Zeitschrift: Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles

Herausgeber: Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles

Band: 142 (2022)

Artikel: Utilisation de la moule quagga Dreissena bugensis comme moyen d'évaluer la contamination des eaux du lac de Neuchâtel par les néonicotinoïdes

Autor: Blandenier, Noémie / Walmsley, Kalan / Aebi, Alexandre

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1033252

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

UTILISATION DE LA MOULE QUAGGA *DREISSENA BUGENSIS* COMME MOYEN D'ÉVALUER LA CONTAMINATION DES EAUX DU LAC DE NEUCHÂTEL PAR LES NÉONICOTINOÏDES

NOÉMIE BLANDENIER[1], KALAN WALMSLEY[1] ET ALEXANDRE AEBI[2,3]

Résumé

Les néonicotinoïdes sont omniprésents dans l'environnement mais certains compartiments de l'écosystème comme les cours d'eau, sont moins bien documentés. Le but de cette recherche est d'établir un état des lieux de la contamination de l'eau du lac de Neuchâtel par les néonicotinoïdes en utilisant la moule quagga *Dreissena bugensis* en tant qu'espèce bioindicatrice. Nous avons recherché toutes les molécules de la classe des néonicotinoïdes autorisées en Suisse (acétamipride) ainsi que celles qui ont été interdites (imidaclopride, thiamethoxam, clothianidine et plus récemment le thiaclopride). Sur 40 échantillons de moule, 23 étaient contaminés par au moins un néonicotinoïde et plusieurs échantillons étaient contaminés par un cocktail de néonicotinoïdes. Cette recherche a permis de valider l'utilisation de la moule quagga en tant qu'espèce bioindicatrice ou sentinelle afin d'estimer la contamination des eaux par les néonicotinoïdes. Malgré la petite quantité d'échantillons, l'analyse de la chair de 40 individus de *D. bugensis* a démontré que le lac de Neuchâtel est contaminé par les néonicotinoïdes.

Mots-clés : néonicotinoïde, moule quagga, espèce bioindicatrice, HPLC-MS, science citoyenne.

Abstract

Neonicotinoids are ubiquitous in the environment but some compartments of the ecosystem, such as waterways, are less well documented. The aim of this research is to establish an inventory of the contamination of the water of the lake of Neuchâtel by neonicotinoids by using the quagga mussel *Dreissena bugensis* as bioindicator species. We searched for all molecules of the neonicotinoid class authorized in Switzerland (acetamiprid) as well as those that have been banned (imidacloprid, thiamethoxam, clothianidin and more recently thiacloprid). Of 40 mussel samples, 23 were contaminated with at least one neonicotinoid and several samples were contaminated with a cocktail of neonicotinoids. This research validates the use of quagga mussels as a bioindicator or sentinel species to estimate neonicotinoid contamination of waters. Despite the small quantity of samples, the analysis of the flesh of 40 individuals of *D. bugensis* demonstrated that the lake of Neuchâtel is contaminated by neonicotinoids.

Keywords: neonicotinoids, quagga mussel, bioindicator species, HPLC-MS, citizen science.

[1] Lycée Denis-de-Rougemont, Abraham-Louis-Breguet 3, 2002 Neuchâtel, Suisse.
[2] Laboratoire de biodiversité du sol, Institut de biologie, Université de Neuchâtel, Émile-Argand 11, 2000 Neuchâtel, Suisse.
[3] Institut d'ethnologie, Université de Neuchâtel, Suisse, alexandre.aebi@unine.ch

Zusammenfassung
Neonicotinoide sind in der Umwelt allgegenwärtig, aber einige Kompartimente des Ökosystems, wie z.B. die Wasserläufe, sind weniger gut dokumentiert. Ziel dieser Untersuchung ist es, eine Bestandsaufnahme der Neonicotinoid-Kontamination des Wassers im Neuenburgersee zu erstellen, indem die Quagga-Muschel *Dreissena bugensis* als Bioindikatorart verwendet wird. Wir suchten nach allen Molekülen aus der Klasse der Neonicotinoide, die in der Schweiz zugelassen sind (Acetamiprid), sowie nach solchen, die verboten wurden (Imidacloprid, Thiamethoxam, Clothianidin und seit kurzem auch Thiacloprid). Von 40 Muschelproben waren 23 mit mindestens einem Neonicotinoid kontaminiert und mehrere Proben waren mit einem Cocktail aus Neonicotinoiden kontaminiert. Diese Untersuchung bestätigt, dass die Quagga Muschel als Bioindikator- oder Sentinelart für die Kontamination von Gewässern mit Neonikotinoiden geegnet ist. Trotz der geringen Probenmenge zeigte die Analyse des Fleisches von 40 Individuen der *D. bugensis*, dass der Neuenburgersee mit Neonicotinoiden kontaminiert ist.

Stichworte: neonicotinoid, Quagga-Muschel, Bioindikatorart, HPLC-MS, Citizen Science.

INTRODUCTION

Les néonicotinoïdes représentent environ un tiers des insecticides vendus dans le monde[4]. Ils agissent sur le système nerveux central des insectes, en ciblant les récepteurs nicotiniques. Cela mène à une surstimulation de ces derniers, provoquant ainsi sa paralysie et sa mort (Tomizawa & Casida, 2005). Ces pesticides de synthèse sont systémiques, c'est-à-dire qu'ils sont présents dans l'ensemble de la plante traitée. Cette propriété permet le traitement des cultures par semences enrobées, une technique qui consiste à appliquer la substance à la surface de la graine avant de l'avoir plantée. Ainsi, lorsque la graine germe, le pesticide protège l'ensemble de la plante, ce qui facilite l'application du produit et réduit au maximum la dose de substance employée. Seulement, il s'avère qu'uniquement 5 % à 20 % de l'enrobage semblent être absorbés par la graine (Sur & Stork, 2003). Cela signifie qu'entre 80 % et 95 % du néonicotinoïde appliqué reste dans le sol. L'eau qui se trouve dans ce sol se retrouve contaminée par ces restes en raison de la haute solubilité de ces insecticides (Goulson, 2013). En cas d'orage par exemple, elle ruisselle et finit dans les cours d'eau puis dans les lacs. Elle peut aussi s'infiltrer dans le sol et ainsi potentiellement contaminer les eaux souterraines de différents cours d'eau traversant des zones agricoles, comme le Seyon dans le Val-de-Ruz, et qui se jettent dans le lac de Neuchâtel. Une étude a démontré par une analyse d'invertébrés aquatiques la présence de néonicotinoïdes dans le Seyon (Käser, 2020 ; Käser *et al.*, 2021). Une analyse de foies de poissons provenant des eaux des rivières des cantons du Jura, de Vaud et de Neuchâtel, ainsi que du lac de Neuchâtel a mis en évidence une forte présence de néonicotinoïdes dans ces cours d'eau. Plus précisément, 74 % des poissons analysés étaient contaminés par au moins une molécule et toutes les perches récoltées dans le lac de Neuchâtel contenaient des néonicotinoïdes (Barbe, 2020). Par ailleurs, une étude menée par Yamamuro *et al.* (2019) a démontré que les néonicotinoïdes peuvent affecter les poissons négativement et que l'application de néonicotinoïdes dans les bassins versants d'un lac se situant au Japon a conduit à une diminution de 83 % de la biomasse du zooplancton. Cela a indirectement réduit les

[4] https://fr.wikipedia.org/wiki/N%C3%A9onicotino%C3%AFde, consulté le 08.11.2022.

rendements de la pêche pratiquée dans ce lac, car la quantité d'invertébrés, et plus particulièrement de zooplancton étant réduite, les poissons n'avaient plus de ressources pour se nourrir. L'écosystème entier a été anéanti.

En outre, la recherche de BARBE (2020) met en avant l'intérêt d'utiliser des indicateurs biologiques tels que les poissons afin de pouvoir estimer les contaminations des eaux par les pesticides. Toutefois, leur capture nécessite un dispositif de science citoyenne compliqué à mettre en œuvre, comme une collaboration étroite avec les pêcheurs ou une démarche inspirée des sciences citoyennes. Nous nous sommes donc demandé quel organisme pourrait être utilisé pour évaluer la contamination de l'eau par les pesticides.

