

Utilisation des poissons pour évaluer la contamination par des pesticides de la classe des néonicotinoïdes, des rivières de l'arc jurassien et du lac de Neuchâtel

Présentation et traduction des résultats principaux du travail de master de **Louise Barbe** intitulé « Using Fish to assess the contamination of rivers and lakes by neonicotinoid insecticides in Western Switzerland », soumis le 29 août 2020

Ce document est destiné aux pêcheuses et pêcheurs ayant participé à l'étude.



Prof. Alex Aebi

Neuchâtel, le 29 mars 2021

Résumé

Les néonicotinoïdes, insecticides à large spectre, représentent aujourd'hui 25 % du marché mondial des ventes d'insecticides. Ces pesticides reconnus pour leur grande persistance, sont désormais omniprésents dans l'environnement et contaminent de nombreuses espèces non ciblées. Cette étude qui combine science citoyenne et biologique, vérifie la présence des néonicotinoïdes dans les foies de 184 poissons et documente les résultats observés à l'aide de la littérature. Les pêches réalisées dans les courants du canton de Vaud, de Neuchâtel et du Jura, en Suisse, à l'aide des praticiens ou professionnels du milieu, ont été réalisées du mois d'août 2019 au mois de mars 2020. Les analyses réalisées par chromatographie liquide à ultra-haute performance et spectrométrie de masse en tandem (HPLC-MS) ont révélé l'omniprésence des néonicotinoïdes chez les poissons indigènes (74%, si l'on considère la limite de détection, LOD). Nos résultats ont révélé que certaines espèces étaient plus contaminées que d'autres. Ces différences de contaminations peuvent être expliqués par leur position d'espèces benthiques. Nous avons également découvert que l'agriculture avait une influence sur la fréquence des contaminations retrouvées par bassin versant, mais qu'une augmentation des surfaces agricoles n'était en revanche pas corrélée à une augmentation des contaminations. Finalement, nous avons découvert que les poissons prédateurs étaient plus contaminés (83%, LOD) que les autres (57%, LOD). Dans l'ensemble, notre étude prouve la nécessité d'utilisation d'indicateurs biologiques tels que les poissons comme sentinelles afin d'évaluer les contaminations des eaux par les pesticides. Pour l'analyse des néonicotinoïdes en particulier, une amélioration de la méthode d'analyse UHPLC-MS et une plus grande quantité d'échantillons seront nécessaires. La réalisation d'études supplémentaires est aujourd'hui indispensable car les effets synergiques des néonicotinoïdes, en conditions et en concentrations naturelles, semblent aujourd'hui sous-estimés.

Mots clefs : *Pesticides, Néonicotinoïdes, Environnement des poissons, Environnement aquatique, Contamination, Chaîne trophique, Bio-monitoring, Impacts de l'agriculture*

1. Introduction

Aujourd'hui, 74% des espèces natives de poissons sont considérées comme vulnérables ou sont éteintes en Suisse. Les milieux aquatiques sont plus impactés que les écosystèmes terrestres par les causes de déclin de la biodiversité (pollution, intensification de l'agriculture, perte d'habitat, réchauffement climatique, ...). Des épisodes de surmortalités piscicoles arrivent de plus en plus régulièrement en Suisse. Bien que leur origine ne soit pas toujours élucidée, les pesticides sont pointés du doigt par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV 2020a)¹.

Dans le lac de Neuchâtel, les causes du déclin des populations de poissons sont controversées. Certains incriminent le grand cormoran, d'autre une eau trop propre ou encore le réchauffement climatique. Cette étude souhaite évaluer la contamination de poissons sauvages de rivières de l'arc jurassien, du lac Neuchâtel (mobilisées ici comme sondeurs de leur environnement) par les néonicotinoïdes (NN) et évaluer l'influence de l'intensification de l'agriculture sur la teneur en NN.

Les NN ont été mis sur le marché entre 1991 et 2002 et représentent 25% des parts de marché des ventes de produits phytosanitaires. C'est la classe de pesticide la plus utilisée dans le monde². Ils agissent sur le système nerveux central des insectes ravageurs qu'ils ciblent. Leur action est systémique. Les graines enrobées du principe actif sont semées. Lors de la croissance de la plante, l'ensemble des tissus de la plante contiendra du principe actif et seront donc protégés. Il est admis que seul 5% du principe actif « monte » dans la plante, ce qui signifie que les 95% restant contamine le sol, les cours d'eau et les nappes phréatiques, par érosion ou lixiviation.

La présence de NN dans les eaux de surface est bien documentée. Une analyse de 20 rivières dans 10 pays européens (la Suisse n'en fait pas partie) a trouvé 103 pesticides, dont 24 interdits (Casado et al. 2019). L'imidaclopride et la clothianidine (deux NN) ont été trouvés à des doses dépassant les normes dans 17 et 10% des cas respectivement. En 2014, Wittmer et ses collègues ont détecté 104 pesticides dans 5 affluents Suisse. Chaque échantillon contenait un cocktail d'au moins 40 pesticides et dans 78% des cas, la concentration cumulative dépassait les 1000 ng/L. Une autre étude menée en Suisse montre que la concentration de thiaclopride dépassait régulièrement les normes en vigueur concernant la contamination chronique de l'habitat entre 2015 et 2017 (Spycher et al. 2017).

