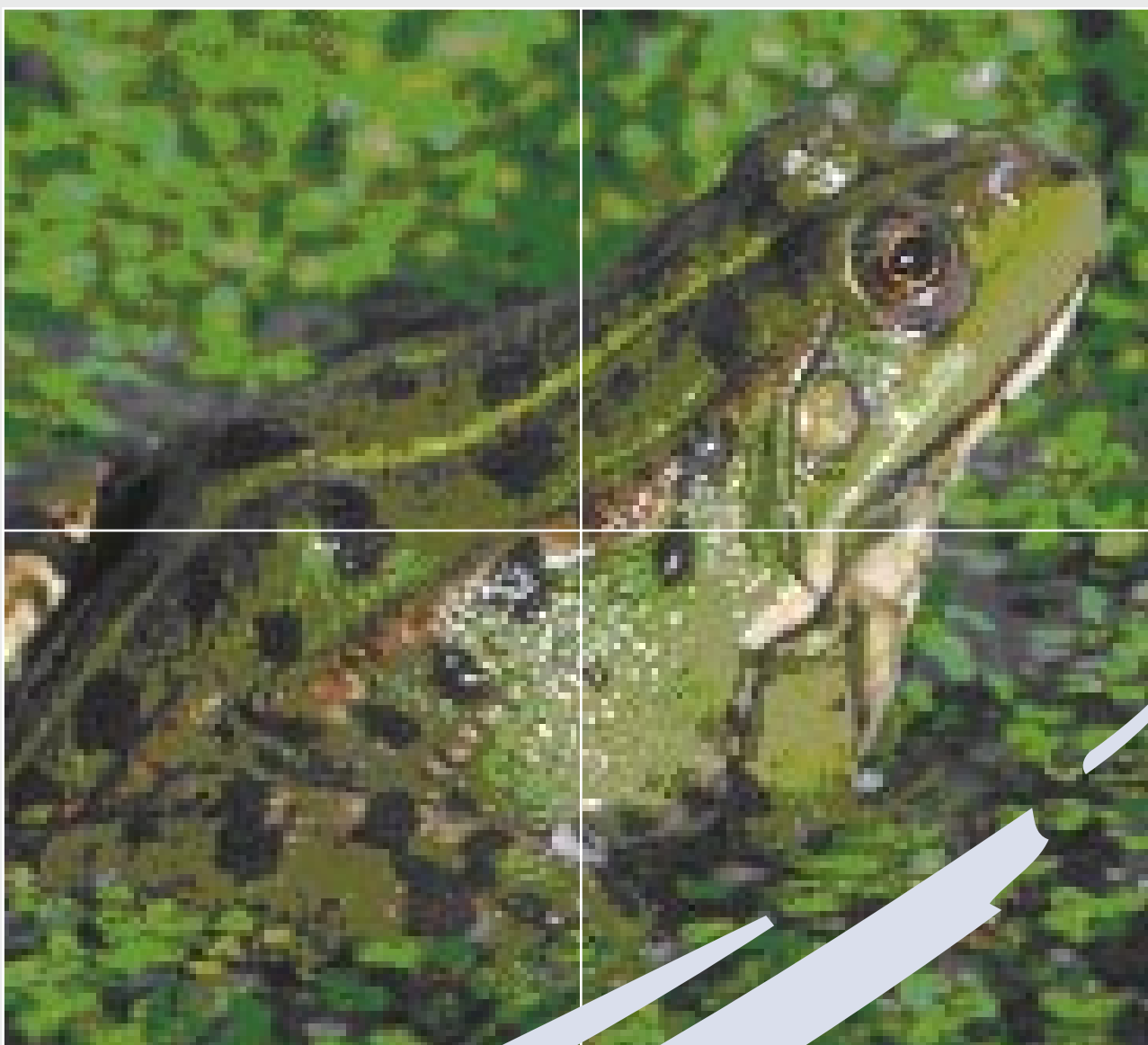


LES ESPÈCES ANIMALES ET VÉGÉTALES SUSCEPTIBLES DE PROLIFÉRER DANS LES MILIEUX AQUATIQUES ET SUBAQUATIQUES

Fiches espèces animales



INTRODUCTION

Le jeu de fiches descriptives et détaillées des espèces animales exotiques et indigènes susceptibles de proliférer dans le bassin Artois-Picardie se décompose, pour chaque espèce, en plusieurs rubriques :

- la biologie de l'espèce (description, reproduction et propagation, productivité) ;
- l'origine géographique et modalités d'introduction en France pour les espèces exotiques ;
- la distribution actuelle de l'espèce (en France et dans le bassin Artois-Picardie) ;
- le biotope de l'espèce ;
- les impacts positifs sur le milieu naturel et sur les autres espèces d'une part, sur l'homme et ses activités d'autre part ;
- les impacts négatifs sur le milieu naturel et les autres espèces d'une part, et sur l'homme et ses activités d'autre part ;
- les régulations naturelles s'il y en a ou autre type de régulation des effectifs de l'espèce
- les interventions humaines/méthodes de gestion.

Crédit photographique : *Rana ridibunda*, auteur : José Godin

LES ESPECES EXOTIQUES

LES ESPECES AQUATIQUES

Les Mollusques

Clam asiatique (N)

Corbicula fluminea

Emb : Invertébrés
Cl : Mollusques
O : Heterondonta
Sp-f : Sphaeriacea
F : Corbiculidae

BIOLOGIE

Description

L'étude de sa distribution sur le réseau hydrographique de la Seine a montré un polymorphisme de l'espèce. Un rapport entre la longueur et la hauteur permet cependant de caractériser *Corbicula fluminea*. De plus une bonne description des *Corbicula* de la Dordogne et du Tage a été donnée par Mouthon (1981) : en ce qui concerne la coloration externe des valves, elle est variable mais généralement vert-olive à brun-noir. En aval de Paris, des petits individus à **péριοstracum** foncé, mais à **umbo** érodé et donc blanchâtre. En amont de Paris, en Seine, dans les affluents et les canaux, les individus, sont plutôt clairs, à dominante olivâtre, avec parfois des ombrages brunâtres en bouffées de pipes sur les valves.

Dans le bassin du Rhône, principalement en amont de Lyon, on rencontre essentiellement des individus à péριοstracum de couleur brune et à nacre blanchâtre (Mouthon, 2000).

Des aberrations morphologiques ont été constatées sur des spécimens collectés à Melun (Vincent & Brancotte, 2000). Les déformations affectaient les valves droites et gauche (Vincent & Brancotte, 2000).

En résumé et en général en France, les individus rencontrés possèdent un péριοstracum de couleur brune et, à l'intérieur de leur coque, une nacre à reflets pourpres (Mouthon, 2000).

Régime alimentaire

Il s'agit d'un mollusque filtreur (Vincent & Brancotte, 2000).

Reproduction/propagation

Cette espèce est dotée d'un taux de croissance élevé, de capacités de reproduction et de dispersion passive importantes (Mouthon, 2000).

ORIGINE GEOGRAPHIQUE ET MODALITES D'APPARITION EN FRANCE

Le genre *Corbicula* regroupe des mollusques bivalves hétérondotes largement répartis en Afrique, en Asie et en Australie. L'espèce *Corbicula fluminea* a été introduite aux Etats-Unis en provenance de l'est de l'Asie. Signalée en Amérique du Nord comme espèce allochtone, il n'a cessé, depuis cette région de coloniser les fleuves de divers états. Deux espèces ont été récemment identifiées dans le réseau hydrographique européen : *Corbicula fluminea* et *Corbicula fluminalis*, notamment au Portugal, en Espagne, en Allemagne, en Hollande, en Belgique et au Luxembourg.

Corbicula fluminea a été détectée en France en 1977 ou au début des années 80. Le caractère invasif de cette espèce permettait de penser qu'elle allait coloniser rapidement les principaux canaux de l'hexagone (Vincent & Brancotte, 2000).

DISTRIBUTION ACTUELLE

En France et dans le bassin

La colonisation de la France par cette espèce peut se résumer ainsi :

1977 : cours inférieur de la Dordogne ; 1980 : Dordogne ; 1985 : Dronne et Garonne ; 1989 : canal du midi et Charente ; 1990 : estuaire de la Loire - Vézère - Haut Rhône ; 1991 : Gers - Adour ; 1993 : canal latéral à la Garonne ; 1994 : Lot - Moselle - Meuse ; 1995 : canal Rhin/Rhône/nord de Mulhouse ; 1996 : Aude et Tarn ; 1997 : Seine à Paris et basse Loire ; 2002 : bassin Artois-Picardie (Vincent & Brancotte, 2000).

Les informations sur l'expansion de *Corbicula fluminea* sont plus discrètes depuis 1997, pourtant l'espèce continue de s'étendre comme en témoigne sa présence signalée en septembre 2002 dans le bassin Artois-Picardie (canal de la Sensée)(Vincent & Brancotte, 2000).

