

Historique de propagation de la corbicule, *Corbicula fluminea* (Bivalvia : Corbiculidae), en région Centre - Val de Loire (France)

History of the propagation of corbicula, *Corbicula fluminea* (Bivalvia : Corbiculidae), in rivers of the "Centre - Val de Loire" region (France)

Anne-Sophie Hesse, Laboratoire d'hydrobiologie de la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de la région Centre - Val de Loire (DREAL Centre - Val de Loire), 5 avenue Buffon, CS 96407, 45064 Orléans Cedex 2, anne-sophie.hesse@developpement-durable.gouv.fr

Mélanie Bérenger, Laboratoire d'hydrobiologie de la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de la région Centre - Val de Loire (DREAL Centre - Val de Loire), 5 avenue Buffon, CS 96407, 45064 Orléans Cedex 2

Véronique de Vannoise, Laboratoire d'hydrobiologie de la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de la région Centre - Val de Loire (DREAL Centre - Val de Loire), 5 avenue Buffon, CS 96407, 45064 Orléans Cedex 2

Sylvain Mangot, Laboratoire d'hydrobiologie de la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de la région Centre - Val de Loire (DREAL Centre - Val de Loire), 5 avenue Buffon, CS 96407, 45064 Orléans Cedex 2

Reçu le 19 décembre 2014, accepté le 07 octobre 2015

Résumé : La Corbicule asiatique *Corbicula fluminea* est un mollusque originaire d'Asie qui a rapidement colonisé le réseau hydrographique français. La littérature qui fait référence dans le domaine date son arrivée en France en 1977 via l'estuaire de la Dordogne. Or, notre étude montre que *Corbicula fluminea* a été recensée pour la première fois en région Centre - Val de Loire en 1976 sur la Loire. Plus précisément, elle montre qu'en 20 ans, des populations pérennes se sont installées sur l'ensemble de l'axe Loire présent en région Centre - Val de Loire en se propageant de l'aval vers l'amont. La Corbicule asiatique s'est ensuite très rapidement propagée au sein des principaux affluents du fleuve à une vitesse augmentant avec la largeur du cours d'eau et allant de 2 à 22 km.an⁻¹. Elle poursuit à l'heure actuelle sa propagation vers l'amont des bassins versants en colonisant des cours d'eau de toute taille, permanents ou temporaires, ainsi que des milieux lenticques tels que des étangs. Le premier recensement d'un taxon de corbicule sur un site a toujours été suivi de l'établissement d'une population pérenne systématiquement retrouvée lors des prélèvements des années suivantes. La corbicule, organisme fouisseur, a été capturée dans des substrats minéraux de granulométrie variée, allant du sable aux pierres. Puissant filtreur, elle influence par ailleurs significativement la teneur en phytoplancton. Cette étude conclue à une influence significative de la corbicule sur la concentration en chlorophylle-*a* pour l'ensemble des principaux affluents de la Loire (Cher, Vienne, Indre, Beuvron) ; cette dernière ayant chuté de 95% en moyenne. La baisse de la concentration en chlorophylle-*a* du fleuve Loire lui-même n'aurait été qu'un résultat indirect de la baisse de ce paramètre sur les affluents, aucun lien entre la densité de corbicules et la concentration en chlorophylle-*a* du fleuve n'ayant pu être établi.

Mots clés : Corbicule asiatique, propagation, région Centre - Val de Loire, Loire, phytoplancton, chlorophylle-*a*

Abstract : *Corbicula fluminea* is a mollusk from Asia that has rapidly colonized the French water system. The literature that is cited as reference for this mollusk concludes that it arrived in France in 1977 via the estuary of the Dordogne. However, our study shows that it was recorded for the first time in 1976 in the « Centre - Val de Loire » region in the Loire river. More precisely, it shows that in 20 years it entirely colonized the Loire river in this region from downstream. It also rapidly colonized the main tributaries of this river at a rate that increases with the width of the stream and from 2 to 22 km / year. It continues spreading upstream by colonizing streams of any size, whether permanent or temporary, and lentic environments such as ponds. The first capture of a *Corbicula fluminea* taxon on a site has always been followed by the establishment of a permanent population systematically recovered during the following years sampling. *Corbicula fluminea*, burrowing organism, was identified in mineral substrates of varying size, ranging from sand to rocks. Powerful screener, *Corbicula fluminea* also significantly influences the content of phytoplankton. A significant decrease in chlorophyll-*a* concentration (a mean of 95%) was observed in all the major tributaries of the Loire river (Cher, Vienne, Indre, Beuvron) parallel to the first captures of the mollusk. On the Loire river, *Corbicula* would have indirect effects on phytoplankton. The concentration of chlorophyll-*a* showed a decrease when the concentration of chlorophyll-*a* in its tributaries began to decrease, no link between the density of *Corbicula fluminea* and the concentration of chlorophyll-*a* could not be established.

Key words : *Corbicula*, Asiatic clam, propagation, "Centre - Val de Loire" region, Loire river, phytoplankton, chlorophyll-*a*

Introduction

La France compte à l'heure actuelle douze espèces de mollusques invasifs (Beisel *et al.* 2010). Parmi ces espèces, *Corbicula fluminea* (O.F. Müller, 1774), appelée couramment « corbicule », a colonisé le territoire français à la fin du 20^{ème} siècle (Mouthon 1981). Jusqu'au début de ce siècle, le genre *Corbicula* était présent uniquement en Afrique, en Asie et en Australie (Morton 1986). En 1980, *Corbicula fluminea* est signalée pour la première fois en France dans l'estuaire de la Dordogne (Mouthon 1981). L'espèce a dès lors colonisé très rapidement l'ensemble du réseau hydrographique de France continentale et au début des années 2000, sa présence est avérée sur la totalité des bassins hydrographiques (Brancotte & Vincent 2002). En région Centre - Val de Loire, la première découverte mentionnée dans la littérature de *Corbicula fluminea* date de 1990 sur la Loire (Mouthon 2000, Brancotte & Vincent 2002). Le mollusque a ensuite rapidement été trouvé dans des affluents du fleuve, notamment le Cher et la Vienne (Mouthon 2000, Brancotte & Vincent 2002). Mouthon (2000) souligne qu'à la date d'écriture de son article, il était encore absent de l'Indre et que les recherches effectuées sur le Loir s'étaient toujours révélées négatives. Il s'agit, à notre connaissance, des données les plus récentes disponibles dans la littérature sur *Corbicula fluminea* en région Centre - Val

de Loire. Cette espèce ayant montré une propagation très rapide dans le réseau hydrographique français jusqu'en 2000, il est nécessaire d'établir un nouvel état des lieux sur sa répartition. Le premier objectif de cet article est par conséquent d'actualiser les données sur *Corbicula fluminea* en région Centre - Val de Loire en présentant son aire de répartition à la fin de l'année 2013 et en retraçant sa propagation en région Centre - Val de Loire. A noter qu'une autre espèce du genre *Corbicula* est présente en France mais en faible proportion, à savoir *Corbicula fluminalis* (O.F. Müller, 1774). Celle-ci n'ayant jamais été recensée en région Centre - Val de Loire à la date cet article, le terme "corbicule" fera référence à l'espèce *Corbicula fluminea* dans la suite de ce manuscrit.

