

Cinétique larvaire et estimation de la colonisation des grands axes de la Seine par le mollusque invasif *Dreissena* en 1999 et 2000

Maïa Akopian, Josette Garnier & Séverine Pinault

UMR Sisyphe 7619, CNRS/UPMC, Boite 123, Tour 26, étage 5, 4 place Jussieu, 75005 Paris

Durant les années 1999 et 2000, la dynamique larvaire, du zooplancton et du phytoplancton a été étudié avec une haute fréquence d'échantillonnage (2-3 fois par semaine) aux trois exutoires des principaux sous-bassins: la Seine (Choisy-le-Roi), l'Oise (Méry-sur-Oise), la Marne (Neuilly-sur-Marne et St. Maurice). Une forte variation interannuelle apparaît quand nous comparons les résultats obtenus avec ceux des années précédentes (1995-1996 pour la Marne, 1996-1998 pour la Seine en aval de Paris).

Nous avons quantifié le stock des adultes benthiques à partir des flux larvaires dans ces trois rivières. Les estimations montrent que la population benthique de l'Oise est stable contrairement à celle de la Marne où nous observons une nette diminution de la production larvaire ces dernières années et donc un déclin du peuplement au fond. La Seine, quant à elle semble moins touchée par le phénomène invasif à l'amont de Paris, tandis qu'à l'aval, la Dreissène trouve des conditions favorables et les abondances calculées des adultes fixés sont élevées.

1. Introduction

L'étude de l'invasion des milieux d'eau douce par le genre *Dreissena* a pris maintenant une grande ampleur dans le monde (Neumann, 1992 ; Nalepa, 1993). Vraisemblablement, la prolifération et la dispersion de ce mollusque s'est accélérée ces derniers temps grâce à l'action de l'homme (Kinzelbach, 1992 ; Johnson, 1996). Outre son impact souvent très marqué sur la totalité de l'écosystème (Caraco, 1997), cet organisme cause des problèmes aux établissements industriels en France (Khalanski, 1997 ; Testard, 1992) où il s'est implanté depuis déjà plus de 100 ans (Blanche, 1867). Pour pouvoir contrôler et gérer ce phénomène il faut comprendre les mécanismes qui déterminent la dispersion et l'installation de ce mollusque, l'évolution des populations locales. L'objectif de ce travail a été d'étudier les stades larvaires planctoniques qui nous renseignent sur l'état des colonies au fond et d'estimer les populations de Dreissènes adultes (benthos) implantées dans le secteur aval des trois tributaires principaux formant la basse Seine : l'Oise, la Marne et la Seine. Le but final est d'apporter plus d'information pour construire un véritable modèle de la dynamique de cet organisme, au cycle biologique complexe.

2. Site d'étude et méthodologie

Un suivi régulier des flux larvaires depuis 1999 est réalisé à l'exutoire de trois principaux tributaires de la basse Seine : Oise, Marne et Seine. Les prélèvements sont effectués à quatre stations en raison de 2-3 échantillons par semaine.

Les prélèvements de 10 litres d'eau sont réalisés en surface, à St. Maurice, et à Méry/Oise et à 2 mètres de profondeur à Noisy/Marne et à Choisy/Seine. L'échantillon est filtré sur un tamis de 40 µm de vide de maille et fixé au formol à 4 %. Au laboratoire, le zooplancton est dénombré (après dilution si nécessaire) dans une cuvette de Dollfus (110x60mm) divisée en 200 carrés, sous une loupe binoculaire de grossissement 50 fois. Dans chaque échantillon, les tailles des larves planctoniques de *Dreissena polymorpha* sont mesurées afin d'établir les classes de taille et d'estimer la densité des géniteurs fixés au fond de la rivière selon la méthode de Testard (1991).

Simultanément avec l'échantillonnage du plancton, un prélèvement d'eau est réalisé pour les analyses de la teneur en Chl.*a*, en MES, en COP et en sels nutritifs (cf. Garnier et al., ce rapport).

Une campagne de plongée a eu lieu le 15 octobre 2000 dans le port à Noisy/Marne pour constater la présence des *Dreissena* adultes dans ce secteur.

3. Résultats et discussion

Les larves apparaissent au printemps dès que la température atteint 12-15 °C et monte brusquement (Figure 1): c'est le début de la saison de reproduction pour la moule zébrée. Le pic du développement algal précède généralement cet événement. Pourtant, il n'est pas possible d'établir une relation directe entre la concentration en chlorophylle et la densité larvaire, car la dynamique de la ponte dépend de multiples facteurs, tels que la température, les stimuli chimiques (synchronisation de la ponte), les conditions de l'année précédente, etc. La figure 1 montre la simultanéité de démarrage de la ponte 1999 et 2000 à toutes les stations étudiées des trois rivières.

