

Présence de pesticides dans l'eau au Québec

Portrait et tendances dans
les zones de maïs et de soya
2015 à 2017



2019

Photos de la page couverture : MELCC

Coordination et rédaction

Cette publication a été réalisée sous la coordination de la Direction générale du suivi de l'état de l'environnement du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC).

Renseignements

Pour tout renseignement, vous pouvez remplir le formulaire disponible à cette adresse :

www.environnement.gouv.qc.ca/formulaires/renseignements.asp.

Téléphone : 418 521-3820
1 800 561-1616 (sans frais)

Télécopieur : 418 656-5974

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
675, boul. René-Lévesque Est, 7^e étage
Québec (Québec) G1R 5V7

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

www.environnement.gouv.qc.ca.

Référence à citer :

GIROUX, I. (2019). *Présence de pesticides dans l'eau au Québec : Portrait et tendances dans les zones de maïs et de soya – 2015 à 2017*, Québec, ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, 64 p. + 6 ann.

Dépôt légal – 2019
Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2019
ISBN : 978-2-550-83220-1 (PDF)

Tous droits réservés pour tous les pays

© Gouvernement du Québec, 2019

RÉALISATION

Coordination et rédaction	Isabelle Giroux ¹
Collaboration spéciale	François D'Auteuil-Potvin ² – Traitement statistique Émilie Doussantousse ² – Développement critère qualité de l'eau
Révision scientifique	François D'Auteuil-Potvin ² Isabelle Guay ² Janique Lemieux ³ Christine Rioux ³ Marie-Hélène April ⁴
Échantillonnage – support technique	Stéphanie Locas ¹
Échantillonnage – observateurs	Gilles Allard Dany Beulac Johny Blackburn Yves Côté Daniel Morin Ginette Robert Anastasia Fillion Robin Mélanie Tremblay Comité de bassin versant de la Belle-Rivière Comité de bassin versant de la rivière Ticouapé Municipalité de Saint-Ambroise
Analyses de laboratoire	Sébastien Côté ⁵ Christian Deblois ⁵ Marie-Claire Grenon ⁵ Benoît Sarrasin ⁵

¹ Direction de l'information sur les milieux aquatiques, MELCC

² Direction des avis et des expertises, MELCC

³ Direction des matières dangereuses et des pesticides, MELCC

⁴ Direction de la phytoprotection (MAPAQ)

⁵ Direction de l'analyse chimique, Centre d'expertises en analyse environnementale du Québec, MELCC

Mots clés :

pesticides, cours d'eau, maïs, soya, glyphosate, atrazine, métolachlore, néonicotinoïdes, thiaméthoxame, clothianidine, chlorantranilprole.

RÉSUMÉ

Chaque année, le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) échantillonne des cours d'eau de diverses régions agricoles du Québec pour y vérifier la présence de pesticides. Au fil des ans, un réseau permanent de suivi des pesticides (réseau de base), composé de dix stations, a été mis en place pour suivre l'évolution de leurs concentrations dans les cours d'eau à proximité de cultures ciblées. Les cultures de maïs et de soya, qui couvrent de vastes superficies dans le sud du Québec et qui utilisent une proportion importante des pesticides commercialisés au Québec, sont parmi ces cultures ciblées.

Quatre des dix stations du réseau de base sont situées dans des cours d'eau de bassins versants à dominance de maïs et de soya. Ce sont les rivières Chibouet (bassin versant de la rivière Yamaska), des Hurons (bassin versant de la rivière Richelieu), Saint-Régis (affluent du Saint-Laurent) et Saint-Zéphirin (bassin versant de la rivière Nicolet). Ces quatre rivières sont suivies depuis 1992. Le présent rapport fait état des résultats obtenus pour les années d'échantillonnage 2015 à 2017, ainsi que de l'évolution des concentrations mesurées depuis la dernière séquence d'échantillonnage (2011 à 2014) et depuis 1992.

Globalement, les résultats montrent une tendance significative à la hausse des concentrations de l'herbicide glyphosate, de son produit de dégradation, l'AMPA, ainsi que de l'imazéthapyr. Les concentrations sont toutefois à la baisse dans le cas de l'atrazine, du dicamba et du 2,4-D. Dans le cas du β -métolachlore, la baisse observée au cours des années antérieures (1992 à 2014) n'est plus significative pour deux des quatre rivières et les données de la période 2007-2017 montrent plutôt une légère tendance à la hausse des concentrations pour ce produit. Au cours de la période 2015-2017, on note quelques dépassements des critères de qualité de l'eau pour la protection des espèces aquatiques (critère de toxicité chronique – CVAC) pour l'atrazine, le β -métolachlore, le glyphosate et la métribuzine.

De 2015 à 2017, les insecticides néonicotinoïdes clothianidine et thiaméthoxame dépassent encore le CVAC de 0,0083 $\mu\text{g/l}$ dans 79 à 100 % des

échantillons, alors que l'imidaclopride dépasse le CVAC dans 30 % des échantillons. La clothianidine montre une tendance significative à la hausse des concentrations, tandis que la tendance n'a pu être établie pour le thiaméthoxame et l'imidaclopride en raison d'une série de données trop courte. La fréquence de détection de l'insecticide chlorantraniliprole est en hausse. Les concentrations de ce produit sont plus élevées dans la rivière Saint-Régis, dont le bassin compte une proportion importante de cultures maraîchères. Dans cette rivière, les concentrations de chlorantraniliprole dépassent le CVAC de 0,22 $\mu\text{g/l}$ dans 3 à 14 % des échantillons.

En plus du réseau de base, un suivi rotatif dans d'autres rivières a été instauré en 2012. De 2012 à 2014, 23 rivières du sud du Québec avaient été échantillonnées. De 2015 à 2017, 15 nouvelles rivières ont été visitées pour y vérifier la présence de pesticides, soit deux rivières de la Montérégie, sept rivières de la région de Chaudière-Appalaches et six rivières du Saguenay-Lac-Saint-Jean.

Les rivières Richelieu et Yamaska, en Montérégie, sont deux importants tributaires du lac Saint-Pierre. Leur bassin versant compte plus de 40 % de superficies en culture, notamment des cultures de maïs et de soya. Les pesticides associés à ces cultures, entre autres l'atrazine, le β -métolachlore, le glyphosate et les insecticides néonicotinoïdes, sont ceux détectés le plus souvent dans les deux rivières. En fait, plus de 20 pesticides ou produits de dégradation de pesticides ont été détectés dans la rivière Yamaska et 15 dans la rivière Richelieu. Comme le débit du Richelieu est d'environ vingt fois celui de la Yamaska, les concentrations de pesticides qu'on y détecte sont généralement plus faibles que dans la Yamaska. C'est aussi ce qui explique que le CVAC des néonicotinoïdes est dépassé dans 10 % des échantillons dans le Richelieu, alors que 78 à 100 % des échantillons de la rivière Yamaska dépassent ce critère.

Dans les rivières de Chaudière-Appalaches, de 12 à 19 pesticides ont été détectés. Comme les cultures de maïs et de soya sont présentes dans cette région, les produits détectés le plus souvent sont assez similaires à ce qui est observé aux quatre stations du réseau de base. Dans les

rivières Le Bras et Boyer, tous les échantillons dépassent le CVAC pour les néonicotinoïdes. Dans la rivière Beaurivage, 73 % des échantillons dépassent ce critère. Dans la rivière du Chêne, 45 % des échantillons dépassent les CVAC, mais c'est l'insecticide diazinon, probablement utilisé dans les cultures de canneberges, qui est responsable de la plupart de ces dépassements. Les rivières Etchemin, Chaudière et du Sud présentent des dépassements des CVAC pour les néonicotinoïdes dans 27 %, 18 % et 18 % des échantillons respectivement.

Entre 3 et 13 pesticides ont été détectés dans les cours d'eau du Saguenay–Lac-Saint-Jean. L'herbicide hexazinone, utilisé dans les bleuetières, est détecté en faibles concentrations, ne dépassant pas le CVAC dans cinq des six rivières échantillonnées, soit les rivières Moreau, Ticouapé, à l'Ours, Mistouk et Mistassini. Les pesticides liés aux cultures de maïs et de soya ont été décelés dans les rivières Moreau et Ticouapé et, dans une moindre mesure, dans la rivière Mistouk et le ruisseau Puant. Le CVAC pour les insecticides néonicotinoïdes est dépassé dans 9 % des échantillons dans les rivières Ticouapé et Moreau. Dans la rivière à l'Ours, dont le bassin versant compte des superficies appréciables en cultures de pommes de terre, les insecticides néonicotinoïdes thiaméthoxame, clothianidine et imidaclopride, de même que l'insecticide chlorantraniliprole sont détectés dans tous les échantillons. Dans cette rivière, le thiaméthoxame et la clothianidine dépassent le CVAC dans 100 % des échantillons, alors que

l'imidaclopride le dépasse dans 27 % des échantillons.

En 2015 et 2016, 52 puits individuels ont aussi été échantillonnés près de champs en cultures de maïs ou de soya. Des pesticides ont été détectés dans sept puits (13,5 %). Les neuf pesticides détectés sont l'atrazine et son produit de dégradation, le dééthyl-atrazine, le glyphosate, le *s*-métolachlore, le bentazone, l'imazéthapyr et le nicosulfuron, ainsi que les insecticides clothianidine et diazinon. Les concentrations mesurées sont faibles et respectent largement les normes du Règlement sur la qualité de l'eau potable ou les valeurs de référence établies par d'autres organismes oeuvrant dans le domaine de la santé publique. Les puits où des pesticides ont été détectés peuvent présenter un ou plusieurs facteurs de risque : puits peu profond, proximité des champs en cultures, type de sol plus sableux, utilisation de l'eau du puits pour la préparation des mélanges de pesticides et pente du terrain vers le puits.

Bien qu'aucun secteur ne soit complètement à l'abri de toute contamination, les sols généralement plus argileux des zones de cultures de maïs et de soya offrent une certaine protection des nappes d'eau souterraines contre l'infiltration des contaminants. La proportion des puits affectés par la présence de pesticides est plus faible dans les zones en culture de maïs et de soya que pour d'autres cultures documentées dans des campagnes d'échantillonnage antérieures.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
1 CONTEXTE AGRICOLE QUÉBÉCOIS.....	2
Évolution des superficies en culture de maïs et de soya	2
Pesticides utilisés dans les cultures de maïs et de soya	2
2 MÉTHODOLOGIE	4
Stations du réseau de base	4
Stations du Réseau-rivières	4
Échantillonnage.....	7
Pesticides analysés et critères de qualité de l'eau	7
3 RIVIÈRES DU RÉSEAU DE BASE	10
Fréquence de détection.....	10
Comparaison des concentrations aux critères de protection de la vie aquatique (CVAC)	12
Évolution des concentrations de pesticides	14
Rivière Chibouet (bassin versant de la rivière Yamaska)	20
Rivière Saint-Régis (affluent du Saint-Laurent).....	30
Rivière Saint-Zéphirin (bassin versant de la rivière Nicolet)	36
Comparaison des résultats avec la documentation scientifique récente	41
4 RIVIÈRES DU « RÉSEAU-RIVIÈRES »	42
5 PESTICIDES DANS L'EAU SOUTERRAINE PRÈS DES CULTURES DE MAÏS ET DE SOYA.....	56
CONCLUSION.....	60
BIBLIOGRAPHIE	62
ANNEXES.....	64

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1	Principaux pesticides homologués dans les cultures de maïs et de soya.....	65
Annexe 2	Méthodologie	67
Annexe 3	Analyse statistique des tendances temporelles.....	71
Annexe 4	Sommaire climatologique	82
Annexe 5	Proportion des superficies en culture dans les bassins versants des 15 rivières échantillonnées	86
Annexe 6	Caractéristiques des puits échantillonnés	87

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Pesticides analysés et critères de qualité de l'eau pour la protection des espèces aquatiques ($\mu\text{g/l}$)	9
Tableau 2	Fréquence moyenne de détection et concentrations maximales de pesticides dans les quatre rivières du réseau de base de 2015 à 2017	11
Tableau 3	Fréquence de dépassement des critères de qualité de l'eau (CVAC) par produit pour l'ensemble des quatre rivières du réseau de base (%)	13
Tableau 4	Évolution des concentrations ¹ de quelques pesticides calculée à partir des données brutes	16
Tableau 5	Pesticides détectés dans la rivière Chibouet, de 2011 à 2017.....	21
Tableau 6	Dépassements des critères de qualité de l'eau dans la rivière Chibouet.....	22
Tableau 7	Pesticides détectés dans la rivière des Hurons, de 2011 à 2017.....	26
Tableau 8	Dépassements des critères de qualité de l'eau dans la rivière des Hurons, de 2011 à 2017	27
Tableau 9	Pesticides détectés dans la rivière Saint-Régis, de 2011 à 2017	32
Tableau 10	Dépassements des critères de qualité de l'eau dans la rivière Saint-Régis.....	33
Tableau 11	Pesticides détectés dans la rivière Saint-Zéphirin, de 2011 à 2017.....	38
Tableau 12	Dépassements des critères de qualité de l'eau dans la rivière Saint-Zéphirin, de 2011 à 2017	38
Tableau 13	Fréquence de détection des pesticides pour deux rivières de la Montérégie (%).....	43
Tableau 14	Fréquence de dépassement des critères de qualité de l'eau (CVAC) dans les rivières Yamaska et Richelieu	43
Tableau 15	Fréquence de détection des pesticides dans les rivières de Chaudière-Appalaches (%)	47
Tableau 16	Fréquence des dépassements des CVAC dans les rivières de Chaudière-Appalaches (%).....	47
Tableau 17	Fréquence de détection des pesticides pour les rivières du Saguenay–Lac-Saint-Jean (%).....	52
Tableau 18	Fréquence de dépassement des CVAC dans les rivières du Saguenay–Lac-Saint-Jean (%).....	52
Tableau 19	Pesticides détectés dans l'eau souterraine dans les puits échantillonnés dans les secteurs en culture de maïs et de soya	57
Tableau 20	Répartition des puits par classe de concentrations de nitrates	57

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Évolution des superficies de maïs et de soya au Québec de 2010 à 2016.....	3
Figure 2	Estimation de l'évolution des superficies traitées pour quelques herbicides utilisés dans le maïs et le soya au Québec	3
Figure 3	Réseau de base permanent du suivi des pesticides en rivières.....	5
Figure 4	Stations du Réseau-rivières échantillonnées de 2012 à 2017 ¹	6
Figure 5	Distribution des concentrations totales de pesticides aux quatre rivières du réseau de base	12
Figure 6	Évolution des tendances des fréquences de dépassement de critères de qualité de l'eau ¹	13
Figure 7	Tendances des fréquences de détection pour quelques pesticides.....	15
Figure 8	Régression linéaire des concentrations médianes de glyphosate, d'imazéthapyr et de clothianidine	17
Figure 9	Régression linéaire des concentrations médianes d'atrazine, de dicamba et de 2,4-D	18
Figure 10	Régression linéaire des concentrations médianes de bentazone et de <i>s</i> -métolachlore	19
Figure 11	Cultures dans le bassin versant de la rivière Chibouet	20
Figure 12	Somme des concentrations de pesticides dans la rivière Chibouet en fonction des épisodes de pluie*	23
Figure 13	Concentrations d'insecticides dans la rivière Chibouet	24
Figure 14	Cultures dans le bassin versant de la rivière des Hurons	25
Figure 15	Somme des concentrations de pesticides dans la rivière des Hurons en fonction des épisodes de pluie*	28
Figure 16	Concentrations d'insecticides dans la rivière des Hurons	29
Figure 17	Cultures dans le bassin versant de la rivière Saint-Régis	30
Figure 18	Somme des concentrations de pesticides dans la rivière Saint-Régis en fonction des épisodes de pluie*.....	34
Figure 19	Concentrations d'insecticides dans la rivière Saint-Régis	35
Figure 20	Cultures dans le bassin versant de la rivière Saint-Zéphirin	36
Figure 21	Somme des concentrations de pesticides dans la rivière Saint-Zéphirin en fonction des épisodes de pluie*.....	39
Figure 22	Concentrations de néonicotinoïdes dans la rivière Saint-Zéphirin	40
Figure 23	Profil des concentrations de quelques pesticides détectés dans les rivières Yamaska et Richelieu	44
Figure 24	Localisation des stations échantillonnées dans les rivières de Chaudière-Appalaches	46
Figure 25	Profil des concentrations de quelques pesticides dans les rivières du Chêne, Chaudière et Beauvillage	48
Figure 26	Profil des concentrations de quelques pesticides dans les rivières Etchemin, Le Bras, Boyer et du Sud.....	49

Figure 27	Localisation des stations échantillonnées dans les rivières du Saguenay–Lac-Saint-Jean	51
Figure 28	Profil des concentrations de quelques pesticides détectés dans les rivières Ticouapé et Moreau et dans le ruisseau Puant	53
Figure 29	Profil des concentrations de quelques pesticides détectés dans les rivières à l'Ours, Mistouk et Mistassini.....	54
Figure 30	Fréquence de dépassement des CVAC dans les rivières de la Montérégie (orange), de Chaudière-Appalaches (jaune) et du Saguenay–Lac-Saint-Jean (bleu foncé) comparée à d'autres rivières échantillonnées de 2012 à 2014 (bleu pâle).....	55

INTRODUCTION

Chaque année, au Québec, des pesticides sont utilisés sur plusieurs cultures. Selon les données du Ministère (MDDELCC, 2017), les ventes totales de pesticides pour l'année 2015 se chiffrent à 4 228 176 kilogrammes d'ingrédients actifs, dont 3 751 358 kg, soit 87,5 %, sont vendus pour le secteur agricole. Préoccupé par le devenir environnemental de ces produits et leur incidence possible sur le milieu aquatique et la santé humaine, le Ministère échantillonne chaque année des cours d'eau et des puits situés en zones agricoles afin d'y vérifier la présence et les concentrations de pesticides.

Le Ministère a mis sur pied un réseau de base composé de dix stations en rivières échantillonnées chaque année ou de manière récurrente. L'objectif de ce réseau est de suivre les tendances à long terme des concentrations de pesticides dans les cours d'eau à proximité de certaines cultures ciblées en raison des vastes superficies traitées ou de l'intensité d'utilisation des pesticides à l'hectare. Les cultures ciblées sont le maïs et le soya, la pomme de terre, les vergers et les cultures maraîchères. Le présent rapport porte sur les suivis réalisés à quatre des dix stations de ce réseau, soit celles situées dans des rivières de secteurs en culture à prédominance de maïs et de soya.

En plus du réseau de base, un suivi rotatif a été instauré depuis 2012 pour analyser les pesticides à certaines stations du Réseau-rivières, le réseau de suivi de la qualité générale des cours d'eau. De 2015 à 2017, 15 rivières ont été échantillonnées afin de mieux documenter l'étendue spatiale de la problématique de contamination par les pesticides. En 2015, cinq rivières de la région de Chaudière-Appalaches ont été échantillonnées. En 2016, deux rivières de Chaudière-Appalaches et deux de la région de la Montérégie ont été visitées, alors qu'en 2017, le suivi a porté sur six rivières de la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Bien qu'elles ne soient pas toutes situées dans des secteurs en culture de maïs et de soya, une synthèse des résultats obtenus pour ces rivières est également incluse dans le présent rapport.

Enfin, les données recueillies dans le cadre du projet de suivi des pesticides dans l'eau souterraine réalisé en 2015 et 2016 près des

secteurs en culture de maïs et de soya ont aussi été intégrées au rapport.

Les cultures de maïs et de soya ont été ciblées parce qu'elles sont omniprésentes dans plusieurs régions du Québec. En 2016, elles couvraient 745 000 hectares (ha), soit 420 000 ha en maïs et 325 000 ha en soya (ISQ, 2017). Les herbicides et les insecticides qui y sont utilisés sont parmi les plus vendus au Québec en raison des vastes superficies traitées. Ce sont des cultures à grand interligne, laissant un large espace entre les rangs. Les pesticides appliqués en début de saison de croissance, lorsque le sol est à nu, sont susceptibles d'être transportés vers les cours d'eau voisins. Le présent rapport s'inscrit dans la poursuite des portraits déjà réalisés (Giroux, 2015, Giroux et Pelletier, 2012, Giroux, 2010). Il constitue un état de la situation après trois nouvelles années de suivi, soit les années 2015, 2016 et 2017. En plus de répondre à l'objectif général d'acquisition de connaissances sur les milieux aquatiques, les objectifs spécifiques de ce suivi sont les suivants :

- Mettre à jour le portrait de la présence de pesticides dans les cours d'eau situés dans des zones de cultures intensives de maïs et de soya en identifiant les pesticides présents dans l'eau et en incluant de nouveaux pesticides;
- Vérifier les changements temporels des concentrations des pesticides le plus souvent détectés;
- Améliorer la couverture spatiale du suivi des pesticides en étudiant annuellement de nouveaux cours d'eau, de nouvelles cultures ou de nouvelles problématiques;
- Estimer les risques pour les espèces aquatiques à l'aide de critères de qualité de l'eau et de suivis biologiques;
- Établir un portrait de la situation sur la présence de pesticides dans l'eau souterraine des secteurs en maïs et soya.

Le suivi environnemental répond aussi à des actions de la [Stratégie phytosanitaire québécoise en agriculture 2011-2021](#) (SPQA). La stratégie est coordonnée par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), mais le MELCC en est l'un des partenaires avec le ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS) et l'Union des

producteurs agricoles (UPA). Le suivi environnemental du réseau de base des pesticides répond à l'orientation 4 du volet environnement de la SPQA, par lequel le Ministère s'est engagé par l'entremise de l'action 4.2.2 à maintenir le suivi des

pesticides en rivières dans les secteurs en grandes cultures (maïs et soya). Le suivi en eau souterraine répond à l'action 4.2.1 de la stratégie.

1 CONTEXTE AGRICOLE QUÉBÉCOIS

Évolution des superficies en culture de maïs et de soya

Entre 2010 et 2013, les superficies totales cultivées en maïs-grain et maïs fourrager ont augmenté pour atteindre 469 500 ha en 2013 (figure 1). Par la suite, de 2014 à 2016, elles se stabilisent autour de 420 000 ha (ISQ, 2017). Les superficies en soya sont restées relativement stables, sous la barre des 300 000 ha de 2010 à 2013, mais elles ont augmenté en 2014 pour atteindre 348 000 ha, avant de revenir à des superficies autour 325 000 ha en 2015 et 2016 (ISQ, 2017).

Depuis 2014, les superficies cultivées en maïs génétiquement modifiés sont stables autour de 300 000 ha, alors que celles du soya se situent autour de 200 000 ha depuis 2013. Sur le marché de l'exportation, le soya à identité préservée (soya IP), un soya conventionnel non génétiquement modifié, a connu une certaine croissance dans les dernières années, faisant fléchir la croissance du soya génétiquement modifié.

Pesticides utilisés dans les cultures de maïs et de soya

Les principaux pesticides homologués au Canada pour les cultures de maïs et de soya et utilisés au Québec sont présentés à l'annexe 1. Les herbicides sont utilisés en début de saison de production, au mois de mai ou de juin, afin d'éliminer les mauvaises herbes dans les champs. Certains produits sont appliqués en prélevée de la culture ou des mauvaises herbes, d'autres le sont seulement après la levée des mauvaises herbes ou de la culture. La figure 2 montre, pour quelques herbicides parmi les plus utilisés, l'évolution estimée des superficies traitées. Le glyphosate, un herbicide à large spectre conçu pour contrôler une grande variété de mauvaises herbes, est l'herbicide le plus appliqué au Québec. En raison de l'accroissement de son utilisation dans les

cultures de maïs et de soya génétiquement modifiés, ce produit a connu une augmentation importante depuis le début des années 2000. Au Québec, sur la base du total des quantités vendues et d'une dose moyenne d'application, les superficies traitées au glyphosate sont estimées à environ 1 750 000 ha en 2016. Puisque les superficies totales de maïs et de soya sont de 745 000 ha, on en déduit que le produit a pu être utilisé plus d'une fois sur les champs en culture ou encore à une dose plus élevée que la dose moyenne utilisée pour le calcul. Bien que le glyphosate soit homologué dans une variété d'autres cultures, l'ensemble des autres usages de ce produit est relativement limité en comparaison de son utilisation dans le maïs et le soya.

Afin de limiter le développement de la résistance des mauvaises herbes au glyphosate, d'autres herbicides sont aussi utilisés en complément ou en combinaison avec le glyphosate. Les herbicides *s*-métolachlore et atrazine figurent encore parmi les produits les plus utilisés. Sur la base des quantités commercialisées en 2016 et des doses moyennes appliquées dans le maïs ou le soya, les superficies traitées avec ces produits sont de l'ordre de 155 000 ha pour le *s*-métolachlore et de 96 000 ha pour l'atrazine. La mésotrione et l'imazéthapyr sont aussi passablement utilisés et représentaient en 2016 des superficies traitées d'environ 127 000 ha et 108 000 ha respectivement (figure 2). Les fabricants conçoivent des formulations de mélanges commerciaux contenant un ou plusieurs herbicides ou recommandent l'application de mélanges de matières actives avec des modes d'action différents. Comme ces mélanges incluent plusieurs pesticides par traitement, ces produits présentent donc des [indices de risque](#) pour l'environnement (IRE) et pour la santé (IRS) plus élevés.

Des fongicides peuvent aussi être utilisés dans les productions de maïs, de soya et de céréales. Les principaux produits utilisés sont le propiconazole, l'azoxystrobine et la trifloxystrobine.

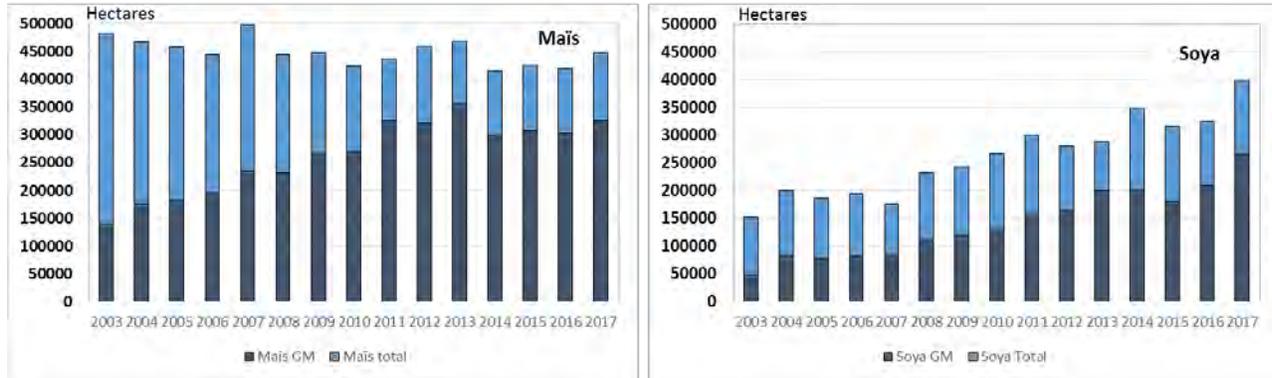


Figure 1 Évolution des superficies de maïs et de soya au Québec de 2010 à 2016

Source : Institut de la statistique du Québec

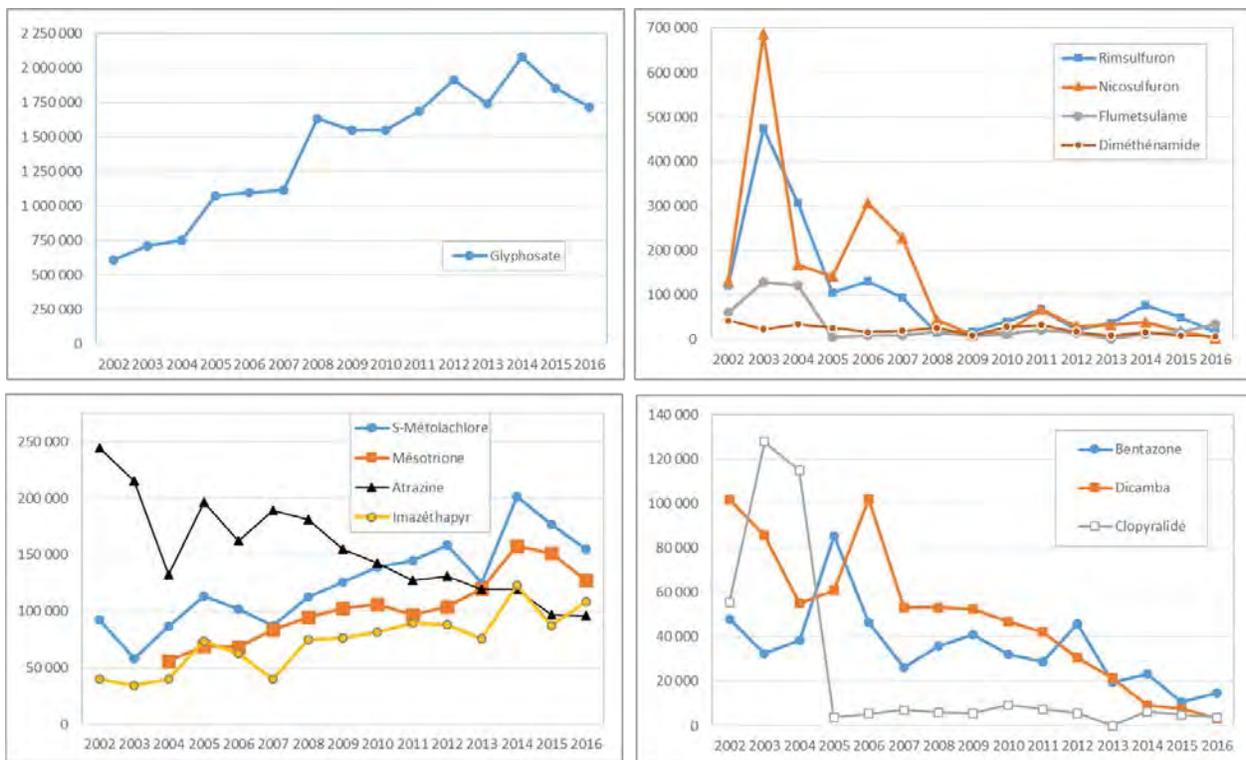


Figure 2 Estimation de l'évolution des superficies traitées pour quelques herbicides utilisés dans le maïs et le soya au Québec

Source : MDDELCC, 2017; données de base du bilan des ventes de pesticides pour l'année 2016

Les semences traitées

L'usage des semences traitées aux insecticides néonicotinoïdes a commencé vers 2008-2009. Depuis 2011, presque toutes les semences de maïs et environ 50 % des semences de soya sont traitées avec des insecticides néonicotinoïdes (Parent, 2011), tels que la clothianidine ou le thiaméthoxame, ou avec des mélanges d'insecticides et de fongicides comme le métalaxyl

ou la trifloxystrobine et l'ipconazole. Que les semences soient traitées hors Québec, comme pour le maïs, ou au Québec, comme c'est le cas pour le soya, les quantités de pesticides reliées à cet usage ne sont pas comptabilisées actuellement dans le bilan québécois des ventes de pesticides.

En février 2018, le gouvernement du Québec a édicté le Règlement modifiant le Code de gestion des pesticides et le Règlement modifiant le Règlement sur les permis et les certificats pour la vente et l'utilisation des pesticides. Les exigences répondent aux orientations poursuivies par la Stratégie québécoise sur les pesticides 2015-2018 du MELCC. L'une des principales exigences visant le milieu agricole est l'obtention d'une prescription et d'une justification agronomique préalablement à la vente et à l'utilisation des pesticides les plus à risque et des semences enrobées de néonicotinoïdes. Les pesticides visés par ces nouvelles exigences sont les insecticides néonicotinoïdes et le chlorpyrifos, l'herbicide atrazine et les néonicotinoïdes enrobant les semences des cultures d'avoine, de blé, de canola, de maïs fourrager, de maïs-grain, de maïs sucré, d'orge et de soya. Ces modifications réglementaires, en vigueur depuis le 8 mars 2018, permettront notamment d'intégrer au bilan annuel des ventes de pesticides les trois néonicotinoïdes utilisés dans l'enrobage des semences (clothianidine, thiaméthoxame et imidaclopride).

Au cours des dernières années, deux nouveaux insecticides, le chlorantraniliprole et le cyantraniliprole, déjà homologués pour diverses cultures, ont été homologués pour le traitement des semences de maïs (de pommes de terre et de canola dans le cas du cyantraniliprole) et seront éventuellement utilisés par les producteurs en remplacement des semences enrobées de néonicotinoïdes.

Par ailleurs, en novembre 2016, l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire (ARLA) annonçait son intention d'éliminer d'ici trois ans toutes les utilisations agricoles de l'insecticide imidaclopride, un des insecticides néonicotinoïdes utilisés notamment sur les semences. Dans le même élan, l'ARLA amorçait aussi l'examen de la clothianidine et du thiaméthoxame, également utilisés pour les semences de maïs et de soya. Toutefois en attendant les décisions de réévaluation des néonicotinoïdes, ces produits sont encore utilisés pour le traitement des semences.

2 MÉTHODOLOGIE

Stations du réseau de base

Parmi les rivières échantillonnées depuis 1992, quatre ont été retenues pour le suivi à long terme des pesticides en zone de production de maïs et de soya. Ce sont les rivières Chibouet, des Hurons, Saint-Régis et Saint-Zéphirin (figure 3). L'importance des superficies de maïs et de soya dans leur bassin versant respectif ainsi que leur répartition dans la vaste zone agricole du sud du Québec ont justifié le choix de ces rivières. La proportion des superficies en culture dans chacun des bassins est présentée de façon détaillée au chapitre 4. Les données de la Base de données des parcelles et productions agricoles déclarées de la Financière agricole indiquent que la proportion totale des terres cultivées était de 68,4 % dans le bassin de la rivière Chibouet, de 65,8 % dans celui de la rivière des Hurons, de 59,3 % dans celui de la rivière Saint-Régis et de 56 % dans celui de la rivière Saint-Zéphirin (Financière agricole, 2017).

Stations du Réseau-rivières

Afin d'avoir une meilleure connaissance de l'étendue de la problématique de contamination par les pesticides, le Ministère documente aussi depuis 2012 la présence de pesticides à quelques nouvelles stations chaque année. Ainsi, des stations du [Réseau-rivières](#)¹ situées en milieu agricole sont sélectionnées chaque année. De 2012 à 2014, 23 cours d'eau avaient été échantillonnés (Giroux, 2015). De 2015 à 2017, l'analyse des pesticides a aussi été réalisée pour 15 autres rivières (figure 4). Sept rivières ont été échantillonnées dans la région de Chaudière-Appalaches, soit les rivières Chaudière, Beaurivage, Etchemin, Le Bras, du Chêne, Boyer et du Sud. Deux rivières sont situées en Montérégie, soit les rivières Richelieu et Yamaska. En 2017, six rivières ont été échantillonnées dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Ce sont les rivières Mistassini, Ticouapé, Moreau, Mistouk et à l'Ours (dans le secteur de Saint-Ambroise) ainsi que le ruisseau Puant.

¹ Le Réseau-rivières est un réseau de suivi de la qualité de l'eau constitué d'environ 260 stations d'échantillonnage réparties sur l'ensemble du Québec méridional. Les paramètres généraux de la qualité de l'eau y sont étudiés

(azote, phosphore, bactériologie, conductivité, pH, matières en suspension, etc.).

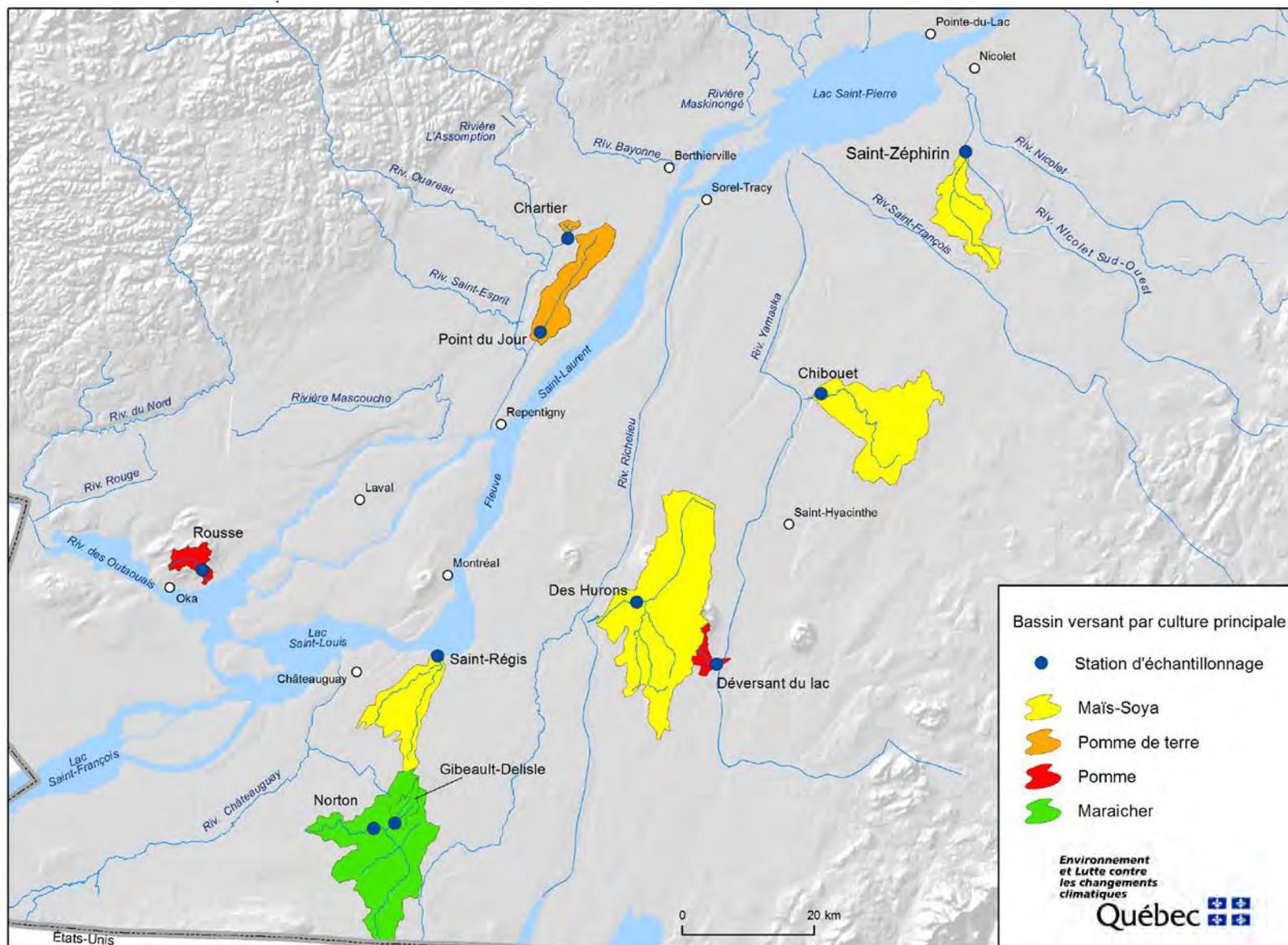


Figure 3 Réseau de base permanent du suivi des pesticides en rivières

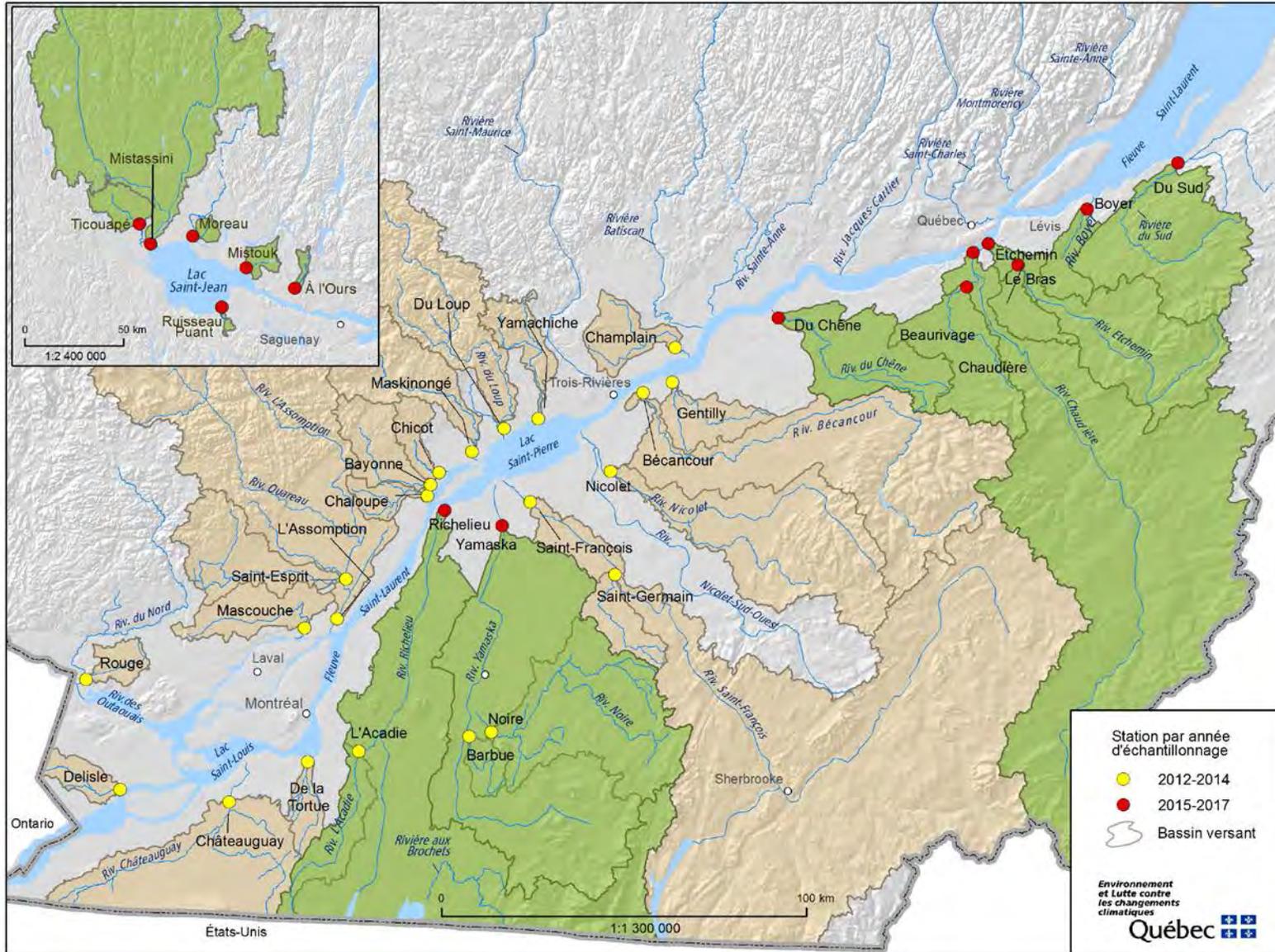


Figure 4 Stations du Réseau-rivières échantillonnées de 2012 à 2017¹
¹ Ce rapport porte sur les stations échantillonnées de 2015 à 2017 correspondantes aux bassins versants en vert foncé.