Evolution des effectifs

Cette espèce se développe sur tout le réseau hydrographique français et ses effectifs augmentent. Les densités observées peuvent aller de 80 à 100 individus/m² observées à Melun sur le cours moyen de la Seine, sur plusieurs centaines de mètres (Vincent & Brancotte, 2000).

La distribution de cette espèce sur le bassin hydrographique de la Seine a été étudiée. Il en ressort que *C. fluminea* se répartit en amont et en aval de Paris, depuis le barrage de Jaulnes sur le cours moyen, jusqu'au barrage de Poses sur le cours inférieur. Le barrage de Jaulnes marque donc la limitation amont (pour le moment !) de présence de l'espèce. Ce bivalve semble rencontrer des difficultés pour franchir les barrages qui ne peuvent l'être qu'avec l'aide de l'homme. Ainsi la colonisation du reste de la Seine n'est qu'une question de temps. Il est raisonnable de penser que la colonisation de ce bassin est due à l'arrivée de ce mollusque par l'intermédiaire des canaux (canal latéral à la Marne et canal de Bourgogne) qui ont mis en contact certains affluents de la Seine (Yonne et Marne) avec des sites colonisés appartenant à d'autres bassins hydrographiques (Vincent & Brancotte, 2000).

BIOTOPES

Dans ses aires d'origine et d'introduction

C'est une espèce dulçaquicole et d'eau saumâtre, eurytherme (Vincent & Brancotte, 2000) qui vit dans le sédiment (Khalanski, 1996).

Certains auteurs pensent que cette espèce est ubiquiste et peu soucieuse du potentiel hydrogène. Pourtant il a été montré que, pour la Moselle, la granulométrie du substrat est nettement sélective et que les sites colonisés sont ceux où le substrat est fin. Il a également été montré que cette espèce pouvait être limitée par certains paramètres physico-chimiques : température faible, très forte teneur en calcium, présence d'ammoniaque, ... L'absence de pic thermique dans des rivières où les eaux sont fraîches et courantes semble être une cause de non colonisation et de non reproduction (constaté dans la Garonne). Le débit des affluents auquel est lié la force du courant est un facteur qui pourrait également limiter l'expansion de l'espèce vers l'amont voire s'opposer à la colonisation de certains cours d'eau. En effet, si les contre-courants de rives peuvent permettre à quelques larves de ce bivalve de remonter le cours sur une distance de quelques dizaines de mètres, le débit doit cependant entraîner la plupart des larves vers l'aval et s'opposer à la progression naturelle de l'espèce vers l'amont (Vincent & Brancotte, 2000).

L'espèce a colonisé des circuits de centrales thermiques d'électricité en France, par exemple Cattenom et La Maxe sur la Moselle, Golfech sur la Garonne et Bugey sur le Rhône (Vincent & Brancotte, 2000).

Elle est notamment présente dans les bassins froids des aéroréfrigérants de la centrale de Golfech, où la quantité de *Corbicula* retirée d'un de ces bassins s'élève à environ 10 m³. Les coquillages se trouvaient dans les zones les moins turbulentes du bassin et sous les tulipes d'arrivée d'eau (Khalanski, 1996).

Elle est également très présente dans les circuits de distribution d'eau d'irrigation du bassin de la Garonne (Khalanski, 1996).

IMPACTS POSITIFS

Aucun

IMPACTS NEGATIFS

Sur le milieu naturel et les autres espèces présentes

Ce bivalve allochtone pourrait, à terme, entrer en compétition avec la malacofaune autochtone (Vincent & Brancotte, 2000).

Sur l'homme et ses activités

Les *Corbicula* sont capables de constituer des populations très denses ; ils ont déjà causé de nombreux dégâts aux utilisateurs d'eau aux Etats-Unis, mais également dans le sud-ouest de la France (Mouthon, 2000). Ils colmatent, entre autre, les réseaux d'eau (Mouthon, 2000).

FACTEURS DE REGULATION NATURELLE

La prédation par le rat musqué (*Ondatra zibethicus*) sur cette espèce est significative dans certains lieux et notamment le long des berges empierrées à Melun (Seine) (Khalanski, 1996).

INTERVENTIONS HUMAINES/METHODES DE GESTION

Cf. fiche de la moule zébrée (*Dreissena polymorpha*)

Dans le bassin Artois-Picardie, la clam asiatique n'a été signalé que très récemment, en septembre 2002. Cette espèce, qui présente les mêmes inconvénients que la moule zébrée (*Dreissena polymorpha*), est susceptible de se propager rapidement dans notre bassin. C'est pourquoi nous l'avons fait figurer sur la liste des espèces dont l'expansion est à surveiller et à contrôler de façon très rigoureuse.

POUR EN SAVOIR PLUS

Bibliographie

- Khalanski, M. (1996). Conséquences industrielles et écologiques de l'introduction de nouvelles espèces dans les hydrosystèmes continentaux : la Moule zébrée et autres espèces invasives. In *Connaissance et gestion du patrimoine aquatique. Les introductions des espèces dans les milieux aquatiques continentaux en métropole. Séminaire Ministère de l'Environnement, GIP HydrOsystemes* (éd. C. S. Pêche), pp. 85-404. Bulletin Français de la Pêche et de la Protection des milieux aquatiques, Paris.
- Mouthon, J. (2000). Répartition du genre *Corbicula* Megerle von Mühlfeld. In *Hydroecol. Appl.*, vol. 1/2, pp. 135-146.
- Vincent, T. & Brancotte, V. (2000). Le bivalve invasif asiatique *Corbicula fluminea* (*Heterodonta*, *Sphaeriacea*, *Corbiculidae*) dans le bassin hydrographique de la Seine (France) : première prospection systématique et hypothèse sur la colonisation. In *Hydroecol. Appl.*, vol. 1/2, pp. 147-158.

Spécialiste

Mr M. KHALANSKI

EDF/DER Département environnement,
6, quai Watier,
78 401 Chatou Cedex France.

Crépidule (N)

Crepidula fornicata

Emb : Invertébrés
Cl : Mollusques
O : Mesogastéropodes
F : Crepidulidae

BIOLOGIE

Description

Ce mollusque d'une longueur d'environ 46 cm, possède une coquille mince de couleur brun-rosé. Comme chez les autres membres de cette famille, la coquille présente un enroulement spiralé, et un **septum** ou cloison calcaire, qui sépare les viscères du pied, lequel lui permet d'adhérer à un support. Ce gastéropode présente deux originalités : la première est d'ordre sexuelle puisque c'est un animal **hermaphrodite protandre**, c'est à dire que chaque individu est d'abord mâle puis femelle au cours de sa vie d'une durée d'environ 10 ans. La deuxième particularité, unique dans le règne animal est d'ordre comportemental (cf. reproduction) (Blanchard, 1955).

Régime alimentaire

Crepidula fornicata possède un mode de nutrition qui combine des caractéristiques observées chez les bivalves et les gastéropodes : c'est un organisme filtreur ayant une **radula**. L'animal possède une branchie unique (ou cténédie), qui est à la fois l'organe respiratoire et l'organe permettant la collecte de la nourriture. Le mouvement des filaments branchiaux génère un courant d'eau qui entre par une ouverture inhalante sur la gauche de l'animal, traverse le filtre muqueux, pénètre dans la chambre inhalante proprement dite et après passage à travers les filaments branchiaux atteint la chambre exhalante sur le côté droit de l'animal. En effet, il a été montré que le courant entrant d'eau n'était pas simplement filtré au niveau de la branchie, mais aussi au niveau de l'ouverture inhalante du manteau sur la gauche de l'animal grâce à un filtre muqueux, qui constitue donc la première étape de filtration. Il retient surtout les grosses particules mais aussi des plus petites, l'ensemble étant enrobé de mucus et amené dans une poche branchiale située dans la partie avant de la bouche. Le contenu de cette poche pourra être ingéré grâce à la radula ou être collecté par le filtre branchial plus fin et moins poreux que le précédent. Ces particules sont également amenées à la bouche sous forme d'un cordon muqueux qui est saisi par la radula et avalé progressivement. Les particules, ingérées et non assimilées, sont rejetées sur le côté droit de l'animal sous forme de fèces (Audemard, 1997).

Reproduction/propagation

Les individus mâles et femelles s'empilent les uns sur les autres, formant des chaînes d'une dizaine d'individus, ce qui permet une fécondation directe entre les individus d'une même pile et explique en partie la forte prolificité de l'espèce (Anonyme, 1999). Ces chaînes peuvent comporter jusqu'à 16 individus dans la chaîne primaire, c'est à dire la chaîne fixée sur un support. D'après des observations, un individu par an se fixerait au sommet des chaînes. Sur ces chaînes primaires peuvent aussi se fixer d'autres crépidules formant, elles aussi, des chaînes de plus petites tailles, et désignées sous le nom de chaînes secondaires et tertiaires (Audemard, 1997).

