

**Colonisation des grands axes de la Seine par les mollusques invasifs  
(*Dreissena polymorpha*):  
estimation des stocks benthiques à partir des flux larvaires.**

**Maïa Akopian, Josette Garnier, Paul Testard, Roger Pourriot,  
Xavier Philippon & Sevrine Pinault**

<sup>1</sup>UMR Sisyphé 7619, CNRS, Tour 26, étage 5, Boite 123, 4 place Jussieu, 75005, Paris

Le mollusque bivalve *Dreissena*, considéré comme un organisme invasif, est désormais très répandu dans les écosystèmes d'eau douce d'Europe et d'Amérique du Nord. L'apparition de ce puissant filtreur a considérablement bouleversé les écosystèmes et, en obstruant les conduites, a causé d'énormes problèmes aux utilisateurs d'eau (usines d'eau potable, systèmes de refroidissement des centrales nucléaires, etc.). Le succès écologique (dispersion et occupation des nouveaux habitats) est dû à la physiologie particulière de ce bivalve benthique : une durée de vie de 2 à 5 ans, une fécondité exceptionnelle, les stades larvaires planctoniques, etc.

Les larves planctoniques de Dreissène suivies dans le réseau hydrographique de la Seine représentent une part importante du peuplement zooplanctonique lors des périodes de ponte (mai-octobre). Les concentrations des larves sont parfois exceptionnellement élevées excédant plus de 10 fois les valeurs citées dans la littérature, comme par exemple, dans la Marne (plus de 4500 larves l<sup>-1</sup> en juin 1995 à St. Maurice) ou dans l'estuaire de la Seine (plus de 5 000 larves l<sup>-1</sup> en juin de 1998 à Rouen). Avec des débits estivaux de l'ordre de 60 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> à l'aval de la Marne et de l'ordre de 200-350 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> dans l'estuaire de la Seine, les flux larvaires phénoménaux (10<sup>12</sup>-10<sup>14</sup> larves par jours) témoignent de l'existence de colonies d'adultes benthiques considérables. Des essais de prise en compte des Moules Zébrées benthiques dans le modèle des processus RIVE ont montré que ces organismes invasifs peuvent contrôler la biomasse algale dans le bassin versant de la Seine.

Comme les investigations directes du benthos sur les telles distances sont impossibles, nous avons utilisé une méthode indirecte (basée sur l'analyse de la distribution par classe de taille des larves, Testard 1990) permettant de calculer la distribution et les stocks d'adultes à partir des flux larvaires. Dans la partie chenalisée et aménagée de la basse Seine, la densité maximale des moules pourrait atteindre 4000 ind. m<sup>-2</sup>. Les taux de clarification des larves planctoniques et des Dreissènes benthiques sont estimés à l'aide des formules et valeurs issus de la littérature et peuvent atteindre 100 % j<sup>-1</sup> du volume d'eau au moment de l'émission maximale des larves. L'impact de *Dreissena* (stades planctoniques et benthiques) sur le phytoplancton (fraction <20µm) apparaît bien plus important que la filtration par le zooplancton.

En 1999, afin de prendre en compte les Dreissènes à l'échelle du réseau hydrographique dans le modèle RIVERSTRAHLER de la Seine, nous avons effectué des suivis du stade larvaire planctonique de ce mollusque à haute fréquence d'échantillonnage (2 fois par semaine, prélèvements effectués par CGE) aux trois exutoires des principaux sous-bassins: Seine (Choisy le Roi), Marne (Neilly sur Marne) et l'Oise (Méry sur Oise), ainsi qu'à St. Maurice (station déjà échantillonnée en 1995-1996). Il apparaît une grande variabilité tant spatiale (entre les différentes rivières) que temporelle (saisonnaire et interannuelle): les maxima obtenus sont de 1000, 30, 90 et 270 larves l<sup>-1</sup> à Méry, Choisy, Neuilly et St. Maurice respectivement. A ce stade d'étude, l'analyse des cohortes permet dans l'Oise d'estimer la densité des adultes à plus de 100 millions d'individus sur 10 km de tronçon en amont de la station de prélèvement.

Si ces investigations permettent désormais de prendre en compte les Dreissènes comme une contrainte du modèle, elles ne permettent pas d'en modéliser les variations du stock. Pour établir un véritable module de la dynamique des populations de Dreissènes, il faut tenir compte de la complexité de leur cycle biologique (larvaire-planctonique et benthique) en formulant mathématiquement la cinétique des processus tels que la croissance, filtration/clarification, ingestion, en fonction de facteurs de contrôle (la température, de la nourriture, la teneur en MES, leur taille...), le taux de fixation et de renouvellement des populations, la mortalité et le taux de prédation chez les larves et adultes etc...

## 1. Introduction

Le processus d'eutrophisation et les causes du déclin abrupt du phytoplancton dans le secteur chenalisé de la Seine constituent une problématique centrale dans l'étude du fonctionnement écologique du fleuve à l'échelle de son bassin versant (Garnier *et al.* 1995; Garnier & Billen, 1998). Dans les rivières à temps de résidence court (contrairement aux milieux lacustres), le zooplancton ne peut pas contrôler d'une façon significative la biomasse algale (Pourriot *et al.* 1982; Akopian, 1999). Agissant essentiellement sur la fraction < 20 µm, il influence ainsi la composition du phytoplancton (Gosselain *et al.* 1996, 1998). Par contre, le mollusque benthique *Dreissena polymorpha*, filtreur dulçaquicole le plus puissant, est connu pour son impact considérable sur la dynamique des producteurs primaires planctoniques (Reeders *et al.* 1989; Caraco *et al.* 1997; Garnier *et al.* 1999).

Cet organisme invasif a été signalé pour la première fois dans la Seine en 1867 (Blanche). Dernièrement, la présence de *Dreissena* dans la Seine et ses tributaires principaux a été constatée par l'observation du stade larvaire dans les échantillons de plancton (Testard 1990; Testard *et al.* 1993; Miquelis, 1996; Akopian, 1999).

Dans ce travail, la dynamique larvaire et celle du zooplancton sont étudiées à une large échelle spatiale. Les investigations benthiques étant lourdes et coûteuses, nous avons essayé de quantifier le stock des adultes benthique à partir des flux larvaires (Testard 1990) dans la Seine, la Marne et l'Oise. Afin d'évaluer l'impact de la phase planctonique et des moules adultes sur le phytoplancton, les taux de filtration/clarification sont calculés à l'aide des formules et valeurs citées dans la littérature. Ces résultats sont désormais pris en compte dans le modèle de fonctionnement écologique de la Seine (" RIVERSTRAHLER ", Billen *et al.* 1994).

## 2. Cycle de vie de la moule d'eau douce, *Dreissena polymorpha*

*Dreissena polymorpha* (moule zébrée), un mollusque benthique, a la particularité d'avoir des larves planctonique ce qui permet l'ensemencement des habitats propices situés loin de la colonie-mère.

Le cycle des transformations larvaires dans la colonne d'eau dure 6 jours-3 semaines. Une espérance de vie moyenne de 10 jours est largement inférieure au temps de séjour des eaux dans la Seine en période estivale.

La trochophore, première phase larvaire courte (<48 heures à 20°C) est leucitrophe. Elle précède celle d'une larve bivalve, Véligère, plus mobile, qui commence à se nourrir du phyto- et bactério-plancton, au même titre que le zooplancton à cycle de vie entièrement pélagique. Au cours de son développement, la longueur de la larve s'accroît, en moyenne, de 80 à 250 µm.

