE était également engagé dans le projet qui a donné lieu à la réalisation d'un mémoire de maîtrise codirigé par le CEAEQ.

Tableau 12 Concentrations de pesticides détectés dans les sédiments en amont, en aval et dans un étang de rétention (µg/kg)

Amont de l'étang de rétention

Pesticides	2018-05-03	2018-05-28	2018-06-26	2018-07-23	2018-08-27	2018-09-24	2019-04-29	2019-05-21	2019-06-25	2019-07-22	2019-09-03	2019-09-30	2019-11-04
<b>Glyphosate-AMPA</b>													
Glyphosate	< 2	< 2	11	< 2	90	95	58	69	6	220	40	110	43
AMPA	28	< 8	15	< 8	150	230	73	260	10	190	70	180	73
<b>Pesticides émergents</b>													
Tous	CQ	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<b>OPS+</b>													
Tous	nd	nd	nd	nd	nd	nd	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Aval de l'étang de rétention

Pesticides	2018-05-03	2018-05-28	2018-06-26	2018-07-23	2018-08-27	2018-09-24	2019-04-29	2019-05-21	2019-06-25	2019-07-22	2019-09-03	2019-09-30	2019-11-04
<b>Glyphosate-AMPA</b>													
Glyphosate	< 2	< 2	< 2	< 2	110	4	< 2	46	6	14	30	68	< 2
AMPA	< 8	< 8	< 8	< 8	100	< 8	< 8	< 8	11	28	10	27	< 8
<b>Pesticides émergents</b>													
Tous	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<b>OPS+</b>													
Tous	nd	nd	nd	nd	nd	nd	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

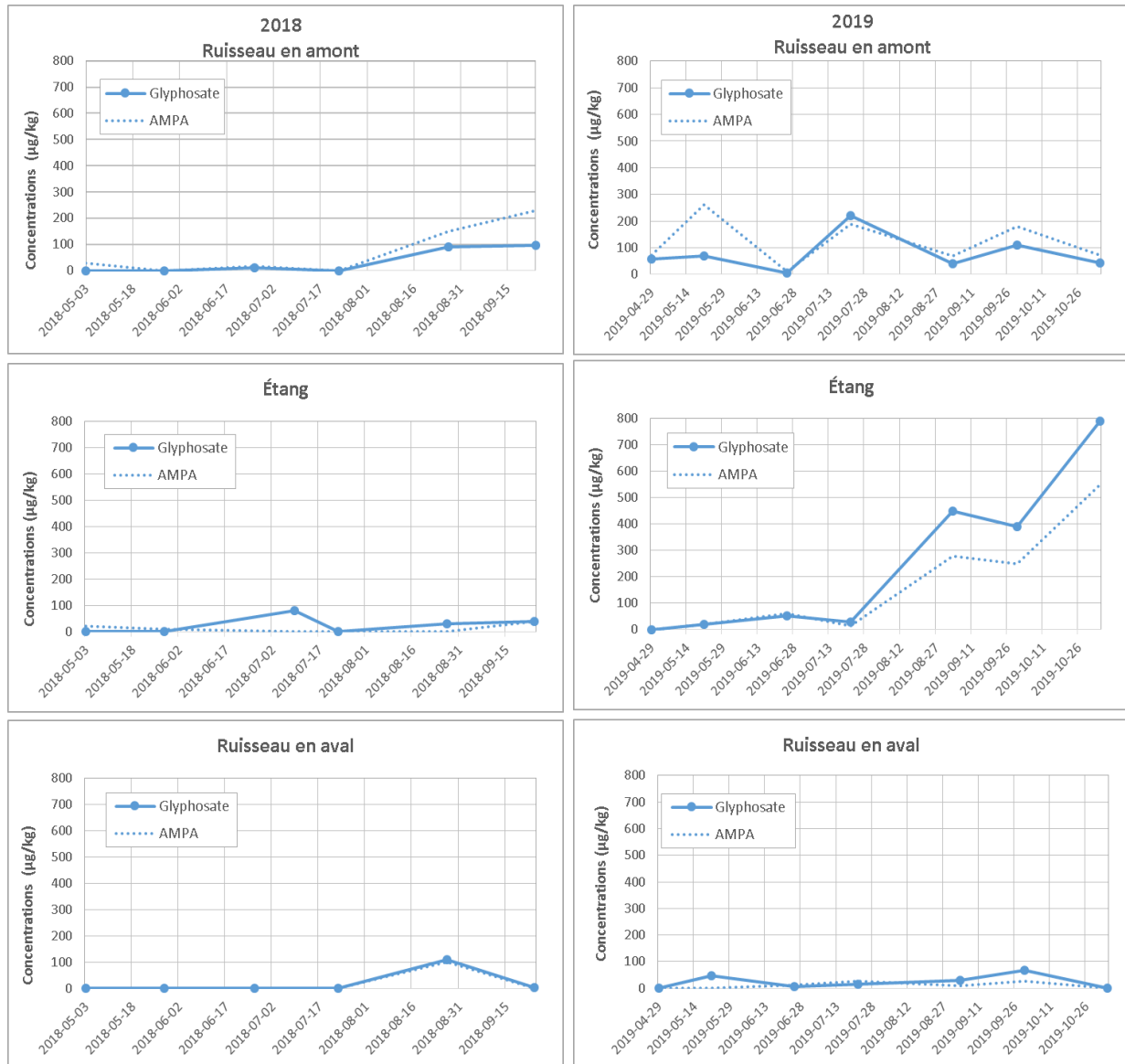
Étang de rétention

Pesticides	2018-05-03	2018-05-28	2018-07-09	2018-07-23	2018-08-27	2018-09-24	2019-04-29	2019-05-21	2019-06-25	2019-07-22	2019-09-03	2019-09-30	2019-11-04
<b>Glyphosate-AMPA</b>													
Glyphosate	< 2	< 2	80	< 2	30	40	< 2	20	52	29	450	390	790
AMPA	20	10	< 8	< 8	< 8	40	< 8	20	60	13	280	250	550
<b>Pesticides émergents</b>													
Chlorantraniliprole	NA	NA	NA	NA	NA	NA	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,4
<b>OPS+</b>													
S-Métolachlore	< 8	< 8	< 8	< 8	10	< 8	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

CQ : contrôle de qualité, échantillon rejeté.

NA : non analysé.

nd : non détecté.



**Figure 3** Évolution des concentrations de glyphosate et d'AMPA dans les sédiments en amont, en aval et dans un étang de rétention agricole

### 3 Comparaison à des concentrations mesurées ailleurs dans le monde

Au début de 2020, un contrat a été octroyé à l'Université du Québec à Montréal (UQAM) pour la réalisation d'une revue de littérature scientifique (Mahé et Nombre, 2020) sous la supervision de M<sup>me</sup> Monique Boily. L'objectif était de pouvoir comparer les pesticides et les concentrations mesurées au Québec avec des suivis réalisés ailleurs dans le monde. Il fut convenu que la revue porterait sur les 16 pesticides d'usage courant détectés dans les sédiments des rivières échantillonnées en 2019. La revue de Mahé et Nombre (2020) rassemble des informations sur environ 80 études sur la présence de pesticides dans les sédiments dans plusieurs pays.

#### 3.1 Petits cours d'eau agricoles

Au cours des dix dernières années, plusieurs études ont été menées ailleurs dans le monde afin de documenter la présence de pesticides dans les sédiments des cours d'eau.

Plusieurs études en Argentine (Aparicio et collab., 2013; Ronco et collab., 2016; Perez et collab., 2017b; Okada et collab., 2018; Perruzo et collab., 2008) et aux États-Unis (Tush, 2018; Malone et Foster, 2019; Guo et collab., 2016) ont mesuré les accumulations de glyphosate et d'AMPA dans des sédiments (tableau 13). On constate que les concentrations de glyphosate et d'AMPA mesurées dans les cours d'eau au Québec sont généralement du même ordre de grandeur que celles qui ont été mesurées dans des cours d'eau de régions agricoles en Argentine et aux États-Unis. Tout comme ici, les concentrations de glyphosate et d'AMPA sont généralement plus élevées que celles des autres pesticides.

L'atrazine et le métolachlore ont aussi été détectés dans les sédiments de la rivière El Crespo en Argentine (Perez et collab., 2017a) et l'atrazine a été détectée dans les Grands Lacs (Supérieur, Michigan, Huron) (Guo et collab., 2016). Les concentrations mesurées sont plus faibles que celles de la rivière Saint-Régis au Québec, probablement en raison de la grande taille des plans d'eau échantillonnés en comparaison de la rivière Saint-Régis et du ruisseau Rousse, les seuls parmi les cours d'eau étudiés où ces produits ont été détectés dans les sédiments.

Quelques études rapportent aussi la présence des insecticides néonicotinoïdes dans les sédiments (tableau 14). La clothianidine, le thiaméthoxame et l'imidaclopride ont été détectés dans des milieux humides (potholes) de la Saskatchewan (Main et collab., 2014) ainsi qu'aux États-Unis, dans la plaine inondable de la rivière Missouri (Kuechle et collab., 2019). Les concentrations mesurées en Saskatchewan et au Missouri sont du même ordre de grandeur que celles qui ont été mesurées dans la rivière Saint-Régis et le ruisseau Gibeault-Delisle.

Les études sur les fongicides sont plus rares. Deux études, l'une aux États-Unis et l'autre au Brésil, ont rapporté la présence d'azoxystrobine dans les sédiments. Les concentrations mesurées dans ces études (2,2 et 3,3 µg/kg) sont plus faibles que la concentration maximale détectée ici au Québec dans le ruisseau Gibeault-Delisle (66 µg/kg).