D'après MERSCH (1993), les indicateurs biologiques ou organismes «*sentinelles*» fournissent une indication moyenne d'une situation de pollution par leur présence permanente dans le milieu (PHILLIPS, 1977). De plus, les polluants y sont accumulés à des concentrations supérieures à celles présentes dans les divers compartiments inertes des écosystèmes (le sol, l'air et l'eau). L'auteur souligne également que, puisque les micropolluants accumulés dans l'organisme ont été biodisponibles, leur concentration forme une mesure de l'impact biologique de telles substances. MERSCH (1993) démontre dans sa recherche que les caractéristiques biologiques de la moule zébrée *Dreissena polymorpha*, soit son mode de vie fixé et sa nutrition par filtration, sont des caractéristiques avantageuses pour l'utiliser dans des recherches écotoxicologiques en tant que bio-indicateur.

Nous avons émis l'hypothèse que la moule quagga *Dreissena bugensis* Andrusov, 1897, de l'ordre des Venerida et de la famille des Dreissenidae[5], voisine de la moule zébrée *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) est elle aussi un bon indicateur biologique. C'est pourquoi nous avons choisi d'utiliser cet organisme pour compléter l'état des lieux sur la contamination du lac de Neuchâtel par ces polluants et continuer la recherche de l'espèce bio-indicatrice la plus efficace. Des raisons pratiques ont de plus orienté notre choix vers cette espèce, car elle est facile à pêcher et très abondante.

Le but de cette recherche est d'établir un état des lieux de la contamination de l'eau du lac de Neuchâtel par les néonicotinoïdes en utilisant *Dreissena bugensis* en tant qu'espèce bio-indicatrice. Nous avons analysé toutes les molécules autorisées en Suisse (acétamipride) et celles qui ont été interdites (imidaclopride, thiamethoxam, clothianidine et plus récemment le thiaclopride). Nous sommes conscients que les néonicotinoïdes ne représentent qu'une classe de produits phytosanitaires et qu'une étude récente a montré la présence de 104 pesticides différents dans les rivières suisses (WITTMER *et al.*, 2014). Pour cette recherche, nous nous sommes basés sur les questions suivantes : est-ce que la contamination de la chair de *D. bugensis* est similaire à celle de l'eau du lac de Neuchâtel ? Est-ce que les individus les plus âgés sont les plus contaminés ? La contamination aux néonicotinoïdes varie-t-elle en fonction de la distance à l'embouchure du Seyon ? Est-ce que la contamination des moules quagga est comparable à celle des poissons analysés par BARBE (2020) ? Quelles sont les combinaisons de néonicotinoïdes détectées dans les moules quagga ?

LA MOULE QUAGGA : QUELQUES CARACTÉRISTIQUES

Dreissena bugensis s'alimente par filtration et peut filtrer plus d'un litre d'eau par jour[6]. La moule quagga est une espèce invasive

[5] Le nom *Dreisseina rostriformis bugensis* est aussi accepté : WoRMS – World Register of Marine Species – Dreissena bugensis Andrusov, 1897, consulté le 21.05.2021.

[6] https://doris.ffessm.fr/Especes/Dreissena-rostriformis-bugensis-Moule-quagga-4007/(rOffset)/0, consulté le 21.05.2021.

Figure 1. Suite d'images, tirées d'une vidéo, montrant une moule éjectant des pseudofèces.

proliférant en Suisse[7] et présente en grande quantité dans le lac de Neuchâtel. Depuis les années 1930, Dreissena bugensis, originaire d'Ukraine et du nord de la région pontocaspienne (comprenant la mer Noire, la mer Caspienne et la mer d'Azov), se propage dans quantité de cours d'eau d'Europe et d'Amérique du Nord. En Europe, elle remonte le Danube, la Meuse et le Rhin. Elle se répand d'abord par le biais des coques de bateaux sur lesquelles elle se fixe et sa rapide propagation est facilitée par sa prolificité, son développement rapide, l'aptitude des larves à dériver durant des semaines avant de se fixer et celle des adultes à supporter plusieurs jours de dessiccation.

Étant un bivalve, la moule quagga est filtreuse. Elle emploie des cils qui acheminent l'eau environnante vers et à travers leur siphon inhalant. La moule filtre ensuite cette eau grâce à ses branchies, absorbant l'oxygène présent dans l'eau, ingérant la matière organique et dissoute, le phytoplancton et le zooplancton, qu'elle contient et fixant les particules indésirées (p. ex.: sable, résidus inorganiques et proie indésirable) dans un mucus. Ce mucus est sécrété par les branchies. Il semblerait que les particules fixées soient acheminées jusqu'à la cavité entre la partie ventrale du manteau et les cténidies, où elles forment des pseudofèces prêtes à être éjectées. Les branchies de la moule zébrée peuvent retenir des particules aussi petites que 0,4 µm de diamètre. Le mélange mucus-particules appelé pseudofèce est ensuite excrété par le siphon inhalant (fig. 1). L'eau filtrée est éjectée par un deuxième siphon, celui-ci expirant. Le mode de nutrition de *D. bugensis* explique qu'elle puisse être considérée comme espèce ingénieure. En filtrant l'eau, elle enlève non seulement une part de la matière organique en suspension et fait précipiter les particules inorganiques, les rejetant sous forme de pseudofèces, mais elle rejette aussi de la matière organique sous forme d'excréments. Ces pseudofèces et fèces recouvrent alors les fonds, altérant leur nature et leur composition.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Récolte des moules

Nous avons élaboré un protocole d'échantillonnage avec un pêcheur qui l'a transmis à ses collègues. Il contenait une carte du lac de Neuchâtel que nous avons divisée en

[7] https://www.cipel.org/moulequagga-2021/, consulté le 23.12.2022.

9 zones de pêche d'une surface approximativement équivalente en nous basant sur une carte topographique. Nous avons choisi ces zones afin de couvrir la surface entière du lac. Des moules quagga ont été récoltées dans 8 des 9 zones prévues initialement, plus particulièrement à Bevaix, Concise, Cudrefin, Portalban, Chevroux, Vaumarcus, Yvonand et au port du Nid-du-Crô à Neuchâtel. Les échantillons provenant des différentes zones ont été stockés au congélateur.

Identification

On peut reconnaître *D. bugensis* par sa jonction ventrale entre les 2 valves qui est sinusoïdale, alors qu'elle est droite chez *D. polymorpha.* Un autre critère moins facilement discernable est l'emplacement du byssus, plus proche de la charnière chez *D. bugensis* que chez *D. polymorpha*[8].

MÉTHODE D'ANALYSE

Les néonicotinoïdes ont été extraits en utilisant la méthode QuEChERS (KAMMOUN *et al.*, 2019). Pour commencer, un tube d'un mélange A de sels (tube Falcon® de 15 mL, rempli de 3,25 g de sels d'extraction) et un tube d'un mélange B de sels (tube Falcon® de 15 mL, rempli de 150 mg de MgSO4, 100 mg de PSA et 100 mg de C18) ont été préparés pour chaque échantillon et mis de côté. Les ustensiles utilisés ont été rincés à l'eau et à l'éthanol 70 % puis séchés entre chaque utilisation pour éviter les contaminations.

Ensuite, les échantillons de moules ont été mixés au polytron avec 5 mL d'acétonitrile et 20 µL de standard interne pendant 3 minutes (l'appareil a été nettoyé à l'eau et rincé à l'éthanol entre chaque échantillon). Les tubes ont été centrifugés à 4500 tours par minutes pendant 4 minutes et la plus grande quantité possible de surnageant a été pipetée dans le mélange A de sels. Un volume de 5 mL d'eau mili-Q a été ajouté dans chaque tube et nous les avons secoués jusqu'à la dissolution des sels. Les tubes ont été à nouveau centrifugés pendant 4 minutes. Le maximum de surnageant a encore une fois été pipeté, mais cette fois-ci dans le mélange B de sels. Les tubes ont été secoués énergiquement pendant 30 secondes et mis dans la centrifugeuse. Le surnageant de chaque tube a été récolté et mis dans un tube en verre de 13 × 100 mm. Les tubes en verre ont ensuite été déposés pendant 5 heures à 34 °C dans un Speedvac pour les évaporer. 500 µL de H2O:MeOH 75:25 ont été ajoutés dans chaque tube qui ont ensuite été à nouveau centrifugés pendant 20 secondes. Un vortex a été utilisé pendant 20 secondes pour remettre en suspension l'extrait collé à la paroi du récipient suite à l'évaporation. Enfin, les tubes ont été placés dans un bain à ultrasons pour 2 minutes pour la même raison. Le contenu de chaque tube en verre a été transvasé dans un tube Eppendorf de 2 mL de volume puis centrifugé pendant 2 minutes à vitesse maximum (14 000 tours par minute). La suspension de chaque tube a été récupérée puis filtrée à l'aide de filtres PTFE dans une fiole HPLC munie d'un insert conique de 250 µL.