La majorité des mollusques invasifs ayant colonisé le réseau hydrographique français aurait un impact écologique modéré sur le milieu colonisé (Beisel *et al.* 2010). Ce serait notamment le cas de la corbicule (Beisel *et al.* 2010), espèce ayant suscité l'intérêt non pas à cause de son impact écologique mais à cause des surcoûts économiques qu'elle engendre en colonisant les circuits de refroidissement des centrales nucléaires. Pourtant, la corbicule est capable de perturber significativement les milieux aquatiques qu'elle colonise (Pimentel *et al.* 2000, Karatayev *et al.* 2005, Pimentel *et al.* 2005, Karatayev *et al.* 2007). Elle impacterait notamment les

communautés de macro-invertébrés autochtones qui souffriraient de sa concurrence (McMahon & Bogan 1991). Elle altérerait de plus les habitats benthiques et les substrats (Hakenkamp *et al.* 2001) et influencerait les cycles de l'azote et du phosphore en augmentant la concentration de ces éléments dans le milieu (Lauritsen & Mozley 1989). L'impact principal reconnu de la corbicule sur son milieu récepteur est la baisse significative de la concentration en phytoplancton dans le milieu colonisé (Cohen *et al.* 1984, Beaver *et al.* 1991, Den Hartog *et al.* 1992, Pigneur *et al.* 2014). Puissant filtreur (Cohen *et al.* 1984, Lopez *et al.* 2006), son taux de croissance est positivement corrélé à la concentration en chlorophylle-*a* du milieu colonisé. La limpidité du milieu qui résulte de son activité de filtration induit alors un apport de lumière favorisant le développement macrophytique et perturbant significativement le fonctionnement global de l'écosystème (Foe & Knight 1985, Vohmann *et al.* 2010). Au regard de ces informations, le second objectif de cet article est de vérifier si un phénomène identique de baisse de la concentration en phytoplancton s'est produit sur la Loire et ses principaux affluents suite à leur colonisation par la corbicule.

Matériel et méthodes

Données exploitées

Les données exploitées dans cette étude sont des données publiques mises à disposition par la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de la région Centre - Val de Loire (DREAL Centre - Val de Loire). Elles ont été produites via des prélèvements standardisés de macro-invertébrés benthiques en cours d'eau.

Les macro-invertébrés sont très sensibles à la qualité physico-chimique de l'eau et aux caractéristiques morphologiques et hydrauliques de la rivière. Ils constituent ainsi des bioindicateurs très pertinents et un indice basé sur leur peuplement a été créé dès la fin des années 1970 pour les cours d'eau peu profonds. Il a été amélioré au fil des années ; le choix des habitats prélevés a notamment été affiné et il a été transposé au cas des cours d'eau profonds. Les données utilisées dans cette étude ont été produites via les protocoles successifs suivants de l'indice macro-invertébrés benthiques. Ainsi : de 1977 à 1982 : Indice de Qualité Biologique Global (IQBG) (Verneaux *et al.* 1977), prélèvement à pied à l'aide d'un filet de type « troubleau » (maille 0.5 mm) de six échantillons dans les habitats les plus représentés de la station ; de 1982 à 1992 : Indice Biologique Global (IBG) (Verneaux *et al.* 1982), prélèvement à pied à l'aide d'un filet de type « surber » pour les zones peu profondes ou de type « haveneau » pour les fosses (maille 0.5 mm) de huit échantillons, un par couple substrat/vitesse ; de 1993 à 2007/2008 : IBG normalisé (IBGN) (AFNor 1992, modifié en 2004) ; de 2007/2008 à 2010 : distinction du cas cours d'eau profonds / cours d'eau non profonds :

- Pour les cours d'eau profonds : application de l'Indice Biologique Global Adapté (IBGA) (Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse 1997). Faune des rives échantillonnée en huit réplicats à l'aide d'un filet de type « surber » ou « haveneau » et faune du chenal échantillonnée en bateau à l'aide d'une drague ;
- Pour les cours d'eau peu profonds : application du protocole développé par le CEMAGREF pour le prélèvement des macro-invertébrés benthiques en cours d'eau peu profonds. Prélèvement à pied à l'aide d'un filet de type « surber » pour les zones peu profondes ou de type « haveneau » pour les fosses (maille 0.5 mm) de douze échantillons, répartis sur la station selon la représentativité des couples substrat/vitesse ;
A partir de 2010 :
- Pour les cours d'eau profonds : application du protocole mis au point par l'université de Metz et le CEMAGREF pour l'échantillonnage des macro-invertébrés en cours d'eau profonds (Usseglio-Polatera *et al.* 2009). Prélèvements de douze échantillons à l'aide d'un filet de type « surber » ou « haveneau » ou à l'aide d'une drague selon la profondeur : quatre dans la zone de berge, quatre dans la zone intermédiaire et quatre dans la zone profonde ;
- Pour les cours d'eau peu profonds : le protocole utilisé de 2007/2008 à 2010 a été normalisé : normes XP T90-333 (AFNor 2009).

La Loire constitue un cas particulier pour les cours d'eau profonds car ce fleuve a été échantillonné dès 1997 avec le protocole IBGA puis en 2010 avec le protocole mis au point par l'université de Metz et le CEMAGREF pour l'échantillonnage des macro-invertébrés en cours d'eau profonds (Usseglio-Polatera *et al.* 2009). Il s'agit de noter de plus qu'en période estivale, période à laquelle sont réalisés les prélèvements de macro-invertébrés benthiques, la

Loire peut être prospectée à pied sur la quasi majorité de son lit, contrairement à d'autres grands cours d'eau comme le Cher où seules les zones de radiers sont prospectables à pied. L'absence de prospection des zones profondes sur le Cher a pu engendrer un biais de protocole qui sera discuté dans la suite de l'étude.

Analyse de la répartition et de la propagation de *Corbicula fluminea*

La propagation de la corbicule en région Centre - Val de Loire a été évaluée en réalisant pour chaque année une carte des stations prospectées en distinguant celles où l'espèce a été capturée de celles où les prospections n'ont abouti à aucune capture. Nous avons considéré que l'espèce s'était diffusée à une nouvelle station l'année N dès lors que i) l'espèce était capturée l'année N, ii) l'espèce n'avait pas été capturée les années précédentes (seules les stations possédant un historique d'au moins 3 ans ont été conservées pour l'analyse), iii) l'espèce était capturée l'année N+1.

Cette dernière condition a systématiquement été remplie. Dès lors que la corbicule était recensée sur une station, elle était systématiquement retrouvée les années suivantes. La diffusion à une nouvelle station a ainsi été suivie d'une colonisation du milieu et de l'établissement d'une population pérenne.

Les résultats ont été synthétisés sous forme d'une carte représentant la propagation de l'espèce avec un pas de temps de 10 ans. Afin de compléter cette synthèse, l'état initial (1977 : début de la collecte des données avec un protocole défini), un état intermédiaire (1995) et l'état actuel concernant la répartition de *Corbicula fluminea* en 2013 ont été également synthétisés sous forme de cartes mentionnant les stations prospectées où la corbicule a été recensée et les stations prospectées où elle n'a pas été recensée jusqu'en 2013.

La vitesse de propagation moyenne de la corbicule a été évaluée en divisant le linéaire de cours d'eau colonisé (en km) par le nombre d'années s'étant écoulées entre la colonisation de l'aval et de l'amont de ce linéaire. Le lien éventuel entre la largeur du cours d'eau et la vitesse de propagation de la corbicule a été testé en calculant le coefficient de corrélation de Spearman (la normalité des données n'étant pas vérifiée) entre le rang de Strahler de l'aval du cours d'eau et la vitesse de propagation de la corbicule dans ce cours d'eau (en km.an⁻¹).

Impact de la colonisation d'un cours d'eau par *Corbicula fluminea* sur la concentration en Chlorophylle-*a*

Afin d'évaluer l'impact de la colonisation d'un cours d'eau par *Corbicula fluminea* sur la teneur en phytoplancton, l'évolution de la concentration en chlorophylle-*a* a été comparée à celle de la densité de corbicules capturées. Seuls les cours d'eau disposant des historiques de données les plus importants, à savoir la Loire et ses grands affluents (la Vienne, l'Indre, le Cher et le Beuvron), ont été retenus pour cette analyse.

Les mesures de densité de corbicules ont été évaluées à partir des résultats de prélèvements de macro-invertébrés benthiques, en divisant le nombre de corbicules capturées par la surface échantillonnée. Les mesures de chlorophylle-*a* qui ont été analysées au cours de cette étude sont des données publiques mises à disposition par l'Agence de l'Eau Loire Bretagne. Elles sont basées sur des mesures mensuelles de la teneur en chlorophylle-*a* des eaux superficielles. La valeur annuelle moyenne de la teneur en chlorophylle-*a* a été calculée à partir de ces valeurs mensuelles et il s'agit du seul paramètre exploité dans cette étude.