Une femelle fécondée peut produire de 10 000 à 25 000 larves mobiles, parfois plusieurs fois par an. Cette espèce possède donc un potentiel d'accroissement très élevé, mais il ne s'exprime vraiment que dans les eaux à faible courant, sans envasement et où de nombreux supports sont disponibles. Dans les zones à forte colonisation, le peuplement forme un tapis dense pouvant compter jusqu'à 85 000 individus/m² (Anonyme, 1999).

La ponte est incubée entre le propodium (partie antérieure du pied) et la tête jusqu'à ce que les larves atteignent le stade véligère où se produit l'éclosion. Ces pontes sont observées de février à octobre avec cependant des variations suivant le lieu d'observation (d'avril à septembre dans la rivière Blackwater en Angleterre). L'état de maturité de ces oeufs peut être suivi grâce à l'évolution de la couleur de ceux-ci passant du jaune au gris, puis brun avant l'éclosion, moment où les larves sont libérées dans l'eau et commencent la phase pélagique de leur développement. Cette phase a été estimée à environ 35 jours mais des études plus récentes montrent que sa durée pourrait être prolongée. Néanmoins deux périodes de fixation des juvéniles apparaissent : au début de juin et au début d'octobre (Audemard, 1997).

La larve, pélagique, de 400 µm de longueur et de forme cylindrique, porte ventralement une couronne ciliée et peut donc se déplacer dans la masse d'eau (Blanchard, 1955). Une fois fixée sur un support qui lui convient, elle s'y métamorphose. Différents travaux montrent que presque tout support lisse, quelle que soit son inclinaison ou sa forme, est propice à sa fixation. Ainsi elle peut se fixer sur les coques de bateaux, sur les coquilles d'autres mollusques (huîtres, moules) (Blanchard, 1955).

Son déplacement naturel à l'état larvaire (1 mois) se limite à quelques kilomètres. Cependant, fixée aux coques de bateaux elle peut être facilement transportée sur de longues distances, ce qui favorise son expansion géographique (Anonyme, 1999).

ORIGINE GEOGRAPHIQUE ET MODALITES D'APPARITION EN FRANCE

C'est une espèce originaire de la côte est de l'Amérique du Nord où elle se répartit du Canada jusqu'aux Caraïbes. Son introduction en France date de la seconde guerre mondiale. Lors du débarquement allié, des crépidules fixées sur la coque des bateaux ont été introduites depuis les ports anglais où l'espèce était déjà présente. Elle s'est ensuite répandue le long des cours d'eau de la Manche et de l'Atlantique. Il est également possible que cette espèce ait été introduite dans le bassin Adour-Garonne dans les années 1967 en même temps que l'huître japonaise (*Crassostrea gigas*) (Anonyme, 1999). En effet, divers travaux montrent que l'introduction volontaire de cette huître, dès le début des années 1960, s'est accompagnée de l'introduction accidentelle et de l'implantation de nombreuses autres espèces animales et végétales, notamment de la crépidule qui a trouvé sur nos côtes des conditions telles, qu'elle s'est très bien adaptée et multipliée au point qu'aujourd'hui sa prolifération est une source de problèmes pour les professionnels de la mer, pêcheurs et conchyliculteurs (Blanchard, 1955).

Si ces larves peuvent être transportées grâce aux courants et coloniser de nouveaux sites, ce sont avant tout les introductions accidentelles qui sont responsables de l'expansion géographique de l'espèce (Anonyme, 1999).

Elle a également été signalée au Japon, ainsi que sur la côte Ouest des Etats-Unis. En fait le genre *Crepidula* comporte une vingtaine d'espèces dont la plupart vivent dans les eaux nord et sud américaines (Blanchard, 1955).

DISTRIBUTION ACTUELLE

En France et dans le bassin

Aujourd'hui, *Crepidula fornicata* est présente sur l'ensemble du littoral français, à des degrés divers. Rare au nord de l'estuaire de la Seine du fait des forts courants côtiers, elle présente de fortes populations sur la quasi totalité des estrans de manche-ouest et de l'Atlantique, et dans le proche infra-littoral. Elle est présente en Méditerranée en différents sites (Blanchard, 1955).

Sur l'ensemble du littoral français, la biomasse s'élève en 1944 à plusieurs millions de tonnes et de plus en plus de surfaces sont colonisées (Blanchard, 1955).

En Manche- Est :

En 1963, elle est signalée « dans le Boulonnais » sans plus de précisions. Lors de dragages réalisés en 1976-1978, des taux d'infestations importants sont signalés sur des coquilles St Jacques par cette crépidule : il est important dans le secteur des **ridins** côtiers devant Boulogne (gisement de Vergoyer), et dans l'ouest-sud-ouest de Newhaven, malgré une profondeur de 60 m.

En baie de Seine, en 1978, «le pourcentage maximal de coquilles portant des crépidules s'observe sur les gisements côtiers du Calvados (Blanchard, 1955). Actuellement, mis à part une présence signalée dans le port de Boulogne, cette espèce ne paraît pas installée sur le littoral s'étendant de la mer du Nord à l'estuaire de la Seine (information fournie par l'Ifremer de Boulogne) (Blanchard, 1955).

Elle est très présente dans le bassin Adour-Garonne, les zones les plus concernées étant les deux bassins de Marennes-Oléron et d'Arcachon. Elle est également présente dans la région de Royan (Anonyme, 1999).

Evolution des effectifs

Actuellement très bien adaptée à nos côtes, la crépidule conquiert toujours de nouveaux sites, en particulier sur la côte méditerranéenne (Anonyme, 1999).

BIOTOPES

Dans ses aires d'introduction

La crépidule s'installe dans les eaux côtières mais supporte des degrés de salinité et des températures très variées. En effet c'est une espèce **euryhaline** et **eurytherme** (Blanchard, 1955). Elle peut se fixer sur de nombreux types de substrats mais préfère les sédiments grossiers et les substrats durs : cailloux, coquilles de mollusques (huîtres, moules), voire carapaces de crustacés (Anonyme, 1999). Néanmoins elles peuvent créer leur propre substrat puisque les individus se fixent les uns sur les autres.

Il a également été montré que la densité des crépidules était favorisée par des taux de matière organique élevés, ce qui explique sa présence sur les sédiments vaseux (Audemard, 1997).

C'est donc une espèce très opportuniste qui peut coloniser l'ensemble du littoral français, mais, les conditions étant plus favorables à sa croissance, elle est plus présente dans les baies et les estuaires de faible profondeur. De plus, les secteurs où elles préfèrent s'installer sont les mêmes que ceux utilisés pour la conchyliculture (Anonyme, 1999).

Toutes ces particularités comportementales et biologiques expliquent sa prolifération et sa large répartition (Blanchard, 1955).

IMPACTS POSITIFS

Sur l'homme et ses activités

Des techniques de valorisation de l'espèce sont à l'étude en Bretagne : la chair pourrait constituer de la nourriture animale ; la coquille broyée pourrait être utilisée comme amendement calcaire. Des essais de valorisation culinaire sont à l'essai dans cette même région; D'autres études sont également en cours dans l'industrie des aromatiques, de la diététique et de la cosmétologie (Rebillard).

IMPACTS NEGATIFS

Sur le milieu naturel et les autres espèces présentes

Il est souvent dit que l'espèce provoque un accroissement de l'envasement des sites où elle s'installe du fait de la production de fèces et pseudo-fèces. Les effets en seraient une « monotonisation » ou perte de diversité des peuplements (Audemard, 1997). Une étude récente contredit cette affirmation, au moins dans des zones ostréicoles. Si la présence de crépidules augmente l'envasement, l'impact n'est pas supérieur à celui résultant de la présence des huîtres (Anonyme, 1999).

La crépidule est largement considérée comme un compétiteur de l'huître (et d'autres mollusques filtreurs) pour la ressource alimentaire et la ressource spatiale. Sa présence provoquerait une baisse de la productivité des bassins ostréicoles, d'où une perte économique. L'étude précédemment citée va également à l'encontre de cette affirmation. Si la crépidule est effectivement un compétiteur, sa présence n'a d'effets sur la croissance et la mortalité des huîtres que dans les bassins où la production ostréicole est déjà trop importante par rapport aux ressources alimentaires du milieu (Anonyme, 1999). Elle entre également en compétition avec les moules, coquilles St Jacques et autres mollusques filtreurs (Rebillard).

Sur l'homme et ses activités

Elle peut être un obstacle physique dans certains chenaux puisque les bancs de crépidules peuvent atteindre des hauteurs pouvant gêner le déplacement des bateaux (Anonyme, 1999).

FACTEURS DE REGULATION NATURELLE

La compétition : les moules lorsqu'elles se développent en abondance, peuvent étouffer les jeunes crépidules par le développement d'un important réseau de filaments de byssus.

L'envasement : les crépidules sont étouffées dans les sites où des dépôts réguliers de vase ont lieu.