L'analyse des échantillons se base sur une chromatographie en phase liquide à haute performance combinée à une spectrométrie de masse (HPLC-MS *High-performance liquid chromatography-mass spectometry*). La chromatographie liquide sert à séparer les différents composants de la solution alors que la spectrométrie de masse permet de les détecter et de les identifier.

Le standard interne ajouté dans les solutions à analyser sert d'étalon. Il est contaminé artificiellement par des néonicotinoïdes que l'on cherche à détecter, à une concentration connue. Cela nous permet de distinguer les véritables signaux de néonicotinoïdes présents dans les échantillons des bruits parasites involontaires issus de la méthode d'analyse (KÄSER, 2020).

[8] https://doris.ffessm.fr/Especes/Dreissena-rostriformis-bugensis-Moule-quagga-4007, consulté le 19.05.2021.

Après l'analyse HPLC-MS, nous avons obtenu les concentrations en nanogramme par millilitre de sept néonicotinoïdes différents dans nos 40 échantillons. Les sept substances étaient le thiaméthoxame, le clothianidine, l'imidaclopride, l'acétamipride, le thiaclopride, le flupyradifurone et le sulfoxaflor. Les concentrations étaient données en ng/mL et nous les avons converties en ng/g selon la formule suivante, Vf étant le volume de la solution finale à analyser (1 mL) et mi étant la masse initiale de la chair de la moule :

$$\frac{\left[\frac{ng}{ml}\right] \cdot Vf}{mi} = \left[\frac{ng}{g}\right]$$

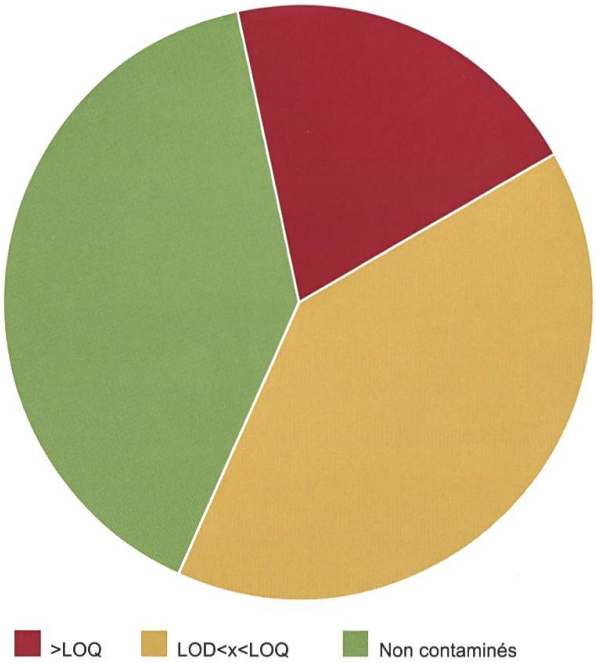

Figure 2. Sur 40 échantillons au total, proportions des différentes catégories de contamination avec distinction.

RÉSULTATS

Comparaison entre les contaminations de la chair de D. bugensis et celles de l'eau du lac de Neuchâtel

À la suite de l'analyse HPLC-MS, nous avons obtenu les résultats suivants : le clothianidine, le thiaméthoxame, le flupyradifurone et le sulfoxaflor n'ont été détectés dans aucun échantillon. Sur 40 échantillons au total, 23 étaient contaminés par au moins un néonicotinoïde (fig. 2). Parmi ceux-ci, 7 étaient au-dessus de la limite de quantification (LOQ, la plus faible concentration quantifiable) et 16 se trouvaient entre la limite de détection (LOD, la plus faible concentration à laquelle la molécule peut être détectée) et la limite de quantification (LOQ). Pour ces derniers, des valeurs ont été exprimées, mais, étant proches de la limite de détection, elles étaient peu fiables. Nous n'avons donc pas pris en compte les valeurs exprimées pour les contaminations se trouvant entre la LOD et la LOQ. Les 17 échantillons restants n'étaient contaminés par aucun néonicotinoïde (cf. annexe 2).

L'imidaclopride a été trouvé dans 19 échantillons (fig. 3). Quatorze étaient entre la LOD et la LOQ et 5 étaient au-dessus de la LOQ (avec des concentrations de 0,014 ng/g, 0,023 ng/g, 0,029 ng/g, 0,089 ng/g et 0,091 ng/g). L'acétamipride a été trouvé dans 9 échantillons. Un seul était au-dessus de la LOQ (avec une concentration de 0,023 ng/g) et les 8 autres se trouvaient entre la LOD et la LOQ. Le thiaclopride a été trouvé dans 3 échantillons. Deux étaient au-dessus de la LOQ (avec pour les deux une concentration de 0,015 ng/g).

Combinaisons de néonicotinoïdes détectées

Sur tous les échantillons contaminés, 16 étaient contaminés par un seul néonicotinoïde. Parmi ceux-là, 12 échantillons étaient contaminés seulement par l'imidaclopride, trois seulement par l'acétamipride et un seulement par le thiaclopride. Six échantillons étaient contaminés par deux néonicotinoïdes. Cinq par l'imidaclopride et l'acétamipride et un par l'imidaclopride et le thiaclopride. Un

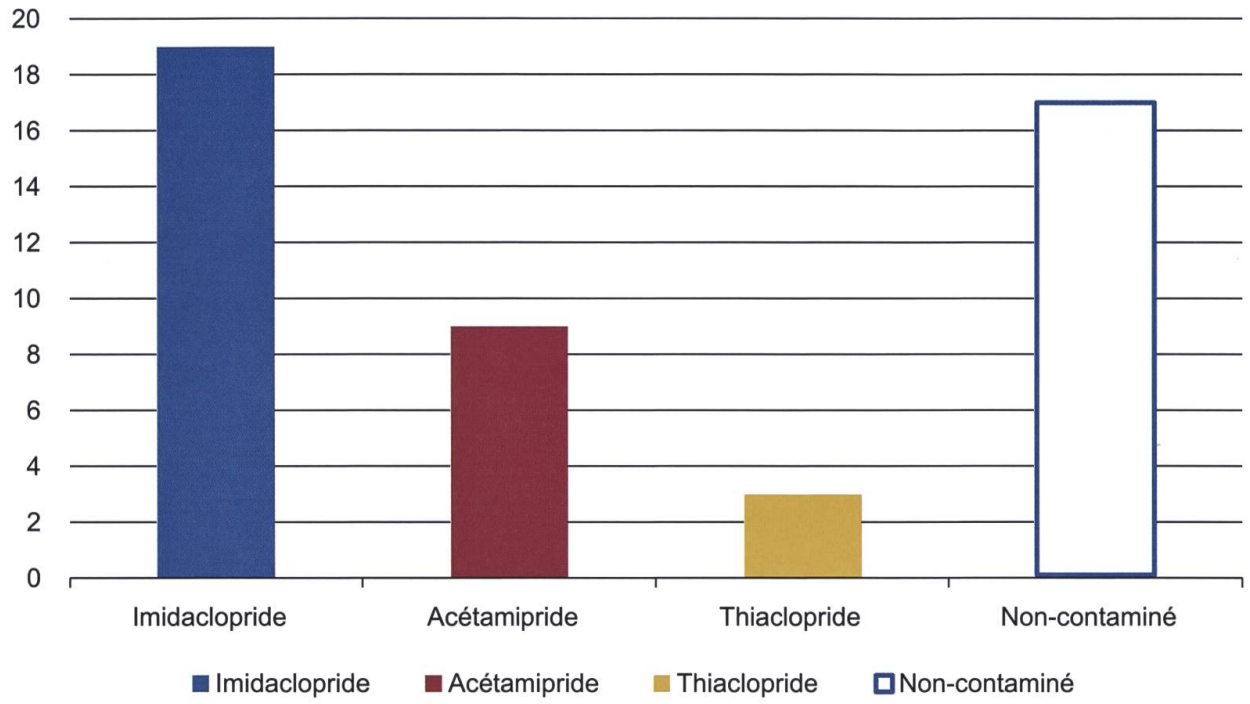

Figure 3. Nombre d'individus contaminés par différentes molécules (imidaclopride, acétamipride et thiaclopride) et nombre d'individus non contaminés.