Les variations annuelles moyennes de la teneur en chlorophylle-*a* et de la densité de corbicules ont été représentées à l'aide de boîtes à moustache (boxplots). La significativité de ces variations a été évaluée avec le test non paramétrique de Kruskal-Wallis, la normalité des données n'étant pas vérifiée. Afin d'évaluer les conséquences de la colonisation d'un cours d'eau par *Corbicula fluminea* sur la teneur en phytoplancton, le coefficient de corrélation de Spearman a été calculé (la normalité des données n'étant pas vérifiée) entre la densité de corbicules et la concentration en chlorophylle-*a* sur toutes les données (toutes stations confondues), puis sur les données prises séparément de la Loire, de l'Indre, de la Creuse, du Beuvron, du Cher et de la Vienne. Par ailleurs, la normalité des données n'étant pas vérifiée, un test de Kruskal-Wallis entre la concentration en chlorophylle-*a* et la densité de corbicules a été réalisé. Cette analyse a d'abord été réalisée sur l'ensemble des données, tous cours d'eau confondus, puis sur les données prises séparément de la Loire, de la Vienne, du Cher, de l'Indre et du Beuvron. L'ensemble des analyses statistiques a été réalisé avec le logiciel R (R-Core Team 2008).

Résultats

Répartition et propagation en région Centre - Val de Loire

Les prospections sur la Loire ont débuté au début des années 1970 sans protocole défini. Elles ont permis de mettre en évidence la présence de corbicules sur le fleuve au niveau de Villandry (Indre-et-Loire) dès 1976. Le mollusque avait alors été capturé en grand nombre (plus de 500 individus), ce qui suggère que l'espèce était présente sur cette station depuis plusieurs années. La colonisation de la Loire en région Centre – Val de Loire aurait

ainsi probablement débuté au début des années 1970. L'utilisation de l'IQBG a débuté en 1977 et a permis d'avérer la présence de la corbicule jusqu'à Gien. Les prélèvements qui ont suivi jusqu'en 1990 ont permis de mettre en évidence une colonisation progressive de l'amont du fleuve et en 1989 des corbicules sont recensées pour la première fois à Fourchambault, c'est-à-dire sur la limite amont de la Loire en région Centre – Val de Loire (Figure 1, Tableau 1). La corbicule a ainsi colonisé l'ensemble de l'axe Loire en 20 ans (Figure 2). Jusqu'en 1990, elle n'était recensée sur aucun des affluents du fleuve.

Tableau 1 : Principaux cours d'eau colonisés par *Corbicula fluminea*: années du premier recensement de cette espèce sur les limites aval et amont en région Centre – Val de Loire de ces cours d'eau et vitesse de propagation moyenne des individus.

Affluents de la Loire : cours d'eau (1)	Affluents des cours d'eau (1) : cours d'eau (2)	Affluents des cours d'eau (2)	Rang de Strahler aval	Limite aval (en région Centre – Val de Loire)	Limite amont (en région Centre – Val de Loire)	Vitesse de propagation moyenne (km.an ⁻¹)	
Loire			7	1976	1989	22	
	Vienne		6	1993	2000	8	
		Creuse		5	1998	2008	12
			Anglin	4	2005	Station colonisée depuis 2012 : Mauvières (36)	3
	Cher		6	Entre 1990 et 1995	2010	Entre 9 et 12	
		Sauldre		4	2005	Station colonisée depuis 2013 : Brinon sur Sauldre (18)	9
			Rère	2	2007	Station colonisée depuis 2013 : Selles saint Denis (41)	2
		Fouzon		4	2005	Station colonisée depuis 2013 : Orville (36)	5
			Nahon	3	2007	Station colonisée depuis 2013 : Selles sur Nahon (36)	5
		Arnon		4	2005	2013	10
Beuvron	Théols		3	2007	2013	7	
			5	2005	Station colonisée depuis 2013 : Chaon (41)	9	
	Cosson		4	2009	Station colonisée depuis 2013 : Blois (41)	4	
	Néant		4	2010	Station colonisée depuis 2013 : Neung sur Beuvron (41)	4	
Indre			5	2005	Station colonisée depuis 2013 : Saint Maur (36)	15	
Loir			4	2012	Une station connue : Meslay (28)	-	
Loing			6	1992	2002	9	

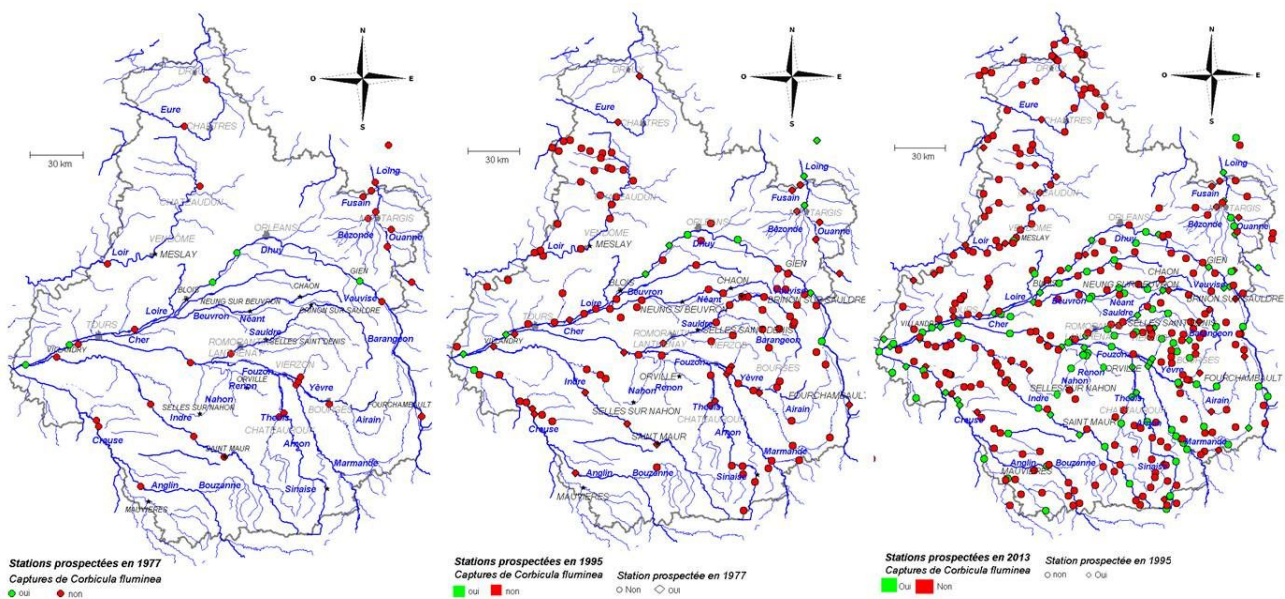


Figure 1 : Bilan des prélèvements réalisés en 1977, 1995 et 2013 en cours d'eau : stations prospectées et captures de *Corbicula fluminea*.

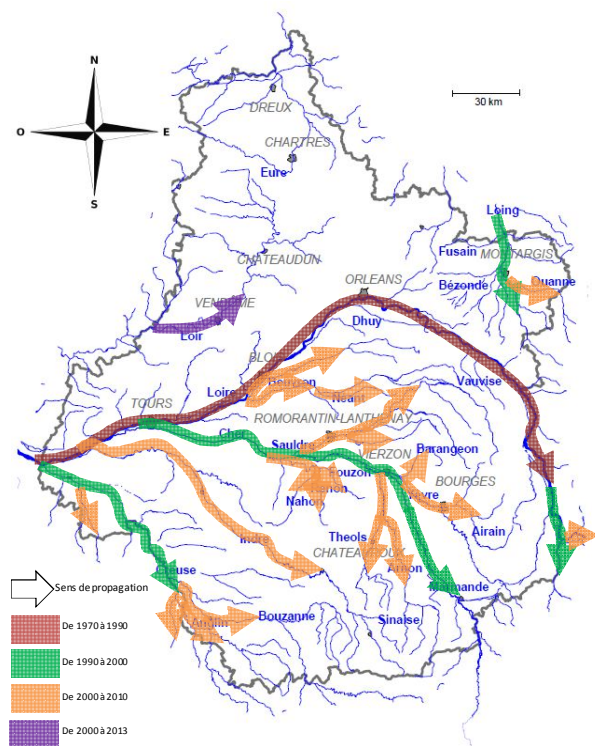


Figure 2 : Carte de synthèse sur la propagation de *Corbicula fluminea* en région Centre - Val de Loire de 1970 à 2013.

