



HAL
open science

Les invasions d'écrevisses exotiques

Laurent Basilico, Jean-Patrice Damien, Jean-Marc Roussel, Nicolas Poulet,
J.M. Paillisson

► **To cite this version:**

Laurent Basilico, Jean-Patrice Damien, Jean-Marc Roussel, Nicolas Poulet, J.M. Paillisson. Les invasions d'écrevisses exotiques : Impacts écologiques et pistes pour la gestion. 2013, 979-10-91047-22-7. hal-04185131

HAL Id: hal-04185131

<https://hal.inrae.fr/hal-04185131>

Submitted on 22 Aug 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain



LES

Rencontres

DE L'ONEMA

Synthèse

Les invasions d'écrevisses exotiques

Impacts écologiques et pistes pour la gestion

SYNTHÈSE DES PREMIÈRES
«RENCONTRES NATIONALES SUR LES
ÉCREVISSSES EXOTIQUES INVASIVES»,
19 ET 20 JUIN 2013

Laurent Basilico, Jean-Patrice Damien, Jean-Marc Roussel,
Nicolas Poulet et Jean-Marc Paillisson

Les invasions d'écrevisses exotiques

Impacts écologiques et pistes pour la gestion

*SYNTHÈSE DES PREMIÈRES
«RENCONTRES NATIONALES
SUR LES ÉCREVISSSES EXOTIQUES INVASIVES»,
19 ET 20 JUIN 2013*

Laurent Basilico, Jean-Patrice Damien, Jean-Marc Roussel,
Nicolas Poulet et Jean-Marc Paillisson

Préambule



© Jean-Patrice Damien – PNR de Brière

Les premières «Rencontres nationales sur les écrevisses exotiques invasives» ont été organisées par l'Inra, le Parc naturel régional de Brière, le Forum des marais atlantiques, l'Onema et le CNRS. Elles se sont tenues les 19 et 20 juin 2013 à Saint-Lyphard (Loire-Atlantique).

Cette synthèse est consultable sur le site de l'Onema (www.onema.fr rubrique publications) et sur le site du PNR de Brière (<http://www.parc-naturel-briere.fr>). Elle est référencée sur le portail national «les documents techniques sur l'eau» (www.documentation.eaufrance.fr)

Contacts

Jean-Patrice Damien,
Chargé de mission
Parc naturel régional de Brière
jp.damien@parc-naturel-briere.fr

Jean-Marc Paillisson,
Ingénieur de recherche
CNRS, UMR 6553 Ecobio
jean-marc.paillisson@univ-rennes1.fr

Nicolas Poulet,
Chargé de mission
Ecologie des organismes aquatiques
Direction de l'Action Scientifique et Technique
Pôle éco-hydraulique Onema-Irstea-IMFT
nicolas.poulet@onema.fr

Depuis l'introduction en Europe, à la fin du XIX^e siècle, de l'écrevisse «américaine», et surtout depuis l'arrivée des écrevisses du Pacifique et de Louisiane au tournant des années 1970, la colonisation des eaux douces européennes par les écrevisses exotiques s'est imposée comme un sujet de recherche et une inquiétude croissante pour les écologues et les acteurs des milieux aquatiques. En France, cette problématique a pris une ampleur nouvelle au cours de la dernière décennie, durant laquelle ont été constatés les effets parfois dévastateurs des écrevisses invasives sur des milieux naturels et des espèces emblématiques.

En réponse à un besoin croissant de connaissances et d'alternatives de gestion, un programme de recherche partenarial a été conduit depuis 2010 dans les marais briérons sous l'impulsion de l'Inra, du CNRS, du PNR de Brière et de l'Onema. La restitution de ces travaux, ainsi que d'autres menés en France ces dernières années, a donné lieu aux premières «Rencontres françaises sur les écrevisses exotiques invasives», organisées les 19 et 20 juin derniers à Saint-Lyphard (44). Réunissant quelque 120 scientifiques et gestionnaires – fédérations de pêche, parcs naturels, associations environnementales, collectivités – ces deux journées d'information et de débats ont permis de nouer, pour la première fois en France, un dialogue aussi large à l'échelle nationale sur le sujet.