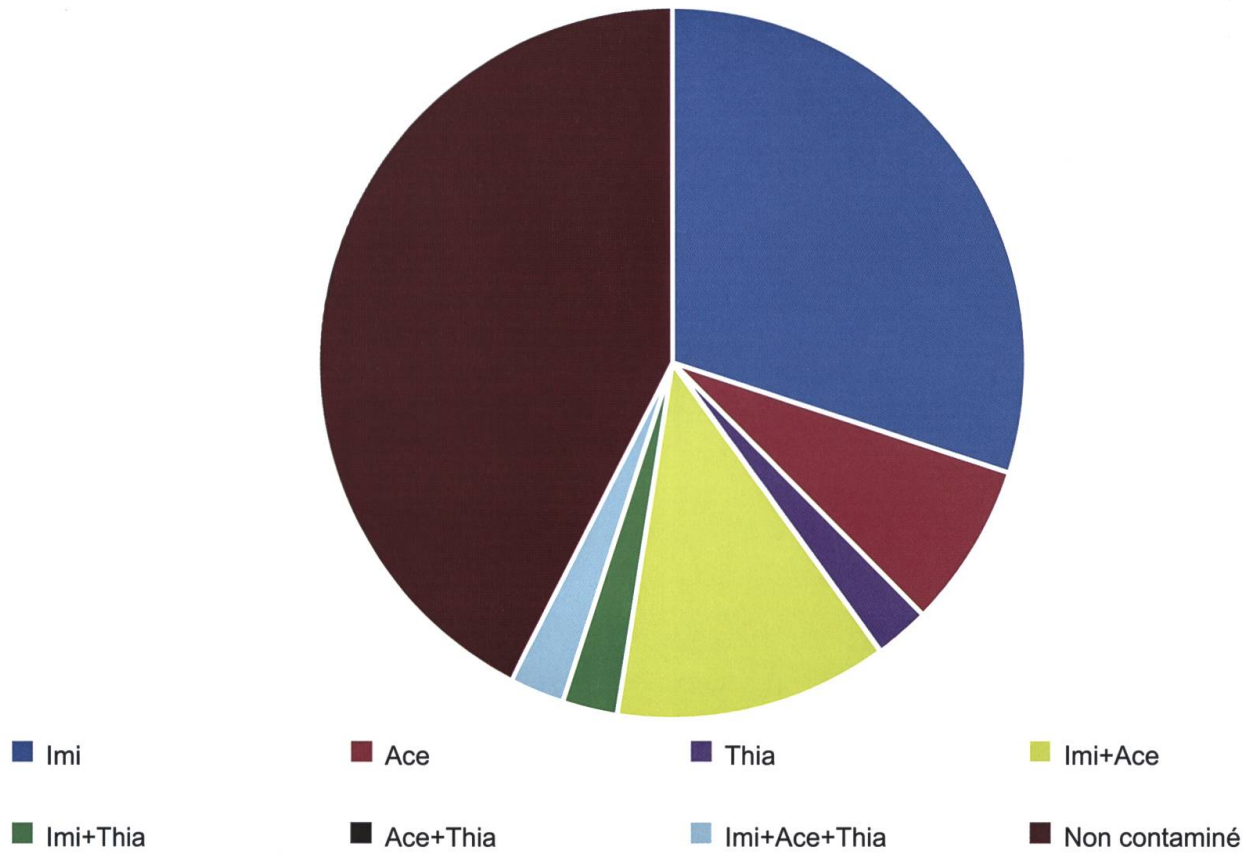

Figure 4. Nombre d'échantillons contaminés par aucun, un, deux ou trois néonicotinoïde(s) avec précision des différents cocktails.
Imi=imidaclopride, Ace=acétamipride et Thia=thiaclopride.

seul échantillon était contaminé par les trois néonicotinoïdes détectés: l'imidaclopride, l'acétamipride et le thiaclopride. Aucun échantillon n'était contaminé par l'acétamipride et le thiaclopride en même temps (fig. 4).

Contamination par zone de pêche

La figure 6 illustre les contaminations par zone de pêche et la figure 7 indique la proportion de moules contaminées par aucun, un, deux ou trois néonicotinoïde(s) par lieu. À Bevaix, toutes les moules analysées étaient contaminées par au moins un néonicotinoïde. Deux étaient contaminées par deux néonicotinoïdes différents et le seul échantillon contaminé par trois néonicotinoïdes différents provenait de cet endroit. À Concise, une moule était contaminée par deux néonicotinoïdes, une par un seul néonicotinoïde et trois n'étaient pas contaminées. À Cudrefin, toutes les moules étaient contaminées. Une moule était contaminée par deux néonicotinoïdes et 4 par un néonicotinoïde. À Portalban et à Chevroux, trois moules étaient contaminées par un néonicotinoïde (toutes entre la LOD et la LOQ) et deux n'étaient pas du tout contaminées. À Vaumarcus, une moule était contaminée par un néonicotinoïde et les 4 autres n'étaient contaminées par aucun néonicotinoïde. À Yvonand, une moule était contaminée par deux néonicotinoïdes, deux par un néonicotinoïde et deux n'étaient pas du tout contaminées. Au Nid-du-Crô, une moule était contaminée par deux néonicotinoïdes et 4 n'étaient contaminées par aucun néonicotinoïde.

DISCUSSION

Limite des méthodes et propositions d'amélioration

Dans certains cas, la chaîne du froid n'a pas été respectée lors de la manipulation des échantillons de moules quagga provenant des différents secteurs du lac. De plus, nous n'avons pas lyophilisé les moules avant de les préparer à l'analyse. Certains individus contenaient donc plus d'eau que d'autres. De plus, sous l'effet du froid, l'eau se trouvant dans le cytoplasme des cellules se transforme en glace. Cette dernière prend plus de place que l'eau liquide et les cellules peuvent éclater. Donc une fois les moules sorties du congélateur et décongelées, elles ont perdu du liquide. Finalement, nous avons remarqué que les moules une fois mortes s'ouvraient, et donc qu'elles ne conservaient probablement pas toute leur eau. C'est pourquoi nous pensons qu'il aurait fallu procéder à une lyophilisation pour plus de précision. Ces problèmes méthodologiques nous amènent donc à sous-estimer la contamination des moules quagga par des néonicotinoïdes.

Nous avons pu, pour des raisons logistiques et financières, analyser seulement 5 individus par lieu de pêche. Comme les contaminations varient beaucoup de moule en moule pour un même lieu, il aurait fallu analyser un plus grand nombre de moules pour avoir des données plus représentatives. Dans l'étude de Barbe (2020), 20 moules quagga avaient été analysées en plus des poissons. Les résultats ont montré qu'en tout, seulement deux moules étaient contaminées par l'acétamipride entre la LOD et la LOQ.

Comparaison entre les contaminations de la chair de D. bugensis et celles de l'eau du lac de Neuchâtel

Les moules quagga étaient plus contaminées que ce qu'a révélé l'analyse de l'eau de certains lieux du lac de Neuchâtel (Aebi, données non publiées). En effet, plus de la moitié des moules analysées étaient contaminées par au moins un néonicotinoïde. Cela pourrait s'expliquer par le fait qu'il s'agit d'organismes filtreurs, pouvant filtrer plus de 1 L d'eau par jour. Ainsi, les molécules contenues dans l'eau qu'elles filtrent s'accumuleraient dans leurs tissus au fil du temps