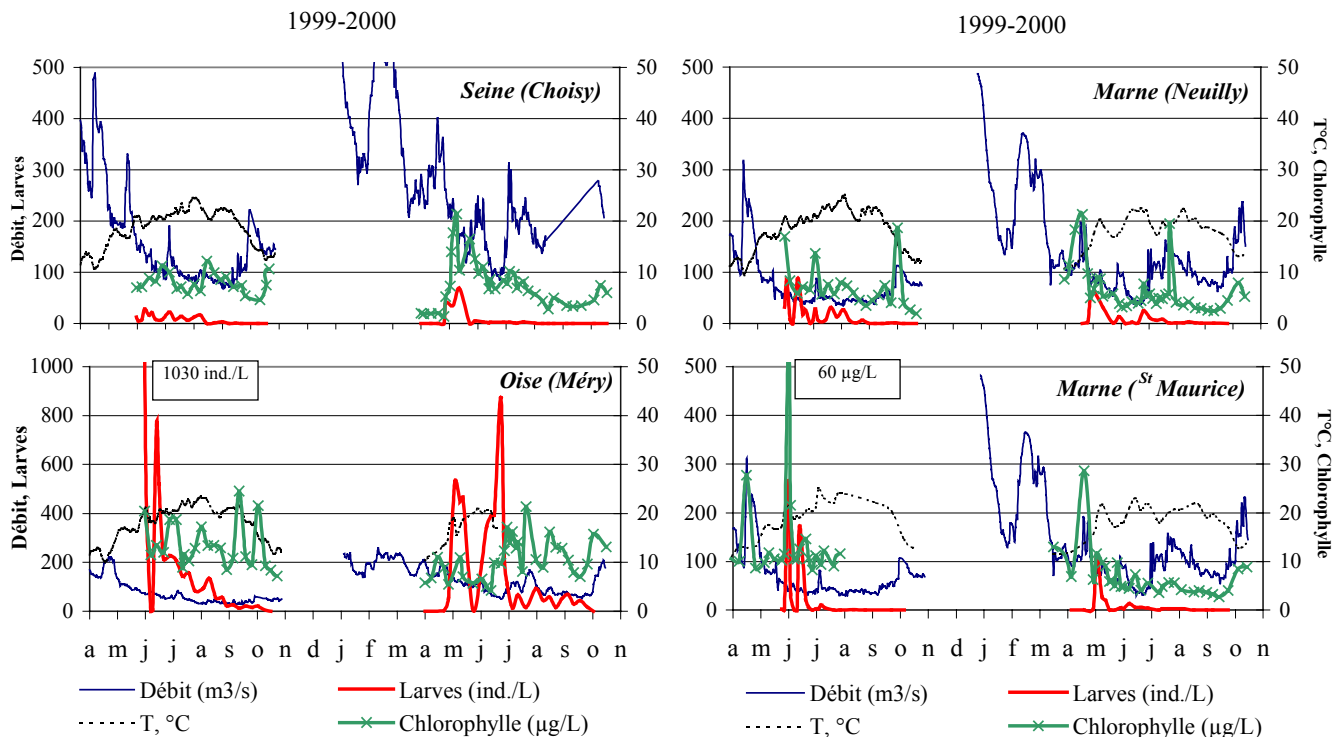


Figure 1. Variations saisonnières (1999-2000) de la concentration larvaire (ind./L), de la chlorophylle totale (µg/L), de la température et du débit (m³/s) à 4 stations : Choisy-le-Roi (Seine), Méry-sur-Oise, Noisy-sur-Marne et St. Maurice (Marne).

L'allure de la courbe est souvent bimodale. La plus grande partie des œufs est fécondée au début de la saison de production (Figure 1). La durée de cette dernière est déterminée grâce aux observations et s'étend de mai à octobre (Tableau 1).

Tableau 1. Durée de la période de reproduction (en jour) de *Dreissena polymorpha* à l'exutoire des trois sous-bassins (Marne, Seine, Oise) en 1999 et 2000.

Rivières	Seine	Oise	Marne	
Stations	Choisy	Méry	Noisy	St. Maurice
1999	119	136	147	80
2000	94	160	146	114

En 1999 et 2000, la ponte a cependant été précoce et brève dans la Seine et dans la Marne à St. Maurice, par rapport à l'Oise. Il est vraisemblable que la dilution importante (année pluvieuse) est une des causes principales pour expliquer ce phénomène (Tableau 2) : souvent le volume prélevé s'est avéré insuffisant pour détecter les faibles concentrations larvaires. De plus, le débit fort pourrait empêcher le bon déroulement de la ponte dans le milieu fluvial quand la probabilité de rencontre des cellules mâles et femelles diminue. La quantité de ressources nutritives (microphytoplancton) n'est pourtant pas significativement différente dans les rivières étudiées.

Tableau 2. Débit moyen (m³/s) durant la période de production : du 15 avril au 15 octobre à l'exutoires des trois sous-bassins : Seine, Marne et Oise.