Des études en laboratoire ont démontré l'impact des NN sur les poissons. Les effets suivants ont été documentés :

- L'imidaclopride cause un stress oxydatif et des dégâts à l'ADN du poisson zébré (*Danio rerio*) à une concentration de 1.25 mg/L (Ge et al. 2015 ; Ansoar-Rodriguez et al. 2015).
- L'imidaclopride cause des dégâts histologiques et morfo-physiologiques du foie chez le tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) à une concentration de 0.0625 mg/L (Ansoar-Rodriguez et al. 2015, 2016).

¹ Les références sont listées dans le document original.

² Voir le tableau 1 du document original (page 18) pour les propriétés et l'usage des NN en Suisse.

- L'imidaclopride diminue la taille et le poids, induit des dégâts sévères au foie et aux reins et induit une anémie sévère au rohu (*Labeo rohita*) à des concentrations au-dessus de 120 mg/L. Les poissons exposés montraient les signes d'une dépense d'énergie importante pour la détoxification des toxines (Gadir et Lgbal 2016).
- L'imidaclopride a un effet sur la viabilité des embryons de la carpe commune (*Cyprinus carpio*) à une concentration de l'ordre de 16ppm (qui correspond à 20% de la LC50).
- Une étude japonaise a démontré un effondrement de l'écosystème aquatique d'une rizière suite à l'utilisation de NN (Yamamuro *et al.* 2019).

Quelques études ont documenté la contamination d'organismes aquatiques par les NN. En voici les principaux résultats :

- L'analyse de 13 espèces de poissons capturés dans des ruisseaux italiens, pour la présence de 52 pesticides a démontré la présence d'un NN dans un échantillon de chevaine (*Squalius cephalus*) (approx. 0.1 ng/g). Les autres poissons analysés ; la truite brune (*Salmo Trutta*), le barbot (*Ameiurus sp.*), la truite marbrée (*Salmo marmoratus*) et l'ombre (*Thymallus thymallus*) étaient contaminés par d'autres pesticides. L'étude souligne l'importance de documenter la contamination par l'acétamipride en raison de sa grande solubilité dans l'eau (Barbieri *et al.* 2019).
- Une étude polonaise ayant analysé 54 poissons a montré que 13 foies et 11 échantillons de muscle étaient contaminés. Bien que cette étude n'ait pas trouvé de NN, 10 autres pesticides ont été mis en évidence (Kaczinski *et al.* 2017).
- Une étude menée en Amérique du Sud, ayant comme objectif de démontrer le lien entre la contamination des poissons et le type d'agriculture dans le bassin versant a montré que 96% des poissons étaient contaminés et qu'en moyenne, chaque poisson contenait 4 pesticides. Ils concluent que les poissons non-migratoires avaient un risque d'exposition accru aux pesticides utilisés dans le bassin versant de leur habitat (Ernst *et al.* 2018).
- Une étude espagnole a montré la relation entre type d'agriculture et contamination des poissons (Pascual-Aguilar *et al.* 2017).
- La position du poisson dans la colonne d'eau et dans la chaîne alimentaire aurait un effet sur la contamination des poissons par les pesticides (Belenguer *et al.* 2014).

2. Objectifs

Sur la base de la littérature présentée ci-dessus, notre étude a eu pour objectif de:

- 1) Vérifier si les poissons sauvages de l'arc jurassien étaient contaminés par les NN
- 2) Identifier les profils de contamination par plusieurs NN (effet cocktail)
- 3) Vérifier si la teneur en NN des poissons analysés pouvait être expliquée par le type d'agriculture pratiquée dans les bassins versants des cours d'eau concernés.
- 4) Vérifier si la teneur en NN variait entre espèces et si leur écologie pouvait expliquer cette variation.
- 5) Discuter l'utilité des poissons sauvages pour documenter l'état de contamination des cours d'eau par les NN.

3. Zones d'échantillonnage

Canton du Jura

Des pêches électriques ont été réalisées entre le mois d'août et le mois de septembre 2019, avec la Fédération Cantonale de pêche du Jura (FCPJ). Un pêcheur amateur de la FCPJ a complété notre échantillonnage.

Deux rivières ont été échantillonnées : La Birse (un site) et l'Allaine. Des pêches ont été réalisées dans le Doubs, la Scheulte et la Vendeline mais aucun chevine n'a été capturé³.

