



POLYTECH[®]
TOURS

Département
Aménagement et Environnement



Ecole d'ingénieurs
polytechnique
de l'université de Tours

Projet de Fin d'Etudes

Taux d'immobilisation du seston par les bivalves d'eau douce



2016-2017

**Directeur de recherche
Wantzen Karl**

THEVENET Baptiste

Taux d'immobilisation du seston par les bivalves d'eau douce

Directeur de recherche : Karl Wantzen

Auteur : Baptiste Thévenet

2016-2017

AVERTISSEMENT

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur de cette recherche a signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

FORMATION PAR LA RECHERCHE ET PROJET DE FIN D'ETUDES EN GENIE DE L'AMENAGEMENT

La formation au génie de l'aménagement, assurée par le département aménagement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme et de l'aménagement, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir-faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Ingénierie du Projet d'Aménagement, Paysage et Environnement de l'UMR 6173 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

REMERCIEMENTS

Merci à mon tuteur de projet, Monsieur Karl Matthias Wantzen, pour son aide et ses précieux conseils.

SOMMAIRE

Introduction	1
I- Contexte	2
a) Définitions	2
b) Les espèces de bivalves d'eau douce en France	3
c) Biologie et Écologie des bivalves	5
II- Comparaison des taux de filtration inter-espèces	8
a) Méthodes	8
b) Résultats	9
III- Comparaison des particules retenues.....	15
a) Différences qualitatives.....	15
b) Différentes classes de tailles	16
IV- Utilisation et recyclage du seston.....	18
a) Stockage dans les tissus et la coquille	18
b) Évacuation dans les fèces et pseudofèces	19
V- Impacts possibles sur les milieux aquatiques	20
a) Clarification de l'eau.....	20
b) Épuration de l'eau	21
c) Effets sur le cycle des nutriments et impact sur les sédiments	23
Conclusion.....	25
Bibliographie	26
Table des illustrations.....	29

Introduction

Les bivalves d'eau douce ont une importance primordiale sur le fonctionnement des écosystèmes aquatiques en France. En effet, ces organismes filtreurs jouent un rôle important dans le cycle des nutriments en se nourrissant du seston présent dans l'eau.

La France compte une trentaine d'espèces de bivalves d'eau douce dont une vingtaine fait partie de la famille des Sphaeriidae. Bien que ces organismes soient abondants dans les milieux aquatiques, certaines espèces comme les moules du genre *Margaritifera* sont en danger critique d'extinction et font l'objet de mesures de conservations.

Parmi les espèces invasives, la corbicule asiatique (*Corbicula fluminea*) et la moule zébrée (*Dreissena polymorpha*) se démarquent par leur remarquable capacité d'adaptation et de propagation sur tout le territoire. On les retrouve dans divers types de milieux aquatiques à des densités bien souvent largement supérieures aux autres espèces. L'un des points importants est que ces espèces ont des capacités de filtration très élevées et sont également capables de filtrer de nombreuses gammes de particules ayant des tailles variées. Ces espèces vont donc filtrer de grandes quantités d'eau et de matières en suspension tout au long de l'année.

Cette étude, en faisant un état de l'art dans le domaine de la recherche sur les bivalves et leur interaction avec environnement, cherche à savoir quel peut être l'impact des bivalves d'eau douce, et particulièrement des espèces introduites à forte capacité de filtration, sur la composition du seston et son cycle au sein des milieux aquatiques d'eau courante en France aujourd'hui.

Nous nous intéresserons donc aux capacités de filtration des différentes espèces de bivalves ainsi qu'à leur aptitude à retenir différentes variétés de particules en suspension. Nous étudierons également comment ces organismes utilisent le seston et de quelle manière ils le recyclent afin d'évaluer l'impact potentiel sur les rivières.

I- Contexte

Avant de rentrer dans les détails de l'étude, il est nécessaire de définir les principaux termes employés et utilisés pour les explications futures. Il est également important de rappeler quelle est la situation actuelle des bivalves d'eau douce en France et leur biologie.

a) Définitions

Seston : Le terme seston désigne l'ensemble des particules organiques ou inorganiques, minérales, vives ou inertes, en suspension dans l'eau et dénuées de mobilité.

Il est constitué du plancton sous ses différentes formes, du tripton (lui-même composé des excréta du plancton et d'autres organismes que l'on nomme nécromasse), du necton, et du neuston constitué des organismes liés à la surface de l'eau.

Dans le cadre de cette étude, les compartiments du seston qui nous intéressent sont principalement le plancton ainsi que les particules minérales en suspension.

Le taux de filtration est la quantité d'eau passant à travers les branchies d'une moule par unité de temps.

Le taux de clarification est le volume d'eau qui est complètement exempt de particules en suspension après passage par les branchies d'une moule par unité de temps. Ce taux est toujours inférieur au taux de filtration.

Les pseudofèces sont une forme d'excrétat uniquement produites par certains mollusques filtreurs bivalves et certains gastéropodes. Celles-ci ressemblent aux fèces (excréments) stockées dans le fond de la cavité du bivalve, également agglomérées par un mucus sécrété par la moule, mais seules les pseudofèces seront expulsées dans le milieu extérieur sans avoir à passer par le tube digestif ; cet excrétat n'est donc pas un véritable excrément.

La production de pseudofèces contribue au bon tri des particules se présentant dans la « cavité du manteau » (cf. Figure 3). Elle correspond à l'élimination - avant ingestion par la bouche - de la fraction minérale du seston, puis au rejet différentiel des particules non alimentaires. Cette opération va dépendre de la qualité alimentaire de la charge de particules inhalée par le mollusque, et elle joue un rôle important dans le bilan énergétique de l'animal.

Le « pedal-feeding » : ou « nourrissage » par le pied, cette manière de se nourrir est une alternative à la succion habituelle faisant circuler l'eau et la nourriture par les branchies par aspiration. En effet, certains bivalves utilisent leur pied (cf. anatomie en Figure 3) pour amener la nourriture des sédiments à leurs branchies. Cette « technique » est observée particulièrement chez les juvéniles, mais également chez *Corbicula fluminea*. Elle peut permettre un apport conséquent en nourriture et de ce fait avoir un impact non négligeable sur l'écologie des bivalves et leur impact potentiel sur les sédiments.

b) Les espèces de bivalves d'eau douce en France

Les Bivalves sont une classe de Mollusques caractérisés par la présence de deux valves. Les espèces d'eau douce appartiennent toutes à l'ordre des Eulamellibranches.

La France compte une trentaine d'espèces de bivalves en eau douce. Cinq grandes familles sont représentées : les Margaritiferidae, Unionidae, Sphaeriidae, Corbiculidae et Dreissenidae.

Les Margaritiferidae sont représentés par deux espèces, la Mulette perlière (*Margaritifera margaritifera*, Figure 1) et la Grande Mulette (*Margaritifera auricularia*), toutes deux menacées et devenues rares sur le territoire français. Ces deux espèces sont de grande taille et ont une longévité exceptionnelle (supérieure à 100 ans).



Figure 1 : Mulette perlière (*Margaritifera margaritifera*) (photo Bernard Duprez)

Les Unionidae sont représentées par une dizaine d'espèces toutes de grande taille. Par exemple, les espèces du genre *Anodonta* font partie de la famille des Unionidae.

Les Sphaeriidae sont la plus grande famille avec une vingtaine d'espèces. Celles-ci sont toutes de petite à moyenne taille.

Les Dreissenidae ont deux espèces. Les Corbiculidae ont aussi deux espèces.

Ces deux dernières familles ont le statut « introduites et envahissantes » en France. Les espèces les plus répandues et abondantes de ces familles sur le territoire sont la moule zébrée (*Dreissena polymorpha*) et la corbicule asiatique (*Corbicula fluminea*), cf. Figure 2.



Figure 2 : De gauche à droite Moule zébrée (*Dreissena polymorpha*) et corbicule asiatique (*Corbicula fluminea*) (photo Pascal Duboc)

Ces deux espèces étant particulièrement abondantes et influentes actuellement sur les milieux, nous nous intéresserons plus précisément à leur origine et à l'état récent des populations en France.

Dreissena polymorpha, communément appelée moule zébrée, est un bivalve lamellibranche, fixé par un byssus à l'état adulte, originaire de la région Ponto-Caspienne. Elle est connue pour l'extraordinaire extension de son aire de répartition géographique depuis 1800. Cette espèce est, de nos jours, présente dans la majeure partie des lacs et rivières européens et considérée comme une constante de la macrofaune benthique (Bachmann et al. (1997)).

Si sa propagation est largement expliquée par les activités humaines, et notamment par la construction d'importants réseaux de canaux ainsi que par l'intensification de la navigation, on notera cependant les importantes capacités d'adaptation de cette espèce, qui contribuent sans nul doute à son caractère invasif. Cette caractéristique explique que de nombreux scientifiques étudient non seulement ses caractéristiques biologiques, mais aussi les divers moyens mécaniques, physiques,

chimiques ou biologiques susceptibles de freiner ou d'endiguer son développement de masse. En effet cette espèce occasionne de nombreux problèmes aux industriels et distributeurs d'eau, en particulier au niveau de leurs installations (pertes de charge, colmatages des prises d'eau et conduites, augmentation de la corrosion...) (Bachmann et al. (1997)).