A partir de 150-200 µm, le développement considérable du pied et l'alourdissement de la coquille annoncent le stade larvaire terminal (Pédivéligère). La larve suprabenthique peut à la fois nager, se déplacer par reptation et s'accoler à des supports solides. La production des premiers filaments de byssus commence à partir de 250 µm, mais le pédivéligère conserve de larges possibilités de migrer jusqu'à une taille de 1 mm environ.

Les Dreissènes deviennent fixées au cours de la seconde année après leur naissance. Elles sont capables de se reproduire à partir de l'âge d'un an. La durée de vie de *D. polymorpha* est estimée à 5-6 ans.

## 3. Site d'étude

Le secteur d'étude s'étend sur plus de 700 km, de la tête d'un sous-bassin majeur de la Seine (Marne) jusqu'à son estuaire (Figure 1).

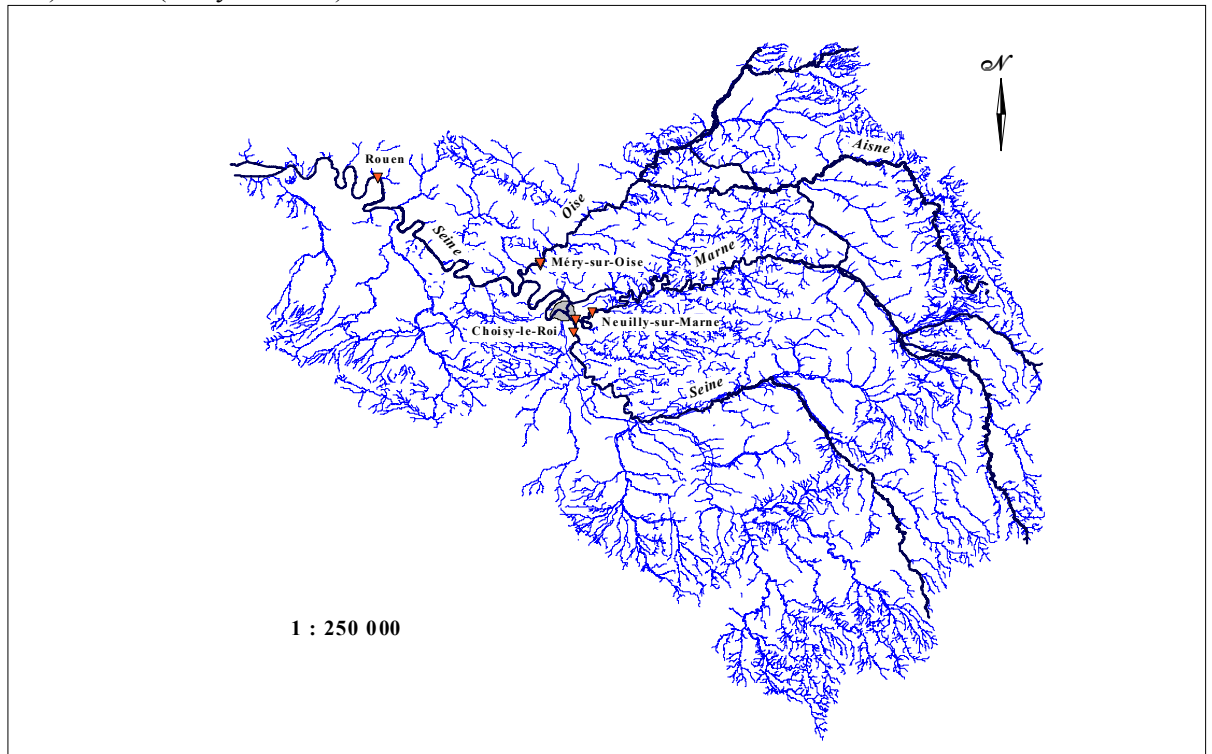
En 1995, sept stations sont échantillonnées lors des sept profils longitudinaux de la Marne en période estivale.

La Basse Seine est échantillonnée à deux reprises (19 stations) en juillet et septembre 1997 à

partir de la confluence avec la Marne (station St. Maurice) jusqu'à l'embouchure de la Seine.

Un suivi quasi journalier est réalisé en 1998 dans l'estuaire moyen de la Seine à une station fixe (Ile Lacroix). Notons que les données de l'estuaire de la Seine (en aval de barrage de Poses) ont été obtenues dans le cadre du programme Seine-aval.

En 1999, trois principaux tributaires de la Seine sont échantillonnés (à raison de 2 prélèvements par semaine) dans leurs exutoires: Seine (Choisy le Roi), Marne (Neuilly sur Marne et St. Maurice) et Oise (Méry sur Oise).



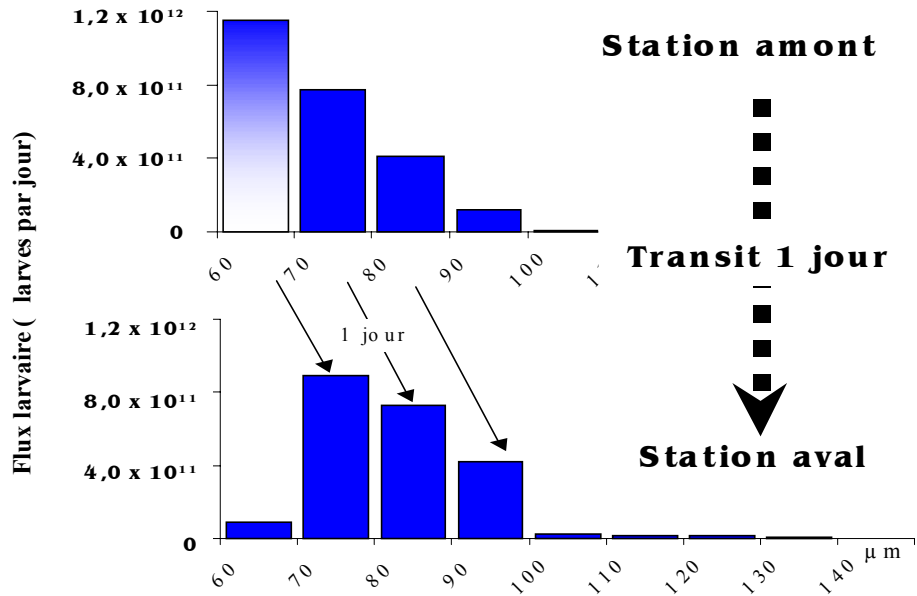
**Figure 1.** Réseau hydrographique du bassin versant de la Seine et principales stations de prélèvements. Ronds verts : 1995 ; étoiles jaunes : 1997 ; triangles rouges : 1999.

#### 4. Méthodologie: Estimation du stock benthique

Les dénombrements du zooplancton et des larves de Dreissènes sont effectués à partir de 10 litres d'eau filtrés sur un tamis de 40  $\mu\text{m}$  de vide de maille et fixés au formol à 4%, en parallèle avec la saisie d'autres variables explicatives de la dynamique du zooplancton (température, MES, chlorophylle *a...*). Après le comptage à la loupe binoculaire (50x10) de la totalité de l'échantillon dans une cuvette de Dolfuss (110 x 60 mm), 200 larves en moyenne sont mesurées (quand c'était possible).

La méthode d'estimation du stock benthique est basée sur une relation entre la taille des larves et leur âge.