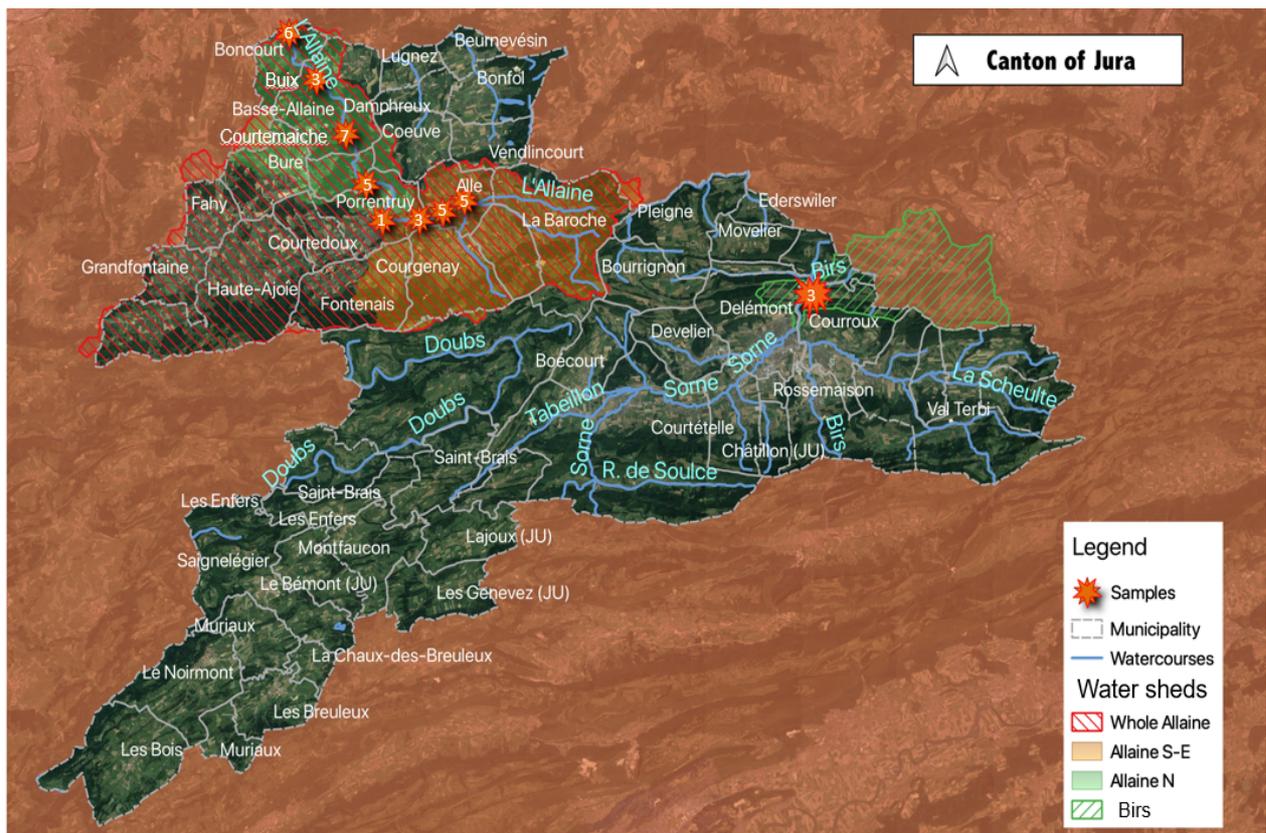


Figure 1: Sampling map of Jura State

Source : Personal (QGIS) and Steinmeier C., 2013

Canton de Neuchâtel

Une seule pêche électrique a été réalisée par le Service de la Faune, des Forêts et de la Nature (SFFN), dans l'Areuse, à Boudry. En l'absence de chevaines, des truites (*Salmo trutta*,) ont été échantillonnées.

Une collaboration avec un pêcheur professionnel sur le lac de Neuchâtel nous a permis d'échantillonner les poissons suivants : La perche (*Perca fluviatilis*), le brochet (*Esox lucius*), le silure (*Silurus glanis*), le barbot (*Lota lota*), la corégone (*Coregonus oxyrinchus*), et le

³ La numérotation originale des figures a été conservée afin que le lecteur puisse les retrouver dans le texte original

gardon (*Rutilus rutilus*) entre le mois d'août 2019 et le mois de mars 2020, au large d' Hauterive, d'Auvernier, de Cortaillod et de Bevaix.
 Des échantillons de la moule invasive quagga (*Dreissena bugensis*) ont été prélevé pour analyse.

Etant donné que le SFFN procédait à des tirs de régulation du cormoran (*Phalacrocorax carbo*) en Octobre 2019, des échantillons de cet oiseau ont également été analysés.