Tableau 13 Comparaison des concentrations d'herbicides mesurées dans les sédiments au Québec avec d'autres études ailleurs dans le monde

Pays	Contexte	Pesticide	Fréquence de détection %	Concentrations µg/kg	Limite de détection µg/kg	Référence
Québec	Cours d'eau 3 <sup>e</sup> ordre	Glyphosate	82,8	<2 - 820	2	Présente étude
		AMPA	78,1	< 8- 390	8	
		Atrazine	6,7	< 10 -50	10	
		S-Métolachlore	8,9	< 8 - 26	8	
Argentine	44 ruisseaux de zones agricoles (soya)	Glyphosate	66	5,7 -221	1	Aparicio et collab., 2013
	Sud-est de la province de Buenos Aires	AMPA	88,5	5,1 - 235		
Argentine	Région agricole; sud-est de la province d'Entre Rios	Glyphosate	NP	moy: 1126	0,35 - 1,1	Primost et collab., 2017
	Petits cours d'eau tributaires des rivières Gualeguay et Gualeguaychu (ordres 1 et 2) été: maïs-soya; hiver: blé	AMPA	NP	moy: 2660	0,54 - 2,59	
Argentine	Rivière El Crespo, sud-est de la province de Buenos Aires	Glyphosate	79	moy: 3,85 (18,5)	0,5	Perez et collab., 2017a
	(ordre 3- 65 km de long) BV agric., 489 km <sup>2</sup> , sédiments sableux	AMPA	96	moy: 6,18 (47,5)	0,5	
Argentine	Rivière El Crespo, 8 sites échantillonnés le long du cours d'eau	Glyphosate	-	3 - 10,5	0,5	Perez et collab., 2017b
	Accumulation par macrophyte ( <i>Ludwigia peploides</i> ) mars 2016	AMPA	-	4 - 93,5	3	
Argentine	Rivière El Crespo, échantillonnage mensuel à 8 sites	Glyphosate	95	0,5 - 75,5 moy:7	0,5	Okada et collab., 2018
	Variations saisonnières de GLY et AMPA ; détectés durant toute la période d'échantillonnage (avril 2015 à mars 2016)	AMPA	100	0,5 - 226 moy: 17,6	0,5	
Argentine	23 sites dans les rivières Paraguay, Parana et leurs tributaires	Glyphosate	36	<2 - 3004 moy: 742	2	Ronco et collab., 2016
	(prélèvements de 0-10 cm profondeur)	AMPA	17	<2 - 5374 moy: 521	2	
Argentine	4 cours d'eau (ordre 1), région fortement agricole	Glyphosate	66,7	1150 - 1850	100	Perruzo et collab., 2008
	(Pergamino-Arrecifes, province de Buenos Aires)					
É.-U.	Plusieurs rivières et ruisseaux (2006 - 2014) dans 6 États	Glyphosate	-	1,5 - 1300	NP	Tush, 2018
	8 sites agricoles échantillonnés (aussi POEA)	AMPA	-	<1 - 710	NP	
É.-U.	Ruisseaux dans la région de Wasco, Oregon (agricole, sans labour)	Glyphosate	58	< 0,02 - 240	0,02	Malone et Foster, 2019
	surtout blé; octobre 2015 -aout 2016 (prélèvements de 0-30 cm prof.)	AMPA	62,5	< 0,02 - 290	0,02	
Argentine	Rivière El Crespo, sud-est de la province de Buenos Aires	Atrazine	9,6	moy: 0,12 (2)	NP	Perez et collab., 2017a
	(ordre 3- 65 km de long) bassin agricole, 489 km <sup>2</sup> , sédiments sableux	Métolachlore	50	moy: 1,65 (15)	NP	
É.-U./Canada	Grands Lacs: Supérieur, Michigan, Huron	Atrazine	63 - 100	0,01 - 6,18	0,01	Guo et collab., 2016
	échantillonnés 2010-2012; prélèvements de prof. variées (0-30cm)					

( ) : concentration maximale.

NP: non précisé dans l'article.

POEA : polyoxyéthylène amine, surfactant utilisé avec le glyphosate.



**Tableau 14** Comparaison des concentrations d'insecticides et de fongicides mesurées dans les sédiments au Québec avec d'autres études ailleurs dans le monde

Pays	Contexte	Pesticide	Fréquence de détection %	Concentrations µg/kg	Limite de détection µg/kg	Référence
Québec		Clothianidine	6,1	< 0,5 - 24	0,5	Présente étude
		Thiaméthoxame	7,6	< 0,5 - 4,9	0,5	
		Imidaclopride	9,1	< 0,5 - 4,4	0,5	
		Azoxystrobine	12,1	< 0,5 - 66	0,5	
Chine	Rivières Dongjiang, Bejiang et Xijiang, tributaires de la rivière Pearl (49 sites échantillonnés; prof 10 cm)	Clothianidine	61 -100	ND - 1,91	0,001 - 0,005	Zhang et collab., 2019
		Thiaméthoxame	72 -96	ND - 2,13	0,001 - 0,005	
		Imidaclopride	17- 100	ND - 7,16	0,001 -0,005	
Canada	Milieux humides (pothole) en Saskatchewan, zone de 32 km <sup>2</sup> 4 municipalités; échantillonnage en 2012	Clothianidine	NP	ND - 4,4	NP	Main et collab., 2014
		Thiaméthoxame	NP	ND - 20	NP	
		Imidaclopride	NP	ND - 17,5	NP	
É.-U.	Plaine inondable de la rivière Missouri, aires de conservation 40 milieux humides aménagés étudiés en 2016 et 2017 157 échantillons de sédiments	Clothianidine	31 -55 moy: 43	< 0,2 - 11,93 moy: 0,56	0,2	Kuechle et collab., 2019
		Thiaméthoxame	0 -13 moy: 4	< 0,2 - 1,09 moy: 0,03	0,2	
		Imidaclopride	35 - 45 moy: 40	< 0,2 - 10,19 moy: 0,6	0,2	
É.-U.	10 sites (fermes de recherche) en Idaho, au Maine et au Wisconsin; Étude des sédiments de fonds et en suspension	Azoxystrobine	13	2,5	NP	Smalling et collab., 2013 b
Brésil	Rivière Lageado Tacongava	Azoxystrobine	14	3,3	NP	Chiarello et collab., 2016

ND : non détecté.

NP : non précisé dans l'article.

Tableau 15 Comparaison des concentrations d'herbicides dans les sédiments des lacs ou de grands plans d'eau

Pays	Contexte	Pesticide	Fréquence de détection %	Concentrations µg/kg	Limite de détection µg/kg	Référence
Québec	Lac Saint-Pierre et Baie Missiquoi	Glyphosate	100	< 2 - 20	2	Présente étude
		AMPA	71	< 8 - 30	8	
Portugal	Lac Vela (70 ha et prof moyenne de 0,9 m) 5 sites échantillonnés dans le lac	Glyphosate	20	< 0,03 - 20,4	< 0,03	Abrantes et collab., 2009 et 2010
Argentine	Rivière Quequen Grande (culture de soya); 9990 km <sup>2</sup> , province de Buenos Aires échantillonnée juin 2012 et janvier 2013; 10 cm de profondeur	Glyphosate	100	3 - 14	1	Lupi et collab., 2015
		AMPA	100	2 -13	1	
Argentine	Rivière Suquia (province de Cordoba); bassin de 7700 km <sup>2</sup> ; milieu agricole et urbain, 5 sites échantillonnés en 2010-2011	Glyphosate	61	< 3 - 1882	3	Bonansea et collab., 2017
		AMPA		< 3 - 266	3	
Argentine	52 lacs vastes mais peu profonds typiques de la Pampa; cultures soya, maïs, coton	Glyphosate	21	10,5 - (20,3)	NP	Castro Berman et collab., 2018
		AMPA	8	22,5 - (32,9)	NP	
Croatie	Rivière Sava (plus grand trib du Danube), 97700 km, 24 sites éch. à 5 à 10 cm de prof.; 428 contaminants analysés	Glyphosate	NP	25,4 -115	NP	Babic et collab., 2018
			NP		NP	
Sri Lanka	6 petits lacs près de champs agricoles Échantillonnés 0-10 cm de profondeur	Glyphosate	100	85 - 1011	1	Gunarathna et collab., 2018
		AMPA	78	1 - 15	1	

NP : non précisé dans l'article.

### 3.2 Lacs ou grands plans d'eau

Ici au Québec, seuls le glyphosate et son produit de dégradation, l'AMPA, ont été détectés dans les sédiments de grands plans d'eau comme le lac Saint-Pierre et la baie Missisquoi. La documentation scientifique récente sur les pesticides dans les sédiments porte elle aussi principalement sur la présence du glyphosate et de l'AMPA (Mahé et Nombre, 2020). Les concentrations de glyphosate et d'AMPA mesurées dans les sédiments du lac Saint-Pierre s'apparentent à celles qui ont été mesurées dans le lac Vela au Portugal (Abrantes et collab., 2009 et 2010), ainsi que dans la rivière Quequen Grande (Lupi et collab., 2015) et dans les lacs typiques de la Pampa (Castro Berman et collab., 2018) en Argentine (tableau 15).

Par contre, des concentrations plus élevées de glyphosate ont été mesurées dans les sédiments d'autres plans d'eau d'Argentine, de Croatie et du Sri Lanka (Bonansea et collab., 2017; Babic et collab., 2018; Gunarathna et collab., 2018).