Corbicula fluminea, et *Corbicula fluminalis* sont des mollusques bivalves appartenant à la famille des Corbiculidae. Dans la période actuelle, cette famille occupe les continents asiatique, africain et australien. Introduit accidentellement aux États-Unis, où elle fut découverte en 1938, elle a aujourd'hui envahi la plupart des lacs et des cours d'eau d'Amérique du Nord, d'Amérique centrale et d'Amérique du Sud plus récemment (Brancotte, V., & Vincent, T. (2002)). En Europe occidentale, *Corbicula* a été détecté pour la première fois en France, en 1980, dans la basse Dordogne et dans de nombreux autres pays européens au cours des années 80 et 90.

Une étude plus récente montre qu'elle a aussi colonisé le fleuve Loire à partir de 1976 en région Centre Val de Loire (Hesse, A.S., et al. (2015)).

En vingt ans, *Corbicula* a colonisé la totalité des bassins hydrographiques français. L'espèce est présente dans la majorité des cours d'eau, dans certains lacs, ainsi que dans de nombreux canaux de navigation. Sa présence dans les canaux et la densité importante que l'espèce peut y atteindre (200 à 400 individus/m² dans le Canal latéral à la Garonne, en 1993; 1 à 20 individus/m² à Montereau et 80 à 100 individus/m² à Melun, sur la Seine en 2000) laissent supposer que ce type de milieu convient particulièrement aux exigences de *Corbicula* (Brancotte, V., & Vincent, T. (2002)).

c) Biologie et Écologie des bivalves

Afin de mieux comprendre l'impact des bivalves sur le seston, particulièrement dans les cours d'eau français, il est nécessaire de prendre connaissance des bases de leur biologie et écologie. En effet, au cours de leur cycle de vie, leurs besoins énergétiques ou les effectifs des populations par exemple peuvent varier naturellement, ceci ayant une influence sur leur activité et sur l'impact qu'ils peuvent avoir sur les milieux aquatiques.

Les Bivalves d'eau douce sont tous des filtreurs se nourrissant du seston. La plupart des familles filtrent des particules allant de 2,5 à 8 µm, cependant les Dreissenidae peuvent filtrer des particules inférieures à 1 µm.

Leurs prédateurs sont principalement les oiseaux, certains poissons et mammifères (rat musqué, loutre...), mais également des parasites comme des vers trématodes.

En fonction des familles, les formes et les particularités anatomiques peuvent varier de manière significative. Cependant, la Figure 3 présente les grandes particularités anatomiques des bivalves.

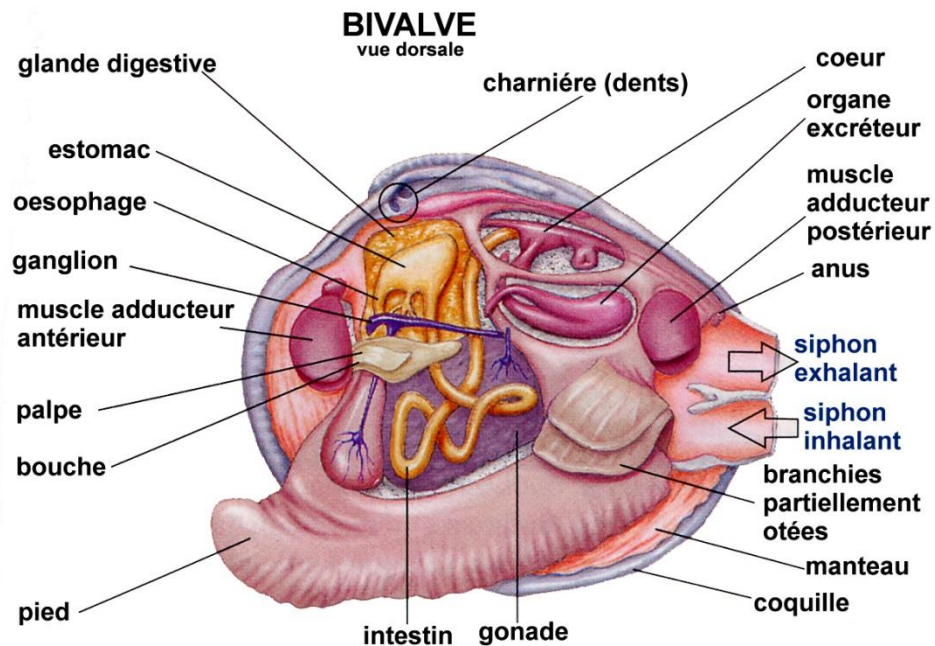


Figure 3 : Anatomie d'un bivalve (source : plongee.cours.free.fr)

Concernant les stratégies de reproduction, celles-ci varient en fonction de la famille. Ces stratégies différentes ont un impact fort sur la capacité de colonisation des espèces et leur résilience face à des événements exceptionnels.

Unionidae et Margaritiferidae : chez les Unionidae, la fécondation donne naissance à une larve, appelée "glochidium", ressemblant à un petit bivalve muni d'un long filament et de crochets à l'extrémité des valves. Certaines de ces glochidies produites en grande quantité, de 50 000 à 2 millions suivant les espèces, se fixent sur un poisson (ouïes, branchies, nageoires) ou plus rarement sur un batracien, et vivent alors en parasites. Après quelques semaines, le kyste sécrété par les tissus de l'hôte, crève et libère un petit individu identique aux parents; une fois tombé sur le substratum, celui-ci se développe rapidement. L'expulsion des glochidies commence à la fin de l'hiver et peut se poursuivre, suivant les espèces, jusqu'en septembre. Unionidae et Margaritiferidae ne produisent qu'une seule génération par an (Mouthon, J. (1982)).

Dreissenidae : la période de ponte s'étale de la fin du printemps au début de l'hiver. Au cours de leur développement, ils passent par un stade planctonique qui se transforme rapidement en un animal benthique rampant sur le substrat, la fixation définitive n'ayant lieu que plus tard, puisque le stade libre peut subsister tout au long de la première année d'existence de l'animal. Il n'y a qu'une seule génération par an (Mouthon, J. (1982)).

Sphaeriidae : ils sont hermaphrodites, les œufs se développent dans une poche incubatrice formée par l'épithélium des lames branchiales externes. Les jeunes sont libérés lorsqu'ils atteignent environ le quart de la taille maternelle. Mais il existe une compétition sévère entre les embryons, puisque, pour la moitié d'entre eux, la croissance cesse rapidement et ils finissent par dépérir. Subissant fortement l'influence du milieu, le genre *Pisidium* atteint la maturité sexuelle au cours de la première année, ou au printemps de la deuxième année. Les conditions de l'environnement vont en outre déterminer la production d'une ou deux générations annuelles successives. En revanche, chez les *Sphaerium*, le développement d'une nouvelle génération peut débiter avant que les jeunes de la précédente soient évacués (Mouthon, J. (1982)).

Corbiculidae : bivalve hermaphrodite. Les larves sont incubées au niveau des hémibranchies des adultes jusqu'à une taille d'environ 250 µm. La stratégie de reproduction allie une forte fécondité (de 34 500 à 47 500 juvéniles libérés en moyenne par adulte et par saison de reproduction) à une mortalité élevée durant la phase planctonique (au moins 99 %). La stabilité des conditions écologiques semble être un facteur favorable pour la reproduction de l'espèce. Au contraire, les crues sont un facteur efficace de régulation (Brancotte, V., & Vincent, T. (2002)).

Le déroulement complet du cycle biologique des bivalves est donc sous l'étroite dépendance des facteurs de l'environnement comme la température, l'hydrologie, les conditions trophiques... et on constate qu'il existe une véritable stratégie d'adaptation au milieu. Cette capacité à s'adapter permet donc à l'espèce d'avoir une productivité maximale dans des conditions données et ainsi de compenser d'une année sur l'autre la faible productivité due, par exemple, à une crue importante ou à un hiver rigoureux.

II- Comparaison des taux de filtration inter-espèces

a) Méthodes

Tout d'abord, afin de pouvoir comparer les taux de filtration entre les espèces, il est nécessaire de s'accorder sur la méthode employée pour mesurer ces taux, ainsi que sur les unités utilisées.

On trouve dans la littérature deux principales méthodes qui sont la mesure indirecte (qui consiste souvent à mesurer la clarté de l'eau) et la mesure directe qui est une mesure de succion.