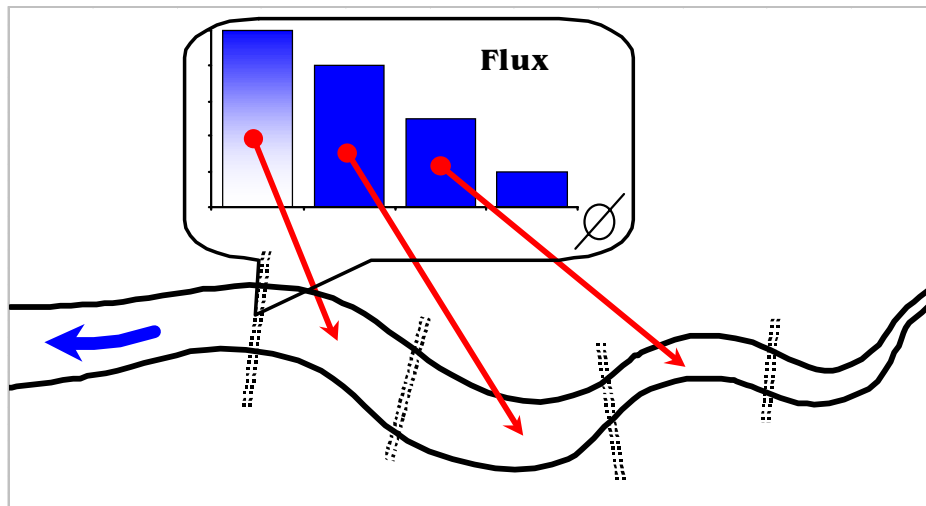
Pour le suivi des flux larvaires par classes de taille (cohorte) nous avons adopté une vitesse moyenne de croissance de 10  $\mu\text{m}$  par jour. La distribution en taille de la communauté larvaire par classe de taille de 10  $\mu\text{m}$  permet d'attribuer un âge à chaque cohorte: par exemple la cohorte I est âgée de 24 heures, la cohorte II de 48 heures, etc...(Figure 2)



**Figure 2.** Distribution des larves de *Dreissena polymorpha* par classes de taille à deux stations distantes d'un jour de transit des masses d'eau.

Par ailleurs, nous constatons une réduction des flux en l'espace d'un jour due à la mortalité des larves.

En connaissant la vitesse du courant et l'âge des larves nous localisons la colonie des géniteurs (Figure 3). Les parents des larves de la cohorte I sont situés immédiatement en amont de la station de prélèvement, les larves plus âgées proviennent des secteurs encore plus amont.



**Figure 3.** Schéma de localisation des géniteurs en amont de la station à partir des flux larvaires.

Le stock des moules benthiques (S) est calculé à partir des flux annuels F:

$$S = 2 \times F / 500\,000$$

Le flux est multiplié par un facteur 2 reflétant la proportion égale des mâles et des femelles chez ce mollusque (sex-ratio de 1/1), et divisé par 500 000 œufs par femelle et par saison de reproduction, correspondant à la fertilité des femelles de taille moyenne 16-18 mm.

En ramenant ce stock (S) à la surface colonisable (C, m<sup>2</sup>) nous obtenons la densité (N, ind./m<sup>2</sup>) des géniteurs:

$$N = S / C$$

Afin d'appréhender le rôle des organismes filtreurs sur le phytoplancton, les taux de filtrations individuels moyens connus dans la littérature ont été appliqués aux différents groupes présents dans l'échantillon pour quantifier la filtration totale. La filtration est exprimée en ml/jour, quantité d'eau filtrée par jour, sous-entendu "par les individus contenus dans 1 litre". On peut directement traduire cette grandeur en pourcentage de filtration, %/jour. Notons que la filtration des larves de Dreissène (Mac-Isaac *et al.* 1992 ; Sprung, 1993), est plus intense que celle des petits organismes, mais inférieure à celle des Cladocères (Tableau 1). Les moules benthiques sont considérées comme des "clarificateurs" puissants (Noorduis *et al.* 1992 ; Bastviken *et al.* 1998).

**Tableau 1.** Les taux de filtration/clarification (µl/ind/h) des principaux groupes du zooplancton et des Dreissènes (larves et adultes) :

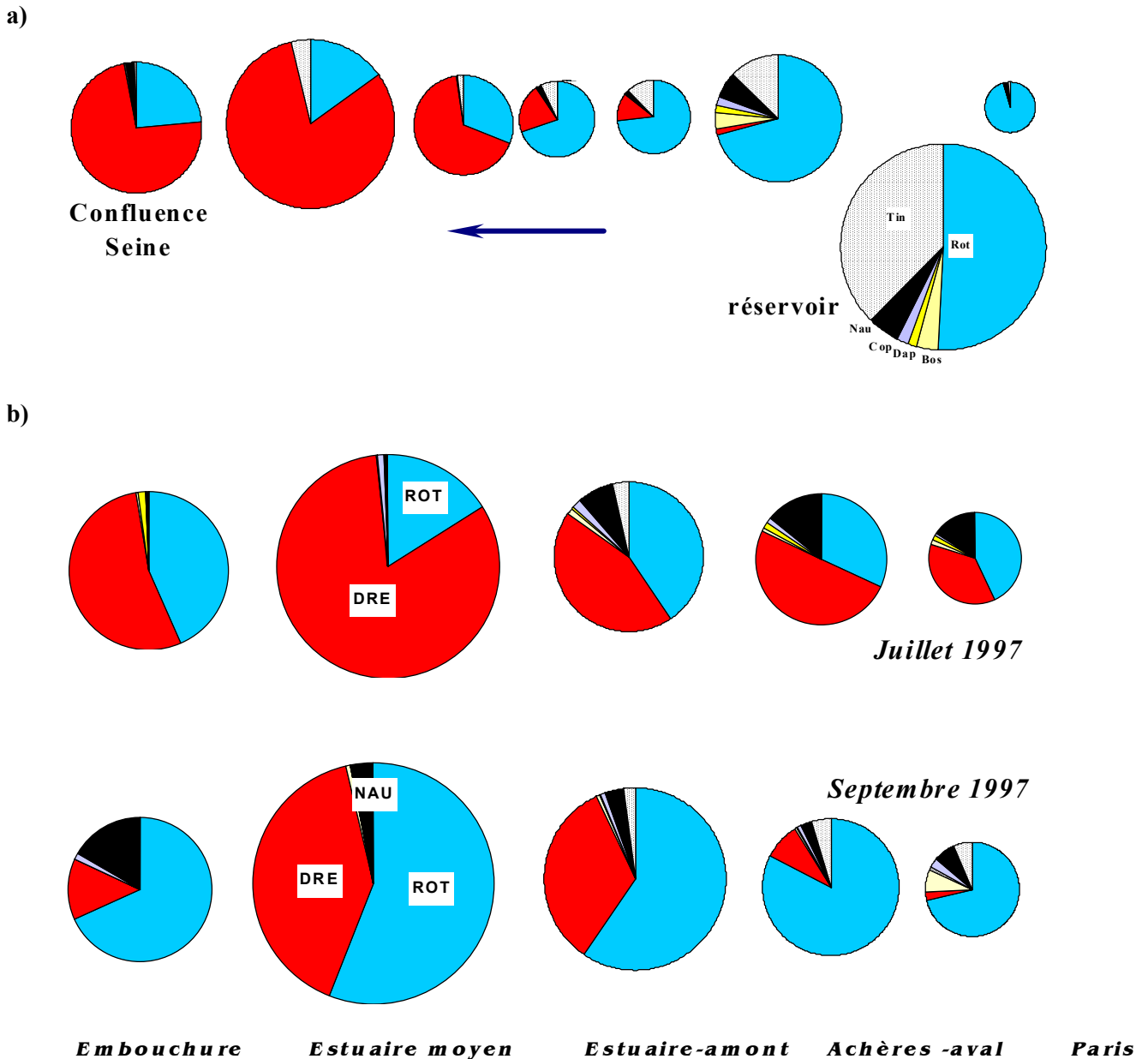
Rotifera	Cladocera	<i>Dreissena polymorpha</i>		
		Larves	Adultes	
			16-18 mm	24-26 mm
0,002-7	50-600	13-20	39000	52000

## 5. Résultats et discussion

### 5.1. Importance quantitative de la dreissène

La participation des larves de mollusque benthique *Dreissena polymorpha* dans la communauté potamique estivale de la Marne et de la Seine augmente durant le transport vers l'aval (Figure 4a et 4b). Les larves constituent l'essentiel de la biomasse dans le secteur chenalisé de la Marne (à partir du Reuil) et dans l'estuaire de la Seine. Dans l'embouchure, la biomasse totale du zooplancton dulçaquicole diminue à cause des intrusions marines.