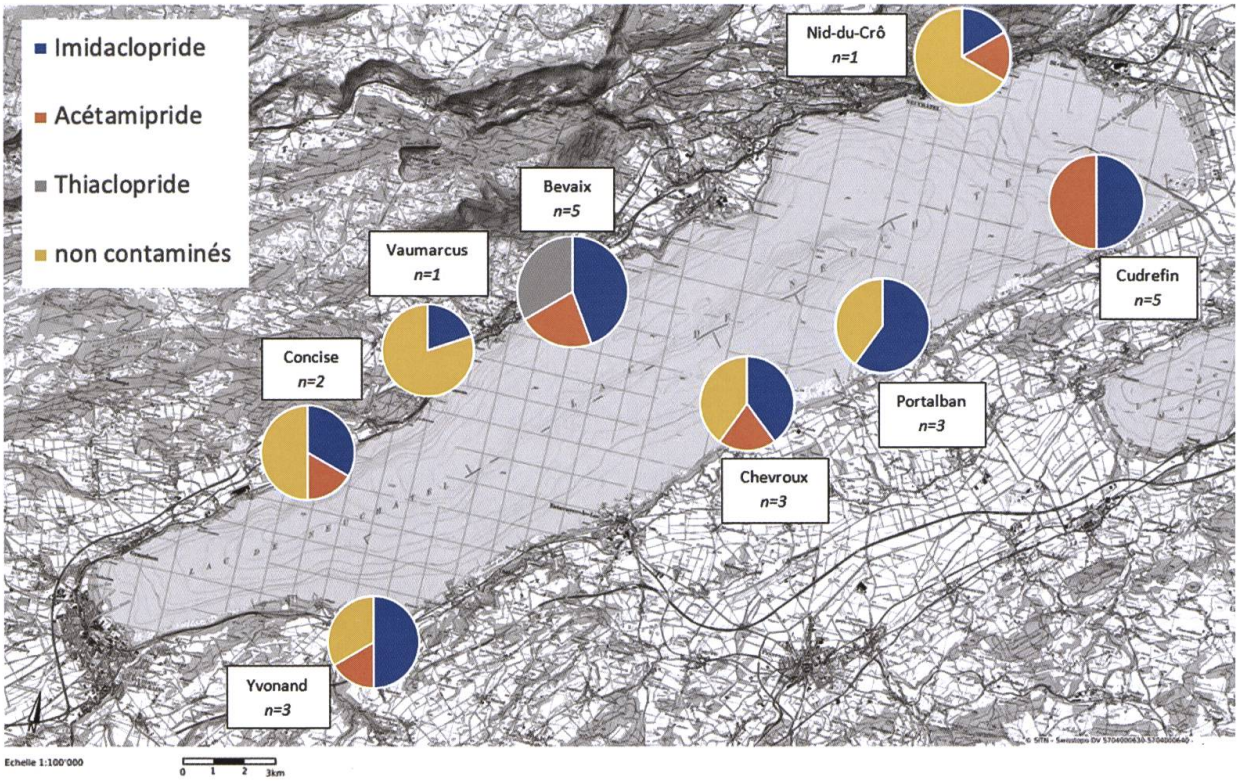

Figure 5. Carte des contaminations par zone de pêche. Les graphiques à secteurs représentent la proportion de contamination par l'imidaclopride, l'acétamipride et le thiaclopride. Les secteurs sont calculés en proportion du nombre total de contaminations. Exemple: Une moule contaminée par deux néonicotinoïdes différents est comptée comme deux contaminations. n représente le nombre d'individus contaminés par au moins un néonicotinoïde. Carte du lac de Neuchâtel prise sur le site du SITN: https://sitn.ne.ch/theme/main

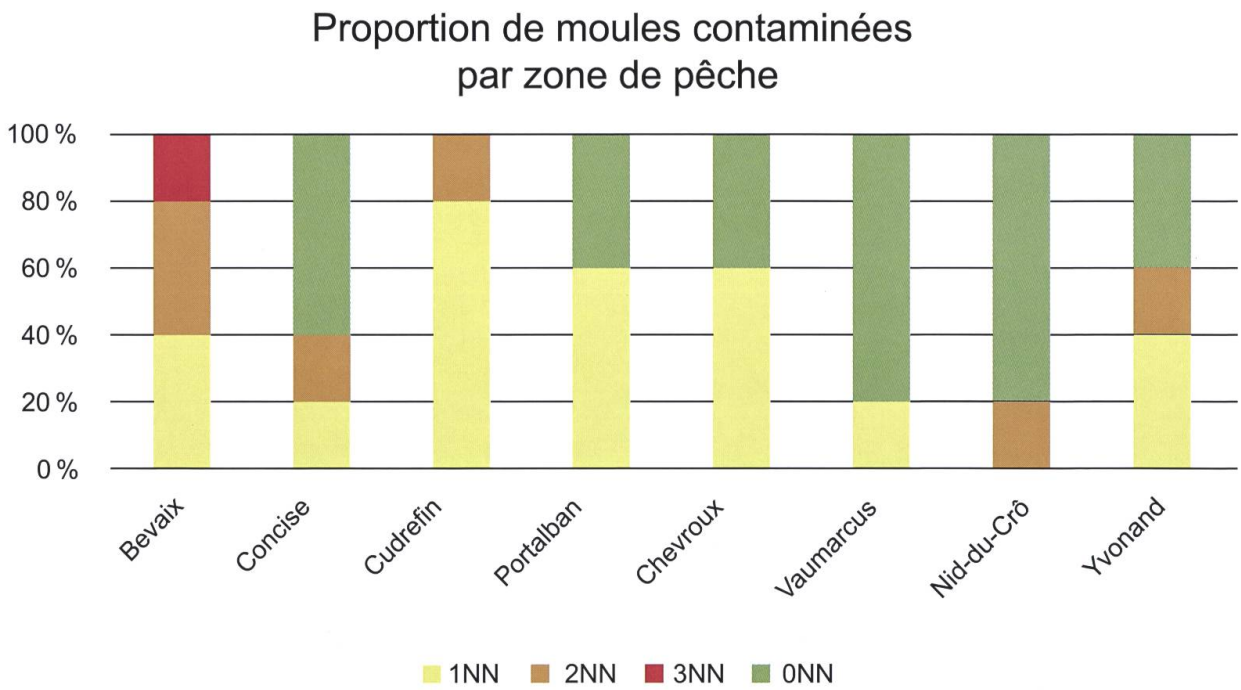

Figure 6. Par zone de pêche: échantillons contaminés par aucun néonicotinoïde, un néonicotinoïde, deux néonicotinoïdes ou trois néonicotinoïdes. NN=néonicotinoïde(s).

et cela expliquerait pourquoi nos échantillons de moules sont plus contaminés que ce qu'ont démontré les analyses d'eau. Les polluants sont donc concentrés dans les tissus de *D. bugensis*.

Comme expliqué précédemment, les moules quagga peuvent accumuler des substances/particules nuisibles, mais elles risquent aussi de contaminer le benthos par le rejet de pseudofèces et de fèces contaminées qui se déposent dans les fonds lacustres. Les organismes benthivores et détritivores pourraient alors se faire contaminer. Les dreissènes peuvent donc engendrer une contamination du réseau trophique et générer une bioaccumulation de ces substances à travers ce dernier. Puisque la biomasse d'un niveau trophique est produite à partir d'une quantité plus importante de biomasse provenant du niveau inférieur, un effet de bioamplification se produit (plus un organisme est placé haut trophiquement, plus la concentration tissulaire des substances/particules toxiques et/ou virions sera élevée). Ceci peut avoir d'importantes conséquences sur les organismes présents dans les écosystèmes colonisés, mais aussi sur nous, puisque nous sommes au sommet de ces réseaux trophiques contaminés.

La moule quagga peut donc être considérée comme espèce ingénieure allogénique pour sa modification du benthos. Elle se nourrit de manière sélective, c'est-à-dire en ingérant la matière organique et en fixant la matière inorganique et les proies indésirées dans du mucus pour former des pseudofèces, les excrétant par son siphon inhalant. Ceci fait précipiter les particules en suspension dans la colonne d'eau puis les fait couler au fond sous forme de pseudofèces. Puisque les courants dans les lacs sont réduits, ces pseudofèces s'accumulent, de même que les excréments des moules et sont uniquement réintégrées dans la colonne d'eau par des poissons, le brassage des eaux, des activités humaines, etc.

Tout ceci modifie la nature de la couche benthique, la rendant plus dense en matière organique, favorisant surtout les espèces constituant la micro/macro sous-benthos (les espèces vivant à l'intérieur de la couche benthique) telles que les gammares, mais aussi les détritivores/benthivores en général, qui utilisent les pseudofèces comme habitat et/ou comme source de nourriture. La présence de contaminant comme les néonicotinoïdes pourrait également être altérée par ces caractéristiques.

Combinaisons de néonicotinoïdes détectées

Nous avons pu observer plusieurs combinaisons de néonicotinoïdes dans les moules analysées. Les effets de l'exposition à plusieurs néonicotinoïdes, appelés « effets cocktails », ont seulement récemment commencé à être étudiés. Maloney *et al.* (2017) ont démontré l'existence d'une toxicité cumulative entre différents néonicotinoïdes. Cette recherche a donc prouvé que l'exposition à un cocktail de néonicotinoïdes est plus nocive que l'exposition à un seul néonicotinoïde.