Échantillonnage

Le mode d'échantillonnage varie selon l'envergure du cours d'eau. Les échantillons sont prélevés à gué dans les petits cours d'eau ou à partir des ponts pour les plus grands. Pour l'échantillonnage à partir d'un pont, on utilise un support métallique sur lequel sont fixées les bouteilles de verre ou de plastique requises selon l'analyse. Les échantillons sont ensuite placés au frais, dans des glacières, et expédiés par courrier rapide au laboratoire du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ). Le calendrier des dates d'échantillonnage est prédéterminé. L'échantillonnage est donc réalisé sans égard aux événements de pluie. Pour les quatre stations du réseau de base, l'approche repose sur l'hypothèse qu'avec 30 prélèvements, ceux-ci seront également répartis par temps de pluie et par temps sec et qu'un suivi annuel permet de tenir compte des années plus sèches ou plus humides. Ces stations ont été échantillonnées de la mi-mai à la mi-août, à raison de deux fois par semaine, pour un total d'environ 30 prélèvements par année à chacune des stations.

Les 15 stations du Réseau-rivières sont également échantillonnées à des dates prédéterminées. Elles ont généralement été échantillonnées 11 fois à raison d'une fois par semaine du début juin au début août.

Pesticides analysés et critères de qualité de l'eau

La liste des pesticides couverts pour chaque analyse ainsi que les critères de qualité de l'eau utilisés pour interpréter les résultats sont présentés au tableau 1. Pour les quatre stations du réseau de base, quatre analyses couvrant plusieurs pesticides ont été réalisées. Ce sont les analyses dont les acronymes sont OPS+, PESARY, GLY-AMPA et FRIN. En 2017, l'analyse FRIN a été fusionnée à une autre analyse permettant d'ajouter plusieurs pesticides à la liste des pesticides déjà couverts. L'appellation de cette nouvelle analyse est « Pesticides émergents ». Ces modifications analytiques ont légèrement changé les limites de détection pour certains paramètres. Pour les stations du Réseau-rivières, les analyses ont varié selon le type de cultures dans le bassin versant. En plus des analyses précédentes, l'analyse de l'herbicide hexazinone et de ses produits de dégradation a été ajoutée à cinq des six rivières échantillonnées au Saguenay-Lac-Saint-Jean. La

description des méthodes d'analyse et les limites de détection sont présentées à l'annexe 2.

Le principal critère de qualité de l'eau servant à évaluer le risque d'effet sur les organismes aquatiques est le critère de vie aquatique chronique (CVAC) (MDDELCC, 2017b). Il s'agit de la concentration maximale d'un produit à laquelle les organismes aquatiques peuvent être exposés pendant toute leur vie sans subir d'effets néfastes. Dans le milieu, toute concentration au-dessus de ce critère, lorsqu'elle est maintenue suffisamment longtemps, est susceptible de causer un effet indésirable sur des espèces aquatiques. De faibles dépassements du CVAC ne causeront pas nécessairement d'effets sur les organismes aquatiques si la durée et l'intensité de ces dépassements sont limitées et s'il y a des périodes de compensation où la concentration dans le milieu est inférieure à celle du critère. Plus la concentration excède le CVAC, plus la durée pendant laquelle elle peut être tolérée est courte. Pour quelques pesticides seulement, on dispose aussi d'un critère de vie aquatique aigu (CVAA) [non présentés dans le tableau 1]. Il s'agit de la concentration maximale d'un contaminant à laquelle les organismes aquatiques peuvent être exposés sur une courte période sans subir de mortalité. Lorsque des concentrations au-delà de ces valeurs sont enregistrées, même une seule fois, des dommages à certaines espèces aquatiques sont probables.

En théorie, les critères chroniques doivent être respectés en moyenne sur quatre jours, tandis que les critères aigus doivent être respectés en moyenne sur un maximum d'une heure. En pratique, les programmes de suivi peuvent rarement être à une fréquence aussi rapprochée, de sorte que chaque donnée individuelle doit être comparée directement à la valeur du critère.

Bien que les critères de qualité de l'eau soient très utiles pour fournir une première appréciation du risque pour les écosystèmes aquatiques, leur utilisation présente certaines limites. D'abord, ils ne sont pas disponibles pour tous les pesticides. En l'absence de critères québécois ou canadiens, quand la fréquence des détections dans le milieu aquatique le justifie, des critères provisoires, des valeurs guides ou des critères existants ailleurs dans le monde peuvent être utilisés. De plus, pour certains pesticides (diazinon, azinphos-méthyl, chlorpyrifos, perméthrine, deltaméthrine), les critères de qualité de l'eau visant à protéger la vie aquatique sont plus bas que les limites de

détection atteignables avec les appareils de mesure à notre disposition. En pratique, lorsque ces produits sont détectés, ils dépassent systématiquement le critère de qualité de l'eau. Le fait de ne pas les détecter ne nous assure donc pas nécessairement que la concentration est sécuritaire pour la vie aquatique.

Les critères de qualité de l'eau pour la protection des espèces aquatiques sont actuellement établis en tenant compte de la toxicité d'une seule substance à la fois, dans certaines conditions particulières du milieu (pH, température et dureté de l'eau). Ils ne tiennent donc pas compte d'éventuels effets additifs, synergiques ou antagonistes de plusieurs produits présents en même temps dans l'eau. Comme les organismes aquatiques sont exposés à de nombreux contaminants, simultanément ou de façon séquentielle, l'évaluation au moyen de critères individuels de qualité de l'eau ne donne qu'une vue partielle des risques écotoxicologiques.

C'est pourquoi il est utile de compléter l'évaluation de l'effet combiné en procédant, par exemple, à des essais de toxicité avec l'eau du milieu ou en étudiant des indicateurs biologiques. Les indicateurs biologiques sont utiles pour rendre compte de l'état de santé des espèces aquatiques. Ainsi, un suivi des macroinvertébrés benthiques a été réalisé dans quelques cours d'eau également suivis pour les pesticides. Des données recueillies de 2015 à 2017 à deux des quatre stations du réseau de base sont actuellement en traitement et seront publiées ultérieurement.

Outre le dépassement des critères de qualité de l'eau, les données sont également examinées pour y déceler les tendances temporelles des concentrations des pesticides détectés le plus souvent. L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel SAS (SAS Institute Inc., 2014) sur l'ensemble de la période, soit de 1992 à 2017 et de 2007 à 2017, pour les quatre stations du réseau de base.

Suivi en eau souterraine

En 2015 et 2016, 52 puits ont été échantillonnés dans différentes régions du Québec. Dans la plupart des cas, ce sont des puits domestiques

individuels (45) qui ont été retenus comme points d'échantillonnage, mais quelques puits (7) sont des piézomètres faisant partie du Réseau de suivi des eaux souterraines (RSES) du Ministère. Sur les 45 puits domestiques, la plupart des participants sont des producteurs agricoles (38/45), mais on compte aussi des voisins de producteurs (7/45).

Les prélèvements ont été effectués de septembre à novembre 2015 et d'octobre 2016 à février 2017. Chaque puits a été échantillonné une seule fois. Dans le cas des puits domestiques, l'échantillonnage est effectué au robinet de la résidence ou du bâtiment desservi par le puits. Avant de prélever l'échantillon, on laisse couler l'eau pendant environ cinq minutes de façon à prélever de l'eau fraîchement pompée et qui n'a pas séjourné dans la tuyauterie. Si le robinet est doté d'un système de traitement, l'eau est prélevée avant son passage dans l'unité de traitement pour s'assurer d'avoir un portrait des eaux souterraines non traitées. Les échantillons sont conservés au frais dans des glacières pour la durée de leur transport vers le laboratoire du CEAEQ.

La liste des pesticides analysés peut varier d'un puits à l'autre en fonction des pesticides utilisés par chaque producteur. Quoiqu'un grand nombre de pesticides soient analysés, la liste n'est pas nécessairement exhaustive. Les nitrites-nitrates sont aussi analysés à titre de paramètre complémentaire. Toutes les analyses ont été réalisées par le CEAEQ.

Les normes du Règlement sur la qualité de l'eau potable (RQEP) ont été utilisées pour l'interprétation des résultats. En ce qui concerne les pesticides pour lesquels il n'existe pas encore de norme, des valeurs de références établies par d'autres instances gouvernementales ont pu être utilisées.

Les renseignements sur les puits qui ont été consignés lors de l'échantillonnage (profondeur, localisation, distance par rapport aux cultures, etc.) ainsi que les informations agronomiques (pesticides appliqués, renseignements sur les cultures, type de sol, etc.) ont été examinés au regard des résultats de présence/absence de pesticides.

Tableau 1 Pesticides analysés et critères de qualité de l'eau pour la protection des espèces aquatiques (µg/l)

	CVAC		CVAC		
OPS+	Aldrine	0,017	OPS+	Phosalone	-
	Atrazine	1,8	(suite)	Phosmet	-
	Dééthyl-atrazine			Piclorame	29 ^b
	Déisopropyl-atrazine			Pirimicarbe	-
	Azinphos-méthyl	0,01		Propiconazole	
	Azoxystrobine	1,24 ^a		Propoxur	-
	Bendiocarbe	-		Propyzamide	-
	Boscalide	-		Pyraclostrobine	-
	Butilate	56 ^b		Quintozène	1,4 ^a
	Carbaryl	0,2		Simazine	10
	1-Naphtol	-		Tébutiuron	1,6 ^b
	Carbofuran	1,8		Triclopyr	-
	Captafol	-		Trifloxystrobine	-
	Captane	1,3 ^b		Trifluraline	0,2
	Carfentrazone éthyl	-	PESARY	Bentazone	510 ^b
	Chorfenvinphos	-		Bromoxynil	5
	Chloronèbe	16		Clopyralide	-
	Chlorothalonil	0,18		2,4-D	220
	Chloroxuron	-		2,4-DB	25 ^b
	Chlorprophame	-		Dicamba	10 ^b
	Chlorpyrifos	0,002		Dichlorprop (2,4-DP)	-
	Cyanazine	2 ^b		Diclofop-méthyl	6,1
	Cyhalothrine	-		Dinosèbe	0,05
	Cyperméthrine	-		Fénoprop	-
	Deltaméthrine	0,0004		MCPA	2,6 ^b
	Diazinon	0,004		MCPB	7,3 ^b
	Dichlobénil	-		Mécoprop	13 ^b
	2,6-Dichlorobenzamide	-		Piclorame	-
	Dichlorvos	-		Triclopyr	-
	Dieldrine	0,056	GLY-	Glyphosate	800 (ou 65)
	Diméthénamide	5,6 ^b	AMPA	AMPA	-
	Diméthoate	6,2 ^b	PESTICIDES	Acétamipride	-
	Diméthomorphe	-	ÉMERGENTS	Azoxystrobine	1,24 ^a
	Disulfoton	-		Chlorantraniliprole	0,22 ^b
	Diuron	1,6		Clothianidine	0,0083
	EPTC	39 ^b		Fénamidone	-
	Fludioxonil	-		Fénamidone métabolite	-
	Fonofos	-		Flumetsulame	3,1 ^b
	Iprodione	4 ^b		Imazapyr	-
	Linuron	7		Imazéthapyr	8,1 ^b
	Malathion	0,1		Imidaclopride	0,0083
	Métalaxyl	-		Imidaclopride-urée	-
	γ-Métolachlore	7,8 ^b		Imidaclopride-guanidine	-
	Méthidathion	-		Imidaclopride-oléfine	-
	Métribuzine	1 ^b		Mésotriane	-
	Mévinphos	-		Nicosulfuron	-
	Myclobutanil	11 ^b		Rimsulfuron	4,6 ^b
	Napropamide	-		Sulfosulfuron	-
	Parathion	0,013		Thiaclopride	-
	Méthyl-parathion	-		Thiaméthoxame	0,0083
	Éthyl-parathion	-	HEXAZINONE	Hexazinone	30
	Pendiméthaline	-		Hexazinone métabolite A	-
	Perméthrine	0,004		Hexazinone métabolite B	-
	Phorate	-		Hexazinone métabolite D	-

Source : MDDELCC, 2017

a : Valeur guide estimée à partir d'un ensemble réduit de données écotoxicologiques (MDDEFP, 2013)

b : Critère qualifié de provisoire par son auteur

3 RIVIÈRES DU RÉSEAU DE BASE

Fréquence de détection

Dans les quatre cours d'eau du réseau de base, plusieurs pesticides sont détectés en même temps dans l'eau tout au long de la période de mai à août pour les trois années étudiées. Le nombre d'herbicides détectés simultanément est important. Ce constat concorde avec les observations des années antérieures (Giroux, 2015; Giroux et Pelletier, 2012; Giroux, 2010). Huit herbicides ou produits de dégradation d'herbicides sont détectés dans plus de 50 % des échantillons. Ce sont, dans l'ordre, le *s*-métolachlore, le glyphosate, l'atrazine, l'imazéthapyr, le dééthyl-atrazine (produit de dégradation de plusieurs triazines dont l'atrazine), l'AMPA (produit de dégradation du glyphosate), le bentazone et le mésotrione [tableau 2].

L'herbicide glyphosate a été détecté plus souvent au cours de la période 2015-2017, soit dans 97,7 % des échantillons en moyenne comparativement à 91 % pour la période 2011-2014 et 86 % pour la période 2008-2010. On note aussi une augmentation de la fréquence de détection de l'imazéthapyr, liée à l'augmentation des superficies de soya. Il était détecté dans 79 % des échantillons en moyenne au cours de la période de 2008 à 2010 et autour de 86 % de 2011 à 2014, alors que la fréquence de détection se situe autour de 89 % pour la période 2015-2017. Le mésotrione est détecté en moyenne dans 58 % des échantillons pour la période de 2015 à 2017.

Pour la période de 2015 à 2017, une vingtaine d'autres herbicides ont été décelés, mais à une fréquence moins élevée. Des produits comme le métribuzine et le dicamba sont décelés dans environ 45 % des échantillons et d'autres comme le 2,4-D, le diméthénamide, le flumetsulame et le nicosulfuron sont détectés dans 20 à 25 % des échantillons.

Les insecticides détectés le plus souvent sont les produits de la famille des néonicotinoïdes, soit le thiaméthoxame et la clothianidine, qui sont détectés dans respectivement 98,3 % et 90,9 % des échantillons. Puisque le maïs et le soya composent la plus grande partie des cultures des bassins versants étudiés, il apparaît que ces détections proviennent principalement des semences de maïs et de soya traitées aux néonicotinoïdes. L'insecticide imidaclopride, un autre néonicotinoïde, a été détecté dans 54 % des échantillons au cours

de la période 2015-2017. Toutefois, cet insecticide est plutôt utilisé dans les cultures maraîchères.

L'insecticide chlorantraniliprole, homologué dans une grande variété de cultures et depuis peu homologué pour le traitement des semences est aussi plus fréquemment détecté dans les cours d'eau. Alors qu'il était décelé dans 46,6 % des échantillons en 2013 et dans 50 % des échantillons en 2014, sa présence est notée dans 76,3 % des échantillons au cours de la période 2015-2017. Une dizaine d'autres insecticides sont décelés, mais dans moins de 5 % des échantillons. Parmi les fongicides analysés, six ont été détectés. Ceux présents le plus souvent sont l'azoxystrobine et le pyriméthanil, décelés dans environ 16 % des échantillons, les autres étant détectés dans 5 % des cas ou moins.

Le tableau 2 montre aussi les concentrations maximales mesurées pour chaque pesticide. Le glyphosate, le *s*-métolachlore et l'atrazine présentent habituellement les concentrations les plus élevées. C'est en fait le glyphosate qui a montré la valeur individuelle la plus élevée, soit 140 µg/l, mesurée dans la rivière Chibouet en 2015.

Le transport des pesticides vers les cours d'eau est intimement lié aux épisodes de pluie. La plus grande partie des pesticides qui sont transportés vers les cours d'eau le sont lors des premiers événements de pluie qui suivent l'application des pesticides. Par la suite, tout au long de l'été, la croissance des cultures permet de recouvrir progressivement le sol, de telle sorte que les pluies en fin d'été sont moins susceptibles de causer du ruissellement vers les cours d'eau voisins. Une partie des pesticides peut aussi être absorbée par les plantes ou progressivement dégradée par les microorganismes du sol.

L'examen des dates d'échantillonnage et des événements de pluie significatifs (5 mm et plus) montre que de 2015 à 2017, entre 24 % et 53 % des échantillons ont été prélevés en temps de pluie et qu'une grande partie d'entre eux l'ont été par temps sec. Malgré les pluies record et les inondations du printemps 2017, l'été 2017, notamment le mois de juillet, s'est révélé plutôt sec pour le sud du Québec. Les concentrations mesurées de pesticides pourraient donc en être sous-estimées. Le sommaire des précipitations mensuelles est présenté à l'annexe 4.

Tableau 2 Fréquence moyenne de détection et concentrations maximales de pesticides dans les quatre rivières du réseau de base de 2015 à 2017

	Fréquence moyenne de détection %				Concentration maximale mesurée (µg/l)		
	2015	2016	2017	Moyenne	2015	2016	2017
Herbicides							
<i>s</i> -Métolachlore	100	99,1	100	99,7	11	5,1	19
Glyphosate	98,3	98,3	96,6	97,7	140	4,2	4,5
Atrazine	99,1	94,1	95,7	96,3	4,8	3,4	7,9
Imazéthapyr	96,7	93,2	79,6	89,8	0,96	0,46	1,2
<i>Dééthyl-atrazine</i>	89	74,7	76	79,9	0,36	0,31	0,24
AMPA	81,6	69,6	88	79,7	1,6	3,3	1,9
Bentazone	67,2	53,9	59	60	19	1,3	1,7
Mésotrione	69,8	65,5	39,4	58,2	1,7	1,1	0,56
Métribuzine	63,7	26,8	53	47,8	0,9	0,88	7,1
Dicamba	44,3	44,5	47,8	45,5	0,82	0,98	1
2,4-D	30,2	21,7	23,2	25	0,49	0,72	0,76
Diméthénamide	22,1	18,5	29,8	23,5	0,73	0,26	0,51
Flumetsulame	21,6	22,9	25,2	23,2	0,11	0,059	0,029
Nicosulfuron	27,8	17,8	18,7	21,4	0,043	0,036	0,056
<i>Déisopropyl-atrazine</i>	25,5	5,8	20,5	17,3	0,1	0,05	0,11
Rimsulfuron	21,7	10,2	16,2	16	0,029	0,044	0,053
Mécoprop	30,9	7,5	5,2	14,5	0,32	0,32	0,19
MCPA	22,7	8,4	6,8	12,6	0,97	0,4	0,58
Imazapyr	17,5	1,7	2,6	7,3	0,019	0,011	0,035
Bromoxynil	10,9	4,2	4,3	6,4	0,51	0,27	0,08
<i>BAM</i>	2,5	4,3	3,4	3,4	0,03	0,06	0,03
Clopyralide	-	2,5	0,87	1,12	-	0,99	0,35
Sulfosulfuron	1,6	0,83	0,85	1,1	0,004	0,001	0,002
Glufosinate	-	2,5	0,85	1,1	-	0,06	0,05
Pendiméthaline	3,4	-	-	1,1	3,4	-	-
Simazine	-	-	3,3	1,1	-	-	0,07
EPTC	-	0,85	1,7	0,85	-	0,04	0,03
Linuron	1,7	-	-	0,56	0,11	-	-
2,4-DP	-	-	0,85	0,28	-	-	0,11
Insecticides							
Thiaméthoxame	100	96,6	98,3	98,3	4,5	0,69	0,86
Clothianidine	100	93,3	79,5	90,9	0,52	0,34	0,51
Chlorantraniliprole	53,4	83,2	92,2	76,3	0,39	0,22	0,42
Imidaclopride	NA	NA	54	54	NA	NA	0,23
Cyantraniliprole	NA	NA	12,95	12,95	NA	NA	0,1
Chlorpyrifos	9,15	3,3	-	4,15	0,27	0,06	-
Carbaryl	2,5	4,2	1,7	2,8	0,12	0,41	0,19
Thiaclopride	-	-	8,35	2,8	NA	NA	0,025
Diméthoate	5,9	-	0,85	2,25	0,32	-	0,11
Malathion	5,1	-	0,85	2	5,5	-	0,04
Diazinon	1,6	-	-	0,53	0,05	-	0,01
Parathion-méthyl	0,85	-	-	0,28	0,08	-	-
Propoxur	-	-	0,85	0,28	-	-	0,06
Flupyradifurone	-	-	0,85	0,28	NA	NA	0,016
Perméthrine	0,82	-	-	0,27	1,1	-	-
Fongicides							
Azoxystrobine	2,5	-	47,8	16,7	0,007	-	0,12
Pyriméthanil	NA	NA	16,2	16,2	NA	NA	0,025
Fénamidone	-	-	17,2	5,7	NA	NA	0,008
Boscalide	5,8	5,8	4,3	5,3	0,98	0,4	0,77
Métalaxyl	0,85	0,82	0,85	0,84	0,06	0,98	0,05
Trifloxystrobine	-	0,82	-	0,27	-	0,06	-

produit de dégradation

NA : non analysé Tiret : produit non détecté

Italique :

Les concentrations totales les plus élevées de pesticides sont observées entre la fin mai et la fin juillet, durant ou peu après des épisodes de pluie. La figure 5 montre la distribution des concentrations totales pour chacune des rivières du réseau de base, le maximum, le minimum, la médiane les quartiles 25 et 75 pour les concentrations totales mesurées à chaque station

du réseau de base. L'étendue des concentrations totales mesurées dans ces rivières se situe entre 0,045 et 162 µg/l et les médianes se situent entre 1 et 4 µg/l. Les maxima se situent habituellement entre 5 et 14 µg/l, mais des valeurs plus élevées ont été enregistrées pour la rivière Chibouet en 2015 (162 µg/l) et la rivière Saint-Zéphirin en 2017 (30,3 µg/l).

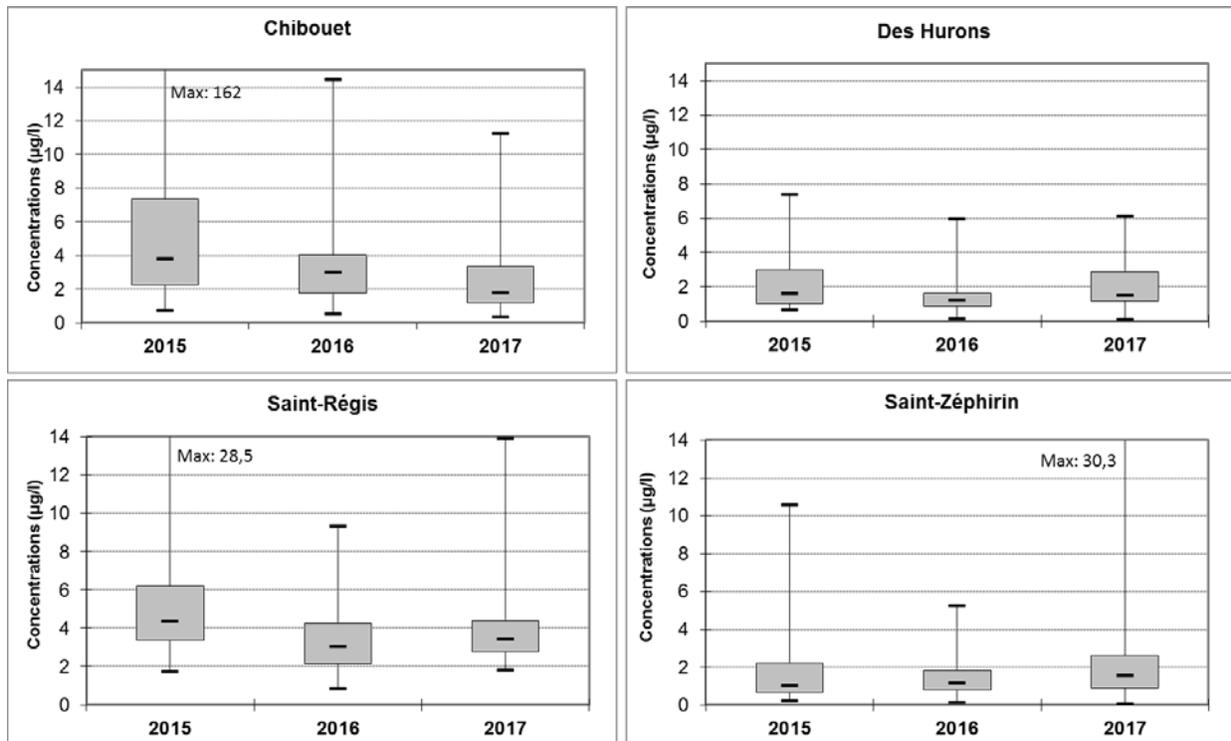


Figure 5 Distribution des concentrations totales de pesticides aux quatre rivières du réseau de base

Comparaison des concentrations aux critères de protection de la vie aquatique (CVAC)

De 2015 à 2017, des dépassements de critères de qualité de l'eau pour la protection de la vie aquatique (critère de toxicité chronique – CVAC) ont été observés pour treize pesticides, soit neuf insecticides (clothianidine, thiaméthoxame, imidaclopride, chlorantraniliprole, chlorpyrifos, carbaryl, diazinon, malathion et perméthrine) et quatre herbicides (atrazine, métribuzine, *s*-métolachlore et glyphosate) [tableau 3].

Les pesticides qui dépassent le plus souvent leur critère sont les insecticides néonicotinoïdes. En moyenne pour les quatre rivières, pour la

période 2015-2017, la clothianidine et le thiaméthoxame dépassent le CVAC de 0,0083 µg/l dans 90 % des échantillons, tandis que l'imidaclopride dépasse ce même critère dans 30 % des échantillons. Dans le cas des autres produits, les dépassements sont occasionnels, soit entre 1 et 9 % des échantillons. En 2015, 2016 et 2017, le chlorantraniliprole a dépassé le CVAC de 0,22 µg/l dans respectivement 3,3 %, 0,85 % et 3,4 % des échantillons. Toutefois, les dépassements pour cet insecticide sont observés uniquement dans la rivière Saint-Régis.

La figure 6 illustre l'évolution de la fréquence des dépassements des critères de qualité de l'eau pour chacune des rivières du réseau de base. Il s'agit de la proportion (en pourcentage) des échantillons

prélevés chaque année depuis 1992 pour lesquels un ou plusieurs pesticides dépassent le CVAC. Au cours des trois dernières années, les critères de qualité de l'eau sont dépassés dans 90 % et 100 %

des échantillons. Les dépassements sont principalement attribuables à la présence des insecticides néonicotinoïdes.

Tableau 3 Fréquence de dépassement des critères de qualité de l'eau (CVAC) par produit pour l'ensemble des quatre rivières du réseau de base (%)

	CVAC	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Herbicides								
Atrazine	1,8	4,3	5	6,8	6,9	7,6	2,5	0,85
Métribuzine	1	0,8	-	-	4,3	-	-	0,85
γ -Métolachlore	7,8	-	0,8	0,8	1,7	2,5	-	0,85
Glyphosate	800 ou 65	-	-	-	-	0,8	-	-
Insecticides								
Clothianidine	0,0083	NA	77,3	73,9	92,2	100	92,4	79,45
Thiaméthoxame	0,0083	NA	NA	NA	88,9	99,1	91,6	78,7
Imidaclopride	0,0083	NA	NA	NA	NA	NA	NA	30,1
Total néonicotinoïdes	0,0083	NA	NA	NA	99,1	100	97,5	97,5
Chlorantraniliprole	0,22	NA	NA	-	-	3,3	0,83	3,4
Chlorpyrifos	0,002	0,8	6,7	9,4	7,7	9,2	3,4	-
Carbaryl	0,2	0,8	0,8	2,6	0,9	-	1,7	-
Diazinon	0,004	2,6	-	0,8	-	1,7	-	0,83
Diméthoate	6,2	0,8	-	-	-	-	-	-
Malathion	0,1	-	-	0,8	0,9	1,7	-	-
Perméthrine	0,004	-	0,8	-	-	0,8	-	-

NA : produit non analysé cette année-là

Tiret : pas de dépassement

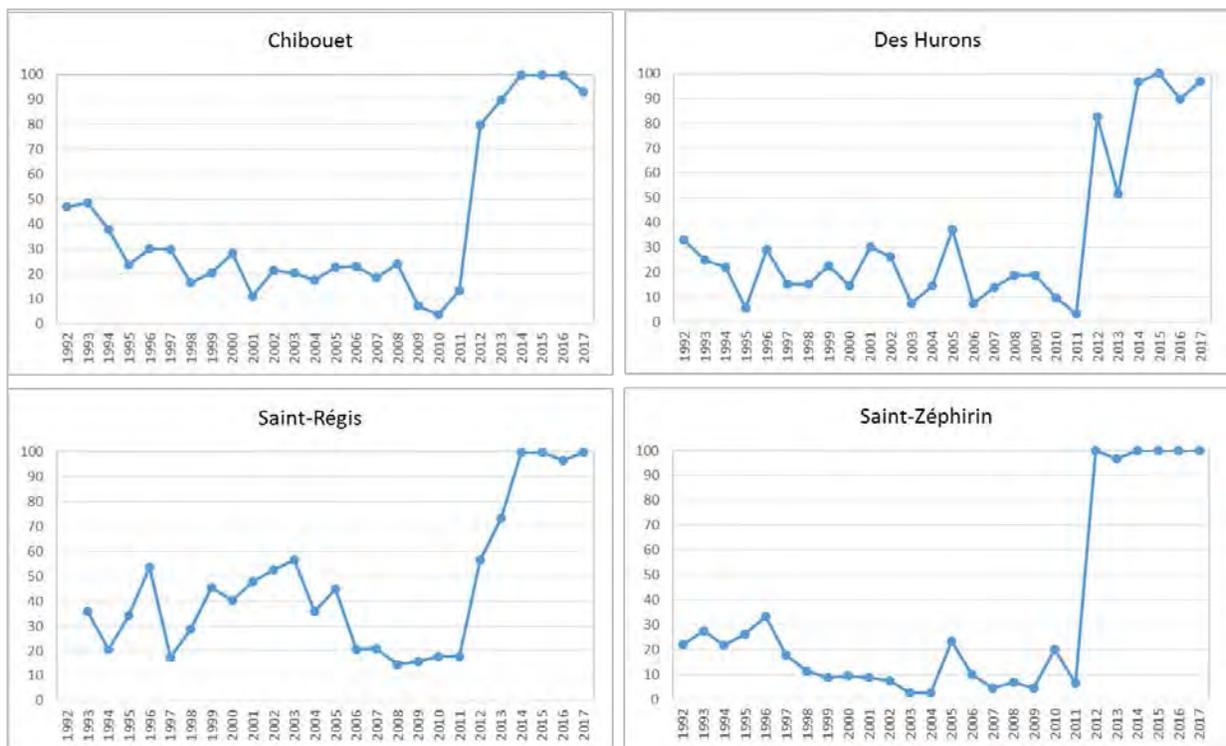


Figure 6 Évolution des tendances des fréquences de dépassement de critères de qualité de l'eau¹

¹ Proportion (%) des échantillons prélevés chaque année pour lesquels il y a un ou plusieurs dépassements de critère de qualité de l'eau (CVAC)

Parmi les quatre rivières du réseau de base, la valeur maximale pour la clothianidine (0,52 µg/l) a été mesurée dans la rivière des Hurons et correspond à une amplitude de 62 fois la valeur du CVAC. Celle du thiaméthoxame (4,5 µg/l) a été mesurée dans la rivière Saint-Régis en 2015 et correspond à 542 fois la valeur du CVAC. Les autres insecticides dépassent les critères dans moins de 10 % des échantillons. Ce sont le chlorpyrifos, le diazinon, le carbaryl le malathion et la perméthrine. Puisque le critère est très bas pour le chlorpyrifos (0,002 µg/l), l'amplitude des dépassements peut parfois être assez importante. La valeur maximale mesurée pour ce produit est de 0,27 µg/l, soit une amplitude de 135 fois le CVAC. Cet insecticide a surtout été détecté dans la rivière Saint-Régis. Enfin, la perméthrine a été détectée ponctuellement en 2015 dans la rivière Saint-Zéphirin. À cette occasion, elle atteint toutefois une valeur de 1,1 µg/l, ce qui correspond à une amplitude de 25 fois le CVAA fixé à 0,044 µg/l. Rappelons que plus un dépassement a une amplitude élevée, plus il sera susceptible d'entraîner des effets nocifs sur les organismes aquatiques, même si le dépassement est de courte durée.

Évolution des concentrations de pesticides

La fréquence de détection de l'atrazine et du *s*-métolachlore demeure toujours élevée, soit autour de 99 % (figure 7). La détection du glyphosate et de son produit de dégradation AMPA a beaucoup augmenté au cours des dix dernières années. Le glyphosate est présent dans 98 % des échantillons en moyenne au cours des trois dernières années. L'imazéthapyr a aussi augmenté pour atteindre une détection moyenne autour de 90 % de 2015 à 2017. Par contre, les herbicides bentazone, dicamba, 2,4-D et méso-trione sont détectés moins souvent au cours des trois dernières années.

Les insecticides néonicotinoïdes clothianidine et thiaméthoxame ont connu une augmentation de leur fréquence de détection dans les cours d'eau étudiés depuis 2012. La détection de l'insecticide chlorantraniliprole a, elle aussi, augmenté.

Les pesticides détectés dans plus de 50 % des échantillons ont fait l'objet d'une analyse

statistique. Les traitements ont été effectués sur les logarithmes népériens des données brutes (tableau 4) ainsi que sur les médianes des concentrations (figures 8 à 10). L'analyse des tendances à partir des données brutes est plus robuste, tandis que celle basée sur les médianes est plus représentative de la tendance centrale des données et reflète probablement mieux l'évolution générale sur une longue période.

Globalement, l'analyse statistique des données brutes montre une tendance significative à la hausse des concentrations dans le cas du glyphosate, de l'AMPA, de l'imazéthapyr, de la clothianidine et du chlorantraniliprole. Cependant, une tendance à la baisse des concentrations est notée dans le cas de l'atrazine, du dicamba et du 2,4-D.

Les rapports précédents (Giroux, 2015; Giroux et Pelletier, 2012) montraient une tendance à la hausse des concentrations de glyphosate. Avec l'ajout des données de 2015 à 2017, l'analyse statistique confirme toujours cette tendance à la hausse. L'augmentation n'est pas homogène dans les quatre rivières – elle est plus importante pour les rivières Chibouet et Saint-Régis, mais se confirme aussi pour les rivières Des Hurons et Saint-Zéphirin. L'AMPA, le produit de dégradation du glyphosate, est également en hausse, avec une croissance plus forte pour les rivières Chibouet et Saint-Régis. La hausse des concentrations d'imazéthapyr n'est pas homogène – elle est plus importante dans les rivières Chibouet et Saint-Zéphirin que dans les deux autres rivières. Dans le cas de la clothianidine, la tendance à la hausse est homogène dans les quatre rivières. Il n'a pas été possible de réaliser l'analyse des tendances pour le thiaméthoxame puisqu'on ne disposait que de quatre années de données seulement.

Les concentrations continuent d'être à la baisse pour l'atrazine et cette tendance est homogène dans les quatre rivières. Dans le cas du dicamba et du 2,4-D, bien que la tendance ne soit pas homogène dans les quatre rivières, une baisse est néanmoins observée dans chacune d'entre elles. Les concentrations de bentazone montrent une tendance à la baisse pour les rivières Chibouet, Des Hurons et Saint-Zéphirin, mais il n'y a pas de tendance significative dans la rivière Saint-Régis.

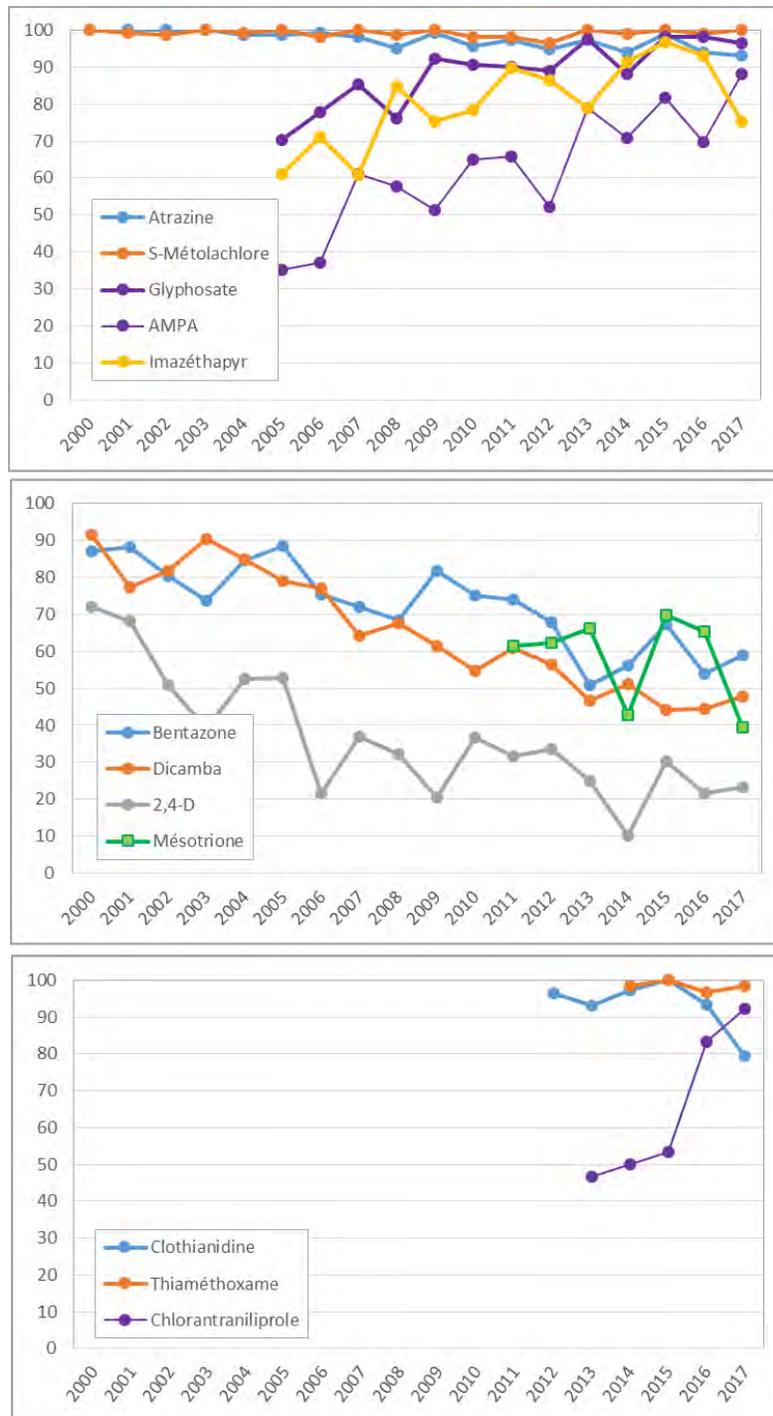


Figure 7 Tendances des fréquences de détection pour quelques pesticides

Note : les limites de détection pour la clothianidine et le thiaméthoxame ont varié pendant la période

Pour tous les pesticides étudiés à l'exception du S-métolachlore et du bentazone, l'analyse statistique des médianes va dans le même sens que celle de l'analyse des données brutes (figures 8 à 10). Dans le cas du S-métolachlore, l'analyse statistique des médianes de 1992 à 2017 montre une tendance significative à la baisse des concentrations aux quatre stations, tendance qui est homogène pour les quatre rivières. Cependant, l'analyse statistique des données brutes montre une tendance à la hausse pour la rivière Chibouet, une tendance à la baisse pour la rivière Saint-Régis et aucune tendance significative dans le cas des rivières Des Hurons

et Saint-Zéphirin. Un constat similaire avait été fait dans le rapport précédent (Giroux, 2015). De plus, l'analyse statistique des données brutes pour la période de 2007 à 2017 indique une hausse significative des concentrations de S-métolachlore. La baisse significative des médianes pour la période de 1992 à 2017 s'expliquerait davantage par la diminution survenue durant la période de 1992 à 2004, comme indiqué dans le rapport précédent (Giroux, 2015), alors que l'analyse des données récentes tendrait à démontrer que la tendance à la baisse est en train de s'inverser.

Tableau 4 Évolution des concentrations¹ de quelques pesticides calculée à partir des données brutes

Pesticide	Période	Rivière	Estimation de la pente ²	Probabilité	Tendance globale
Glyphosate	1996-2017	Chibouet	+ 0,2186	< 0,0001	Tendance significative à la hausse aux quatre stations
		Des Hurons	+ 0,1618	< 0,0001	
		Saint-Régis	+ 0,2206	< 0,0001	
		Saint-Zéphirin	+ 0,1694	< 0,0001	
AMPA	1996-2017	Chibouet	+ 0,2080	< 0,0001	Tendance significative à la hausse aux quatre stations
		Des Hurons	+ 0,1665	< 0,0001	
		Saint-Régis	+ 0,2353	< 0,0001	
		Saint-Zéphirin	+ 0,1050	0,0001	
Imazéthapyr	2002-2017	Chibouet	+ 0,1017	< 0,0001	Tendance significative à la hausse aux quatre stations
		Des Hurons	+ 0,05851	< 0,0001	
		Saint-Régis	+ 0,04997	0,0008	
		Saint-Zéphirin	+ 0,1221	< 0,0001	
Clothianidine	2012-2017	Tendance homogène	+ 0,05309	0,0201	Tendance significative à la hausse aux quatre stations
Chlorantraniliprole	2013-2017	Tendance homogène	+0,07905	0,0084	Tendance significative à la hausse aux quatre stations
Atrazine	1992-2017	Chibouet	- 0,05827	< 0,0001	Tendance significative à la baisse aux quatre stations
		Des Hurons	- 0,05495	< 0,0001	
		Saint-Régis	- 0,1022	< 0,0001	
		Saint-Zéphirin	- 0,07939	< 0,0001	
Dicamba	1993-2017	Chibouet	- 0,1240	< 0,0001	Tendance significative à la baisse aux quatre stations
		Des Hurons	-0,07067	< 0,0001	
		Saint-Régis	- 0,03881	0,0033	
		Saint-Zéphirin	- 0,07218	< 0,0001	
2,4-D	1993-2017	Chibouet	- 0,05960	< 0,0001	Tendance significative à la baisse aux quatre stations
		Des Hurons	- 0,09256	< 0,0001	
		Saint-Régis	- 0,07274	< 0,0001	
		Saint-Zéphirin	-0,04827	< 0,0001	
S-Métolachlore	1992-2017	Chibouet	+ 0,02593	0,0134	Tendance significative à la hausse
		Des Hurons	0,00650	0,5291	Pas de tendance significative
		Saint-Régis	- 0,02817	0,0242	Tendance significative à la baisse
		Saint-Zéphirin	- 0,00705	0,5431	Pas de tendance significative
Bentazone	1997-2017	Chibouet	- 0,1308	< 0,0001	Tendance significative à la baisse
		Des Hurons	- 0,09062	< 0,0001	Tendance significative à la baisse
		Saint-Régis	- 0,00804	0,6381	Pas de tendance significative
		Saint-Zéphirin	- 0,1085	< 0,0001	Tendance significative à la baisse
Mésotrione	2011-2017	Tendance homogène	- 0,01545	0,6987	Pas de tendance significative

¹ Les calculs ont été faits à partir des données brutes transformées en log (logarithme népérien). Comme le logarithme d'une valeur nulle n'est pas défini, une quantité de 0,01 µg/l est ajoutée à chaque mesure.