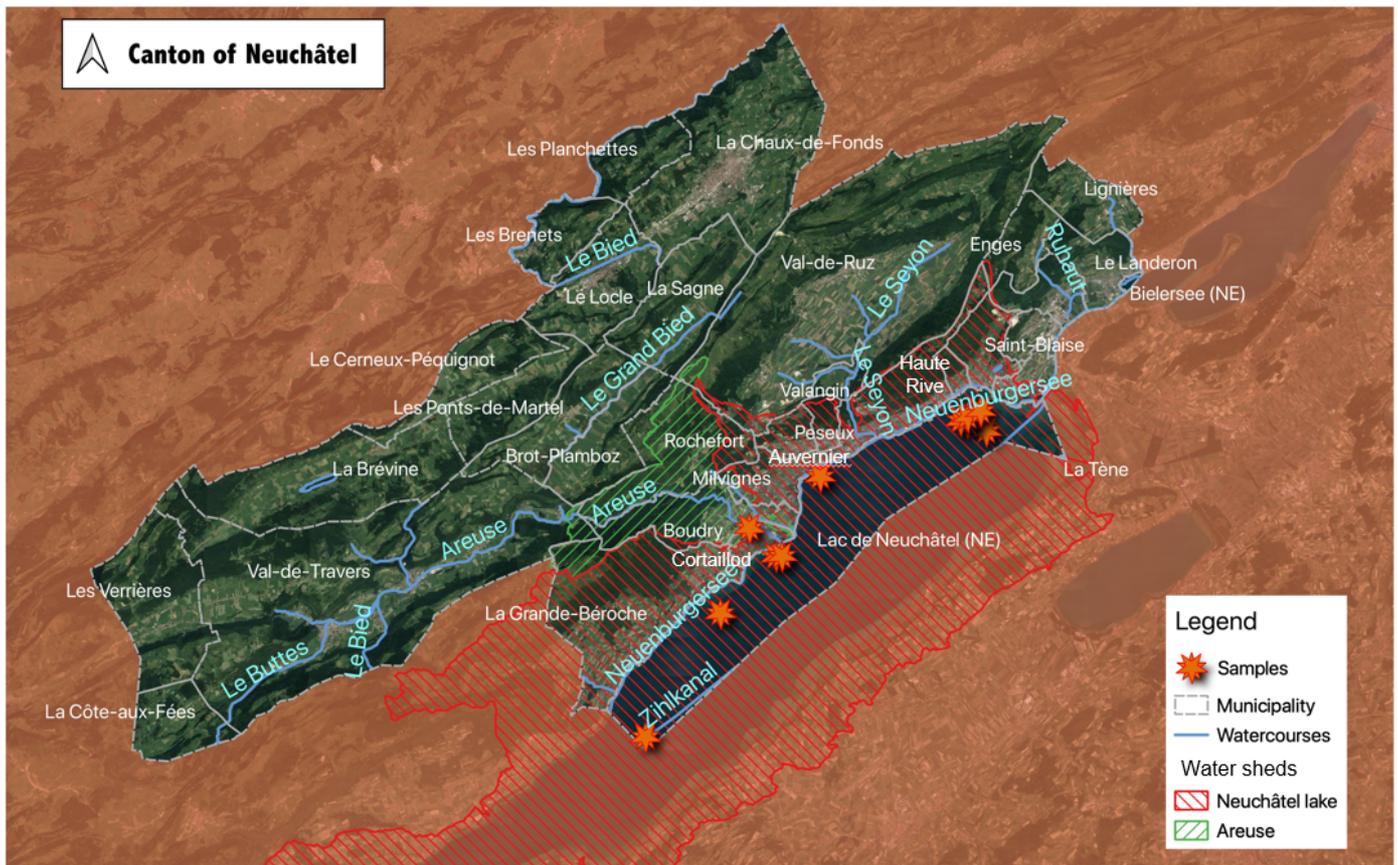


Figure 2 : Sampling map of Neuchâtel State

Source : Personal (QGIS) and Steinmeier C., 2013

Canton de Vaud

Les gardes-pêche de la Direction Générale de l'Environnement ont été mobilisés afin d'identifier les rivières à échantillonner en fonction de la présence de chevaines et du type d'agriculture dans leur bassin versant. Les rivières suivantes ont été échantillonnées en octobre 2019 : Le Canal Oriental, l'Orbe, la Promenthouse et le Grenet. La Petite-Glâne a été échantillonnée en décembre 2019.