Il en ressort un ensemble de connaissances actualisées sur la biologie des espèces invasives, leurs modes de colonisation des milieux et leurs impacts écologiques. Résolument opérationnel, le séminaire a également dressé un état des lieux des moyens actuels pour le suivi et la gestion des écrevisses invasives, à travers un ensemble de retours d'expériences de terrain. Le présent document propose une synthèse des éléments scientifiques, des observations de terrain et des stratégies de gestion présentés à cette occasion.

Sommaire

Introduction	06
I – Les écrevisses en France : état des lieux et tendances temporelles	
1.1 – Les espèces natives : une situation inquiétante	11
1.2 – Écrevisse «américaine» : la première invasion	13
1.3 – Écrevisse du Pacifique : une progression accélérée.....	15
1.4 – Écrevisse rouge de Louisiane, à la conquête du monde	16
Éclairage - <i>Lorraine, Morvan : des apports précieux à l'inventaire national</i>	18
1.5 – D'autres exotiques, présentes ou à venir.....	19
1.6 – Une réglementation complexe et inadaptée	20
2 – Comprendre les invasions : de la colonisation aux impacts	
2.1 – Voies de colonisation de l'écrevisse de Louisiane : études <i>in situ</i>	24
2.2 – La «peste» des écrevisses : danger mortel pour les autochtones	28
2.3 – L'écrevisse de Louisiane, perturbation majeure des réseaux trophiques.....	32
Éclairage - <i>Les écrevisses, accumulatrices de contaminants ?</i>	40
2.4 – Impacts socio-économiques : première approche en Camargue.....	41
3 – Gérer les invasions : quelles pistes opérationnelles ?	
3.1 – Panorama européen : de nombreuses pistes explorées.....	46
3.2 – L'assèchement, solution éprouvée en eaux closes	49
3.3 – Le piégeage à l'épreuve du nombre.....	52
Éclairage - <i>Les pêcheurs professionnels, acteurs de la régulation des écrevisses invasives ?</i>	58
3.4 – Petits cours d'eau à forts enjeux : quelles stratégies de gestion ?.....	59
3.5 – Suivi des populations : vers une méthode standardisée pour l'écrevisse de Louisiane.....	63
Conclusion	70
Références bibliographiques	74

«Incertitude, ô mes délices,
Vous et moi nous nous en allons
Comme s'en vont les écrevisses,
À reculons, à reculons»

Guillaume Apollinaire

Au début des années 2000, les marais de Brière, en Loire-Atlantique, abritaient encore une vie aquatique remarquable. Une grande diversité de poissons, d'amphibiens, d'invertébrés s'épanouissait parmi les herbiers de végétation. En 2013, ces 170 km² de zones humides offrent un visage bien différent. Sur 38 espèces végétales, 17 ont disparu, 16 se sont raréfiées (Parc naturel régional de Brière). Les grenouilles se sont tuées, la couleuvre et le dytique ont disparu, plus aucun nénuphar n'a été vu depuis 2006 dans des eaux désormais troubles. Signalée pour la première fois sur le marais en 1987, l'écrevisse rouge de Louisiane, vraisemblablement échappée d'un élevage, a vu ses populations proliférer en l'espace de dix ans, atteignant aujourd'hui des densités de l'ordre de 30 individus par mètre carré dans certains plans d'eau. Ainsi, la Brière est-elle devenue en quelques années un cas typique d'écosystème transformé par une écrevisse exotique. Ces invasions affectent aujourd'hui, à différents niveaux, un grand nombre de milieux aquatiques dans l'Hexagone, des étangs de la Brenne au delta du Rhône, des sablières du Cher aux ruisseaux d'Ardèche.

Cette situation a des racines anciennes. L'écrevisse «américaine» (*Orconectes limosus*), introduite dans nos eaux dès

1911, est depuis un demi-siècle l'écrevisse la plus répandue en France. Elle a été rejointe au début des années 1970 par d'autres espèces, en provenance également d'Amérique du Nord. Parmi celles-ci, l'écrevisse du Pacifique (*Pacifastacus leniusculus*) et l'écrevisse de Louisiane (*Procambarus clarkii*) sont de redoutables invasives : leurs populations en développement rapide, accéléré au cours de la dernière décennie, changent la donne dans de nombreux cours d'eau et plans d'eau français. Dans le même temps, les écrevisses natives – à commencer par l'écrevisse à pattes blanches (*Austropotamobius pallipes*), jadis la plus répandue dans nos cours d'eaux – connaissent un déclin inquiétant, supplantées dans de nombreux habitats par les nouvelles venues.