² Une pente négative signifie que les concentrations sont à la baisse et une pente positive, qu'elles sont à la hausse. Dans la colonne probabilité, si le seuil observé est inférieur à 0,05 (5 %), cela signifie que la probabilité que la tendance soit attribuable au hasard est de moins de 5 % et que, par conséquent, la tendance est statistiquement significative.

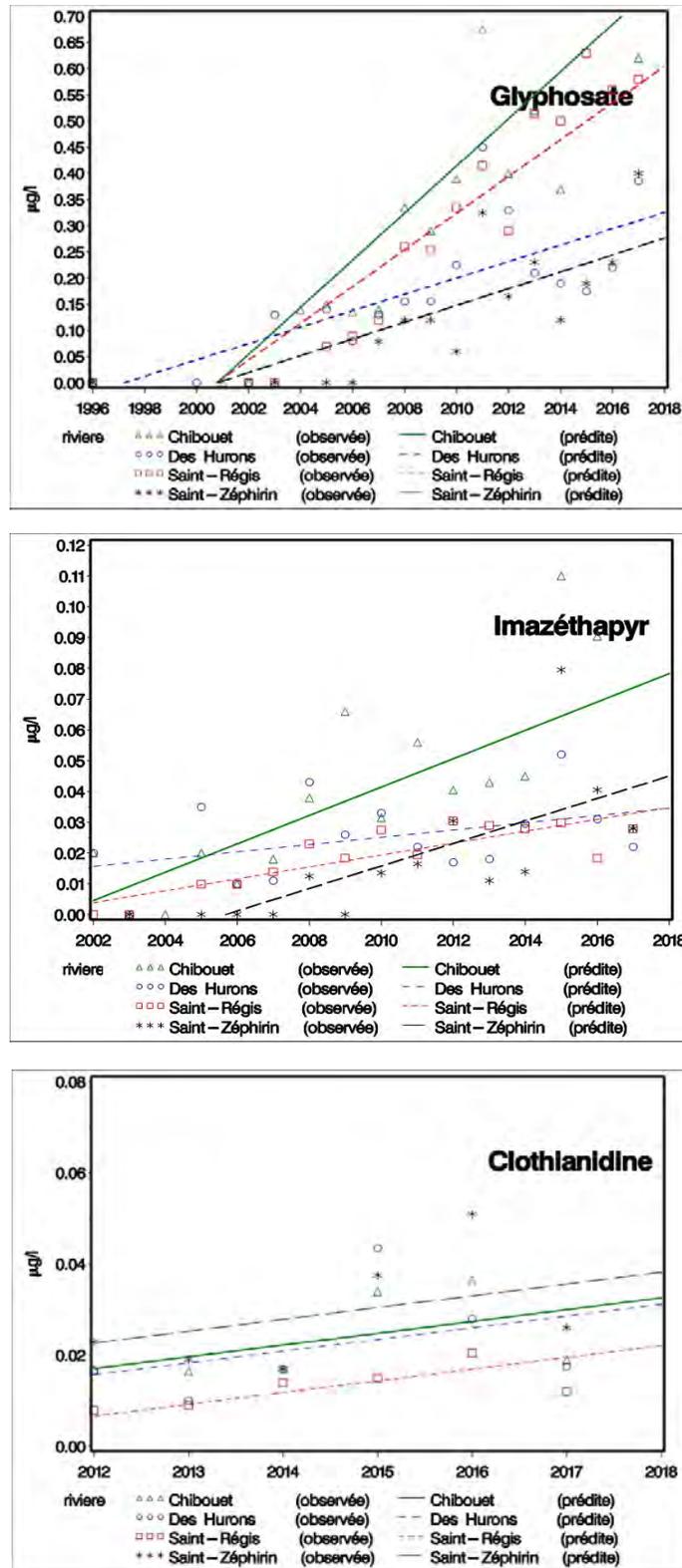


Figure 8 Régression linéaire des concentrations médianes de glyphosate, d'imazéthapyr et de clothianidine

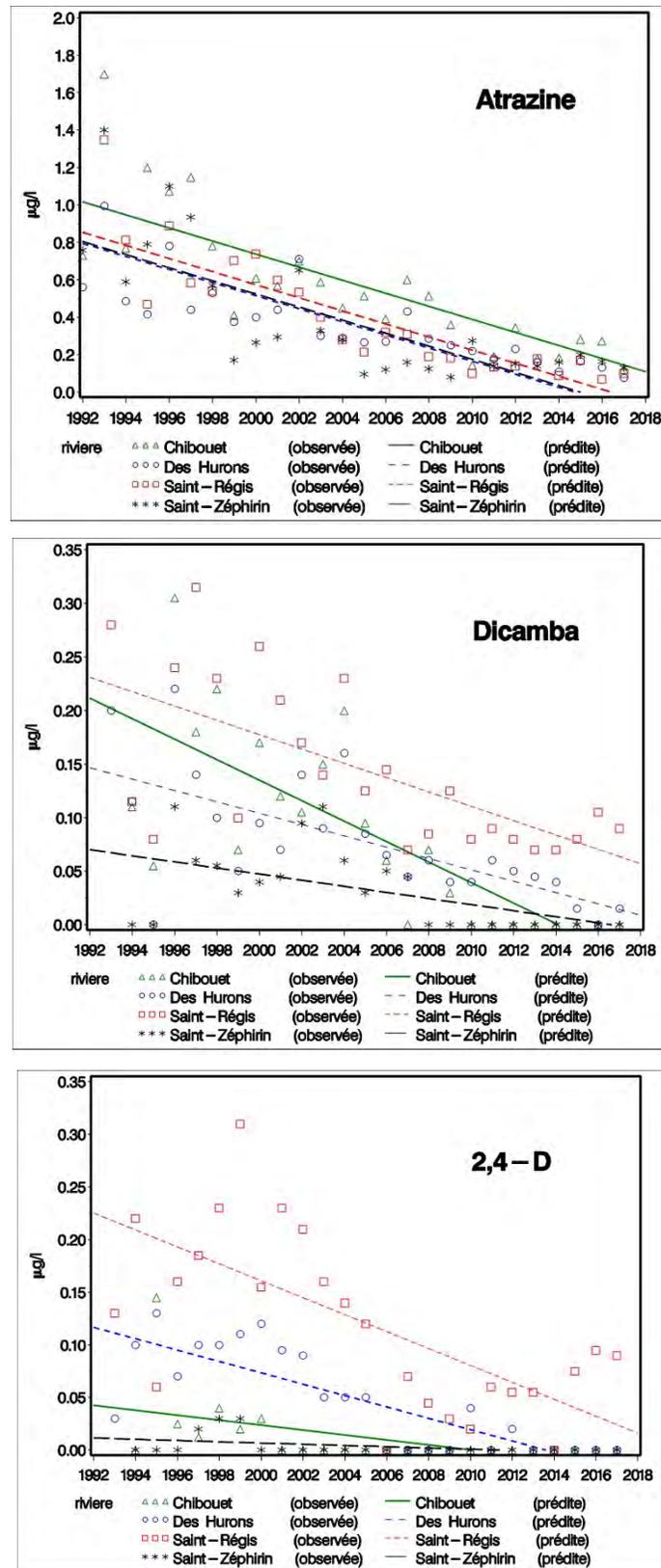


Figure 9 Régression linéaire des concentrations médianes d'atrazine, de dicamba et de 2,4-D

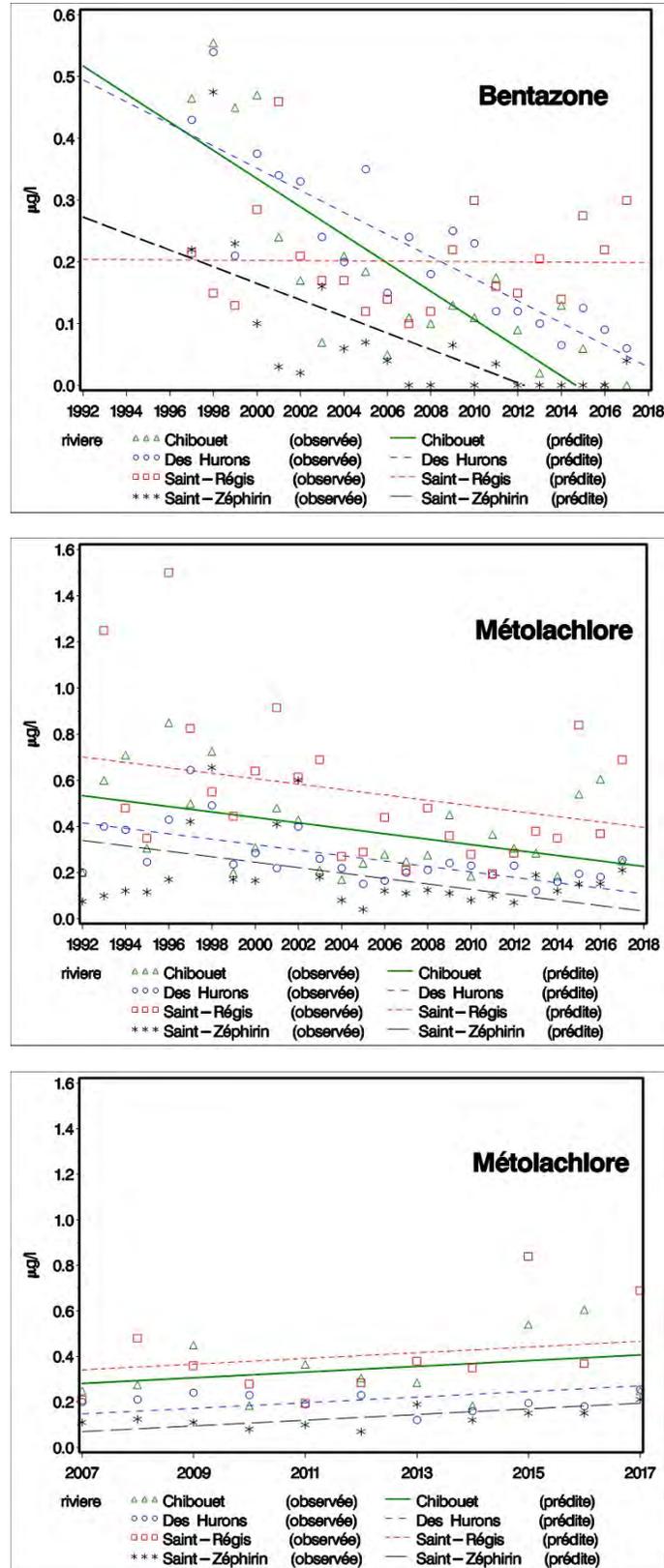


Figure 10 Régression linéaire des concentrations médianes de bentazone et de β -métolachlore

Rivière Chibouet (bassin versant de la rivière Yamaska)

Au cœur du bassin versant de la rivière Yamaska, le bassin de la rivière Chibouet draine les eaux provenant des terres agricoles de Sainte-Hélène-de-Bagot et de Saint-Hugues. Des quatre bassins versants à l'étude, c'est celui qui montre la plus grande proportion en culture, soit 68,43 % de la superficie totale du bassin. Le maïs et le soya couvrent respectivement 52,75 % et 28,17 % de la superficie totale cultivée (figure 11), ce qui représente une hausse d'environ 5 % des superficies en soya par rapport aux données de 2010. À elles seules, ces deux cultures représentent plus de 81 % de la superficie cultivée. Les autres cultures d'importance sont les céréales (6,76 %) et le foin (4 %). Les cultures maraîchères ne représentent que 2,46 % de la superficie cultivée.

Dans la rivière Chibouet, les constats généraux sont relativement similaires aux années antérieures. Plusieurs pesticides sont présents simultanément dans l'eau durant toute la période de mai à août. De 2015 à 2017, de 21 à 27 pesticides ont été détectés selon l'année (tableau 5). Pour l'ensemble de la période 2015 à 2017, ce sont 23 herbicides, 7 insecticides et 2 fongicides.

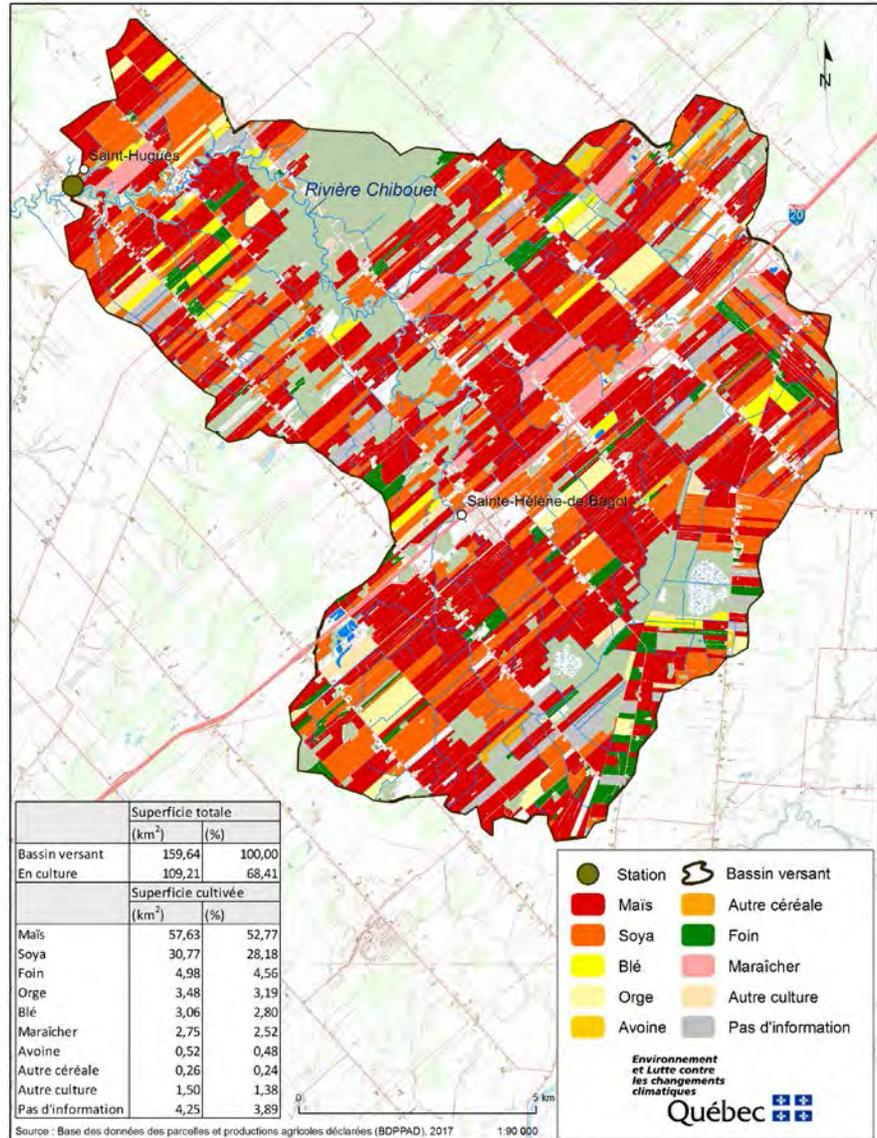


Figure 11 Cultures dans le bassin versant de la rivière Chibouet

Tableau 5 Pesticides détectés dans la rivière Chibouet, de 2011 à 2017

	Fréquence de détection (%)							Concentration max pour la période 2011-2014 (µg/l)	Concentration max pour la période 2015-2017 (µg/l)
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017		
Herbicides									
<i>s</i> -Métolachlore	96,6	100	100	96,4	100	100	100	9,7	10
Atrazine	96,6	100	96,6	100	100	96,7	100	11	4,8
<i>Dééthyl</i> -atrazine	50	93,3	86,6	89,3	100	86,7	82,7	0,4	0,31
<i>Déisopropyl</i> -atrazine	20	3,3	6,6	10,7	34,5	10	24,1	0,14	0,11
Imazéthapyr	100	100	100	100	100	100	93,1	0,26	0,96
Glyphosate	96,6	96,6	100	93,1	100	100	100	18	140
AMPA	20	50	86,6	79,3	100	70	93,1	2,9	3,3
Mésotrione	70	53,3	70	55,2	79,3	76,7	41,4	1,4	1,7
Bentazone	60	73,3	50	56,6	69	36,7	24,1	1,6	2,5
Diméthénamide	13,3	56,6	76,6	17,8	10,3	-	20,7	0,17	0,04
Nicosulfuron	33,3	50	3,3	13,8	34,5	10	3,4	0,024	0,04
Dicamba	20	43,3	30	13,8	13,8	30	10,3	0,75	0,82
MCPA	23,3	16,6	10	13,8	27,6	6,7	10,3	0,39	0,58
2,4-D	10	6,6	13,3	10,3	24,1	13,3	6,9	1,3	0,72
Rimsulfuron	6,6	3,3	3,3	3,4	10,3	-	13,8	0,04	0,011
2,4-DP	3,3	3,3	-	-	-	-	-	0,04	-
Simazine	3,3	-	-	-	-	-	-	0,04	-
Linuron	-	6,6	-	-	-	-	-	0,27	-
Diuron	-	3,3	-	-	-	-	-	0,38	-
Sulfosulfuron	-	3,3	-	-	-	3,3	-	0,002	0,001
Métribuzine	-	-	16,6	21,4	55,2	23,3	37,9	0,07	0,9
Bromoxynil	-	-	6,6	-	10,3	10	10,3	0,15	0,27
Mécoprop	-	-	6,6	-	10,3	-	3,4	0,21	0,06
2,4-DB	-	-	3,3	-	-	-	-	0,27	-
Pendiméthaline	NA	NA	NA	7,1	10,3	-	-	0,06	3,4
Cyanazine	-	-	-	3,6	-	-	-	0,04	-
Glufosinate	-	-	-	3,4	-	6,7	-	0,05	0,06
Flumetsulame	-	-	-	-	-	13,3	17,2	-	0,036
Imazapyr	-	-	-	-	3,4	-	3,4	-	0,035
Insecticides									
Clothianidine	NA	100	96,6	100	100	86,7	75,9	0,21	0,52
Thiaméthoxame	NA	NA	NA	100	100	100	100	0,24	0,2
Chlorantraniliprole	NA	NA	-	-	10,3	13,3	82,7	-	0,014
Imidaclopride	NA	NA	NA	NA	NA	NA	69	NA	0,019
Malathion	3,3	-	16,6	3,4	10,3	-	3,4	0,13	5,5
Diméthoate	-	-	-	-	6,9	-	3,4	-	0,16
Parathion-méthyl	-	-	-	-	3,4	-	-	-	0,08
Chlorpyrifos	3,3	-	-	-	-	-	-	0,4	-
Carbofuran	3,3	-	-	-	-	-	-	0,12	-
λ-Cyhalothrine	-	-	-	3,4	-	-	-	0,17	-
Fongicides									
Azoxystrobine	NA	NA	NA	-	-	-	34,5	-	0,06
Métalaxyl	NA	NA	NA	-	3,4	-	-	-	0,004
Pesticides et produits de dégradation détectés (N)	20	20	21	23	27	21	25		

Italique : produit de dégradation

NA : non analysé

Tiret : produit non détecté

En 2015 et 2016, tous les échantillons prélevés montraient un dépassement du CVAC pour au moins un pesticide, alors qu'en 2017, 93 % des échantillons montraient des dépassements. Les herbicides atrazine, *s*-métolachlore et glyphosate ont montré quelques dépassements en 2015 ou 2016, soit entre 3 et 10 % des échantillons (tableau 6). Une concentration élevée de glyphosate (140 µg/l) est notée dans la rivière le

24 juin 2015. Cette concentration dépasse avec une amplitude de plus de deux fois le CVAC de 65 µg/l (basée sur la formulation commerciale) (CCME, 1999), mais ne dépasse pas le CVAC de 800 µg/l (basé sur la matière active seule) (CCME, 2012). Il s'agit de la concentration la plus élevée notée à ce jour pour le glyphosate dans le cadre de ce programme de suivi.

Tableau 6 Dépassesments des critères de qualité de l'eau dans la rivière Chibouet

	CVAC µg/l	Fréquence de dépassement (%)						
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Herbicides								
γ-Métolachlore	7,8	-	-	3,3	3,6	6,9	-	-
Atrazine	1,8	10	-	6,7	14,3	10,3	6,7	-
Glyphosate	65	-	-	-	-	3,4	-	-
Insecticides								
Clothianidine	0,0083	NA	80	90	96,5	100	86,7	75,9
Thiaméthoxame	0,0083	NA	NA	NA	93,1	100	100	72,4
Imidaclopride	0,0083	NA	NA	NA	NA	NA	NA	24,1
Chlorpyrifos	0,002	3,3	-	-	-	-	-	-
Malathion	0,1	-	-	3,3	-	6,9	-	-

NA : non analysé

Tiret : produit non détecté

Les insecticides thiaméthoxame et clothianidine montrent des dépassements du CVAC de 0,0083 µg/l dans 72 % à 100 % des échantillons. L'imidaclopride dépasse le CVAC dans 24 % des échantillons en 2017. Le malathion dépasse son critère dans 6,9 % des échantillons en 2015.

Dans le cas du thiaméthoxame le critère de vie aquatique (toxicité aiguë – CVAA) de 0,2 µg/l est dépassé dans deux échantillons (6,9 %) en 2015 et dans un échantillon en 2016. En 2015, ce même critère est dépassé dans un échantillon pour la clothianidine.

L'insecticide chlorantraniliprole est détecté dans 10,3 % et 13,3 % des échantillons en 2015 et 2016, mais sa détection augmente à 82,7 % en 2017. Par contre, les concentrations du produit ne dépassent pas le CVAC de 0,22 µg/l établi pour la protection des espèces aquatiques.

Les concentrations totales journalières de pesticides les plus élevées ont été observées en 2015 (figure 12). Les pics de concentrations élevées surviennent habituellement en juin ou juillet après de fortes pluies. Cependant en 2015 et 2016 (24 juin et 2 août 2015, 31 juillet 2016),

on note des pointes de concentrations élevées, mais sans précipitations notables le jour ou la veille du prélèvement. Cela pourrait signifier une averse locale à proximité de la station d'échantillonnage de la rivière Chibouet, mais non enregistrée à la station météorologique de Saint-Simon, d'une dérive de pulvérisation ou encore d'un déversement ou d'un mauvais usage à proximité du cours d'eau.

En 2016, les néonicotinoïdes, notamment la clothianidine, révèlent un pic plus élevé en fin de saison plutôt qu'en début de saison comme c'est habituellement le cas (figure 13). Cette pointe de concentration est consécutive à de fortes pluies.

À l'exception de deux pointes, les concentrations totales de pesticides en 2016 et 2017 sont toutes sous la barre de 10 µg/l. Notons que les mois de mai et juin 2015 ont reçu plus de pluie que la normale, alors que les mois de mai 2016 et 2017 ont été plus secs que la normale. De plus, comme évoqué précédemment, l'été 2017 a été généralement sec dans le sud du Québec, ce qui pourrait expliquer les plus faibles concentrations mesurées (annexe 5).

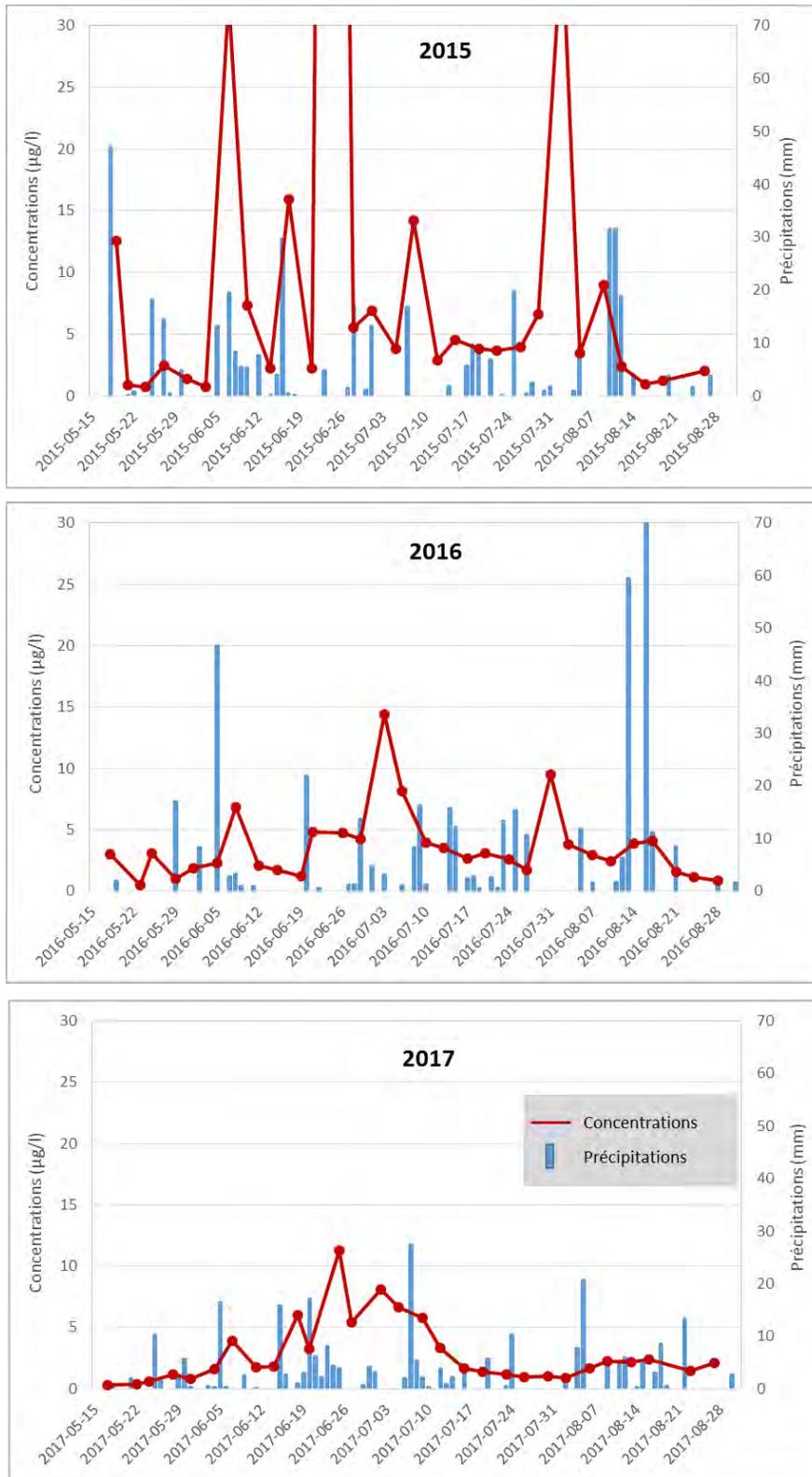


Figure 12 Somme des concentrations de pesticides dans la rivière Chibouet en fonction des épisodes de pluie*

* Station météorologique de Saint-Simon

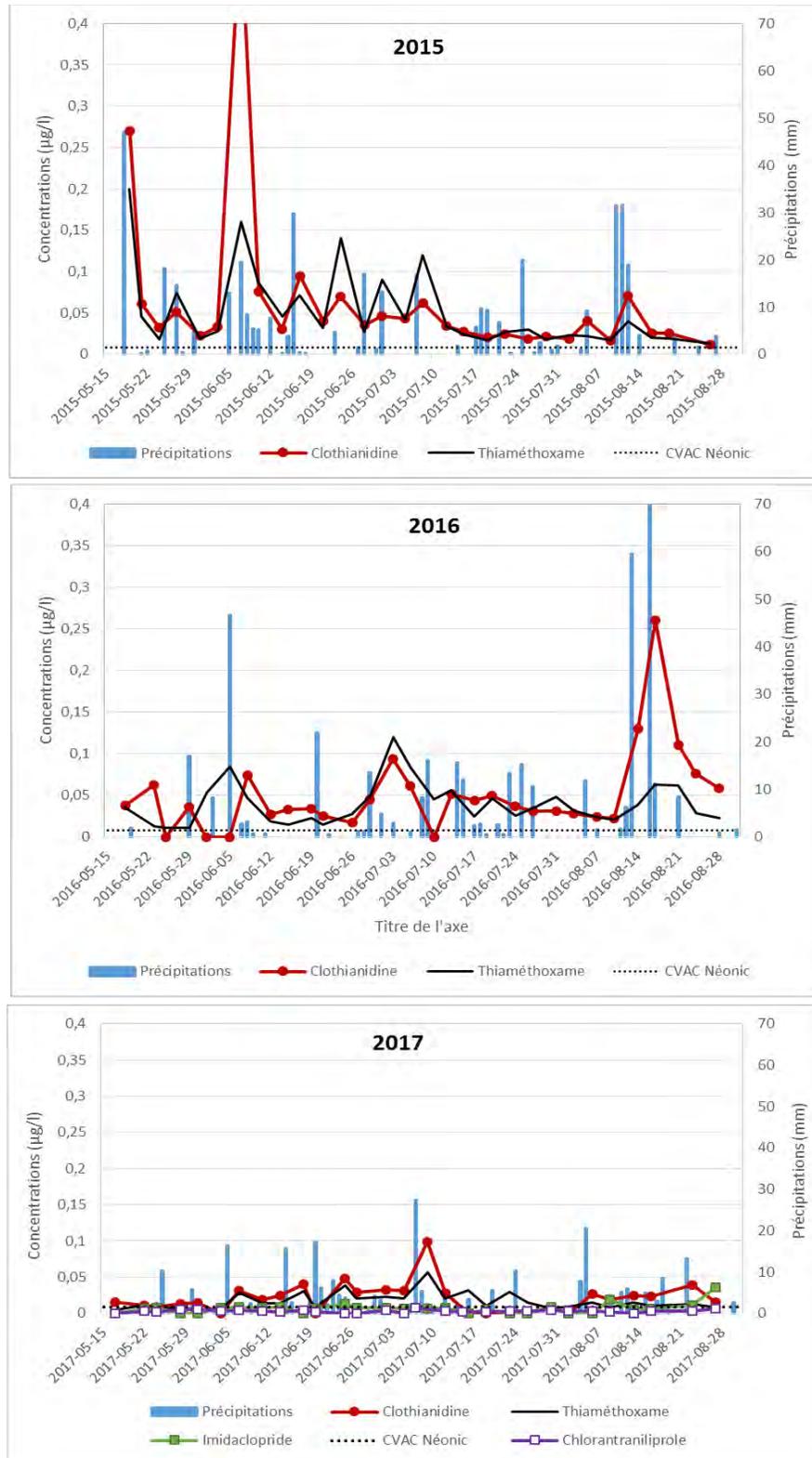


Figure 13 Concentrations d'insecticides dans la rivière Chibouet

Rivière des Hurons (bassin versant de la rivière Richelieu)

La rivière des Hurons, un affluent de la rivière Richelieu, présente le plus grand bassin versant (312 km²) des quatre rivières à l'étude. Elle draine les eaux provenant des municipalités de Sainte-Madeleine, de Sainte-Angèle-de-Monnoir, de Sainte-Marie-de-Monnoir et de Saint-Jean-Baptiste. La proportion du bassin versant consacrée aux cultures est de 65,83 %. Le maïs y occupe 42,7 % de la superficie cultivée, le soya, 32 %. Les céréales, notamment le blé, couvrent environ 5,2 % des surfaces cultivées, tandis que les cultures maraîchères représentent environ 1,6 % du total cultivé (figure 14).

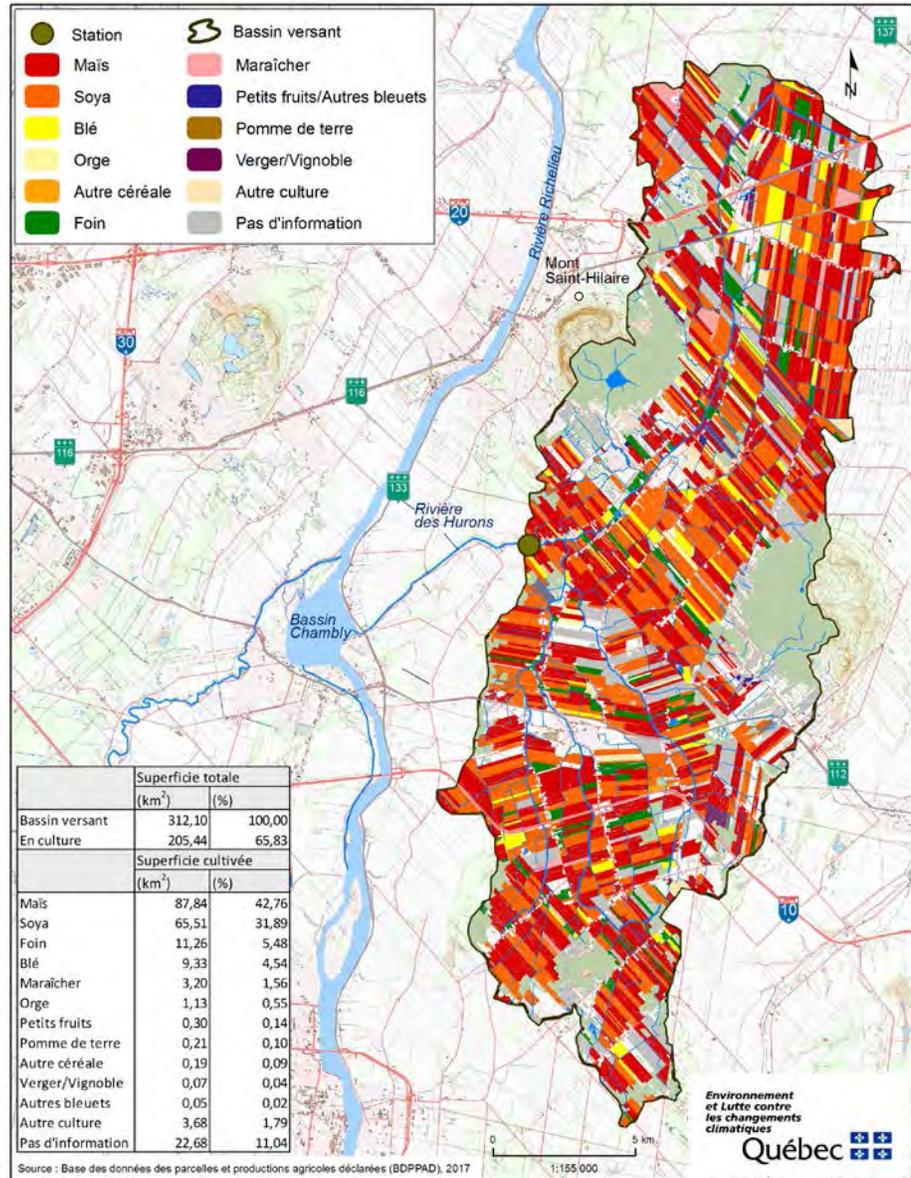


Figure 14 Cultures dans le bassin versant de la rivière des Hurons

Au cours de la période de 2015 à 2017, de 26 à 32 pesticides (et produits de dégradation) ont été détectés dans la rivière des Hurons. Les herbicides le plus souvent présents sont le *s*-métolachlore, l'atrazine, le glyphosate, l'imazéthapyr, le bentazone, le flumetsulame et le mésotrione (tableau 7). Les insecticides thiaméthoxame et chlorantraniliprole sont détectés dans 99 % des échantillons en moyenne et la clothianidine est décelée dans 93 % d'entre

eux. Six autres insecticides sont détectés, dont l'imidaclopride et le thiaclopride, deux insecticides de la famille des néonicotinoïdes, qui sont détectés respectivement dans 40 % et 30 % des échantillons. Les fongicides azoxystrobine et pyriméthanil sont détectés respectivement dans 56,7 % et 26,7 % des échantillons. Les concentrations maximales de chaque produit sont généralement inférieures à celles mesurées au cours de la période précédente.

Tableau 7 Pesticides détectés dans la rivière des Hurons, de 2011 à 2017

	Fréquence de détection (%)							Concentration max pour la période 2011-2014 (µg/l)	Concentration max pour la période 2015-2017 (µg/l)
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017		
Herbicides									
<i>s</i> -Métolachlore	100	89,6	100	100	100	96,5	100	9,9	3,2
Atrazine	100	86,2	96,4	96,7	100	86,2	100	11	2,4
<i>Dééthyl-atrazine</i>	65,5	68,9	57,1	86,7	100	65,5	73,3	0,44	0,28
<i>Déisopropyl-atrazine</i>	20,7	10,3	-	13,3	20	3,4	20	0,22	0,07
Glyphosate	90	93,1	100	90	93,3	100	93,3	7,8	2,8
<i>AMPA</i>	66,6	68,9	82,7	83,3	96,7	62	90	1,6	1,4
Imazéthapyr	96,5	72,4	68,9	93,3	100	93	70	0,47	0,46
Bentazone	96,6	72,4	64,3	73,3	100	68,9	60	2,4	1,6
Flumetsulame	48,3	44,8	44,8	20	83,3	58,6	80	0,18	0,11
Mésotrione	79,3	75,8	41,4	36,7	80	65,5	36,7	2,3	0,8
Dicamba	90	75,8	57,1	56,7	46,7	41,4	50	1,4	0,13
Diméthénamide	31	41,4	25	40	33,3	24,1	43,3	0,71	0,23
Nicosulfuron	55,2	48,3	13,8	3,3	40	41,4	36,7	0,074	0,032
MCPA	43,3	34,5	14,3	23,3	20	10,3	13,3	0,7	0,17
2,4-D	46,6	48,3	28,6	20	10	10,3	10	2,5	0,22
Rimsulfuron	31	31	17,2	16,7	40	24,1	20	0,047	0,019
Métribuzine	13,8	3,4	10,7	60	53,3	24,1	56,7	0,84	0,69
<i>2,6-Dichlorobenzamide</i>	NA	6,8	-	36,7	10	17,2	6,7	0,03	0,06
Mécoprop	23,3	41,4	14,3	6,7	23,3	3,4	-	2,6	0,07
Bromoxynil	10	6,8	17,8	20	10	6,9	6,7	0,14	0,08
Diuron	-	6,8	-	-	-	-	-	0,36	-
Trifluraline	-	3,4	7,1	-	-	-	-	0,01	-
Simazine	3,4	6,8	3,6	-	-	-	13,3	0,12	0,07
Linuron	3,4	3,4	-	-	6,7	-	-	0,23	0,11
Sulfosulfuron	NA	3,4	-	3,3	3,3	-	-	0,05	0,002
2,4-DB	3,3	3,4	-	3,3	-	-	-	0,12	-
EPTC	-	3,4	-	-	-	3,4	6,7	0,05	0,04
Glufosinate	NA	NA	3,4	-	-	-	-	0,07	-
Pendiméthaline	NA	NA	NA	-	3,3	-	-	-	0,1
Napropamide	NA	-	3,4	3,3	-	-	-	0,11	-
2,4-DP	-	-	-	-	-	-	3,3	-	0,11
Insecticides									
Clothianidine	NA	89,6	79,3	93,3	100	96,5	83,3	0,42	0,34
Thiaméthoxame	NA	NA	NA	96,7	100	96,5	100	0,24	0,2
Chlorantraniliprole	NA	NA	93	96,7	100	96,5	100	0,071	0,079
Imidaclopride	NA	NA	NA	NA	NA	NA	40	-	0,015
Thiaclopride	NA	NA	NA	NA	NA	NA	30	-	0,025
Diazinon	3,4	-	3,6	-	3,3	-	3,3	0,04	0,02
Perméthrine	-	3,4	-	-	-	-	-	0,12	-
Carbaryl	-	-	3,6	3,3	6,7	6,9	3,3	0,33	0,41
Diméthoate	-	3,4	-	-	-	-	-	0,07	-
Chlorpyrifos	-	-	-	-	3,3	3,4	-	-	-
Malathion	-	-	-	3,3	3,3	-	-	0,02	-
Fongicide									
Azoxystrobine	NA	NA	NA	-	-	-	56,7	-	0,018
Pyriméthanil	NA	NA	NA	NA	NA	NA	26,7	-	0,007
Fénamidone	NA	NA	NA	NA	NA	NA	3,3	-	0,008
Myclobutanil	-	-	3,6	-	-	-	-	0,05	-
Pesticides et produits de dégradation détectés (N)	23	30	27	28	30	26	32		

Italique : produit de dégradation

NA : non analysé

Tiret : produit non détecté

Globalement, les CVAC ont été dépassés pour un pesticide ou plus dans tous les échantillons en 2015, dans 90 % des échantillons en 2016 et dans 93 % des échantillons en 2017. Sept pesticides sont responsables de ces dépassements, soit l'herbicide atrazine, les insecticides néonicotinoïdes clothianidine, thiaméthoxame et imidaclopride et, dans une moindre mesure, les insecticides chlorpyrifos, diazinon et carbaryl.

De plus, un dépassement du critère de toxicité aiguë (CVAA) de 0,2 µg/l est enregistré pour le thiaméthoxame en 2015 et pour la clothianidine en 2016. Tout comme dans le cas de la rivière Chibouet, on note une pointe de concentration élevée de clothianidine au mois d'août après de fortes pluies.

Tableau 8 Dépassements des critères de qualité de l'eau dans la rivière des Hurons, de 2011 à 2017

	CVAC	Fréquence de dépassement (%)						
	µg/l	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Herbicides								
Atrazine	1,8	-	17,2	7,1	3,3	6,7	-	-
S-Métolachlore	7,8	-	3,4	-	-	-	-	-
Insecticides								
Clothianidine	0,0083	NA	82,7	51,7	90	100	90	83,3
Thiaméthoxame	0,0083	NA	NA	NA	80	96,6	93,3	70
Imidaclopride	0,0083	NA	NA	NA	NA	NA	NA	30
Diazinon	0,004	3,4	-	3,6	-	3,3	-	3,3
Perméthrine	0,004	-	3,4	-	-	-	-	-
Carbaryl	0,2	-	-	3,6	-	-	3,3	-
Chlorpyrifos	0,002	-	-	-	-	3,3	3,4	-

NA : non analysé

Tiret : produit non détecté

Alors qu'en 2012 et 2013 on notait des concentrations journalières cumulées supérieures à 20 µg/l (somme de tous les pesticides détectés pour chaque jour d'échantillonnage), les concentrations journalières cumulées pour la période de 2015 à 2017 sont toutes sous la barre de 10 µg/l (figure 15). Pour l'année 2016, il faut noter que des précipitations plus faibles que la normale pour les mois de mai et juin 2016 ont été enregistrées, ce qui pourrait expliquer en partie ces concentrations cumulées plus faibles dans le cours d'eau (annexe 4). L'été 2017 a aussi été enregistré comme un été sec dans tout le sud du Québec (MDDELCC, 2017d).