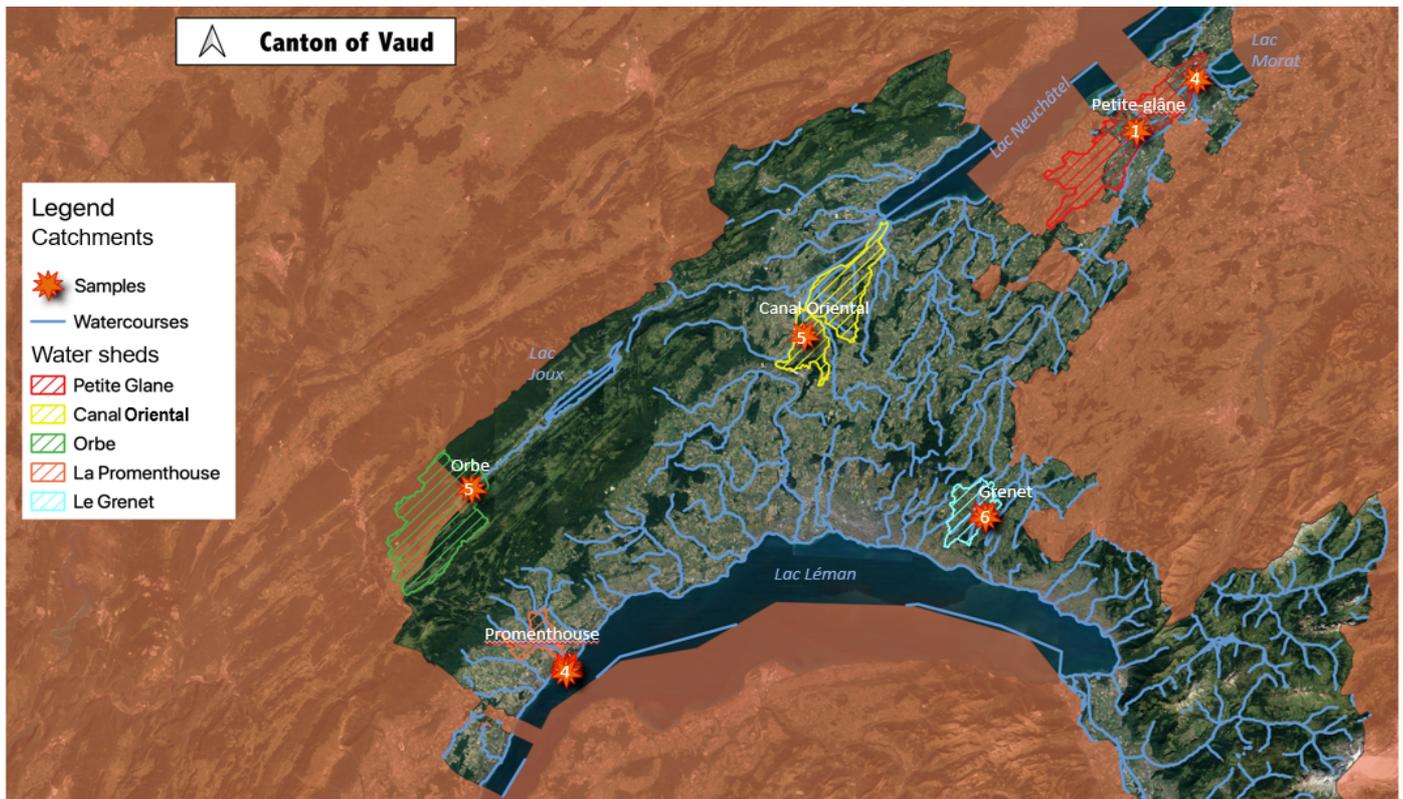


Figure 3 : Sampling map of Vaud State

Source : Personal (QGIS) and Steinmeier C., 2013

Tableau récapitulatif des poissons échantillonnés

Canton	Espèce	Rivière / lac	Nombre d'échantillons	Technique de pêche	Mois
Jura	Chevaine	Allaine	36	Électrique	Août
Jura	Chevaine	Birse	3	Électrique	Septembre
Vaud	Chevaine	Canal Orient	5	Électrique	Octobre
Vaud	Chevaine	Promenthouse	4	Électrique	Octobre
Vaud	Chevaine	Petite Glâne	5	Électrique	Décembre
Vaud	Chevaine	Orbe	5	Électrique	Octobre
Vaud	Chevaine	Grenet	6	Électrique	Octobre
Neuchâtel	Truite	Areuse	4	Électrique	Septembre
Neuchâtel	Brochet	Lac de Neuchâtel	18	Filet	Août-Novembre
Neuchâtel	Perche	Lac de Neuchâtel	24	Filet	Septembre
Neuchâtel	Silure	Lac de Neuchâtel	16	Filet	Août-Septembre
Neuchâtel	Corégone	Lac de Neuchâtel	24	Filet	Mars
Neuchâtel	Gardon	Lac de Neuchâtel	20	Filet	Septembre
Neuchâtel	Lote	Lac de Neuchâtel	19	Filet	Novembre
Neuchâtel	Moule Quagga	Lac de Neuchâtel	20	Filet	Mars
Neuchâtel	Cormorant	Lac de Neuchâtel	4	Tirs de régulation	Octobre

4. Résultats

Il est important de noter qu'en chimie analytique, une molécule peut être décelée dans une matrice au-dessus d'une certaine concentration qu'on nomme seuil de détection (LOD) et quantifiée au-dessus d'une concentration (plus élevée que la LOD) que l'on nomme seuil de quantification (LOQ).

Etant donné les faibles concentrations trouvées dans nos échantillons, nous avons décidé de réaliser nos tests statistiques pour tester l'influence des différentes espèces, du type d'agriculture et de l'écologie des organismes étudiés, sur les concentrations au-dessus du seuil de détection.

Contamination générale

Nos résultats montrent que 74% des poissons analysés contenaient au moins un NN (>LOD). Parmi ceux-ci, 21% en contenait deux, 3% en contenait trois et 1% en contenait quatre ou cinq.

4% des poissons analysés étaient contaminés par du thiametoxam, 5% par de la clothianidine, 11% avec de l'imidaclopride, 28% avec de l'acétamipride et 51% avec du thiaclopride. Ces différences sont significatives ($p < 0.01$).