Rivière	Seine	Oise	Marne	
Station	Choisy	Méry	Noisy	St. Maurice
1999	151	69	72	66
2000	195	100	96	90

Nos observations réalisées en 1999 et 2000 ont révélé que l'Oise est plus colonisée par le mollusque que la Marne et la Seine. Les concentrations larvaires sont parmi les plus élevées citées dans la littérature.

Cette remarque concerne aussi le zooplancton, plus abondant (en densité moyenne saisonnière) en 1999 et 2000 dans l'Oise (Figure 2).

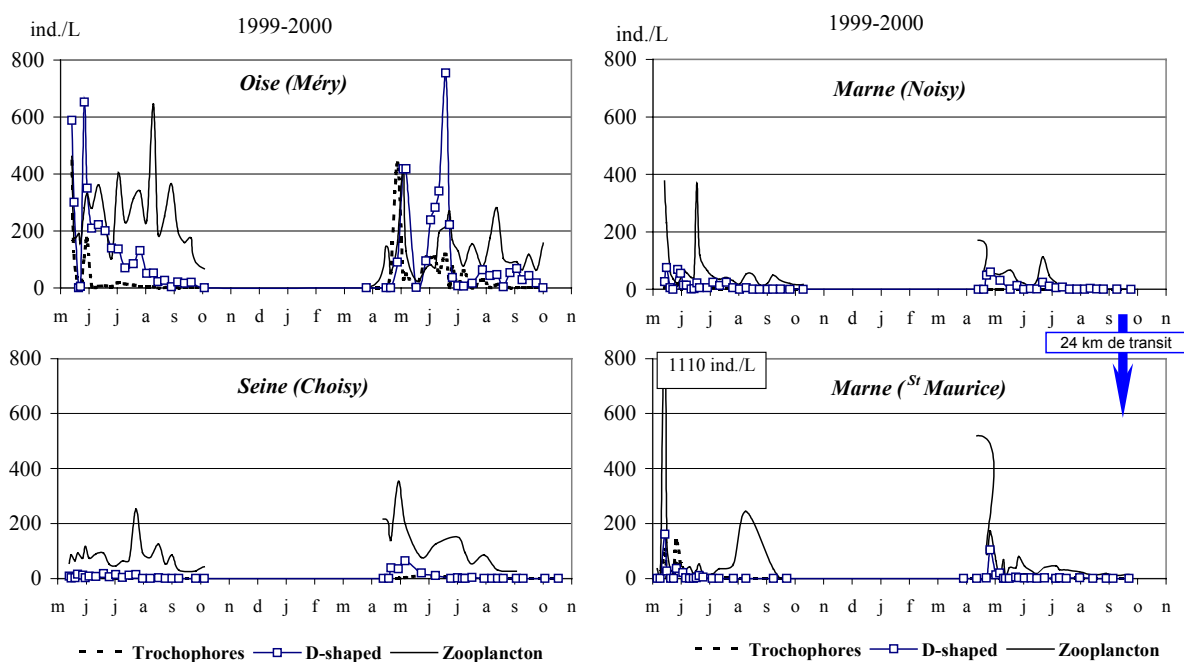
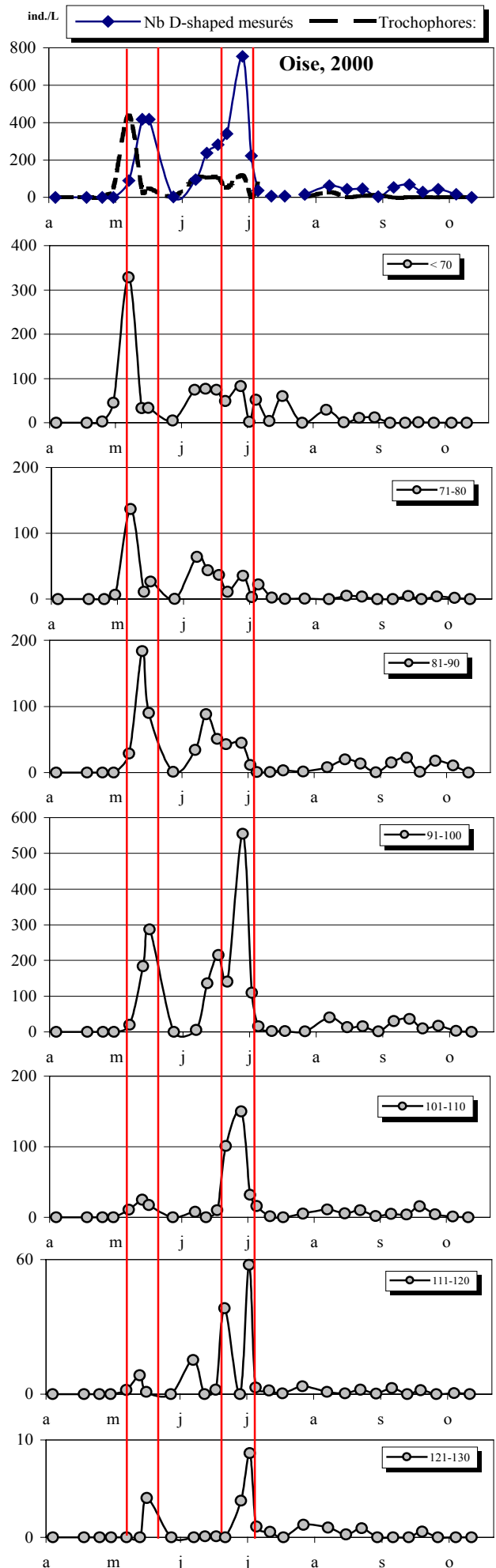