Notons aussi que depuis quelques années il y a une mobilisation des producteurs agricoles du bassin versant pour modifier des pratiques afin de protéger l'environnement. Ainsi, depuis 2009, un projet de gestion intégrée de l'eau intitulé *Rivière des Hurons : le milieu agricole en action pour le rétablissement du Chevalier cuivré*, piloté par

l'Union des producteurs agricoles de la Montérégie est en cours dans le bassin de la rivière des Hurons (UPA, 2015). Par ailleurs, en 2016, un groupe de 17 entreprises agricoles situées dans la partie amont du bassin versant, soutenu par le Programme Prime-Vert du MAPAQ, a comme objectif de réduire les quantités de pesticides dans les eaux de surface (Marie-Hélène April, MAPAQ, 2017, communication personnelle). Un suivi des pesticides a également été réalisé par Environnement et Changement climatique Canada dans la partie amont du bassin versant afin de vérifier sur quelques années les effets de ces interventions (Andrée Gendron, ECC, 2018, communication personnelle). Les données d'Environnement et Changement climatique Canada ainsi que les nôtres permettront de voir au cours des prochaines années si des gains en matière de protection de l'environnement ont été réalisés.

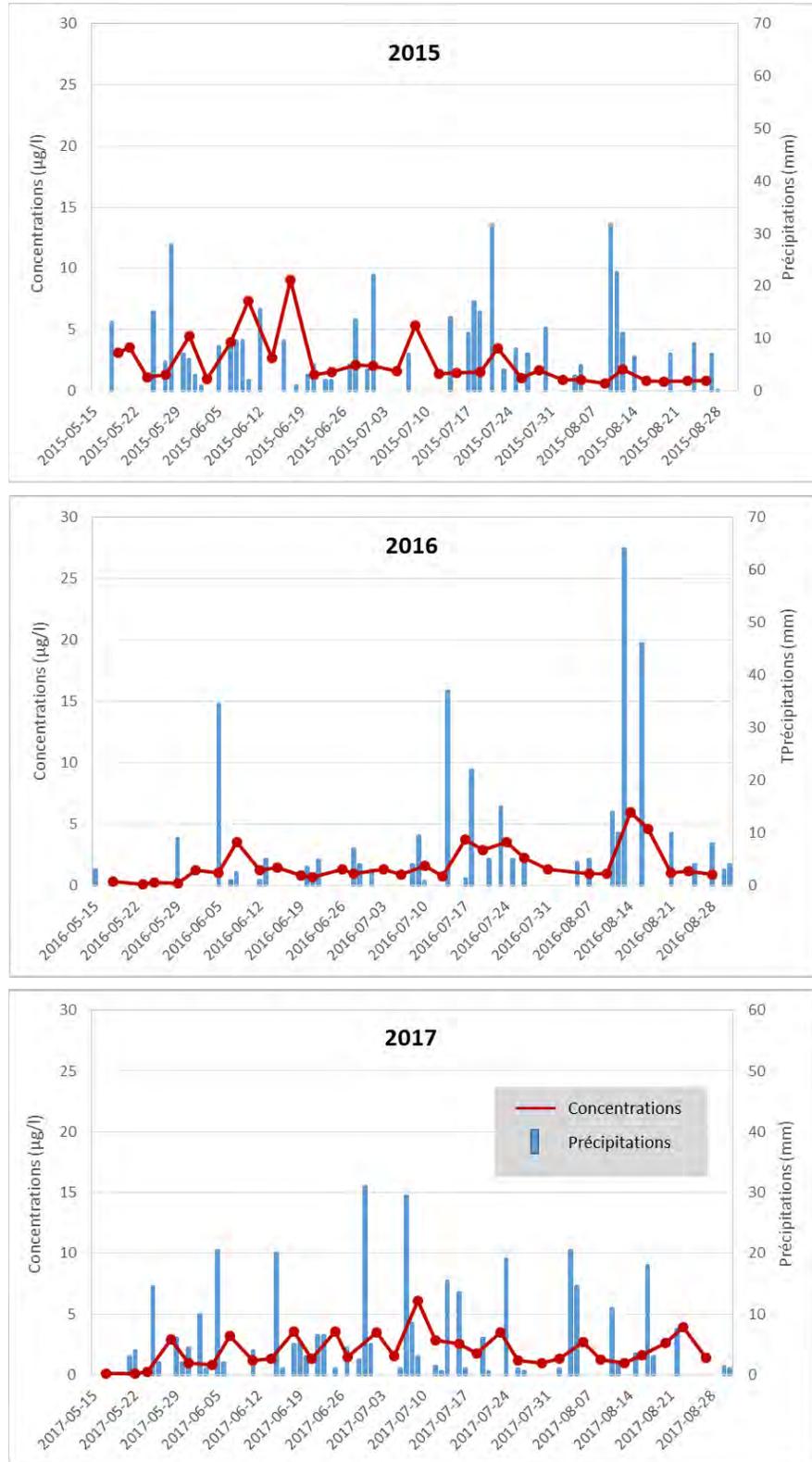


Figure 15 Somme des concentrations de pesticides dans la rivière des Hurons en fonction des épisodes de pluie*

*Station météorologique de Marieville

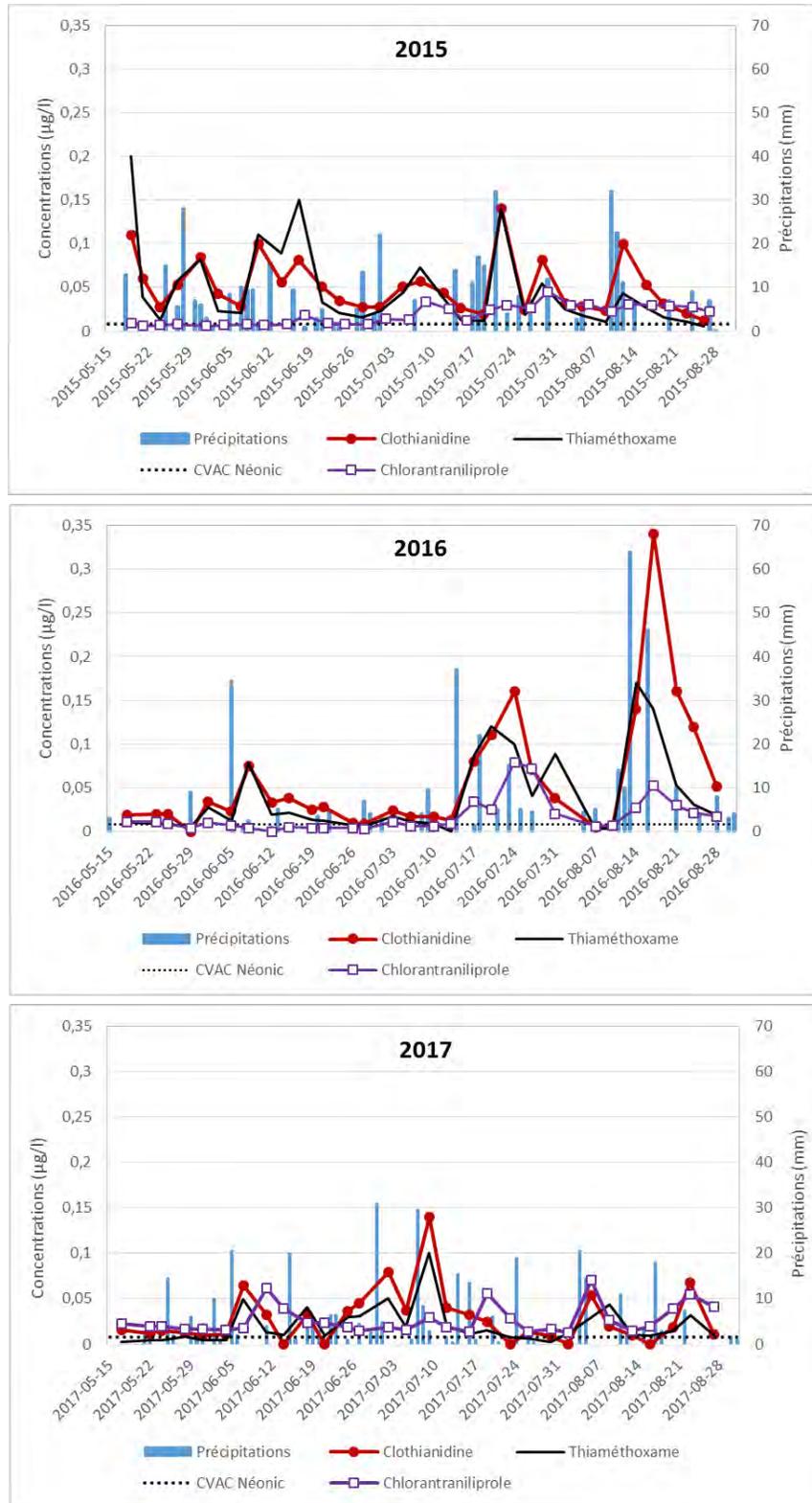


Figure 16 Concentrations d'insecticides dans la rivière des Hurons

Rivière Saint-Régis (affluent du Saint-Laurent)

Le bassin de la rivière Saint-Régis couvre 93,5 km². La partie en aval du bassin se situe en milieu urbain, mais toute la zone en amont est agricole (figure 17). La rivière Saint-Régis et son tributaire, la rivière Saint-Pierre, drainent les eaux provenant des municipalités de Saint-Isidore, Saint-Constant et d'une partie de Saint-Rémi. Les cultures y occupent 59 % du bassin versant. Le maïs compte pour 28,9 % de la superficie cultivée, le soya, pour 34 %, et les cultures maraîchères, pour 12,4 %. Les céréales et le foin occupent respectivement une proportion de 5,7 % et de 6,2 % la superficie cultivée.

De 2015 à 2017, de 26 à 34 pesticides ont été détectés dans la rivière Saint-Régis (tableau 9). Comme pour les autres rivières du réseau de base, les produits détectés le plus souvent sont les herbicides associés aux cultures de maïs et de soya, soit le *s*-métolachlore, l'atrazine, le glyphosate, le dicamba, le bentazone et l'imazéthapyr (tableau 9). Cependant, une vingtaine d'autres herbicides ou produits de dégradation d'herbicides ont aussi été détectés. La fréquence moyenne de détection du glyphosate a légèrement augmenté pour la période 2015-2017 (97 %) par rapport à 94 % pour la période 2011-2014, alors que la fréquence de détection de plusieurs autres herbicides a diminué pour cette même période (dicamba, bentazone et imazéthapyr).

En ce qui concerne les insecticides, le produit détecté le plus souvent est le chlorantraniliprole, qu'on retrouve dans 100 % des échantillons au cours de la période de 2015 à 2017. Pour cette même période, la rivière Saint-Régis montre

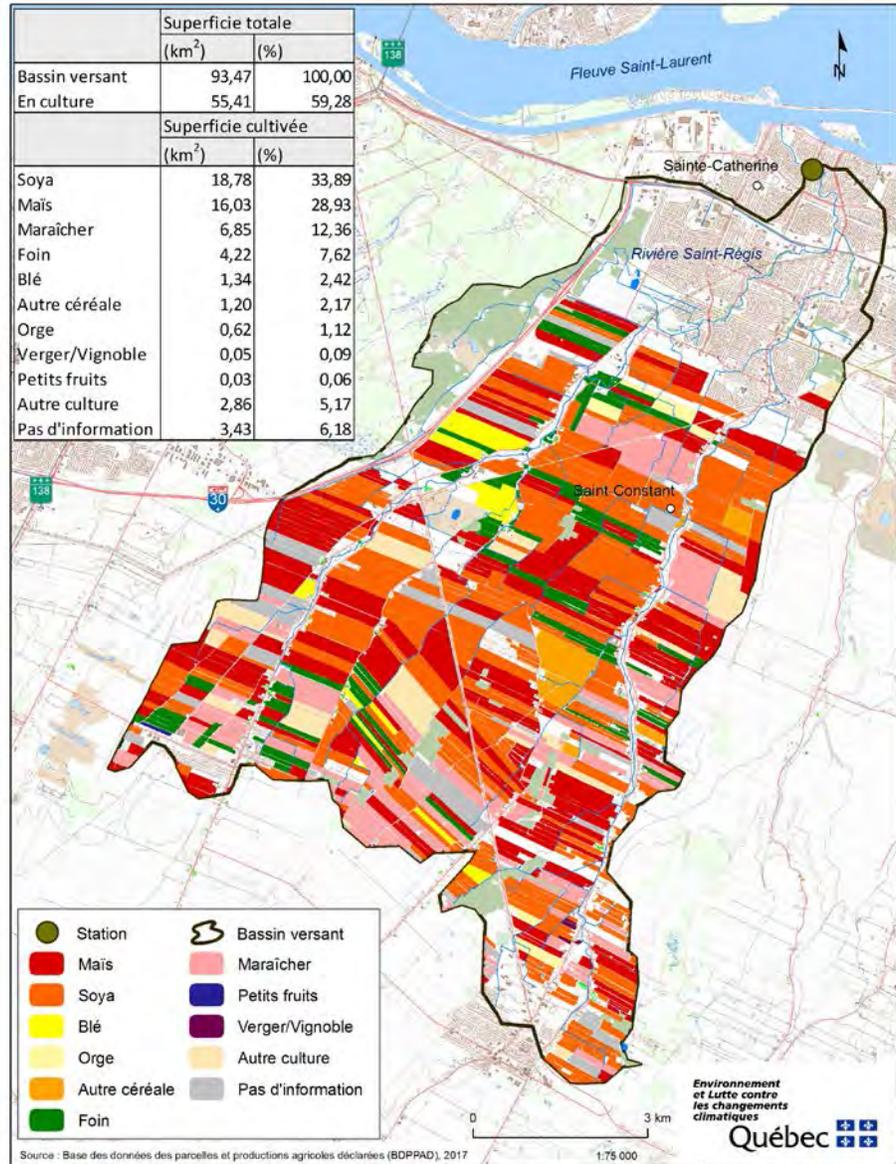


Figure 17 Cultures dans le bassin versant de la rivière Saint-Régis

aussi la présence des insecticides de la famille des néonicotinoïdes. Le thiaméthoxame est détecté en moyenne dans 97,8 % des échantillons et la clothianidine, dans 82,8 % des échantillons. L'insecticide imidaclopride, ajouté systématiquement aux analyses à partir de 2017, est détecté dans 100 % des échantillons cette année-là.

Neuf autres insecticides ont été détectés, notamment le cyantraniliprole, dans 51,8 % des échantillons en 2017, le chlorpyrifos, le diméthoate et le carbaryl. En plus du maïs et du soya, le bassin versant de la rivière Saint-Régis

compte des superficies appréciables en cultures maraîchères qui pourraient expliquer la détection de certains insecticides. Les concentrations cumulées les plus élevées ont été observées en juin 2015, peu après des épisodes de fortes pluies (figure 18). La valeur cumulée maximale est de 28,49 µg/l, observée en juin 2015. Au mois de juin 2016, la station météorologique de Laprairie a enregistré des précipitations plus faibles qu'en 2015 et les mois de juillet 2016 et 2017 ont tous deux connu des précipitations plus faibles qu'en 2015 (annexe 4). Ces précipitations moins importantes en 2016 et 2017 ainsi qu'un échantillonnage effectué plus souvent par temps sec expliquent probablement en partie les concentrations cumulées plus faibles en 2016 et 2017.

Globalement, la proportion des échantillons qui dépassent les critères de qualité de l'eau pour la protection des espèces aquatiques pour un ou plusieurs pesticides est de 100 % en 2015 et 2017, et de 96,7 % en 2016. Au cours de la période d'étude (2015-2017), neuf pesticides ont été décelés en concentrations supérieures aux CVAC (tableau 10).

Parmi les herbicides, ceux qui ont dépassé le CVAC durant la période 2015-2017 sont l'atrazine

et le β -métochlor, pour lesquels des dépassements ont été enregistrés en 2015 dans 10,3 % et 3,4 % des échantillons respectivement. Il n'y a pas eu de dépassement des critères de qualité de l'eau pour les herbicides en 2016 et 2017.

Comme pour la période d'échantillonnage précédente (2011-2014), les insecticides néonicotinoïdes sont encore, en 2015-2017, ceux qui dépassent le plus souvent le CVAC (tableau 10). Le thiaméthoxame dépasse le CVAC dans tous les échantillons en 2015 et 2017 et dans 93 % des échantillons en 2016. En moyenne pour les trois années, la clothianidine dépasse le CVAC dans 82,83 % des échantillons, avec une fréquence plus élevée en 2015 (100 %) et plus faible en 2017 (58,6 %). Le chlorantraniliprole dépasse son CVAC de 0,22 µg/l dans 13,3 %, 3,3 % et 13,8 % des échantillons respectivement en 2015, 2016 et 2017. Le chlorpyrifos a été détecté en concentration excédant le CVAC dans 30 % des échantillons en 2015 et 10 % des échantillons en 2016. Parmi les autres insecticides, le diazinon et le carbaryl dépassent ponctuellement leur CVAC.

Tableau 9 Pesticides détectés dans la rivière Saint-Régis, de 2011 à 2017

	Fréquence de détection (%)							Concentration max pour la période 2011-2014 (µg/l)	Concentration max pour la période 2015-2017 (µg/l)
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017		
Herbicides									
<i>s</i> -Métolachlore	100	96,6	100	100	100	100	100	8,4	11
Atrazine	100	93,3	96,5	96,5	96,5	96,7	96,5	3,3	8,5
<i>Dééthyl-atrazine</i>	46,4	53,3	69	72,4	79,3	63,3	79,3	0,27	0,24
<i>Déisopropyl-atrazine</i>	14,3	3,3	3,4	10,3	20,7	-	6,9	0,08	0,11
Glyphosate	80	100	100	96,5	100	100	93,3	3,6	4,5
<i>AMPA</i>	76,6	63,3	90	86,2	96,7	93,3	90	2,4	1,9
Dicamba	100	96,6	93,3	86,2	100	93,3	50	1,1	0,94
Bentazone	90	93,3	86,7	75,9	86,7	63,3	60	9,6	19
Imazéthapyr	92,8	83,3	76,7	86,2	86,7	80	69	0,84	0,44
Mésotrione	57,1	63,3	76,7	55,2	56,7	56,7	20,7	0,99	0,52
Diméthénamide	35,7	66,6	72,4	72,4	44,8	50	55,2	1,7	0,73
2,4-D	66,6	80	53,3	44,8	83,3	63,3	10	1,2	0,76
Métribuzine	25	30	55,2	89,6	86,2	53,3	93,1	3,3	0,88
Mécoprop	53,3	70	30	34,5	90	26,7	-	0,74	0,33
Imazapyr	-	66,6	56,7	17,2	66,7	6,7	3,4	0,2	0,016
Flumetsulame	42,8	36,6	40	6,8	-	16,7	3,4	0,66	0,059
MCPA	26,6	20	5	20,7	23,3	3,3	13,3	0,76	0,2
Linuron	3,6	-	10,3	27,6	-	-	-	1,3	-
Glufosinate	NA	NA	10	-	-	3,3	-	5,6	0,06
Trifluraline	-	10	6,9	-	-	-	-	0,02	-
Clopyralide	6,6	-	13,3	3,4	-	10	-	0,27	0,99
Bromoxynil	3,3	6,6	13,3	-	10	-	6,7	0,57	0,08
Diuron	-	6,6	-	3,4	-	-	-	1,2	-
Nicosulfuron	-	3,3	3,3	-	6,7	-	-	0,01	0,003
<i>2,6-Dichlorobenzamide</i>	NA	-	-	3,4	-	-	6,9	0,02	0,03
2,4-DP	-	3,3	-	-	-	-	3,3	0,03	0,11
Pendiméthaline	NA	NA	NA	3,4	-	-	-	0,1	-
Rimsulfuron	-	-	-	-	6,7	-	-	-	0,014
Diméthazone	NA	NA	NA	3,4	-	-	-	0,15	-
Insecticides									
Clothianidine	NA	96,6	96,6	96,5	100	90	58,6	0,37	0,51
Thiaméthoxame	NA	NA	NA	100	100	93,3	100	0,59	4,5
Chlorantraniliprole	NA	NA	90	96,5	100	100	100	0,21	0,42
Imidaclopride	NA	NA	NA	NA	NA	NA	100	-	0,23
<i>Imidaclopride-urée</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	10,3	-	0,01
Cyantraniliprole	NA	NA	NA	NA	NA	NA	51,8	-	0,058
Thiaclopride	NA	NA	NA	NA	NA	NA	3,4	-	0,003
Chlorpyrifos	-	26,6	37,9	31	30	10	-	0,3	0,27
Diméthoate	28,6	23,3	24,1	34,5	16,7	-	-	6,4	0,32
Carbaryl	7,1	13,3	17,2	24,1	3,3	10	3,4	2,9	0,32
<i>1-Naphtol</i>	3,3	-	3,4	3,4	-	-	-	0,22	-
Diazinon	7,1	-	-	-	3,3	-	-	0,06	0,05
Malathion	-	-	3,4	3,4	6,7	-	-	0,1	0,06
Propoxur	NA	-	-	-	-	-	3,4	-	0,06
Flupyradifurone	NA	NA	NA	NA	NA	NA	3,4	-	0,016
Fongicides									
Boscalide	NA	NA	NA	44,8	23,3	23,3	17,2	1,3	0,98
Azoxystrobine	NA	NA	NA	6,8	10	-	100	0,1	0,12
Trifloxystrobine	-	-	-	-	-	3,3	-	-	0,06
Fénamidone	NA	NA	NA	NA	NA	NA	65,5	-	0,004
Pyriméthanol	NA	NA	NA	NA	NA	NA	34,5	-	0,25
Métalaxyl	NA	NA	NA	-	-	3,3	-	-	0,98
Pesticides et produits de dégradation détectés (N)	23	26	30	33	29	26	34		

Italique : produit de dégradation

NA : non analysé

Tiret : produit non détecté

En plus des dépassements fréquents du CVAC, le thiaméthoxame dépasse la valeur de 0,2 µg/l du critère de toxicité aiguë (CVAA) dans 33,3 % des échantillons en 2015 et 2016 et dans 10,3 % des échantillons en 2017. La valeur maximale mesurée pour le thiaméthoxame (en juin 2015),

soit 4,5 µg/l, dépasse avec une amplitude de 22,5 fois le CVAA. Ces dépassements du CVAA impliquent que des mortalités ont pu survenir pour certaines espèces aquatiques plus sensibles.

Tableau 10 Dépassements des critères de qualité de l'eau dans la rivière Saint-Régis

	CVAC µg/l	Fréquence de dépassement (%)						
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Herbicides								
Atrazine	1,8	-	-	6,9	3,4	10,3	-	-
<i>S</i> -Métolachlore	7,8	-	-	-	3,4	3,4	-	-
Métribuzine	1	3,6	-	-	17,2	-	-	-
Insecticides								
Clothianidine	0,0083	NA	46,7	56,7	82,7	100	90	58,6
Thiaméthoxame	0,0083	NA	NA	NA	100	100	93,3	100
Imidaclopride	0,0083	NA	NA	NA	NA	NA	NA	89,6
Chlorantraniliprole	0,22	NA	NA	-	-	13,3	3,3	13,8
Chlorpyrifos	0,002	-	26,6	37,9	31	30	10	-
Diazinon	0,004	7,1	-	-	-	3,3	-	-
Carbaryl	0,2	3,6	3,3	6,9	3,4	-	3,3	-
Diméthoate	6,2	3,6	-	-	-	-	-	-
Malathion	0,1	-	-	-	3,4	-	-	-

Italique : produit de dégradation

NA : non analysé

Tiret : produit non détecté

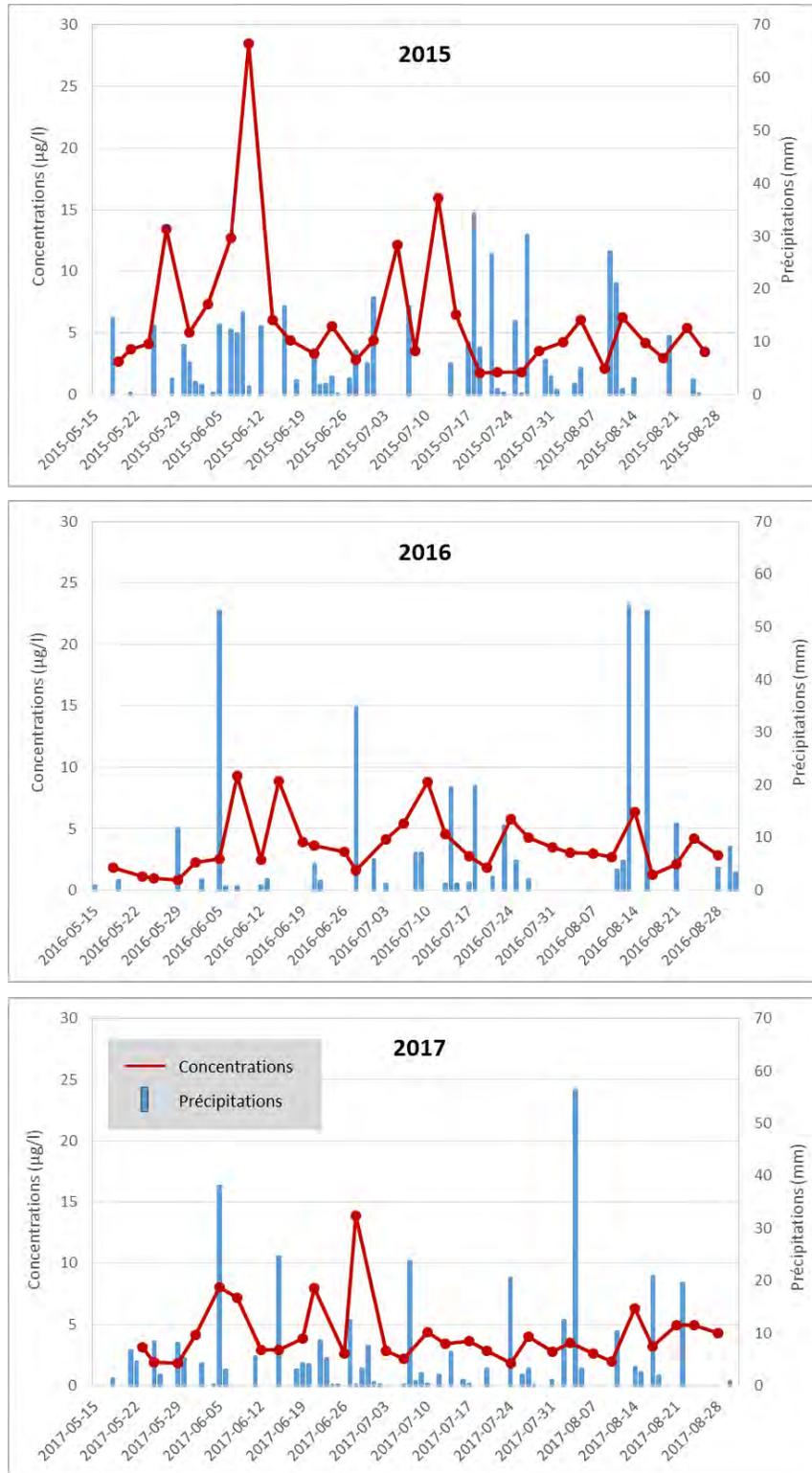


Figure 18 Somme des concentrations de pesticides dans la rivière Saint-Régis en fonction des épisodes de pluie*

*Station météorologique de Laprairie

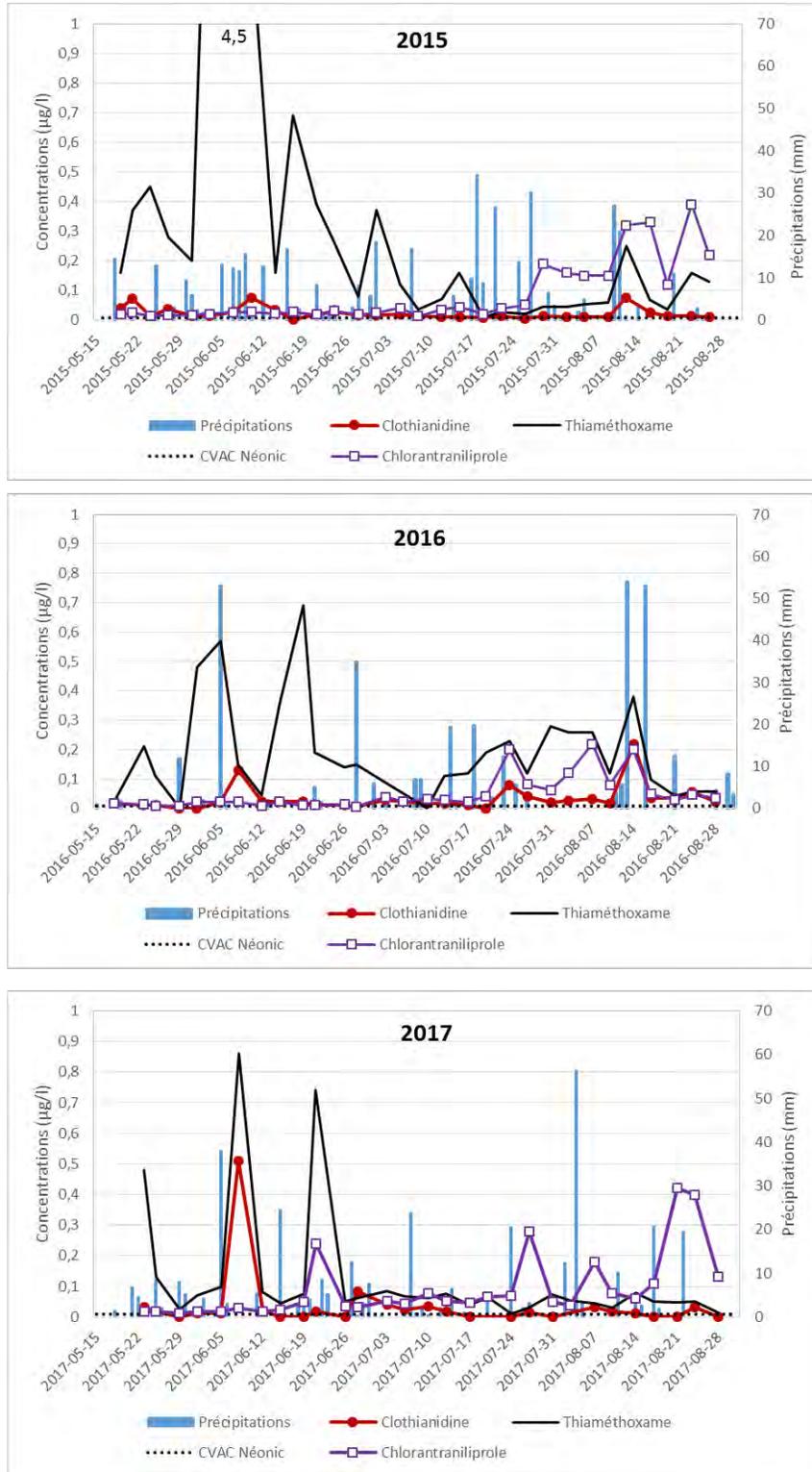


Figure 19 Concentrations d'insecticides dans la rivière Saint-Régis

Rivière Saint-Zéphirin (bassin versant de la rivière Nicolet)

Le bassin de la rivière Saint-Zéphirin est le plus petit des quatre bassins à l'étude (78,5 km²). La rivière recueille les eaux provenant des terres agricoles des municipalités de Saint-Zéphirin-de-Courval et de La Visitation-de-Yamaska. La rivière se jette dans la rivière Nicolet Sud-Ouest, laquelle rejoint la rivière Nicolet. Les cultures couvrent 56 % de la superficie du bassin versant. Le maïs compose 34,5 % de la superficie cultivée et le soya, 34,9 %. Les superficies en soya ont augmenté par rapport à 2015. On y trouve aussi du foin (10,3 %) et des céréales (5,26 %) [figure 20].

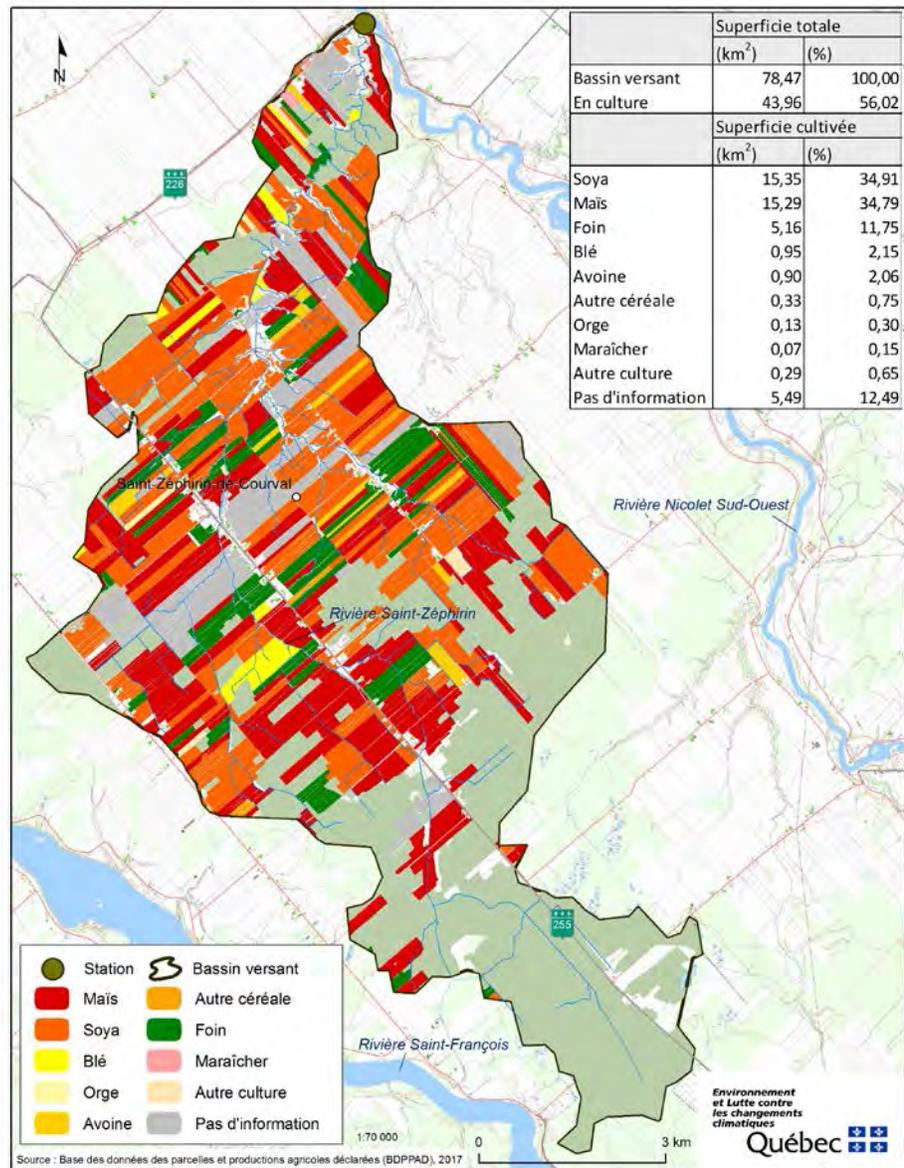


Figure 20 Cultures dans le bassin versant de la rivière Saint-Zéphirin

De 2015 à 2017, de 18 à 24 pesticides ont été détectés dans la rivière Saint-Zéphirin (tableau 11). En moyenne, les fréquences de détection sont très élevées pour les herbicides *s*-métolachlore (100 %), glyphosate (95,5 %), imazéthapyr (95,4 %) et atrazine (94,3 %). Le mésotrione est détecté dans près de 62,5 % des échantillons et dix autres herbicides sont également détectés, mais dans moins de 50 % des échantillons en moyenne. L'insecticide clothianidine a été détecté dans 100 % des échantillons, tandis que le thiaméthoxame est présent en moyenne dans 96,6 % des échantillons.

Comme dans le cas de la rivière Chibouet, le chlorantraniliprole était très peu détecté en 2015 et 2016. Mais en 2017, la fréquence des détections a considérablement augmenté, car le produit était décelé dans 86,2 % des échantillons. Outre ces produits, les insecticides imdaclopride, chlorpyrifos, perméthrine et dieldrine ainsi que deux fongicides, le métalaxyl et le pyriméthanil ont aussi été détectés ponctuellement.

De 2015 à 2017, tous les échantillons prélevés dans la rivière Saint-Zéphirin montraient des dépassements des CVAC pour un pesticide ou plus. Six pesticides sont responsables de ces dépassements.

En ce qui concerne les herbicides, des dépassements occasionnels ont été constatés

pour l'atrazine et le *s*-métolachlore. Mais, comme pour les trois autres rivières du réseau de base, ce sont les insecticides clothianidine et thiaméthoxame qui expliquent la plupart de ces dépassements. La clothianidine a dépassé le CVAC de 0,0083 µg/l dans 100 % des échantillons alors que le thiaméthoxame a dépassé cette valeur dans 89,7 % des échantillons en moyenne. Deux autres insecticides, soit le chlorpyrifos et la perméthrine, ont dépassé ponctuellement leur CVAC en 2015. Quoique détecté dans un seul échantillon, la perméthrine montrait une concentration de 1,1 µg/l, ce qui correspond à une amplitude de 275 fois le CVAC fixé à 0,004 µg/l.

Le critère aigu (CVAA) de 0,2 µg/l pour la clothianidine et le thiaméthoxame est dépassé trois fois en 2015 dans le cas du thiaméthoxame et une fois en 2015 et en 2016 dans le cas de la clothianidine. Les valeurs maximales mesurées pour la clothianidine et le thiaméthoxame (0,31 µg/l) représentent une amplitude 1,55 fois le critère (CVAA).

La valeur journalière cumulée la plus élevée pour la concentration totale de tous les pesticides a été mesurée en mai 2017, soit une valeur de 30,31 µg/l, ce qui est supérieur au maximum observé lors de la période 2011-2014 (24,08 µg/l) (figure 21).