La production des larves entre mai et octobre est représentée par plusieurs poussées de densité. La ponte est déclenchée souvent par la montée brusque de la température au printemps ou au début d'été (Figure 5). Les maxima les plus marqués sont situés généralement au début de la saison de reproduction. Une série de prélèvements journalier (Ile Lacroix, 1998) montrent que les fluctuations d'effectifs en eau courantes peuvent suivre des rythmes rapides, et montrent la nécessité d'échantillonnage avec un pas de temps de 2-3 jours pour une meilleure estimation du flux annuel, fréquence que nous avons adoptée en 1999.

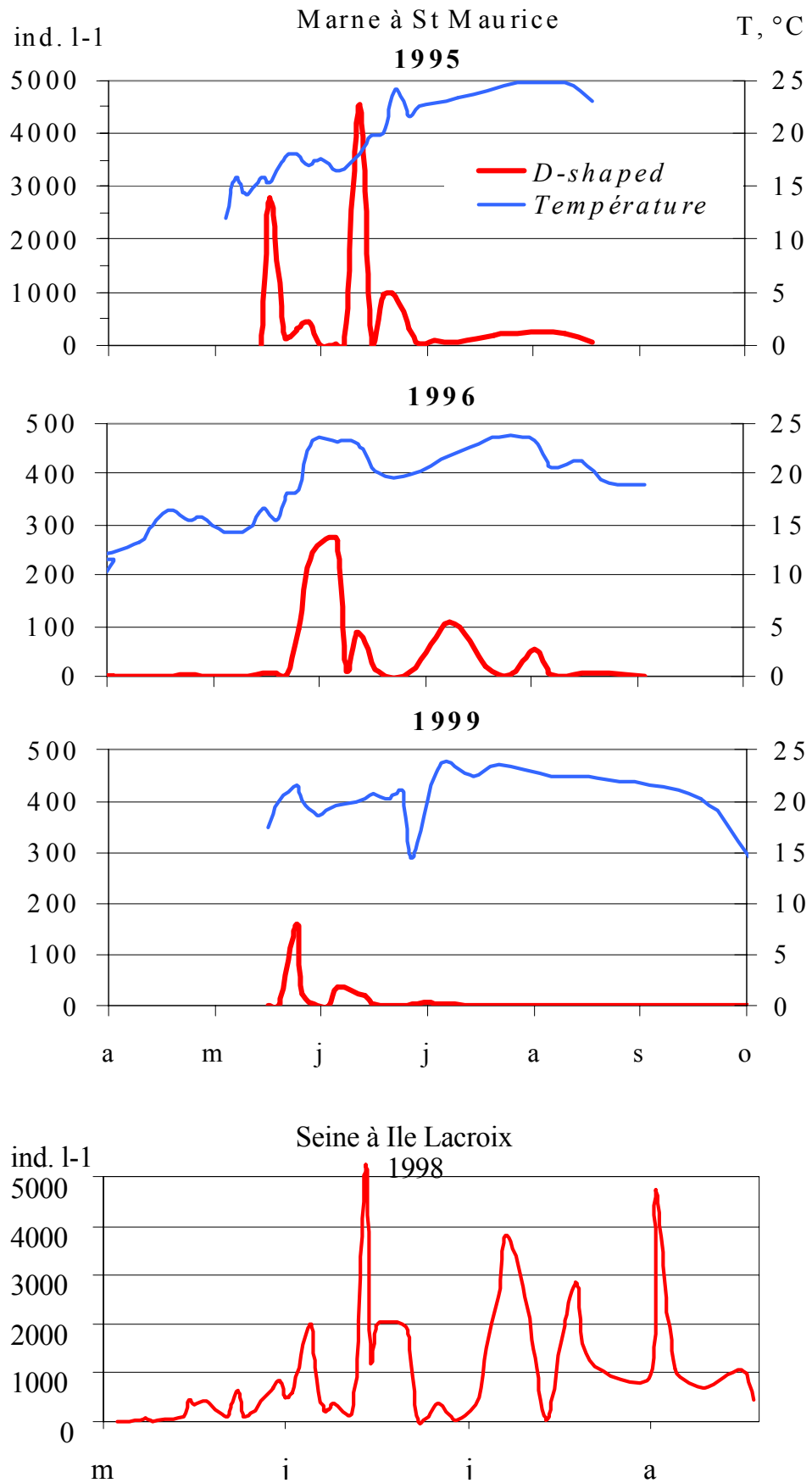


**Figure 4.** Composition moyenne des échantillons du plancton estival le long des profils longitudinaux (ind./l). En rouge : les larves planctoniques de *Dreissena polymorpha*.

**a** : Marne (1995)

**b** : Seine (1997)

Il apparaît une grande variabilité des densités larvaires et donc, de la production à St. Maurice entre les années 1995, 1996 et 1999. Cette variabilité ne concerne pas le zooplancton “*sensu stricto*”. Les facteurs qui contrôlent l’abondance des larves sont multiples: il s’agit des conditions influant sur la population adulte: d’ordre météorologiques (température), hydrologique (débit), nutritionnel (MES vs phytoplancton). La variabilité de la communauté adulte est évidemment un facteur de contrôle de la population larvaire et n’est pas non plus connue (impact du crue par exemple, taux de colonisation, mortalité et prédation). Ces mêmes facteur peuvent évidemment affecter la survie des larves dans le milieu.