Figure 2. Cinétique saisonnière (1999-2000) des différents composants du zooplancton : deux stades larvaires de *Dreissena* (trochophore et véligère) en comparaison avec le zooplancton sensu stricto (à cycle vital entièrement pélagique).

Le premier stade larvaire des *Dreissènes* - les trochophores - qui a une durée de vie de l'ordre de 48 heures, est observé en grande quantité à la station Méry ce qui témoigne de la proximité des colonies des géniteurs (Figures. 2 & 3). Dans la Marne, les organismes de ce stade sont en quantité considérable à la station la plus aval du tronçon (St.Maurice), mais sont peu présents à Noisy (station amont). L'augmentation de la concentration larvaire entre Noisy et St. Maurice est donc due au recrutement des plus jeunes stades sur ces 24,3 km.

L'analyse des cohortes montre que le premier pic larvaire (mi-mai) à la station Oise est essentiellement constitué des plus jeunes stades récemment émis dans l'eau (Figure 3). Nous pouvons donc supposer que la colonie de géniteurs se trouve sur un tronçon amont d'environ 112 ± 2 km de longueur (sous réserve de la validité des estimations de la vitesse du courant et de la croissance) correspondant au maximum à 4 jours de transit de la masse d'eau (10-19/05/2000). Le deuxième maximum de concentration larvaire (19-30/06/2000) est, au contraire, formé par les individus plus âgés (Figure 3). Pour situer la colonie des géniteurs nous avons besoin de la vitesse du courant. Comme le débit moyen pour cette période est deux fois plus faible que le débit correspondant au premier pic ($60,5$ vs 126 m³/s), les larves plus âgées proviennent en fait certainement du même secteur. Le faible pourcentage des individus de grande taille dans tous les échantillons indique en outre une forte mortalité larvaire, non prise en compte dans nos calculs, qui sous-estime donc la population benthique. Toutefois la technique de coloration des larves (au rouge de Bengale, Horvath, 1999) nous a permis de distinguer les D-shaped indemnes des morts. Contrairement aux autres auteurs (Lewandowski, 1982 ; Welker, 1998 ; Horvath, 1999), nous n'avons pas trouvé de larves endommagées en grande quantité (20% maximum dans nos échantillons), ni de mortalité « sélective », touchant une cohorte particulière (la structure en taille des larves mortes reflète celle de l'échantillon entier).

Figure. 3. Cinétique saisonnière (2000) des larves par cohortes de taille à la station Méry-sur-Oise. Les trochophores (plus jeune stade) mesurent généralement $< 80 \mu\text{m}$ et se transforment en larve véligère en 48 heures. Les cohortes suivantes sont déterminées avec un pas de $10 \mu\text{m}$ ce qui correspond à une vitesse de croissance moyenne de $10 \mu\text{m}/\text{jour}$ (par exemple, la cohorte 91-100 μm a l'âge moyen de 4 jours). Les barres verticales cernent deux pics saisonniers et montrent quelles cohortes composent chacun d'eux.



Les faibles effectifs larvaires en 1999-2000 nous ont empêché de préciser la vitesse de croissance larvaire que nous considérons de 10 $\mu\text{m}/\text{jour}$ en moyenne pour les calculs (Figure 4).