Tableau 11 Pesticides détectés dans la rivière Saint-Zéphirin, de 2011 à 2017

	Fréquence de détection (%)							Concentration max pour la période 2011-2014 (µg/l)	Concentration max pour la période 2015-2017 (µg/l)
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017		
Herbicides									
<i>s</i> -Métolachlore	96,6	100	100	100	100	100	100	4,2	19
Atrazine	93,3	100	100	100	100	96,7	86,2	13	7,9
Dééthyl-atrazine	46,6	73,3	80	82,7	76,7	83,3	68,9	0,52	0,36
Désopropyl-atrazine	10	-	6,7	6,9	100	10	31	0,2	0,1
Glyphosate	93,3	66,6	90	72,4	100	93,3	93,1	3,4	2,6
AMPA	53,3	26,6	56,7	34,5	33	53,3	68,9	0,91	1,9
Imazéthapyr	70	90	70	86,2	100	100	86,2	0,42	1,2
Mésotrione	40	56,6	76,7	24,1	63,3	63,3	58,6	0,72	0,78
Nicosulfuron	6,6	73,3	83,3	27,6	30	20	34,5	0,24	0,056
Bentazone	50	33,3	3,3	17,3	13,3	46,7	58,6	0,9	0,5
Dicamba	33,3	10	6,7	48,3	16,7	13,3	37,9	1,2	1
Rimsulfuron	6,6	16,6	43,3	31	30	16,7	31	0,1	0,053
MCPA	36,6	23,3	16,7	13,8	20	13,3	-	2,3	0,97
Métribuzine	-	13,3	-	13,8	60	6,7	37,9	0,88	7,1
Diméthamide	-	13,3	6,7	10,3	-	-	-	0,57	-
2,4-D	3,3	0	6,7	20,7	3,3	-	3,4	1,3	0,68
Flumetsulame	-	16,6	3,3	3,4	3,3	3,3	-	0,016	0,02
Bromoxynil	-	6,6	-	-	13,3	-	-	0,04	0,51
Mécoprop	-	3,3	-	3,4	-	-	-	0,25	-
Glufosinate	-	-	-	3,5	-	-	-	0,05	-
Sulfosulfuron	NA	13,3	-	-	3,3	-	3,4	0,003	0,004
Insecticides									
Clothianidine	NA	100	100	100	100	100	100	0,17	0,31
Thiaméthoxame	NA	NA	NA	96,5	100	96,7	93,1	0,27	0,31
Chlorantraniliprole	NA	NA	3,3	6,9	3,3	3,3	86,2	0,029	0,01
Imidaclopride	NA	NA	NA	NA	NA	NA	6,9	-	0,008
Chlorpyrifos	-	-	-	-	3,3	-	-	-	0,01
Perméthrine	-	-	-	-	3,3	-	-	-	1,1
Dieldrine	-	-	-	-	3,3	-	-	-	0,02
Diméthoate	3,3	-	-	-	-	-	-	1,6	-
λ-Cyhalothrine	-	-	-	3,4	-	-	-	0,08	-
Fongicides									
Métalaxyl	NA	NA	NA	-	-	-	3,4	-	0,05
Pyriméthanil	NA	NA	NA	NA	NA	NA	3,4	-	0,001
Nombre de pesticides détectés	15	19	18	23	24	18	21		

Italique : produit de dégradation

NA : non analysé

Tiret : produit non détecté

Tableau 12 Dépassements des critères de qualité de l'eau dans la rivière Saint-Zéphirin, de 2011 à 2017

	CVAC µg/l	Fréquence de dépassement (%)						
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Herbicides								
Atrazine	1,8	6,6	3,3	6,7	6,9	3,2	3,3	3,3
<i>s</i> -Métolachlore	7,8	-	-	-	-	-	-	3,3
Métribuzine	1	-	-	-	-	-	-	3,4
Insecticides								
Clothianidine	0,0083	NA	100	96,7	96,5	100	100	100
Thiaméthoxame	0,0083	NA	NA	NA	82,7	100	96,7	72,4
Chlorpyrifos	0,002	-	-	-	-	3,3	-	-
Perméthrine	0,004	-	-	-	-	3,3	-	-

NA : non analysé

Tiret : pas de détection

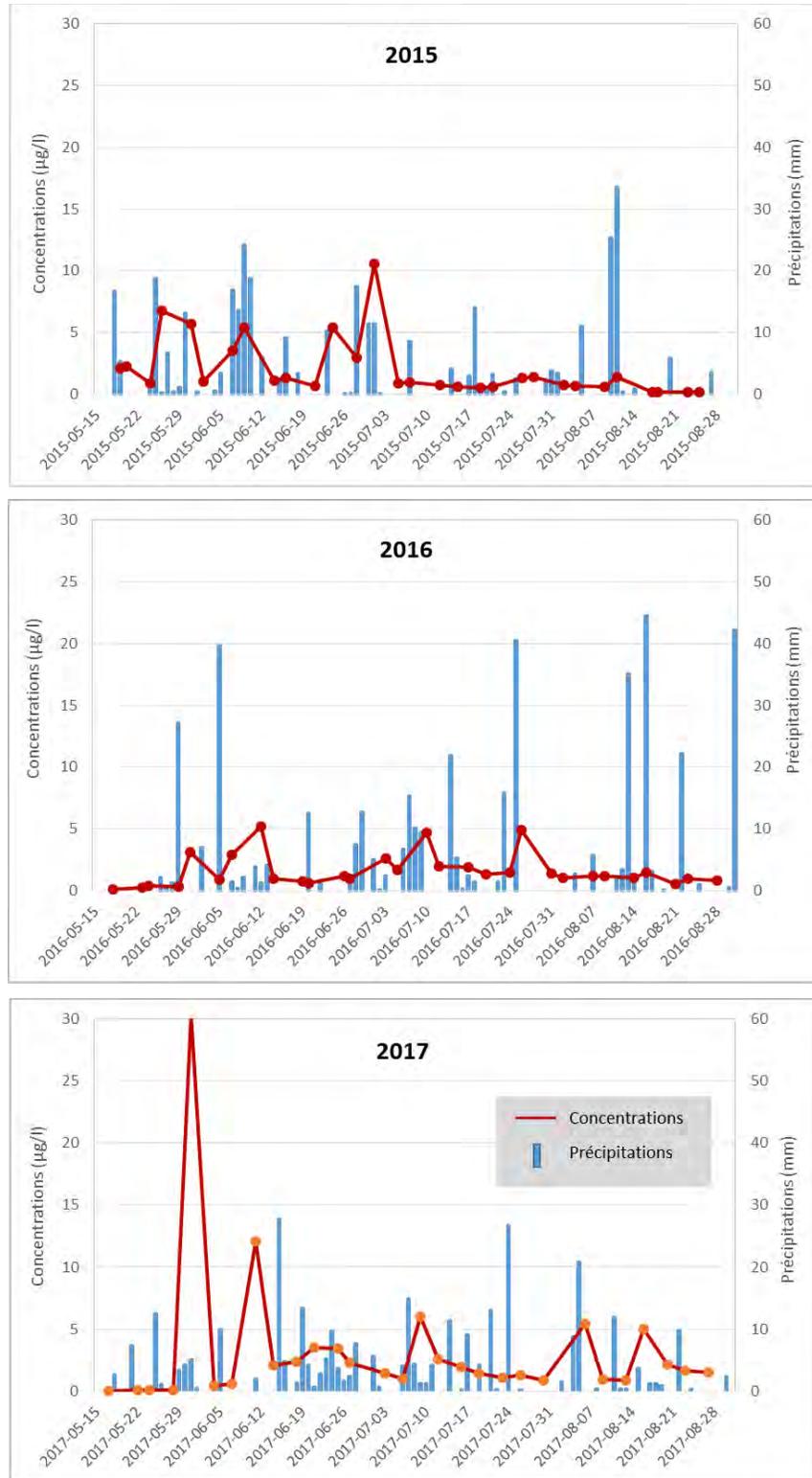


Figure 21 Somme des concentrations de pesticides dans la rivière Saint-Zéphirin en fonction des épisodes de pluie*

*Station météorologique Saint-Zéphirin-de-Courval

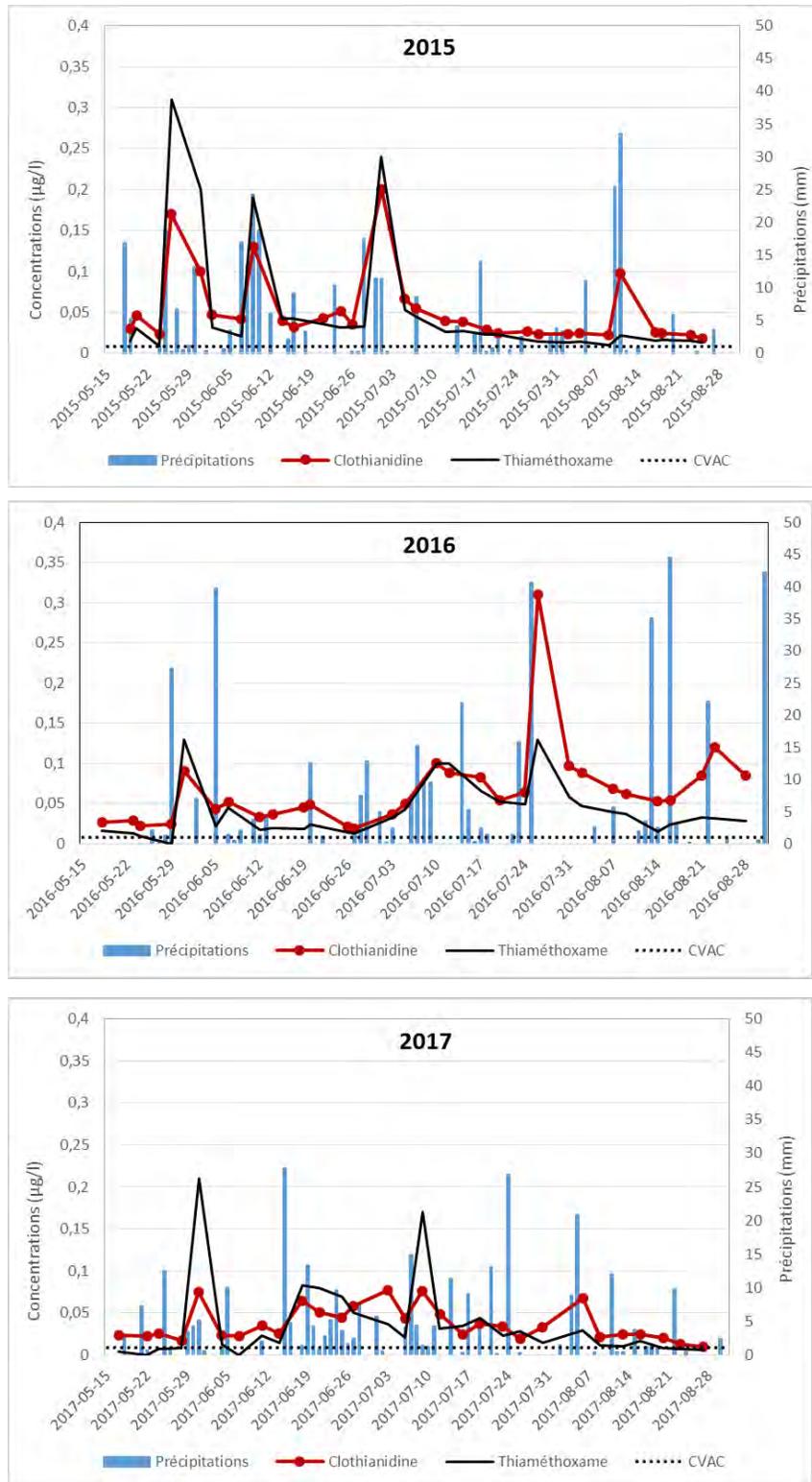


Figure 22 Concentrations de néonicotinoïdes dans la rivière Saint-Zéphirin

Comparaison des résultats avec la documentation scientifique récente

Les tendances dans les concentrations de pesticides détectés dans les cours d'eau sont intimement liées aux quantités de produits utilisées, elles-mêmes dépendantes des changements réglementaires ou de l'introduction de nouveaux produits (Ryberg et Gilliom, 2015; Szekacs *et al*, 2015). Les résultats actuels montrent que les pointes de concentrations élevées dans les cours d'eau sont synchronisées avec les événements de pluie, notamment en période printanière ou en début d'été. Ces observations ont déjà été décrites dans nos publications antérieures (Giroux, 2015; Giroux et Pelletier, 2012;) et sont confirmées dans la documentation scientifique récente (Struger *et al*, 2017, Pérez *et al*, 2017).

Les résultats observés au cours de la période d'étude concernant l'atrazine et le β -métochloro concordent avec ce qui est observé ailleurs. Aux États-Unis, des chercheurs de l'United States Geological Survey (USGS) soulignent une forte prévalence de l'atrazine dans les 38 rivières échantillonnées, laquelle est cohérente avec l'usage du produit (Ryberg et Gilliom, 2015). Les auteurs notent cependant une diminution significative des concentrations, soit d'environ 15 % entre 2004 et 2010, en particulier dans le bassin de la rivière Mississippi et dans le bassin des Grands Lacs, région dite du « Corn Belt ». En France, la situation est différente puisque l'atrazine a été retiré du marché depuis plus de dix ans. Toutefois, sa rémanence dans l'environnement y a été signalée, le produit étant toujours détecté dans l'eau même onze ans après son retrait (Ministère de la transition écologique et solidaire, 2017).

En ce qui concerne le β -métochloro, nos constats sont également cohérents avec ce qui est observé par l'USGS aux États-Unis. En effet, parmi les 38 rivières étudiées, Ryberg et Gilliom (2015) ont noté que certaines présentent une hausse du β -métochloro alors que d'autres affichent une baisse. De plus, comme on l'observe au Québec, les auteurs remarquent, pour certaines rivières, une inversion de la tendance temporelle pour le β -métochloro. En effet, dans leur étude, la tendance à la baisse observée pour le β -métochloro pour la période de 1997 à 2006 tend à s'inverser pour montrer une hausse pour la période de 2001 à 2010 qui,

selon les auteurs, serait une conséquence de l'augmentation de l'utilisation du produit.

Les résultats des suivis réalisés par Environnement et Changement climatique Canada en Ontario vont également dans le même sens que ceux observés au Québec. En effet, Struger *et al* (2017) notent l'omniprésence des néonicotinoïdes dans 15 rivières du sud de l'Ontario. La clothianidine, le thiaméthoxame et l'imidaclopride sont détectés dans plus de 90 % des échantillons dans plus de la moitié des rivières échantillonnées de 2012 à 2014. À l'aide d'une analyse en composante principale, les auteurs ont aussi montré que l'occurrence des produits est fortement corrélée avec l'importance des précipitations survenues le jour qui précède l'échantillonnage ainsi qu'avec le débit du cours d'eau. Pour certaines rivières, un profil bimodal est observé, c'est-à-dire avec des pointes de concentrations de néonicotinoïdes tard au printemps et en début d'automne. Bien qu'elles soient moins évidentes pour nos données de 2015 à 2017, des pointes similaires de néonicotinoïdes ont déjà été observées au Québec pour quelques rivières (Giroux, 2014).

Le glyphosate a aussi été détecté dans les cours d'eau ailleurs dans le monde. Ainsi, en Ontario, Struger *et al* (2007) rapportent les résultats du suivi du glyphosate en 2004 et 2005. Cependant, les limites de détection et de quantification plus élevées que les nôtres ne permettent pas vraiment la comparaison des résultats. Par ailleurs, aux États-Unis, les chercheurs de l'USGS (2017) ont étudié les données de suivi du glyphosate effectué à 470 sites répartis dans 38 États de 2001 à 2010. Le glyphosate et l'AMPA ont été détectés dans 59 % des sites. De plus, les données d'un suivi répété à neuf sites montrent que la fréquence de détection, les concentrations médianes et la charge de glyphosate et d'AMPA ont augmenté au cours de la période 2006-2010, comparativement à la période d'échantillonnage précédente de 2001-2005 (Battaglin *et al* 2014). Toutefois, aucune donnée plus récente n'est disponible ni en Ontario ni aux États-Unis pour nous permettre de comparer nos résultats 2015-2017.

On trouve peu d'information dans la documentation scientifique sur l'échantillonnage et la présence du chlorantraniliprole dans les rivières dans d'autres pays.

4 RIVIÈRES DU « RÉSEAU-RIVIÈRES »

De 2015 à 2017, 15 rivières du Réseau-rivières ont été échantillonnées pour les pesticides, à raison de 11 prélèvements par saison. Parmi ces rivières, deux se trouvent en Montérégie, sept en Chaudière-Appalaches et six au Saguenay–Lac-Saint-Jean. Des pesticides ont été détectés dans toutes ces rivières. D'une manière générale, l'ampleur de la contamination, soit le nombre de pesticides détectés et l'importance des concentrations, est proportionnelle aux superficies des grandes cultures, notamment de maïs-soya, dans leur bassin versant. La proportion des principales cultures dans chaque bassin versant est présentée à l'annexe 5 et les données brutes sont accessibles sur la page Web.

Cours d'eau de la Montérégie

Deux cours d'eau de la Montérégie, les rivières Yamaska (en 2016 et 2017) et Richelieu (2016), ont été échantillonnés à quelques kilomètres en amont de leur embouchure. Comme plusieurs autres tributaires se rejetant au lac Saint-Pierre, ces deux cours d'eau ont une influence non négligeable sur la qualité de l'eau du plan d'eau en raison, notamment, de l'importance des activités agricoles. La superficie totale en cultures représente 42 % de la superficie du bassin de la rivière Yamaska et 44 % du bassin de la rivière Richelieu, les cultures de maïs et de soya correspondant respectivement à 29 % et 32 % de la superficie cultivée. Comme dans la plupart des rivières de la Montérégie, les pesticides associés aux cultures de maïs et de soya sont les produits le plus souvent détectés dans ces deux rivières.

Dans la rivière Yamaska, 21 produits ont été détectés en 2016 et 22 en 2017 (tableau 13). Les herbicides atrazine et β -métochlorure sont détectés dans 100 % des échantillons. Le glyphosate est présent dans 80 à 100 % des échantillons, alors que son produit de dégradation, l'AMPA, est décelé dans 60 à 78 % des échantillons. Les herbicides imazéthapyr, mésotrione et flumetsulame sont aussi détectés plus de la moitié du temps, mais neuf autres herbicides sont détectés dans moins de 50 % des échantillons.

Des dépassements des critères de qualité de l'eau (CVAC) pour plusieurs pesticides sont constatés dans tous les échantillons prélevés dans la rivière

Yamaska en 2016 et dans 77,8 % de ceux prélevés en 2017 (tableau 14). En 2016, les produits responsables de ces dépassements sont les insecticides néonicotinoïdes, soit la clothianidine (100 % des échantillons), le thiaméthoxame (88,9 %) et l'atrazine (10 % des échantillons). En 2017, la clothianidine et le thiaméthoxame dépassent tous les deux le CVAC dans 66,7 % des échantillons, tandis que l'imidaclopride dépasse le CVAC dans 22,2 % des échantillons. Ces résultats sont cohérents avec les observations antérieures sur la présence de ces produits dans la Yamaska et le lac Saint-Pierre (Giroux *et al*, 2016).

La rivière Richelieu avait déjà été échantillonnée pour les pesticides en 1998 et 1999 (Giroux, 2000) dans le contexte du *Plan d'intervention pour la survie du Chevalier cuirré*. Une mise à jour des données était donc nécessaire. Au total, 15 pesticides ou produits de dégradation de pesticides ont été détectés dans la rivière en 2016. Ce sont principalement l'atrazine et le β -métochlorure, décelés dans 100 % des échantillons, ainsi que l'imazéthapyr et le glyphosate, décelés dans 30 % et 18,2 % des échantillons respectivement. Les insecticides thiaméthoxame et clothianidine ont été détectés respectivement dans 50 et 20 % des échantillons. Au total, 10 % des échantillons prélevés dans la rivière Richelieu dépassent les CVAC. Encore une fois, ce sont les insecticides néonicotinoïdes clothianidine et thiaméthoxame qui causent ces dépassements.

Malgré des proportions en culture relativement similaires dans leur bassin versant, notons que les données hydrométriques, en période estivale, montrent que le débit de la rivière Richelieu est environ 20 fois plus important que celui de la Yamaska (MDDELCC, 2017c). En effet, le débit de la rivière Richelieu varie entre 300 et 800 m³/s de mai à août, pour une moyenne environ 600 m³/s en juin et juillet, alors que le débit de la rivière Yamaska se situe entre 10 m³/s et 300 m³/s de mai à août, pour une moyenne d'environ 30 m³/s en juin et juillet dans la Yamaska. Pour des proportions en culture relativement similaires, le plus fort débit du Richelieu explique les fréquences de détection des pesticides plus faibles dans le Richelieu que dans la Yamaska.

Tableau 13 Fréquence de détection des pesticides pour deux rivières de la Montérégie (%)

	Yamaska	Yamaska	Richelieu
	2016	2017	2016
HERBICIDES			
Atrazine	100	100	100
Déethyl-atrazine	90	77,8	9,1
Déisopropyl-atrazine	10	44,4	-
<i>S</i> -Métolachlore	100	100	100
Glyphosate	80	100	18,2
AMPA	60	77,8	-
Imazéthapyr	88,9	77,8	30
Mésotrione	88,9	77,8	10
Flumetsulame	55,6	88,9	10
Métribuzine	40	44,4	9,1
Dicamba	30	44,4	9,1
Bentazone	60	44,4	-
MCPA	10	11,1	-
2,4-D	10	11,1	9,1
Nicosulfuron	33,3	22,2	10
Rimsulfuron	11,1	22,2	10
Bromoxynil	10	-	-
Diméthénamide	20	33,3	9,1
INSECTICIDES			
Thiaméthoxame	100	100	50
Clothianidine	100	66,7	20
Chlorantraniliprole	44,4	88,9	-
Imidaclopride	-	66,7	-
FONGICIDES			
Azoxystrobine	-	100	-
Nombre de pesticides détectés	21	22	15
% de la superficie du bassin versant			
Total en cultures	41,7		44,2
Maïs et soya	29,1		32,3

Italique : produit de dégradation

Tiret : produit non détecté

Tableau 14 Fréquence de dépassement des critères de qualité de l'eau (CVAC) dans les rivières Yamaska et Richelieu

Rivières	Global	Herbicides		Insecticides	
		Atrazine	Clothianidine	Thiaméthoxame	Imidaclopride
Yamaska (2016)	100	10	100	88,9	-
Yamaska (2017)	77,8	-	66,7	66,7	22,2
Richelieu	10	-	10	10	-

La figure 23 montre le profil des concentrations pour quelques pesticides détectés dans les rivières Yamaska et Richelieu. En 2017, les pointes de concentrations dans la rivière Yamaska ont été plus faibles et plus tardives

qu'en 2016. Rappelons que le début des travaux aux champs a été retardé au printemps 2017 en raison des fortes pluies printanières et des inondations, mais par la suite, l'été 2017 a été relativement sec dans le sud du Québec.



Figure 23 Profil des concentrations de quelques pesticides détectés dans les rivières Yamaska et Richelieu

Cours d'eau de Chaudière-Appalaches

La figure 24 montre la localisation des stations échantillonnées dans les rivières de Chaudière-Appalaches. De 12 à 19 pesticides ont été détectés dans les différentes rivières de la région (tableau 15). Les rivières Beaurivage, Etchemin et Le Bras en comptent 19, les rivières Chaudière et Boyer, 17, la rivière du Chêne, 15, et la rivière du Sud, 12.

Les herbicides sont détectés en plus grand nombre. Comme les principales cultures utilisatrices de pesticides dans ces bassins versants sont le maïs et le soya, les produits détectés sont ceux associés à ces deux cultures. Les herbicides présents sont notamment l'atrazine, le *s*-métolachlore et le glyphosate, généralement détectés dans plus de 50 % des échantillons. Plusieurs herbicides sont détectés entre 20 et 50 % du temps. Ce sont le mésotrione, le dicamba, l'imazéthapyr, le bentazone et le MCPA. Les produits de dégradation de l'atrazine (le dééthyl-atrazine et déisopropyl-atrazine) ainsi que l'AMPA, le produit de dégradation du glyphosate, sont détectés dans plusieurs des cours d'eau.

Dans la rivière du Chêne, l'herbicide dichlobénil et son produit de dégradation, le 2,6-dichlorobenzamide, ont été détectés dans 36,4 et 72,7 % des échantillons respectivement, alors que l'insecticide diazinon est détecté dans 36,4 % des échantillons. La présence de ces

produits dans l'eau résulte probablement d'un usage dans la culture des canneberges. Dans la rivière du Chêne, on note aussi la présence du chlorantraniliprole. Ce produit pourrait également provenir de la culture des canneberges.

Les insecticides néonicotinoïdes thiaméthoxame et clothianidine ont été détectés dans les sept cours d'eau de Chaudière-Appalaches. Le seul fongicide détecté est le métalaxyl, détecté de manière très épisodique dans la rivière Le Bras.

Dans les rivières Le Bras et Boyer, tous les échantillons prélevés montraient des dépassements des CVAC pour au moins deux produits (tableau 16). Dans les autres rivières, le pourcentage des échantillons avec des dépassements est proportionnel à l'importance des superficies occupées par les grandes cultures dans le bassin versant.

Les insecticides néonicotinoïdes thiaméthoxame et clothianidine sont responsables de la plupart des dépassements. À part ces deux produits, on note également des dépassements pour l'insecticide diazinon dans 36,4 % des échantillons dans la rivière du Chêne ainsi qu'un dépassement ponctuel pour l'atrazine dans la rivière Boyer (dans 9,1 % des échantillons).

Les figures 25 et 26 présentent les profils de concentrations des principaux pesticides détectés dans les rivières de Chaudière-Appalaches.

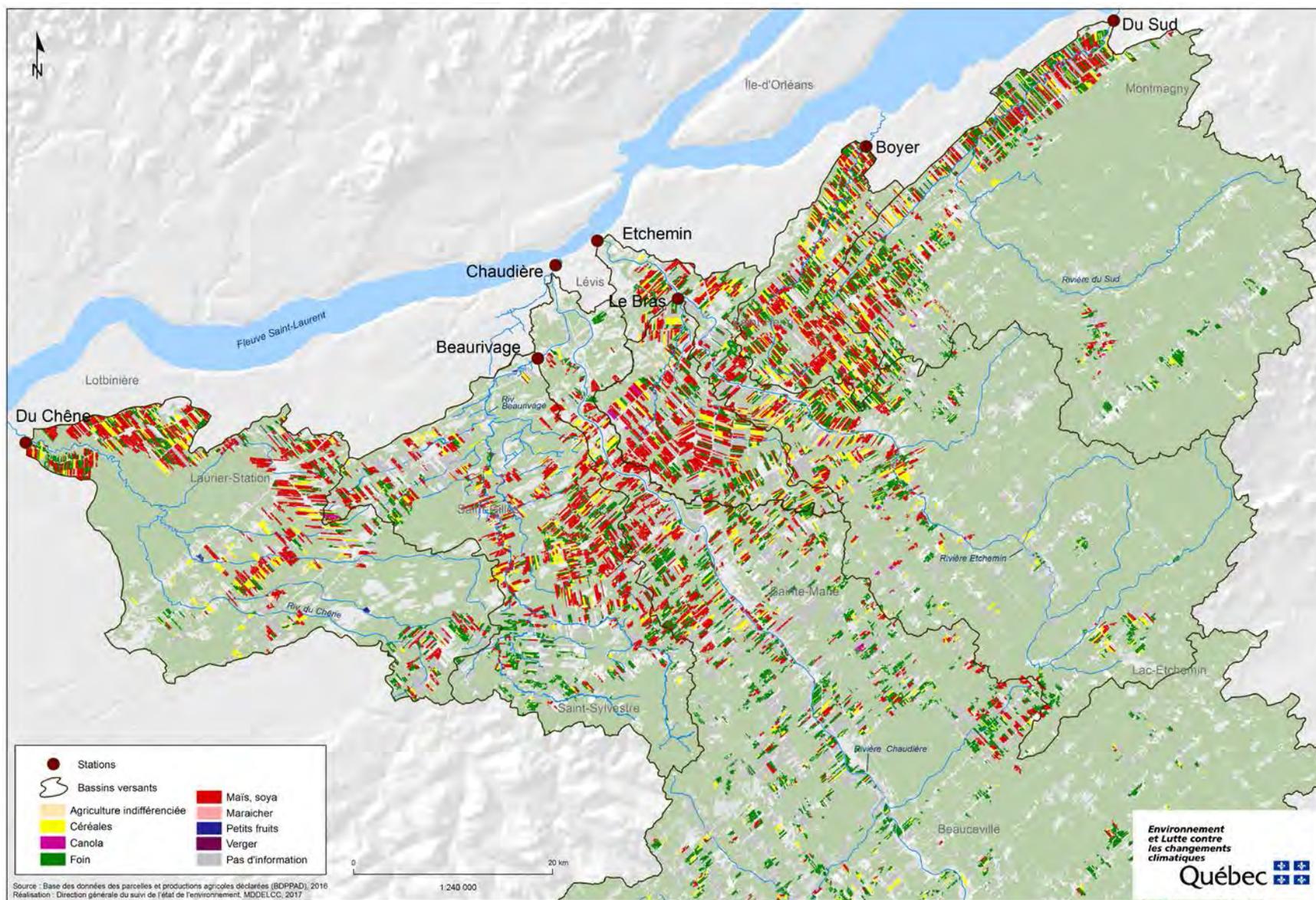


Figure 24 Localisation des stations échantillonnées dans les rivières de Chaudière-Appalaches

Tableau 15 Fréquence de détection des pesticides dans les rivières de Chaudière-Appalaches (%)

	Du Chêne	Chaudière	Beaurivage	Etchemin	Le Bras	Boyer	Du Sud
	2015	2015	2015	2015	2015	2016	2016
HERBICIDES							
Atrazine	100	81,8	100	90,9	100	100	72,7
<i>Déethyl-atrazine</i>	54,5	36,4	63,6	36,4	100	100	-
<i>Déisopropyl-atrazine</i>	18,2	-	36,4	18,2	36,4	18,2	-
<i>γ</i> -Métolachlore	90,9	72,7	100	81,8	100	100	81,8
Glyphosate	63,6	45,5	81,8	72,7	90,9	72,7	18,2
<i>AMPA</i>	-	9,1	18,2	9,1	54,5	-	-
Dicamba	-	36,4	18,2	27,3	36,4	45,5	9,1
Bentazone	45,5	18,2	18,2	18,2	27,3	18,2	18,2
Imazéthapyr	27,3	9,1	36,4	27,3	72,7	45,5	18,2
Mésotrione	36,4	36,4	54,5	45,5	72,7	45,5	18,2
MCPA	36,4	45,5	54,5	45,5	54,5	36,4	-
2,4-D	-	9,1	9,1	9,1	27,3	9,1	-
Métribuzine	-	-	-	18,2	-	27,3	18,2
Flumetsulame	-	18,2	45,5	-	-	-	-
Bromoxynil	-	18,2	18,2	-	27,3	-	-
Diméthénamide	-	-	18,2	-	9,1	-	9,1
Nicosulfuron	-	-	-	9,1	-	-	-
Mécoprop	-	-	-	9,1	9,1	-	-
Rimsulfuron	-	-	-	-	-	-	-
Linuron	-	-	-	-	-	9,1	-
2,4-DB	-	9,1	18,2	-	-	-	-
Imazapyr	-	-	-	18,2	36,4	-	-
Simazine	-	9,1	-	-	-	-	-
Dichlobénil	36,4	-	-	-	-	-	-
<i>2,6-Dichlorobenzamide</i>	72,7	-	-	-	-	-	-
Pendiméthaline	-	-	-	9,1	-	-	-
Glufosinate	-	-	18,2	-	-	9,1	9,1
Chlorprophame	-	-	-	-	-	9,1	-
INSECTICIDES							
Thiaméthoxame	90,9	63,6	100	90,9	100	90,9	36,4
Clothianidine	90,9	9,1	100	81,8	100	100	18,2
Chlorantraniliprole	100	-	-	-	-	-	-
Diazinon	36,4	-	-	-	-	-	-
FONGICIDES							
Métalaxyl	-	-	-	-	9,1	-	-
Nombre de pesticides détectés	15	17	19	19	19	17	12
% de la superficie du bassin versant							
Total en cultures	21,1	12,2	26	20,4	50,8	54,1	10,8
Maïs et soya	9,5	2,54	9,9	6,6	22,1	23,4	3

Italique : produit de dégradation

Tiret : non détecté

Tableau 16 Fréquence des dépassements des CVAC dans les rivières de Chaudière-Appalaches (%)

Rivières	Global	Herbicide	Insecticides		
		Atrazine	Clothianidine	Thiaméthoxame	Diazinon
Le Bras	100	-	100	100	-
Boyer	100	9,1	100	72,7	-
Beaurivage	73	-	63,6	45,4	-
Du Chêne	45,5	-	18,2	18,2	36,4
Etchemin	27,3	-	27,3	27,3	-
Chaudière	18,2	-	9,1	18,2	-
Du Sud	18,2	-	-	18,2	-

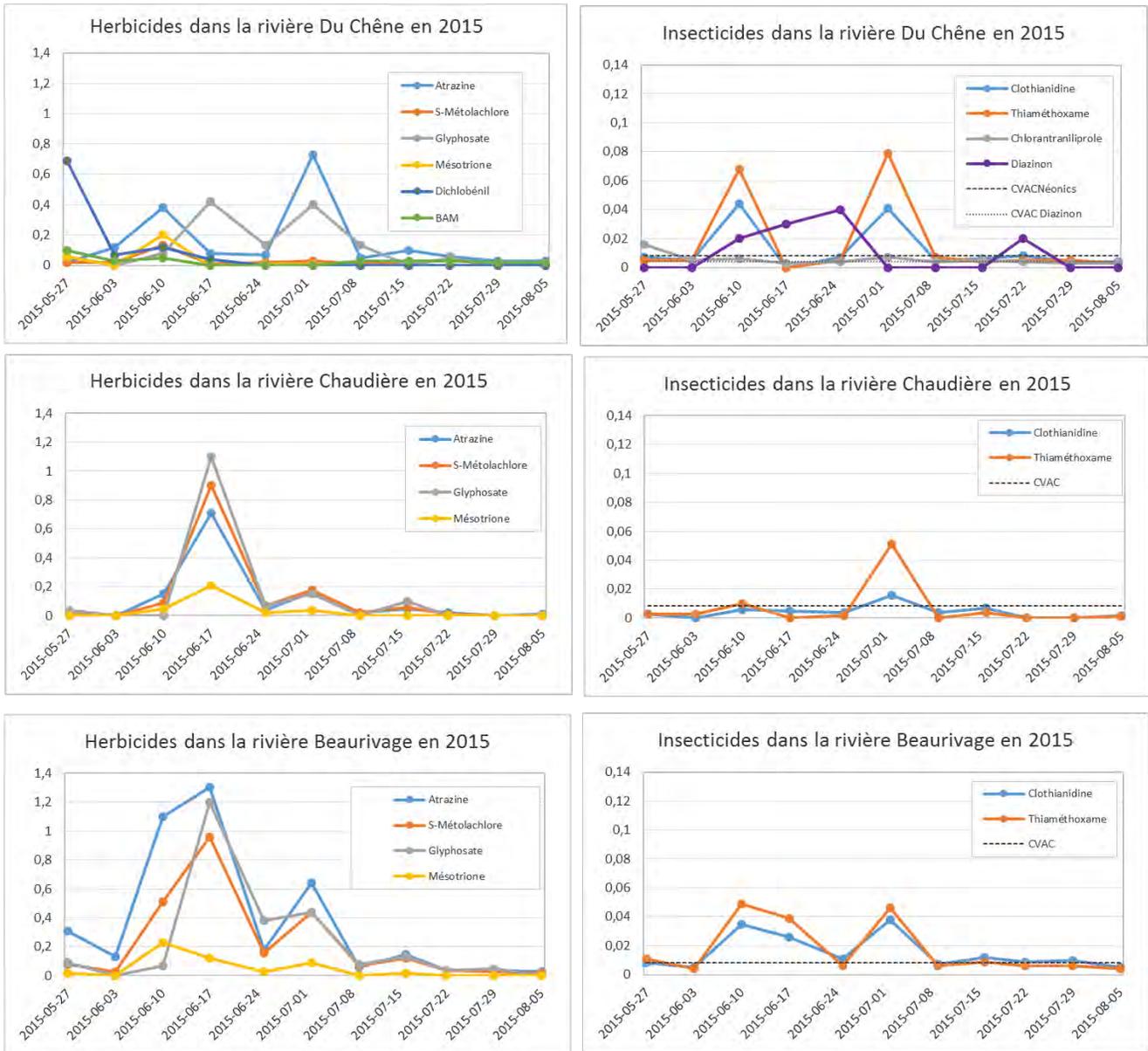


Figure 25 Profil des concentrations de quelques pesticides dans les rivières du Chêne, Chaudière et Beaurivage

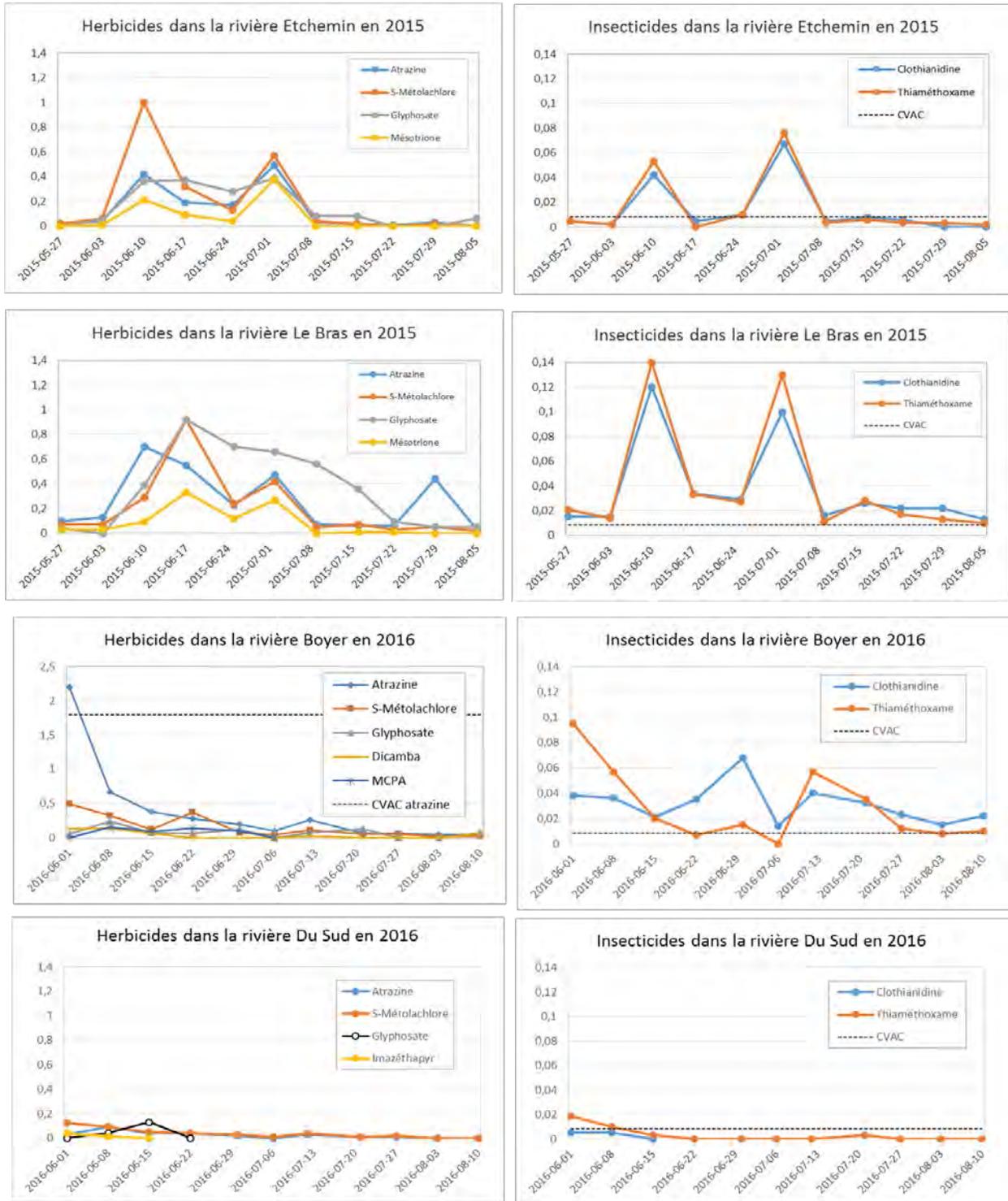


Figure 26 Profil des concentrations de quelques pesticides dans les rivières Etchemin, Le Bras, Boyer et du Sud

Cours d'eau du Saguenay–Lac-Saint-Jean

La figure 27 montre la localisation des stations échantillonnées dans les rivières du Saguenay–Lac-Saint-Jean. Au total, entre 3 et 13 pesticides y ont été détectés (tableau 17). La rivière Moreau est celle où l'on détecte le plus grand nombre de produits (13), la rivière Mistassini, celle où l'on en détecte le moins (3). À l'exception de la rivière à l'Ours, les cours d'eau échantillonnés dans la région sont moins affectés par la présence de pesticides que les rivières du sud du Québec. On y détecte un moins grand nombre de produits et les concentrations sont plus faibles.

Néanmoins, plusieurs cours d'eau sont influencés par la présence de bleuetières dans leur bassin versant. L'herbicide hexazinone et ses métabolites ont été détectés dans tous les cours d'eau échantillonnés au Saguenay–Lac-Saint-Jean, à l'exception du ruisseau Puant où il n'a pas été analysé, car il n'y avait pas de bleuetière répertoriée dans son bassin versant.

Plusieurs herbicides reliés aux cultures de maïs et de soya sont détectés dans les rivières Moreau et Ticouapé et dans le ruisseau Puant. Ce sont notamment le *s*-métolachlore, l'atrazine, le glyphosate et le mésotrione. Plusieurs autres herbicides sont aussi détectés, mais de manière épisodique.

Outre la présence de l'hexazinone et ses métabolites, la rivière à l'Ours se caractérise par la présence de pesticides associés à la culture des pommes de terre. Ce sont les insecticides thiaméthoxame, clothianidine, imidaclopride et chlorantraniliprole, qui sont détectés dans 100 % des échantillons, les fongicides azoxystrobine et fénamidone, détectés respectivement dans 90,9 et 18,2 % des échantillons, et l'antigerminatif chlorprophame, qui est détecté ponctuellement (8,3 % des échantillons).

La rivière à l'Ours montre des dépassements des CVAC pour les insecticides néonicotinoïdes dans tous les échantillons (tableau 18). Le CVAC de 0,0083 µg/l est dépassé dans 100 % des échantillons pour la clothianidine et le thiaméthoxame et dans 27,3 % pour l'imidaclopride. Dans le cas du thiaméthoxame, on note aussi une valeur de 0,34 µg/l, ce qui excède le CVAA de 0,2 µg/l.

Le thiaméthoxame dépasse le CVAC de manière épisodique dans les rivières Ticouapé et Moreau (9,1 % des échantillons), mais il n'y a pas de dépassement des critères dans les trois autres rivières (tableau 16).

Les figures 28 et 29 montrent le profil des concentrations des principaux pesticides détectés dans quelques-unes des rivières échantillonnées au Saguenay–Lac-Saint-Jean.