En 1993, des corbicules étaient capturées pour la première fois sur un des affluents principaux de la Loire, à savoir celui situé le plus en aval : la Vienne. La progression de la corbicule au sein des affluents principaux de la Loire a été très rapide puisqu'en 2005 elle était recensée sur la majorité d'entre eux : la Vienne, le Cher, le Beuvron et l'Indre (Figure 1, Tableau 1). La date précise à laquelle a débuté la colonisation du Cher n'a pu être identifiée. En 2000, des individus de corbicules étaient capturés pour la première fois sur le Cher médian. De petites quantités (entre 4 et 7 individus par prélèvement) ont alors été capturées *via* le protocole IBGN. En 2007, l'abandon du protocole IBGN au profit du protocole IBGA a permis de recenser la corbicule sur l'ensemble du linéaire du Cher. Un grand nombre d'individus (plus de 1000 individus par prélèvement) ont alors été capturés avec le protocole IBGA sur des stations où le protocole IBGN n'avait pas permis de mettre en évidence la présence de corbicules. Ceci met en évidence un biais de protocole lorsque l'IBGN est pratiqué en cours d'eau profonds tels que le Cher. En effet, l'IBGN, basé sur un prélèvement à pied des différents habitats du cours d'eau, ne permet pas une prospection des zones profondes, notamment de la zone de chenal. Le recensement de la corbicule *via* ces protocoles n'était donc pas optimal. Le passage à l'IBGA en 2007/2008, basé sur un prélèvement à la drague depuis un bateau des zones les plus profondes, a permis de corriger ce problème. La présence d'un biais de protocole jusqu'en 2007 suggère que la corbicule était présente sur l'ensemble du Cher bien avant cette date. Etant donné qu'elle a été recensée pour la première fois en 2000 sur ce cours d'eau, la colonisation du Cher a très probablement débuté au cours des années 1990, suite à la colonisation de la Vienne. Pour les autres données exploitées dans cette étude, les protocoles de prélèvements de macro-invertébrés ont abouti à un recensement efficace des corbicules car les habitats du lit mineur, où trouve refuge le mollusque, ont systématiquement été échantillonnés.

En 12 ans, tous les principaux affluents de la Loire à l'exception du Loir ont été colonisés par la corbicule avec une progression du mollusque de l'aval vers l'amont (Figure 2). Le type d'habitats colonisés s'est diversifié avec la propagation de la corbicule vers les têtes de bassins versants ; la Loire et l'aval de ses principaux affluents sont en effet majoritairement constitués de sable tandis que les cours d'eau à l'amont des bassins versants présentent une mosaïque d'habitats plus diversifiée avec des graviers et des pierres. Jusqu'en 2013, sa présence en région Centre - Val de Loire n'était avérée qu'au sein de cours d'eau au fonctionnement permanent. Mais en avril 2013, un individu juvénile mesurant 7 mm était recensé pour la première fois sur un cours d'eau temporaire : la Grande Thonaise, situé sur la tête du bassin versant de l'Arnon. La capture exclusive de quelques individus

juvéniles (moins de 10 individus par opération de prélèvement) a été systématiquement observée sur des stations en début de colonisation. Sur ces stations, des individus adultes de taille supérieure à 1.5 cm étaient capturés dès l'année suivante.

Le Loir n'a été colonisé que tardivement par rapport aux autres affluents de la Loire. Jusqu'en 2011, les prospections menées sur ce cours d'eau avaient toujours conclu à l'absence de corbicules. Ce n'est qu'en 2012 que 11 individus de *Corbicula fluminea* sont capturés pour la première fois sur le Loir à Meslay (Figure 1, Tableau 1). Le peu d'individus capturés témoigne d'une colonisation récente du milieu. En 2013, un seul individu est capturé sur la même station ce qui témoigne de l'absence de croissance de la population voire même d'une mortalité des individus. Ceci ouvre la question d'une vraisemblable inadaptation de la corbicule aux conditions environnementales rencontrées sur le Loir.

Sur le bassin versant de la Seine, les prospections menées depuis les années 1980 sur le bassin versant de l'Eure (située en région Centre-Val de Loire) n'ont abouti à aucune capture de corbicules. Ce résultat est d'autant plus surprenant que les bassins versants voisins ont été colonisés par le mollusque dès les années 1990. Ceci ouvre la question d'une éventuelle inadaptation de la corbicule aux conditions environnementales rencontrées sur l'Eure. Contrairement à l'Eure, le bassin versant du Loing a été très rapidement colonisé. Le premier recensement de la corbicule sur le Loing date de 1992 et dix ans plus tard, en 2002, sa présence était avérée sur l'ensemble du linéaire du cours d'eau présent en région Centre - Val de Loire (Figure 1, Tableau 1).

En 2013, *Corbicula fluminea* était ainsi présente sur l'ensemble des bassins versants de la région Centre - Val de Loire, à l'exception de celui de l'Eure (Figure 1). La corbicule s'est propagée en région Centre - Val de Loire avec une vitesse d'expansion moyenne évoluant entre 4 et 22 km.an⁻¹ (Tableau 1). Les vitesses d'expansion les plus élevées ont été observées sur la Loire, l'Indre et la Creuse : 22 km.an⁻¹, 15 km.an⁻¹ et 12 km.an⁻¹ respectivement. Les vitesses d'expansion les plus faibles ont été observées sur la Rère et l'Anglin : 2 km.an⁻¹ et 3 km.an⁻¹ respectivement. Ces vitesses d'expansion ont été comparées au rang de Strahler aval des cours d'eau colonisés en calculant le coefficient de corrélation de Spearman. Le test de Spearman a conclu à une corrélation significative entre ces deux variables ($r=0.73$, $p=0.001$) ; la vitesse de propagation de la corbicule décroît parallèlement à la taille du cours d'eau colonisé.

Evolution de la teneur en chlorophylle-a

La Loire et ses principaux affluents (Vienne, Cher, Indre et Beuvron) ont présenté une baisse de leur teneur en chlorophylle-a dès la fin des années 1990. Le test de Kruskal-Wallis a conclu à une significativité de cette baisse pour ces cinq cours d'eau (Tableau 2). Cette dernière a systématiquement débuté au niveau de l'aval de ces cours d'eau et s'est très rapidement propagée vers l'amont. En 2013, la Loire et ses principaux affluents, à l'exception du Beuvron, présentaient une teneur en chlorophylle-a inférieure à 5 µg.L⁻¹ sur l'ensemble de leur linéaire (Tableau 2). Sur le Beuvron, la baisse de la teneur en chlorophylle-a n'a été observée qu'à l'aval de ce cours d'eau. Cette décroissance de la teneur en phytoplancton a débuté sur les stations aval de la Vienne et de la Loire en 1997. Il a ensuite été observé sur les stations aval de l'Indre en 2002, du Beuvron en 2004 et du Cher en 2005 (Tableau 2).

La Figure 3 présente l'évolution temporelle de la chlorophylle-a sur la Loire, la Vienne, le Cher, l'Indre et le Beuvron toutes stations confondues sous forme de boîte à moustache. Pour une même année, des écarts significatifs entre la teneur la plus faible et la teneur la plus forte en chlorophylle-a sont à noter. Ceci est lié à la variabilité des résultats de mesure entre les stations prélevées sur un même cours d'eau ; les stations les plus en aval présentant des teneurs significativement plus élevées que les stations amont. Ce phénomène, observé aussi bien sur la Loire que sur ses principaux affluents, témoigne d'une eutrophisation progressive de l'amont vers l'aval. La Figure 3 met par ailleurs en évidence que l'Indre, la Vienne et le Cher présentent des teneurs moyennes annuelles en chlorophylle-a (toutes stations confondues) inférieures à 3 µg.L⁻¹ depuis 2007. La Loire n'a atteint ce niveau qu'en 2012, soit 5 ans plus tard. Quant au Beuvron, sa teneur annuelle moyenne en chlorophylle-a (toutes stations confondues) en 2013 était de 5.85 µg.L⁻¹. Cette valeur deux fois supérieure à celle observée sur les autres affluents de la Loire est liée à une stabilité de la concentration en chlorophylle-a sur la partie amont de ce cours d'eau. En effet, seules les stations les plus en aval ont présenté une baisse de la teneur en phytoplancton et ceci depuis 2004.