Le courant : les courants prononcés ne permettent pas aux jeunes crépidules de se fixer durablement sur le substrat (Anonyme, 1999).

Elle ne possède pas de prédateurs connus (Audemard, 1997).

INTERVENTIONS HUMAINES/METHODES DE GESTION

Directes

Traitement mécanique

Le dragage et la récolte des crépidules est la seule solution vraiment efficace pour limiter la prolifération de cette espèce. C'est toutefois une opération qui ne peut être réalisée sur les parcs à huîtres en cours d'exploitation. Après récolte, les organismes doivent être déposés à terre. Le broyage et la remise à l'eau des résidus doivent être proscrits car ils n'éliminent pas les œufs et les jeunes larves. Les organismes récoltés peuvent également être ébouillantés puis rejetés à la mer (technique testée en 1995). L'ensemble de ces procédures est coûteux (au moins 122 euros par tonne de crépidule éliminée) (Anonyme, 1999).

Traitement chimique

Des essais ont été réalisés avec des effets concluants, mais ce type de traitement ne peut être recommandé dans les milieux aussi sensibles que les baies, les lagunes ou des estuaires, tout particulièrement en zone ostréicole (Anonyme, 1999).

Contrôle biologique

La dispersion de coquilles de moules, fragiles et friables, a été utilisée en Hollande. Les jeunes crépidules qui se fixent sur ces coquilles meurent dès que celles-ci se brisent. Des déversements de larves de moules sont également réalisés afin que les moules étouffent les jeunes crépidules avec leurs filaments de byssus.

Des techniques de valorisation de l'espèce sont à l'étude : alimentation animale, utilisation des coquilles comme amendement calcaire en agriculture,... Une telle valorisation permettrait de compenser partiellement et de justifier le coût important des opérations de lutte (Anonyme, 1999).

Indirectes

Il paraît difficile de trouver des techniques de régulation indirecte des effectifs de crépidules. On peut toutefois envisager de limiter les risques d'expansion de l'espèce par une surveillance sanitaire des **naissains** destinés à la conchyliculture et par le nettoyage des coques de bateaux quittant une zone infestée (Anonyme, 1999).

Niveau actuel de connaissances

Bonnes connaissances de la biologie de cette espèce et sur sa dynamique.

Les incidences écologiques et économiques réelles de la crépidule nécessitent encore des études sur des sites variés du littoral français.

En l'état actuel des connaissances, il semble plus justifié d'envisager des actions ciblées sur certains secteurs à risque, en France, plutôt que des interventions systématiques et coûteuses sur l'ensemble du territoire (Anonyme, 1999).

Exemples d'interventions : éradication ou valorisation ?

L'«éradication» des crépidules s'est organisée en Charente-Maritime et plus particulièrement dans la baie de Marennes-Oléron. La période d'intervention annuelle se situe d'avril à mai, en raison de la disponibilité des patrons chalutiers, annoncée par voie de presse ; les pêcheurs intéressés s'inscrivent pour participer à l'opération. L'importance de cette opération est fonction des montants financiers qui y sont consacrés. Chaque année, le Conseil Général de Charente-Maritime apporte une subvention égale à 75 % du coût total de la campagne, soit environ 100 000 euros. Les pêcheurs draguent les crépidules (quota fixé à 220 **mannes** de crépidules par marée, et indemnisation de 380 euros environ par marée), puis vont les décharger en différents lieux (Rebillard).

Les crépidules sont ensuite déposées au niveau des chemins de marais qui bordent les chenaux. Lors d'une opération, 1 200 à 1 500 tonnes sont ainsi éliminées.

La mise en décharge pour enfouissement est coûteuse en ruptures de charge et transport.

De ce fait, une nouvelle technique, la cuisson des crépidules a été essayée en 1995 : les chalutiers draguent les crépidules qui sont chargées sur un bateau équipé d'une chaudière et cuites à 97 °C à pression atmosphérique pendant environ 2 minutes. A la sortie de l'étuve, les coquillages sont rejetés en mer. Cette technique présente l'avantage de détruire à la fois les mollusques et leurs œufs. Cette opération a été reconduite à plus grande échelle en 1996 : (élimination de 4 000 tonnes) (Rebillard).

Pourtant les techniques de valorisation de l'espèce cités précédemment et l'étude en Bretagne pourraient constituer une valorisation économique de cette espèce (Rebillard).

Cas du bassin

Dans le bassin cette espèce est bien présente, cependant nos départements ne sont pas ostréicoles et la crépidule pose donc peu de problèmes économiques. De plus cette espèce vit dans les estuaires et peu de problèmes sont enregistrés vis-à-vis de la circulation fluviale. C'est pourquoi nous l'avons classée parmi les espèces dont l'expansion est à contrôler, avec une nécessité de gestion faible, afin qu'elle n'envahisse pas trop de secteur dans le bassin Artois-Picardie, ce qui pourrait également faciliter sa dispersion en France.

POUR EN SAVOIR PLUS

Bibliographie

Anonyme. (1999). Jeu de fiches concernant les principales espèces rencontrées sur le bassin Adour-Garonne, pp. 31. Groupe d'Etudes et de Recherche en Ecologie Appliquée de Bordeaux-Montesquieu.

Audemard, C. (1997). Répartition de la Crépidule dans le bassin d'Arcachon, Bordeaux 1.

Blanchard, M. (1955). Origine et état de la population de *Crepidula fornicata* sur le littoral français. *Haliotis* n° 24, 75-86.

Rebillard, J. P. Gare aux mollusques!, pp. 3. IFREMER- Milieu naturel, Brest.

Spécialistes

AUDEMARD Corinne
Université de Bordeaux 1
Laboratoire d'Océanographie Biologique d'Arcachon

REBILLARD J.P.
Agence de l'eau Adour-Garonne

BLANCHARD M.
Laboratoire d'écologie,
IFREMER-Centre de Brest,
BP 70 – F-29280 Plouzané

Moule zébrée (N)

Dreissena polymorpha

Emb : Invertébrés
Cl : Mollusques
O : Bivalves
F : Dreissenidae

BIOLOGIE

Description

Elle possède une coquille triangulaire, allongée, présentant plus ou moins la forme d'une moule. Le bord supérieur est anguleux, formant une crête tandis que le bord inférieur est légèrement concave. L'extrémité antérieure est acuminée, l'extrémité postérieure arrondie. Du côté antéro-ventral, les valves laissent une ouverture plus ou moins large pour le passage du byssus du pied. Les sommets sont petits, saillants, pointus. Les valves sont fortement renflées, chacune pourvue d'une carène, à peu près parallèle au bord inférieur, qui commence au sommet et qui occupe plus de la moitié de la longueur de la coquille. Charnière sans dent et lamelles avec un ligament étroit, allongé, non visible extérieurement. Dans l'angle, derrière le sommet se trouve un **septum** calcaire, strié transversalement, sur lequel s'insère le muscle adducteur antérieur. Au-dessous de ce septum, l'intérieur de la valve droite, porte parfois une lamelle irrégulière, faisant saillie ; elle n'est pas reliée au septum. Les impressions musculaires postérieures sont bien visibles. Le test est solide, jaune verdâtre ou brunâtre, flammulé de bandes brunes, disposées en zig-zag ; garnies de stries de croissance irrégulières ; l'intérieur est bleuâtre.

Dimensions : longueur : 40 mm ; hauteur : 20 mm ; épaisseur : 24 mm (Adam, 1960).

C'est un animal ayant les bords du manteau soudés, à l'exception d'une fente qui sert de passage au pied et au byssus, et de deux siphons nettement séparés : le siphon branchial dont l'ouverture est entourée de papilles et le siphon anal, plus petit, dépourvu de papilles. Elle possède deux paires de lames branchiales dont les externes sont plus grandes que les internes. Postérieurement, les branchies sont soudées (Adam, 1960).

En Europe, la moule zébrée adulte peut vivre jusqu'à 5 ans et atteindre 5 cm. Par contre, en Amérique du Nord, la plupart vivent de deux à trois ans et atteignent moins de trois centimètres (Anonyme, 2002).

Régime alimentaire

Un facteur positif permettant à cette espèce de moule de coloniser de nombreux milieux est d'ordre trophique : la dreissène présente en effet un large spectre alimentaire ; elle manifeste « un réel opportunisme ». La moule zébrée utilise une grande variété de particules en suspension dans l'eau ; c'est un **organodétritiphage**, qui consomme aussi bien des algues **planctoniques** que des débris **organobactériens**. La sélectivité des particules est comprise entre 15 µm et 45 µm avec une sélection maximale centrée autour de 20-25 µm, qui correspond à la dimension des taxons **phytoplanctoniques** généralement majoritaires dans les eaux continentales. Des travaux américains ont par ailleurs révélé que les moules zébrées consomment aussi du microzooplancton jusqu'à des tailles de 100-200 µm, comme des végétaux de dreissènes, des rotifères, des petits cladocères (Khalanski, 1996).