Présence fréquente de l'imidaclopride dans nos échantillons

Dans nos échantillons, l'imidaclopride est la substance la plus souvent retrouvée (19 fois en tout contre 9 fois pour l'acétamipride et trois fois pour le thiaclopride). Quatorze moules étaient contaminées par cette substance à des concentrations se trouvant entre la LOD et la LOQ et 5 moules étaient contaminées au-dessus de la LOQ, avec des concentrations allant jusqu'à 0,091 ng/g, ce qui est la plus haute valeur détectée dans nos échantillons. L'imidaclopride a aussi été détecté dans tous les différents types de cocktails détectés. Son usage étant interdit en plein air dès janvier 2019 par l'OFAG (Office fédéral de l'agriculture), cela témoigne de la forte persistance de ce néonicotinoïde dans l'environnement. En effet, l'imidaclopride a une demi-vie allant jusqu'à environ 1000 jours dans les sols (Hopwood *et al.*, 2012).

Contamination par zone de pêche

Les contaminations trouvées dans nos échantillons varient considérablement d'une zone de pêche à l'autre. La contamination importante détectée à Bevaix pourrait s'expliquer par les cultures plantées dans cette région. Les produits utilisés pour les traiter s'infiltrent dans les sols avant de s'écouler dans le lac. À Concise, il s'agit d'une situation de contamination moyenne. Il n'y a rien de marquant dans le paysage qui pourrait significativement influencer ces contaminations. Cudrefin se situe proche de l'arrivée du canal de la Broye, un des principaux affluents du lac, qui passe à travers des zones très cultivées. La région de la Broye comporte beaucoup de cultures de tabac, de colza et de betterave qui requièrent l'utilisation d'insecticides contenant des néonicotinoïdes. À nouveau, il est fort possible que les molécules utilisées pour le traitement des cultures s'infiltrent dans le sol avant de finir dans ce cours d'eau puis dans le lac. Les faibles contaminations détectées à Portalban et à Chevroux pourraient s'expliquer par la présence de la Grande Cariçaie, une vaste zone en grande partie protégée qui comporte notamment des marais et des zones boisées, séparant ainsi le lac des cultures agricoles (fig. 7). Les forêts jouent un rôle important dans l'épuration des eaux souterraines, ainsi, l'eau qui s'infiltre dans ces sols puis s'écoule dans le lac contient peu de néonicotinoïdes.

Le faible taux de contamination de Vaumarcus pourrait s'expliquer par le fait qu'il y a peu de cultures dans cette zone-là. De plus, les individus analysés avaient des poids légers. En effet, la moyenne des 5 individus pêchés à Vaumarcus et sélectionnés pour l'analyse équivalait à 0,26 g, ce qui constitue le poids le plus léger des 8 moyennes (données non montrées). On peut donc imaginer que ces moules étaient assez jeunes et qu'elles n'ont donc pas accumulé de grandes quantités de néonicotinoïdes dans leurs tissus par filtration au cours de leurs vies.

La présence de néonicotinoïdes à Yvonand peut s'expliquer de la manière suivante : la Mentue est une rivière qui s'écoule dans le lac à Yvonand. Son débit moyen annuel est du même ordre que celui du Seyon (ANTONIAZZA *et al.*, 2004). Tout comme ce dernier, elle est entourée de champs cultivés. En effet, il y a beaucoup de cultures de betteraves dans cette zone-là. Ces dernières étaient traitées jusqu'en 2019 par des insecticides contenant de l'imidaclopride. Ce néonicotinoïde, comme mentionné plus haut, persiste longtemps dans les sols. Nous pouvons donc imaginer que, comme l'a montré KÄSER (2020) pour le Seyon, les substances utilisées pour traiter les cultures bordant la Mentue s'infiltrent dans le sol et finissent ensuite dans cette rivière puis dans le lac.

Le faible taux de contamination trouvé au Nid-du-Crô pourrait s'expliquer par le fait que les moules ont été pêchées près de la ville de Neuchâtel qui n'est pas une zone cultivée. La seule contamination trouvée pourrait s'expliquer par le fait que le port du Nid-du-Crô se situe proche de la station d'épuration de Neuchâtel. Cette dernière ne retient vraisemblablement pas les néonicotinoïdes.

Une analyse d'eau provenant de différents endroits du lac de Neuchâtel et de plusieurs plans d'eau des environs a été réalisée entre 2019 et 2020. Les résultats de cette analyse n'ont révélé presque aucune trace de néonicotinoïde. Seuls 4 échantillons récoltés dans le Seyon (trois dans le Gor du Vauseyon et un à Valangin) ont révélé d'infimes traces de clothianidine (les concentrations allaient de 0,0023 à 0,006 ng/mL) et d'imidaclopride (les concentrations allaient de 0,0014 à 0,0023 ng/mL). Tous les autres échantillons se trouvaient en dessous de la LOD (cf. annexe 2). Il faut remarquer que les résultats d'analyses d'eau sont très variables. Une analyse effectuée en été 2019 a révélé une concentration de 9,79 ng/mL dans le Seyon (AEBI, données non publiées).

Pertinence de l'utilisation de D. bugensis en tant que bio-indicateur

Aspect pratique

Les moules quagga sont faciles à pêcher étant donné qu'on les trouve en grande quantité en tous lieux du lac de Neuchâtel. La plupart du temps, les pêcheurs récupéraient simplement celles accrochées à leurs filets. En plus de cela, ce sont des organismes qui étaient aisément manipulables lors des pesées et des mesures. Il faut néanmoins rappeler que les critères de détermination de la moule quagga ne permettent pas à coup sûr de distinguer chaque individu de la moule zébrée.

Comparaison avec d'autres études menées dans le canton de Neuchâtel et ses environs

Nous avons comparé notre étude avec celle de Barbe (2020) pour répondre à la question de recherche demandant si la contamination de la chair des moules quagga était comparable à celle des poissons.

Les foies (n=184) de différentes espèces de poissons des eaux des cantons de Neuchâtel, du Jura et de Vaud ont été analysés dans l'étude de Barbe (2020). Lors de cette recherche, la décision d'analyser les foies des poissons a été prise, car, le foie étant un organe filtreur, il semblait être le meilleur outil pour la détection de pesticides dans les poissons. Cette étude met aussi en avant l'intérêt d'utiliser des indicateurs biologiques tels que les poissons afin de pouvoir estimer les contaminations des eaux par les pesticides.

Les résultats de l'analyse ont montré qu'au total, 74% des poissons étaient contaminés par au moins un néonicotinoïde à une concentration au-dessus de la LOD. Plus de la moitié (54%) des poissons analysés étaient contaminés par au moins un néonicotinoïde à une concentration au-dessus de la limite de quantification. Toutes les perches pêchées dans le lac de Neuchâtel (n=24) étaient contaminées par au moins une substance (concentration moyenne de 0,059 ng/g). Cette étude a démontré que les poissons prédateurs, omnivores et benthiques étaient plus régulièrement contaminés (83%) que les autres poissons (57%) et que le régime alimentaire de chaque espèce avait donc un effet sur les contaminations. De plus, il semble que l'intensité de l'agriculture dans les bassins versants des rivières échantillonnées exercerait une influence sur la contamination des poissons capturés. L'auteure de cette étude souligne que, comme la plupart des échantillons étaient contaminés, l'utilisation de sentinelles comme les poissons semble être essentielle pour évaluer l'état des eaux. L'auteure conclut que les poissons peuvent être utilisés comme bio-indicateurs pour l'analyse des néonicotinoïdes, car ils permettent d'identifier précisément la présence de néonicotinoïdes dans leur foie. Barbe (2020) ajoute que d'après Kaczyński *et al.* (2017), l'analyse de poissons par le biais d'une HPLC-MS est difficile, car il est compliqué d'obtenir une solution de bonne qualité pour l'analyse, parce que les poissons sont trop graisseux. La solution à analyser contient plusieurs composants ayant des propriétés similaires aux pesticides ciblés qui interfèrent dans l'analyse (Kaczynski *et al.*, 2017). Barbe (2020) insiste donc sur le fait que les poissons peuvent être utilisés comme bio-indicateurs, mais qu'il faudrait résoudre ce problème. La chair des moules quagga est moins graisseuse donc nous n'avons pas rencontré le même problème.

Nous avons également comparé nos résultats avec la recherche menée par Käser (2020), qui a analysé des invertébrés aquatiques du Seyon. Les 10 échantillons analysés étaient constitués de plusieurs individus réunis. Les résultats obtenus exprimaient donc une valeur moyenne propre à un ensemble d'organismes. Elle a démontré que, de manière générale, chaque échantillon d'invertébrés aquatiques analysé était contaminé par au moins un néonicotinoïde. Les concentrations obtenues (sans prendre en compte une valeur extrême de 7,375 ng/g trouvée dans

un des échantillons) varient entre 0,0275 et 0,806 ng/g. KÄSER (2020) a précisé que ces valeurs correspondaient avec celles obtenues dans une étude menée en 2016 sur les concentrations de pesticides dans des invertébrés aquatiques du Danube, dans laquelle les résultats ont mis en évidence des concentrations allant de 0,1 à 0,53 ng/g (INOSTROZA *et al.*, 2016).