Tableau 2 : Synthèse des concentrations en chlorophylle-*a* sur la Loire et ses principaux affluents : année marquant le début de la baisse de cette variable, valeur en 2013 et significativité de cette baisse (seuil de signification de Kruskal-Wallis)

	Toutes stations confondues			Station la plus en aval		Station la plus en amont	
	Début de la baisse (Année : [chlorophylle- <i>a</i>] en $\mu\text{g.L}^{-1}$)	[chlorophylle- <i>a</i>] en $\mu\text{g.L}^{-1}$	p de Kruskal-Wallis	Début de la baisse (Année, [chlorophylle- <i>a</i>] en $\mu\text{g.L}^{-1}$)	[chlorophylle- <i>a</i>] en $\mu\text{g.L}^{-1}$	Début de la baisse (Année, [chlorophylle- <i>a</i>] en $\mu\text{g.L}^{-1}$)	[chlorophylle- <i>a</i>] en $\mu\text{g.L}^{-1}$
Loire	2000 : 37	1.4	<2.2.10 ⁻¹⁶	1997 : 113.8	4.3	2003 : 36.4	1.4
Cher	2005 : 20.3	2.6	<2.2.10 ⁻¹⁶	2005 : 27.6	1.75	2006 : 23.9	1.5
Vienne	1997 : 22.5	1.75	<2.2.10 ⁻¹⁶	1997 : 37.6	1.375	1999 : 18.71	2.12
Indre	2004 : 11.53	1.71	<2.2.10 ⁻¹⁶	2002 : 42.9	1.38	2007 : 5	2.25
Beuvron	Année précise non identifiable	5.85	<2.2.10 ⁻¹⁶	2004 : 27.6	2.5	Stabilité de la teneur en chlorophylle- <i>a</i>	

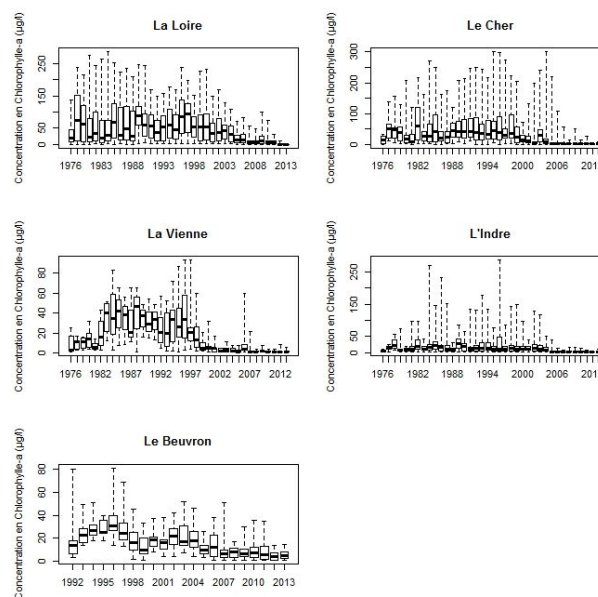
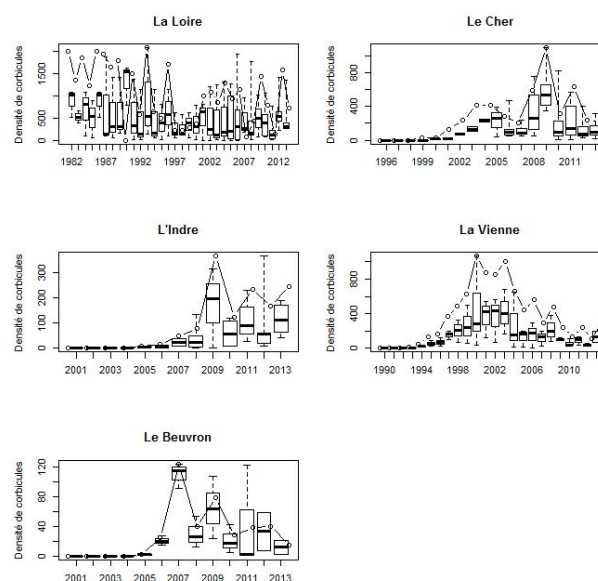
La Figure 3 met enfin en évidence des valeurs maximales très élevées de la concentration en chlorophylle-*a* avant que la baisse de cette variable ne soit amorcée (jusqu'à $80\mu\text{g.L}^{-1}$ sur le Beuvron, $275\mu\text{g.L}^{-1}$ sur l'Indre, $70\mu\text{g.L}^{-1}$ sur la Vienne, $300\mu\text{g.L}^{-1}$ sur le Cher et $275\mu\text{g.L}^{-1}$ sur la Loire). Ces pics de phytoplancton ont systématiquement été observés en été, ce qui correspond à un bloom algal saisonnier.

Evolution de la densité corbicules et conséquences sur le phytoplancton

Sur les principaux affluents de la Loire, l'évolution annuelle de la densité de corbicules présente une allure de courbe en cloche, avec un pic dans les dix années suivant le premier recensement de corbicules suivi d'une baisse de la densité d'individus (Figure 4). Ce phénomène n'est, en revanche, pas observé sur la Loire où une relative stabilité des effectifs est observée depuis les années 1980. La Figure 4 met par ailleurs en évidence une forte variabilité de la densité de corbicules pour un même cours d'eau sur une même année. Ceci est lié à une densité de corbicules plus élevée à l'aval qu'à l'amont et *a fortiori* au phénomène de propagation du mollusque de l'aval vers l'amont.

Afin d'évaluer les conséquences de l'invasion de corbicules sur la concentration en phytoplancton des cours d'eau colonisés, le coefficient de Spearman a été calculé entre la densité de corbicules et la concentration en chlorophylle-*a*. Il a conclu à une corrélation négative significative entre ces deux variables pour les principaux affluents de la Loire : le Cher ($r = -0.77$, $p = 1.08.10^{-8}$), la Vienne ($r = -0.6$, $p = 7.693.10^{-5}$), l'Indre ($r = -0.73$, $p = 1.542.10^{-7}$) et le Beuvron ($r = -0.83$, $p = 1.123.10^{-6}$). La colonisation de ces cours d'eau par la corbicule suivie de l'installation de populations pérennes s'est accompagnée d'une baisse de la teneur en phytoplancton. Les dates d'amorcement de la baisse de la concentration en chlorophylle-*a* coïncident avec les dates de premier recensement d'individus de corbicules. Sur la Loire en revanche, le test a conclu à l'absence de corrélation significative entre la densité de corbicules et la concentration en chlorophylle-*a*. Ceci est lié à une relative stabilité de la densité de corbicules. Afin d'affiner ces premières tendances, une ANOVA non paramétrique a été réalisée pour tester l'effet de la densité de corbicules sur la concentration en chlorophylle-*a*. Le test de Kruskal-Wallis réalisé sur l'ensemble des données (tous cours d'eau confondus) a conclu à un effet significatif de la densité de corbicules sur la concentration en chlorophylle-*a* ($p = 0.04$). Sur les données par cours d'eau, le test de Kruskal-Wallis a conclu à un effet significatif de la densité de corbicules sur la concentration en chlorophylle-*a* sur l'ensemble des principaux affluents de la Loire hormis le Beuvron : le Cher ($p = 0.027$), la Vienne ($p = 0.047$), l'Indre ($p = 0.014$). Il s'agit de noter que les seuils de significativité restent proches de 0.05. Cela est très vraisemblablement lié au test de Kruskal-Wallis, moins performant que l'équivalent paramétrique. La poursuite des analyses dans les années à venir permettra de compléter le jeu de données existant et d'affiner ainsi ces résultats. Sur le Beuvron, l'hypothèse nulle d'absence de différence significative entre les deux variables ne peut être rejetée ($p > 0.05$). Ceci est très vraisemblablement lié à l'absence de corbicules sur l'amont du cours d'eau, le mollusque n'étant pour l'instant recensé qu'à l'aval du Beuvron. Le test de Kruskal-Wallis a par conséquent été réalisé sur les données issues de la station la plus aval du Beuvron et a conclu à un effet significatif de la densité de corbicules sur la concentration en chlorophylle-*a* ($p = 0.048$). Pour la Loire en revanche, le test de Kruskal-Wallis n'a pas permis de conclure à un effet significatif des corbicules sur le phytoplancton ($p = 0.412$). Ces résultats confirment donc les tendances dégagées par les coefficients de corrélation de Spearman : les corbicules ont joué un rôle significatif dans le processus de baisse de la teneur en phytoplancton des principaux affluents de la Loire. Sur la Loire elle-même en revanche, aucun effet direct du mollusque sur la concentration en chlorophylle-*a* n'a pu être démontré. La baisse de la teneur