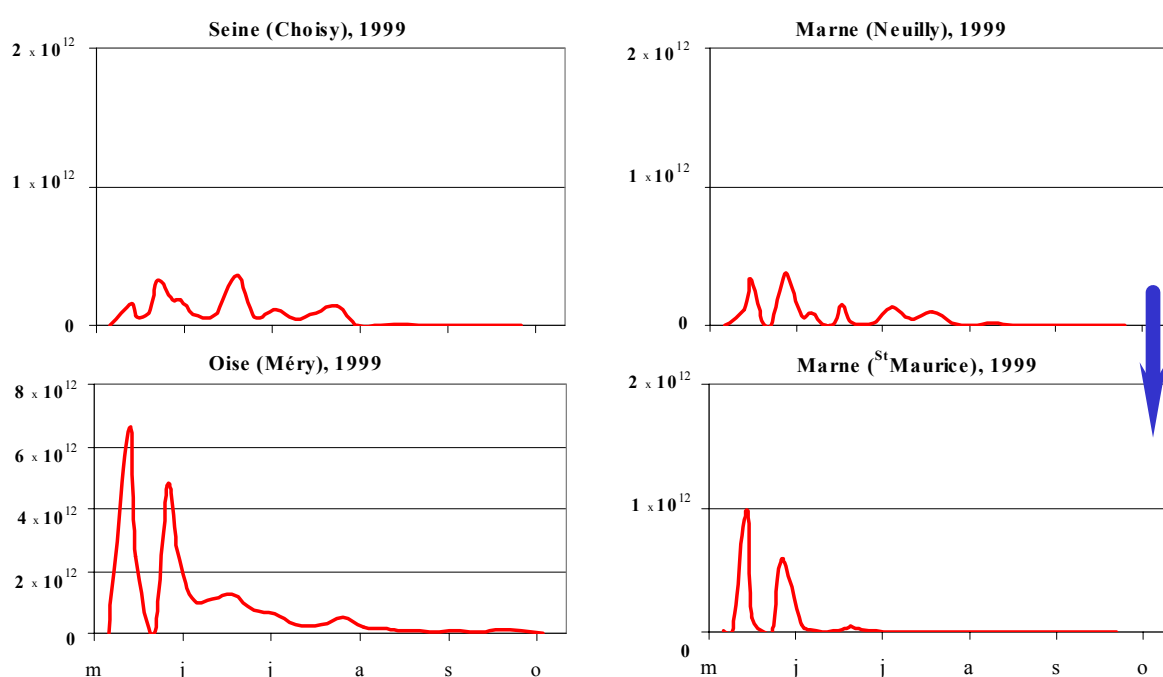
**Figure 5.** Variations saisonnières et interannuelles des densités du stade planctonique des *Dreissena polymorpha* dans la Marne (station St. Maurice) et dans l'estuaire de la Seine (Ile Lacroix).

A ce stade de l'étude, parmi les facteurs étudiés susceptibles d'agir sur l'enclenchement d'émission des gamètes et sur la cinétique larvaire, nous pouvons retenir la montée rapide de la température (à partir d'un seuil de 15 °C), (Figure 7).

Les effectifs varient non seulement dans le temps (fluctuations saisonnières et inter annuelles) mais aussi dans l'espace (Figure 6). La cinétique et l'ampleur des flux totaux (tous les stades larvaires confondus) sont différentes entre les stations étudiées. Néanmoins, le début de la ponte en 1999 a été simultané sur ces stations proches.

Il est important de noter que les flux larvaires ont, en 1999, été beaucoup plus élevés dans l'Oise que dans la Marne et dans la Seine (Figure 6).

L'augmentation des flux entre les deux stations sur la Marne distantes de 30 km témoigne de l'arrivée des larves "émises" sur ce tronçon de rivière. L'analyse microscopique des classes de tailles confirme cette supposition puisque il s'agit des plus jeunes stades larvaires (les trochophores).



**Figure 6.** Variations spatiales des flux journaliers des larves en 1999 aux exutoires des principaux sous-bassins de la Seine : Marne, Seine et Oise.

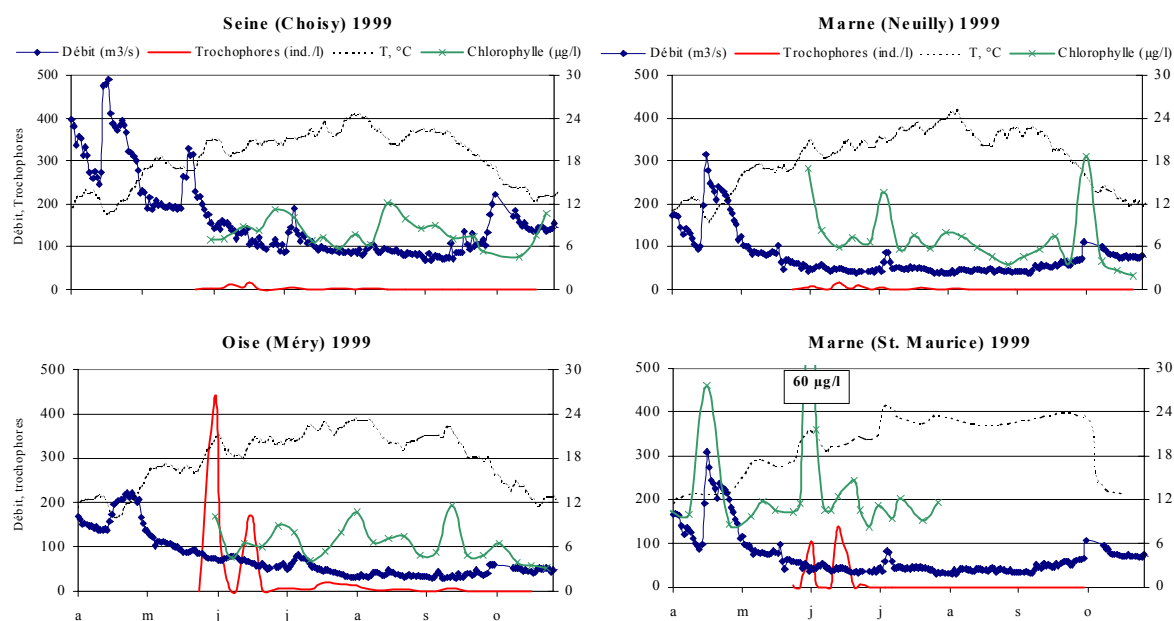
Les densités observées pendant notre étude (1995-1999) se situent parmi les plus fortes citées dans la littérature (Mac-Isaac *et al.* 1992 ; Borcharding & Ruyter van Steveninck, 1992 ; Stoeckel *et al.* 1997 ). En prenant en compte les débits d'étiage de l'ordre 40-80 m<sup>3</sup>/s dans la Marne et de l'ordre de 200-450 m<sup>3</sup>/s dans la partie basse de la Seine, nous obtenons les flux larvaires correspondants jusqu'à 2,3x10<sup>13</sup> et 15x10<sup>13</sup> ind./jour. Ces flux larvaires phénoménaux témoignent de l'existence de colonies benthiques importantes.

## 5.2. Estimation de la communauté benthique fixée

La prospection des fonds sur de telles distances (Seine, Marne, Oise, etc.) serait tellement lourde, longue et coûteuse que nous avons fait appel à une méthode originale indirecte élaborée dans notre équipe (Testard, 1990). Grâce au suivi des stades planctoniques, nous avons déterminé l'emplacement des colonies de géniteurs et estimé la densité des adultes (Figure 8). Les abondances



théoriques ont tendance à être sous-estimées parce que ce mode de calcul ne prend pas en compte le faible pourcentage de fertilisation des œufs dans le milieu lotique ni la mortalité des larves qui peut être forte (Sprung, 1987 ; Nichols, 1993).



**Figure 7.** Suivis saisonniers des densités de larves-trochophores (le plus jeune stade, ind./l), de la Chlorophylle totale (µg/l), de la température (°C) et du débit (m3/s) à quatre stations situées aux exutoires de la Seine, de l’Oise et de la Marne.