### 3.3 Techniques d'échantillonnage et paramètres d'accompagnement

Les techniques d'échantillonnage rapportées dans la documentation scientifique sont similaires à celles qui ont été utilisées dans nos campagnes d'échantillonnage. Pour les milieux aquatiques profonds, la benne ou le carottier sont utilisés, alors que, pour les plus petits cours d'eau, des appareillages variés peuvent être utilisés. Plusieurs chercheurs mentionnent utiliser un tube en PVC, mais sans parler d'échantillonneur, suggérant des instruments « maison ».

La profondeur d'échantillonnage varie de 10 à 30 cm, mais, comme dans la présente étude, c'est le plus souvent la strate superficielle de 5 cm qui a été analysée.

Certains paramètres permettent de mieux interpréter les résultats sur la présence de pesticides dans les sédiments. Les paramètres d'accompagnement les plus souvent mentionnés dans la documentation

scientifique sont la granulométrie et le carbone organique total (COT) ou le contenu en matière organique. Habituellement, plus la granulométrie est fine et plus il y a d'adsorption. Plus le COT est élevé, plus les composés organiques vont être adsorbés aux sédiments. Dans certaines études, le pH, la conductivité ou la capacité d'échange cationique sont mentionnés et, plus rarement, on mentionne la mesure du phosphore total, des sulfures, du fer, du manganèse et du cuivre.

Cependant, ces études traitent peu de la corrélation entre ces paramètres et la présence de pesticides dans les sédiments. Les études les plus significatives ont été effectuées en Argentine et portent sur les concentrations de glyphosate dans les sédiments. Ronco et collab. (2016) mentionnent que, parmi les 23 sites analysés dans les rivières Paraguay, Paraná et leurs tributaires, les concentrations élevées de glyphosate étaient le plus souvent corrélées avec les particules fines, le phosphore total (P<sub>tot</sub>) et le fer, mais qu'à certains sites elles étaient plutôt corrélées avec la teneur en sulfures et en cuivre des sédiments. Toujours en Argentine, Okada et collab. (2018) mentionnent que la nature des sédiments de la rivière El Crespo peut augmenter la rétention du glyphosate en raison de la présence de particules argileuses et du contenu élevé en matières organiques. D'autres auteurs décrivent la physicochimie des sédiments échantillonnés, mais sans analyse de corrélation avec les concentrations de pesticides mesurées (Perez et collab., 2017b).

### 3.4 Critères de qualité pour les pesticides dans les sédiments

Dans les recommandations du CCME pour le glyphosate (CCME, 2012), les sédiments sont présentés comme une voie de dissipation des pesticides présents dans les eaux de surface. Mais la désorption possible des produits des sédiments vers la colonne d'eau ou les effets sur les organismes aquatiques de la présence de pesticides dans les sédiments ne sont pas documentés.

À part pour les organochlorés (Environnement Canada et MDDEP, 2007; CCME 2020), il n'existe pas de critères canadiens pour évaluer le risque associé à la présence des pesticides d'usage courant dans les sédiments.

Aux États-Unis, l'Institut des études géologiques (USGS) a produit des valeurs de référence (*benchmarks*) pour 129 pesticides dans les sédiments en se basant sur deux approches (Nowell et collab., 2016). La première liste de valeurs compte 48 pesticides et est basée sur des tests de toxicité sur deux organismes aquatiques. La seconde approche est l'Equilibrium partitioning (EqP), ou partage à l'équilibre, où les auteurs proposent des valeurs pour 81 pesticides.

Certaines considérations limitent l'intérêt de ces valeurs. D'abord, plusieurs pesticides détectés dans nos suivis, comme le glyphosate, les insecticides néonicotinoïdes, le chlorantraniliprole et le cyantraniliprole, ne figurent pas parmi les 129 valeurs de références développées. Des valeurs étaient disponibles pour seulement six des 18 pesticides détectés dans notre suivi des sédiments (atrazine, azoxystrobine, cararyl, fludioxonil, métolachlore, pyriméthanol).

Par ailleurs, les valeurs de références proposées par Nowell et collab. (2016) basées sur la toxicité ont été développées en considérant la toxicité pour deux organismes aquatiques, soit *Chironomus dilutus* et *Hyalella azteca*. En comparaison, notons que les critères de qualité de l'eau sont basés sur la toxicité pour un ensemble plus complet d'espèces aquatiques. Ainsi, les effets des herbicides, comme le glyphosate, présents dans les sédiments n'ont pas été testés sur des algues, des macrophytes ou des plantes aquatiques.

Nowell et collab. (2016) ont également utilisé une autre approche identique à celle de

l'US EPA (2012), soit l'approche EqP pour « Equilibrium Partitioning » ou partage à l'équilibre. L'approche du partage à l'équilibre est parfois utilisée pour déterminer des critères de qualité des sédiments lorsque des données de toxicité (issues d'essais avec sédiments) ne sont pas disponibles.

Partant de la prémisse que les pesticides présents dans les sédiments sont principalement adsorbés à la matière organique, les valeurs de référence proposées sont en µg par gramme de carbone organique (µg/g<sub>co</sub>) plutôt qu'en µg par gramme de poids sec comme le rapportent nos résultats d'analyse. Afin de comparer nos données aux valeurs de référence pour les six produits mentionnés précédemment, nous avons appliqué un facteur de correction afin de convertir nos données de pourcentage de matière organique en carbone organique total<sup>6</sup>. Des dépassements des valeurs de référence sont constatés pour l'insecticide carbaryl et l'herbicide *S*-métolachlore alors que les valeurs mesurées pour l'atrazine, l'azoxystrobine, le fludioxonil et le pyriméthanol sont largement sous les valeurs proposées (annexe 4).

Dans l'approche EqP, on considère que la concentration d'un contaminant organique dans les sédiments est à l'équilibre entre la fraction adsorbée aux sédiments et celle qui est présente dans l'eau interstitielle. Elle met l'accent sur la détermination de la concentration du polluant dans l'eau interstitielle, ce qui laisse croire que c'est cette fraction qui serait « biodisponible ». Or, comme le souligne l'EFSA, plusieurs organismes aquatiques ingèrent directement les sédiments et ne sont pas exposés aux pesticides uniquement par l'eau interstitielle. Selon l'EFSA, un facteur de sécurité supplémentaire de 10 devrait être ajouté aux valeurs développées à l'aide de l'approche EqP (EFSA, 2015).

<sup>6</sup> Le pourcentage de matière organique mesuré dans les sédiments a été multiplié par un facteur de 0,58 pour obtenir une estimation du carbone organique total (Sahlin et Agerstrand, 2018), [En ligne], [La matière organique et le carbone dans les sols Fertilité et](#)

[biodiversité - notre-environnement.gouv.fr](http://biodiversité-notre-environnement.gouv.fr); [Microsoft Word - sommaire pour repro Modif fred.doc \(cfm-roches.org\)](#).

De plus, compte tenu de la valeur parfois très variable du coefficient de partage carbone organique-eau ( $K_{co}$ ) utilisée dans l'équation et compte tenu aussi de l'absorption possible du contaminant par l'ingestion de sédiments pour certains organismes en plus de l'exposition par l'eau interstitielle, beaucoup d'incertitude demeure sur les valeurs de référence déterminées pour les sédiments avec cette approche.

En France, l'approche EqP a aussi été utilisée par l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS, 2014) pour proposer une valeur

guide pour la présence du glyphosate dans les sédiments d'eau douce (1,3 mg/kg, poids sec) et les sédiments marins (0,3 mg/kg poids sec). Par contre, on ignore si cette valeur de référence a déjà été mise en application. Quoi qu'il en soit, pour les sédiments d'eau douce, cette valeur de 1,3 mg/kg pour la présence de glyphosate est plus élevée que celle des concentrations mesurées dans le présent suivi.

## 4 Effets sur l'écosystème aquatique de la présence de pesticides dans les sédiments

La revue de littérature réalisée par l'UQAM (Mahé et Nombre, 2020) avait aussi comme objectif secondaire de vérifier l'existence de données scientifiques sur les effets sur l'écosystème aquatique de la présence de pesticides dans les sédiments. Leur constat est que peu d'études ont été conduites *in situ* pour un suivi des effets des pesticides dans les sédiments sur la flore (algues et macrophytes) ou la faune aquatique (zooplancton, macroinvertébrés et vertébrés). La plupart des études portent sur des essais en laboratoire avec des sédiments enrichis.

Malgré le fait que plusieurs études récentes montrent que le glyphosate et l'AMPA sont détectés dans les sédiments en concentrations relativement élevées par rapport aux autres pesticides d'usage courant, les études sur leurs effets sur les espèces aquatiques sont peu nombreuses.

Tsui et Chu (2004) ont évalué la toxicité sédimentaire du glyphosate avec deux formulations commerciales (Roundup et Roundup Biactive) sur *Ceriodaphnia dubia*. Le Roundup Biactive était moins toxique (CL<sub>50</sub>-48h, 340 mg/kg – poids sec) que le Roundup (CL<sub>50</sub>-48h, 244 mg/kg – poids sec) à 0 % de carbone organique dans les sédiments. La CL<sub>50</sub> correspond à la concentration létale pour 50 % des organismes testés. Les surfactants (polyoxyéthylène amine - POEA) du Roundup étaient considérablement plus adsorbants dans les sédiments que ceux du Roundup Biactive à la même teneur de carbone organique. Une augmentation de carbone organique a considérablement réduit la toxicité du Roundup dans les sédiments, mais cet effet n'a pas été observé pour le Roundup Biactive. Les auteurs ont conclu que le glyphosate était toxique dans les sédiments et que cette toxicité était augmentée en présence de surfactant et de faibles teneurs de carbone organique. Il est important de souligner que l'exposition des

ceriodaphnies a été faite à partir de l'eau interstitielle des sédiments contaminés. La toxicité observée chez cet organisme pourrait ainsi avoir été sous-estimée, comparativement à celle chez un organisme benthique vivant en contact constant avec le sédiment entier.