Les analyses d'eau du lac décrites plus haut ont démontré la présence de néonicotinoïdes dans le Seyon. Il n'est donc pas étonnant que les organismes vivants dans ce cours d'eau soient eux aussi contaminés. Cependant, les concentrations trouvées dans les invertébrés étaient bien plus élevées que ce qu'ont démontré les analyses de l'eau du Seyon (les concentrations allaient de 0,006 à 0,0023 ng/mL). KÄSER (2020) a expliqué les grandes différences de contamination entre les différents taxons par le phénomène de bioamplification, qu'elle décrit comme «*un terme qui désigne l'accroissement des concentrations de certaines substances à chaque stade du réseau trophique*». Le taxon le plus contaminé étant effectivement carnivore, en consommant ses proies, il avale ainsi les substances accumulées dans ces dernières au cours de leurs vies. Le phénomène de bioamplification explique donc pourquoi les néonicotinoïdes détectés dans les échantillons d'invertébrés se trouvaient à des concentrations plus élevées que celles de l'eau du Seyon. Donc, tout comme dans les moules, nous pouvons constater que les néonicotinoïdes sont concentrés dans les invertébrés, ce qui en fait de bonnes sentinelles de leur environnement.

Nous pouvons revenir à la définition donnée par MERSCH (1993) pour les indicateurs biologiques: les indicateurs biologiques fournissent une indication moyenne d'une situation de pollution par leur présence permanente. De plus, les polluants y sont accumulés à des concentrations supérieures à celles présentes dans les divers compartiments inertes des écosystèmes (le sol, l'air et l'eau). Contrairement aux invertébrés aquatiques et aux poissons, *D. bugensis* vit de manière fixée, ce qui la rapproche de la définition. Les études de KÄSER (2020) et de BARBE (2020) ont mis en évidence des concentrations détectées dans les organismes analysés supérieures à celles des eaux dans lesquelles ils vivaient. Cela montre que les néonicotinoïdes sont concentrés dans les invertébrés aquatiques et dans les foies des poissons. Cependant, *D. bugensis* filtre du plancton et des matières en suspension pour se nourrir. Il est très probable que les éventuels néonicotinoïdes se trouvant dans ce qu'elle consomme se trouvent à des concentrations inférieures à celles se trouvant dans les proies des invertébrés aquatiques ou dans celles des poissons omnivores ou carnivores. *Dreissena bugensis* auraient donc une capacité de bioaccumulation, c'est-à-dire une capacité à absorber et concentrer progressivement une substance présente dans son environnement, supérieure à celle des invertébrés aquatiques et des poissons. Nous constatons aussi que les moules quagga sont plus faciles à capturer que les poissons. Étant une espèce invasive présente en grande quantité, *D. bugensis* peut être utilisée sans souci de nuire à la biodiversité. En outre, *D. bugensis* a envahi le lac de Constance jusqu'à 180 m de profondeur. Il est donc très probable qu'elle soit présente dans le lac de Neuchâtel jusqu'à 153 m de profondeur, sa profondeur maximale (ANTONIAZZA *et al.*, 2004). Cela signifie qu'elle est présente dans tous les compartiments du lac. Comme cette espèce vit de manière fixée au même endroit pendant plusieurs années, nous pouvons imaginer qu'il est possible d'obtenir l'état de pollution d'un site précis du lac de Neuchâtel. En conclusion, nous pensons que *D. bugensis* constitue un bon bio-indicateur.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette recherche a permis de valider l'utilisation de la moule quagga en tant qu'espèce bio-indicatrice ou sentinelle afin d'estimer la contamination des eaux par les néonicotinoïdes.

Malgré la petite quantité d'échantillons, l'analyse de la chair de 40 individus de *D. bugensis* a démontré que le lac de Neuchâtel est contaminé par les néonicotinoïdes. Trois substances ont été détectées, l'imidaclopride, l'acétamipride et le thiaclopride.

L'analyse a également mis en évidence l'existence de certains cocktails de molécules. En effet, cinq échantillons étaient contaminés par l'imidaclopride et l'acétamipride, un par l'imidaclopride et le thiaclopride et un par l'imidaclopride, l'acétamipride et le thiaclopride. C'est seulement récemment que les scientifiques ont commencé à étudier la toxicité cumulative des néonicotinoïdes. Par le biais d'études comme la nôtre, c'est-à-dire qui étudient la contamination d'organismes dans leurs milieux naturels, il est possible d'évaluer quelles combinaisons de néonicotinoïdes sont les plus fréquemment retrouvées. Ensuite, des recherches pourraient tester ces cocktails de molécules afin de documenter les effets qu'ils ont sur le vivant.

Ces résultats témoignent une fois de plus de l'omniprésence de ces molécules dans notre environnement. Plusieurs études ont démontré l'effet néfaste des néonicotinoïdes sur la santé humaine (Cimino *et al.*, 2017) et sur l'environnement (Pisa *et al.*, 2017).

Cette recherche nous a permis de constater que *D. bugensis* contenait beaucoup d'avantages qui font de cette espèce un bio-indicateur pertinent. Étant de plus présente en grande quantité dans le lac de Neuchâtel, nous pouvons dès lors imaginer l'utiliser dans d'autres recherches afin de pouvoir dresser un état des lieux complet de la contamination du lac de Neuchâtel par les néonicotinoïdes ou d'autres contaminants comme les autres produits phytosanitaires, les métaux lourds ou les résidus médicamenteux.

REMERCIEMENTS

Nous remercions les pêcheurs du lac de Neuchâtel qui ont accepté de participer à ce projet en nous fournissant les moules quagga, Sylvie Guinchard et Gaétan Glauser de la Plateforme neuchâteloise de chimie analytique pour l'analyse HPLC-MS.

BIBLIOGRAPHIE

ANTONIAZZA, M., KAENEL, G., RUEGG, J., PERRIN, C. S. & TISSOT, L. 2004. *Le lac de Neuchâtel, miroir d'une région. Éditions Gilles Attinger et Association du Livre du Millénaire de Cudrefin (Hauterive-Neuchâtel)* : 291.

BARBE, L. 2020. *Using fish to assess the risk and sources of contamination in rivers and lakes by neonicotinoids insecticides in West Switzerland. Travail de Master, Université de Neuchâtel* : XX.

CIMINO, A. M., BOYLES, A. L., THAYER, K. A. & PERRY, M. J. 2017. Effects of Neonicotinoid Pesticide Exposure on Human Health: A Systematic Review. *Environmental Health Perspect* 125 : 155-162.

GOULSON, D. 2013. An overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides. *The Authors Journal of Applied Ecology* 50 : 977-987.

HOPWOOD, J., VAUGHAN, M., SHEPHERD, M., BIDDINGER, D., MADER, E., BLACK, S. H. & MAZZACANO, C. 2012. *Are neonicotinoids killing bees? A review of research into the effects of*

neonicotinoid insecticides on bees, with recommendations for action. Xerces Society for Invertebrate Conservation. USA.

INOSTROZA, P. A., WICHT, A. J., HUBER, T., NAGY, C., BRACK, W. & KRAUSS, M. 2016. Body burden of pesticides and wastewater-derived pollutants on freshwater invertebrates: method development and application in the Danube River. *Environmental pollution* 214 : 77-85.

KACZYŃSKI, P., ŁOZOWICKA, B., PERKOWSKI, M. & SZABUŃKO, J. 2017. Multiclass pesticide residue analysis in fish muscle and liver on one-step extraction-cleanup strategy coupled with liquid chromatography tandem mass spectrometry. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 138 : 179-189.

KAMMOUN, S., MULHAUSER, B., AEBI, A., MITCHELL, E. A. D. & GLAUSER, G. 2019. Ultra-trace level determination of neonicotinoids in honey as a tool for assessing environmental contamination. *Environmental Pollution* 247 : 964-972.

KÄSER, J. 2020. *Invertébrés aquatiques : un état des lieux pour le Seyon. Travail de maturité, lycée Denis-de-Rougemont, Neuchâtel* : 33.