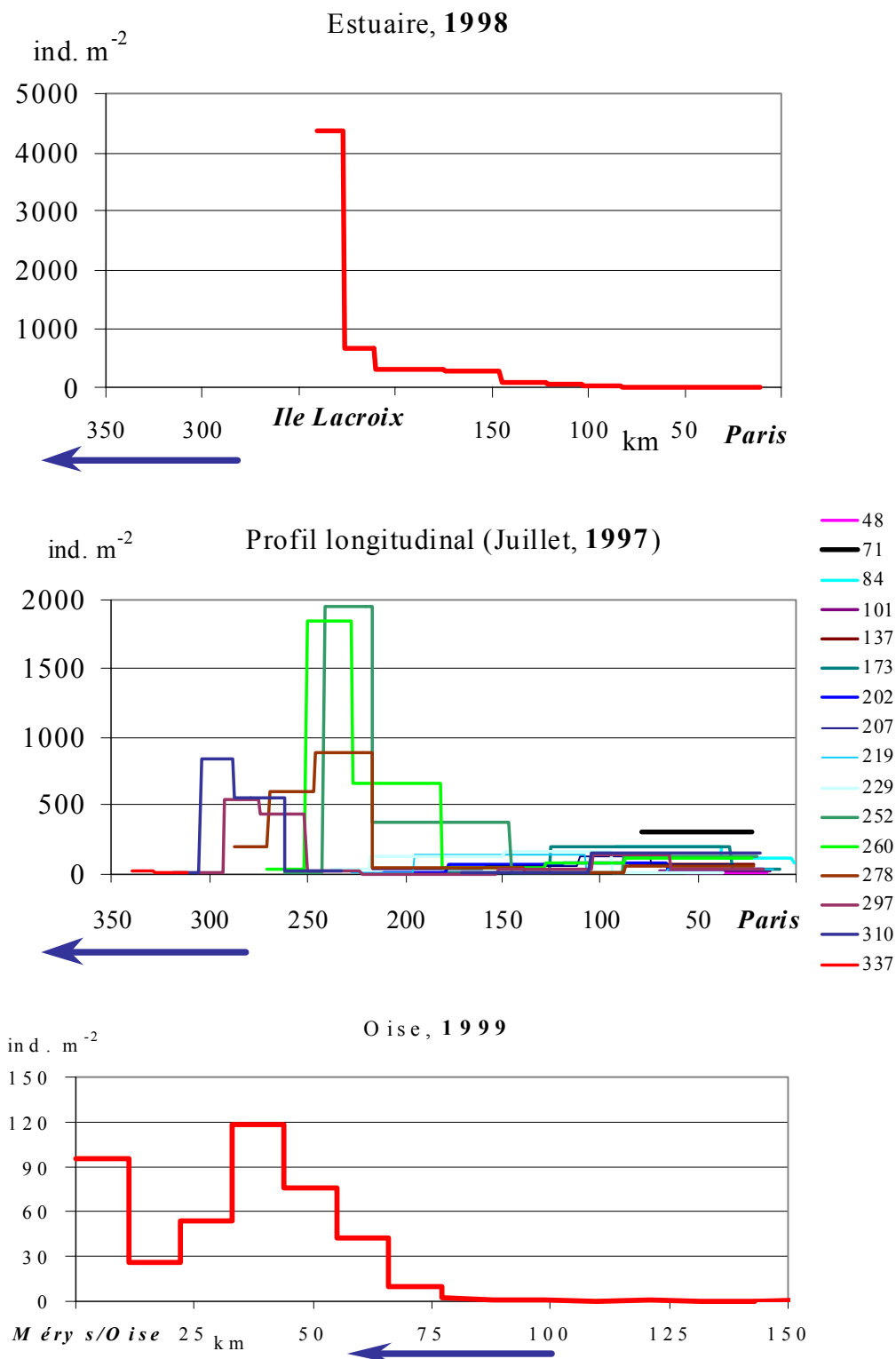
Selon nos prévisions (Figure 8 a et b), en amont, l’Oise a des flux élevés et les densités maximales estimées pourrait atteindre 120 ind./m<sup>2</sup> (Figure 8a). Cette rivière est connue pour être fortement colonisée par les Dreissènes, à tel point que les moules causent des problèmes aux traiteurs d’eau à la station Méry-sur-Oise (Testard, 1992 ; Khalanski, 1997). Les larves planctoniques pénètrent en effet dans les conduites d’eau, se fixent et provoquent leur obstruction.

Une colonie encore plus importante serait localisée dans l’estuaire moyen (~ pK 230). La densité moyenne des Dreissènes à cet endroit est évaluée à 2000 ind./m<sup>2</sup> pour l’année 1997 et plus de 4000 ind./m<sup>2</sup> pour l’année 1998 (données Seine-aval). Les densités maximales sont toujours situées au même endroit quelles que soient les investigations (deux stratégies d’échantillonnage différentes: suivi saisonnier et profil longitudinale).

Les stocks de géniteurs estimés par tronçon de 10 km de la rivière en amont immédiat de la station de prélèvement sont présentés dans le tableau 2.

**Tableau 2.** Stock des adultes benthiques (*Dreissena polymorpha*) par tronçon de 10 km en amont de la station de prélèvement :

Année	Rivière	Station	Individus par tronçon 10 km (x 10 <sup>6</sup> )
1999	Oise	Méry	123
1999	Marne	Neully	4
1999	Marne	St. Maurice	18
1999	Seine	Choisy	9
1998	Estuaire de la Seine	Ile Lacroix	5500



**Figure 8.** Simulation des profils de densité des Dreissènes benthiques en amont des stations de prélèvements. Axe de l'abscisse monte les distances en km : zéro à Paris jusqu'à 350 km à l'embouchure (Seine) et zéro à Méry/s/Oise. Les flèches indiquent le sens du courant.

**a** : à partir d'une seule station fixe échantillonnée pendant la période de reproduction (Ile Lacroix dans l'estuaire de la Seine, 1998 et Méry sur Oise, 1999) ;

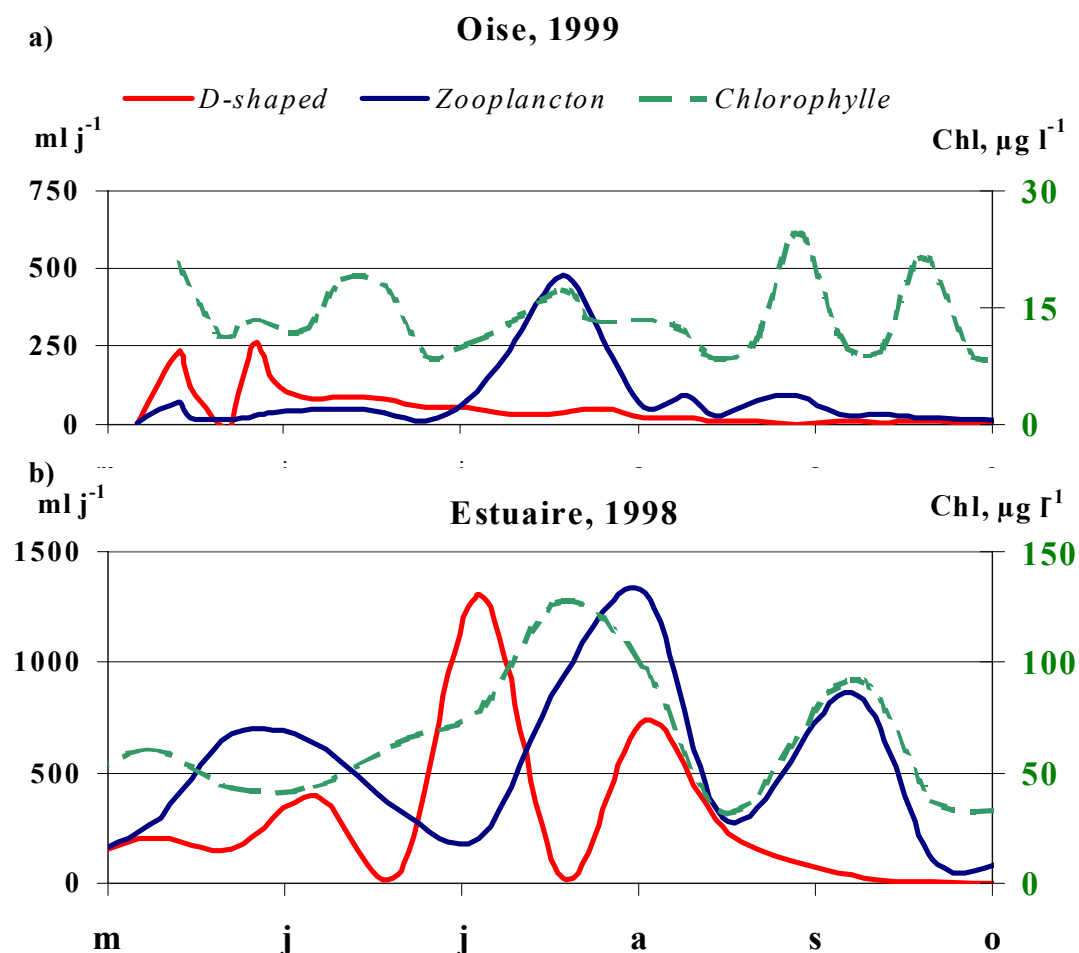
**b** : à partir des données ponctuelles d'un profil longitudinal (19 stations) réalisé en Juillet 1997. Code de couleurs : les pK des stations de prélèvement.