en phytoplancton sur ce fleuve n'a débuté qu'en 1997, soit 20 ans après le premier recensement d'individus de corbicules. Elle coïncide avec le début de la baisse de la teneur en phytoplancton de la Vienne, ce qui suggère un effet indirect des corbicules sur la concentration en chlorophylle-*a* de la Loire : la chute de la teneur en phytoplancton des principaux affluents de la Loire aurait eu pour conséquence une baisse de la teneur en phytoplancton du fleuve lui-même.

**Figure 3 :** Boîtes à moustache représentant l'évolution temporelle de la concentration en chlorophylle-*a* de la Loire et de ses principaux affluents.**Figure 4 :** Représentation de l'évolution annuelle de la densité de corbicules sur la Loire et ses principaux affluents : variations interstationnelles sous forme de boîtes et valeurs annuelles moyennes de la densité toutes stations confondues sous forme de courbe

Discussion

Propagation de *Corbicula fluminea* en région Centre - Val de Loire

Brancotte et Vincent soulignent en 2002 que *Corbicula fluminea* n'a colonisé l'estuaire de la Loire qu'en 1990. Les données présentées dans cette étude prouvent que la colonisation de la Loire par la corbicule a débuté bien plus tôt, au milieu des années 1970. Les données disponibles dans la littérature faisaient du bassin de la Dordogne le premier bassin versant colonisé par la corbicule avec un premier recensement en 1977 (Chevallier 2000). Cette étude apporte la preuve que le bassin versant de la Loire a été colonisé parallèlement à celui dans la Dordogne à la fin des années 1970. La colonisation du réseau hydrographique français par *Corbicula fluminea* a ainsi débuté à la fin des années 1970 par la façade atlantique via les estuaires de la Dordogne et de la Loire. Cette colonisation par l'Atlantique est très vraisemblablement liée au trafic maritime et à des bateaux en provenance d'Asie ou d'Amérique comme le proposent Fontan & Meny (1995); l'eau servant de ballast aux navires puisée dans un port puis relâchée dans un autre lors des opérations de chargement est un facteur important de dissémination des espèces (Boudouresque 2001), non seulement marines mais également d'eau douce lorsqu'elles supportent les conditions de vie en eau saumâtre comme *Corbicula fluminea*. S'en est suivie une propagation de ce mollusque au sein du réseau hydrographique français depuis l'aval vers l'amont des cours d'eau. Ce phénomène est probablement lié au transport fluvial d'une part et à une dispersion naturelle d'autre part. En effet, les juvéniles et les larves pédivéligères peuvent être transportées passivement sur les pattes ou les plumes des oiseaux aquatiques ainsi que par les poissons (McMahon 2002). *Corbicula fluminea* peut également, via la sécrétion de fibres, se fixer à la coque à des bateaux et remonter ainsi le courant (Brancotte & Vincent 2002).

Les résultats de cette étude ont par ailleurs mis en évidence que la vitesse de propagation de la corbicule dans le réseau hydrographique de la région Centre - Val de Loire décroît avec la taille du cours d'eau colonisé. Ce phénomène semble lié au mode de propagation de la corbicule qui diffère selon le milieu rencontré : plus la taille du cours d'eau est réduite, plus l'impact des activités humaines sur la propagation de *Corbicula fluminea* diminue. Sur les cours d'eau présentant des portions navigables, à savoir la Loire et le Cher, la vitesse de propagation est élevée; ceci est vraisemblablement lié à une propagation par les bateaux, les corbicules se fixant sur leurs coques. Sur les cours d'eau où la navigation est impossible, la propagation de la corbicule est davantage naturelle et notamment liée à la migration des poissons qui remontent le courant. Le mollusque se fixe en effet aux ouïes et aux nageoires des poissons ce qui lui permet de se propager de l'aval vers l'amont (Voelz *et al.* 1998). Malgré l'absence de navigation sur l'Indre et la Creuse, la vitesse de propagation de la corbicule sur ces deux cours d'eau est élevée suggérant des interventions humaines d'une autre nature, telles que des introductions volontaires.

Evolution de la densité de corbicules

Contrairement à la Loire où la densité de corbicules montre une relative stabilité depuis les années 1980, les densités de population sur les principaux affluents du fleuve présentent une courbe en cloche et une baisse depuis la fin des années 2000. Il ressort de la littérature que le taux de croissance de *Corbicula fluminea* est lié à la concentration en chlorophylle-*a* du milieu (Cohen *et al.* 1984, Foe & Knight 1985). De faibles concentrations en phytoplancton sont synonymes pour le mollusque de faibles ressources alimentaires ce qui peut entraîner une mortalité des individus. Il s'agit d'ailleurs d'une des principales sources de stress et de mortalité, avec le manque d'oxygène, des populations de corbicules (Vohmann *et al.* 2010). Les affluents de la Loire présentaient au début des années 1990 des teneurs élevées en phytoplancton ce qui a permis à la corbicule d'établir rapidement des populations pérennes avec des taux de croissance élevés. La baisse de la concentration en chlorophylle-*a* qui en a résulté a, très logiquement, entraîné une baisse du taux de croissance du mollusque, réduisant ainsi la densité des populations.

Habitats colonisés par *Corbicula fluminea*

Les corbicules, mollusques fouisseurs, affichent une préférence pour les milieux minéraux à la granulométrie fine, c'est à dire majoritairement sableux (Belanger *et al.* 1985; Sousa *et al.* 2006). Elles colonisent également préférentiellement les milieux permanents avec de faibles variations hydrologiques saisonnières (Sousa *et al.* 2008a). Par ailleurs, la teneur en oxygène est un facteur limitant pour leur survie; elles sont en effet connues pour être intolérantes à l'hypoxie, même modérée (McMahon & Bogan

1991, 2001). Les densités de corbicules en Amérique du Nord sont ainsi maximales au sein de milieux sableux ou de complexes graviers/sable bien oxygénés (McMahon 1983). Néanmoins, les corbicules sont capables de coloniser des milieux très variés, aussi bien lenticques (en particulier des lacs) que lotiques (Hornbach 1992, Sousa *et al.* 2008a, Sousa *et al.* 2008c), permanents ou temporaires avec de courtes périodes d'assez (Byrne *et al.* 1990), avec des substrats allant du sable au gravier (Belanger *et al.* 1985). Elles sont par ailleurs recensées aussi bien au sein de milieux préservés que pollués (Nguyen & De Pauw 2002; Sousa *et al.* 2008b).

Les résultats de cette étude confirment le caractère ubiquiste de *Corbicula fluminea*. En région Centre - Val de Loire, elle a en effet été recensée aussi bien au sein de milieux lenticques que lotiques, permanents que temporaires. Les densités les plus importantes de corbicules ont été relevées à l'aval de la Loire et de ses principaux affluents. Ces milieux sont sableux et bien oxygénés ce qui correspond au milieu préférentiel de la corbicule. Ils correspondent également aux premiers milieux colonisés par le mollusque où les populations ont eu le temps de se pérenniser et de s'accroître. Il est par conséquent difficile d'évaluer si cette densité importante de corbicules est liée au processus de propagation et de colonisation de l'espèce ou à une réelle sélection des habitats préférentiels du mollusque.