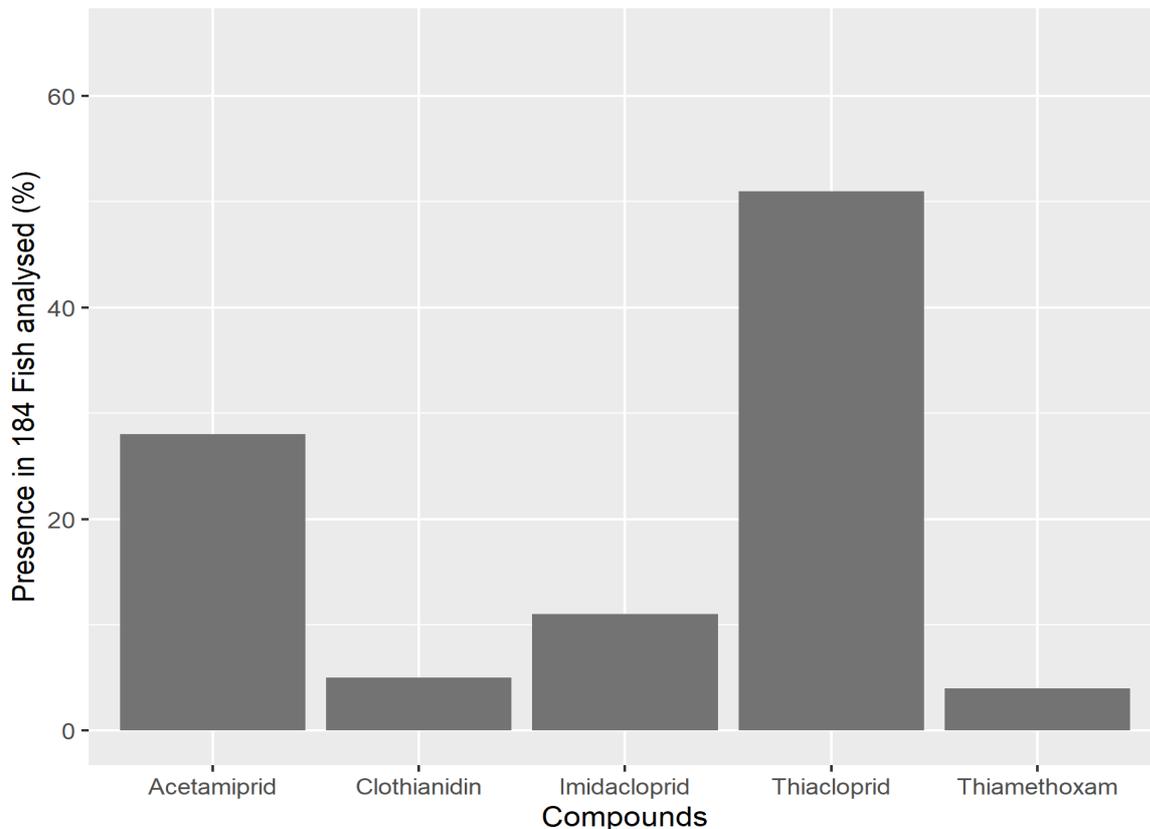


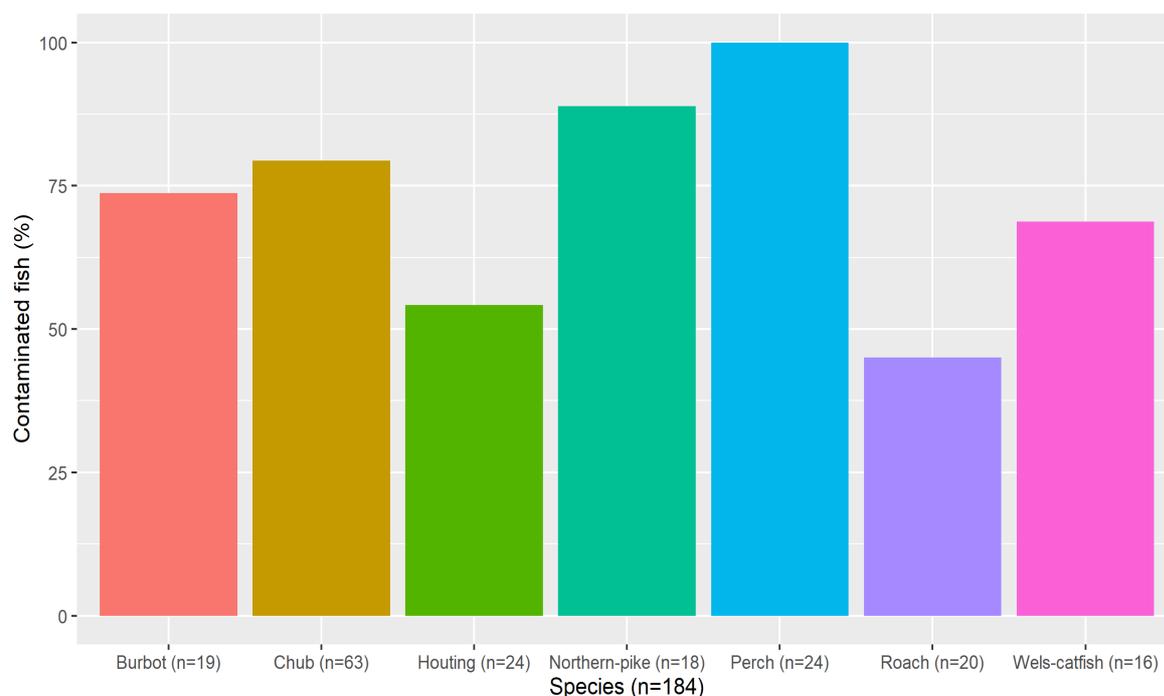
Figure 4: Observation frequencies of the neonicotinoids studied in our fish samples

Le fait de trouver majoritairement de l'acétamipride et du thiaclopride⁴ n'est pas surprenant car ces deux molécules sont les seules à être encore autorisées. Le fait de trouver de l'imidaclopride, du thiamethoxam et de la clothianidine, malgré leur interdiction d'usage en plein-air n'est pas surprenant étant donné leur persistance dans l'environnement.

Différences entre espèces

74% des lotes, 79% des chevaines, 54% des corégone, 89% des brochets, 45% des gardons, 69% des silures et 100% des perches analysés étaient contaminés par au moins un NN à une concentration > LOD. Si l'on considère la limite de quantification (LOQ), 55% des poissons sont contaminés. Les perches sont significativement plus contaminées que les lotes (p.<0.042), les chevaines (p. 0.048) et les silures (p. 0.027), les corégones et les gardons (p. <0.01). Les brochets et les chevaines sont plus contaminés que les gardons (p. 0.027) et ont tendance à être plus contaminés que les corégones (p. 0.054) et les silures (p. 0.07).

Espèce	Nombre d'échantillon	Proportion d'échantillon contaminé (%)	Concentration moyenne (ng/g)
Lote	19	74	0.036
Chevaine	63	79	0.064
Corégone	24	54	0.006
Brochet	18	89	0.004
Perche	20	100	0.059
Gardon	20	45	0.004
Silure	16	69	0.028



⁴ Le thiaclopride est sur le point d'être interdit en Suisse (OFAG, communication personnelle)

Figure 5: Contamination des différentes espèces par au moins un néonicotinoïde

Les chevaines, un poisson omnivore et vivant en profondeur sont très contaminés avec une concentration moyenne de 0.064 ng/g. Le brochet, omnivore présente une concentration moyenne de 0.04 ng/g. Les perches, omnivores, vivant entre 5 et 50 mètres de profondeur ont une concentration moyenne de 0.05 ng/g. Les silures (0.028 ng/g), des prédateurs ont une concentration moyenne inférieure à celle des lotes (0.036 ng/g). Cette différence peut s'expliquer par le fait que la lote vit en eaux profondes. Ainsi donc, selon nous, les différences observées s'expliquent principalement par leur position dans la colonne d'eau et par leur régime alimentaire. Les poissons omnivores ou benthiques sont plus régulièrement contaminés que les autres.