KÄSER, J., GLAUSER, G. & AEBI, A. 2021. Evidence of neonicotinoid contamination in aquatic invertebrates : an assessment of the current state of the Seyon river in the canton of Neuchâtel, Switzerland. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 141 : 5-24.

MALONEY, E. M., MORRISSEY, C. A., HEADLEY, J. V., PERU, K. M. & LIBER, K. 2017. Cumulative toxicity of neonicotinoid insecticide mixtures to *Chironomus dilutus* under acute exposure scenarios. *Environmental Toxicology and Chemistry* 36 : 3091-3101.

MERSCH, J. 1993. *Modalités d'utilisation de la moule zébrée* Dreissena polymorpha *en tant qu'indicateur biologique de la contamination des écosystèmes d'eau douce par les métaux lourds : comparaison avec un autre type d'organismes sentinelles, les mousses aquatiques étude dans le bassin de la Moselle. Thèse de doctorat. Université Paul Verlaine. Metz.*

MORRISSEY, C. A., MINEAU, P., DEVRIES, J. H., SÁNCHEZ-BAYO, F., LIESS, M., CAVALLARO, M. C. & LIBER, K. 2015. Neonicotinoid contamination of global surface waters and associated risk to aquatic invertebrates: a review. *Environment International* 74 : 291-303.

PHILLIPS, D. J. 1977. The use of biological indicator organisms to monitor trace metal pollution in marine and estuarine environments: a review. *Environmental Pollution* 13(4) : 281-317.

PISA, L., GOULSON, D., YANG, E. C., GIBBONS, D., SÁNCHEZ-BAYO, F., MITCHELL, E. A. D. & BONMATIN, J. M. 2017. An update of the worldwide Integrated Assessment (WIA) on systemic insecticides. Part 2 : impact on organisms and ecosystems. *Environmental Science and Pollution Research* 28(10) : 11749-11797.

SUR, R. & STORK, A. 2003. Uptake, translocation and metabolism of imidacloprid in plants. *Bulletin of Insectology* 56 : 35-40.

TOMIZAWA, M. & CASIDA, J. E. 2005. Neonicotinoid insecticide toxicology: mechanisms of selective action. *Annual Reviews of Pharmacology and Toxicology* 45 : 247-268.

VANCOLEN, S. 2008. *Analyses statistiques des signaux d'incréments sur des coquilles lacustres (*Unionidae*) : relations avec les cycles de croissance. Thèse de doctorat. Université de Neuchâtel* : 215.

WITTMER, I., MOSCHET, C., SIMOVIC, J., SINGER, H., STAMM, C., HOLLENDER, J., JUNGHANS, M. & LEU, C. 2014. Plus de 100 pesticides dans les cours d'eau. Une forte pollution des cours d'eau suisses révélée par le programme NAWA SPE. *Aqua & Gas* 11 : 8-79.

YAMAMURO, M., KOMURO, T., KAMIYA, H., KATO, T., HASEGAWA, H. & KAMEDA, Y. 2019. Neonicotinoids disrupt aquatic food webs and decrease fishery yields. *Science* 366(6465) : 620-623.

ANNEXE 1 : PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE

Analyse de moules quagga

Protocole d'échantillonnage

Le travail effectué par Louise Barbe a montré les résultats suivants pour les poissons analysés : 74 % des lottes, 79 % des chevaines, 54 % des corégones, 89 % des brochets, 45 % des gardons, 69 % des silures, et 100 % des perches analysées sont contaminés par au moins un néonicotinoïde.

Afin de pouvoir encore mieux d'écrire l'état de contamination du lac par les néonicotinoïdes, nous pensons judicieux de rechercher leur présence dans des échantillons de moules quagga pêchées sur plusieurs sites du lac de Neuchâtel.

Afin de garantir la traçabilité des échantillons de moules quagga récupérés par les pêcheurs, les informations suivantes doivent être lisiblement inscrites sur chaque échantillon, à l'aide d'un stylo indélébile, directement sur le sachet plastique :

- date du jour de pêche ;
- lieu/zone de pêche (voir le quadrillage du lac en 9 zones) ;
- nom du pêcheur.

Pour chaque zone de pêche, nous souhaitons analyser 10 à 20 individus. Si possible, échantillonnez des individus de tailles (et donc d'âges) différentes.

Placer les moules dans un sachet plastique bien fermé et étiqueté et le déposer rapidement au congélateur.

Nous viendrons chercher les échantillons au plus tard le 17.5.2021.

Afin de nous organiser, merci de nous dire quand l'échantillon est disponible, par SMS au 076 xxx xx xx en indiquant votre nom et l'adresse à laquelle chercher l'échantillon.

Pour toute question, merci de prendre contact avec Alex Aebi au 076 xxx xx xx ou par email à l'adresse suivante : xxxx.xxxx@xxxx.ch

UNIVERSITÉ DE NEUCHÂTEL

Prof. Alex Aebi

Neuchâtel, le 30 avril 2021

ANNEXE 2: TABLEAU DES RÉSULTATS DE L'ANALYSE DES MOULES AVEC LES CONCENTRATIONS EN NG/G

No de l'échantillon	Lieu	Thiametoxam	Clothianidin	Imidacloprid (ng/g)	Acetamiprid (ng/g)	Thiacloprid (ng/g)	Flupyradifurone	Sulfoxaflor
1	Bevaix	<LOD	<LOD	**0,089**	**< LOD**	**0,015**	**< LOD**	**< LOD**
2	Bevaix	<LOD	<LOD	**LOD < x < LOQ**	**LOD < x < LOQ**	**LOD < x < LOQ**	**< LOD**	**< LOD**
3	Bevaix	<LOD	<LOD	**LOD < x < LOQ**	**LOD < x < LOQ**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
4	Bevaix	<LOD	<LOD	**0,091**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
5	Bevaix	<LOD	<LOD	**< LOD**	**< LOD**	**0,015**	**< LOD**	**< LOD**
6	Concise	<LOD	<LOD	**0,014**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
7	Concise	<LOD	<LOD	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
8	Concise	<LOD	<LOD	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
9	Concise	<LOD	<LOD	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
10	Concise	<LOD	<LOD	**LOD < x < LOQ**	**0,023**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
11	Cudrefin	<LOD	<LOD	**LOD < x < LOQ**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
12	Cudrefin	<LOD	<LOD	**LOD < x < LOQ**	**LOD < x < LOQ**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
13	Cudrefin	<LOD	<LOD	**LOD < x < LOQ**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
14	Cudrefin	<LOD	<LOD	**< LOD**	**LOD < x < LOQ**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
15	Cudrefin	<LOD	<LOD	**< LOD**	**LOD < x < LOQ**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
16	Portalban	<LOD	<LOD	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
17	Portalban	<LOD	<LOD	**LOD < x < LOQ**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
18	Portalban	<LOD	<LOD	**LOD < x < LOQ**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
19	Portalban	<LOD	<LOD	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
20	Portalban	<LOD	<LOD	**LOD < x < LOQ**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
21	Chevroux	<LOD	<LOD	**LOD < x < LOQ**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
22	Chevroux	<LOD	<LOD	**< LOD**	**LOD < x < LOQ**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
23	Chevroux	<LOD	<LOD	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
24	Chevroux	<LOD	<LOD	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**

No de l'échantillon	Lieu	Thiametoxam	Clothianidin	Imidacloprid (ng/g)	Acetamiprid (ng/g)	Thiacloprid (ng/g)	Flupyradifurone	Sulfoxaflor
25	Chevroux	<LOD	<LOD	**LOD < x < LOQ**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
26	Vaumarcus	<LOD	<LOD	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
27	Vaumarcus	<LOD	<LOD	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
28	Vaumarcus	<LOD	<LOD	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
29	Vaumarcus	<LOD	<LOD	**LOD < x < LOQ**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
30	Vaumarcus	<LOD	<LOD	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
31	Nid-du-Crô	<LOD	<LOD	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
32	Nid-du-Crô	<LOD	<LOD	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
33	Nid-du-Crô	<LOD	<LOD	**LOD < x < LOQ**	**LOD < x < LOQ**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
34	Nid-du-Crô	<LOD	<LOD	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
35	Nid-du-Crô	<LOD	<LOD	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
36	Yvonand	<LOD	<LOD	**0,029**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
37	Yvonand	<LOD	<LOD	**LOD < x < LOQ**	**LOD < x < LOQ**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
38	Yvonand	<LOD	<LOD	**0,023**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
39	Yvonand	<LOD	<LOD	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**
40	Yvonand	<LOD	<LOD	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**	**< LOD**