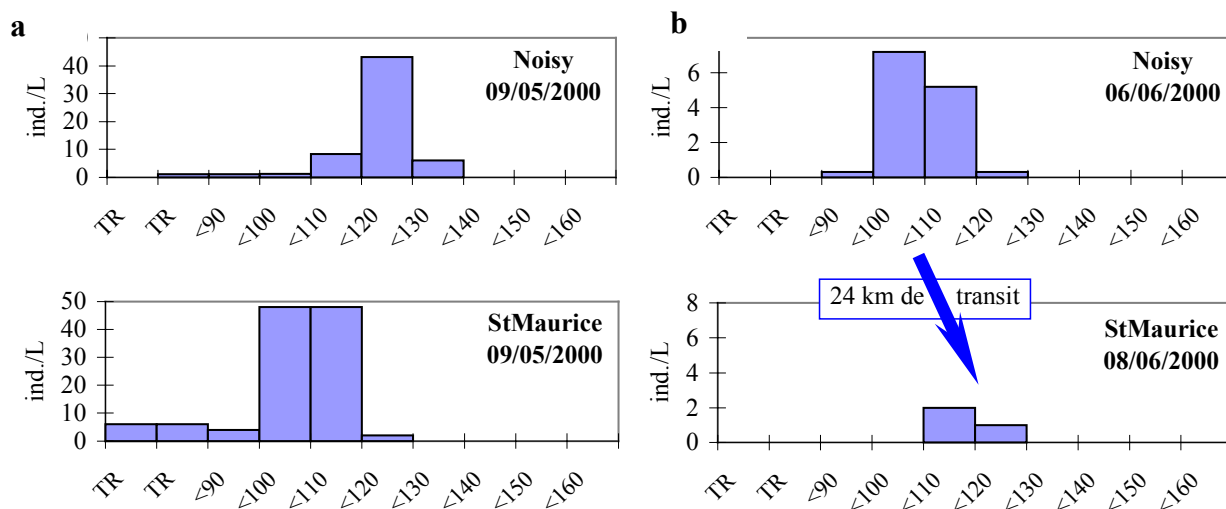


Figure 4. Suivi de cohortes larvaires (ind./L) à l'extrémité du tronçon aval de la Marne : de Noisy-sur-Marne à St. Maurice. a) prélèvements réalisés le jours même; b) à deux jours d'intervalle. Distance entre les stations = 24,3 km.

Si la croissance des trochophores et des plus jeunes véligères est assurée par leurs ressources internes, les larves de plus de 100 μm de taille se nourrissent des particules du milieu (phytoplancton notamment). Le taux de croissance n'est pas seulement dépendant de la température (qui varie finalement peu pendant la saison estivale), mais surtout de la quantité et qualité de la nourriture.

La méthode de calcul décrite dans le rapport précédant (Akopian *et al.*, 2000) est appliquée pour estimer la densité des géniteurs au fond des rivières à partir des flux larvaires. La procédure a été affinée et automatisée (discrétisation des flux par km de la rivière, prise en compte des débits journaliers correspondant à chaque classe de taille, c-à-d âge pour déterminer la distance parcourue par la cohorte, possibilité de déterminer le pas de distribution, etc.). Des exemples de résultats obtenus sont présentés sur les figures 5 et 6.

Les histogrammes de la distribution des adultes dans l'Oise ont la même allure pour deux années consécutives et montrent une stabilité de la colonie entre 1999 et 2000 (Figure 5). Un léger décalage du maximum en 2000 est observé vers l'aval, probablement dû au courant plus fort cette année-là (déplacement par charriage, par exemple).