A quel cocktails nos poissons sont-ils exposés ?

Nos analyses montrent que nos poissons sont exposés aux cocktails de NN suivants. La combinaison thiaclopride-acetamipride est la plus fréquente avec 7,35% des échantillons contaminés. La combinaison thiaclopride-imidaclopride est moins représenté avec 2.45% des échantillons. La combinaison imidaclopride-acétamipride concerne 1.96% des échantillons. Finalement, la combinaison thiamethoxam-thicalopride ferme la marche avec 1,47% des échantillons.

Combinaison	Enumeration	Percentage
0	65	31.86
A	2	0.98
ABCDE	1	0.49
AC	1	0.49
ACE	1	0.49
AE	3	1.47
B	5	2.45
BC	4	1.96
BCDE	1	0.49
BCE	1	0.49
BD	2	0.98
BDE	2	0.98
BE	5	2.45
C	28	13.73
CD	1	0.49
CE	15	7.35
D	2	0.98
DE	1	0.49
E	64	31.37

Pesticide	Code
Thiamethoxam	A
Imidacloprid	B
Acetamiprid	C
Clothianidin	D
Thiacloprid	E

Ce résultat n'est pas très surprenant étant donné que le thiaclopride et l'acétamipride sont les seuls néonicotinoïdes encore autorisés en Suisse. Il montre par ailleurs la nécessité d'entreprendre des études afin de documenter les effets de ces différents cocktails sur nos poissons tout en montrant quels cocktails étudier en priorité. La grande solubilité des néonicotinoïdes favorise leur présence dans l'eau, qui favorise la contamination des cours d'eau par différentes voies : la dérive lors de pulvérisation de pesticides (malgré les précautions d'usage), par érosion du sol et par lessivage (Gupta *et al.* 2008 ; Tisler *et al.* 2009 ; USGS 1999 ; Sur and Stork 2003).

Analyse par cours d'eau.

Afin d'analyser l'influence du type d'agriculture dans le bassin versant des rivières échantillonnées, sur la contamination des poissons y habitant, nous avons caractérisé les surfaces agricoles avec les critères exposés dans le tableau 9.

Table 9: Cours d'eau et type de surface agricole

Cours d'eau	Nombre d'échantillon	Surface arable non irriguée	Arbres fruitiers et baies	Patterns de culture complexe	Territoire agricole avec une proportion significative de végétation naturelle	Surface Agricole totale (%)
<i>Petite Glane (VD)</i>	5	83,43%	0,00%	0,00%	0,30%	84%
<i>Canal Orient (VD)</i>	5	73,17%	0,00%	0,00%	2,70%	76%
<i>Grenet (VD)</i>	6	59,93%	0,00%	4,33%	5,14%	69%
<i>Promenthouse (VD)</i>	4	50,96%	1,56%	2,47%	2,48%	57%
<i>Allaine Nord (JU)</i>	22	37,33%	0,00%	4,30%	6,15%	48%
<i>Allaine SE (JU)</i>	13	42,28%	0,00%	0,07%	7,41%	50%
<i>Birse (JU)</i>	3	14,64%	0,00%	3,65%	5,00%	23%
<i>Orbe (VD)</i>	5	0,00%	0,00%	0,00%	4,83%	5%

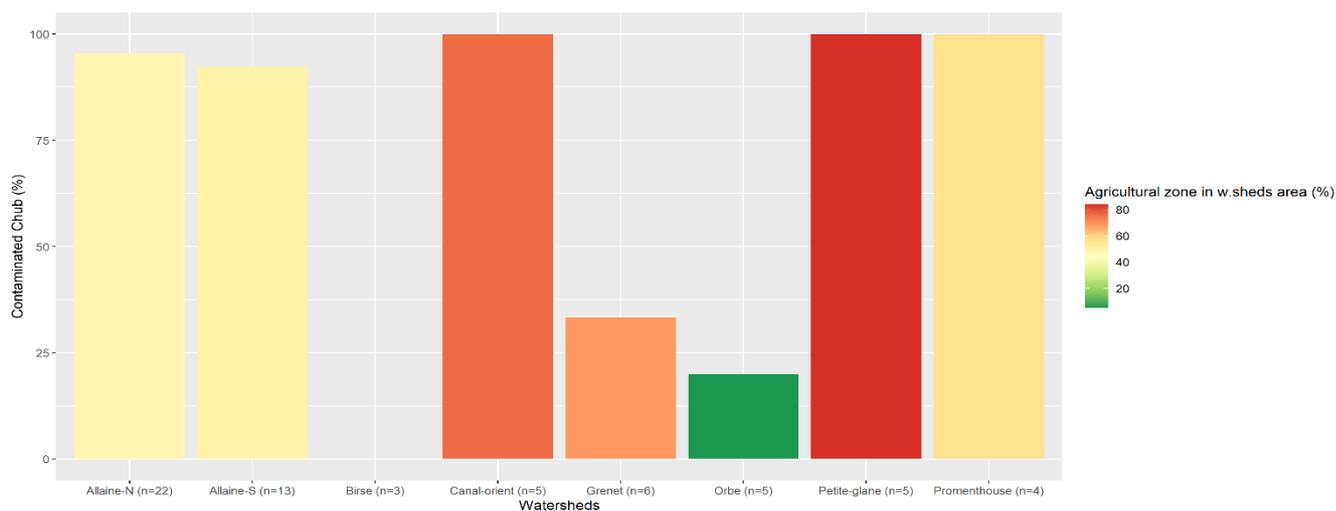


Figure 16 : Contamination des chevaines en fonction du type d'agriculture dans le bassin versant des cours d'eau (%).