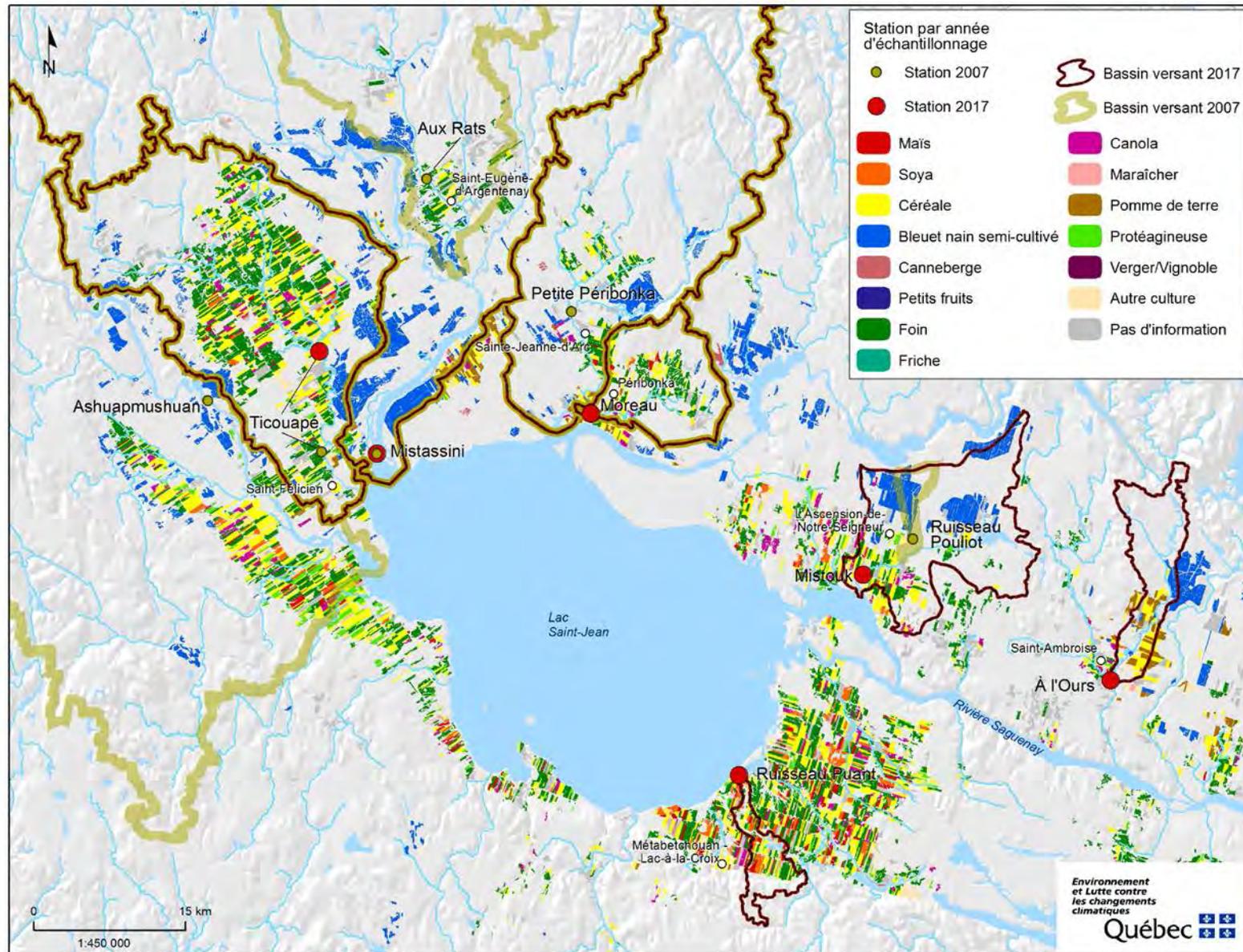


Figure 27 Localisation des stations échantillonnées dans les rivières du Saguenay-Lac-Saint-Jean

Tableau 17 Fréquence de détection des pesticides pour les rivières du Saguenay-Lac-Saint-Jean (%)

	Moreau	Ticouapé	À l'Ours	Ruis. Puant	Mistouk	Mistassini
	2017	2017	2017	2017	2017	2017
HERBICIDES						
Hexazinone	100	100	100	NA	100	18,2
Hexazinone métabolite B	63,6	100	100	NA	100	-
Hexazinone métabolite D	18,2	36,4	27,3	NA	27,3	-
Hexazinone métabolite A	-	-	-	NA	-	9,1
γ-Métolachlore	54,5	9,1	-	9,1	-	-
Atrazine	54,5	18,2	-	9,1	-	-
Glyphosate	9,1	45,5	-	18,2	18,2	9,1
Bentazone	-	-	-	9,1	-	-
Mésotrione	36,4	9,1	-	-	-	-
DEA	9,1	-	-	-	-	-
Dicamba	9,1	-	-	-	-	-
MCPA	9,1	9,1	-	18,2	18,2	-
Métribuzine	9,1	-	-	-	-	-
Cyanazine	-	-	-	-	18,2	-
2,4-D	9,1	-	-	-	-	-
Chlorprophame	-	-	8,3	-	-	-
Glufosinate	-	-	-	18,2	-	-
INSECTICIDES						
Thiaméthoxame	36,4	9,1	100	9,1	-	-
Clothianidine	-	-	100	-	-	-
Imidaclopride	-	-	100	-	-	-
<i>Imidaclopride-urée</i>	-	-	-	-	-	-
Chlorantraniliprole	-	-	100	63,6	-	-
FONGICIDES						
Azoxystrobine	-	-	90,9	-	-	-
Fénamidone	-	-	18,2	-	-	-
Pyriméthanil	-	9,1	-	-	-	-
Nombre de pesticides détectés	13	10	10	8	6	3
% de la superficie du bassin versant						
Total en cultures	27,4	37,7	21,1	47,3	30,5	0,59
Maïs et soya	1,15	0,75	0,22	13,4	0,29	0
Bleuetière	1,24	5,49	3,93	0	13,9	0,37
Pomme de terre	1,32	0,13	6,71	0	0	0,01

Italique : produit de dégradation

NA : non analysé

Tiret : non détecté

Tableau 18 Fréquence de dépassement des CVAC dans les rivières du Saguenay-Lac-Saint-Jean (%)

Rivières	Global	Insecticides		
		Clothianidine	Thiaméthoxame	Imidaclopride
À l'Ours	100	100	100	27,3
Ticouapé	9,1	-	9,1	-
Moreau	9,1	-	9,1	-

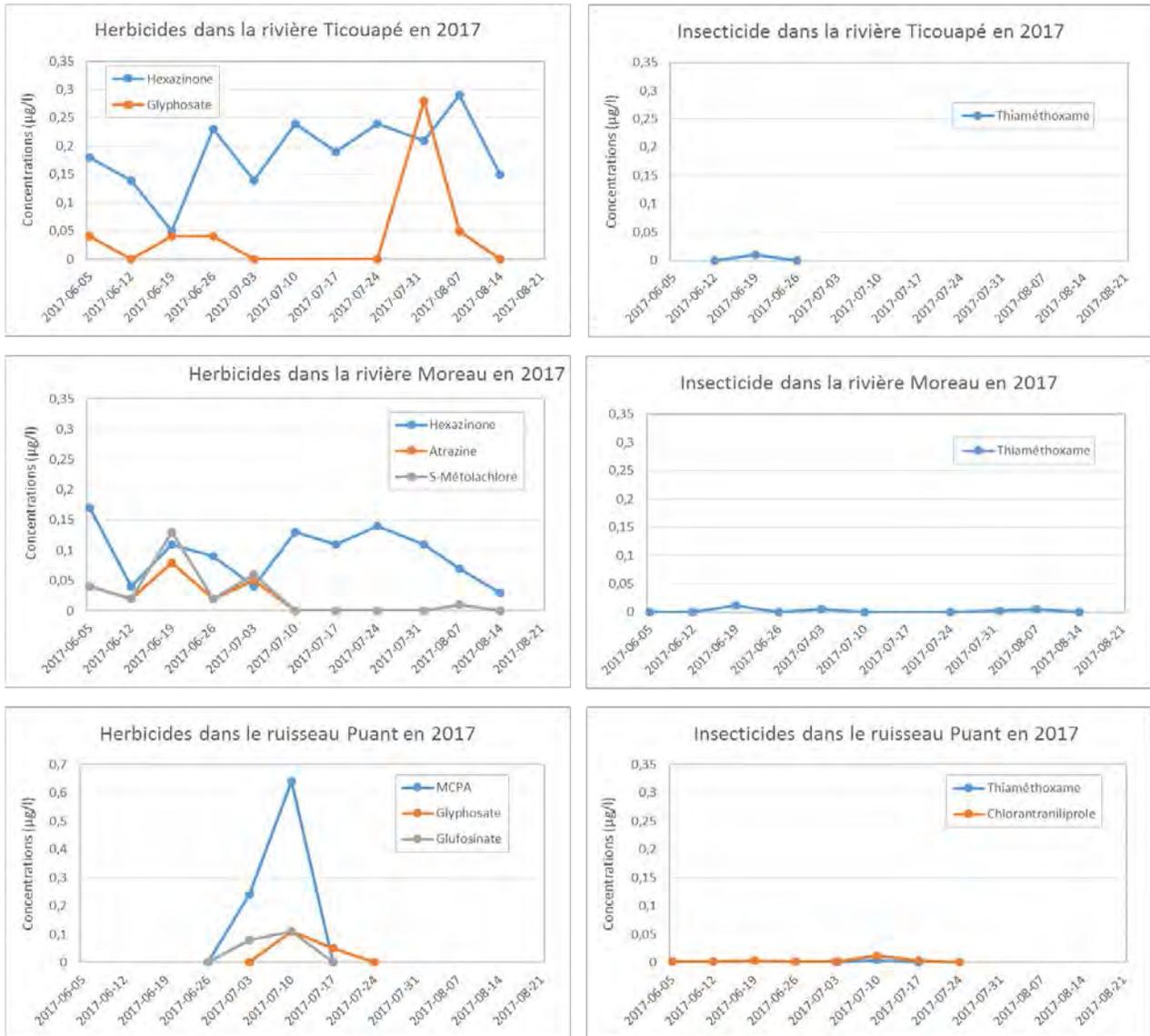


Figure 28 Profil des concentrations de quelques pesticides détectés dans les rivières Ticouapé et Moreau et dans le ruisseau Puant

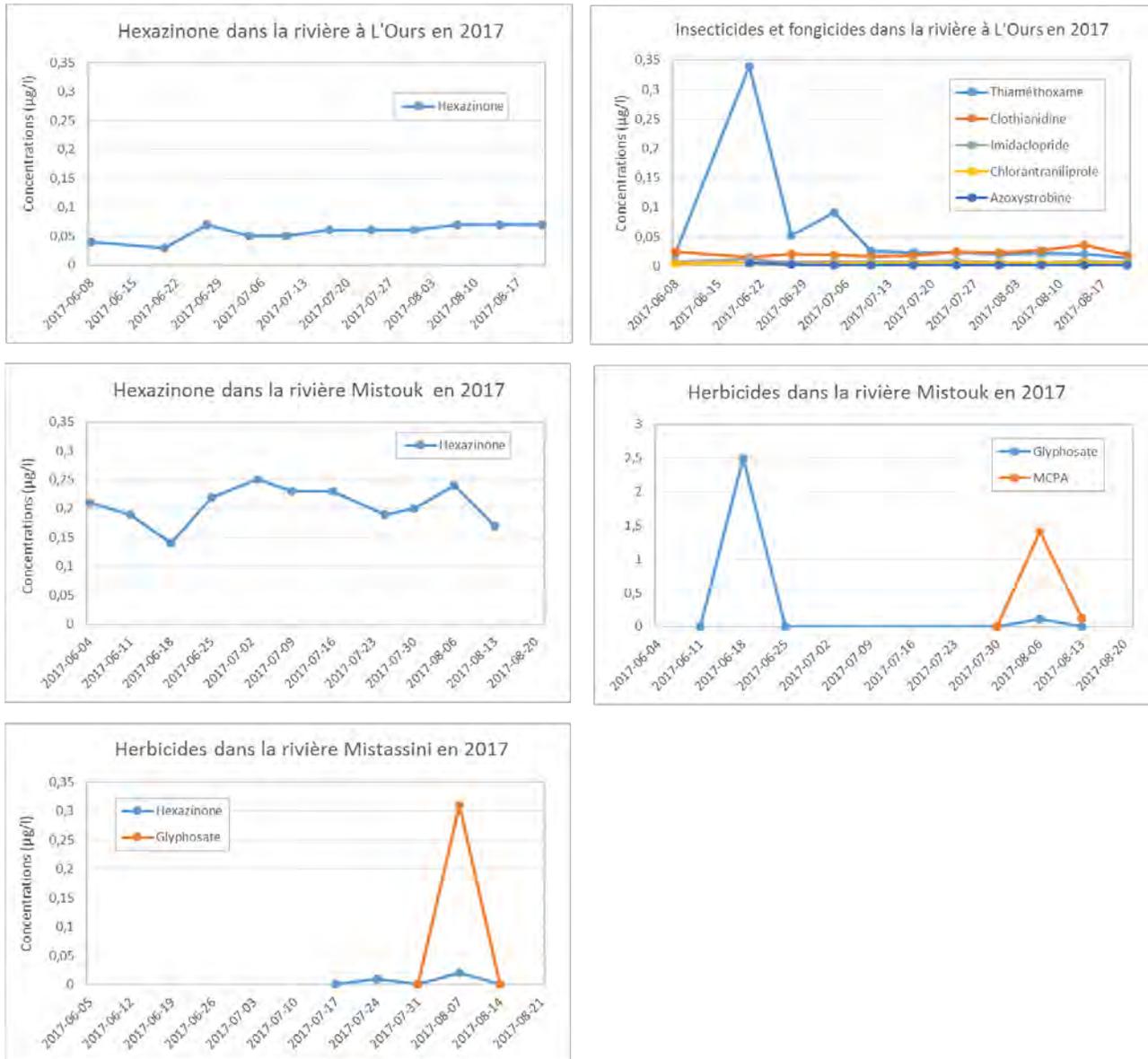


Figure 29 Profil des concentrations de quelques pesticides détectés dans les rivières à l'Ours, Mistouk et Mistassini

Comparaison des dépassements des CVAC

La figure 30 présente la comparaison de la fréquence des dépassements des critères de qualité de l'eau pour les 36 cours d'eau échantillonnés depuis 2012.

Les bassins versants des rivières Le Bras et Boyer en Chaudière-Appalaches présentent tous deux de fortes proportions des superficies totales en cultures, soit 54 % pour la rivière Boyer et 51 % pour la rivière Le Bras. Les cultures de maïs et de soya dans ces deux bassins représentent 23 % et 22 % respectivement de la superficie de leur bassin. Ces deux rivières rejoignent la liste de celles où des dépassements de critères de qualité

de l'eau sont très fréquents. La rivière à l'Ours, au Saguenay-Lac-St-Jean, en raison des superficies appréciables en pommes de terre (6,5 % du bassin versant) se situe aussi parmi les rivières qui sont les plus fortement affectées par la présence des pesticides.

La rivière Yamaska a été échantillonnée en 2014, 2016 et 2017. Selon les années, la proportion de dépassements varie entre 78 % et 100 %. Tout comme pour les quatre rivières du réseau de base, le suivi annuel de la Yamaska nous indique que des variations peuvent être observées d'une année à l'autre. Lors des années plus sèches, il y a moins de transport de pesticides vers les cours d'eau, alors qu'au contraire, lors d'étés pluvieux, le transport des pesticides vers les cours d'eau est plus important.

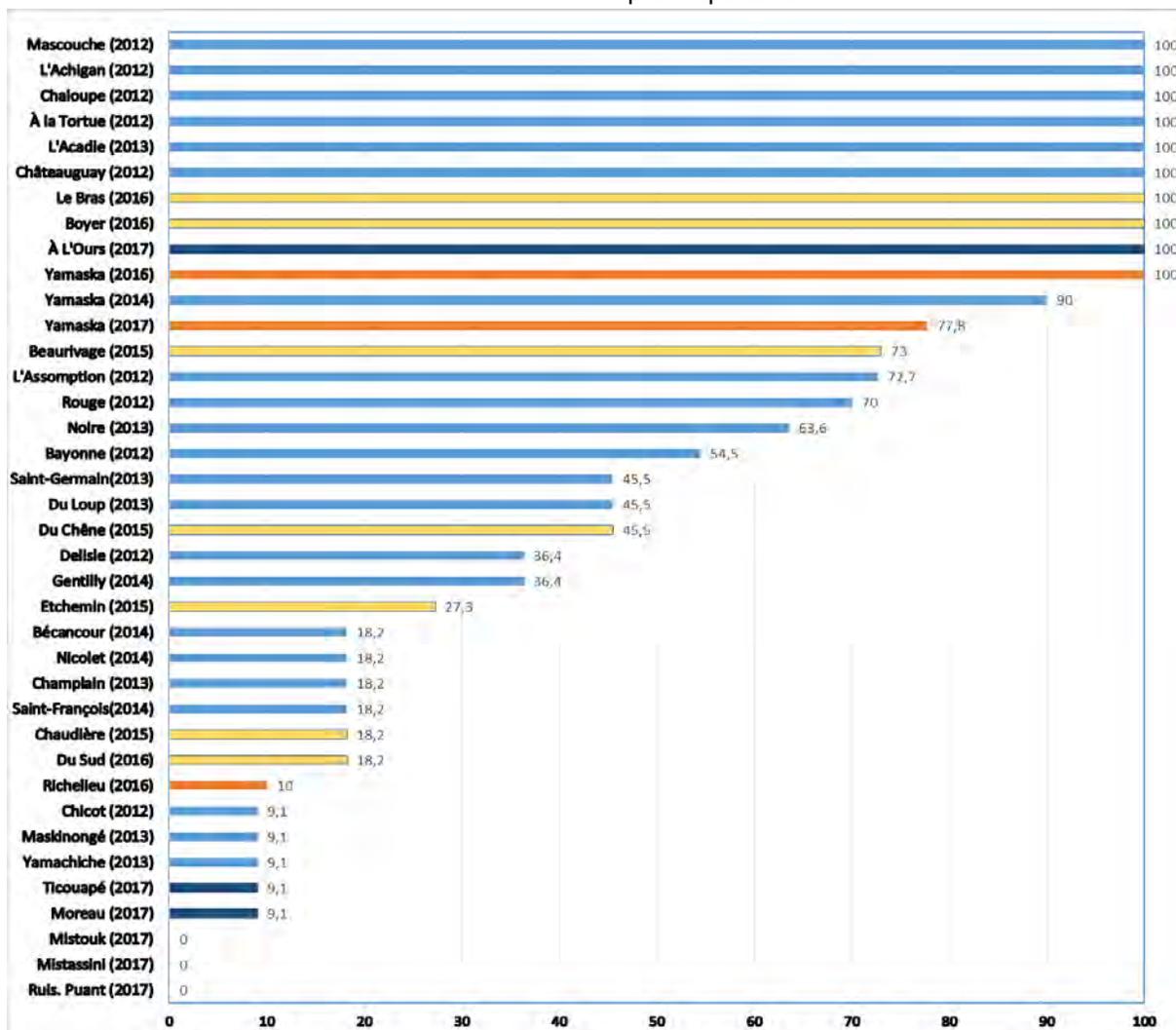


Figure 30 Fréquence de dépassement des CVAC dans les rivières de la Montérégie (orange), de Chaudière-Appalaches (jaune) et du Saguenay-Lac-Saint-Jean (bleu foncé) comparée à d'autres rivières échantillonnées de 2012 à 2014 (bleu pâle)

5 PESTICIDES DANS L'EAU SOUTERRAINE PRÈS DES CULTURES DE MAÏS ET DE SOYA

Au total, de septembre 2015 à février 2017, 52 puits ont été échantillonnés près de champs en culture de maïs ou de soya. Parmi ceux-ci, 38 sont des puits de producteurs agricoles, 7 appartiennent à des voisins de producteurs, et 7 autres sont des puits d'observation du MELCC (piézomètres). Les résultats sont présentés aux tableaux 19 à 21 et les informations recueillies sur les caractéristiques des puits sont présentées à l'annexe 6. Parmi les 52 puits échantillonnés, 36 sont utilisés pour l'alimentation en eau potable pour consommation humaine, 23 sont utilisés pour l'abreuvement des animaux, 11 servent pour le remplissage du pulvérisateur lors de la préparation des mélanges de pesticides et 8 servent pour d'autres fonctions (puits d'observation, lavage de la machinerie agricole, etc.). Un même puits peut d'ailleurs remplir plusieurs fonctions.

Des pesticides ont été détectés dans 7 des 52 puits échantillonnés (13,5 %) et cinq d'entre eux comptent deux produits en même temps. Les puits montrant la présence de pesticides appartiennent tous à des producteurs agricoles. Parmi les produits détectés, on note six herbicides, un produit de dégradation d'herbicide (le dééthyl-atrazine) et deux insecticides (tableau 19). Les concentrations mesurées sont faibles et respectent largement les normes du Règlement sur la qualité de l'eau potable ou les valeurs de références établies par d'autres organismes œuvrant dans le domaine de la santé publique.

Les nitrates ont aussi été analysés à titre de paramètres d'accompagnement. La plupart des puits (45 sur 50 ou 90 %) présentent des concentrations de nitrates inférieures à 1 mg/l N-NO₃ (tableau 20). Un seul puits montre une concentration supérieure à la norme de 10 mg/l N-NO₃. Tous les propriétaires de puits ont été avisés des résultats d'analyse des pesticides et des nitrates.

Le tableau 21 présente l'ensemble des résultats par région. Comme chaque région compte un nombre limité de puits échantillonnés, la proportion des puits avec pesticides dans chacune ne peut être représentative à l'échelle régionale.

Les résultats ont été examinés au regard de quelques facteurs de risque de contamination :

- Puits peu profond (moins de 10 m);
- Faible distance entre le puits et les champs (moins de 30 m);
- Sols sableux;
- Utilisation de l'eau du puits pour la préparation des mélanges de pesticides;
- Pente du terrain orientée vers le puits.

La plupart des puits (45) sont de type tubulaire et leur profondeur varie de 10 à 100 m, les autres (7) sont des puits de type citerne dont la profondeur varie de 3 à 12 m. La figure 31 montre la distribution des puits par classe de profondeur. Parmi les quatre puits échantillonnés dont la profondeur est de 9 m ou moins, un seul montre la présence de pesticides. Parmi les 24 puits dont la profondeur se situe entre 10 et 50 m, trois (12,5 %) montrent la présence de pesticides. Pour les puits dont la profondeur se situe de 51 à 100 m, un puits sur quinze (6,7 %) montre la présence de pesticides. Bien que les puits peu profonds soient généralement plus à risque de contamination, la profondeur d'un puits ne garantit pas nécessairement l'absence de contamination, car plusieurs autres facteurs de risque peuvent intervenir. Le dépliant [Prévenir la contamination de l'eau souterraine par les pesticides](#) donne des informations sur le sujet.

Lors de la planification de l'échantillonnage, une certaine proximité entre les puits et les cultures faisait partie des critères de sélection des puits à échantillonner. Il apparaît donc normal qu'un grand nombre de puits échantillonnés (28 sur 52 ou 54 %) soient situés à 30 m ou moins des cultures et que les puits éloignés soient moins représentés (figure 31). Néanmoins, les résultats montrent que des pesticides peuvent être décelés même dans des puits situés à 100 m des cultures.

Plusieurs producteurs agricoles utilisent l'eau de leur puits pour le remplissage du pulvérisateur et la préparation des mélanges de pesticides à appliquer sur les cultures. Lors de la préparation des mélanges de pesticides, si les opérations de remplissage des réservoirs et du pulvérisateur ne sont pas appropriées, il pourrait y avoir contamination de la source d'alimentation en eau. Par exemple, si l'équipement de remplissage est inadéquat, il pourrait y avoir refoulement des

pesticides du réservoir vers le puits. En cas de déversements de produits dans l'aire de préparation, un mauvais aménagement du pourtour du puits pourrait occasionner de l'infiltration préférentielle le long du tubage du

puits. Parmi les 38 puits de producteurs qui ont été échantillonnés, 11 servent à la préparation des mélanges de pesticides et des pesticides ont été détectés dans deux d'entre eux.

Tableau 19 Pesticides détectés dans l'eau souterraine dans les puits échantillonnés dans les secteurs en culture de maïs et de soya

Pesticides	Fréquence de détection	Concentration maximale mesurée µg/l	Norme ou valeur de référence µg/l	Source
	Nombre de puits			
HERBICIDES				
Atrazine	3	0,01	3,5	1
Dééthyl-atrazine	2	0,02	-	
Glyphosate	2	1,1	210	1
γ-Métolachlore	1	0,11	35	1
Bentazone	1	0,23	300	2
Imazéthapyr	1	0,009	16 000	3
Nicosulfuron	1	0,006	8 000	3
INSECTICIDES				
Clothianidine	1	0,003	Valeur non publiée	-
Diazinon	1	0,01	14	1

1. Règlement sur la qualité de l'eau potable (Gouvernement du Québec, 2017)
2. OMS, 2008
3. EPA, *Human Health Benchmark for pesticides*, 2018

Tableau 20 Répartition des puits par classe de concentrations de nitrates

	Concentration de N-NO ₃ (mg/l)				Aucun résultat disponible
	< 1	1 à 5	5 à 10	> 10	
Nombre de puits	45	2	2	1	2

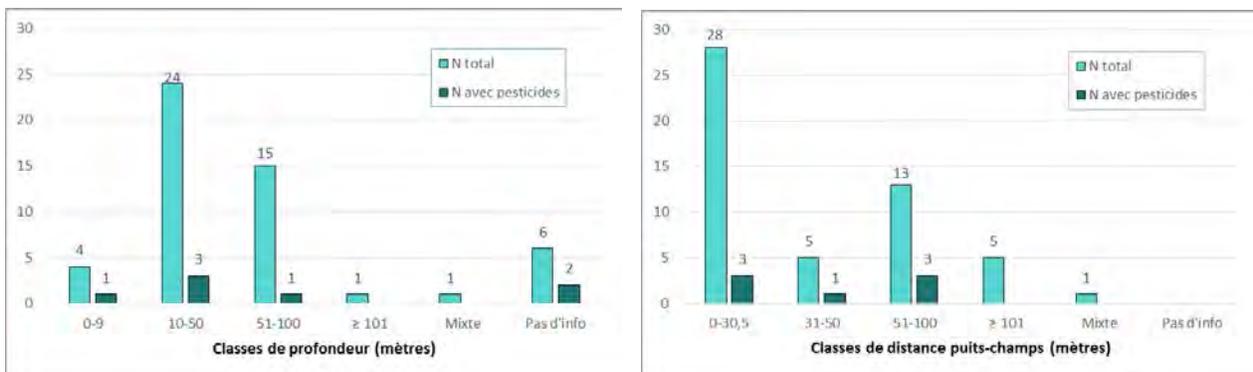


Figure 31 Distribution du nombre de puits par classe de profondeur et par classe de distance puits-champs

L'infiltration des contaminants vers la nappe d'eau souterraine peut également dépendre du type de sol. Dans le cas des piézomètres du Réseau de suivi des eaux souterraines (RSES), les types de sols rapportés à l'annexe 5 correspondent à la stratigraphie complète issue du rapport de forage. Cependant, pour les autres puits, le type de sol réfère à une description plus ou moins précise de l'horizon de surface du sol qui peut provenir ou non d'une analyse par un agronome. Néanmoins, selon les données recueillies, la plus grande proportion des puits (28 sur 52 ou 54 %) présente une composante argileuse. Une couche argileuse constitue habituellement une barrière protectrice contre l'infiltration des contaminants dans l'eau souterraine. À l'inverse, les sols des champs voisins de plusieurs des puits échantillonnés présentent une composante sableuse (18 sur 52). Comme l'eau s'infiltré plus rapidement dans les sols sableux, la nappe d'eau souterraine y est généralement plus vulnérable à la contamination.

La pente du terrain au voisinage du puits a également été consignée lors de l'échantillonnage. Lorsqu'un puits est situé en bas de pente par rapport aux cultures traitées, cela signifie que le sens d'écoulement de l'eau de surface (ruissellement) et de l'eau souterraine sont en direction du puits, ce qui constitue une situation plus à risque. Parmi les 52 puits

échantillonnés, 8 sont dans cette situation, mais la plupart des puits sont situés en terrain plat.

Les puits où des pesticides ont été détectés présentent au moins un, mais parfois plusieurs facteurs de risque combinés. En fait, la contamination d'un puits résulte souvent d'un ensemble de facteurs dont certains sont propres au site lui-même et d'autres sont liés aux conditions climatiques (p. ex., fortes pluies) ou aux caractéristiques des produits appliqués.

Dans les secteurs en culture de maïs et de soya, la proportion des puits montrant la présence de pesticides (13,5 %) est plus faible que pour d'autres secteurs agricoles. À titre d'exemple, mentionnons que dans les zones en culture de pommes de terre où les sols sableux sont particulièrement vulnérables à la contamination, jusqu'à 69 % des puits échantillonnés ont montré la présence de pesticides (Giroux et Sarrasin, 2011). Les suivis antérieurs ont aussi montré que les puits des zones en culture de petits fruits (75 %), de vignes (44 %) et de vergers (42 %) sont aussi affectés dans une plus forte proportion (Giroux, 2016). Bien qu'aucun secteur ne soit complètement à l'abri de toute contamination, les sols généralement plus argileux des zones de culture de maïs et de soya offrent une certaine protection des nappes d'eau souterraines contre l'infiltration des contaminants.

Tableau 21 Résultats des pesticides détectés dans les puits par région

Région	Année	Date	No. BQMA	No. Éch	Municipalité	NO2-NO3	OPS+	GLY-AMPA	FRIN	IMIDA	PESARY
						mg/l N-NO3			µg/l		
CHAUDIÈRE-APPALACHES	2015	14 sept.	02600004	M1	L'Islet	0,53	nd	nd	NA	nd	nd
	2015	23 sept.	02570003	M5	Ste-Croix	nd	nd	nd	NA	nd	nd
	2015	23 sept.	02340278	M3	Saint-Joseph-de-Beauce	13	Atrazine: 0,01 DEA:0,02	nd	NA	nd	NA
	2015	23 sept.	02340279	M4	St-Bernard	nd	nd	nd	NA	nd	NA
	2015	14 sept.	02300052	M2	Honfleur	0,03	Atrazine: 0,01	nd	NA	nd	NA
	2016	4 oct.	02330074	S3	St-Lambert-de-Lauzon	0,03	nd	nd	NA	nd	NA
	2016	4 oct.	02330075	S2	Lévis	0,03	nd	nd	NA	nd	NA
	2016	4 oct.	02330076	S4	St-Anselme	0,03	nd	nd	NA	nd	NA
	2016	4 oct.	02590003	S6	Saint-Vallier	0,83	nd	nd	NA	nd	NA
	2016	4 oct.	02330073	S5	St-Henri	0,23	nd	nd	NA	nd	NA
2016	3 oct.	02360034	S1	Val-Alain	0,36	nd	nd	NA	NA	NA	
CAPITALE NATIONALE	2016	26 oct.	05040221	S21	Saint-Thuribe	0,04	nd	nd	NA	nd	NA
	2017	14 fév.	05070028	S22	Cap-Santé	0,02	S-Métolachlore: 0,11	nd	Nicosulfuron: 0,006	nd	NA
	2017	14 fév.	05080174	S23	Cap-Santé	< 0,02	nd	Glyphosate: 1,1	NA	nd	NA
	2017	14 fév.	05080175	S24	Cap-Santé	< 0,02	nd	nd	NA	nd	NA
	2017	14 fév.	05040242	S27	Saint-Raymond	0,02	Atrazine: 0,01 DEA: 0,02	nd	NA	Clothianidine: 0,003	NA
	2017	14 fév.	05040243	S26	Saint-Raymond	0,86	nd	nd	NA	nd	NA
	2017	14 fév.	05050003	S25	Saint-Gilbert	5,7	nd	nd	NA	nd	NA
CENTRE DU QUÉBEC	2015	30 sept.	03010148	M8	Saint-Samuel	0,04	nd	nd	nd	NA	NA
	2015	15 oct.	03010149	M10	Warwick	5,2	nd	nd	nd	NA	NA
	2015	2 nov.	RSES: 02000006	02000006	Bécancour	0,02	nd	nd	nd	NA	NA
	2015	28 oct.	RSES: 02400002	02400002	Sainte-Anne-du-Sault	< 0,02	nd	nd	nd	NA	NA
	2015	2 nov.	RSES: 03000005	03000005	Baie-du-Febvre	< 0,02	nd	nd	nd	NA	NA
	2015	2 nov.	RSES: 03000006	03000006	Sainte-Monique	nd	nd	nd	nd	NA	NA
	2015	28 oct.	RSES: 03010004	03010004	Victoriaville	0,03	nd	nd	nd	NA	NA
	2015	2 nov.	RSES: 03030013	03030013	Saint-Guillaume	0,03	nd	nd	nd	NA	NA
LANAUDIÈRE	2015	16 oct.	05220605	M11	Saint-Alexis	0,38	nd	nd	nd	NA	NA
	2015	16 oct.	05220606	M12	Saint-Ambroise-de-Kildare	0,03	nd	nd	nd	NA	NA
	2015	16 oct.	05220607	M13	Saint-Charles-Borromée	0,03	nd	nd	nd	NA	NA
	2015	4 nov.	05220608	M18	Saint-Liguori	0,02	nd	nd	nd	NA	NA
	2015	4 nov.	05230050	M17	Saint-Thomas	< 0,02	nd	nd	nd	NA	nd
	2015	4 nov.	05220609	M16	Saint-Lin-des-Laurentides	0,03	nd	nd	Imazéthapyr: 0,009	NA	Bentazone: 0,23
	2016	5 oct.	05250014	S8	Saint-Cuthbert	0,03	nd	nd	NA	nd	nd
	2016	5 oct.	05250015	S7	Saint-Cuthbert	0,03	nd	nd	NA	nd	NA
	2016	5 oct.	05250016	S9	Saint-Cuthbert	0,04	nd	nd	nd	nd	NA
	2016	5 oct.	05250017	S10	Saint-Cuthbert	< 0,02	nd	nd	NA	nd	NA
	2016	5 oct.	05040203	S11	Saint-Cuthbert	0,06	nd	nd	NA	nd	NA
MONTÉRÉGIE	2015	30 sept.	03260002	M6	Boucherville	< 0,02	nd	nd	nd	NA	NA
	2015	2 nov.	03090157	M14	St-Louis-de-Gonzague	0,03	nd	nd	nd	NA	NA
	2015	15 oct.	03040211	M9	Saint-Cyprien-de-Napierville	< 0,02	nd	nd	nd	NA	NA
	2015	30 sept.	03030487	M7	Saint-Hugues	1,5	nd	nd	nd	NA	NA
	2015	2 nov.	03120002	M15	Saint-Anicet	0,34	nd	nd	nd	NA	NA
	2015	2 nov.	03040001	3040001	Saint-Ours	RND	nd	RNF	nd	NA	NA
	2016	19 oct.	03040470	S15	Saint-Ignace-de-Stanbridge	0,05	nd	nd	NA	nd	NA
	2016	20 oct.	03030497	S20	Farnham	1,4	nd	nd	NA	nd	NA
	2016	20 oct.	03030499	S19	Granby	0,04	nd	nd	NA	nd	NA
	2016	20 oct.	03030500	S17	Granby	< 0,02	nd	nd	nd	NA	nd
	2016	20 oct.	03030498	S18	Granby	0,06	nd	nd	NA	nd	NA
	2016	19 oct.	03040473	S16	Stanbridge Est	0,25	nd	nd	NA	nd	NA
	2016	19 oct.	03040472	S13	Saint-Blaise-sur-Richelieu	0,06	Diazinon: 0,01	Glyphosate: 0,1	NA	nd	NA
	2016	19 oct.	03040471	S14	Saint-Sébastien	0,04	nd	nd	NA	nd	NA
	2016	19 oct.	03040310	S12	Saint-Mathias-sur-Richelieu	0,04	nd	nd	NA	nd	NA

NA : non analysé nd : analysé mais non détecté RND : résultat non disponible RNF : problème analytique

CONCLUSION

Au regard des objectifs, l'étude a permis de tracer un portrait de la situation de la contamination par les pesticides dans les secteurs agricoles à dominance de cultures de maïs et de soya. Comme dans les rapports précédents, le présent rapport montre que plusieurs pesticides sont présents en même temps dans l'eau des rivières durant la période de mai à août. Les herbicides associés aux cultures de maïs et de soya sont omniprésents dans l'eau des rivières du sud du Québec.

Réseau de base

Les résultats obtenus aux quatre stations du réseau de base montrent qu'entre 18 et 34 pesticides ou produits de dégradation de pesticides sont détectés dans ces rivières. Quelques changements sont survenus au cours de la période de 2015 à 2017 en comparaison de la période de 2011 à 2014 :

- Les concentrations de l'herbicide glyphosate, de même que celles de l'imazéthapyr et de la clothianidine, ont continué à augmenter dans l'eau des rivières.
- Les concentrations médianes de l'atrazine, du dicamba et du 2,4-D sont à la baisse.
- Les concentrations médianes de l'herbicide β -métochloré sont moins élevées que dans les années 1990, mais l'analyse statistique montre une réduction des concentrations avant 2004 alors que la tendance entre 2007 et 2017 pour ce produit est maintenant plutôt à la hausse, tendance également observée pour ce produit dans certaines rivières américaines.
- Les insecticides néonicotinoïdes sont toujours fréquemment détectés, soit en moyenne dans 98 %, 91 % et 54 % des échantillons respectivement pour le thiaméthoxame, la clothianidine et l'imidaclopride. Le thiaméthoxame et la clothianidine dépassent le CVAC dans plus de 79 % des échantillons, ce qui peut entraîner des effets néfastes chez les espèces aquatiques de ces cours d'eau, en particulier pour certaines espèces de macroinvertébrés benthiques.
- L'insecticide chlorantraniliprole récemment homologué pour le traitement des semences est de plus en plus souvent détecté dans les quatre rivières du réseau de base et présente des dépassements du CVAC dans 3 à 14 % des échantillons de la rivière Saint-Régis.
- Les dépassements un peu moins fréquents des CVAC pour l'année 2017 seraient principalement attribuables à un été plus sec dans le sud du Québec et à une proportion plus importante d'échantillons prélevés par temps sec.
- Ajoutée à l'omniprésence des herbicides et aux multiples pesticides présents en même temps dans l'eau, la détection des insecticides néonicotinoïdes et, surtout, leurs dépassements fréquents du CVAC continuent à poser un risque important pour les espèces aquatiques de ces cours d'eau.

Réseau-rivières

Le présent rapport a aussi permis de documenter la présence de pesticides dans quinze rivières des régions de la Montérégie, de Chaudière-Appalaches et du Saguenay-Lac-Saint-Jean.

- Dans les rivières Yamaska et Richelieu, deux importants tributaires du lac Saint-Pierre, les concentrations d'insecticides néonicotinoïdes dépassent le CVAC dans 78 % à 100 % des échantillons dans le cas de la rivière Yamaska et dans 10 % des échantillons pour la rivière Richelieu.
- Des pesticides ont été détectés dans toutes les rivières échantillonnées en Chaudière-Appalaches. Les rivières Le Bras, Boyer, Beurivage et du Chêne sont les plus affectées, avec des dépassements des CVAC dans 100 % des échantillons pour les rivières Le Bras et Boyer, dans 73 % pour la Beurivage et dans 45,5 % pour la rivière du Chêne.
- Des pesticides ont aussi été détectés dans les six rivières échantillonnées au Saguenay-Lac-Saint-Jean, mais en moins grand nombre et en concentrations généralement plus basses comparativement aux rivières des autres régions agricoles étudiées depuis 2012. L'herbicide hexazinone est détecté dans cinq des six rivières échantillonnées, démontrant la fréquence de l'utilisation de ce pesticide dans les bleuetières de la région. La rivière à l'Ours, dont le bassin versant compte des superficies en culture de pommes de terre, présente des dépassements des CVAC dans tous les échantillons, alors que seulement 9 % des

échantillons prélevés dans les rivières Ticouapé et Moreau présentent des dépassements et qu'il n'y en a pas dans les autres rivières échantillonnées dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean.

Eau souterraine

- Parmi les 52 puits individuels échantillonnés en 2015 et 2016 à proximité de champs en culture de maïs et de soya, 7 (13,5 %) ont montré la présence de pesticides. Les neuf pesticides détectés sont l'atrazine et son produit de dégradation le dééthyl-atrazine, le glyphosate, le *S*-métolachlore, le bentazone, l'imazéthapyr et le nicosulfuron, ainsi que les insecticides clothianidine et diazinon.
- Les concentrations mesurées sont faibles et respectent largement les normes du Règlement sur la qualité de l'eau potable ou les valeurs de référence existantes.
- Il semble que les sols généralement plus argileux des zones de culture de maïs et de soya offrent une certaine protection des

nappes d'eau souterraine contre l'infiltration des contaminants puisque la proportion des puits affectés par la présence de pesticides y est plus faible que pour d'autres zones agricoles étudiées précédemment et présentant des sols sableux.

Le maintien d'un suivi à long terme aux stations du réseau de base permettra de vérifier au cours des prochaines années si la Stratégie québécoise sur les pesticides 2015-2018 et les réformes réglementaires apportées au Code de gestion des pesticides et au Règlement sur les permis et les certificats pour la vente et l'utilisation des pesticides, notamment concernant l'obligation d'une justification agronomique pour l'usage des insecticides néonicotinoïdes, se traduisent par une amélioration de la qualité de l'eau.

Les résultats de ces programmes de suivi permettront aussi d'orienter les actions et les interventions des partenaires de la Stratégie phytosanitaire québécoise en agriculture 2011-2021.

BIBLIOGRAPHIE

- BATTAGLIN, W.A., M.T. MEYER, K.M. KUIVILA et J.E. DIETZE, 2014. « Glyphosate and its degradation product AMPA occur frequently and widely in U.S. soils, surface water, groundwater, and precipitation ». *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 50, n° 2, p. 275-290.
- CONSEIL CANADIEN DES MINISTRES DE L'ENVIRONNEMENT (CCME), 1999. « Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique – Glyphosate ». Dans *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement*, extrait de la publication n° 1300, ISBN 1-896997-36-8, 4 p.
- CONSEIL CANADIEN DES MINISTRES DE L'ENVIRONNEMENT (CCME), 2012. « Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique – Glyphosate ». Dans *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement*, extrait de la publication n° 1300, ISBN 1-896997-36-8, 11 p.
- FINANCIÈRE AGRICOLE, 2017. « Base de données des parcelles et productions agricoles déclarées ». [En ligne], <https://www.fadq.qc.ca/fr/documents/donnees/base-de-donnees-des-parcelles-et-productions-agricoles-declarees/>.
- GIROUX, I., 2016. *Portrait de la présence de pesticides dans l'eau souterraine près de secteurs maraîchers, vergers, vignes et petits fruits – Échantillonnage 2012 à 2014*. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, 25 p. + 5 annexes.
- GIROUX, I., 2015. *Présence de pesticides dans l'eau au Québec : Portrait et tendances dans les zones de maïs et de soya – 2011 à 2014*. Québec, ministère du Développement durable, de l'environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-73603-5, 47 p. + 5 annexes. [En ligne], http://www.environnement.gouv.qc.ca/pesticides/maïs_soya/portrait2011-2014/rapport2011-2014.pdf.
- GIROUX, I., 2014. *Présence de pesticides dans l'eau au Québec – Zones de vergers et de pommes de terre, 2010 à 2012*, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-71747-8 (PDF), 55 p. + 5 annexes.
- GIROUX, I., 2000. *Suivi des pesticides dans la rivière Richelieu près des sites de fraie du Chevalier cuivré*. Québec, ministère de l'Environnement, Direction du suivi de l'état de l'environnement, 9 p. + 2 annexes.
- GIROUX, I., S. HÉBERT et D. BERRYMAN, 2016. « Qualité de l'eau du Saint-Laurent de 2000 à 2014 : paramètres classiques, pesticides et contaminants émergents ». *Le Naturaliste canadien*, vol. 140, n° 2, p. 26-34.
- GIROUX, I., et L. PELLETIER, 2012. *Présence de pesticides dans l'eau au Québec : Bilan dans quatre cours d'eau de zones en culture de maïs et de soya en 2008, 2009 et 2010*. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-64159-9 (PDF), 46 p. + 3 annexes.
- GIROUX, I., et B. SARRASIN, 2011. *Pesticides et nitrates dans l'eau souterraine près de cultures de pommes de terre – Échantillonnage dans quelques régions du Québec en 2008 et 2009*. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, ISBN 978-2-550-61396-1, 31 p. + 5 annexes.
- INSTITUT DE LA STATISTIQUE DU QUÉBEC (ISQ), 2017 « Superficies des grandes cultures, rendement à l'hectare et production, par région administrative, Québec, 2016 ». [En ligne], http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/agriculture/grandes-cultures/qc_2016.htm.
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC), 2017a. « Bilan des ventes de pesticides au Québec, 2015 ». [En ligne], <http://www.environnement.gouv.qc.ca/pesticides/bilan/2015/ventes-totales.pdf>.
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC), 2017b. « Critères de qualité de l'eau de surface ». [En ligne], http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.asp.

- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC), 2017c. « Historique des données de différentes stations hydrométriques ». Centre d'expertise hydrique du Québec. [En ligne], [\[https://www.cehq.gouv.qc.ca/hydrometrie/historique/donnees/index.asp\]](https://www.cehq.gouv.qc.ca/hydrometrie/historique/donnees/index.asp).
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC), 2017d. « Données du Programme de surveillance du climat ». Direction du suivi de l'état de l'environnement.
- MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE, 2017. « Les pesticides dans les eaux ». [En ligne], [\[https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/pesticides?rubrique=44\]](https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/pesticides?rubrique=44).
- PÉREZ, D.J., E. OKADA, E. DE GERONIMO, M.L. MENONE, V.C. APARICIO, J.L. COSTA, 2017. « Spatial and temporal trends and flow dynamics of glyphosate and other pesticides within an agricultural watershed in Argentina ». *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 36, n° 12, p. 3206-3216.
- RYBERG, K.R., et R.J. GILLIOM, 2015. « Trends in pesticide concentrations and use for major rivers of the United States ». *Science of the Total Environment*, vol. 538, p. 431-444.
- SAS INSTITUTE INC., 2014. *SAS/STAT 13.2 User's Guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- STRUGER, J., J. GRABUSKI, S. CAGAMPAN, E. SVERKO, D. MCGOLDRICK, C.H. MARVIN 2017. « Factors influencing the occurrence and distribution of neonicotinoid insecticides in surface waters of southern Ontario, Canada ». *Chemosphere*, vol. 69, p. 516-523.
- STRUGER, J., D. THOMPSON, B. STAZNIK, P. MARTIN, T. MCDANIEL, C. MARVIN 2008. « Occurrence of glyphosate in surface waters of Southern Ontario ». *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 80, n° 4, p. 378-384.
- SZEKACS, A., M. MORTL et B. DARVAS, 2015. « Monitoring pesticide residues in surface and groundwater in Hungary : Surveys in 1990-2015 ». *Journal of Chemistry*, vol. 2015. [En ligne], [\[https://www.hindawi.com/journals/jchem/2015/717948/\]](https://www.hindawi.com/journals/jchem/2015/717948/).
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS), 2014. « Common weed killer is widespread in the environment ». United States Geological Survey. [En ligne], [\[https://toxics.usgs.gov/highlights/2014-04-23-glyphosate_2014.html\]](https://toxics.usgs.gov/highlights/2014-04-23-glyphosate_2014.html).