Comportement

Comme la moule marine, elle possède des larves planctoniques qui assurent sa rapide dissémination en milieu aquatique et un appareil de fixation constitué de filaments adhérent aux substrats durs : le **byssus** (Khalanski, 1996), sécrété par la « glande du byssus » ; ces filaments sont cornés et très résistants, d'une couleur brun noirâtre (Adam, 1960).

Elle peut couvrir toutes les surfaces disponibles, se fixer sur les coquilles de ses congénères, et constituer des masses de plusieurs dizaines de milliers d'individus par mètre carré. C'est ainsi que d'énormes bouées des « US Coast Guards », qui balisent les voies de navigation dans les Grands lacs, ont coulé sous le poids des coquillages agglutinés autour des chaînes d'ancrage et sur les bouées elles-mêmes (Khalanski, 1996).

Reproduction/propagation

Un autre des facteurs qui confère à l'espèce une grande capacité d'extension en milieu lacustre comme dans les grandes rivières est son mode de reproduction (Khalanski, 1996).

Ces animaux sont de sexes séparés et pondent leurs œufs par petits paquets, directement dans l'eau (Adam, 1960). Chaque femelle peut pondre jusqu'à 1 million d'œufs par an, pendant l'été lorsque la température est supérieure à 12 °C. Les larves (appelées véligères) sont invisibles à l'œil nu à leur naissance. Elles flottent librement pendant deux à trois semaines et peuvent ainsi être dispersées sur de grandes distances par les courants. Elles peuvent aussi être transportées par les bateaux et les remorques ainsi que par l'eau qui pourrait transiter d'un plan d'eau à un autre, dans des seaux de poissons appâts par exemple. Cette méthode de dispersion est très efficace et permet aux moules zébrées de coloniser rapidement de nouveaux milieux. Après quelques semaines, les larves de moule zébrée, appesanties par leur coquille, se fixent au moyen de leur byssus. Une fois installées sur une surface dure, les véligères se transforment en adulte. Dans les Grands Lacs, les moules zébrées atteignent une densité de 700 000 individus/m² (Anonyme, 2002).

Le cycle biologique de la moule zébrée a été schématisé en 3 phases (Khalanski, 1996):

- une phase planctonique, qui dure deux à quatre semaines selon la température de l'eau ;
- une phase de transition, pendant laquelle les larves se fixent et se métamorphosent ;
- une dernière phase benthique, dans laquelle le bivalve est fixé par un byssus comme chez les Mytilidés ; la moule zébrée peut toutefois se détacher et possède ainsi une certaine mobilité.

(Khalanski, 1996).

La croissance des bivalves est généralement mesurée par l'augmentation de la longueur de la coquille sur un intervalle de temps donné. Il y a de grandes variations selon les lieux, qui s'expliquent essentiellement par la disponibilité en nourriture et le régime thermique annuel.

La biologie de la moule zébrée sur le site de Cattenom a été étudiée par l'Université de Metz. On connaît ainsi les périodes de fixation des larves et le taux de croissance des organismes fixés. A partir de ces connaissances, un modèle mathématique a été construit par EDF-DER et l'Université de Metz. Il permet de calculer la croissance de chaque cohorte en fonction de la température et de la teneur de l'eau en chlorophylle planctonique. Dans une partie des circuits de la centrale thermique, de Cattenom en Moselle, la croissance des moules zébrées est très rapide pendant l'été : la cohorte issue du premier pic de larves fixées atteint la taille de 15 mm à la fin de l'été. En comparaison avec les autres données disponibles sur des cours d'eau et plans d'eau européens, il apparaît que cette population se situe parmi celles qui ont le plus fort taux de croissance. La croissance de la coquille peut être calculée à l'aide d'un modèle basé sur trois fonctions représentant la **réduction du taux de croissance en fonction de la taille, l'effet de la température de l'eau et la ressource trophique** exprimée par la concentration en chlorophylle planctonique. La croissance de coquille de cette population a été simulée sur trois années à partir des mesures de température et de chlorophylle-a réalisées en Moselle. Ce modèle montre la variabilité des tailles atteintes à la fin de la période estivale de croissance, selon les cohortes : la première cohorte provenant des larves fixées en juin atteint une taille de 14-15 mm, alors que la cohorte provenant des fixations du mois d'août n'atteint que 8 à 10 mm (Khalanski, 1996).

ORIGINE GEOGRAPHIQUE ET MODALITES D'APPARITION EN FRANCE

Originaire de la région de la Mer Noire et Caspienne, la moule zébrée, *Dreissena polymorpha*, a progressivement colonisé les rivières européennes. Au siècle dernier, sa progression vers l'ouest a été favorisée par le développement des canaux au début de l'ère industrielle. Elle a atteint, en quelques décennies, la France et les îles britanniques (Khalanski, 1996).

En Amérique du Nord, la première observation de moules zébrées a été rapportée en juin 1988 dans le lac Saint-Clair, un plan d'eau situé entre le lac Erié et le lac Huron. En fait, les experts estiment actuellement que l'introduction de l'espèce date vraisemblablement de 1985-1986. Elle se serait faite à partir de larves émises par des moules européennes transportées avec l'eau douce de ballast des bateaux de haute mer. Ceux-ci remontent en effet le Saint-Laurent depuis 1959, pour atteindre les métropoles industrielles installées au bord des Grands lacs (Khalanski, 1996).

L'identité de l'envahisseur semblait clairement établie au début de l'infestation. Toutefois, certaines populations présentes dans les Grands lacs se distinguaient par la forme de leur coquille. Actuellement, deux espèces ont été identifiées : *Dreissena polymorpha* Pallas, la plus répandue, et la « quagga mussel », identifiée comme étant *Dreissena bugensis* Andrusov, 1897 (Khalanski, 1996).

Depuis lors, *Dreissena polymorpha* s'est multipliée très rapidement ; elle est maintenant présente dans la plupart des voies navigables interconnectées de l'est des Etats-Unis et elle commence même à faire son apparition plus à l'ouest. Au Québec, sa présence a été signalée en 1990 dans le fleuve Saint-Laurent et en 1994 dans la rivière Richelieu. Elle a également été détectée en 1995 du côté Ontarien de la rivière des Outaouais (Anonyme, 2002)

DISTRIBUTION ACTUELLE

En France et dans le bassin

Il est intéressant de signaler sa présence en Belgique où elle est très commune dans les rivières de la Moyenne et la basse Belgique et rare à l'Est de la Meuse (Adam, 1960). Il faut remarquer qu'E. Van den Broeck a signalé la présence de colonies de coquilles sub-fossiles de *Dreissena polymorpha* sur les bords d'un ancien canal à Anvers, canal qui a été comblé à la fin du XVI^{ème} siècle (Adam, 1960).

La dreissène est aujourd'hui présente dans tous les grands bassins hydrographiques français où elle a pris une importance plus ou moins grande. Elle présente ainsi des populations très denses bien que moindres dans le Rhône et elle est peu abondante dans les bassins de la Loire et de la Garonne (Khalanski, 1996).

Dreissena polymorpha est trouvée très souvent fixée sur les parois des canalisations et bassins. L'espèce est abondante en Moselle, dans le Rhône et dans le bassin de la Seine. A Cattenom, en 1989, 400 m³ de coquilles et de vase ont été retirés des conduites, en amont des pompes alimentant les circuits auxiliaires classiques et nucléaires (Khalanski, 1996).

Bien que la moule zébrée soit peu abondante dans la Garonne, elle a envahi les circuits de la centrale de Golfech, où des quantités comparables à celles de Cattenom ont été retirées en 1995 (Khalanski, 1996).

Elle est répandue au niveau du bassin Artois-Picardie.

Evolution des effectifs

Ses effectifs augmentent dans la plupart des régions où elle a étendu son aire de distribution naturelle à la faveur des canaux créés par l'homme.

BIOTOPES

Dans ses aires d'origine et d'introduction

Elle habite généralement les rivières et canaux, rarement dans les eaux à fort courant, parfois les étangs (Adam, 1960).

De par sa grande tolérance thermique, la moule zébrée peut occuper un vaste espace géographique. La dreissène est adaptée aux climats continentaux caractérisés par une grande amplitude thermique : ainsi, elles survivent en hiver dans les eaux glacées et supportent en Moselle pendant plusieurs semaines des températures estivales comprises entre 25 °C et 28 °C. La tolérance thermique des dreissènes en Amérique du Nord leur permet de se développer dans le cours inférieur du Mississippi, dans des eaux dont l'amplitude annuelle va de 10 °C à 30 °C. Des animaux acclimatés à 30 °C meurent en quelques jours à des températures plus élevées : la température létale en 7 jours est de 32 °C, elle est de 31 °C en 16 jours (Khalanski, 1996).