Dans une étude de 28 jours en mésocosmes extérieurs, Magbanua et collab. (2013a) ont exposé du périphyton à différentes concentrations de glyphosate dans l'eau (50, 200 et 370 µg/l) en association avec des sédiments fins (0, 25, 75 et 100 %) non contaminés. L'objectif de l'étude était de vérifier si l'augmentation de sédiments et de glyphosate dans un système aquatique avait des effets individuels ou additifs, si la présence de sédiments pouvait réduire la toxicité du glyphosate ou, au contraire, prolonger l'exposition à ce produit. Individuellement, l'ajout de sédiments a affecté toutes les variables considérées (couverture algale, chlorophylle a, densité algale totale, richesse taxonomique des communautés algales et régularité de la distribution des espèces) alors que l'ajout de glyphosate seul n'a affecté que la régularité de la distribution des espèces. Toutefois, en combinaison, les deux facteurs semblent agir en synergie. Ainsi, l'augmentation des sédiments fins dans le mésocosme augmente la toxicité du glyphosate pour les espèces ayant un profil allongé (*high profile guild*) et provoque une abondance relative plus faible chez les espèces au profil plus court (*low profile guild*).

Dans une expérience similaire, Magbanua et collab. (2013b) ont exposé des macroinvertébrés pendant 28 jours dans des mésocosmes extérieurs, à des ajouts variables de glyphosate (0, 50, 200, 375 µg/l) et de sédiments (0,25 %, 75 % et 100 % de recouvrement). L'ajout de sédiments a affecté 8 des 10 invertébrés les plus communs colonisant les mésocosmes et a affecté 12 des 15 traits biologiques



caractérisant ces invertébrés. En comparaison, l'ajout de glyphosate n'a affecté que deux taxons et deux traits biologiques. Les auteurs en concluent que les invertébrés aquatiques seraient davantage affectés par le dépôt de sédiments que par les concentrations de glyphosate.

Dans des tests en laboratoire, Fuentes et collab. (2014) ont examiné la toxicité du glyphosate dans l'eau en présence ou non de sédiments pour des larves d'anoues. Cinq espèces de grenouille et une espèce de crapaud ont été exposées pendant 96 heures à de l'eau contaminée par deux formulations du glyphosate (Roundup et Roundup WeatherMAX), en présence de différentes proportions de sédiments non contaminés. Pour les six espèces, les deux formulations, ont montré des valeurs de LC<sub>50</sub>, NOEC et LOEC plus élevées en présence de sédiments, montrant que la présence de sédiments tend à diminuer la toxicité du produit pour ces espèces. Toutefois, notons que les tests ont été réalisés avec des sédiments non contaminés et que la présence de glyphosate dans les sédiments à la fin de l'étude n'a pas été testée.

Il est toutefois important de noter que, dans ces deux dernières études, l'exposition a été faite par l'eau et non par exposition directe des organismes à des sédiments contaminés. La toxicité observée pourrait ainsi avoir été sous-estimée.

Dans la documentation scientifique, très peu d'études portent sur la toxicité de pesticides retrouvés dans les sédiments pour les macrophytes.

Dans les tests de toxicité, les lentilles d'eau *Lemna minor* et *Lemna gibba* sont souvent considérées comme représentatives des plantes aquatiques. Pour vérifier la toxicité des contaminants liés aux sédiments, il est toutefois plus pertinent d'utiliser des plantes qui s'enracinent. Après différents essais, Teodorovic et collab. (2012) suggèrent que *Myriophyllum aquaticum* devrait être utilisé en complément des autres espèces dans les évaluations de risque, notamment dans le

cas de la présence de contaminants dans les sédiments.

Dans une étude en laboratoire visant le développement d'un outil complémentaire pour la mesure de la toxicité des sédiments sur le taux de croissance du myriophylle aquatique *Myriophyllum aquaticum*, Schreiber et collab. (2011) ont exposé pendant 13 jours le myriophylle à des concentrations d'atrazine. Basée sur les mesures de fluorescence de la chlorophylle et du changement de poids des pousses de myriophylle, la présence des concentrations testées les plus élevées, soit 10,6 mg/kg et de 3,54 mg/kg dans les sédiments, avait inhibé la fluorescence et limité la croissance des pousses de myriophylle. Notons que ces concentrations sont plus élevées que celles qui ont été mesurées dans les sédiments pour la présente étude.

Qu et collab. (2016) se sont pour leur part intéressés au rôle des macrophytes dans l'élimination de l'atrazine des sédiments. Cette étude ne portait donc pas sur l'effet de l'atrazine sur les plantes elles-mêmes, mais bien sur le devenir du produit dans le milieu. Leurs résultats révèlent qu'en présence des deux macrophytes à l'étude (*Potamogeton crispus* et *Myriophyllum spicatum*), sur une période de 45 jours, le taux d'élimination de l'atrazine présent dans les sédiments était de plus de 90 %, contrairement à 77,2 % dans les sédiments sans macrophytes. De plus, la demi-vie de l'atrazine dans les sédiments en présence des macrophytes était de 8,6 jours (*Potamogeton crispus*) et de 9,7 jours (*Myriophyllum spicatum*), tandis que, dans les sédiments en absence de macrophytes, la demi-vie était de 14,3 jours. Les auteurs ont conclu que ces deux macrophytes submergés peuvent être considérés comme des outils potentiels pour l'assainissement des sédiments contaminés par l'atrazine.

Deux études récentes traitent des effets du fongicide fludioxonil présent dans les sédiments sur des espèces aquatiques. Dans une étude en microcosmes, Yin et collab. (2018) ont étudié, sur une période de 28, 56 et 84 jours, les effets de la présence

de fludoxonil dans les sédiments sur des macroinvertébrés benthiques et du zooplancton. Les concentrations testées étaient de 1,7, 5,2, 15,2 51,8, 154,8 et 614,1 mg/kg. Les concentrations de fludoxonil mesurées dans l'eau interstitielle des sédiments étaient de 16 à 26 fois supérieures aux concentrations dans la colonne d'eau. Pour les concentrations les plus élevées dans les sédiments (154,8 et 614 mg a.i./kg de poids sec), ils ont observé un déclin des populations d'oligochètes, de rotifères et de cladocères. L'oligochète le

plus sensible était *Dero digitata* avec une concentration sans effet observable (CSEO) de 14 mg/kg et le zooplancton le plus sensible était le cladocère *Diaphanosoma brachyurum* avec une concentration sans effet observable (CSEO) de 5 mg/kg.

Pour les autres pesticides traités dans la revue de Mahé et Nombre (2020), aucune information n'a été trouvée en regard de leurs effets sur les organismes aquatiques.



## CONCLUSION

Le glyphosate et l'AMPA ont été détectés dans les sédiments des 18 sites échantillonnés au cours des dernières années. Dans les petits cours d'eau agricoles, les concentrations dans les sédiments varient de 10 à 820 µg/kg pour le glyphosate et entre 17 et 250 µg/kg pour l'AMPA. Dans un bassin de rétention à proximité de champs en grandes cultures, les concentrations ont varié de 29 à 790 µg/kg pour le glyphosate et de 13 à 550 µg/kg pour l'AMPA. Dans les plus grands plans d'eau comme la baie Missisquoi ou le lac Saint-Pierre, les concentrations se situent entre <2 et 20 µg/kg pour le glyphosate et entre <8 et 30 µg/kg pour l'AMPA. Ces constats sont cohérents avec ce qui est observé ailleurs dans le monde et tiré de la revue de littérature réalisée en 2020 pour le ministère par l'UQAM.

Les concentrations mesurées dans les sédiments et le nombre de pesticides détectés sont plus importants dans les cours d'eau qui drainent des secteurs de cultures maraîchères, possiblement en raison de la plus forte proportion de matière organique dans les sédiments pour les secteurs de « terres noires », où les sols sont davantage organiques. Ainsi, en plus du glyphosate et de l'AMPA, 13 pesticides ont été détectés dans les sédiments du ruisseau Gibeault-Delisle, 10 dans la rivière Saint-Régis, 6 dans le ruisseau Rousse et 1 dans les rivières des Hurons, La Guerre, dans le ruisseau Déversant du Lac et dans le bassin de rétention en milieu agricole. Pour les autres sites, seuls le glyphosate et l'AMPA ont été détectés.

On ne dispose pas de critères de qualité québécois ou canadiens pour la présence de pesticides dans les sédiments. Les valeurs de référence récemment proposées par

l'USGS et basées notamment sur l'approche de partage à l'équilibre (EqP) comportent nombre d'incertitudes et on ignore si ces valeurs ont véritablement été mises en application dans un contexte de réseau de suivi. Toutefois, à titre indicatif, les quelques valeurs de référence de l'USGS disponibles pour les pesticides détectés dans la présente étude montreraient des dépassements pour l'herbicide  $\beta$ -métolachlore et l'insecticide carbaryl. À l'inverse, une valeur de 1,3 mg/kg pour la présence de glyphosate dans les sédiments, proposée en France par l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS), n'est pas dépassée, mais, ici aussi, différentes incertitudes méthodologiques font que la signification environnementale des dépassements et des non-dépassements de ces valeurs guides demeure bien incertaine.