ANNEXES

Annexe 1 Principaux pesticides homologués dans les cultures de maïs et de soya

Principaux pesticides homologués dans le maïs

	Ingrédients actifs	Noms commerciaux ¹
HERBICIDES	Atrazine	AATREX 480, CONVERGE 480
	Atrazine/dicamba	MARKSMAN, PROPERO
	Atrazine/mésotrione	LUMAX EZ, LUMAX SE
	Bentazone	BASAGRAN, BASAGRAN FORTE
	Bentazone/atrazine	LADDOK
	Bromoxynil	PARDNER, KORIL 235
	Bromoxynil/MCPA	BUCTRIL, BADGE, BROMOX
	Carfentrazone-éthyl	AIM EC
	Clopyralide/flumetsulame	FIELDSTAR
	2,4-DB	EMBUTOX, CALIBER, COBUTOX
	Dicamba	BANVEL
	Dicamba/primisulfuron méthyle	SUMMIT
	Diflufenzopyr/dicamba	DISTINCT
	Diméthénamide	FRONTIER
	Diméthénamide/saflufenacil	INTEGRITY
	EPTC	ERADICANE, EPTAM
	Flufenacet/métribuzine	AXIOM
	Flumetsulame	FLUMETSULAME
	Foramsulfuron	OPTION
	Foramsulfuron/iodosulfuron-méthyl	TRIBUTE
	Glufosinate d'ammonium	LIBERTY
	Glyphosate	ROUNDUP, GLYPHOS, CREDIT, TOUCHDOWN
	Glyphosate/ <i>s</i> -métolachlore/mésotrione	HALEX
	Isoxafutole	CONVERGE 75 WDG, CONVERGE PRO, CONVERGE FLEXX
	Linuron	LOROX, LINURON
	Mésotrione	CALLISTO, ENGARDE
	<i>s</i> -Métolachlore	DUAL II MAGNUM
	<i>s</i> -Métolachlore/atrazine	PRIMEXTRA II MAGNUM
	Métribuzine	SENCOR, LEXONE
	Nicosulfuron	ACCENT, ULTIM 37,4 DF
	Paraquat	GRAMOXONE
	Pendiméthaline	PROWL
	Primisulfuron-méthyl	BEACON
	Prosulfuron	PEAK
	Rimsulfuron	ELIM
	Rimsulfuron/nicosulfuron	ULTIM
Saflufenacil	ERAGON	
Simazine	SIMAZINE, PRINCEP NINE-T	
Tembotrione/thiencarbazone	VIOS G3	
Topramezone	IMPACT	
INSECTICIDES	<i>Bacillus thuringiensis</i> (Bt)	DIPEL, BIOPROTEC
	Bt transgénique	-
	Carbaryl	SEVIN
	Chlorantraniliprole	CORAGEN
	Chlorpyrifos	LORSPAN, PYRIFOS
	Cyperméthrine	RIPCORD, UP-CYDE
	Deltaméthrine	DECIS
	Endosulfan	THIONEX
	Lambda-cyhalothrine	MATADOR, SILENCER
	Malathion	MALATHION, FYFANON
	Perméthrine	AMBUSH, POUNCE, PERM-UP
	Spiromesifen	OBERON
	Tefluthrine	FORCE
Trichlorfon	DYLOX	
FONGICIDES	Azoxystrobine/propiconazole	QUILT
	Propiconazole	TILT, PIVOT, BUMPER
TRAITEMENTS DE SEMENCES	Azoxystrobine (F)	DYNASTY, DYNASTY 100FS
	Carbathiine/thiram (F)	VITAFLO
	Clothianidine (I)	PONCHO
	Diazinon/Captane (I/F)	AGROX B-Z, AGROX CD
	Fludioxonil (F)	MAXIM
	Imidaclopride (I)	GAUCHO
	Métalaxyl (F)	ALLEGIANCE, AFRON
	Pyraclostrobine (F)	BAS 500 F ST, CRUISER
FUMIGANTS	1,3-Dichloropropène/cChloropicrine	TELONE C17
	Métam-sodium	BUSAN, METAM-SODIUM, VAPAM, ENGAGE

¹ Non exhaustif

Annexe 1 Principaux pesticides homologués dans les cultures de maïs et de soya (suite)

Principaux pesticides homologués dans le soya

	Ingrédients actifs	Noms commerciaux ¹
HERBICIDES	Acifluorféne	BLAZER
	Bentazone	BASAGRAN, BASAGRAN FORTE
	Bentazone/imazamox	VIPER
	Carfentrazone-éthyl	AIM EC
	Chlorimuron-éthyl	CLASSIC
	Chlorimuron-éthyl, thifensulfuron-méthyl	RELIANCE
	Chloransulame-méthyl	FIRSTRATE
	Cléthodime	SELECT
	Clomazone	COMMAND 360 ME
	Diclofop-méthyl	HOE-GRASS E 284
	Diméthénamide	FRONTIER
	Diquat	REGLONE
	Éthalfuraline	EDGE DC
	Fénoxaprop-éthyl	EXCELL
	Fluazifop-butyl	VENTURE
	Flufenacet, métribuzine	AXIOM
	Flumetsulame	FLUMETSULAM
	Flumetsulame/ <i>s</i> -métolachlore	BROADSTRIKE DUAL MAGNUM
	Fomesafène	REFLEX
	Flumioxazine	VALTERA, CHÂTEAU
	Glufosinate	LIBERTY
	Glyphosate	ROUNDUP, GLYPHOS, CREDIT, TOUCHDOWN
	Imazéthapyr	PURSUIT
	Imazéthapyr/pendiméthaline	VALOR
	Linuron	LOROX, LINURON
	<i>s</i> -Métolachlore	DUAL MAGNUM
	Métribuzine	METRIBUZINE, LEXONE, SENCOR
Paraquat	GRAMOXONE	
Quizalofop-p-éthyle	ASSURE	
Saflufenacil	ERAGON	
Thifensulfuron-méthyle	PINNACLE	
Trifluraline	TREFLAN, RIVAL, BONANZA	
INSECTICIDES	Chlorantraniliprole	CORAGEN
	Diméthoate	CYGON, LAGON
	Lambda-cyhalothrine	MATADOR, SILENCER
	Spirotetramate	MOVENTO
FONGICIDES	Azoxystrobine	QUILT
	Bacillus subtilis	SERENADE
	Metconazole	CARAMBA
	Propiconazole	TILT
	Propiconazole/trifloxystrobine	STRATEGO
	Pyraclostrobine	HEADLINE
	Tebuconazole	FOLICUR
Thirame	THIRAM	
TRAITEMENTS DE SEMENCES	Azoxystrobine (F)	DYNASTY, DYNASTY 100FS
	Carbathiine/thiram (F)	VITAVAX, VITAFLO
	Fludioxonil (F)	MAXIM
	Fludioxonil/métalaxyl (F)	APRON
	Fludioxonil/métalaxyl/thiaméthoxame (F/I)	CRUISER MAX, APRON MAX
	Imidaclopride (I)	STRESS SHIELD, ACCELERON IX 409
	Métalaxyl/trifloxystrobine (F)	TRILEX
FUMIGANT	Métam-sodium	BUSAN, METAM-SODIUM, VAPAM, ENGAGE

¹ Non exhaustifSource : Santé Canada, 2014. En ligne, <http://www.hc-sc.gc.ca/cps-spc/pest/registrant-titulaire/tools-outils/label-etiq-fra.php>.

Annexe 2 Méthodologie

Coordonnées des stations échantillonnées

Rivière	Numéro BQMA ¹	Coordonnées ²
Réseau de base		
Chibouet	03030038	45,789980 ; -72,853274
Des Hurons	03040007	45,490770 ; -73,185790
Saint-Régis	03080001	45,399310 ; -73,563918
Saint-Zéphirin	03010046	46,131070 ; -72,599049
Réseau -rivières		
2015		
Chaudière	02340050	46,702194 ; -71,279941
Beaurivage	02340034	46,651207 ; -71,300757
Etchemin	02330001	46,759823 ; -71,228274
Le Bras	02330049	46,710170 ; -71,119263
Du Chêne	02360014	46,554662 ; -71,968882
2016		
Boyer	02300001	46,853963 ; -70,877966
Du Sud	02310004	46,975045 ; -70,555714
Richelieu	03040009	46,033673 ; -73,117354
Yamaska	03030023	46,004881 ; -72,910691
2017		
Yamaska	03030023	46,004881 ; -72,910691
Mistassini	06210133	48,728918 ; -72,336283
Ticouapé	06200006	48,817644 ; -72,421496
Mistouk	06230002	48,642188 ; -71,67095
Moreau	06180017	48,774545 ; -72,049612
À l'Ours	06240030	48,556760 ; -71,330307
Ruis Puant	06130059	48,457469 ; -71,826023

¹ Base de données sur la qualité des milieux aquatiques

Méthode d'échantillonnage

Des « observateurs », soit des personnes résidant à proximité du lieu d'échantillonnage, sont engagés pour effectuer l'échantillonnage. Les échantillons d'eau sont prélevés à gué ou à partir d'un pont. Dans le cas de l'échantillonnage à partir d'un pont, les bouteilles sont fixées à un support métallique lesté d'un bloc de plomb. Des bouteilles de verre clair sont utilisées. Après le prélèvement, le dessous du bouchon est couvert d'un papier d'aluminium afin d'éviter l'adsorption des pesticides sur le plastique du bouchon. Pour le glyphosate, les échantillons sont prélevés dans des bouteilles de plastique. Les échantillons sont conservés au frais dans des glacières jusqu'à leur arrivée au laboratoire du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ).

Les observateurs des stations du réseau de base reçoivent la visite de la technicienne de notre direction au début de la saison d'échantillonnage et au cours d'été pour s'assurer du bon déroulement de l'échantillonnage et pour effectuer un échantillon de contrôle de qualité. Les observateurs des stations du Réseau-rivières sont visités une seule fois au début de la campagne d'échantillonnage.

Méthodes d'analyse des pesticides et limites de détection

OPS+ (MA. 400 – PEST 1.0 à partir de l'année 2012)

Les pesticides sont extraits de l'échantillon avec du dichlorométhane. L'extrait est réduit à un petit volume et est ensuite concentré sous jet d'argon. Les pesticides sont séparés sur une colonne de chromatographie en phase gazeuse et détectés par spectrométrie de masse. Les concentrations de pesticides contenues dans l'échantillon sont calculées en comparant les surfaces des pics des produits de l'échantillon à celles de solutions étalons de concentrations connues. Un contrôle de qualité de la méthode est effectué sur chaque échantillon à l'aide d'étalons d'extraction (malathion-D10 et atrazine-D5) et d'étalons d'injection (trifluraline-D14 et chlorpyrifos-D10).

Phénoxyacides ou aryloxyacides (PESARY) (MA. 400-P.Chlp 1.0)

L'échantillon est acidifié à l'aide de H₂SO₄ (5 ml de H₂SO₄ 10N par litre d'eau), pour obtenir un pH < 2 afin de favoriser la forme non ionisée des acides. Les aryloxyacides sont extraits sur une cartouche de type octadécyle (C-18) et sont élués à l'aide d'un mélange de dichlorométhane et de méthanol. L'éluat recueilli est évaporé presque à sec sous atmosphère d'argon et estérifié avec une solution de diazométhane.

Les pesticides dérivés sont ensuite purifiés sur une colonne de gel de silice et transférés dans l'acétate d'éthyle. Ils sont analysés par chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse en mode balayage d'ions. Le temps de rétention ainsi qu'un groupe d'ions caractéristiques permettent l'identification de chacun des composés présents. Les concentrations de pesticides contenues dans l'échantillon sont calculées en comparant les surfaces des pics des produits de l'échantillon à celles de solutions étalons de concentrations connues. Un contrôle de qualité est effectué sur chaque échantillon à l'aide de marqueurs isotopiques (dicamba-D3 et 2,4-D-D3) utilisés comme étalons d'extraction, de deux étalons d'injection (1,3,5-tribromobenzène et 2,3,3',4,6-pentachlorobiphényle) et d'un étalon de dérivation (2,3-D).

Glyphosate et AMPA (MA. 400 – Glyphosate)

Un volume de 80 ml de l'échantillon est acidifié à pH 1. Après 15 minutes, l'échantillon est neutralisé et mélangé avec le Fmoc-Cl et un tampon de borate. Après une heure, on élimine le surplus de Fmoc par extraction avec le dichlorométhane. L'échantillon est ensuite passé sur une cartouche SPE Oasis HLB, puis élué avec du méthanol basique. Finalement, on injecte l'éluant dans un chromatographe en phase liquide couplé à un spectromètre de masse en tandem (MS-MS).

Les concentrations de glyphosate, d'AMPA et de glufosinate contenues dans l'échantillon sont calculées à l'aide d'une courbe d'étalonnage linéaire obtenue à partir de solutions extraites.

Pesticides émergents (MA. 403 – Pest_émergents)

On effectue une extraction liquide-solide sur l'échantillon à l'aide d'un système d'extraction en ligne avec une cartouche de type HLB. La séparation chromatographique est réalisée sur une colonne de type C-18. Le système de chromatographie liquide est couplé avec un spectromètre de masse en tandem (LC-MS/MS). La concentration des produits trouvés dans l'échantillon est calculée en comparant la surface du pic de l'échantillon aux pics obtenus à l'aide de solutions étalons. Le clothianidine-D3, l'imidaclopride-D4, le pyrimethanil-D5 et le nicosulfuron-D6 sont utilisés comme étalon d'extraction et l'atrazine-D5 comme étalon d'injection.

Imidaclopride et ses produits de dégradation (MA. 403 – IMIDA 1.1)

On effectue une extraction liquide-solide sur l'échantillon à l'aide d'un système d'extraction en ligne avec une cartouche de type HLB. La séparation chromatographique est réalisée sur une colonne de type C-18. Le système de chromatographie liquide est couplé avec un spectromètre de masse en tandem (LC-MS/MS). La concentration des produits trouvés dans l'échantillon est calculée en comparant la surface du pic de l'échantillon aux pics obtenus à l'aide de solutions étalons. L'atrazine-D5 est utilisé comme étalon d'injection et le clothianidin-D3 et l'imidacloprid-D4 comme étalons d'extraction.

Flumetsulame, rimsulfuron, imazéthapyr et nicosulfuron (MA. 403 – FRIN 1.2)

Les échantillons contenant les pesticides sont injectés directement sur une colonne C-18 et sont analysés par chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem (MS-MS). La concentration des produits trouvés dans l'échantillon est calculée en comparant la surface du pic de l'échantillon aux pics obtenus à l'aide de solutions étalons. L'atrazine-D5 est utilisé comme étalon d'extraction et le terbutryn comme étalon d'injection.

Hexazinone

L'échantillon est extrait par passage à travers une cartouche de type C-18. Les composés d'intérêts sont élués avec du méthanol. L'éluat recueilli est évaporé à sec, dissous à nouveau dans l'acétate d'éthyle et jaugé. L'échantillon est injecté dans un chromatographe à phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse (GC-MS). Les concentrations des produits trouvées dans l'échantillon sont calculées en comparant les surfaces des pics de l'échantillon aux surfaces des pics obtenues à l'aide de solutions étalons de concentrations connues. L'atrazine-D5 est utilisé comme étalon d'extraction et le 3,3',5,5'-tetrabromobiphényle comme étalon d'injection. La limite de détection de la méthode d'analyse est de 0,01 µg/l pour l'hexazinone, et de 0,05 µg/l, 0,03 µg/l et 0,01 µg/l respectivement pour les métabolites A, B et D de l'hexazinone.

Contrôles de qualité en laboratoire

Dans chaque série d'analyses, un blanc de méthode et un matériau de référence sont systématiquement analysés. Chaque certificat d'analyse reçu porte une mention relativement au pourcentage de recouvrement (ou de récupération) des substances étalons utilisées au moment de l'analyse. Cela permet de vérifier l'efficacité de l'analyse. Lorsque le pourcentage de recouvrement n'est pas satisfaisant, le certificat porte une mention spéciale indiquant ce faible recouvrement. Ces échantillons représentent habituellement moins de 5 % des résultats.

Contrôles de qualité terrain

Pour les stations du réseau de base, 16 blancs de terrain ont été effectués chaque année pour un total de 48 blancs pour l'ensemble de la période 2015-2017 (4 rivières x 4 analyses x 3 années). Pour chacune des rivières, tous les paramètres ont été analysés dans les blancs. Ces blancs de terrain permettent de voir si un polluant est introduit dans la procédure d'une autre façon que par l'eau (p. ex., présence dans l'air lors de l'échantillonnage ou du transport). Le glyphosate a été détecté en faible concentration (0,08 µg/l) dans un blanc (prélèvement du 15 juillet 2015 dans la rivière Chibouet). Pour le moment, on ignore ce qui a pu causer ce problème. Tous les autres blancs ne montrent aucune trace des produits analysés.

Annexe 3 Analyse statistique des tendances temporelles

Les statistiques descriptives par rivière (nombre d'observations, pourcentage de détection, concentrations moyenne, médiane et maximale) des pesticides détectés ont été calculées. Dans ces calculs, les résultats « traces » ont été remplacés par la valeur qui correspond à la moitié du seuil de détection et les valeurs « non détectées » ont été remplacées par zéro.

Une analyse de covariance (ANCOVA) à l'aide de la procédure MIXED de la version 9.4 du logiciel SAS et du module SAS/STAT (version 13.2 pour Windows) (SAS Institute Inc., 2014) a été utilisée pour vérifier les tendances temporelles pour les pesticides détectés dans plus de 50 % des échantillons. L'analyse a été appliquée à l'ensemble de la période de 1992 à 2017 (25 ans), ainsi qu'à la période de 2007 à 2017 (10 ans) pour quelques-uns de ces produits.

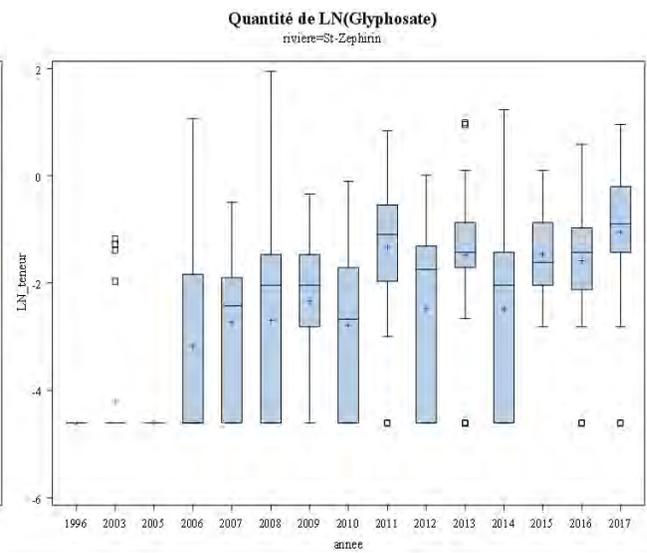
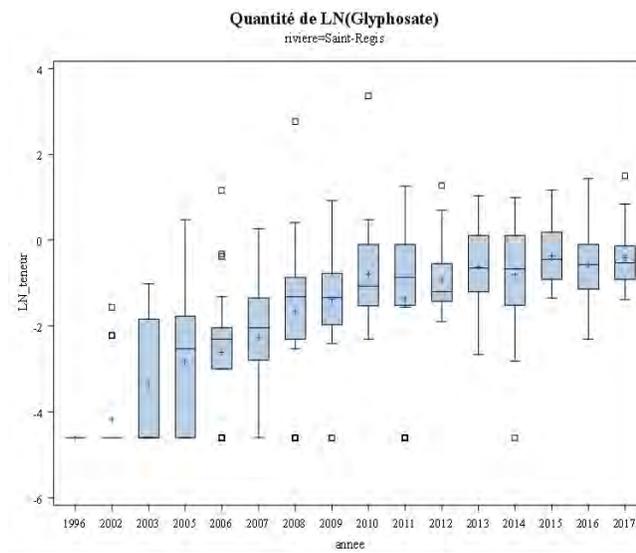
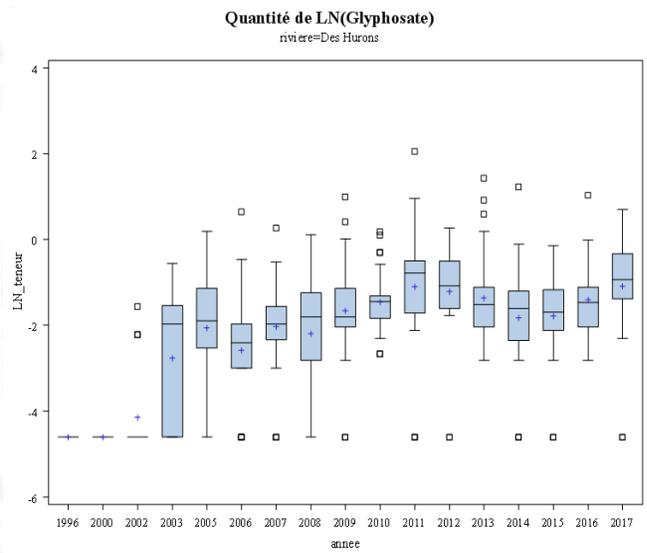
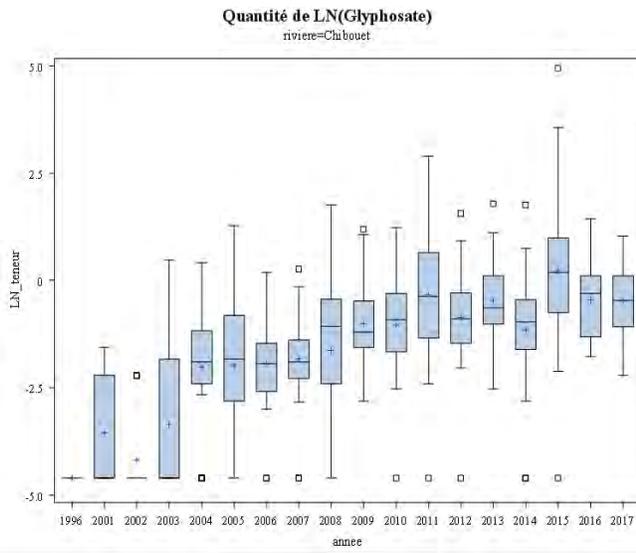
La procédure MIXED de SAS permet de tenir compte à la fois des effets fixes, des effets aléatoires et des mesures répétées. Cette procédure est une généralisation de la procédure GLM, qui traite uniquement les modèles linéaires à effets fixes. La procédure MIXED est plus souple, car elle permet de modéliser les effets aléatoires selon diverses structures prédéterminées de covariance entre les données. Elle est particulièrement intéressante dans le cas présent, puisqu'elle permet de tenir compte d'une corrélation qui diminue dans le temps. En effet, les mesures de pesticides risquent plus d'être corrélées si elles sont rapprochées dans le temps que si elles sont éloignées. La procédure permet aussi de faire des analyses avec un pas d'échantillonnage qui varie dans le temps. L'ANCOVA effectuée à l'aide de cette procédure permet de tenir compte de cet effet dans l'estimation des différences entre les rivières. En outre, la procédure MIXED offre la possibilité de traiter un ensemble de données qui

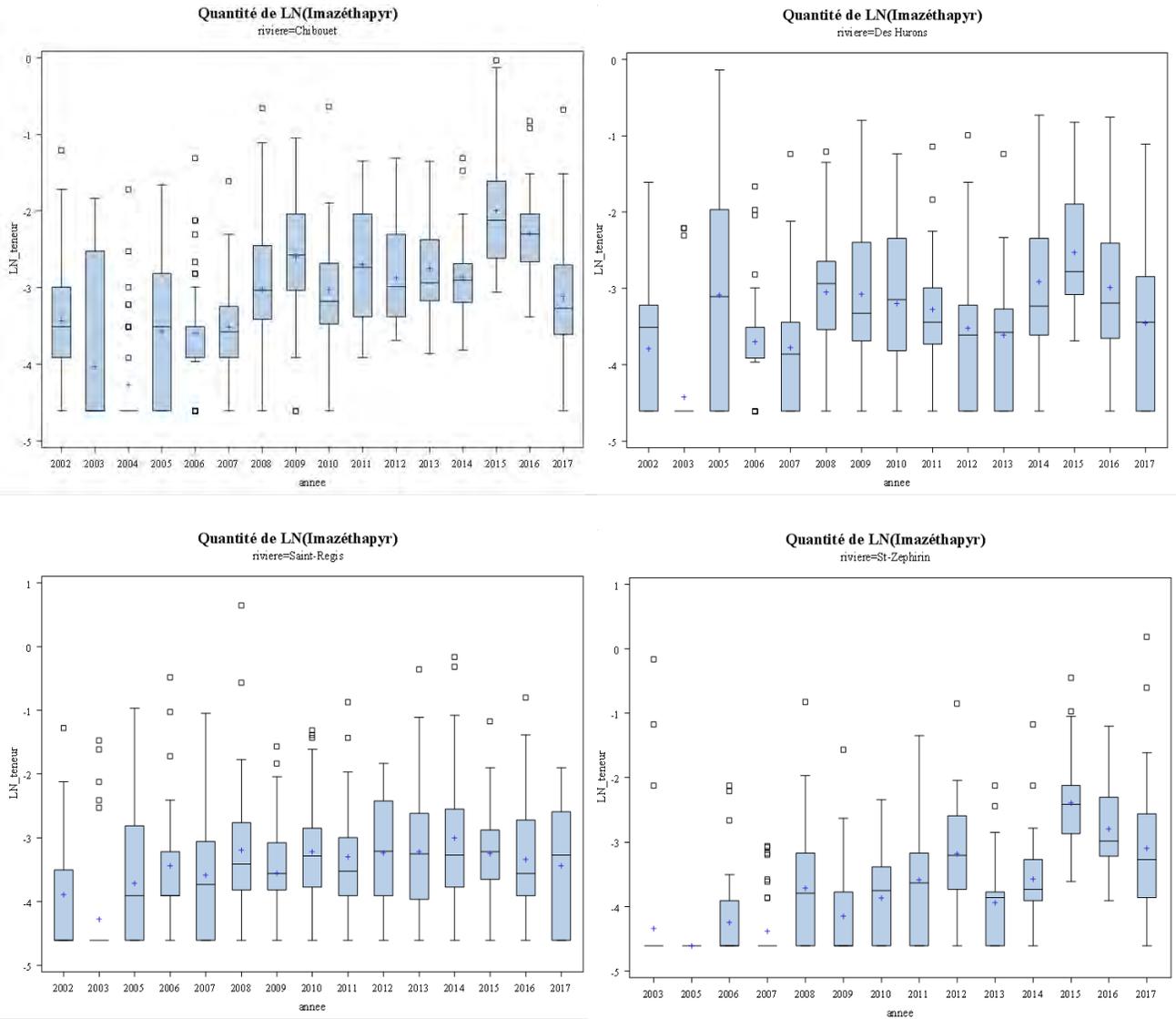
comporte des valeurs manquantes. Il s'agit d'un avantage important dans la présente étude, puisque les dates d'échantillonnage ne sont pas les mêmes pour toutes les rivières et les années.

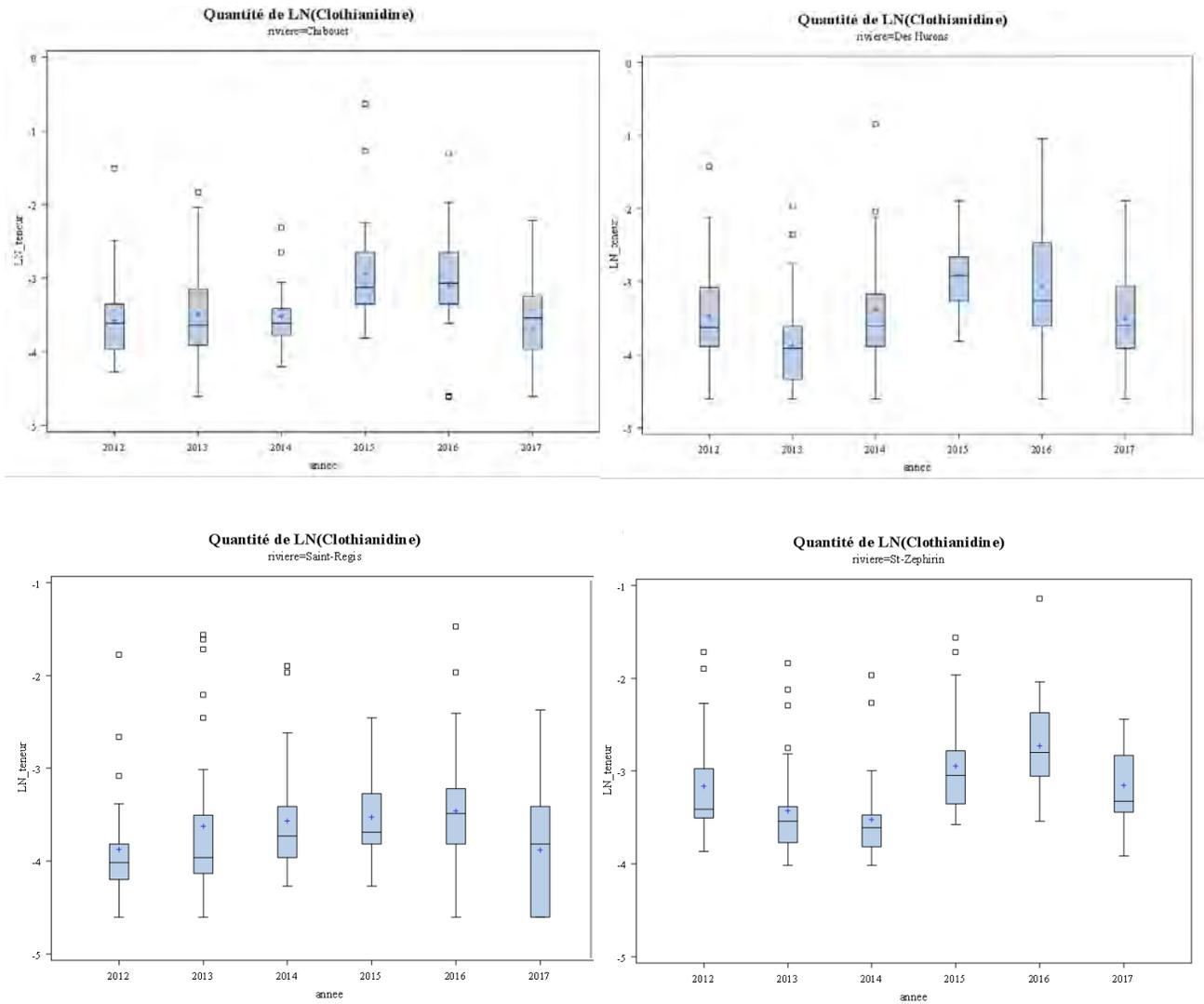
L'analyse statistique a été effectuée sur les données brutes ayant subi une transformation mathématique, soit le logarithme népérien, afin d'obtenir la normalité de la distribution des résidus. Une analyse a aussi été réalisée sur les médianes.

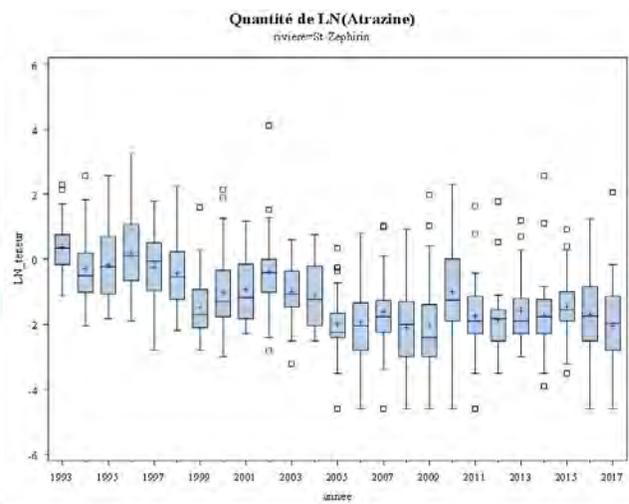
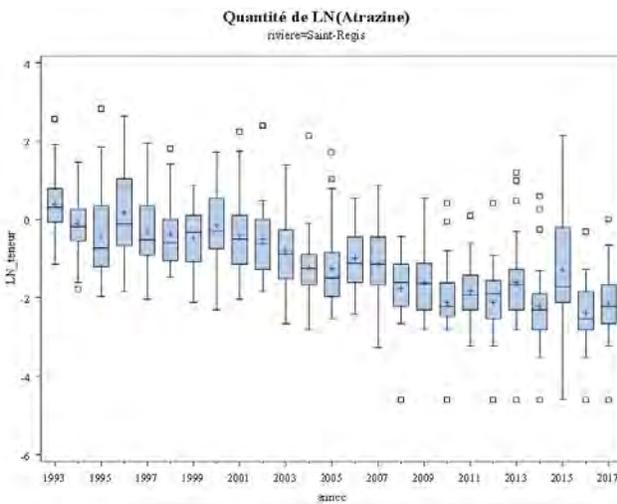
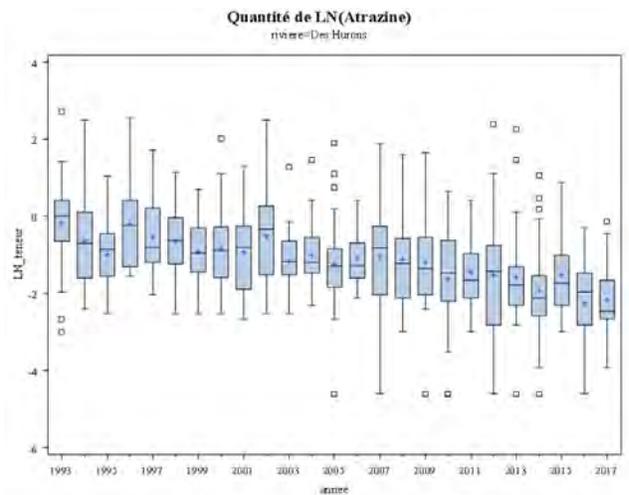
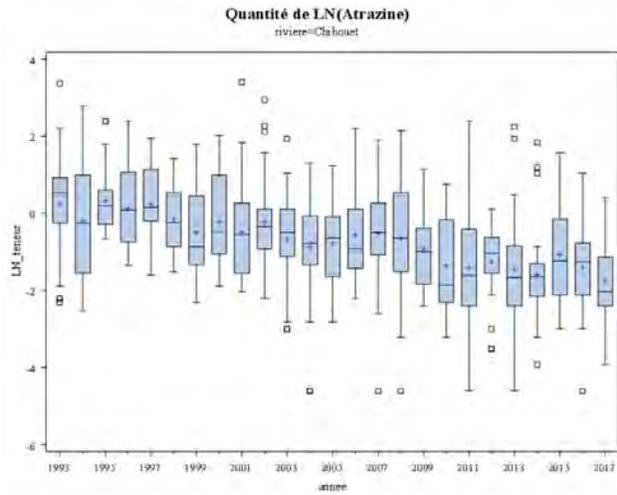
Les variables de la base de données sont les rivières (facteur fixe à quatre modalités) et l'année d'échantillonnage (facteur qui peut varier selon le paramètre considéré). Les dates d'échantillonnage ont été transformées en jours juliens (rangs 1 à 365 dans l'année). Le jour julien a servi également de variable de classification des mesures répétitives. Les données de l'étude correspondent à un plan d'échantillonnage avec mesures répétitives, puisque des mesures consécutives ont été effectuées sur des unités expérimentales que constituent les quatre rivières à l'étude. À l'intérieur de chaque unité expérimentale, nous trouvons les divers niveaux du facteur « année ». La période de suivi est généralement la même pour les quatre stations.

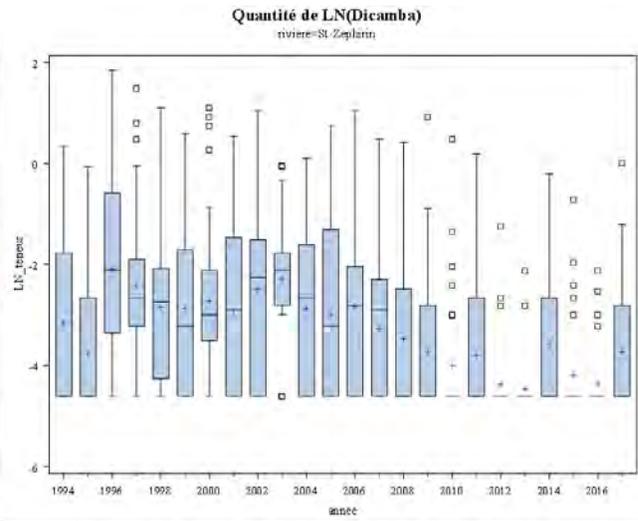
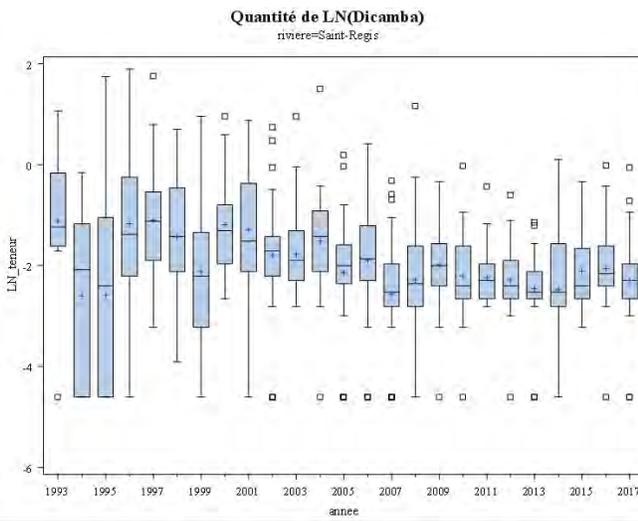
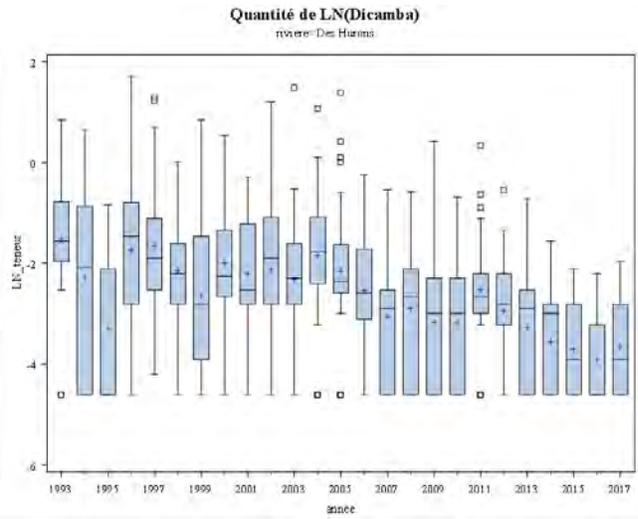
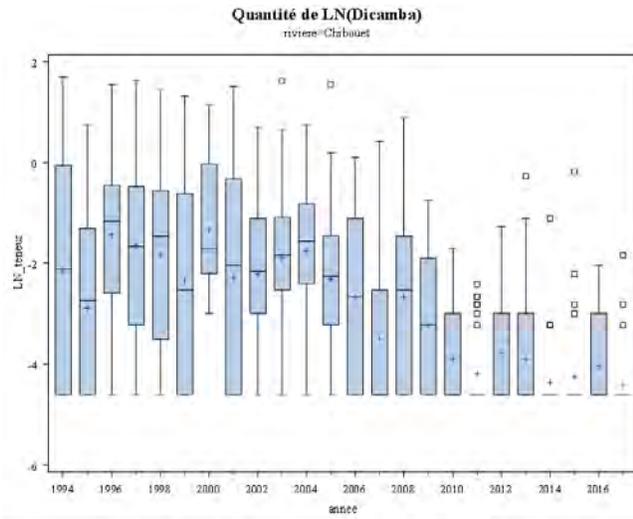
L'annexe présente les graphiques de distribution des données pour chaque produit pour la période 1992-2017. Dans ces graphiques, notons que lorsque plusieurs valeurs de la série de données sont égales à zéro, le quartile 25 est très rapproché de zéro, de sorte que l'emplacement du minimum et celui du quartile 25 sont indistincts sur le graphique. En fait, quand la fréquence de détection est de moins de 25 %, le minimum, le 25^e centile, la médiane ainsi que le 75^e centile sont alors tous les quatre sous la limite de détection, ce qui explique la présence de diagramme en boîte déformée.