Cette étude souligne par ailleurs que l'ensemble des bassins versants de la région Centre - Val de Loire sont colonisés par *Corbicula fluminea* à l'exception de l'Eure. Le bassin de la Seine, et notamment de l'Eure, présente une qualité moins satisfaisante que le bassin de la Loire. Le bassin de l'Eure présente notamment une forte pollution aux matières azotées avec 75 % des stations de mesure révélant une qualité médiocre ou mauvaise (données publiques mises à disposition par l'Agence de l'Eau Seine Normandie). Il présente également une forte pollution aux matières phosphorées mais celle-ci reste stable depuis le début des années 1990 (données publiques mises à disposition par l'Agence de l'Eau Seine Normandie). De plus, la teneur en oxygène dissous de l'eau de l'Eure est particulièrement faible. En 2014, la valeur annuelle moyenne de ce paramètre était de 3.82 mg (O₂).L⁻¹ (données publiques mises à disposition par l'Agence de l'Eau Seine Normandie). A titre de comparaison, la teneur en oxygène dissous annuelle moyenne sur le Cher en 2014 était de 9.52 mg (O₂).L⁻¹. Ce paramètre montre une grande stabilité sur le Cher depuis les années 1980, oscillant entre 9.5 et 10.5 mg (O₂).L⁻¹ en valeur annuelle moyenne (données publiques mises à disposition par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne). *Corbicula fluminea* étant particulièrement intolérante à l'hypoxie (McMahon & Bogan 1991, 2001), une faible concentration en oxygène du milieu constitue l'une des principales sources de mortalité de cette espèce de mollusque (Sickel 1986). La faible teneur en oxygène dissous de l'eau de l'Eure explique par conséquent très vraisemblablement l'absence de corbicules sur ce cours d'eau.

Influence sur le phytoplancton

Cette étude a conclu à un effet significatif de la densité de corbicules sur la concentration en chlorophylle-*a* des principaux affluents de la Loire. Les corbicules sont de puissants filtreurs, capables de filtrer jusqu'à un litre d'eau par jour et par individu (Way *et al.* 1990, Silverman *et al.* 1995) et par conséquent d'importants consommateurs de phytoplancton. Dans la rivière Meuse, un phénomène similaire de baisse de la teneur en phytoplancton a été observé parallèlement à la propagation de la corbicule dans ce cours d'eau (Pigneur *et al.* 2014). Pigneur *et al.* (2014) ont confirmé l'implication de *Corbicula fluminea* dans ce processus grâce à un modèle mathématique. D'autres auteurs ont reporté le même phénomène au sein d'autres milieux aquatiques (Cohen *et al.* 1984, Beaver *et al.* 1991, Den Hartog *et al.* 1992) et Cohen *et al.* (1984) ont confirmé l'implication des corbicules dans la baisse de la teneur en phytoplancton au sein du cours d'eau Potomac (Maryland) à l'aide d'expérience en laboratoire.

Tous les principaux affluents de la Loire ont montré une décroissance de leur concentration en chlorophylle-*a* parallèlement à leur colonisation par *Corbicula fluminea* contrairement au fleuve Loire lui-même. La baisse de la concentration en chlorophylle-*a* sur ce cours d'eau n'a commencé qu'au début des années 2000 bien que la colonisation de la Loire par la corbicule ait débuté dans les années 1970. Cette baisse coïncide en revanche avec la baisse de la concentration en chlorophylle-*a* sur les principaux affluents de la Loire. La corbicule aurait par conséquent davantage joué un rôle indirect que direct dans la baisse de la teneur en phytoplancton du fleuve. Plus la taille d'un cours d'eau augmente, plus son pouvoir tampon est important ce qui peut expliquer la faible influence de la corbicule sur le phytoplancton de la Loire. En revanche, plus la taille du cours d'eau décroît, plus son influence

sur le fonctionnement du milieu et *a fortiori* sur la teneur en phytoplancton est significative. La corbicule a très vraisemblablement joué un rôle prépondérant dans la baisse de la concentration en chlorophylle-*a* des affluents de la Loire ce qui aurait induit indirectement une baisse de la concentration en chlorophylle-*a* de la Loire. Ces résultats vont à l'encontre de l'hypothèse formulée dans la littérature pour expliquer la baisse de la concentration en chlorophylle-*a* sur la Loire depuis les années 2000, hypothèse selon laquelle cette baisse serait liée à une augmentation de la densité en corbicules (Descy *et al.* 2011). Les résultats de notre étude montrent en effet que la densité de corbicules sur la Loire dans les années 2000 est similaire à celle trouvée dans les années 1980 et les tests statistiques réalisés n'ont pas permis de conclure à une influence significative de la densité de corbicules sur la concentration en chlorophylle-*a*. L'influence des affluents de la Loire sur la concentration en chlorophylle-*a* de ce fleuve n'a en revanche pas été testée par Descy *et al.* (2011) et les résultats présentés ici apportent de ce fait un élément d'information capital pour comprendre la dynamique du phytoplancton sur la Loire.

Conclusion

Cette étude apporte des éléments nouveaux quant à la propagation de l'espèce *Corbicula fluminea*. A l'échelle nationale, elle affine les informations disponibles dans la littérature sur l'arrivée de la corbicule en France en apportant la preuve que la colonisation du réseau hydrographique français n'a pas débuté uniquement par l'estuaire de la Dordogne mais également par l'estuaire de la Loire sur la même période. La corbicule a ainsi envahi la France au milieu des années 1970 *via* l'ensemble de la façade atlantique. Par ailleurs, cette étude souligne l'implication de la corbicule dans la baisse de la teneur en phytoplancton des principaux affluents de la Loire. La baisse de la concentration en chlorophylle-*a* du fleuve Loire lui-même n'aurait été qu'un résultat indirect de la baisse de la concentration en chlorophylle-*a* de ses affluents. La limpidité du milieu qui en résulte favorise l'apport de lumière et ainsi le développement macrophytique, bouleversant le fonctionnement global de l'écosystème colonisé par la corbicule. Il est par conséquent indispensable de s'intéresser davantage à la propagation de ce mollusque sur le territoire français.