Par ailleurs, aucune valeur de référence pour les sédiments n'est disponible pour les autres pesticides détectés, comme les insecticides néonicotinoïdes, le chlorantraniliprole, le cyantraniliprole.

De plus, la documentation scientifique portant sur les effets sur les espèces aquatiques des pesticides d'usage courant présents dans les sédiments est relativement rare. Pour le moment, il est donc difficile d'évaluer le risque pour les espèces aquatiques des concentrations de pesticides décelés dans les cours d'eau québécois, notamment l'effet du glyphosate et de l'AMPA présents dans les sédiments. Ces aspects seraient à explorer à nouveau au cours des prochaines années. Des travaux sont d'ailleurs en cours dans le cadre du Plan d'action Saint-Laurent afin de mettre en place une méthode visant à évaluer la toxicité des sédiments contaminés par des pesticides pour des plantes aquatiques enracinées.

## BIBLIOGRAPHIE

- ABRANTES, N., R. PEREIRA, D.R. DE FIGUEIREDO, C.R. MARQUES, M.J. PEREIRA et F. GONÇALVES (2009). A whole sample toxicity assessment to evaluate the sub-lethal toxicity of water and sediment elutriates from a lake exposed to diffuse pollution. *Environmental Toxicology*, 24 :259-270. DOI : 10.1016/j.scitotenv.2016.05.062.
- APARICIO, V.C., E. DE GERONIMO, D. MARINO, J. PRIMOST, P. CARRIQUIRIBORDE et J.L. COSTA (2013). Environmental fate of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in surface waters and soil of agricultural basins, *Chemosphere*, 93 : 1866-1873.
- BABIC, S., J. BARISIÉ, D. STIPANIEEV, S. REPEC, M. LOVRIÉ, O. MALEV, D. MARTINOVIÉ-WEIGELT, R. COZ-RAKOVAC et G. KLOBUCAR (2018). Assessment of river sediment toxicity : Combining empirical zebrafish embryotoxicity testing with silico toxicity characterization. *Science of the Total Environment*, 643 : 435-450. DOI : 10.1016/j.scitotenv.2018.06.124.
- BELDEN, J.B., B.R. HANSO, S.T. MCMURRY, L.M. SMITH et D.A. HAUKOS, (2012). Assessment of the effects of Farming and conservation programs on pesticide deposition in high plains wetlands, *Environmental Science & Technology*, 46 : 3424-3432. DOI : 10.1021/es300316q.
- BONANSEA, R.I., I. FILIPPI, D.A. WUNDERLIN, D.J.G. MARINO et M.V. AMÉ (2017). The fate of glyphosate and AMPA in a freshwater endorheic basin : An ecotoxicological risk assessment. *Toxics*, 6, (1), 13. DOI : 10.3390/toxics6010003.
- CHIARELLO, M., R. NEIMAIER GRAEFF, L. MINETTE, G. CEMIN, V. E. SCHNEIDER et S. MOURA (2017). Determinação de agrotóxicos na água e sedimentos por HPLC-HRMS e sua relação com o uso e ocupação do solo. *Quim. Nova*, vol. 40, no 2: 158-165.
- CASTRO BERMAN, M., D.J.G. MARINO, M.V. QUIROGA et H. ZAGARESE (2018). Occurrence and levels of glyphosate and AMPA in shallow lakes from the Pampean and Patagonian regions of Argentina. *Chemosphere*, 200 : 513-522. DOI : 10.1016/j.chemosphere.2018.02.103.
- CCME (2012). *Glyphosate. Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux: protection de la vie aquatique*, Conseil canadien des ministres de l'Environnement.
- CCME (2020). *Tableau sommaire sur les critères dans les sédiments*, Consulté le 23 juin 2020, [En ligne], <http://sts.ccme.ca/fr/index.html?chems=102&lang=fr>.
- DEVEAULT, D.A., G. MERLINA, P.LIM, J.L. PROBST et E. PINELLI (2007). Multi-residues analysis of pre-emergence herbicides in fluvial sediments : application to the mid-Garonne River, *Journal of Environmental Monitoring*. DOI : 10.1039/b70845b.
- EFSA (2015) *Scientific opinion on the effect assessment for pesticides on sediment organisms in edge-of-field surface water*, European Food Safety Authority, EFSA J.;13.145 p. <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/4176>
- ENVIRONNEMENT CANADA et MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS (2007). *Critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments au Québec et cadres d'application: prévention, dragage, restauration*, Plan Saint-Laurent, Pour un développement durable, 39 p.
- FUENTES, L. L. J. MOORE, J. H. RODGERS, W. W. BOWERMAN, G. K. Y. ARROW et W. Y. CHAO (2014). Role of

- sediments in modifying the toxicity of two Roundup formulations to six species of larval anurans. *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 33, n° 11 : 2616-2620.
- GIROUX, I. (2018). *État de situation sur la présence de pesticides au lac saint-Pierre*, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction de l'information sur les milieux aquatiques, [En ligne], [www.environnement.gouv.qc.ca/eau/lac-st-pierre/etat-presence-pesticides.pdf](http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/lac-st-pierre/etat-presence-pesticides.pdf)
- GIROUX, I., et J. FORTIN (2010). *Pesticides dans l'eau de surface d'une zone maraîchère – Ruisseau Gibeault-Delisle dans les « terres noires » du bassin versant de la rivière Châteauguay de 2005 à 2007*, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement et Université Laval, Département des sols et de génie agroalimentaire, ISBN 978-2-550-59088-0 (PDF), 28 p.
- GUNARATHNA, S., B. GUNAWARDANA, M. JAYAWEERA, J. MANATUNGE et K. ZOYSA (2018). Glyphosate and AMPA of agricultural soil, surface water, groundwater and sediments in areas prevalent with chronic kidney disease of unknown etiology, Sri Lanka. *Journal of Environmental Science and Health, Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 53 (11) : 729-737. DOI : 10.1080/03601234.2018.1480157.
- GUO, J., Z. LI, P. RANASINGHE, S. BONINA, S. HOSSEINI, M.B. CORCORAN, C. SMALLEY, R. KALIAPPAN, Y. WU, D. CHEN, A.L. SANDY, Y. WANG, K.J. ROCKNE, N.C. STURCHIO, J.P. GIESY et A. LI (2016). Occurrence of Atrazine and related Compounds in sediments of Upper Great Lakes. *Environmental Science & Technology*, 50 : 7335-7343. DOI : 10.1021/acs.est.6b00706.
- HUNG, C.-C., G.C GONG, H.-Y. CHEN, H.-L. HSIEH, P.H. SANTOSCHI, T.L. WADE et J.L. SERICANO (2007), Relationships between pesticides and organic carbon fractions in sediments of the Danshui River estuary and adjacent coastal areas of Taiwan, *Environmental Pollution*, vol. 148, n° 2: 546-554.
- INERIS (2014) Normes de qualité environnementale et valeurs guides environnementales, Portail substances chimiques <https://substances.ineris.fr/fr/page/9>
- KUECHLE, K.J., E.B. WEBB, D. MENGEL et A.R. MAIN (2019). Factors influencing neonicotinoid insecticide concentrations in floodplain wetland sediments across Missouri. *Environmental Science & Technology*, 53 : 10591-10600. DOI : 10.1021/acs.est.9b01799.
- LALIBERTÉ, D. (1990). *Teneurs en métaux, BPC pesticides organochlorés, HAP et composés phénoliques des sédiments et des poissons des rivières du Québec en 1987*. Direction de la qualité du milieu aquatique, ministère de l'Environnement.
- LONG, J.L.A., W.A. HOUSE, A. PARKER et J.E. RAE (1998). Micro-organic compounds associated with sediments in the Humber rivers. *Science of the Total Environment*, 210 : 229-253. DOI : 10.1016/S0048-9697(98)00015-1.
- LUPI, L., K.S.B. MIGLIORANZA, V.C. APARICIO, D. MARINO, F. BEDMAR et D.A. WUNDERLIN (2015). Occurrence of glyphosate and AMPA in an agricultural watershed from the southeastern region of Argentina. *Science of the Total Environment*, 536 : 687-694. DOI : 10.1016/j.scitotenv.2015.07.090.
- MA, Y. T. XU, Q MAO, X. ZHOU, R. WANG, J.SUN, A. ZHANG et S. ZHOU (2021) Distribution and flux of organochlorine pesticides in sediment from Prydz Bay, Antarctic: Implication of sources and trends, *Science of The Total*