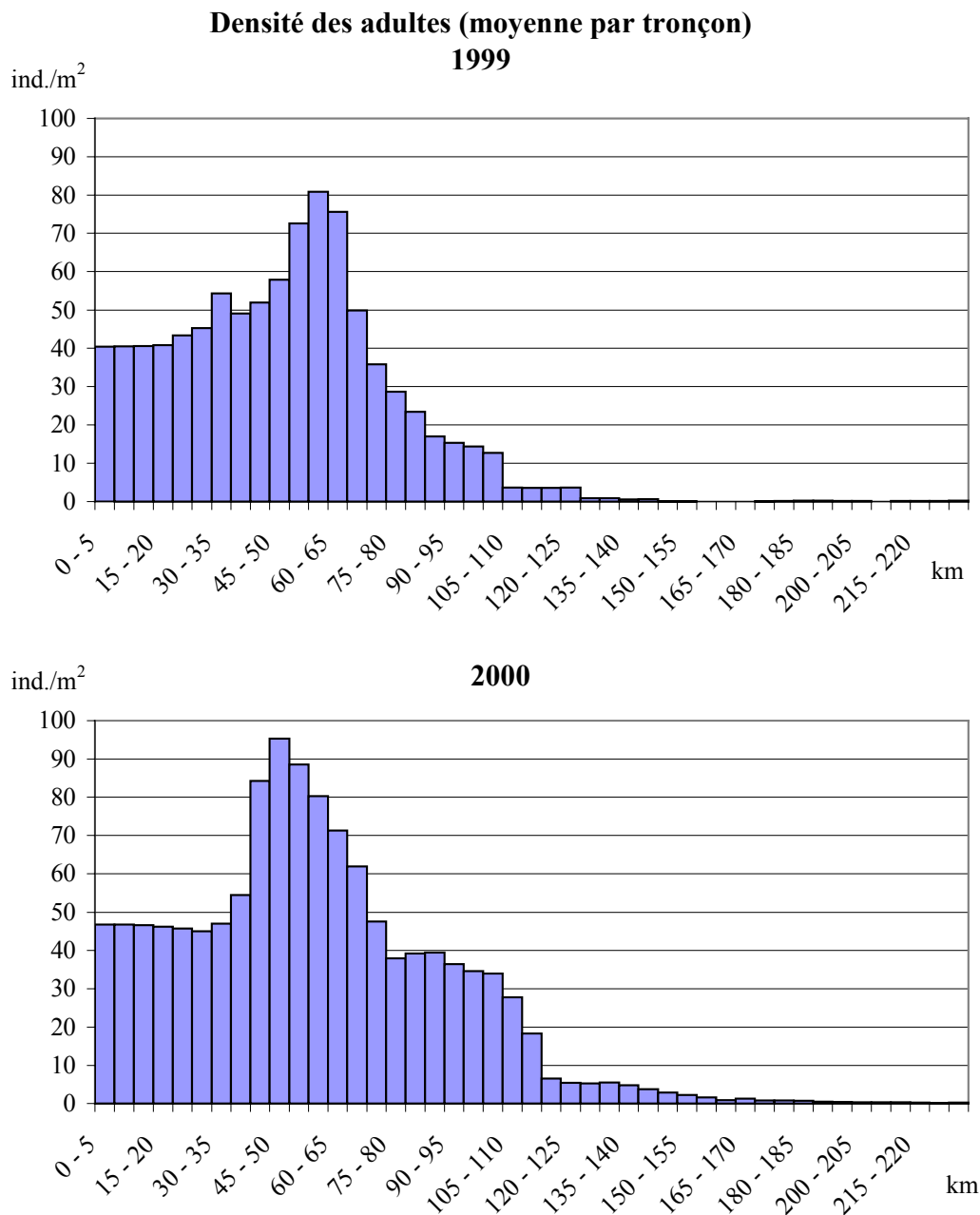


Figure 5. Densité des mollusques-générateurs au fond (1999-2000) en amont de la station Méry-sur-Oise par tronçon de 5 km (résultats de modélisation). Le point 0 correspond à la station de prélèvement. Les flèches montrent le sens de l'écoulement.

Les densités calculées soit pour la Marne, soit pour la Seine sont beaucoup plus modestes: 2-8 individus par mètre carré contre 40-90 pour l'Oise dans les premier 100 km en amont (Figs. 5 & 6). Il est intéressant de noter que les larves de grande taille (plus de 200 μ m), intermédiaires entre la phase planctonique et la phase benthique, sont souvent repérées en proportion non négligeable dans les échantillons de la Marne à Noisy (Fig. 6). Elles sont donc originaires d'une colonie implantée loin en amont : 300-400 km. Cette colonie vient-elle de la Marne elle-même, ou du Rhin connecté par le canal que nous savons fortement infesté?

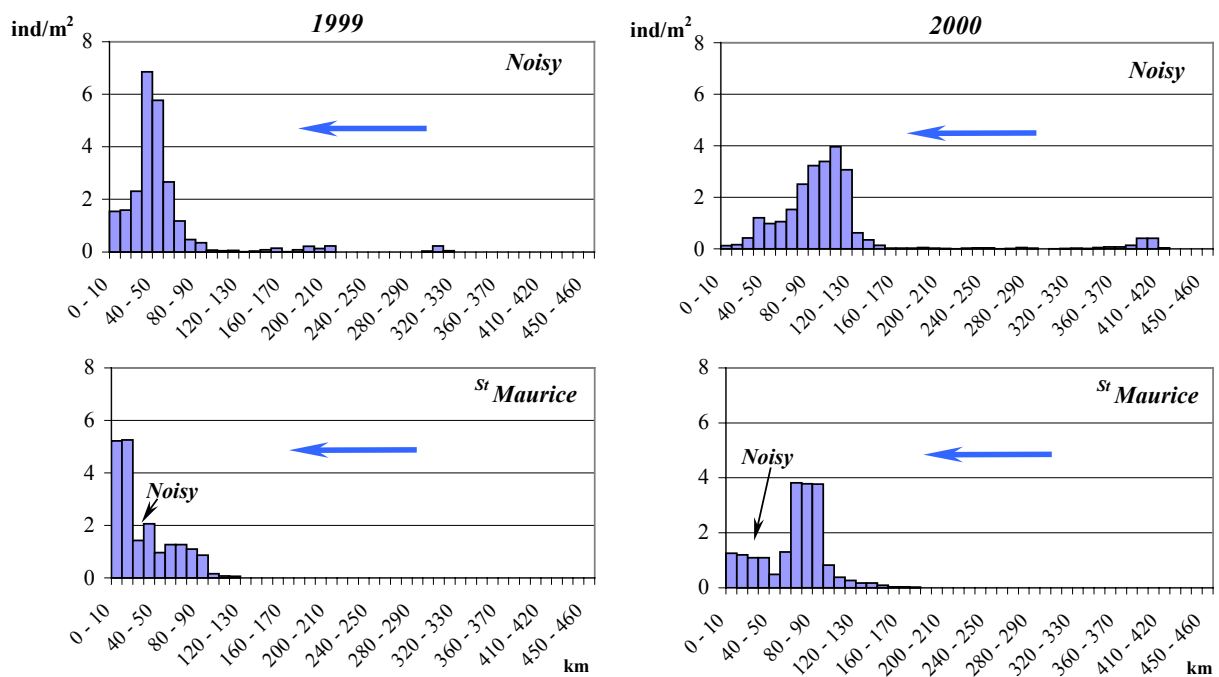


Figure 6. Densité des mollusques-géniteurs au fond (1999-2000) en amont des stations Noisy et St. Maurice (Marne) distantes de 24,3 km (résultats de modélisation). Le pas de la distribution est égal à 10 km. Les flèches montrent le sens de l'écoulement.