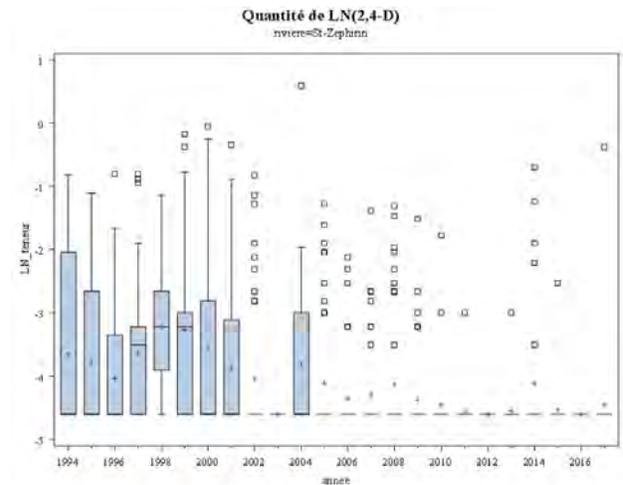
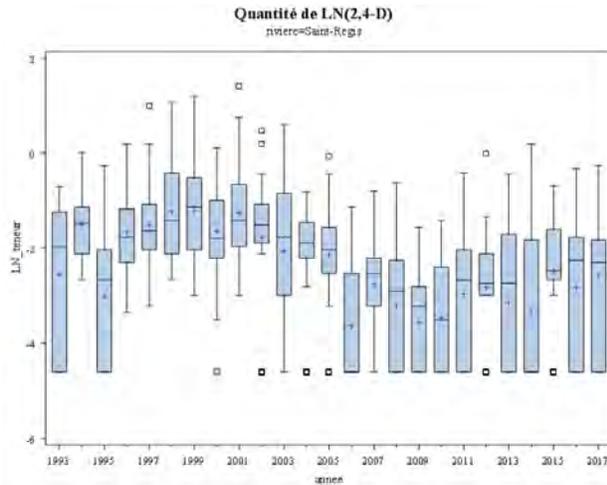
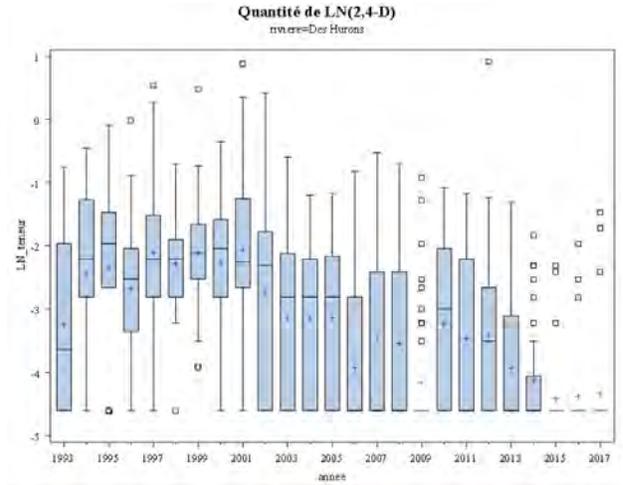
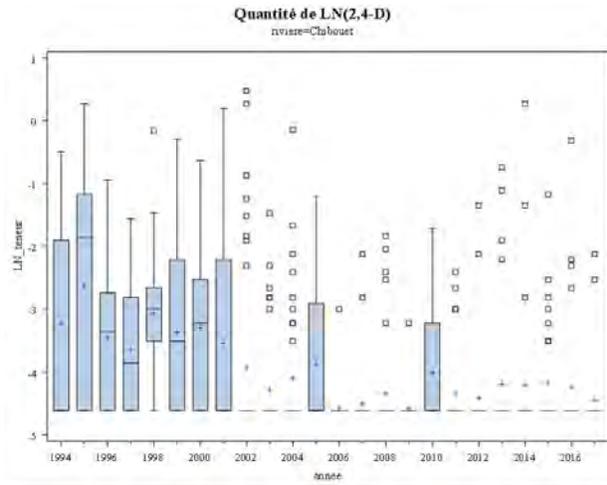


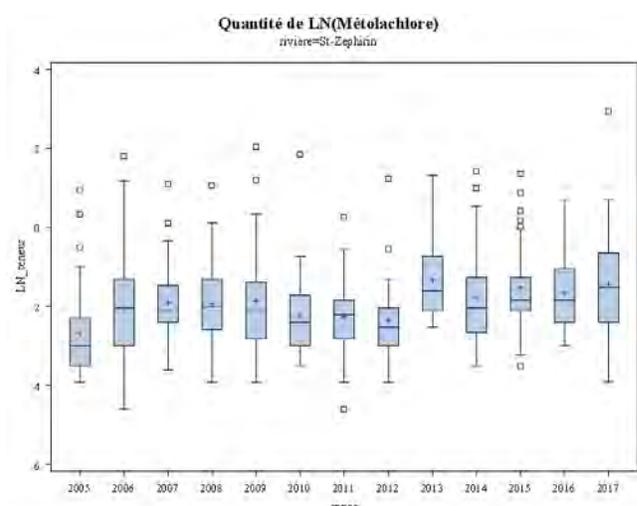
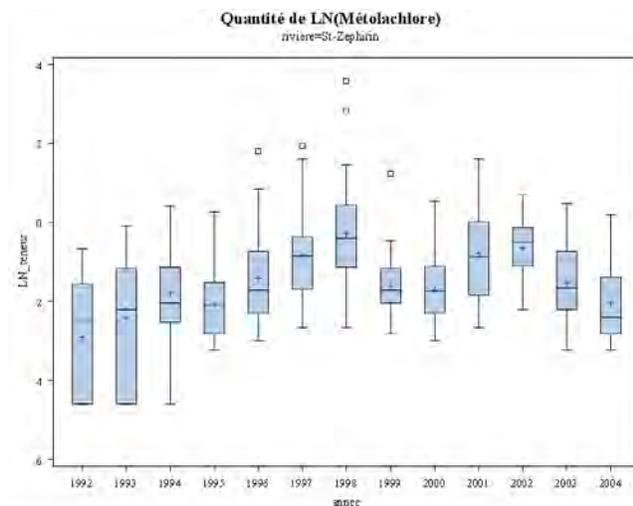
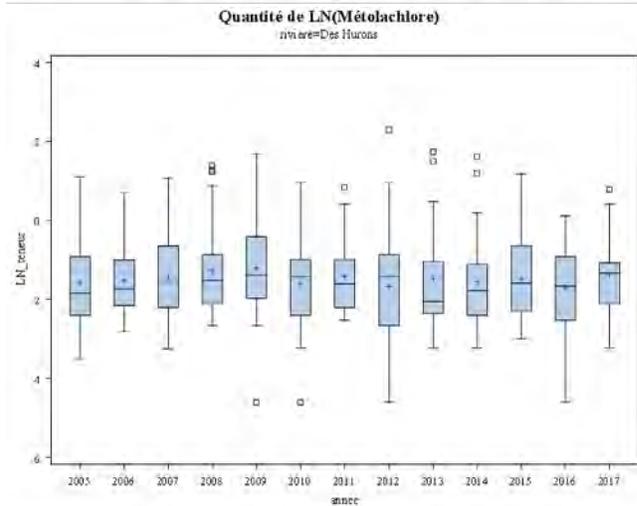
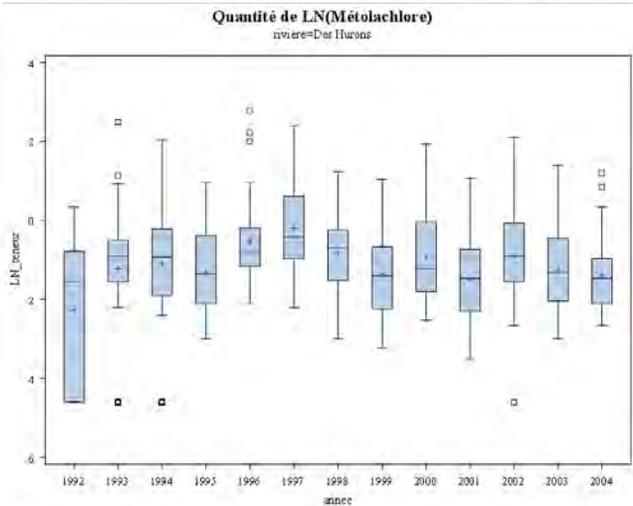
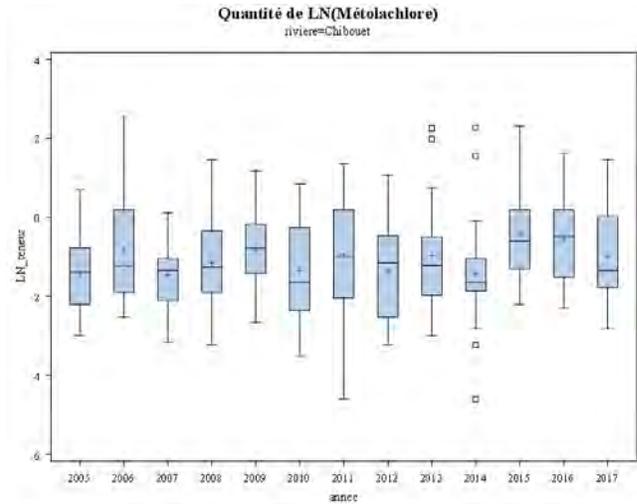
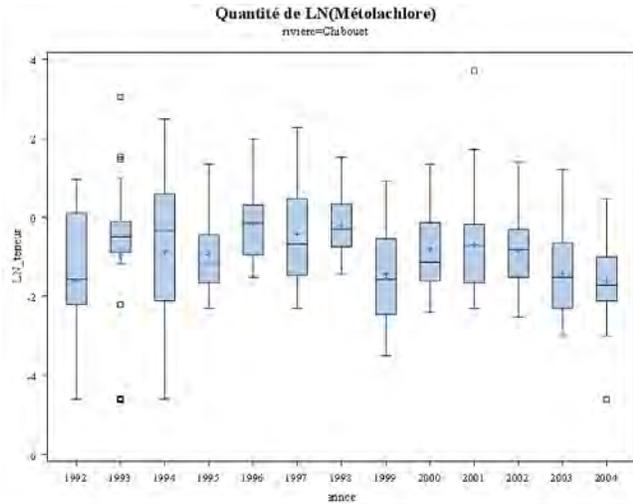


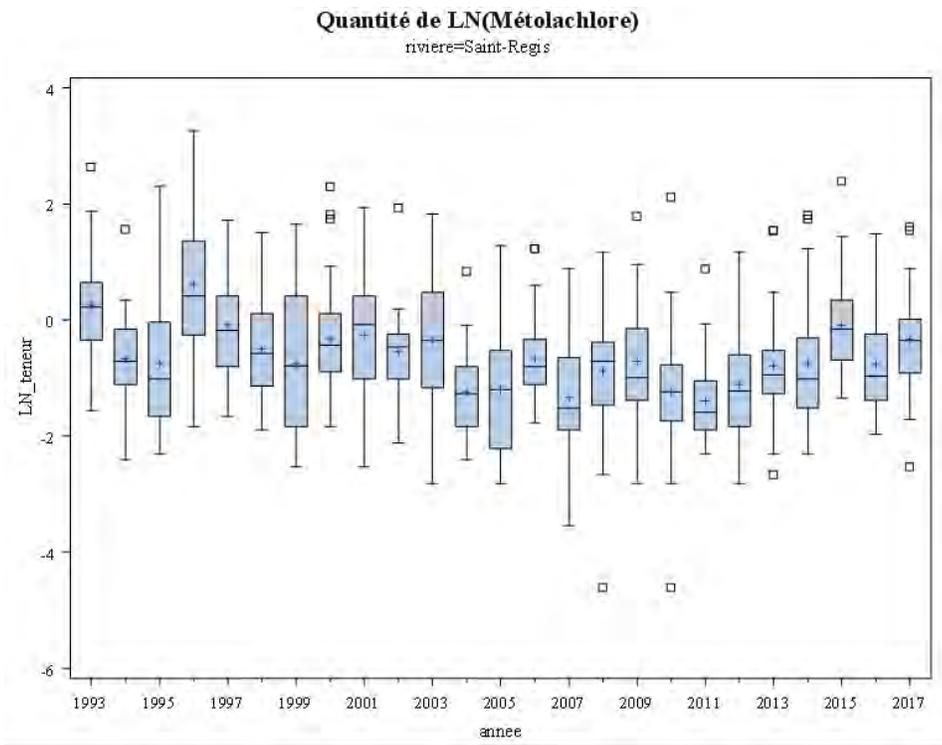


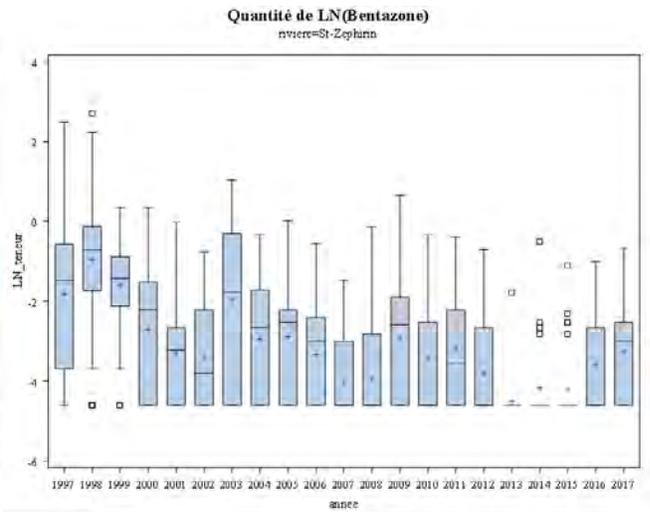
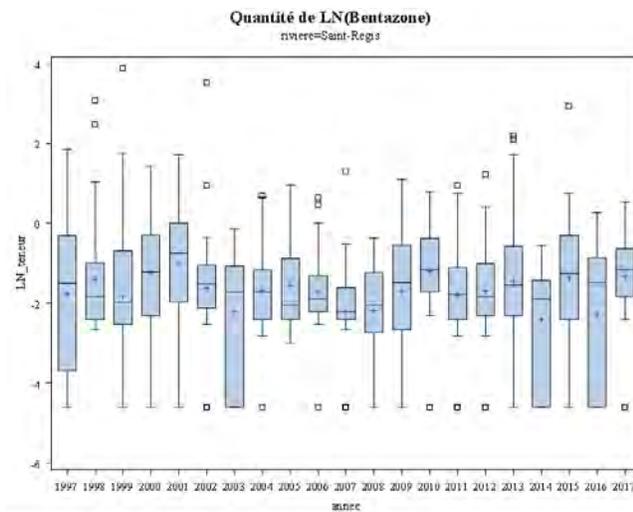
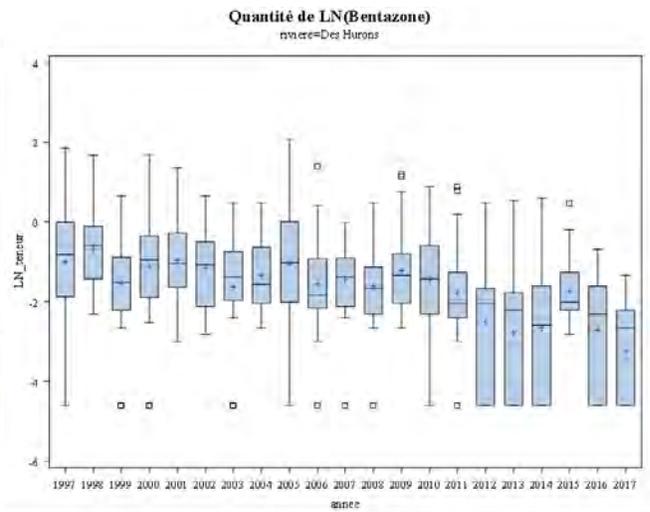
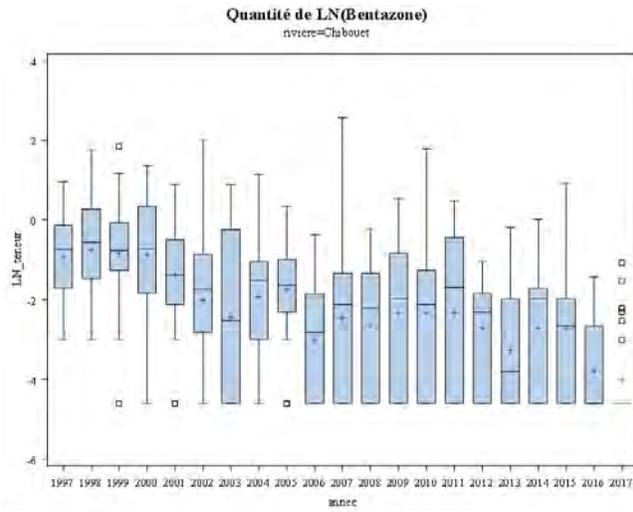


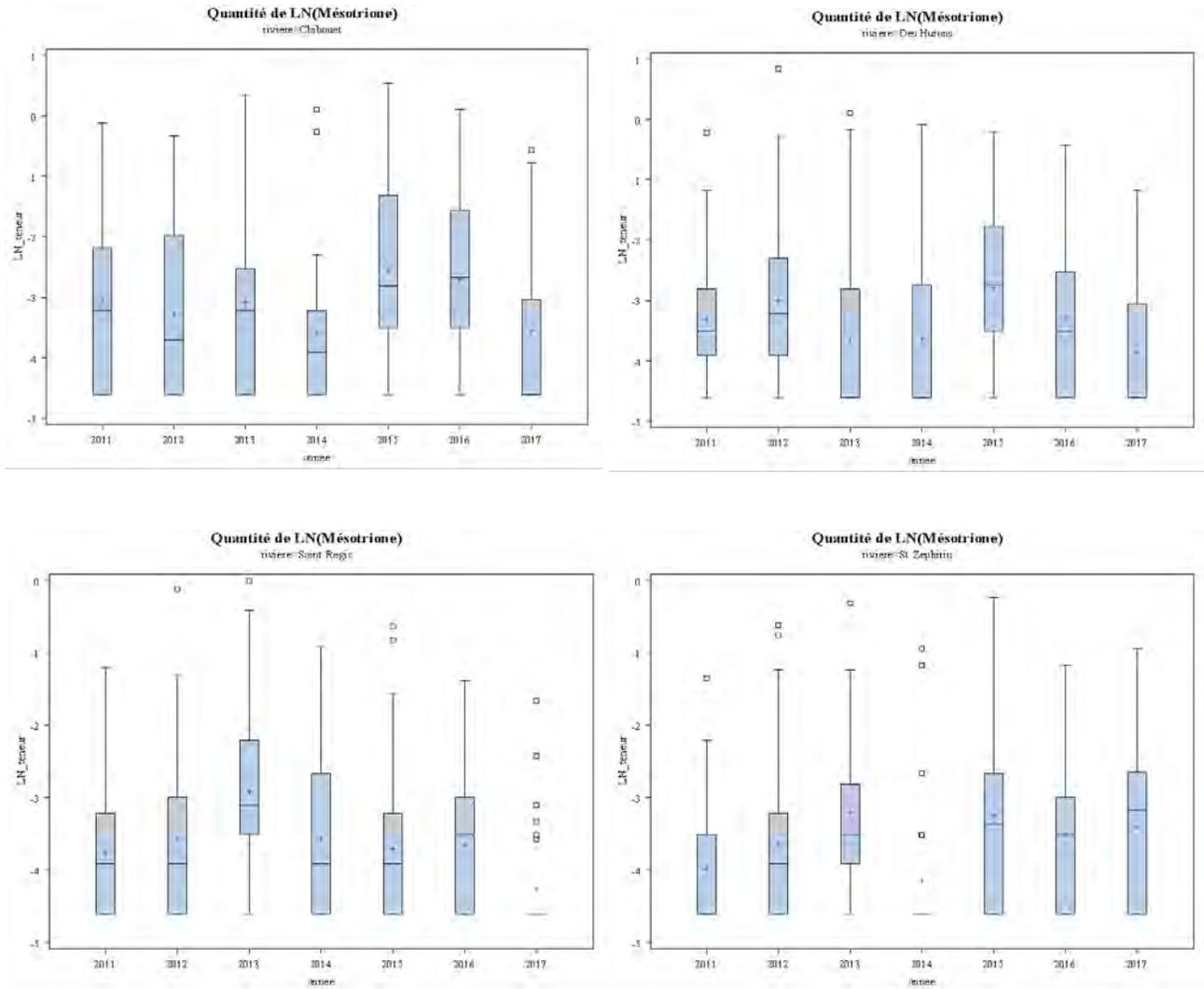












Annexe 4 Sommaire climatologique

Écart par rapport à la normale mensuelle des précipitations

Globalement, l'examen des données des mois considérés pour l'échantillonnage montre parfois des précipitations supérieures à la normale et parfois des valeurs inférieures. Quelques constats généraux peuvent ressortir de l'examen des données de précipitations.

En 2015, les précipitations du mois de mai se sont concentrées surtout vers la fin du mois, ce qui a pu causer plus de transport de pesticides vers les cours d'eau, alors qu'en 2016 et 2017 le mois de mai a été plus sec, en particulier vers la dernière partie du mois, c'est-à-dire au début de la période d'échantillonnage.

Le mois de juin de chacune des trois années a reçu un peu plus de pluie que la normale pour les bassins des rivières Saint-Zéphirin, Chibouet et Saint-Régis.

Le mois de juillet a été un peu plus sec que la normale en 2017 dans les bassins versants des rivières Chibouet, des Hurons et Saint-Régis.

Synchronisme de l'échantillonnage et des événements de pluie

Les échantillons d'eau sont prélevés de la mi-mai à la fin août. Puisque les pesticides sont habituellement transportés dans les cours d'eau lors des fortes pluies qui surviennent durant cette période, le tableau qui suit indique, pour chacune des rivières, la proportion des échantillons qu'on estime avoir été prélevée sous l'influence des précipitations et celle prélevée en temps sec. Les échantillons considérés comme représentatifs d'un temps de pluie sont ceux pour lesquels il y a eu une précipitation de plus de 5 mm la journée même du prélèvement, ou encore le lendemain de précipitations de plus de 10 mm, ou lorsque le prélèvement est fait après plusieurs journées consécutives de pluie.

D'une manière générale, en 2015, les prélèvements étaient répartis à peu près également entre les périodes de temps sec et de temps de pluie (55 %/45 %). En 2016 et surtout en 2017, par contre, les prélèvements ont principalement été réalisés par temps sec (75 %/25 %). Cette situation pourrait amener à sous-estimer les concentrations présentes en rivière en 2016 et 2017.

Écart des précipitations totales mensuelles par rapport à la normale pour les mois échantillonnés

Année	Mai		Juin		Juillet		Août	
	Total mm	% Normale %						
Rivière Chibouet - Station météorologiques Saint-Simon								
Normale		70,9		76,6		100,1		93,3
2015	116,2	164 +	118,2	154,3 +	89,3	89 -	105,3	112,9 +
2016	49,4	69,7 =	100,9	131,7 +	110,2	110 +	174	186,5 +
2017	63,9	90,1 -	88,8	115,9 +	67	66,9 -	77,5	83,1 -
Rivière Des Hurons - Station météorologique Marieville								
Normale		94,4		101,3		121,2		99,5
2015	93,5	99 =	104	103 =	149	123 +	102,8	105 =
2016	47	50 -	64,7	63,9 -	107,2	88,4 -	172,5	174,7 +
2017	83,5	88,4 -	124	122,4 +	106	87,4 -	83,5	83,9 -
Rivière Saint-Régis - Station météorologique Laprairie								
Normale		83,2		96,9		90,6		87,8
2015	67,8	82 -	124	128 +	176	194,2 +	73,8	84 -
2016	56,6	67 -	100,4	103,6 =	86,3	95,2 =	148,1	169 +
2017	86,7	119,1 +	124,3	128 +	68,4	75,5 -	131,4	149,6 +
Rivière Saint-Zéphirin - Station météorologique Zéphirin								
Normale		72,8		70,9		105,2		88,8
2015	90,2	124 +	138,4	195 +	55,4	53 -	84,5	95 =
2016	68,2	93,7 -	95,3	134,4 +	138,5	131,6 +	165	186 +
2017	103	141,5 +	98,6	139,1 +	101,7	96,7 =	64	72,1 -

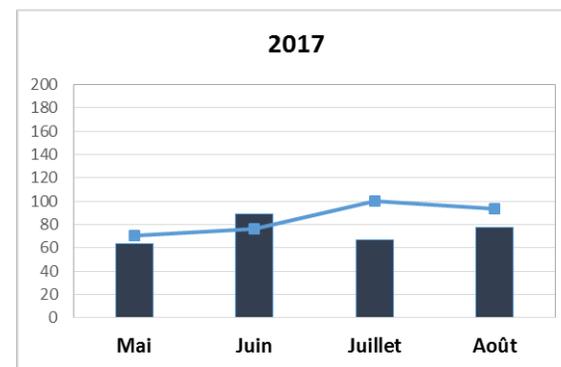
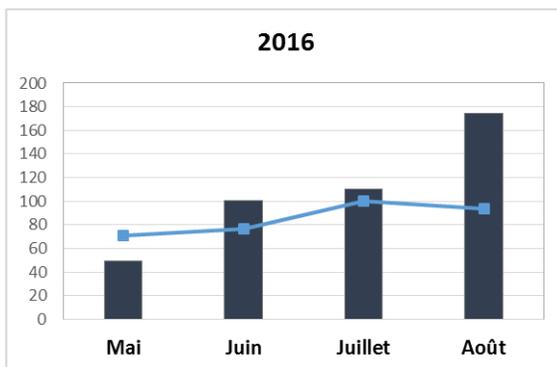
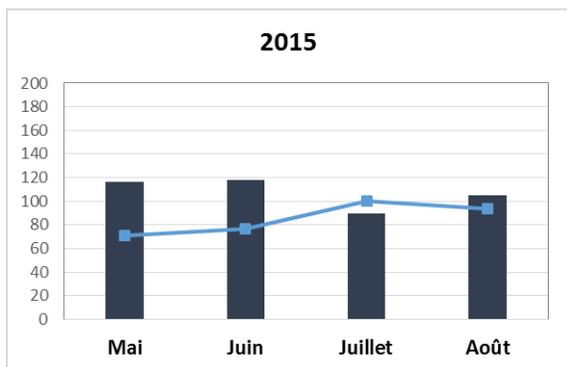
Source : Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (2017).
« Données du Programme de surveillance du climat », Direction du suivi de l'état de l'environnement.

Proportion des échantillons prélevés en temps de pluie et en temps sec

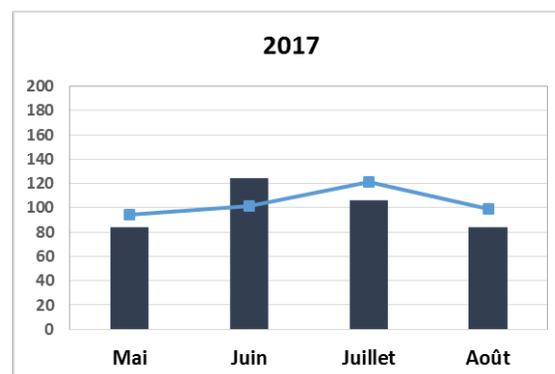
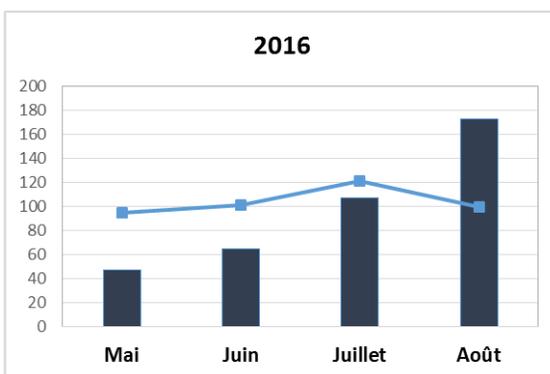
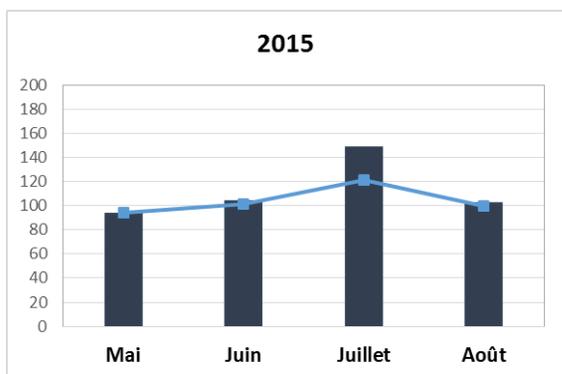
Année	Nombre de prélèvements	Temps de pluie		Temps sec	
		Nombre	%	Nombre	%
Rivière Chibouet - Station météorologiques Saint-Simon					
2015	29	13	44,8	16	55,2
2016	30	10	33,3	20	66,7
2017	29	7	24,1	22	75,9
Rivière Des Hurons - Station météorologique Marieville					
2015	30	16	53,3	14	46,7
2016	29	10	34,5	19	65,5
2017	30	8	26,7	22	73,3
Rivière Saint-Régis - Station météorologique Laprairie					
2015	30	14	46,7	16	53,3
2016	30	9	30	21	70
2017	29	10	34,5	19	65,5
Rivière Saint-Zéphirin - Station météorologique Zéphirin					
2015	30	13	43,3	17	56,7
2016	30	11	36,7	19	63,3
2017	29	7	24,1	22	75,9

Précipitations totales mensuelles et écart à la normale

Rivière Chibouet – Station météorologique Saint-Simon

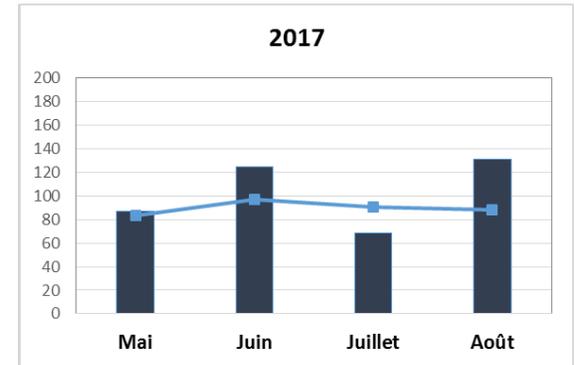
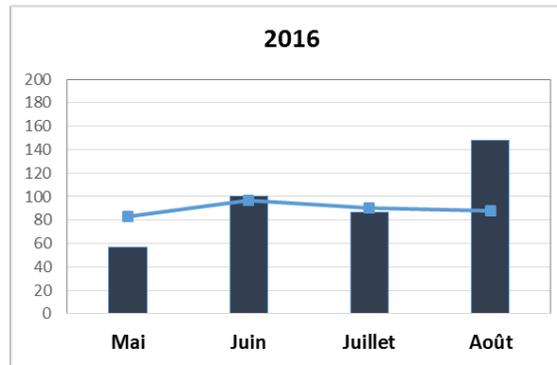
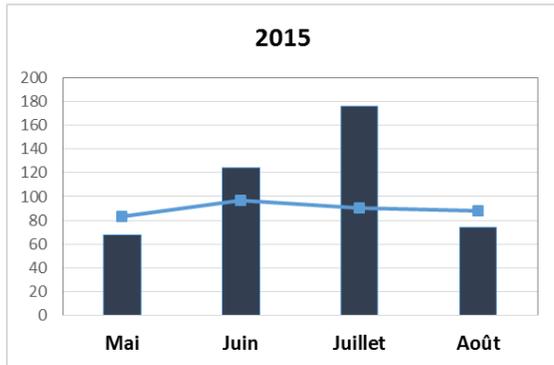


Rivière des Hurons – Station météorologique Marieville

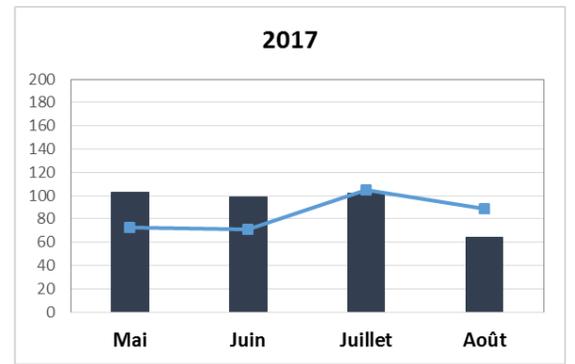
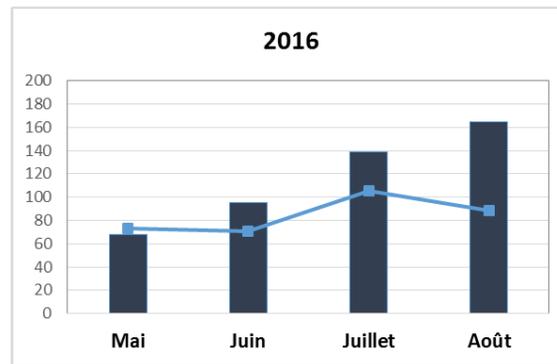
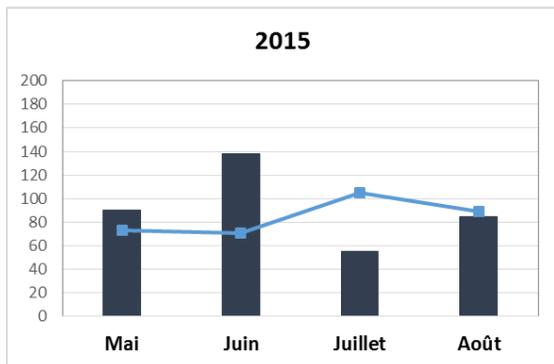


Précipitations totales mensuelles et écart à la normale (suite)

Rivière Saint-Régis – Station météorologique Laprairie



Rivière Saint-Zéphirin – Station météorologique Zéphirin



Annexe 5 Proportion des superficies en culture dans les bassins versants des 15 rivières échantillonnées

Rivières	Superficie bassin (km ²)	Total en cultures	Foin	Maïs	Soya	Canola	Protéagineuse	Céréales	Cultures maraîchères	Pomme de terre	Canneberge	Bleuet	Vergers et petits fruits	Autres cultures	Pas d'information
Du Chêne	798,9	21,08	4,07	3,88	5,67	-	0,02	2,18	0,02	-	0,48	-	-	0,57	4,52
Chaudière	6697,09	12,22	3,37	1,29	1,25	0,02	-	0,87	-	0,01	-	-	0,01	0,26	5,25
Beaurivage	720,22	26	5,49	5,01	4,89	-	0,03	2,5	0,02	0,02	-	-	0,05	0,23	7,75
Etchemin	1466,71	20,44	4,66	2,9	3,74	0,16	0,03	2,78	0,11	-	-	-	0,01	0,68	5,84
Le Bras	228,17	50,76	10,59	9,59	12,54	0,65	0,13	6,4	0,15	-	-	-	-	0,35	10,35
Boyer	218,91	54,05	13,74	9,25	14,16	0,14	-	7,99	0,04	0,34	-	-	0,1	0,8	7,49
Du Sud	1926,47	10,8	2,95	1,03	1,96	0,03	-	1,25	-	-	-	-	-	0,12	3,46
Mistassini	21090	0,59	0,07	-	-	-	-	0,03	-	0,01	-	0,37	-	0,01	0,1
Moreau	127,08	27,43	11,71	0,87	0,28	0,62	0,15	6,78	-	1,32	0,02	1,24	-	1,94	2,49
Mistouk	224,2	30,55	4,48	0,07	0,22	1,33	0,67	5,12	-	-	-	13,89	-	1,39	3,5
A l'Ours	86,31	21,09	0,03	-	0,22	0,11	-	7,12	-	6,71	-	3,93	-	1,49	1,48
Ticouapé	661	37,71	14,54	0,36	0,39	1,42	0,4	9,42	-	0,13	-	5,49	-	2,39	3,18
Ruis. Puant	38,8	47,34	13,97	5,2	8,21	0,64	1,97	11,94	2,37	-	-	-	-	0,75	2,29
Richelieu	3901,91	44,22	3,05	18,59	13,75	-	0,03	1,73	0,75	0,08	-	-	0,03	0,91	5,3
Yamaska	4786,47	41,71	3,26	18,81	10,28	0,01	0,06	2,36	0,57	0,08	-	-	0,06	0,73	5,52

Annexe 6 Caractéristiques des puits échantillonnés

Région	Année	Date	No. BQMA	No. Éch	Municipalité	Type de puits	Caractéristiques générales du puits				Caractéristiques des champs au voisinage du puits						
							Utilisation de l'eau				Profondeur (m)	Distance puits-champs (m)	Superficie traitée (ha)	Type de sol	pH du sol	M.O. du sol (%)	Pente
							Consommation humaine	Abreuvement animaux	Préparation mélanges pesticides	Autres							
CA	2015	14 sept.	2600004	M1	L'Islet	tubulaire	X	X	X		32	62	55	loam argileux	5,5-6,5	7-12	plat
CA	2015	23 sept.	2570003	M5	Ste-Croix	tubulaire	X	X	X		76-91	20	40	loam sablonneux	6,3-6,8	3,5-3,9	plat
CA	2015	23 sept.	2340278	M3	Saint-Joseph-de-Beauce	tubulaire	X	X			76	10	25	-	5,3	7,5	plat
CA	2015	23 sept.	2340279	M4	St-Bernard	tubulaire		X			79	15	31	sablonneux	6,5	3,5	plat
CA	2015	14 sept.	2300052	M2	Honfleur	tubulaire	-	-	-	-	-	0	105	rocheux, glaise, terre noire	6,5	5-6 et plus	plat
CA	2016	4 oct.	2330074	S3	St-Lambert-de-Lauzon	tubulaire		X			32	1	53,2	sablonneux	-	-	plat
CA	2016	4 oct.	2330075	S2	Lévis	tubulaire	X				10	36	-	-	-	-	plat
CA	2016	4 oct.	2330076	S4	St-Anselme	tubulaire	X	X	X		100	160	31,5	sable et glaise	6-7	4-5	puits en haut des champs, pente 4%
CA	2016	4 oct.	2590003	S6	Saint-Vallier	tubulaire	X				24,4	2	123	loam schilteux	6,4	-	puits bord du champ pente 1% opposée
CA	2016	4 oct.	2330073	S5	St-Henri	citene	X	X	X		12	23	485	argile	6,4-6,5	-	plat
CA	2016	3 oct.	2360034	S1	Val-Alain	citene	X				9	80	22	-	-	-	faible pente vers le puits
CN	2016	26 oct.	5040221	S21	Saint-Thurbe	tubulaire	X	X			45	80	296	argileux	6,2	2-5	pente 4%
CN	2017	14 fév.	5070028	S22	Cap-Santé	tubulaire	X		X		20	35	121	sablonneux et argile	6,5-7	3	plat
CN	2017	14 fév.	5080174	S23	Cap-Santé	citene	X				3	100	324	loam argileux	6,6-6,7	4,5	pente 5% vers le puits
CN	2017	14 fév.	5080175	S24	Cap-Santé	tubulaire	X			X	27	50	90	sableux	5,8-6	-	plat
CN	2017	14 fév.	5040242	S27	Saint-Raymond	tubulaire		X	X		27	80	235	loam sablonneux	6,6-6,7	7-8	plat
CN	2017	14 fév.	5040243	S26	Saint-Raymond	citene	X				8,5	80	-	sablonneux	6,5	-	plat
CN	2017	14 fév.	5050003	S25	Saint-Gilbert	tubulaire	X				21	30	-	argileux	-	-	plat
CQ	2015	30 sept.	3010148	M8	Saint-Samuel	tubulaire	X	X	X		15,5	48	81	loam limoneux et sableux	6-7	-	plat
CQ	2015	15 oct.	3010149	M10	Warwick	tubulaire	X				61	22	12 et +	loam sableux	6	5,7	pente vers le puits 14%
CQ	2015	2 nov.	RSES: 02000006	idem	Bécancour	tubulaire			X		35,7	118	-	shale calcaireux fracturé	-	-	plat
CQ	2015	28 oct.	RSES: 02400002	idem	Sainte-Anne-du-Sault	tubulaire			X		42,7	12	-	sable et gravier/till/shale	-	-	plat
CQ	2015	2 nov.	RSES: 03000005	idem	Baie-du-Febvre	tubulaire			X		85	9	-	argile et silt/ sable fin/gravier/till avec gravier/shale noir	-	-	pente vers le puits 8%
CQ	2015	2 nov.	RSES: 03000006	idem	Sainte-Monique	tubulaire			X		91	7	-	silt argileux/till/silt argileux/till/shale	-	-	plat
CQ	2015	28 oct.	RSES: 03010004	idem	Victoriaville	tubulaire			X		52	275	-	till sableux/shale calcaireux	-	-	plat
CQ	2015	2 nov.	RSES: 03030013	idem	Saint-Guillaume	tubulaire			X		42,6	102	-	sable fin et gravier/argile/shiste	-	-	plat
LAN	2015	16 oct.	5220605	M11	Saint-Alexis	tubulaire	X				30,5	7	-	loam argileux	7-8	4	plat
LAN	2015	16 oct.	5220606	M12	Saint-Ambroise-de-Kildare	tubulaire	X				79,2	39	-	loam	6,5	4-5	plat
LAN	2015	16 oct.	5220607	M13	Saint-Charles-Borromée	tubulaire	X	X			18	18	8,1	argile de Saint-Rose	6,5-7	2-3	puits sur un petit talus surélevé
LAN	2015	4 nov.	5220608	M18	Saint-Liguori	tubulaire	X	X			27	20	105	loam sableux	7	-	plat
LAN	2015	4 nov.	5230050	M17	Saint-Thomas	tubulaire		X			35	3	48,5	limon	6,2	-	plat
LAN	2015	4 nov.	5220609	M16	Saint-Lin-des-Laurentides	tubulaire			X		-	14	46	loam sableux et fin	6,8	3,5	plat
LAN	2016	5 oct.	5250014	S8	Saint-Cuthbert	tubulaire	X	X	X		76	4	174	argile Sainte-Rosalie	6 et plus	-	puits en haut des champs, pente 4%
LAN	2016	5 oct.	5250015	S7	Saint-Cuthbert	tubulaire		X			27,4	0	105	argile	6,5-7	4-5	plat
LAN	2016	5 oct.	5250016	S9	Saint-Cuthbert	tubulaire	X				139	58	83	limoneux et argileux	6,5	3,6-4,2	légère pente vers le puits (1-2%)
LAN	2016	5 oct.	5250017	S10	Saint-Cuthbert	tubulaire	X				26	65	109	argile	6,5-7	3,5-4	plat
LAN	2016	5 oct.	05040203	S11	Saint-Cuthbert	citene	X				-	0	109	argile	6,5-7	3,5-4	plat
MO	2015	30 sept.	3260002	M6	Boucherville	citene	X				-	53	17,1	argileux	6-6,5	3-3,4	plat
MO	2015	2 nov.	3090157	M14	St-Louis-de-Gonzague	tubulaire	X				15,2	27	60	argile de Howick	4-6	4	plat
MO	2015	15 oct.	3040211	M9	Saint-Cyprien-de-Napierville	tubulaire	X				23	27	300	loam limoneux	-	-	plat
MO	2015	30 sept.	3030487	M7	Saint-Hugues	tubulaire	X				75	66	-	loam argileux	-	-	plat
MO	2015	2 nov.	3120002	M15	Saint-Anicet	tubulaire	X				-	30	90	loam argileux	-	-	puits surélevé d'environ 1 m
MO	2015	2 nov.	3040001	idem	Saint-Ours	tubulaire			X		50,9	6	-	silt sableux/argile silteuse/sable grossier/gravier sableux	-	-	plat
MO	2016	19 oct.	3040470	S15	Saint-Ignace-de-Stanbridge	tubulaire	X	X			20	0	50	loam sablonneux	6,5-6,8	4-5	presque plat
MO	2016	20 oct.	3030497	S20	Farnham	tubulaire	X	X			46 et 70	14 et 41	41	loam sablonneux	6,5	-	plat
MO	2016	20 oct.	3030499	S19	Granby	tubulaire	X	X	X		76	60	121	loam sableux	6-7	-	plat
MO	2016	20 oct.	3030500	S17	Granby	citene	X				9	12	48	-	6,3-6,7	4-6	pente légère vers le puits
MO	2016	20 oct.	3030498	S18	Granby	tubulaire	X	X			61 et 76	0 et 14	243	loam sableux	6-7	-	plat
MO	2016	19 oct.	3040473	S16	Stanbridge Est	tubulaire	X	X			55	130	405	loam argileux	-	-	plat
MO	2016	19 oct.	3040472	S13	Saint-Blaise-sur-Richelieu	tubulaire		X			24	70	68,4	loam sablonneux	7	3-4	plat
MO	2016	19 oct.	3040471	S14	Saint-Sébastien	tubulaire	X	X	X		49	63	154	loam argileux	5-6	3	plat
MO	2016	19 oct.	3040310	S12	Saint-Mathias-sur-Richelieu	tubulaire		X			-	0	405	loam argileux	7-8	3-5	plat

**Environnement
et Lutte contre
les changements
climatiques**

Québec 