- Environment*, 10 déc. 2021, vol. 799, p.149380
- MAGBANUA, F.S., C.R. TOWNSEND, K.J. HAGEMAN, K. LANGE, G. LEAR, G.D. LEWIS et C.D. MATTHAEI (2013a). Understanding the combined influence of fine sediment and glyphosate herbicide on stream periphyton communities, *Water Research*, 15 sept. 2013; vol. 47, n° 14 : 5110-5120.
- MAGBANUA, F.S., C.R. TOWNSEND, K.J. HAGEMAN et C.D. MATTHAEI (2013b). Individual and combined effects of fine sediment and glyphosate on benthic macroinvertebrates and stream ecosystem function, *Freshwater Biology*, vol. 58, 1729-1744.
- MAHÉ, C., et Y. NOMBRE (2020). *Présence de pesticides dans les sédiments*. Revue de littérature réalisée par l'UQAM pour le MELCC. X p.
- MAIN, A.R., J.V. HEADLEY, K.M. PERU, N.L. MICHEL, A.J. CESSNA et C.A. MORISSEY (2014). Widespread use and frequent detection of neonicotinoid insecticides in wetlands of Canada's Prairie Pothole region. *PLOS ONE*, 6. DOI : 10.1371/journal.pone.0101400.
- MALONE, M., et E. FOSTER (2019). A mixed-methods approach to determine how conservation management programs and techniques have affected herbicide use and distribution in the environment over time. *Science of the Total Environment*, 660: 145-157. DOI : 10.1016/j.scitotenv.2018.12.266.
- MARIMOUTOU, M. (2020). *Étude d'un bassin de rétention en milieu agricole pour capter les polluants des eaux de surface*. Mémoire de maîtrise présenté à l'Institut national de la recherche scientifique INRS-ETE, Université du Québec, 78 p.
- NOWELL, L.H., J.E. NORMAN, C.G. INGERSOL et P.W. MORAN (2016). Development and application of freshwater sediment toxicity benchmarks for currently used pesticides, *Science of the Total Environment*, 550: 835-850.
- NOWELL, L.H., P.D. CAPEL et P. D. DILEANIS (1999). *Pesticides in Stream sediment and aquatic biota, Distribution, Trends, and Governing factors*, Lewis Publishers. ISBN 1-56670-469-3, 1001 p.
- OKADA, E., D. PÉREZ, E. DE GERONIMO, V. APARCIO, H. MASSONE et J.L. COSTA (2018). Non-point source pollution of glyphosate and AMPA in a rural basin from the southeast Pampas, Argentina. *Environmental Science and Pollution Research*, 25 (15) : 15120-15132. DOI : 10.1007/s11356-018-1734-7.
- PAUL, M., et D. LALIBERTÉ (1989). *Teneurs en BPC, HAP et pesticides organochlorés dans les sédiments et les poissons des rivières L'Assomption Richelieu, Yamaska, Saint-François et du lac Saint-Pierre en 1986*. Direction de la qualité du milieu aquatique, ministère de l'Environnement.
- PÉREZ, D.J., E. OKADA, E. DE GERONIMO, M.L. MENONE, V.C. APARCIO et J.L. COSTA (2017a). Spatial and temporal trends and flow dynamics of glyphosate and other pesticides within an agricultural watershed in Argentina. *Environment Toxicology and Chemistry*, 36 (12) : 3206-3216. DOI : 1002/etc.3897.
- PÉREZ, D.J., E. OKADA, M.L. MENONE et J.L. COSTA (2017b). Can an aquatic macrophyte bioaccumulate glyphosate ? Development of a new method of glyphosate extraction in *Ludwigia peploides* and watershed scale validation. *Chemosphere*, 185 : 975-982. DOI : 10.1016/j.chemosphere.2017.07.093.
- PERRUZO, P.J., A. A. PORTA et A.E. RONCO (2008). Levels of glyphosate in surface waters sediments and soils associated with direct sowing soybean cultivation in north pampasic region of Argentina. *Environmental Pollution*, 156 (1) : 61-66. DOI : 10.1016/j.envpol.2008.01.015.

- PRIMOST, J.E., D.J.G. MARINO, V.C. APARICIO, J.L. COSTA et P. CARRIQUIRIBORDE (2017). Glyphosate and AMPA, pseudo-persistent pollutants under real-world agricultural management practices in the Mesopotamic Pampas agroecosystem, Argentina. *Environmental Pollution*, 229: 771-779. DOI : 10.1016/j.envpol.2017.06.006.
- QU, M., H. LI, N.LI, J. ZHAO, Y. HUA et D. ZHU (2016). Distribution of atrazine and its phytoremediation by submerged macrophytes in lake sediments. *Chemosphere*, Dec 2016, 168:1515-1522.
- R CORE TEAM (2022). *R : A Language and environment for statistical computing*. R Foundation for statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- RONCO, A.E., D. J. G. MARINO, M. ABELANDO, P. ALMADA et C.D. APARTIN (2016). Water quality of the main tributaries of the Parana Basin: glyphosate and AMPA in surface and bottom sediments, *Environ. Monit. Assess*, 188:458, 13 p., DOI 10.1007/s10661-016-5467-0.
- SCHREIBER, R., A.KUSTER, U. FEILER, M. GROTE et R. ALTENBURGER (2011). A non-invasive observation parameter to complement sediment bioassays using *Myriophyllum aquaticum*. *J. Soils Sediments*, 11:1419-1431
- SMALLING, K. L. et K. M. KUIVILA (2008). Multi-residue method for analysis of current-use and legacy pesticides in bed and suspended sediments. *Journal of Chromatography A*, 1210: 8-18.
- SMALLING, K. L., J. L. ORLANDO, D. CALHOUN, W. A. BATTAGLIN et K. M. KUIVILA (2012). *Occurrence of pesticides in water and sediment collected from amphibian habitats located throughout the United States, 2009-2010*. USGS, Data Series report 707, 40 p.
- SMALLING, K. L., K. M. KUIVILA, J. L. ORLANDO, B. M. PHILLIPS, B. S. ANDERSON, K. SIEGLER, J.W. HUNT, M. HAMILTON (2013a). Environmental fate of fungicides and other current-use pesticides in a central California estuary, *Marine Pollution Bulletin*, 73:144-153.
- SMALLING, K. L., T.J. REILLY, M. W. SANDSTROM, K.M. KUIVILA (2013b). Occurrence and persistence of fungicides in bed sediments and suspended solids from three use areas in Unites States. *Science of the Total Environment*, 447: 179-185.
- TEODOROVIC, I., V. KNEZEVIC, T. TUNIC, M. CUCAK, J. N. LECIC, A.LEOVAC et I. I. TUMBAS (2012) *Myriophyllum Aquaticum* versus *Lemna Minor* sensitivity and recovery potential after exposure to atrazine. *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 31, n° : 417-426.
- TSUI, M. T. K. et L.M. CHU (2004). Comparative toxicity of glyphosate-based herbicides: Aqueous and sediment porewater exposure. *Arch. Environ. Contam. 46:316-323*.
- TUSH, D., M.M. MAKSIMOWICZ et M.T. MEYER (2018). Dissipation of polyoxyethylene tallow amine (POEA) and glyphosate in an agricultural field and their co-occurrence on streambed sediments. *Science of the Total Environment*, 636 : 212-219. DOI : 10.1016/j.scitotenv.2018.04.246.
- US EPA (2012). *Equilibrium partitioning sediment benchmarks (ESBs) for the protection of benthic organisms : Procedure for the determination of the freely dissolved interstitial water concentrations of nonionic organics*, United States Environmental Protection Agency, EPA/600/R-02/012.
- WANG, S., B. SEIWERT, M. KASTNER, A. MILTNER, A. SCHAFFER, T. REEMTSMA, Q. YANG et K.M. NOWAK (2016). (Bio)degradation of glyphosate in water-sediment microcosms – A stable



isotope co-labelling approach. *Water Research*, vol. 99: 91-100.

YIN, X. H., T. C. M. BROCK, L. E. BARONE, J. D. M. BELGERS, M.-C. BOERWINKEL, L. BUIJSE, R.P. A. VAN WIJNGAARDEN, M. HAMER et I. ROESSINK (2018). Exposure and effects of sediment-spiked fludioxonil on macroinvertebrates and zooplankton in outdoor aquatic microcosms. *Science of the Total Environment*, vol. 610-611 :1222-1238.

ZHANG, C., D. TIAN, X. YI, T. ZHANG, J. RUAN, R. WU, C. CHEN, M. HUANG et G. YING, (2019). Occurrence, distribution and seasonal variation of five neonicotinoid insecticides in surface water and sediment of the Pearl Rivers, South China. *Chemosphere*, vol. 217 :437-446.

## ANNEXES



**Annexe 1 Méthodologie pour l'utilisation du carottier****Préparation et assemblage de l'appareil**

Couper les tubes de plastique (HDPE) de 120 cm en deux tubes de 60 cm pour en avoir un plus grand nombre. Cette opération permet d'utiliser un tube différent pour chaque station et ainsi d'éviter la contamination d'un lieu à l'autre, tout en limitant la fréquence des nettoyages et les coûts d'achat. À l'usage, il est apparu que de réduire davantage la longueur des tubes pourrait affecter la stratification de l'échantillon lors de l'extraction de l'échantillon du tube.

**Prélèvement des échantillons**

Enfoncer le carottier plus profondément que les cinq premiers centimètres requis. Autrement, les sédiments auront du mal à tenir dans le tube, particulièrement dans le cas des substrats grossiers. Placer un bouchon au bout du tube avant de le sortir de l'eau afin de conserver intacte la structure de l'échantillon.

Placer le carottier au-dessus de la tige d'extraction et insérer la pastille dans le tube. Cette opération et les étapes suivantes sont peu commodes, car il faut travailler en hauteur. Il faudrait envisager de couper la tige filetée afin de la raccourcir.

Retirer la carotte du tube. Cette étape est parfois difficile, car il faut à la fois le soulever et lutter contre la succion. Il est facilitant de relever le capuchon avec un objet mince afin de laisser l'air entrer dans le tube. Cela réduit aussi le risque d'altérer l'échantillon au moment où le carottier se détache et la pression se rééquilibre.

Enfoncer le tube sur la tige jusqu'à ce que les sédiments affleurent à son extrémité. Cette étape est parfois difficile à cause de la friction de la carotte dans le tube. Il est possible de s'aider en agitant ou en tournant le tube, mais il faut éviter que la pastille qui pousse sur la carotte de sédiments se désaxe. De plus, le joint torique qui scelle la pastille semble se gonfler au contact de l'eau et ainsi perdre son gabarit. Il peut devenir plus lâche, se coincer ou se déplacer. Il est donc préférable de le changer entre les carottages et le mettre à sécher.