Certains facteurs de qualité d'eau sont cependant **limitants** :

- les moules zébrées ne peuvent pas incorporer le calcium au-dessous d'une concentration de 12 à 14 mg/l, contrairement aux Anodontes pour lesquelles le seuil est à 3 mg/l et aux Unios (6-7 mg/l). Cela explique leur absence de certains lacs en Russie ;
- les deux espèces présentes en Amérique du Nord supportent, sans dommage apparent, une salinité de 2 g/l ; la mortalité est significative à partir de 4 g/l. D'autres Dreissenidae vivent dans la mer d'Aral à 22 g/l ;
- un excès de matières en suspension entraîne la production de pseudo-fèces par la moule zébrée, comme c'est le cas chez la moule marine. Des tests en laboratoire ont montré que le bilan énergétique devenant nul à partir d'une teneur en Mest (Matières en suspension totales) de 80 mg/l. Avec de l'argile, l'augmentation de la production de pseudo-fèces devient significative à partir de 25 mg/l ;

- *Dreissena polymorpha* est une espèce **oxyphile** qui demande, sur le long terme, une oxygénation supérieure à 50% de saturation ; l'optimum étant situé à au moins 80 % de saturation. *Dreissena bugensis* supporte mieux les basses teneurs en oxygène dissous et pourrait remplacer *D. polymorpha* dans les eaux oxygénées. Les moules zébrées peuvent, en revanche, rester fermées à l'air libre pendant plusieurs jours dans une atmosphère humide ;
- la vitesse de l'eau peut aussi constituer un facteur limitant pour la croissance de la moule zébrée. La fixation est supprimée quand la vitesse de l'eau dans les circuits industriels excède 1,5 m/s. Dans le circuit de la centrale thermique de Cattenom, en Moselle, la croissance est optimale pour les vitesses comprises entre 0,1 et 0,5 m/s ; par ailleurs, des observations faites dans les circuits des centrales thermiques exploitées par EDF indiquent l'absence de moules zébrées dans les conduites lorsque la vitesse est supérieure à 1 m/s . On peut donc estimer que la vitesse optimale pour la croissance de *Dreissena polymorpha* se situe probablement dans la gamme de 0,1 m/s à 0,5 m/s, qui correspond à la gamme des vitesses couramment rencontrées dans les rivières. A partir de 1 m/s, la croissance est fortement réduite et les moules sont éliminées à 1,5 m/s.

(Khalanski, 1996).

IMPACTS POSITIFS

Sur le milieu naturel et les espèces présentes

Elle constitue une ressource alimentaire pour certaines espèces d'oiseaux, notamment le fuligule morillon (*Aythya fuligula*) (Anonyme, 1999) ou de poissons (Anonyme, 2002).

Organisme filtreur, cette espèce peut améliorer la qualité de l'eau (Anonyme, 2002).

Sur l'homme et ses activités

C'est un organisme filtreur, (comme déjà dit précédemment) elle peut donc améliorer la qualité de l'eau ce qui pourra amener le développement des activités touristiques (Anonyme, 2002).

La moule zébrée est couramment utilisée en Europe comme bioindicateur de pollutions métalliques et radioactives. Il faut, à ce sujet, signaler les travaux réalisés à l'Université de Metz (Khalanski, 1996).

IMPACTS NEGATIFS

Sur le milieu naturel et les autres espèces présentes

L'impact écologique des moules zébrées a fait l'objet de nombreuses études aux Etats-Unis, financées par le « Sea Grant Program ». L'extraordinaire développement des moules zébrées aux cours des cinq premières années suivant leur découverte dans le lac Saint-Clair s'est accompagné de modifications majeures portant sur la structure biologique et sur le fonctionnement des hydrosystèmes, par le biais d'un impact sur la production planctonique et benthique (Khalanski, 1996).

Comme toutes les espèces introduites dans un espace naturel, les moules zébrées entrent en compétition avec des espèces indigènes pour l'occupation de l'espace et l'utilisation des ressources nutritives (Khalanski, 1996).

La fixation des moules zébrées sur la coquille des bivalves Unionidés indigènes a été remarquée par tous les observateurs. Il semble que ces observations ne soient pas anecdotiques, puisque les populations d'Unionidés du lac Saint-Clair et du Lac Erié auraient pratiquement disparu en 1992. La fixation des dreissènes sur les coquilles d'Unionidés a aussi été rapportée dans des plans d'eau en Russie, et nous l'avons fréquemment observée en Moselle. L'impact sur les Unionidés dépend toutefois de la richesse trophique : les Unionidés se maintiennent dans les eaux les plus riches en plancton. Les dreissènes se fixent également sur la coquille des Gastéropodes Prosobranches indigènes. Des fixations, sans doute plus rares, ont aussi été rapportées sur des gammares, des écrevisses, et même sur le ver Turbellarié *Dugesia tigrina* (Khalanski, 1996).

Dans cette ligne, l'effet de l'introduction depuis 1987 de l'Amphipode *Corophium curvispinum* dans le Rhin inférieur sur le peuplement de moules zébrées doit être cité. Cette petite espèce, qui atteint une densité maximale de 160 000 individus par m², construit des tubes en fixant d'énormes quantités de matières en suspension (197 à 658 g de poids sec par m²). La chute d'abondance des dreissènes dans le Rhin à partir de 1993, de quelques milliers par m² à quelques dizaines par m², a été attribuée à l'occupation des substrats durs par *Corophium curvispinum* (Khalanski, 1996).

Rôle des moules zébrées dans le transfert biologique des polluants

Plusieurs travaux concluent à un risque de contamination de la chaîne alimentaire aquatique par cette nouvelle source de nourriture, dans laquelle s'accumulent les polluants organiques lipophiles comme des **PCB** et des **PAH**.

Par ailleurs, les moules zébrées enrichissent les sédiments en cuivre, zinc et cadmium par l'apport de fèces et pseudo-fèces très enrichis en métaux (Khalanski, 1996).

Impact sur la production biologique et les nutriments

Les investigations menées sur les zones de plus forte abondance en dreissènes (le lac Saint-Clair, le lac Erié et la baie Saginaw dans le lac Huron) ont mis en évidence de nettes modifications imputables aux moules zébrées. Il faut signaler que les premières années suivant leur introduction, la densité des moules zébrées dans ces zones a atteint quelques dizaines de milliers d'individus par m², et jusqu'à 700 000 individus par m² dans le cas des accumulations produites sur plusieurs saisons de croissance. Les modifications rapportées peuvent être ainsi résumées (Khalanski, 1996) :

- **diminution de la biomasse phytoplanctonique** : on est passé d'une valeur estivale de 30 µg/l en chlorophylle-a avant l'invasion à 4 µg/l en 1989 et 9 µg/l en 1994 ;
- les dreissènes **filtrent intensément** les diatomées planctoniques et la réduction de biomasse de ces dernières atteint 86 % dans le lac Erié, tandis que la concentration en nutriments (phosphore-azote ammoniacal et silice) et la transparence augmentent ;
- **apparition de blooms de la cyanobactérie *Microcystis*** en 1994 et 1995 dans Saginaw Bay, et en 1995 dans la partie occidentale du lac Erié. Ces fleurs d'eau sont attribuées à l'absence de filtration des *Microcystis* par les moules zébrées ;
- **augmentation de la transparence de l'eau** liée à la régression du phytoplancton, ce qui favorise des algues vertes Zygnematales et quatre espèces de macrophytes qui profitent d'un meilleur éclaircissement : *Potamogeton crispus*, *Vallisneria americana*, *Ceratophyllum demersum* et *Myriophyllum spicatum* ;
- **diminution de la biomasse macrobenthique**. La biomasse de la faune benthique, en poids sec hors coquille dans la partie orientale du lac Erié, est passée de 1,58 g/m² à 11,93 g/m² entre 1979 et 1993, du fait de l'apparition des moules zébrées et des Quagga (*D. bugensis*). En dehors des dreissènes, la biomasse a toutefois diminué (1,61 à 1,04 g/m²) ; la plus forte réduction concerne un amphipode (*Diporeia*), le bivalve *Pisidium* et des diptères Chironomides qui subissent une compétition trophique de la part des moules zébrées. La méiofaune s'accroît en revanche d'un facteur 2 à 6, car elle bénéficie de l'apport nutritif constitué par les pseudo-fèces de moules.

(Khalanski, 1996).

Peu d'informations sur l'évolution des populations de poissons existent. Une étude sur le recrutement des poissons dans Saginaw Bay n'a pas montré de différence dans les larves des principales espèces pélagiques en 1993 : l'alose *Alosa pseudoharengus*, un Osmeridé, et la perche jaune *Perca flavescens*. Toutefois, le rendement de la pêche de la perche jaune au chalut a fortement baissé au cours des dernières années, ce qui laisse supposer que le recrutement est mauvais malgré une abondance de larves normale. La rareté du zooplancton pourrait expliquer le déclin de cette population de poissons (Khalanski, 1996).