Les abondances maximales sont de l'ordre de 5 milliards de moules dans le tronçon de Rouen. Dans ce secteur fortement aménagé, les installations portuaires, ainsi que nombreux darses et bassins connectés au fleuve offrent les substrats durs préférés par ce mollusque. De plus, il est vraisemblable que les conditions rencontrées au milieu d'un estuaire sont favorables pour les Dreissènes ; par exemple, une distribution similaire des moules est trouvée dans l'Hudson River avec les biomasses maximales situées dans l'estuaire moyen (Strayer *et al.* 1996).

Nos estimations théoriques, qui méritent une confrontation avec un examen des fonds, ont pu toutefois être validés grâce aux résultats fournis par les pièges benthiques posés dans l'estuaire : le nombre des jeunes de l'année à la fin de saison de reproduction augmente de 200 ind./m<sup>2</sup> à Poses jusqu'à 35000 ind./m<sup>2</sup> dans l'estuaire moyen et diminue ensuite à 3000 ind./m<sup>2</sup> à Caudebec.

### 5.3. Impact de la communauté de dreissènes sur le phytoplancton

S'appuyant sur nos observations nous avons calculé l'impact des filtreurs planctoniques sur la colonne d'eau (Figure 9).



**Figure 9.** Variations saisonnières de la Chlorophylle totale ( $\mu\text{g/l}$ ) et des taux de filtration planctoniques ( $\text{ml/jour}$  par les individus contenus dans un litre) : larves velligères et zooplancton "sensu stricto".

a : à la station Méry sur Oise (1999) ;

b : à la station Ile Lacroix (estuaire de la Seine, 1998).

Dans le secteur amont (exemple de l'Oise), lors des poussées larvaires, le volume d'eau filtré atteint 25 % par jour, uniquement par des larves de Dreissènes (Figure 9a). Le zooplancton intervient plus tard dans l'année en période d'étiage quand le temps de résidence de l'eau de la rivière devient plus long et permet le développement du plancton crustacéen.

Dans l'estuaire, les biomasses zooplanctoniques sont plus importantes et l'impact est plus prononcé (Figure 9b): à partir de juillet-août le zooplancton pourrait filtrer tout le volume d'eau, entraînant la baisse de concentration en chlorophylle. La dynamique des larves, contrairement à celle du zooplancton, ne suit pas les variations de la chlorophylle. Durant les pontes massives la filtration de la colonne d'eau par les larves veligères pourrait excéder 100 % de volume.

L'impact des adultes benthiques de Dreissènes ont introduits comme une contrainte dans le modèle de fonctionnement écologique de la Seine. La filtration de la communauté benthique est calculé à partir du profil d'abondance obtenu et de la filtration individuelle ( $f$ , ml/ind./h) à laquelle on applique une relation à la température par une fonction semi-gaussienne:

$$f(t) = f(\text{topt}) \times e^{-[t-\text{topt}/\text{dti}]^2}$$

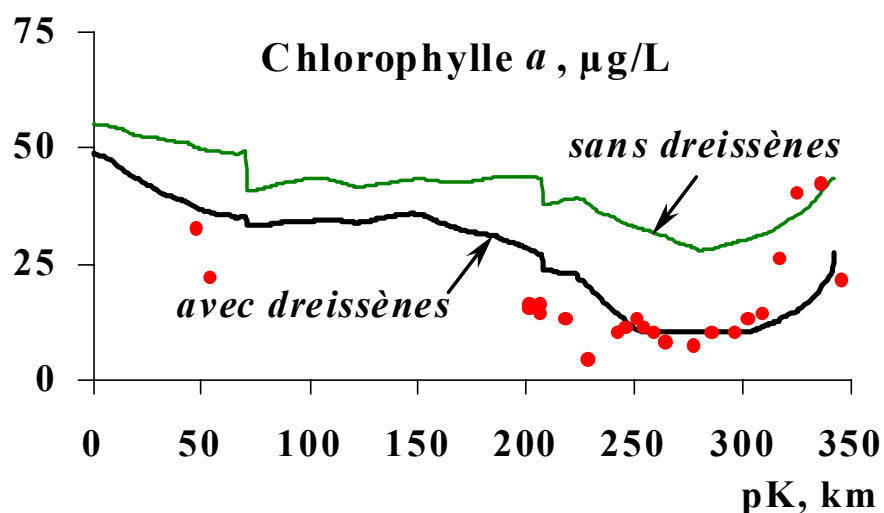
$$\text{topt} = 18^\circ\text{C}$$

$$\text{dti} = 5^\circ\text{C}$$

Taux de clarification moyen à 20 °C,  $f = 40$  ml/ind./h.

Nous avons testé l'impact des Dreissènes en explorant la réponse du modèle avec et sans la présence des moules. Il apparaît que la biomasse phytoplanctonique est correctement simulée quand on prend en compte la population de *D. polymorpha* (Figure 10). En absence des mollusques, on obtient une biomasse phytoplanctonique bien supérieure ( $x$  contre  $y$   $\mu\text{gChla/l}$ )

Plus à l'amont, les moules peuvent également assurer, selon des années, une clarification de 15 à 30 % du volume d'eau de la rivière sur les tronçons les plus colonisés. Les premiers tests effectués pour la Marne avec le modèle SENEQUE, ont montré que les mollusques participent de toute évidence aux déclins abrupts des populations algales à l'exutoire de la Marne (Garnier *et al.*, 1998).



**Figure 10.** Simulation de l'effet des Dreissènes benthiques sur le phytoplancton dans la Seine en aval de Paris. Les points rouges représentent les valeurs observées.

## 6. Conclusions et perspectives

*Dreissena polymorpha* est une composante importante des biocénoses des grands axes chenalés du bassin versant de la Seine.

La méthode proposée contourne les problèmes d'échantillonnage benthique et les difficultés d'extrapolation de ces résultats à des grandes surfaces en ignorant l'hétérogénéité de la répartition de ce mollusque. Il est nécessaire de valider la méthode par les prélèvements de moules fixées.

L'état physiologique des colonies benthiques peut-être déduit de l'examen des flux larvaires.