En termes de flux, ces larves peuvent constituer un sérieux potentiel de renouvellement de la population benthique au niveau de cette station (Noisy-sur-Marne). Pour confirmer en partie nos hypothèses et nos résultats, nous avons effectué quelques plongées au mois d'octobre 2000 dans la Marne (le port à Noisy). Bien que semi-quantitatifs, les prélèvements et les photos du fond ont montré l'existence de la colonie benthique. Seule une large campagne de dragage du fond, difficile à mettre en place à large échelle géographique, associée à un recueil d'informations auprès d'Institutions ou de riverains, permettra de valider définitivement les calculs de distribution des organismes adultes à partir du flux larvaire.

La distribution de la biomasse des adultes fixés de la Dreissène, ainsi que le taux de filtration par unité de biomasse sont inclus au modèle écologique RIVE. Un des problèmes est la variabilité interannuelle des flux larvaires (Figure 7) qui conduit évidemment à des estimations différentes des adultes. Si cette variabilité reflète l'état physiologique des adultes, elle est aussi considérée comme un indicateur des changements structurels de la population benthique (effondrement, déplacement, implantation, renouvellement de la colonie). La forte diminution des flux larvaires à St. Maurice après l'année exceptionnelle de 1995 ne peut pas être expliquée uniquement par la dépression physiologique des géniteurs potentiels. L'hypothèse la plus plausible pourrait être l'effondrement de la colonie benthique, probablement détruite par le dragage qui a été effectué dans la Marne en octobre 1995. La population benthique n'aurait pas pu se reconstituer depuis (Figure 7).

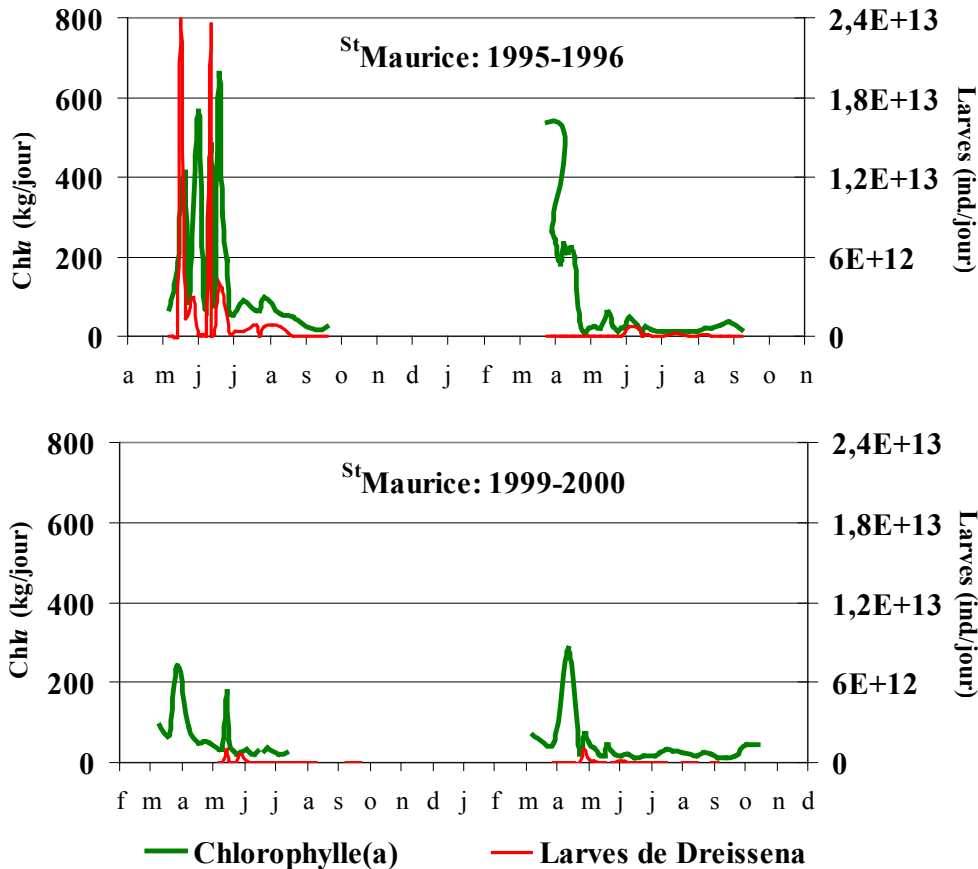


Figure 7. Flux larvaires (ind./jour) et de chlorophylle a (kg/jour) à St. Maurice (Marne) en 1995, 1996, et 1999, 2000.