Sur l'homme et ses activités

Dans certains cas, l'irruption de nouvelles espèces pose un problème grave à l'industrie. L'introduction de deux espèces de moules zébrées (genre *Dreissena*) dans les Grands Lacs américains, puis leur extension progressive vers le sud des Etats-Unis au cours des dernières années, se chiffre par un dommage pour l'industrie estimé à cinq milliards de dollars par an en 2000 (Khalanski, 1996).

En Europe, la moule zébrée constitue aussi une menace pour les circuits industriels ; c'est pourquoi cette espèce a fait l'objet de nombreuses études, notamment en France sur la Seine, le Rhône et la Moselle. Deux nouvelles espèces invasives sont récemment apparues dans les cours d'eau européens : il s'agit du clam asiatique *Corbicula fluminea* (cf. fiches) et d'un amphipode : *Corophium curvispinum* (cité précédemment). Elles s'ajoutent à la liste faunistique des organismes observés dans les circuits de centrales thermiques installées sur les cours d'eau français : spongiaires, hydriaires, bryozoaires, mollusques (Khalanski, 1996).

Dès 1989, les premières nuisances se sont manifestées par le colmatage des prises d'eau d'usines de production d'eau alimentaire. A partir de 1990, tous les circuits d'eau brute ont été concernés, qu'il s'agisse de bateaux ou d'installations à terre.

Tous les secteurs industriels utilisant des eaux de surface sont touchés par les nuisances induites par la moule zébrée ; le « US National Biological Service » prévoit, en 2000, un coût annuel de 5 milliards de dollars pour l'industrie (Khalanski, 1996).

Production d'eau potable

Deux types de nuisances sont cités par les exploitants d'usines installées sur les Grands lacs :

- réduction de la capacité de pompage, qui conduit à surdimensionner les prises d'eau et formation de frazil en hiver dans les canalisations infestées ;
- colmatage des prises d'eau par des algues filamenteuses, dont le développement est favorisé par l'éclaircissement de l'eau résultant de la consommation du phytoplancton par les moules zébrées ; il a ainsi fallu enlever en moyenne sur un site 750 kg d'algues chaque jour, de mai à août.

(Khalanski, 1996).

Les moyens de contrôle adoptés sont des traitements chimiques au chlore ou au permanganate de potassium au niveau des prises d'eau (Khalanski, 1996).

Centrales thermiques

Cinquante-trois centrales thermiques sont installées sur les rives des Grands lacs. Toutes les parties des circuits dans lesquelles l'eau de refroidissement circule à une vitesse inférieure à 1 m/s sont colonisées par les moules. Du côté américain, les compagnies utilisent cinq types de traitement anti-salissures, dont les plus fréquents sont le nettoyage mécanique des circuits, la chloration et l'usage de toxiques non oxydants. De nombreuses centrales utilisaient une procédure efficace contre la faune indigène, mais qui s'est révélée inadaptée contre les moules zébrées. Des exploitants ont d'abord eu recours au nettoyage manuel par des plongeurs ; ils ont ensuite testé des traitements chimiques dans l'urgence, sans qu'une cohérence d'ensemble n'apparaisse.

L'Electric Power Research Institute (EPRI), organisme de recherche pour les producteurs d'électricité américains, a rapidement pris la mesure du problème posé aux exploitants. Il a engagé des études et des actions d'information. Un guide sur la surveillance et les méthodes de lutte contre la moule zébrée, destiné aux exploitants de centrales thermiques, a été publié par l'EPRI en décembre 1992 (Khalanski, 1996).

Depuis l'apparition de la moule zébrée en 1991 dans le Tennessee, la Tennessee Valley Authority, qui exploite des barrages et des centrales thermiques à flamme et nucléaires, a mis en place une surveillance de la densité de larves planctoniques et des fixations sur tous les sites susceptibles d'être infestés. Ce programme a débuté en 1992 ; il a montré que la reproduction des dreissenés restait faible dans les retenues hydroélectriques et sur la plupart des sites de centrales thermiques sur le Tennessee. En revanche, la densité des moules atteint 40 000 individus par m² dans l'Ohio inférieur et une infestation massive a été constatée dans les circuits des centrales installées sur le cours inférieur de l'Ohio (Shawnee Fossil Plant) et sur le Mississippi à Allen Fossil Plant, près de Memphis. Sur ces sites, les moules sont éliminées par un traitement thermique et chimique, déclenché dès que les fixations sont constatées (Khalanski, 1996).

Au Canada, la compagnie Ontario Hydro a, dès le début de l'invasion, mis en œuvre un programme de recherches comportant un volet d'études en laboratoire et de nombreux essais sur des circuits de centrales. Un ouvrage de synthèse a été publié en 1994. A titre provisoire, c'est la chloration, selon un protocole optimisé, qui a été adoptée par Ontario Hydro comme moyen de traitement chimique (Khalanski, 1996).

Centrales hydrauliques

Les moules se fixent sur les vannes des usines hydrauliques et dans les circuits auxiliaires de refroidissement équipés d'échangeurs à plaques. Hydro Québec est particulièrement concerné par l'infestation des circuits de la centrale de Beauharnais et utilise la chloration à l'instar d'Ontario Hydro, tout en suivant le développement des recherches dans le domaine de la lutte anti-salissure (Khalanski, 1996).

La navigation

Les circuits d'eau brute des bateaux doivent être traités contre les moules zébrées ; le corps des US Coast Guards a joué un rôle moteur dans ce domaine (Khalanski, 1996).

Industries diverses

Raffineries, aciéries, usines chimiques et agro-alimentaires abondent autour des Grands lacs, dont elles utilisent l'eau brute pour des usages diversifiés. Elles sont évidemment touchées par l'infestation.

(Khalanski, 1996).

Elles peuvent également nuire à la baignade car ses coquilles sont très coupantes et ne sont donc pas appréciées des touristes. Elles peuvent également s'accumuler le long des plages et les rendre insalubres (Anonyme, 2002).

FACTEURS DE REGULATION NATURELLE

Les Prédateurs (Khalanski, 1996).

La moule zébrée possède de nombreux prédateurs en Europe

- poissons : le gardon peut consommer préférentiellement des dreissènes juvéniles ; d'autres Cyprinidés comme la brème, la carpe, le chevesne sont des consommateurs occasionnels ou réguliers ;
- certains oiseaux aquatiques, comme la Foulque macroule et surtout les Fuligules morillon et milouin, consomment régulièrement des dreissènes ; ils peuvent réguler les populations de moules dans certains plans d'eau ;
- le rat surmulot (*Rattus norvegicus*) est aussi un consommateur de moules zébrées.

Comme en Europe, de nombreux prédateurs consomment les moules zébrées en Amérique du Nord :

- des canards plongeurs ;
- des poissons, notamment le « Ruffe » qui n'est que la Grémille *Gymnocephalus grunnius*, le « tambour aquatique » dont la croissance n'est toutefois pas optimale lorsqu'il consomme des dreissènes ;
- des écrevisses du genre *Orconectes*, peuvent être abondantes en lacs (1-56/m²) et en rivières (3-21/m²), et ainsi contrôler les dreissènes.

(Khalanski, 1996).

La compétition (Khalanski, 1996).

Une étude montre que trois espèces d'éponges (*Eunapius fragilis*, *Ephydatia mulleri* et *Spongila lacustris*) se fixent sur les coquilles de dreissènes et peuvent se développer de manière à « étouffer » la moule en obstruant son siphon inhalant. Les auteurs de cette étude concluent, cependant, que les éponges ne peuvent pas réduire significativement le développement des moules zébrées dans les Grands lacs. Les éponges Spongillidae inhiberaient la fixation des moules zébrées ; cela rejoint les observations faites dans les galeries de la centrale nucléaire de Cattenom en Moselle, qui montrent que les moules zébrées sont absentes des plaques de spongiaires (Khalanski, 1996).

INTERVENTIONS HUMAINES/METHODES DE GESTION

Interventions indirectes

En quelques années, malgré des dispositions réglementaires prises dès 1989 aux Etats-Unis et au Canada pour enrayer son extension et les campagnes d'information du public, la moule zébrée a envahi les Grands lacs, puis le Saint-Laurent, l'Hudson et l'immense bassin du Mississippi, de Saint-Paul à la Nouvelle-Orléans, comme l'indique sa distribution entre 1988 et janvier 1995.

En 1995, la moule zébrée est installée dans 62 lacs nord-américains. Les densités fluctuent d'une année à l'autre : on observe ainsi en 1995 une baisse dans l'Illinois, attribuée à une mauvaise qualité d'eau et une faible fixation en Louisiane en relation avec les fortes températures de l'été 1995 (Khalanski, 1996).

Face à la menace identifiée dès 1989, la réaction sociale a pris trois directions : **utilisation de l'arme réglementaire ; installation de programmes de recherche ; large information des scientifiques, des industriels usagers des eaux douces, et du public** (Khalanski, 1996).