Il faut savoir que les méthodes de mesures de filtration directes ont parfois été invalidées à cause de conditions d'expérimentations défavorables pour les bivalves (présence d'algues, surpression dans le dispositif, perturbation chimique, etc.) ce qui a conduit souvent à sous-estimer les valeurs de filtration (Jakob, K, & Riisgård, H 1988). Ainsi, d'une manière générale, la majorité des études sur les taux de filtration des bivalves utilisent des méthodes de mesures indirectes. C'est pourquoi nous comparerons dans ce rapport uniquement les résultats obtenus à l'aide de ces méthodes.

Les unités utilisées quant à elles sont aussi variées et pas toujours convertibles. En effet, les taux de filtration et de clarification dans les articles sont principalement exprimés en :

- L/h/individu
- L/h/gramme sec d'individu
- L/h/gramme d'individu vivant
- L/h/cm² de branchies

Notons que les volumes sont parfois exprimés en mL, et le temps en minutes.

Étant donné qu'il n'existe pas d'unité « conventionnelle » et/ou utilisée par une grande majorité de chercheurs, nous ne pouvons choisir une seule unité à comparer dans ce rapport. C'est pourquoi nous nous appuierons parfois sur des résultats exprimés avec différentes unités, en veillant cependant à comparer des valeurs comparables et à décrire systématiquement quelles unités sont utilisées dans quelles études.

b) Résultats

Tout d'abord, rappelons que la littérature est assez peu détaillée sur les espèces de bivalves indigènes, particulièrement en France. Aucune donnée n'a été trouvée concernant la famille des Margaritiferidae. Les autres familles sont relativement détaillées, spécialement les espèces envahissantes comme la corbicule asiatique et la moule zébrée.

- **Unionidae**

Premièrement, les expériences menées par différents chercheurs montrent que les bivalves d'eau douce ont un taux de filtration plus faible que les bivalves marins (2 à 8 fois plus faible selon Jakob, K, & Riisgård, H 1988). Seules deux espèces ont des taux de filtration qui s'approchent des espèces marines, à savoir *Dreissena polymorpha* et *Corbicula fluminea*.

L'expérience de Jakob, K, & Riisgård, H 1988 qui compare les taux de filtration de six espèces de bivalves européens (Unionidae et Dreissenidae) donne les résultats du Tableau 1 :

Tableau 1 : comparaison des taux de filtration de 5 espèces de bivalves d'eau douce européens (Jakob, K, & Riisgård, H 1988)

Species	Dry weight of soft parts (g)	Filtration rate (l h ⁻¹)	Filtration rate per gill area unit (ml min ⁻¹ cm ⁻²)
<i>Anodonta anatina</i>	3.141	2.6–2.9	1.2–1.3
<i>Unio pictorum</i>	3.017	3.2–4.6	1.2–1.7
<i>U. tumidus</i>	2.424	2.1–2.4	1.3–1.5
<i>U. crassus</i>	2.676	3.3–4.1	1.2–1.4
<i>Dreissena polymorpha</i>	0.065	0.5–0.7	1.4–1.9

L'expérience est réalisée à 19-20°C et les particules filtrées sont des algues unicellulaires *Chlorella vulgaris* (4-8 µm). Les résultats montrent que le taux de filtration de *D. polymorpha* par unité de surface de branchie est 10 à 20% plus élevé que les autres espèces malgré un taux de filtration par individu plus faible (les moules zébrées étant de beaucoup plus petite taille).

Cette étude montre également que *D. polymorpha* a un taux de filtration 2 à 10 fois plus élevé que *Sphaerium*, *Unio*, et *Anodonta* (pour les particules *Chlorella vulgaris* (4-8 µm)) avec un taux de

filtration moyen de 10 L/h/gramme sec pour *D. polymorpha* et 0,9 L/h/gsec pour les genres Anodonta et Unio.

Enfin, chez les moules étudiées, le taux de filtration augmente avec la masse sèche.

- **Sphaeriidae**

Concernant la famille des Sphaeriidae, les études sont rares et il y a peu de données sur les taux de filtration de ces espèces. On peut citer les travaux de Hinz, W, & H.-G., S (1972) résumés au sein du Tableau 2 :

Tableau 2 : Taux de filtration de 4 espèces de bivalves européens (d'après Hinz, W, & H.-G., S 1972)

Espèce	Température	n individus	Longueur moyenne (mm)	Poids moyen (g)	Poids sec moyen (g)	Taux de filtration (mL/animal/h)	Taux de filtration (mL/g/h)	Taux de filtration (mL/gsec/h)
<i>Dreissena polymorpha</i>								
	20°C	25	22,1	1,41	0,023	70,7	52,8	3304
	5°C	30	21,6	1,39	0,021	13,0	9,7	729
<i>Sphaerium corneum</i>								
	14°C	67	6,6	0,077		1,61	21,4	
	6°C	65	7,1	0,092		0,69	7,5	
<i>Pisidium amnicum</i>								
	15°C	195	4,5	0,017		0,067	3,87	
	5°C	59	5,5	0,034		0,038	1,09	
<i>Pisidium casertanum</i>								
	14°C	64	4,1	0,028		0,6	24,3	
	6°C	90	4,2	0,026		0,047	1,82	

Les seules données comparables dans ce tableau sont les taux de filtration exprimés en mL/g/h (en rouge). Ainsi, on remarque que *D. polymorpha* a un taux de filtration 2 à 13 fois plus élevé que les espèces de la famille des Sphaeriidae (remarque : la température de l'expérience pour *D. polymorpha* est de 20°C contre 14 et 15°C pour les autres espèces). Celles-ci ont des taux relativement faibles allant de 3,9 à 24,3 mL/g/h. Les différences de taux de filtration à haute et basse température sont significatives chez toutes les espèces et peuvent diminuer jusqu'à 13 fois.

Le taux de filtration des individus testés dépendent de la mobilité: *P. amnicum*, qui est plutôt mobile par rapport aux autres espèces, montre le plus faible taux de filtration, *Dreissena* complètement sessile montre les valeurs les plus élevées.

Notons que dans cette étude, le taux de filtration a été déterminé indirectement par la diminution de la concentration d'une solution de graphite colloïdal (solution à 18%). Depuis cet article (qui date de

1972), il a été montré que l'utilisation de particules inorganiques sous-estime les taux de filtration des bivalves. Ainsi, on peut considérer que cette étude sous-estime les taux de filtration des espèces concernées, cependant les données permettent de comparer d'une manière générale les taux de filtration de quelques espèces européennes avec *D. polymorpha*. Ces résultats fournissent un ordre de grandeur exploitable pour ces espèces.

- **Margaritiferidae**

Aucune donnée n'a été trouvée concernant la famille des Margaritiferidae. Notons que cette famille est rare sur le territoire français. Il est donc peu probable que ces espèces de bivalves aient un impact significatif sur le seston dans les cours d'eau.

- **Dreissenidae**

Afin de montrer la variabilité des résultats concernant la mesure et l'estimation des taux de filtrations chez les bivalves voici un tableau (Tableau 3) tiré de Elliott, P, Aldridge, D, & Moggridge, G (2008) qui donne quelques valeurs de taux de clarification par individu chez *D. polymorpha* :

Tableau 3 : Taux de clarification de *D. polymorpha* dans la littérature (Elliott, P, Aldridge, D, & Moggridge, G (2008))

Reference	Testing device	Food	Size of mussel (mm)	Temperature (°C)	Clearance rate (ml mussel h ⁻¹)
Reeders et al. (1989)	Stirred vessel	Lake water	20–22	13–17.7	30–170
Reeders and Bij de Vaate (1990)	In-situ enclosure	Lake water	22	10–21	40–75
Morton (1971)	Beaker	Colloid graphite	29	5–30	5–180
Mikheev (1967)	In situ	Clay suspension	22	15	2–50
Kryger and Riisgard (1988)	Beaker	Chorella	22	20	286.8
Silverman et al. (1995)	Test tube	<i>Escherichia coli</i>	17–25	?	137
Lei et al. (1996)	Beaker	Polymer microspheres	57 mg DW	15	74
Bastviken et al. (1998)	Recirc. flow-through $\approx 7 \text{ cm s}^{-1}$	River water	11.52 ± 5.89	16–20	44–63
Ackerman (1999)*	Recirc. flow-through $< 1 \text{ cm s}^{-1}$	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	11.4 ± 0.8	20.6 ± 0.3	60 ± 30
Ackerman (1999)*	Recirc. flow-through 9 cm s^{-1}	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	11.4 ± 0.8	20.6 ± 0.3	140 ± 20
Ackerman (1999)*	Recirc. flow-through 20 cm s^{-1}	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	11.4 ± 0.8	20.6 ± 0.3	30 ± 5
Ackerman (1999)*	Recirc. flow-through 9 cm s^{-1}	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	32.5	20.6 ± 0.3	320 ± 40
Baldwin et al. (2002)	Beaker	<i>Chlamydomonas</i>	20–25	20	20–125
Baldwin et al. (2002)	Flow through	<i>Nanochloris</i>	19–22	20	18–402
This study	Industrial flow-through	River water	4–27	15.1–15.5	$574 \pm 20 \text{ (g}^{-1}\text{)}$

Sources followed by an asterisk pertain to *Dreissena bugensis* and are given for comparison. DW = dry weight.