Placer la pastille à cinq centimètres du bas du tube en se servant des espaceurs de 1 cm. Ces

derniers pourraient être fixés ensemble de façon semi-permanente afin de faciliter leur utilisation, puisque le même nombre est toujours employé. Continuer d'enfoncer le tube jusqu'à ce qu'il atteigne la butée ou s'arrêter avant et y aller en plusieurs étapes pour éviter de perdre des sédiments. Toute la matière excédant l'extrémité supérieure du tube fait partie du 0 à 5 cm qu'il faut récolter. Comme la quantité de sédiments nécessaire à l'analyse granulométrique était plus importante que la section de tube ( $\pi \times \text{rayon}^2 \text{ du tube} \times 5 \text{ cm}$ ), il fallait récolter plus d'une carotte, souvent quatre. Dans le cours d'eau, effectuer le carottage de l'aval vers l'amont.

Utiliser un bac de plastique recouvert de deux couches de papier d'aluminium extra fort pour récolter les sous-échantillons de sédiments. Mélanger l'ensemble de l'échantillon dans le bac afin de le rendre homogène. Lorsque les conditions de terrain le permettent, il est aussi possible de décharger l'échantillon directement dans la bouteille d'échantillon.

Dans les substrats sableux, la carotte ne tient pas suffisamment pour permettre l'extraction, le sable s'écoule du tube avant même de pouvoir y mettre un bouchon.

La présence de cailloux de tailles diverses nuit à l'enfoncement du tube dans le sol, allant même jusqu'à l'endommager si l'on exerce trop de pression. Pour cette raison, les pesées qui accompagnent l'appareil n'ont pas été utiles vu la faible profondeur des milieux échantillonnés. Dans la plupart des cas, la force des bras et le poids du corps ont été suffisants pour enfoncer le carottier. L'emploi d'une force plus grande avec les pesées aurait probablement causé le bris des tubes dans les substrats grossiers ou avec des cailloux.

**Nettoyage des tubes**

Le nettoyage des tubes et des ustensiles en vue de les réutiliser plus tard aux mêmes stations a été fait avec une solution savonneuse et une suite de trempages, de frottages et de rinçages. Noter que l'acétone endommage irrémédiablement les tubes.

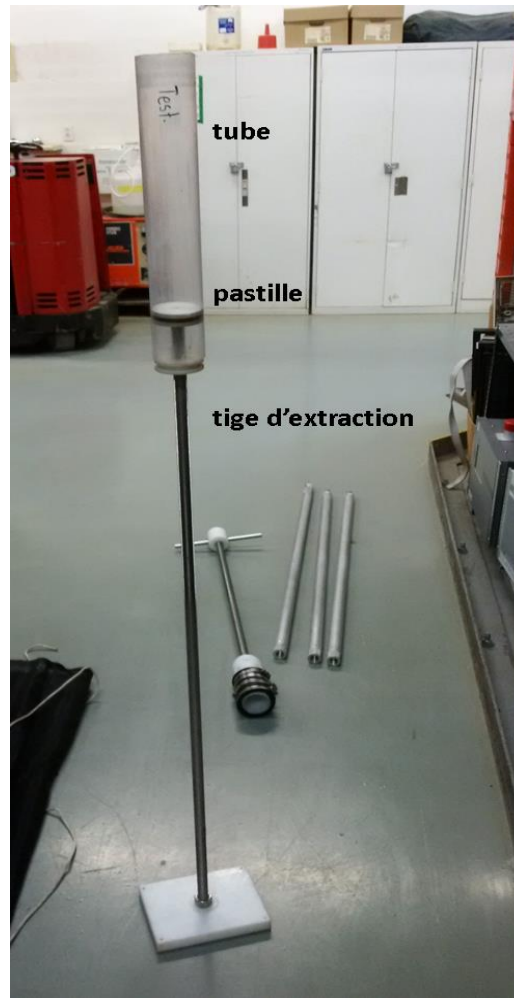
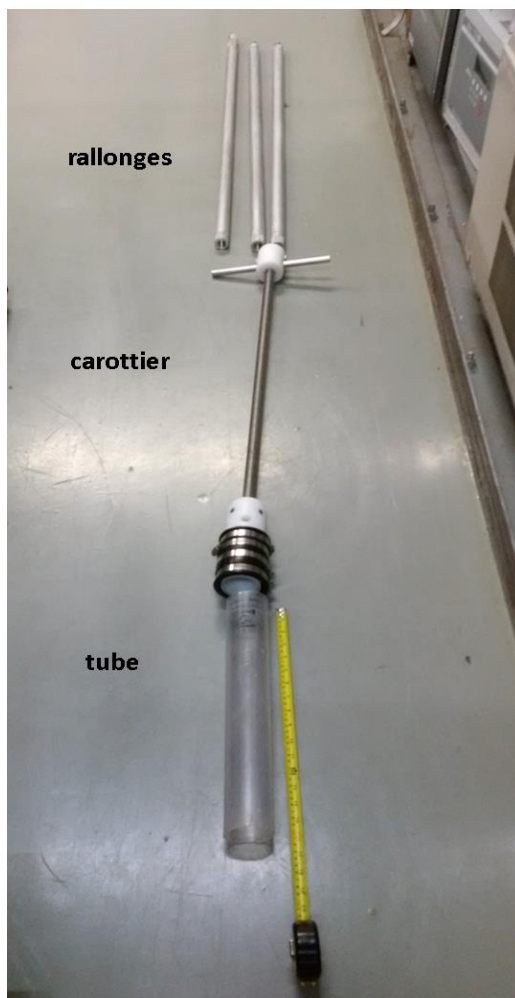
Après quelques carottages, la faiblesse du plastique des tubes est vite apparue. Certes, il est possible de couper la tranche endommagée et de prolonger un peu la durabilité de la pièce,

mais l'usure demeure évidente. L'achat de nouveaux tubes peut se révéler intéressant vu leur prix relativement faible. Il faudrait envisager l'utilisation de matériaux plus résistants.

#### **Détecteur de métal pour l'échantillonnage au lac Saint-Pierre**

L'utilisation d'un détecteur de métal (modèle Garrett, Sea Hunter Mark II) pour l'échantillonnage au lac Saint-Pierre comporte plusieurs sources d'imprécision :

- L'ajustement de l'appareil qui relève de l'essai-erreur;
- Étendue du site sondé imprécis en raison des vagues et de la dérive du bateau;
- Difficulté à évaluer la distance entre le détecteur et le fond et cette distance est aussi dépendante du niveau d'eau ;
- Portée efficace inconnue de l'engin à l'intérieur du sédiment.
- 

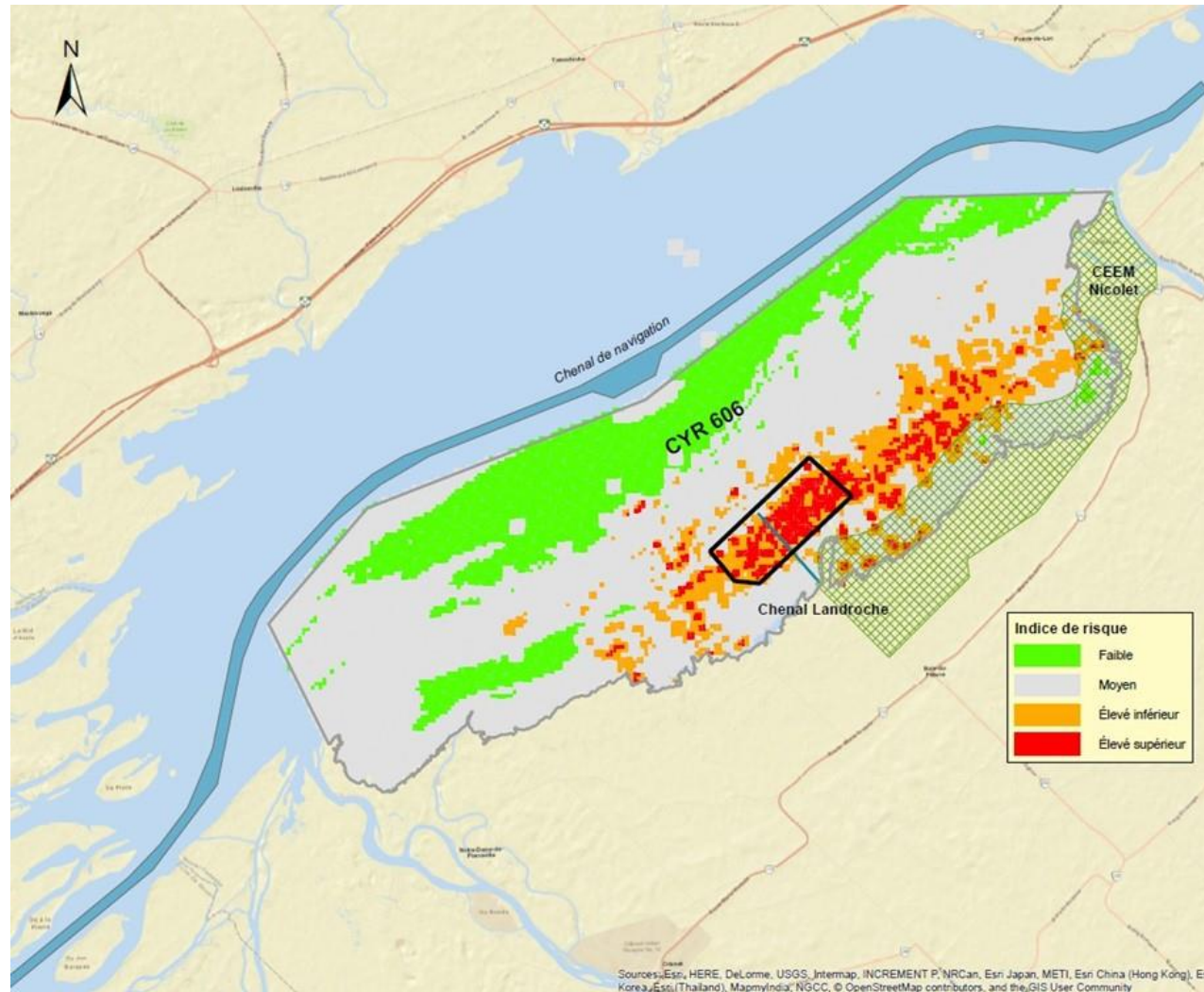


**Principales pièces du carottier** (photos : Félix Pouliot-Richard, MELCCFP, 2020)



**Manipulations du carottier**

**Annexe 2** Ancienne zone d'exercice (zone CYR 606) du Centre d'essais et d'expérimentation en munitions (CEEM) du ministère de la Défense nationale