Aux Etats-Unis comme au Canada, des dispositions réglementaires ont été prises pour limiter l'extension de la moule zébrée dans les eaux intérieures. Le congrès des Etats-Unis a voté, en 1990, la première loi visant à éviter et à contrôler l'infestation des eaux intérieures par la moule zébrée et d'autres espèces aquatiques nuisibles : le « Non indigenous Species Control Act » (Public law 101-646 Nov. 29, 1990).

Cette loi définit les espèces aquatiques nuisibles en ces termes : « une espèce non indigène qui menace la diversité ou l'abondance d'espèces indigènes ou la stabilité écologique des eaux infestées ou les activités commerciales, agricoles, aquacoles ou récréatives dépendant de ces eaux. »

Elle crée un organisme de coordination des actions : The Aquatic Nuisance Special Task Force (ANS), dont dépend un « Great Lake Panel ». L'ANS dispose d'un financement public et privé ; sa mission consiste à proposer des moyens réglementaires, encourager la coopération avec le Canada et diffuser l'information (Khalanski, 1996).

Aux Etats-Unis, une réglementation a été édictée en application du Non Indigenous Species Control Act. Elle est applicable depuis le 10 mai 1993 et impose de maintenir une salinité d'au moins 30 g/l dans l'eau de ballast des bateaux entrant dans les Grands lacs. Le texte admet cependant des dérogations à cette obligation, comme la rétention de l'eau de ballast durant tout le voyage du bateau dans les Grands lacs (Khalanski, 1996).

A défaut d'une réglementation toujours longue à promulguer, des recommandations ont été proposées au Canada dès 1989, en vue d'éviter des importations d'organismes avec l'eau douce des ballasts. Elles figurent dans le « Voluntary guidelines for the Control of Ballast Water Discharges From Ships Proceeding to the St Lawrence River to Great Lakes ». Il est recommandé dans ce document de remplacer l'eau douce des ballasts par l'eau de mer avant d'entrer dans les eaux côtières nord-américaines (Khalanski, 1996).

Sur le plan de la recherche, tant aux Etats-Unis qu'au Canada, la puissance publique finance des travaux universitaires à caractère fondamental sur la biologie des moules zébrées et les méthodes de lutte les mieux appropriées. Le principal programme fait partie du « Sea Grant Program », créé aux Etats-Unis en 1966 pour mieux connaître les Grands lacs et le milieu marin. En quatre ans (1991-1994), « le Sea Grant Program » a consacré 10,3 millions de dollars à des recherches sur la moule zébrée (Khalanski, 1996).

Des groupements industriels ont, d'autre part, développé des programmes de recherche appliquée ; pour le secteur électrique, c'est l'Edison Power Research Institute (EPRI), aux Etats-Unis, et le producteur d'électricité Ontario Hydro, au Canada, qui ont le plus financé de recherches, mais de nombreuses autres initiatives ont été prises.

Il va de soi que les bénéficiaires de cette manne ne sont pas exclusivement des équipes universitaires ; le « ZEB business » concerne aussi, et surtout, les bureaux d'études et fabricants de produits et d'appareillages adaptés à la lutte anti-salissures.

Autour de la moule zébrée, une intense communication scientifique s'est développée. Depuis 1991, se tient un colloque annuel (alternativement aux Etats-Unis et au Canada) pour faire le point des connaissances acquises dans le domaine de la recherche fondamentale comme dans celui des applications industrielles à la lutte anti-salissure.

Le patronage de ces colloques est assuré par les principaux partenaires des programmes des recherches : EPRI, Environnement Canada, Great Lake Grant Network Ontario Hydro, US Fish and Wildlife Service...

Depuis 1995, le colloque annuel n'est plus exclusivement consacré à la moule zébrée ; il aborde les autres espèces introduites classées parmi les espèces nuisibles (nuisance organisms). Onze espèces animales et végétales étaient identifiées, en 1992, comme exotiques dans les Grands lacs. Parmi celles-ci figurent deux espèces de poissons d'origine européenne : la grémille (*Gymnocephalus cernuus*) et la lamproie marine (*Petromyzon mainus*). Leur impact sur les populations autochtones pélagiques et benthiques fait actuellement l'objet d'études dans le cadre du programme Sea Grant.

Interventions directes

Méthodes pour réduire les effectifs de la moule zébrée

- En règle générale, les circuits des centrales sont nettoyés hors d'eau, une fois par an, lors des arrêts de tranches. Il s'agit d'un nettoyage mécanique pratiqué par décollage des organismes fixés, avec des jets d'eau sous pression ou par raclage des parois. Lorsque des circuits communs à deux tranches restent en eau, le nettoyage est effectué manuellement par des plongeurs, comme c'est le cas à Cattenom ; les premières années, lorsque les quantités de moules étaient importantes, le chantier durait environ 4 mois par an sur chaque ouvrage correspondant à deux tranches ;
- les seuls traitements chimiques utilisés dans les centrales thermiques exploitées par EDF sont le nettoyage chimique des échangeurs thermiques à plaques et la chloration. Il s'agit, dans le premier cas, d'enlever les dépôts organiques et minéraux sur les surfaces d'échange thermique en pratiquant un nettoyage avec de l'acide oxalique, des dispersants et de la soude. Ce type de traitement en circuit fermé n'engendre pas de rejet en rivière ;
- la chloration massive des aérorefrigérants consiste à fermer la purge du circuit et à injecter rapidement de l'eau de javel, pour obtenir une concentration en chlore de quelques mg/l à quelques dizaines de mg/l. La purge n'est réouverte qu'après 6 à 7 heures, lorsque la teneur en chlore résiduel devient inférieure à 0,1 mg/l. Ce procédé de nettoyer le bassin froid et les structures de ruissellement sur lesquelles peuvent se développer des algues vertes et des cyanobactéries. Ce traitement est actuellement peu pratiqué (une à deux fois par an sur un site, en 1994-1995). Il constitue cependant un moyen disponible pour les exploitants en cas d'encrassement biologique important. La chloration continue à faible dose est pratiquée sur les circuits des centrales en bord de mer exploitées par EDF ; ce type de traitement est aussi utilisé en Amérique du Nord et en Europe pour contrôler le développement des salissures biologiques.

(Khalanski, 1996).

Des investigations ont été engagées à partir de 1990 par Electricité de France en vue d'assurer la protection des circuits auxiliaires de la Centrale de Cattenom contre les moules zébrées. L'installation de filtres à débris en amont des échangeurs des circuits auxiliaires permet de réduire l'encrassement de ces échangeurs ; ces dispositifs n'évitent toutefois pas le nettoyage des conduites en eau (Khalanski, 1996)

L'introduction de nouvelles espèces invasives ou le développement excessif d'espèces indigènes peut, dans l'avenir, rompre l'équilibre assuré par ces procédés mécaniques ; il faudrait alors recourir à d'autres traitements sélectionnés sur quatre critères : efficacité, absence de rejets toxiques rémanents, simplicité de mise en œuvre du procédé et coût supportable. C'est dans cette perspective que des traitements thermiques et chimiques permettant d'éliminer les animaux fixés sont étudiés (Khalanski, 1996).

Enfin, il faut savoir que le contrôle et l'enlèvement des moules zébrées, une fois qu'elles se sont introduites dans les systèmes, peuvent être difficiles et coûteux. La prévention de la dispersion serait beaucoup plus économique (Anonyme, 2002).

Dans le bassin Artois-Picardie, cette espèce est considérée comme intégrée à la faune, cependant elle crée de nombreux dégâts. Nous l'avons donc classée parmi les espèces dont les effectifs et l'extension sont à contrôler et dont la nécessité de gestion est forte (puisqu'elle est répandue sur tout le bassin).

POUR EN SAVOIR PLUS

Bibliographie

- Adam, W. (1960). *Mollusques : mollusques terrestres et dulcicoles*, Patrimoine de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique édition.
- Anonyme. (1999). Les espèces en prolifération. In *Vivre avec la rivière*, Agence de l'eau Adour-Garonne, p. 19.
- Anonyme. (2002). La Moule zébrée et autres espèces aquatiques nuisibles au Québec, vol. 2002. Environnement Québec.
www.menv.gouv.qc.ca/biodiversite/nuisibles/zebree.htm
- Khalanski, M. (1996). Conséquences industrielles et écologiques de l'introduction de nouvelles espèces dans les hydrosystèmes continentaux : la Moule zébrée et autres espèces invasives. In *Connaissance et gestion du patrimoine aquatique. Les introductions des espèces dans les milieux aquatiques continentaux en métropole. Séminaire Ministère de l'Environnement, GIP HydrOsystemes* (éd. C. S. Pêche), pp. 385-404. Bulletin Français de la Pêche et de la Protection des milieux aquatiques, Paris.

Spécialiste

Mr M. **KHALANSKI**
EDF/DER Département environnement,
6, quai Watier,
78 401 Chatou Cedex France.