On remarque que la variabilité est très forte entre ces articles puisque le taux de clarification varie de 2 à 400 mL/moule/h (et 574 mL/g/h pour cette étude).

Néanmoins, il reste indéniable (notamment quand on compare des taux par gramme sec) que cette espèce a un taux de clarification et de filtration supérieur à la plupart des espèces d'eau douce du territoire.

- **Corbiculidae**

Concernant *C. fluminea* l'étude de Lauritsen, DD 1986 fournit les résultats suivants pour les taux de filtration par individu (Tableau 4) :

Tableau 4 : Taux de filtration moyens de *C. fluminea* (Lauritsen, DD 1986)

TABLE 2. *Corbicula* mean filtration rate as a function of water temperature. Similarly sized clams (mean SL=22.4 mm) were used for testing. At 8°C, only data from clams that opened their shells were analyzed.

	Temperature		
	8°C	20°C	31°C
Mean filtration rate (ml/hr)	245.9	905.8	951.3
1 SE	47.4	43.6	78.9
<i>n</i>	4	4	4

Notons que les taux de filtration sont exprimés en taux par individu de 22 mm. De plus, à 8°C la moitié des corbicules n'ont pas ouvert leur coquille.

Les résultats montrent également que la concentration en nourriture a un effet significatif sur les taux de filtration (inversement proportionnelle), alors que le taux d'ingestion est relativement constant. La température a un effet significatif sur les taux de filtration (proportionnelle).

Le graphe suivant (Figure 4) permet de déterminer le taux de filtration par gramme sec :

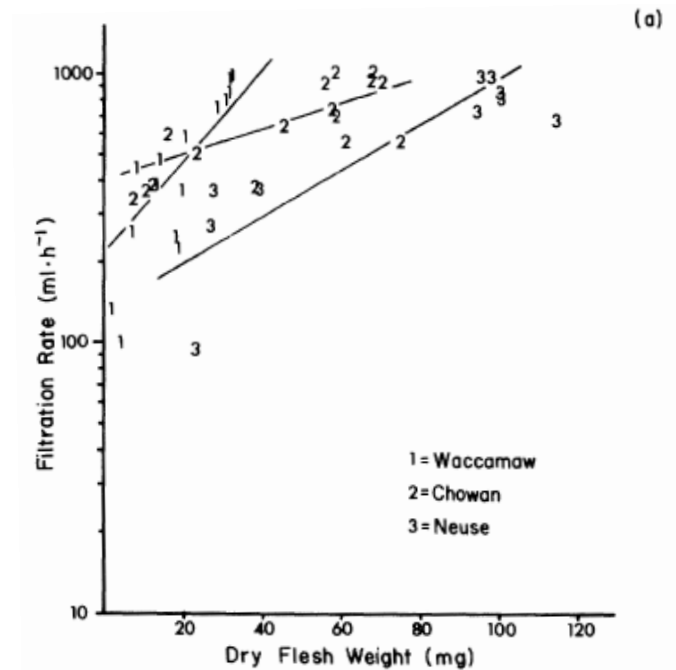


Figure 4 : Taux de filtration de *C. fluminea* provenant de 3 rivières différentes (Lauritsen, DD 1986)

On peut estimer que ces taux de filtration sont compris environ entre 6 et 25 L/h/gsec, ce qui se rapproche des taux de *D. polymorpha*.

D'autres articles comme celui de Buttner, J.K. et Heidinger R.C. (1981), évalue le taux de filtration des corbicules (à l'aide d'une suspension phytoplanctonique) à 347 mL/h/individu et 20,5 L/h/gsec.

A titre de comparaison la thèse de Cheng, K.M. (2015) regroupe les résultats de plusieurs études sur les taux de clarification de *C. fluminea* (voir Tableau 5). Les unités varient d'une étude à l'autre, cependant cela permet de donner un ordre de grandeur du taux et encore une fois cela souligne la variabilité existante entre les différentes études. Ces résultats nous montrent que *C. fluminea* a un taux de clarification supérieur aux espèces autochtones et proche de celui de *D. polymorpha*.

Tableau 5 : Taux de clarification de *C. fluminea* dans la littérature (Cheng, K.M. (2015))

Average Clearance Rate	Range of Clearance Rates	Water Temp (°C)	Clam Size	Diet Used	Study
24.1ml/g/hr	13.8 – 33.9 ml/g/hr	26.5	2.3-7.1 g (wet weight)	Natural seston	(Cohen et al. 1984)
54 ml/hr/clam	20 – 150 ml/g/hr	20 - 24	0.8-23.0 g	Diatomite suspension (lab algae)	(Prokopovich 1969)
-	246 – 951 ml/hr (8 different rates based on treatments)	8, 20, 31	21.2-24.1 mm	Various concentrations of <i>Ankistrodesmus</i> sp. & <i>Scenedesmus</i> sp. (lab algae)	(Lauritsen 1986)
400 ml/hr 800 ml/hr 400 ml/hr	400-800 ml/hr	18 - 20 20 - 24 24 - 28	-	7-25 mg/L <i>Melosira</i> sp.	(Mattice 1979)
-	67.2-148 ml/hr	15	50, 150, 300 mg (ash-free dry weight)	Latex microspheres (artificial diet), <i>Chlorella</i> sp. (lab algae), natural seston	(Way et al. 1990)
11 ml/hr	-	22 - 25	33 mm	<i>Dictyosphaerium</i> sp. & <i>Oscillatoria</i> sp.	(Habel 1970)
347 ml/hr/clam	160 – 861 ml/hr/clam	21 – 24	-	Monoculture <i>Scenedesmus</i> sp. (lab algae)	(Buttner and Heidinger 1981)
816 ml/hr/clam	-	18 - 27	20-30 mm	Natural seston	(Auerbach et al. 1977)
11 ml/hr/clam	-	25 - 30	22-28 mm	Colonial green algae & filamentous blue-green algae (lab algae)	(Haines 1979)
43.2 ml/hr/clam	-	20	-	Polyvinyltoluene beads (artificial diet)	(Leff et al. 1990)

Ces résultats soulignent le fait que les espèces invasives, *D. polymorpha* et *C. fluminea* particulièrement, ont des taux de filtration et de clarification supérieurs aux espèces autochtones. On remarque également que les études concernant les taux de filtration des bivalves donnent des résultats très variés. De plus, il est difficile de trouver des conditions expérimentales similaires entre les articles et les unités employées sont souvent hétérogènes. Notons que par rapport aux études concernant les espèces envahissantes, il existe relativement peu d'articles sur les bivalves d'eau douce autochtones, et encore moins sur le territoire français. Ceci rend délicate l'interprétation de l'impact potentiel de ces dernières espèces sur le seston.

Enfin, un paramètre essentiel pour déterminer l'impact des bivalves sur le seston est la densité. Pour ce paramètre les espèces invasives semblent dominer également, au moins sur la majorité des grands cours d'eau français (Mouthon, J. (1982)).

III- Comparaison des particules retenues

Les bivalves d'eau douce n'ont pas tous la même capacité de rétentions des particules en suspension. En effet, en fonction de leur alimentation et surtout de leur anatomie, ceux-ci ne vont capter ni le même type de particules ni les mêmes quantités que ce soit en termes de taille ou de composition.

a) Différences qualitatives

Bien que les bivalves se nourrissent principalement de phytoplancton, leur filtration quasi continue du milieu fait qu'ils fixent beaucoup d'autres particules dans la colonne d'eau. Ces particules sont de natures diverses et leur fixation par les bivalves va dépendre de leur capacité de rétention.

On s'intéressera dans cette partie principalement aux particules qui ne constituent pas forcément une part du régime alimentaire en soi, mais qui démontrent la capacité des bivalves à capter une grande variété de composés dans l'eau.

Par exemple les moules zébrées semblent capables de retenir la plus grande variété de particules parmi les bivalves. Selon Binelli, A, et al. (2014) celles-ci sont même capables de réduire les concentrations en produits pharmaceutiques et médicamenteux d'effluents urbains. Selon lui, elle pourrait être une voie de traitement des eaux peu coûteuse et naturelle.

Les bivalves sont souvent considérés comme de bons bioaccumulateurs, particulièrement avec les métaux lourds. Des expériences confirment que *D. polymorpha* fixe bien les métaux lourds comme l'aluminium, le chrome, le fer, le manganèse, le nickel, ou le plomb (Magni, S et al. (2015)).

Plusieurs études montrent que les bivalves sont capables de retenir les bactéries, celle de Silverman, H, et al. (1995) montre que *D. polymorpha* filtre les bactéries 30 à 100 fois plus rapidement que *Corbicula fluminea* et *Toxolasma texasiensis* (famille des Unionidae, bivalve d'Amérique du Nord)), respectivement. La possibilité de filtrer *E. coli* semble être liée à l'architecture du cil vibratile sur les cellules latéro-frontales de la branchie. Les cils de *Corbicula* et *Dreissena* sont similaires en taille, mais *Dreissena* a une branchie plus grande par rapport à son poids sec, et a 100 fois plus de cils que *Corbicula*. *Toxolasma texasiensis*, le représentant des Unionidae dans l'étude, a des cils plus petits et moins nombreux, et a une capacité relativement limitée à capturer *E. coli*.