**Annexe 3 Concentrations de pesticides détectés dans les sédiments des 18 sites échantillonnés de 2018 à 2021 (µg/kg)**

Analyses	Chibouet				Des Hurons				Saint-Régis				Saint-Zéphirin				Gibeault-Delisle		Rousse		Déversant du Lac	
	2019-06-12	2019-07-10	2021-07-21	2021-09-23	2019-06-18	2019-07-17	2021-07-21	2021-09-23	2019-06-19	2019-07-17	2021-07-20	2021-09-22	2019-06-27	2019-07-25	2021-07-21	2021-09-23	2019-06-27	2019-07-17	2021-07-19	2021-09-22	2021-07-21	2021-09-22
<b>Pesticides détectés</b>																						
<b>OPS+</b>																						
Atrazine	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	50	40	100	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
S-Métolachlore	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	26	53	150	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	11	< 8	< 8
Diuron	< 180	< 180	< 180	< 180	< 180	< 180	< 180	< 180	< 180	< 180	< 180	< 180	< 180	< 180	< 180	< 180	1300	4 800	< 180	< 180	< 180	< 180
Diméthénamide	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	10	40	< 10	< 10	< 10	< 10
Carbaryl	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	30	< 20	< 20	< 20	< 20
Fludioxonil	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	50	90	< 20	< 20	< 20	< 20
<b>Pesticides émergents</b>																						
Chlorantraniliprole	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,8	5,8	9,2	3,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	2,2	4,1	3,7	8,7	< 0,5	< 0,5
Cyantraniliprole	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,8	2,5	1,1	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,9	3,8	1,2	1,1	< 0,5	< 0,5
Thiaméthoxame	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,3	4,9	1	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	4	1	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Imidaclopride	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,1	4,4	1	0,6	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	3,2	4,2	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Imidaclopride-guanidine	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,2	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	2,3	5,3	< 0,5	0,7	< 0,5	< 0,5
Clothianidine	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	2,9	0,6	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	24	8,6	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Thiaclopride	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5			< 0,5		< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,3	1,5
Azoxystrobine	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	3,6	3,5	2,4	10	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	37	66	5,7	4,3	< 0,5	< 0,5
Pyriméthanil	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,4	1,6	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,7	4,6	< 0,5	0,5	< 0,5	< 0,5
Fénamidome	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	2,9	91	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
<b>Glyphosate-AMPA</b>																						
Glyphosate	10	220	35	130	18	87	54	140	27	110	230	200	44	20	5	40	110	820	60	NA	12	NA
AMPA	19	30	29	110	17	59	55	100	30	100	280	390	27	20	< 8	60	68	250	96	NA	13	NA
M.O. (%)	3,12	3,18	NA	NA	3,08	3,1	NA	NA	4,05	2,62	NA	NA	1,18	0,72	NA	NA	26,2	30,8	NA	NA	NA	NA
Sable (%)	2	4	NA	1,3	65	55	NA	69	59	80	NA	27	84	87	NA	82,5	10	15	75	NA	NA	84
Limon (%)	35	56	NA	52,5	20	27	NA	16	30	16	NA	70	9	10	NA	12,5	61	45	20	NA	NA	11
Argile (%)	63	40	NA	46,2	15	18	NA	15	11	4	NA	3	7	3	NA	5	29	40	5	NA	NA	5

CQ : contrôle de qualité, échantillon rejeté  
 NA : non analysé  
 Nd : non détecté

**PESTICIDES DANS LES SÉDIMENTS DE COURS D'EAU AU QUÉBEC**

Échantillonnages exploratoires réalisés de 2018 à 2021

**Annexe 3 Concentrations de pesticides détectés dans les sédiments des 18 sites échantillonnés de 2018 à 2021 (µg/kg) (suite)**

Analyses	Beaudette	Delisle	La Guerre	À la Raquette	LSP-ST1			LSP-ST2			LSP-ST4		Baie Missisquoi
	2021-07-19	2021-07-20	2021-07-20	2021-07-21	2019-06-17	2019-07-15	2021-07-12	2019-06-17	2019-07-15	2021-07-12	2019-06-17	2019-07-15	2021-08-01
<b>OPS+</b>													
Atrazine	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
S-Métolachlore	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8
Diuron	< 180	< 180	< 180	< 180	< 180	< 180	< 180	< 180	< 180	< 180	< 180	< 180	< 180
Diméthénamide	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Carbaryl	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Fludioxonil	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
<b>Pesticides émergents</b>													
Chlorantraniliprole	<0,5	<0,5	1,1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Cyantraniliprole	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Thiaméthoxame	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Imidaclopride	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
<i>Imidaclopride-guanidine</i>	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Clothianidine	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Thiaclopride	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Azoxystrobine	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Pyriméthanil	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Fénamidome	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
<b>Glyphosate-AMPA</b>													
Glyphosate	31	41	54	61	16	14	nd	11	9	nd	4	3	20
AMPA	44	41	78	33	15	12	19	17	< 8	11	9	< 8	30
M.O. (%)	NA	NA	NA	NA	2,96	2,65	NA	2,97	3,01	NA	1,54	1,36	18,3
Sable (%)	21,8	15,5	10	58	67	53	50	63	52	21	84	78	67
Limon (%)	74,2	42,2	59	24,5	28	42	45	32	43	71,5	14	19	28
Argile (%)	4	42,3	31	17,5	5	5	5	5	5	7,5	2	3	5

**Annexe 3 Concentrations de pesticides détectés dans les sédiments des 18 sites échantillonnés de 2018 à 2021 (µg/kg) (suite)**

**Amont de l'étang de rétention**

Pesticides	2018-05-03	2018-05-28	2018-06-26	2018-07-23	2018-08-27	2018-09-24	2019-04-29	2019-05-21	2019-06-25	2019-07-22	2019-09-03	2019-09-30	2019-11-04
<b>Glyphosate-AMPA</b>													
Glyphosate	< 2	< 2	11	< 2	90	95	58	69	6	220	40	110	43
AMPA	28	< 8	15	< 8	150	230	73	260	10	190	70	180	73
<b>Pesticides émergents</b>													
Tous	CQ	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<b>OPS+</b>													
Tous	nd	nd	nd	nd	nd	nd	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

**Aval de l'étang de rétention**

Pesticides	2018-05-03	2018-05-28	2018-06-26	2018-07-23	2018-08-27	2018-09-24	2019-04-29	2019-05-21	2019-06-25	2019-07-22	2019-09-03	2019-09-30	2019-11-04
<b>Glyphosate-AMPA</b>													
Glyphosate	< 2	< 2	< 2	< 2	110	4	< 2	46	6	14	30	68	< 2
AMPA	< 8	< 8	< 8	< 8	100	< 8	< 8	< 8	11	28	10	27	< 8
<b>Pesticides émergents</b>													
Tous	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<b>OPS+</b>													
Tous	nd	nd	nd	nd	nd	nd	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

**Dans l'étang de rétention**

Pesticides	2018-05-03	2018-05-28	2018-07-09	2018-07-23	2018-08-27	2018-09-24	2019-04-29	2019-05-21	2019-06-25	2019-07-22	2019-09-03	2019-09-30	2019-11-04
<b>Glyphosate-AMPA</b>													
Glyphosate	< 2	< 2	80	< 2	30	40	< 2	20	52	29	450	390	790
AMPA	20	10	< 8	< 8	< 8	40	< 8	20	60	13	280	250	550
<b>Pesticides émergents</b>													
Chlorantraniliprole	NA	NA	NA	NA	NA	NA	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,4
<b>OPS+</b>													
S-Métolachlore	< 8	< 8	< 8	< 8	10	< 8	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA



**Annexe 4 Comparaison aux valeurs de référence proposées par Nowell et collab. (2018)**

Pesticides	Valeur de référence chronique (µg/kg <sub>co</sub> )	Concentration mesurée µg/kg	% matière organique	Facteur de conversion 0,58	Concentration convertie en µg/kg <sub>co</sub>
Atrazine	130 000	100	7,7	4,466	2239,14
S-Métolachlore	180	150	7,7	4,466	3358,7
Carbaryl	110	30	30,8	17,864	167,93
Azoxystrobine	19 000	66	30,8	17,864	369,458
Fludioxonil	1 400 000	90	30,8	17,864	503,8
Pyriméthanol	300 000	4,6	30,8	17,864	25,75





**Environnement,  
Lutte contre  
les changements  
climatiques,  
Faune et Parcs**

**Québec** 