Références

- AFNor 1992, modifié en 2004. Qualité de l'eau - Détermination de l'indice biologique global normalisé (IBGN) - NF T-90-350.
- AFNor 2009. Qualité de l'eau - Prélèvement des macro-invertébrés aquatiques en rivières peu profondes.
- AFNor 2010. Qualité de l'eau - Traitement au laboratoire d'échantillons contenant des macro-invertébrés de cours d'eau.
- Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse 1997. Indice Biologique Global Adapté aux grands cours d'eau et aux rivières profondes. Protocole expérimental. 45.
- Beaver, J. R., Crisman, T. L. & Brock, R. J. 1991. Grazing effects of an exotic bivalve (*Corbicula fluminea*) on hypereutrophic lake water. *Lake and Reservoir Management*, 7 (1): 45-51.
- Beisel, J.-N., Kaldonski, N., Muller, S., Peltre, M.-C., Rousselle, P. & Vanacker, M. 2010. <http://www.invabio.fr>. Consulté le 6 mars 2015.
- Belanger, S. E., Farris, J., Cherry, D. & Cairns Jr, J. 1985. Sediment preference of the freshwater Asiatic clam, *Corbicula fluminea*. *Nautilus*, 99 (2): 66-73.
- Boudouresque, C. F. 2001. Les espèces introduites et invasives en milieu marin. Marseille. (GIS Posidonie Publications): 152 pages.
- Brancotte, V. & Vincent, T. 2002. L'invasion du réseau hydrographique Français par les mollusques *Corbicula* spp. Modalité de colonisation et rôle prépondérant des canaux de navigation. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, (365-366): 325-337.
- Byrne, R. A., Gnaiger, E., McMahon, R. F. & Dietz, T. H. 1990. Behavioral and metabolic responses to emersion and subsequent reimmersion in the freshwater bivalve, *Corbicula fluminea*. *The Biological Bulletin*, 178 (3): 251-259.
- Chevallier, H. 2000. Taxonomie des *Corbicula* (Bivalvia: Corbiculidae) introduites dans le sud-ouest de la France. *Vertigo*, 7 (1997): 15-21.
- Cohen, R. R., Dresler, P. V., Phillips, E. J. & Cory, R. L. 1984. The effect of the Asiatic clam, *Corbicula fluminea*, on phytoplankton of the Potomac River, Maryland. *Limnology and Oceanography*, 29 (1): 170-180.
- Den Hartog, C., Van den Brink, F. & Van der Velde, G. 1992. Why was the invasion of the river Rhine by *Corophium curvispinum* and *Corbicula* species so successful? *Journal of Natural History*, 26 (6): 1121-1129.
- Descy, J.-P., Leitaou, M., Everbecq, E., Smits, J. & Deliège, J.-F. o. 2011. Phytoplankton of the River Loire, France: a biodiversity and modelling study. *Journal of plankton research*, 34 (2): 120-135.
- Foe, C. & Knight, A. 1985. The effect of phytoplankton and suspended sediment on the growth of *Corbicula fluminea* (Bivalvia). *Hydrobiologia*, 127 (2): 105-115.
- Hakenkamp, C. C., Ribblett, S. G., Palmer, M. A., Swan, C. M., Reid, J. W. & Goodison, M. R. 2001. The impact of an introduced bivalve (*Corbicula fluminea*) on the benthos of a sandy stream. *Freshwater Biology*, 46 (4): 491-501.
- Hornbach, D. J. 1992. Life history traits of a riverine population of the Asian clam *Corbicula fluminea*. *American Midland Naturalist*: 248-257.
- Karatayev, A. Y., Howells, R. G., Burlakova, L. E. & Sewell, B. D. 2005. History of spread and current distribution of *Corbicula fluminea* (Müller) in Texas. *Journal of Shellfish Research*, 24 (2): 553-559.
- Karatayev, A. Y., Padilla, D. K., Minchin, D., Boltovskoy, D. & Burlakova, L. E. 2007. Changes in global economies and trade: the potential spread of exotic freshwater bivalves. *Biological Invasions*, 9 (2): 161-180.
- Lauritsen, D. D. & Mozley, S. C. 1989. Nutrient excretion by the Asiatic clam *Corbicula fluminea*. *Journal of the North American Benthological Society*: 134-139.
- Lopez, C. B., Cloern, J. E., Schraga, T. S., Little, A. J., Lucas, L. V., Thompson, J. K. & Burau, J. R. 2006. Ecological values of shallow-water habitats: Implications for the restoration of disturbed ecosystems. *Ecosystems*, 9 (3): 422-440.
- McMahon, R. & Bogan, A. 2001. Mollusca: Bivalvia. In: Covich, J.H.T.a.P., Ecology and classification of North American freshwater invertebrates. 2nd edition: 331-429. San Diego, Calif. (Academic Press, Inc.).
- McMahon, R. F. 1983. Ecology of an invasive pest bivalve, *Corbicula*. *The Mollusca*, 6 (12): 505-561.
- McMahon, R. F. 2002. Evolutionary and physiological adaptations of aquatic invasive animals: r selection versus resistance. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 59 (7): 1235-1244.
- McMahon, R. F. & Bogan, A. 1991. Mollusca: bivalvia. *Ecology and classification of North American freshwater invertebrates*: 315-399.
- Mouthon, J. 1981. Sur la présence en France et au Portugal de *Corbicula* (Bivalvia, Corbiculidae) originaire d'Asie. *Basteria*, 45: 109-116.
- Mouthon, J. 2000. Répartition du genre *Corbicula* Megerle von Mühlfeld (Bivalvia: Corbiculidae) en France à l'aube du XXIe siècle. *Hydroécologie appliquée*, 12: 135-146.
- Nguyen, L. T. & De Pauw, N. 2002. The invasive *Corbicula* species (Bivalvia, Corbiculidae) and the sediment quality in Flanders, Belgium. *Belgian journal of zoology*, 132 (1): 41-48.
- Pigneur, L. M., Falisse, E., Roland, K., Everbecq, E., Deliege, J. F., Smits, J. S., Doninck, K. & Descy, J. P. 2014. Impact of invasive Asian clams, *Corbicula* spp., on a large river ecosystem. *Freshwater Biology*, 59 (3): 573-583.
- Pimentel, D., Lach, L., Zuniga, R. & Morrison, D. 2000. Environmental and economic costs of nonindigenous species in the United States. *BioScience*, 50 (1): 53-65.
- Pimentel, D., Zuniga, R. & Morrison, D. 2005. Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological economics*, 52 (3): 273-288.
- R Core Team, 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>.
- Sickel, J. 1986. *Corbicula* population mortalities: factors influencing population control. *American Malacological Bulletin*. 1986.
- Silverman, H., Achberger, E., Lynn, J. & Dietz, T. 1995. Filtration and utilization of laboratory-cultured bacteria by *Dreissena polymorpha*, *Corbicula fluminea*, and *Carunculina texasensis*. *The Biological Bulletin*, 189 (3): 308-319.
- Sousa, R., Antunes, C. & Guilhermino, L. 2006. Factors influencing the occurrence and distribution of *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) in the River Lima estuary. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*, Cambridge Univ Press.
- Sousa, R., Antunes, C. & Guilhermino, L. 2008a. Ecology of the invasive Asian clam *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) in aquatic ecosystems: an overview. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*, Cambridge Univ Press.
- Sousa, R., Antunes, C. & Guilhermino, L. 2008b. Ecology of the invasive Asian clam *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) in aquatic ecosystems: an overview. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*, Cambridge Univ Press.

- Sousa, R., Rufino, M., Gaspar, M., Antunes, C. & Guilhermino, L. 2008. c. Abiotic impacts on spatial and temporal distribution of *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) in the River Minho Estuary, Portugal. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 18 (1): 98-110.
- Usseglio-Polatera, P., Wasson, G. & Archaimbault, V. 2009. Protocole expérimental d'échantillonnage des "macro-invertébrés" en cours d'eau profond. *Appui scientifique à la mise en oeuvre de la Directive Cadre sur l'Eau, Collaboration Université de Metz/Cemagref*.
- Verneaux, J., Feassel, B. & Malesieu, G. 1977. Note préliminaire à la proposition de nouvelles méthodes de détermination de la qualité des eaux courantes. *Trav. Cent. Hydrobiolo. Univ Besançon et CTGREF*: 14.
- Verneaux, J., Galmiche, P., Janier, F. & Monnot, A. 1982. Une nouvelle méthode pratique de l'évaluation de la qualité des eaux courantes. Un Indice Biologique de qualité générale: l'IBG. *Ann. Sci. Univ. Fr. Comté, Besançon, Biologie Animale*, 4: 19.
- Voelz, N. J., McArthur, J. V., & Rader, R. B. 1998. Upstream Mobility of the Asiatic Clam *Corbicula fluminea* : Identifying Potential Dispersal Agents. *Journal of Freshwater Ecology*, 13(1), 39-45.
- Vohmann, A., Borcherding, J., Kureck, A., Bij de Vaate, A., Arndt, H. & Weitere, M. 2010. Strong body mass decrease of the invasive clam *Corbicula fluminea* during summer. *Biological Invasions*, 12 (1): 53-64.
- Way, C. M., Hornbach, D. J., Miller-Way, C. A., Payne, B. S. & Miller, A. C. 1990. Dynamics of filter feeding in *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Corbiculidae). *Canadian Journal of Zoology*, 68 (1): 115-120

Les auteurs :

A-S. Hesse, M. Bérenger, V. de Vannoise et S. Mangot font partie des laboratoires d'hydrobiologie de DREAL (Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement) qui ont pour mission de contribuer à faire évoluer les méthodes et les outils en hydrobiologie, de produire et qualifier des données d'état biologique, de contrôler et valider les données produites en hydrobiologie par les prestataires des Agences de l'Eau ainsi que d'apporter une expertise en appui aux politiques territoriales. Le laboratoire d'hydrobiologie de la DREAL Centre - Val de Loire réalise ainsi en régie des analyses de macro-invertébrés benthiques, de diatomées benthiques et de macrophytes. Les données qui en résultent contribuent à l'évaluation de l'état écologique des cours d'eau et sont par ailleurs valorisées au travers d'études comme celle-ci.