Les corbicules peuvent aussi fixer les résidus médicamenteux dans les eaux. D'après Aguirre-Martínez, G, et al. (2015), les corbicules peuvent fixer les substances pharmaceutiques suivantes : caféine, ibuprofène (anti-inflammatoire), carbamazépine (médicament contre l'épilepsie), novobiocine (antibiotique) et tamoxifène (anti-cancer).

De plus, selon Ismail, N, et al. (2014) *Anodonta californiensis* (Unionidae des États-Unis) et *Corbicula fluminea* peuvent réduire les concentrations de triclocarban (biocide utilisé dans les produits ménagés) et du propranolol (médicament) dans l'eau.

Enfin, l'étude d'Arini, A. et al. (2014) montre que les corbicules fixent aussi les métaux lourds puisqu'elles sont capables de bioaccumuler le zinc et le cadmium.

b) Différentes classes de tailles

Les bivalves ne peuvent pas retenir toutes les substances en suspension dans l'eau, principalement à cause de la taille des particules. Ce sont là encore les particularités anatomiques des bivalves qui vont faire que toutes les espèces ne peuvent retenir ni les mêmes gammes de particules ni dans les mêmes proportions.

Premièrement, un diamètre de 4 μm représente la limite inférieure de taille de particule retenue à 100% par les Dreissenidae et Unionidae (Jakob, K, & Riisgård, H 1988).

De plus, les espèces semblent avoir des préférences dans la sélection des tailles de particules. Ainsi, la moule zébrée se nourrit d'une large gamme de particules en suspension, surtout de plus de 0,7 μm , dont un pourcentage est assimilé (plutôt dans la plage de 15 à 40 μm) et le reste déposé dans la zone benthique sous forme de fèces et de pseudofèces (Binelli, A, et al. (2014)).

Cependant, si on fournit à *D. polymorpha* toute une gamme de particules, celle-ci ne baisse pas en efficacité de filtration en fonction des classes de taille comme le montre l'étude de Roditi, H, et al. (1996). Dans l'expérience menée sur la rivière Hudson (E. U.), les moules ont éliminé les particules avec une efficacité approximativement égale dans toutes les classes de taille de particules mesurées (0,4 μm à >40 μm). Les moules zébrées semblent éliminer efficacement le phytoplancton même en présence de sédiments en suspension et le faire à des taux rapides. Selon les mesures et estimations des chercheurs, les moules zébrées filtrent un volume équivalent à l'ensemble du volume de la colonne d'eau de la rivière Hudson environ tous les 2 jours.

D'après l'étude de Silverman, H, et al. (1995) décrite précédemment, qui consiste à évaluer la capacité de *D. polymorpha*, *C. fluminea* et une espèce des Unionidae à filtrer des bactéries, la taille des bactéries *E. coli* utilisées dans l'étude varie de 1,7 à 2,9 μm de longueur. De plus, il a été démontré que *D. polymorpha* peut utiliser d'autres espèces bactériennes dont la taille varie d'environ 1,3 à 4,1 μm , comprenant *Citrobacter freundii*, *Enterobacter aerogenes*, *Serratia marcescens*, *Bacillus megaterium* et *Bacillus subtilis*.

Les données concernant les classes de taille des particules retenues par les Sphaeriidae sont limitées, mais cette famille ne semble pas avoir la capacité de retenir efficacement des particules inférieures à 2 μm . Comme dit précédemment, *D. polymorpha* semble avantagée anatomiquement grâce à une surface branchiale relative et à un nombre de cils bien supérieurs aux autres espèces de bivalves.

IV- Utilisation et recyclage du seston

En filtrant la colonne d'eau qui leur permet de se nourrir, les bivalves fixent une grande quantité du seston. Cette matière va soit être stockée dans l'organisme soit éliminée directement ou après utilisation pour l'alimentation.

a) Stockage dans les tissus et la coquille

En fonction des éléments qu'ils ingèrent, les bivalves vont plus ou moins les stocker dans différentes parties de leur organisme. Peu d'articles nous renseignent sur l'utilisation et le devenir des particules filtrées, cependant quelques données sont présentées ci-après.

McLaughlan, C, & Aldridge, D (2013) dans leur étude sur les moules zébrées montrent que les individus analysés contiennent 100 mg d'azote par gramme sec et 9,3 mg de phosphore par gramme sec, ceci dans le corps mou. Dans la coquille, la composition est de 0,45 mg de phosphore par gramme sec et 0,38 mg d'azote par gramme sec. Ces résultats nous renseignent sur la capacité des moules zébrées à assimiler les nutriments. L'azote est fixé en quantité environ 10 fois plus importante dans le corps mou que le phosphore, alors que dans la coquille ces deux éléments sont présents en quantités presque similaires.

Les bivalves sont également des bioaccumulateurs, particulièrement de métaux lourds. Ainsi, les corbicules peuvent bioaccumuler le Zinc et le Cadmium en 24 jours après un contact permanent avec une rivière contaminée. Les taux vont de plusieurs $\mu\text{g/g}$ de poids sec à plus de 100 $\mu\text{g/g}$ de poids sec pour les deux éléments. En réponse à ce stress, les corbicules produisent de la métallothionéine, une protéine produite pour se détoxifier (Arini, A. et al. (2014)).

Notons que ces taux sont relativement élevés pour un organisme et c'est pourquoi cet article suggère que la corbicule est adaptée au biomonitoring dans le cas de suivis de contaminations aux métaux lourds.

En fixant de grandes quantités de matières dans leur organisme, les bivalves d'eau douce représentent un lieu de stockage important de nombreux éléments présents dans nos eaux. Il est donc important de les considérer dans les modèles environnementaux, comme les calculs de transferts de nutriments par exemple.

b) Évacuation dans les fèces et pseudofèces

Après leur filtration par les bivalves, les particules vont soit être assimilées, digérées puis excrétées sous forme de fèces, ou bien « rejetées » sous forme de pseudofèces (pour la définition des pseudofèces voir « I-a) Définitions »).

Un premier point important est que les bivalves peuvent excréter dans leurs pseudofèces des éléments comestibles, normalement utilisés pour l'alimentation. Ainsi selon Dresler, R. H., et al. (1984), la production de pseudofèces est plus dépendante du type de nourriture algale (taille, forme) que de sa concentration. Au-delà de 25 mg/L de seston, il n'y a pas de relation entre le taux de filtration des corbicules et la concentration en seston et celles-ci peuvent en excréter dans leurs pseudofèces. La phéophytine-a (chlorophylle-a sans son cation de magnésium) présente dans les sédiments superficiels est bien corrélée avec la biomasse de corbicules, ce qui est dû au phytoplancton excrété dans les pseudofèces.

L'excrétion préférentielle par les fèces ou les pseudofèces va dépendre également de la qualité et de la quantité de nourriture. Schneider, Daniel W., et al. (1998) montrent que pour *D. polymorpha* la quantité de pseudofèces est corrélée à la quantité et à la qualité du seston. Plus la proportion de matière inorganique dans le seston est élevée, plus la quantité de pseudofèces est grande (la composition des pseudofèces est d'ailleurs dominée par de la matière inorganique). Et plus la concentration en seston est élevée plus la quantité de pseudofèces est importante.

Le taux de filtration augmente avec la quantité de seston alors que le taux de clarification lui reste stable. La moule zébrée semble donc inadaptée aux cours d'eau turbides ayant de fortes concentrations en particules inorganiques.

L'excrétion va également dépendre de la taille des particules. Par exemple, la moule zébrée se nourrit d'une large gamme de particules en suspension, surtout de plus de 0,7 μm , dont un pourcentage est assimilé (plutôt dans la plage de 15 à 40 μm) et le reste est déposé dans la zone benthique sous forme de fèces et de pseudofèces (Binelli, A, et al. (2014)).

Notons que les pseudofèces et fèces des bivalves vont accélérer le dépôt naturel du seston (Lauritsen, DD 1986).

V- Impacts possibles sur les milieux aquatiques

a) Clarification de l'eau

L'un des impacts sur le seston par les bivalves le plus « visible » est la clarification de l'eau. En effet, ceux-ci filtrant de grandes quantités d'eau et se nourrissant principalement de phytoplancton, ils vont conduire inévitablement à une baisse de concentration de ce dernier (si les densités sont importantes). Le phytoplancton étant souvent le premier responsable de la turbidité de l'eau en conditions hydrologiques « normales », sa diminution en concentration va conduire à une clarification de l'eau, et cela parfois dans des pas de temps très courts (quelques années).