Les poissons capturés dans la Petite-Glâne, le Canal Oriental et la Promenthouse étaient tous contaminés par au moins un néonicotinoïde. Les différences significatives suivantes ont été mise en évidence : Les poissons capturés dans la partie Nord de l'Allaine sont plus contaminés que ceux capturés dans la Birse ou l'Orbe (P. 0.024) et dans le Grenet (P. 0.031). Les poissons capturés dans la partie sud de l'Allaine sont plus contaminés que ceux capturés dans l'Orbe et la Birse (P. 0.043) et tendent à être plus contaminés que ceux capturés dans le Canal Oriental ((p. 0.062). Selon le programme CORINE, ces cours d'eau sont bordés par des zones de cultures importantes avec 84%, 76% et 57% de leur surface dédiée à l'agriculture (Vaud 2018). Selon cette même source, les eaux de la Petite-Glâne sont de qualité moyenne étant donné la faible vitesse de son courant, la rareté d'espaces ombragés et la forte

pression agricole. La forte turbidité, connue pour augmenter la persistance des néonicotinoïdes dans l'eau (Morrissey et al. 2015), peut être due à l'érosion.

La présence de chevaines contaminées dans la Promenthouse est surprenante. Selon Vaud 2018, cette rivière jouit d'eaux de bonne qualité. Aucune information sur la qualité de l'eau du Canal Oriental.

Le Grenet et l'Orbe sont les rivières abritant les chevaines les moins contaminées. Les indices de biodiversité réalisés le long du Grenet montrent sa bonne qualité. L'Orbe entourée par des terres faiblement cultivées et dont le bassin versant est caractérisé par une faible urbanisation est également intéressante d'un point de vue écologique.

Les rivières jurassiennes jouissent toutes d'une bonne qualité générale de leurs eaux, sauf peut-être l'Allaine. Par contre, il faut noter que cette rivière est caractérisée par une qualité très hétérogène de ses eaux, en fonction des régions.

Bien que nos résultats semblent correspondre à nos connaissances générales sur la qualité de l'eau de ces rivières, les différences ne sont pas significatives. Toutefois, nos résultats indiquent que les chevaines peuvent être utilisées comme indicateur de la pollution des rivières à condition d'analyser assez d'individus par tronçon de rivière. La littérature suggère qu'il faut viser 15 poissons par tronçon (Ernst et al. 2018), ce qui n'est pas toujours aisé.

Analyse en fonction du régime alimentaire des poissons analysés

L'analyse d'invertébrés aquatiques (gammare, sangsues, larve d'éphémères et larve de trichoptère) capturés dans le Seyon, dans le cadre d'un travail de maturité non publié (Jeanne Käser) a démontré leur contamination par les néonicotinoïdes. Nous avons donc testé l'influence du régime alimentaire sur la contamination des poissons étudiés.

Les espèces considérées ont été séparées en deux catégories. Les poissons dans la catégorie « haut » (lote, corégone, gardon) ont un régime alimentaire très lié à la consommation d'invertébrés aquatiques. Les poissons dans la catégorie « bas » (brochet, chevaine, perche et silure) ont un régime alimentaire omnivore ou carnivore. 57% des poissons de la catégorie « haut » étaient contaminés par au moins un néonicotinoïde. 83% des poissons de la catégorie « bas » étaient contaminés par au moins un néonicotinoïde. La différence est significative ($p < 0.01$). Ainsi, les poissons prédateurs, carnivores ou omnivores sont plus susceptibles d'être contaminés par les néonicotinoïdes.

Conclusion

74% des poissons analysés étaient contaminés par au moins un néonicotinoïde à une concentration au-dessus de la limite de détection.

54% des poissons analysés étaient contaminés par au moins un néonicotinoïde à une concentration au-dessus de la limite de quantification.

Les concentrations de néonicotinoïdes, mises en évidence dans ce travail sont très faibles, en accord avec la littérature (voir l'introduction) et sont donc tout à fait compatibles avec un

usage pour la consommation humaine. Toutefois, nos résultats montrent que ces molécules circulent dans l'environnement aquatique et méritent notre attention. Nous ne savons que peu de choses sur l'effet de ces molécules (à des concentrations infimes) sur la biologie des poissons et nous ne savons virtuellement rien sur l'effet des cocktails de molécules auxquels nos poissons sont exposés.

Des différences significatives entre les espèces analysées ont été mises en évidence. Les espèces benthiques et prédatrices semblent être plus contaminées et le régime alimentaire des poissons analysés semble également avoir un effet.

L'intensité de l'agriculture dans les bassins versants des rivières échantillonnées semble avoir une influence sur la contamination des poissons capturés.

Utiliser les chevaines et les perches comme un moyen de mesurer la contamination des rivières et du lac, respectivement, par des pesticides nous semble tout à fait approprié. En effet, nos résultats sur les chevaines (un poisson cosmopolite) montrent que les valeurs obtenues peuvent être expliquées par les caractéristiques biotiques et abiotiques des rivières échantillonnées. En ce qui concerne le lac, l'omniprésence de thiaclopride dans nos échantillons de perches semble indiquer que cette espèce serait une bonne candidate pour le suivi de ce genre de contaminations sur le long terme.

Nos résultats montrent également que l'analyse de la teneur en pesticide dans les poissons peut être utilisée comme indicateur de la qualité de l'environnement à condition d'analyser un nombre important d'échantillon (>15).