Les réponses à ces questions peuvent être apportées grâce aux prélèvements benthiques et aux études anatomiques des adultes. Les traitements statistiques des données obtenues, caractéristiques des différentes années de point de vue hydrologique, de niveau trophique, etc. permettront de trouver les facteurs essentiels de contrôle de la dynamique des moules et du zooplancton dans le bassin versant de la Seine.

4. Conclusions et perspectives

Nous avons désormais une bonne base de données (qui sera encore complétée en 2001) sur les flux larvaires et l'estimation des adultes au fond. Ces données nous permettent d'affiner la prise en compte de la distribution de la biomasse de la dreissène dans les principaux secteurs canalisés du réseau hydrographique (Marne, Oise, Seine amont, Basse Seine).

Les hauts débit de l'été 2000 ne nous ont pas permis d'estimer correctement les paramètres de croissance, de mortalité,... nécessaire à l'établissement d'un modèle de dynamique des dreissènes. Nous avons cependant rassemblé les données bibliographiques sur le sujet. La synthèse encore va à court terme nous permettre de formuler mathématiquement cette dynamique dans le modèle RIVE. Au cas où l'année 2001 serait aussi pluvieuse que 2000, nous chercherons à déterminer les valeurs de paramètres insuffisamment connus en conditions contrôlées du laboratoire.

Il est important de noter que cette problématique s'inscrit désormais dans le cadre du programme « Espèces invasives » du Ministère de l'Environnement, et que les investigations menées ici dans le cadre du PIREN-Seine en seront nécessairement enrichies.

5. Références bibliographiques.

- Blanche, M. (1867). "Sur l'occurrence de *Dreissena polymorpha* dans la Seine." Bull. Soc. Sc. Nat. Rouen **2**: 69-70.
- Caraco, N. F., J. J. Cole, et al. (1997). "Zebra mussel invasion in a large, turbid river: phytoplankton response to increased grazing." Ecology **78**: 588-602.
- Horvath, T. G. and G. A. Lamberti (1999). "Mortality of zebra mussel, *Dreissena polymorpha*, veligers during downstream transport." Freshwater Biology **42**(1): 69-76.
- Johnson, L. E. and J. T. Carlton (1996). "Post-establishment spread in large-scale invasions: dispersal mechanisms of the zebra mussel *Dreissena polymorpha*." Ecology **77**(6): 1690-1697.
- Khalanski, M. (1997). "Conséquences industrielles et écologiques de l'introduction de nouvelles espèces dans les hydrosystèmes continentaux: la moule zébrée et autres espèces invasives." Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture **19**(11): 1743-1762.
- Kinzelbach, R. (1992). The main features of the phylogeny and dispersal of the zebra mussel *Dreissena polymorpha*. The zebra mussel *Dreissena polymorpha*: ecology, biological monitoring and first applications in the water quality management. D. Neumann and H. A. Jenner. Stuttgart, Jena, New York. **4**: 5-18.
- Lewandowski, K. (1982). "The role of early developmental stages in the dynamics of *Dreissena polymorpha* (Pall.) (Bivalvia) in lakes. II. Settling of larvae and the dynamics of numbers of settled individuals." Ekologia Polska **30**: 223-286.
- Nalepa, T. F. and D. W. Schloesser (1993). Zebra mussels: biology, impact, and control. Boca Raton.
- Neumann, D. and H. A. Jenner, Eds. (1992). The zebra mussel *Dreissena polymorpha*: ecology, biological monitoring and first applications in the water quality management. Limnologie Aktuell. Stuttgart, Jena, New York.
- Testard, P. (1990). Eléments d'écologie du Lamellibranche invasif *Dreissena polymorpha* Pallas. Etude de la dispersion des larves en région parisienne et de leur fixation. Paris, Université Pierre et Marie Curie, Paris **6**: 357.
- Testard, P. (1992). "L'envahissement des milieux aquatiques par la Dreissène. Inconvénients, risques pour les réseaux de distribution." Evolution de la qualité de l'eau dans les réseaux de distribution **7-8** (Juillet-août, 87e année): 369-373.
- Welker, M. and N. Walz (1998). "Can mussels control the plankton in rivers? A planktological approach applying a Lagrangian sampling strategy." Limnology and Oceanography **43**: 753-762.

Remerciements

Nous tenons à remercier toutes les personnes de la Compagnie Générale des Eaux qui ont participé à cette étude: MM. Hébert, Kruze et Leconte pour les prélèvements, et Mlle Rouquet pour les informations fournies au cours de l'étude.