Les études montrent que les espèces qui ont un impact important sur la clarté de l'eau sont les bivalves invasifs, particulièrement *C. fluminea* grâce à un taux de filtration élevé et des densités souvent très importantes.

D'après l'étude de Ronald R. H., et al. (1984), les corbicules asiatiques peuvent « clarifier » l'eau d'une rivière en filtrant de grandes quantités de phytoplancton.

L'étude porte sur l'abondance du phytoplancton dans un segment de 7 km de la rivière Potomac (Maryland), en été 1980 et 1981. L'abondance du phytoplancton au sein de ce segment était de 40 à 60% inférieure par rapport aux zones amont et aval de celui-ci, formant un « affaissement ».

En 1980, les plus fortes densités de *Corbicula fluminea* étaient dans le même segment que « l'affaissement » du phytoplancton. Les taux de filtration montrent que le volume de cet affaissement peut être pompé par la population de *Corbicula* en 3-4 jours.

Les autres hypothèses tentant d'expliquer cette faible concentration en phytoplancton (zooplancton, substances toxiques, limitation en nutriments) ont été rejetées.

Plus localement, une récente étude montre une chute de la chlorophylle a de 95% du fleuve Loire liée à la clarification des principaux affluents (Cher, Vienne, Indre, Beuvron) par *C. fluminea* en 20 ans (Hesse, A.S., et al. (2015)). Cette baisse commence en 1997, soit 20 ans après les premières observations de présence de l'espèce, et 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.

La capacité de filtration remarquable de cette espèce lui permet de filtrer la colonne d'eau des rivières qu'elle colonise en un temps relativement limité.

En effet, par exemple il a été calculé qu'une densité de 350 corbicules/m² peut filtrer l'ensemble de la colonne d'eau présente au-dessus, dans une rivière de 5,25 m de fond en 1-1,6 jour en été en fonction de la concentration en seston (R. H., C, Dresler et al. (1984)).

La moule zébrée semble aussi être capable d'avoir un impact visible et relativement rapide sur la concentration en phytoplancton. Une simulation réalisée dans le but de connaître l'impact de la moule zébrée sur la rivière Havel en Allemagne (dans un lac de barrage) montre que *D. polymorpha* peut potentiellement réduire la concentration en chlorophylle a de 39% en un an (Lindim, C (2015)).

A notre connaissance, aucune étude ne démontre un tel impact sur le compartiment phytoplanctonique par les bivalves des autres familles comme les Unionidae ou Sphaeriidae. Cela s'explique relativement bien en comparant les taux de filtration et les densités des espèces invasives qui sont souvent bien supérieurs.

b) Épuration de l'eau

Comme nous l'avons décrit précédemment, les bivalves, grâce à leur capacité à filtrer de grandes quantités d'eau et à retenir un grand nombre de particules, peuvent être des éléments essentiels dans l'épuration de l'eau. Ils sont capables de filtrer et retenir métaux lourds, résidus antibiotiques ou encore bactéries et virus. Cependant, le facteur limitant va être la capacité des bivalves à retenir des polluants et des particules très fines. Pour cela, ces espèces invasives semblent avoir un avantage, particulièrement *D. Polymorpha* qui peut fixer de très fines particules. Cependant, là encore, une majorité d'études concernent les espèces invasives et il est difficile d'évaluer l'efficacité des espèces autochtones dans ce domaine.

Une étude portant sur l'influence des bivalves filtreurs, *Corbicula fluminea*, sur le virus de l'influenza aviaire (grippe aviaire) dans l'eau montre que les titres viraux dans l'eau avec *Corbicula* étaient significativement inférieurs 24 et 48 h après l'inoculation par rapport à l'eau infectée sans corbicules. Pour déterminer si les corbicules affectent l'infectiosité des virus de la grippe aviaire, 18 canards ont été divisés en groupes d'essai et exposés à un haut pathogène (H5N1). Aucun des canards inoculés avec de l'eau infectée qui a été filtrée par les corbicules ou qui a été mise en contact avec les tissus

de ces corbicules n'a montré de morbidité ou de mortalité. Tous les canards exposés à l'eau infectée sans corbicules ou à l'inoculum viral d'origine sont morts.

Ces résultats indiquent que les bivalves filtreurs (notamment *Corbicula fluminea*) peuvent éliminer et réduire l'infectiosité des virus de la grippe aviaire dans l'eau (Faust, C et al. (2009)).

En plus de les filtrer, les bivalves peuvent se nourrir des bactéries en les assimilant. Dans l'étude de Silverman, H et al. (1995), des marqueurs d'acides aminés ont été utilisés pour démontrer que les nutriments bactériens ont été incorporés dans les tissus des moules. Les analyses ont montré l'incorporation d'acides aminés marqués dans les protéines des bivalves et ont démontré que les bactéries intactes ne sont pas simplement coincées dans les tissus des moules. La conversion des acides aminés bactériens marqués en protéine de moule était d'environ 26% (en 2 jours et pour toutes les espèces de bactéries, à savoir *Escherichia coli*, *Citrobacter freundii*, *Enterobacter aerogenes*, *Serratia marcescens*, *Bacillus megaterium* et *Bacillus subtilis*).

Une récente étude italienne montre que les bivalves *D. polymorpha* peuvent être utilisés pour épurer l'eau des effluents municipaux en fixant une part des virus et des bactéries. D'après les résultats, les concentrations en poliovirus (responsable de la Poliomyélite) et rotavirus (première cause de diarrhée aiguë sévère du jeune enfant) sont réduites significativement par les moules. Les bactéries *E. coli* sont complètement éliminées de l'eau. Pour les scientifiques, l'aptitude de *D. polymorpha* à filtrer et inhiber les pathogènes pourrait aider à contrôler les risques sur la santé humaine (Mezzanotte, V, et al. (2016)).

Des expériences in-situ ont été menées dans une rivière des Etats-Unis en Californie. Celles-ci montrent qu'une population composée à 90% d'*Anodonta californiensis* (espèce native) et 10% de *C. fluminea* peut diviser la concentration en *E. coli* d'une rivière 10 à 30 fois en 24h.

Ceci souligne l'importance des bivalves pour améliorer la qualité de l'eau et encourage à soutenir les populations natives de bivalves (Ismail, N, Tommerdahl, J, Boehm, A, & Luthy, R 2016).

Enfin, il est intéressant de constater que les bivalves peuvent être de bons bioindicateurs, et ainsi contribuer à une meilleure analyse des pollutions aquatiques. Que ce soit pour les métaux lourds, les résidus pharmaceutiques ou encore les pesticides, leur capacité à bioaccumuler ces polluants et à répondre par un stress en leur présence leur permet d'être un bon bioindicateur pour des substances qui sont encore assez peu recherchées dans des analyses de routine.

c) Effets sur le cycle des nutriments et impact sur les sédiments

Cette consommation constante de seston et ces rejets importants ne sont pas sans conséquence sur le cycle des nutriments et la composition des sédiments.

Atkinson, C et al. (2010) ont mené une étude dans une rivière de Géorgie aux états unis. L'impact d'*Elliptio crassidens* (espèce native) et de *C. fluminea* sur le cycle des nutriments est évalué en comparant les isotopes stables de carbone et d'azote dans les tissus des deux espèces.

Ainsi, les corbicules retiennent moins d'azote que l'espèce native. Celles-ci rejettent également une proportion plus importante d'azote dans leurs fèces et pseudofèces que l'espèce native.

Ces résultats soulignent le fait que les corbicules peuvent modifier le cycle des nutriments.

Ceci est appuyé par les résultats de Lauritsen, D, & Mozley, S (1989) qui indiquent qu'en raison de son abondance, *Corbicula fluminea* a le potentiel d'influencer le cycle des nutriments par l'excrétion de déchets métaboliques, y compris NH_3 et PO_4 . Les taux d'excrétion d'ammoniac et d'orthophosphates ont été estimés de façon saisonnière dans les *Corbicula* fraîchement récoltées de la rivière Chowan, une grande rivière de plaine côtière dans l'est de la Virginie en Caroline du Nord.

L'excrétion a été la plus élevée en mai et en septembre pour les deux nutriments. Cette espèce peut avoir un effet substantiel sur le cycle des nutriments en été dans la rivière Chowan supérieure et un grand affluent, la rivière Blackwater, l'excrétion allant de 357 à 8642 $\mu\text{moles d'ammoniac}/\text{m}^2/\text{jour}$, et une excrétion d'orthophosphate allant de 161 à 3924 $\mu\text{moles}/\text{m}^2/\text{jour}$. Ceci représente jusqu'à plus de 30% du taux d'absorption quotidien du phytoplancton de ces deux mêmes substances. Il y a donc une minéralisation importante des nutriments due à *C. fluminea* là où elle est abondante et un risque d'eutrophisation.

Des processus complexes peuvent également entrer en jeu et avoir une influence significative sur le milieu avec parfois des effets difficiles à prévoir. En effet par exemple, les corbicules peuvent augmenter les concentrations en phosphore et en Fer dans les sédiments (Chen, M, et al. (2016)).