Ce filtreur puissant a une grande influence sur la matière en suspension. La Dreissène, tant au stade planctonique que benthique, participe à l'exploitation de la production primaire microphytique.

A ce stade du programme, nous sommes en mesure d'introduire dans le modèle SENEQUE, une densité d'adulte sur une grande partie des secteurs canalisés et tester l'impact des moules sur le phytoplancton. Toutefois, pour modéliser le stock de mollusques, il est indispensable d'étudier plus finement la dynamique de cet organisme (taux de croissance au stade larvaire et adulte, taux de mortalité, de recrutement, de clarification etc., ainsi que préciser des facteurs de contrôle tels que la température, les MES et le phytoplancton... Il serait par exemple intéressant d'estimer son rôle dans le processus de détournement d'une partie des MES de la colonne d'eau vers le fond grâce à sa capacité de restitution de l'excédent non ingéré sous forme d'égesta (pseudofécès) enrichis en polysaccharides.

Au total, les Dreissènes sont des organismes clés pour le fonctionnement écologique des milieux aménagés. Si la dreissène constitue une ressource nutritive pour les poissons, les oiseaux migrateurs etc., une colonisation massive entraîne nécessairement une diminution de la biodiversité des fonds. Son rôle dans le déclin abrupt de la biomasse algale, n'est par ailleurs pas de nature à réduire les effets négatifs de l'eutrophisation: ces déclins abrupts entraînent une accumulation de matière organique qui contribue à la désoxygénation du milieu.

## 7. Références bibliographiques

- Akopian M. (1999) Cinétique et rôle du zooplankton dans les flux de matières particulaire : du lac de Der-Chantecoq (réservoir de la Marne) à l'estuaire de la Seine. Thèse Doctorat d'Université Pierre et Marie Curie, Paris 6.
- Bastviken D. T. E., Caraco N. F. & Cole J. J. (1998) Experimental measurements of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) impacts on phytoplankton community composition. *Freshw. Biol.* 39, 375-386.
- Billen G., Garnier J. & Hanset P. (1994) Modelling phytoplankton development in whole drainage networks: the RIVERSTRAHLER model applied to the Seine river system. *Hydrobiologia* 289, 119-137.
- Blanche M. (1867) Sur l'occurrence de *Dreissena polymorpha* dans la Seine. *Bull. Soc. Sc. Nat. Rouen* 2, 69-70.
- Borcherding J. & de Ruyter van Steveninck E. D. (1992) Abundance and growth of *Dreissena polymorpha* larvae in the water column of the river Rhine during downstream transportation. In *The zebra mussel Dreissena polymorpha: ecology, biological monitoring and first applications in the water quality management*, Vol. 4 (ed. D. Neumann and H. A. Jenner), pp. 29-44. Gustav Fischer Verlag.
- Caraco N. F., Cole J. J., Raymond P. A., Strayer D. L., Pace M. L., Findlay S. E. G. & Fischer D. T. (1997) Zebra mussel invasion in a large, turbid river: phytoplankton response to increased grazing. *Ecology* 78, 588-602.
- Garnier J., Billen G. & Coste M. (1995) Seasonal succession of diatoms and Chlorophyceae in the drainage network of the river Seine: observations and modelling. *Limnol. Oceanogr.* 40, 750-765.
- Garnier J. & Billen G. (1998) Développement algal et eutrophisation dans le réseau hydrographique de la Seine. In *La Seine en son bassin* (ed. M. Meybeck, E. Fustec, & G. de Marsily), pp. 593-626. Elsevier.
- Gosselain V., Joaquim-Justo C., Viroux L., Mena M., Metens A., Descy J.-P. & Thome J.-P. (1996) Laboratory and in situ grazing rates of freshwater rotifers and their contribution to community grazing rates. *Arch. Hydrobiol., Suppt* 113 (Large Rivers 10, 1-4), 353-361.
- Gosselain V., Viroux L. & Descy J.-P. (1998) Can a community of a small-bodied grazers control phytoplankton in rivers? *Freshw. Biol.* 39, 9-24.
- Khalanski M. (1997) Conséquences industrielles et écologiques de l'introduction de nouvelles espèces dans les hydrosystèmes continentaux: la moule zébrée et autres espèces invasives. *Bull. Fr. Pêche et Pisciculture* 19(11), 1743-1762.
- MacIsaac H. J., Sprules W. G., Johansson O. E. & Leach J. H. (1992) Filtering impacts of larval and sessile zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) in western Lake Erie. *Oecologia* 92, 30-39.
- Miquelis A. (1996) Facteurs de contrôle des populations zooplanktoniques en milieu fluvial (la Seine), relations fleuve-annexes hydrauliques. Thèse de doctorat, Université Paris 6 -Aix -Marseille 3.
- Nichols S. J. (1993) Spawning of zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) and rearing of veligers under laboratory conditions. In *Zebra mussels: biology, impact, and control* (ed. T. F. Nalepa and D. W. Schloesser), pp. 315-332. Lewis publishers.
- Noordhuis R., Reeders H. H. & bij de Vaate A. (1992) Filtration rate and pseudofaeces production in zebra mussels and their application in water quality management. In *The zebra mussel Dreissena polymorpha: ecology, biological monitoring and first applications in the water quality management*, Vol. 4 (ed. D. Neumann and H. A. Jenner). Gustav Fischer Verlag.
- Pourriot R., Benest D., Champ P. & Rougier C. (1982) Influence de quelques facteurs du milieu sur la

- composition et la dynamique saisonnière du zooplancton de la Loire. *Acta Oecologica Oecol. Gener.*, 3(3), 353-371.
- Reeders H. H., bij de Vaate A. & Slim F. J. (1989) The filtration rate of *Dreissena polymorpha* (Bivalvia) in three Dutch lakes with reference to biological water quality management. *Freshw. Biol.* 22, 133-141.
- Sprung M. (1987) Ecological requirements of developing *Dreissena polymorpha* eggs. *Arch. Hydrobiol. Suppt* 79, 69-86.
- Sprung M. (1993) The other life: an account of present knowledge of the larval phase of *Dreissena polymorpha*. In *Zebra mussels: biology, impact, and control* (ed. T. F. Nalepa and D. W. Schloesser), pp. 39-54. Lewis publishers.
- Stoeckel J. A., Schneider D. V., Soeken L. A., Blodgett K. D. & Sparks R. E. (1997) Larval dynamics of a riverine metapopulation – implication for zebra mussel recruitment, dispersal, and control in a large-river system. *J. North Am. Benthol. Soc.* 16, 586-601.
- Strayer D. L., Powell J., Ambrose P., Smith L. C., Pace M. L. & Fischer D. T. (1996) Arrival, spread, and early dynamics of a zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) population in the Hudson River estuary. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53, 1143-1149.
- Testard P. (1990) Elements d'écologie du Lamellibranche invasif *Dreissena polymorpha* Pallas. Etude de la dispersion des larves en région parisienne et de leur fixation. Thèse Doctorat d'Etat, Université Pierre et Marie Curie, Paris 6.
- 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.
- Testard P., Pourriot R., Miquelis A. & Rougier C. (1993) Fonctionnement de l'écosystème fluvial: organisation et rôle du zooplancton. Centre National de Recherche Scientifique.

## **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, M Brignon et Mme Rouquet pour les informations fournies au cours de l'étude. Nous remercions également le Service de la Navigation de la Seine, M. Ficht en particulier, pour la récolte et le stockage des échantillons ainsi que pour les données et conseils fournis.