L'explication vient du fait que la respiration des bivalves diminue la profondeur de pénétration de l'oxygène et par conséquent les équilibres redox, ce qui conduit à la réduction des oxydes de Fe (facilement réductibles), cela conduit à l'augmentation significative du Fe soluble dans l'eau.

Par conséquent, les sédiments ont une plus faible capacité à retenir le phosphore (car le phosphore est retenu par le Fe(III)), cela entraîne une libération plus importante de phosphore soluble. Dans ce cas, les concentrations en phosphore soluble augmentent de 100 à 800% en présence de corbicules.

Cette étude montre que l'activité des corbicules favorise le relargage de phosphore soluble dans les eaux et contribue ainsi indirectement à augmenter le niveau trophique des milieux aquatiques.

Corbicula peut également impacter la qualité des sédiments, principalement avec son pedal-feeding (voir I-a) Définitions) qui lui permet de croître plus vite qu'avec une filtration uniquement.

Avec les densités du milieu naturel (1372 indiv/m², dans certaines rivières des états unis en Virginie), les expériences montrent que *C. fluminea* représente 46% de la consommation en oxygène dans les sédiments. C'est donc un important consommateur d'oxygène.

De plus, *C. fluminea* diminue le taux de matière organique dans les sédiments de 0,07% en 3 semaines. Ceci n'est valable qu'en cas de conditions favorables au pedal-feeding (pas assez de matière en suspension à filtrer dans la colonne d'eau). L'accès au pedal-feeding permet une croissance 55% plus rapide que les individus ne pouvant que filtrer, en 2 semaines.

L'étude conclut sur le fait que *C. fluminea* a un impact fort sur le cycle du carbone dans les hydrosystèmes sableux où cette espèce est abondante. Celle-ci peut avoir un impact significatif sur la quantité de matière organique présente dans les sédiments (Hakenkamp, C, & Palmer, M 1999)

La moule zébrée impacte également fortement les sédiments et le cycle des nutriments. Ainsi, une population de 6500 tonnes de moules zébrées (répartie sur 17 km dans un estuaire de la mer baltique) rejette environ 514 kg de phosphore inorganique soluble par jour et précipite 15 tonnes de particules organiques par jour (dont la moitié est déposé en fèces et pseudofèces qui peuvent contribuer à la pollution organique du milieu) (Orlova, M et al. (2004)).

Lindim, C (2015) indique que le recyclage des nutriments par les moules zébrées est responsable d'une hausse de 19% d'ammonium, et de 5% de phosphates.

Ainsi, les rejets des bivalves peuvent être réellement conséquents et avoir un impact important sur le milieu. Ceci dit, cela ne semble concerner que les espèces invasives qui ont des densités suffisantes pour avoir un tel effet sur le milieu. L'impact n'en est pas moins significatif puisque ce sont des cycles et des équilibres très complexes qui vont être modifiés et avoir une influence sur l'ensemble des milieux aquatiques et sans doute des compartiments biotiques.

Conclusion

Pour conclure, à l'aide de l'ensemble des informations condensées dans ce rapport, nous avons pu déterminer l'impact des bivalves sur le seston dans les cours d'eau. Tout d'abord ces organismes sont de remarquables filtreurs, malgré des disparités fortes entre les espèces il n'est pas impossible qu'une population de bivalves puisse filtrer l'ensemble de la colonne d'eau en quelques jours seulement. De plus, ils sont capables de retenir une grande diversité de particules, pas uniquement le phytoplancton, mais aussi de nombreux éléments organiques et inorganiques. Ceci les rend très dépendants de la qualité de l'eau et des matières en suspension, mais ils deviennent ainsi de bons indicateurs de la qualité des milieux aquatiques.

Enfin, les études s'accordent sur le fait que les bivalves ont un impact bien réel sur le seston et les milieux aquatiques en général avec parfois des résultats très visibles comme la clarification de l'eau. Le cycle des nutriments et la qualité sédimentaire se voient aussi modifiés en leur présence et les effets en sont d'autant plus difficiles à prévoir.

Ces résultats sont principalement avérés pour les espèces invasives, spécialement *C. fluminea* et *D. polymorpha* sur notre territoire. En effet, leurs particularités anatomiques, leur taux de filtration élevé et leurs densités importantes font qu'ils sont beaucoup plus impactant sur les milieux que les espèces autochtones. Leur arrivée parfois récente fait que certains équilibres se trouvent modifiés en leur présence avec des conséquences à venir encore floues sur les cours d'eau.

En sachant que les bivalves influencent grandement la qualité et la quantité du seston, des nutriments et des sédiments, il est intéressant de se demander quelle est l'influence de ces organismes sur les autres espèces aquatiques. Par exemple, selon Sousa, R et al. (2008) *C. fluminea* est responsable de près de 98% de la biomasse macro-zoobenthique dans un estuaire. On mesure bien dans ce cas l'impact potentiel sur l'ensemble de la chaîne trophique.

Il est important de souligner que la plupart des articles cités concernent l'Amérique du Nord ou d'autres pays européens. Or, les milieux, les biocénoses et les conditions de vie sont certainement différents dans les cours d'eau français pour les bivalves. Il est donc délicat de faire des prédictions ou des comparaisons avec des données extérieures à notre territoire. Cela met donc en évidence l'importance de mener plus d'études sur ces organismes au sein de notre territoire, pour la science, mais également pour les enjeux importants que ces organismes représentent et représenteront à l'avenir.

Bibliographie

Aguirre-Martínez, G, DelValls, A, & Laura Martín-Díaz, M 2015, 'Yes, caffeine, ibuprofen, carbamazepine, novobiocin and tamoxifen have an effect on *Corbicula fluminea* (Müller, 1774)', *Ecotoxicology And Environmental Safety*, 120, pp. 142-154, ScienceDirect, EBSCOhost.

Arini, A, Daffe, G, Gonzalez, P, Feurtet-Mazel, A, & Baudrimont, M 2014, 'What are the outcomes of an industrial remediation on a metal-impacted hydrosystem? A 2-year field biomonitoring of the filter-feeding bivalve *Corbicula fluminea*', *Chemosphere*, 108, pp. 214-224, ScienceDirect.

Atkinson, C, Opsahl, S, Covich, A, Golladay, S, & Conner, L 2010, 'Stable isotopic signatures, tissue stoichiometry, and nutrient cycling (C and N) of native and invasive freshwater bivalves', *Journal of the North American Benthological Society*, 2, p. 496, JSTOR Journals, EBSCOhost.

Bachmann, V., Usseglio-Polatera, P., Cegielka, E., Wagner, P., Poinssaint, J. F., & Moreteau, J. C. (1997). Premières observations sur la coexistence de *Dreissena polymorpha*, *Corophium curvispinum* et *Corbicula* spp. dans la rivière Moselle. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, (344-345), 373-384.

Binelli, A, Magni, S, Soave, C, Marazzi, F, Zuccato, E, Castiglioni, S, Parolini, M, & Mezzanotte, V 2014, 'The biofiltration process by the bivalve *D. polymorpha* for the removal of some pharmaceuticals and drugs of abuse from civil wastewaters', *Ecological Engineering*, 71, pp. 710-721, ScienceDirect, EBSCOhost.

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. *Bull. Fr. Pêche Piscic*, 365(366), 325-337.

Buttner, J.K. and Heidinger R.C. 1981. Rate of Filtration in the Asiatic Clam, *Corbicula fluminea*, *Transactions of the Illinois Academy of Science* 74:13-17.

Chen, M, Ding, S, Liu, L, Xu, D, Gong, M, Tang, H, & Zhang, C 2016, 'Kinetics of phosphorus release from sediments and its relationship with iron speciation influenced by the mussel (*Corbicula fluminea*) bioturbation', *Science Of The Total Environment*, 542, Part A, pp. 833-840, ScienceDirect, EBSCOhost.

Cheng, K.M. 2015. The Asian Clam *Corbicula fluminea*: Seasonal Filtration Rates of Representative Populations in Two Tributaries of the Delaware River. Drexel University.

Covich, A, Palmer, M, & Crowl, T 1999, 'The Role of Benthic Invertebrate Species in Freshwater Ecosystems: Zoobenthic species influence energy flows and nutrient cycling', *BioScience*, 2, p. 119, JSTOR Journals, EBSCOhost.

Elliott, P, Aldridge, D, & Moggridge, G 2008, 'Zebra mussel filtration and its potential uses in industrial water treatment', *Water Research*, 42, pp. 1664-1674, ScienceDirect, EBSCOhost.

Faust, C, Stallknecht, D, Swayne, D, & Brown, J 2009, 'Filter-Feeding Bivalves Can Remove Avian Influenza Viruses from Water and Reduce Infectivity', *Proceedings: Biological Sciences*, 1673, p. 3727, JSTOR Journals, EBSCOhost.

Hakenkamp, C, & Palmer, M 1999, 'Introduced Bivalves in Freshwater Ecosystems: The Impact of *Corbicula* on Organic Matter Dynamics in a Sandy Stream', *Oecologia*, 3, p. 445, JSTOR Journals, EBSCOhost.

Hesse, A.S., Bérenger, M, de Vannaise, V, Mangot, S 2015, Historique de propagation de la corbicule, *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Corbiculidae), en région Centre Val de Loire (France), *Journal Malaco*, vol. 11 : 6-13.

Hinz, W, & H.-G., S 1972, 'Zur Filtrationsleistung von Dreissena, Sphaerium und Pisidium (Eulamellibranchiata) (Filtration Rate of Dreissena, Sphaerium and Pisidium (Eulamellibranchiata))', *Oecologia*, 1, p. 45, JSTOR Journals, EBSCOhost.

Ismail, N, Müller, C, Morgan, R, & Luthy, R 2014, 'Uptake of Contaminants of Emerging Concern by the Bivalves *Anodonta californiensis* and *Corbicula fluminea*', *Environmental Science & Technology*, 48, 16, pp. 9211-9219, Business Source Premier, EBSCOhost.

Ismail, N, Tommerdahl, J, Boehm, A, & Luthy, R 2016, 'Escherichia coli Reduction by Bivalves in an Impaired River Impacted by Agricultural Land Use', *Environmental Science & Technology*, 50, 20, pp. 11025-11033, Business Source Premier, EBSCOhost.

Jakob, K, & Riisgård, H 1988, 'Filtration Rate Capacities in 6 Species of European Freshwater Bivalves', *Oecologia*, 1, p. 34, JSTOR Journals, EBSCOhost.

Lauritsen, DD 1986, 'Filter-Feeding in *Corbicula fluminea* and Its Effect on Seston Removal', *Journal of the North American Benthological Society*, 3, p. 165, JSTOR Journals, EBSCOhost.

Lauritsen, D, & Mozley, S 1989, 'Nutrient Excretion by the Asiatic Clam *Corbicula fluminea*', *Journal of the North American Benthological Society*, 2, p. 134, JSTOR Journals, EBSCOhost.

Lindim, C 2015, 'Modeling the impact of Zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) on phytoplankton and nutrients in a lowland river', *Ecological Modelling*, 301, pp. 17-26, ScienceDirect, EBSCOhost.

Magni, S, Parolini, M, Soave, C, Marazzi, F, Mezzanotte, V, & Binelli, A 2015, 'Removal of metallic elements from real wastewater using zebra mussel bio-filtration process', *Journal Of Environmental Chemical Engineering*, 3, pp. 915-921, ScienceDirect, EBSCOhost.

McCall, P, Tevesz, M, Wang, X, & Jackson, J 1995, 'Particle Mixing Rates of Freshwater Bivalves: *Anodonta grandis* (Unionidae) and *Sphaerium striatinum* (Pisidiidae)', *Journal Of Great Lakes Research*, 21, pp. 333-339, ScienceDirect, EBSCOhost.

McLaughlan, C, & Aldridge, D 2013, 'Review: Cultivation of zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) within their invaded range to improve water quality in reservoirs', *Water Research*, 47, pp. 4357-4369, ScienceDirect, EBSCOhost.

Mezzanotte, V, Marazzi, F, Bissa, M, Pacchioni, S, Binelli, A, Parolini, M, Magni, S, Ruggeri, F, De Giuli Morghen, C, Zanotto, C, & Radaelli, A 2016, 'Removal of enteric viruses and *Escherichia coli* from municipal treated effluent by zebra mussels', *Science Of The Total Environment*, 539, pp. 395-400, ScienceDirect, EBSCOhost.

Mouthon, J. (1982) Les mollusques dulcicoles-Données biologiques et écologiques-Clés de détermination des principaux genres de bivalves et de gastéropodes de France [archive]. *Bulletin Français de Pisciculture*, pp. 1-27.

Orlova, M, Golubkov, S, Kalinina, L, & Ignatieva, N 2004, '*Dreissena polymorpha* (Bivalvia: Dreissenidae) in the Neva Estuary (eastern Gulf of Finland, Baltic Sea): Is it a biofilter or source for pollution?', *Marine Pollution Bulletin*, 49, pp. 196-205, ScienceDirect, EBSCOhost.

Roditi, H, Caraco, N, Cole, J, & Strayer, D 1996, 'Filtration of Hudson River Water by the Zebra Mussel (*Dreissena polymorpha*)', *Estuaries*, 4, p. 824, JSTOR Journals, EBSCOhost.

Ronald R. H., C, Dresler, P, Elizabeth J. P., P, & Cory, R 1984, 'The Effect of the Asiatic Clam, *Corbicula fluminea*, on Phytoplankton of the Potomac River, Maryland', *Limnology and Oceanography*, 1, p. 170, JSTOR Journals, EBSCOhost.

Schneider, Daniel W., Sharook P. Madon, Stoeckel James A., and Sparks Richard E. "Seston Quality Controls Zebra Mussel (*Dreissena Polymorpha*) Energetics in Turbid Rivers." *Oecologia* 117.3 (1998): 331-41. Web.

Silverman, H, Achberger, E, Lynn, J, & Dietz, T 1995, 'Filtration and Utilization of Laboratory-Cultured Bacteria by *Dreissena polymorpha*, *Corbicula fluminea*, and *Carunculina texasensis*', *Biological Bulletin*, 3, p. 308, JSTOR Journals, EBSCOhost.

Sousa, R, Nogueira, A, Gaspar, M, Antunes, C, & Guilhermino, L 2008, 'Growth and extremely high production of the non-indigenous invasive species *Corbicula fluminea* (Müller, 1774): Possible implications for ecosystem functioning', *Estuarine, Coastal And Shelf Science*, 80, pp. 289-295, ScienceDirect, EBSCOhost.

Tachet H., 2003, INVERTÉBRÉS D'EAU DOUCE : SYSTÉMATIQUE, BIOLOGIE, ÉCOLOGIE, ed. du CNRS, Bayeux, 587p.

Table des illustrations

Figure 1 : Mulette perlière (<i>Margaritifera margaritifera</i>) (photo Bernard Duprez)	3
Figure 2 : De gauche à droite Moule zébrée (<i>Dreissena polymorpha</i>) et corbicule asiatique (<i>Corbicula fluminea</i>) (photo Pascal Duboc)	4
Figure 3 : Anatomie d'un bivalve (source : plongee.cours.free.fr)	6
Figure 4 : Taux de filtration de <i>C. fluminea</i> provenant de 3 rivières différentes (Lauritsen, DD 1986) 13	
Tableau 1 : comparaison des taux de filtration de 5 espèces de bivalves d'eau douce européens (Jakob, K, & Riisgård, H 1988)	9
Tableau 2 : Taux de filtration de 4 espèces de bivalves européens (d'après Hinz, W, & H.-G., S 1972)10	
Tableau 3 : Taux de clarification de <i>D. polymorpha</i> dans la littérature (Elliott, P, Aldridge, D, & Moggridge, G (2008))	11
Tableau 4 : Taux de filtration moyens de <i>C. fluminea</i> (Lauritsen, DD 1986)	12
Tableau 5 : Taux de clarification de <i>C. fluminea</i> dans la littérature (Cheng, K.M. (2015))	14

35 allée Ferdinand de Lesseps

BP 30553

37205 TOURS cedex 3

Directeur de recherche :

Karl Wantzen

Baptiste Thévenet

Projet de Fin d'Études

DA5

2016-2017

Taux d'immobilisation du seston par les bivalves d'eau douce

Résumé : Ce projet a pour objectif de dresser un état de l'art dans le domaine de la recherche sur les bivalves d'eau douce des rivières françaises. Plus précisément, quel est leur impact sur le seston. Une attention particulière est portée aux espèces invasives, notamment car celles-ci ont des taux de filtration supérieurs aux espèces natives et des capacités d'adaptation et de développement remarquables. Les résultats des études menées jusqu'à aujourd'hui démontrent que les bivalves ont un impact important sur le seston des cours d'eau. En effet, ils peuvent être le premier facteur de régulation du seston. Avec un impact conséquent sur le cycle des nutriments au sein des milieux aquatiques, les bivalves ont une influence forte sur les chaînes trophiques. En effet, de nombreux organismes du bas de la chaîne alimentaire sont dépendants des bivalves pour leur prise de nourriture. Les espèces invasives, quand elles sont présentes dans un milieu, prennent facilement le dessus sur les espèces natives grâce à leur capacité d'adaptation. Elles ont donc très rapidement un impact sur le seston en « remplaçant », et ce de manière plus intense, les espèces natives dans leur rôle de filtreurs du milieu. C'est pourquoi il est important d'étudier et de suivre ces espèces afin d'évaluer plus précisément leur impact sur l'ensemble des milieux aquatiques.

Mots Clés : bivalve, moule, eau douce, seston, taux de filtration, taux de clarification, *Dreissena*, *Corbicula*, *Anodonta*, *Unionidae*, *Sphaeriidae*