L'importance des impacts écologiques et économiques induits par ces invasions est désormais largement reconnue. À l'heure où la reconquête et la préservation du bon état des milieux aquatiques s'imposent comme des enjeux écologiques et sociétaux essentiels, la question des écrevisses invasives constitue une préoccupation majeure pour de nombreux gestionnaires et acteurs de l'eau. Un besoin croissant de connaissances et d'outils s'est exprimé depuis dix ans : quel est le mode de

vie des différentes espèces d'écrevisses invasives ? Où sont-elles présentes ? Comment colonisent-elles les milieux naturels ? Quelles sont les conséquences précises de leur prolifération pour les milieux aquatiques ? Et surtout, quels sont les moyens opérationnels pour y faire face, limiter la propagation des invasives et restaurer l'équilibre des écosystèmes touchés ? En réponse à ces attentes, et à la suite des travaux déjà menés sur le sujet, un effort de recherche sans précédent en France a été conduit depuis 2010, mobilisant de nombreux partenaires (Inra, CNRS, PNR de Brière et Onema) sur un territoire pilote : les marais de Brière. La restitution de ces travaux, mais aussi d'autres menés dans l'Hexagone, des Vosges à la Camargue, a donné lieu aux premières «Rencontres françaises sur les écrevisses exotiques invasives». Orchestrées par ces institutions,

et en collaboration avec le Forum des Marais Atlantiques, ces rencontres ont réuni quelque 120 gestionnaires et scientifiques, les 19 et 20 juin derniers à Saint Lyphard (44), au cœur des marais de Brière.

Les apports de ces deux journées, riches d'enseignements mais aussi d'interrogations, ont alimenté la présente synthèse. Après un panorama des différentes espèces recensées en France, de leur dynamique et de leurs statuts réglementaires, celle-ci présente un ensemble d'éléments nouveaux sur les incidences des invasions d'écrevisses pour les milieux – de leurs voies de colonisation aux effets qu'elles induisent dans les chaînes trophiques. La troisième partie relate l'efficacité des différents moyens de contrôle et de gestion disponibles, sur la base de divers retours d'expériences menées sur le terrain.

Introduction

Qu'est qu'une espèce invasive ?

Une espèce invasive, appelée aussi espèce exotique envahissante, est une espèce exotique qui s'établit dans des écosystèmes ou habitats naturels ou semi-naturels et y prend généralement de l'importance en raison du développement de populations abondantes.

Une espèce invasive peut causer des préjudices aux écosystèmes :

- changement de composition, de structure et/ou de fonctionnement des communautés ;
- préjudices aux cultures et au bétail ;
- atteinte à la santé humaine ;
- répercussions économiques importantes...

état des lieux et tendances temporelles



Près de 600 espèces d'écrevisses sont actuellement recensées dans le monde. Ces crustacés d'eau douce se répartissent en trois familles : celle des Astacidae, qui comprend toutes les écrevisses européennes et plusieurs espèces de la côte ouest de l'Amérique du Nord ; celle des Cambaridae (comportant les deux tiers des espèces), qui rassemble des espèces originaires d'Amérique du Nord et d'extrême Orient ; enfin celle des Parastacidae, qui regroupe les écrevisses de l'hémisphère sud – notamment du Chili, de Madagascar, d'Australie ou de Nouvelle-Zélande. Dès la fin du XIX^e et surtout au cours XX^e siècle, la globalisation des échanges commerciaux, l'ouverture de nouvelles voies navigables et de nombreux essais d'introduction et d'aquaculture ont entraîné de profonds changements dans ces aires de répartition originelles : certaines espèces (notamment en Europe) ont régressé au sein de leur distribution initiale, tandis que d'autres se sont acclimatées dans de nouveaux milieux, suite aux épisodes répétés d'introduction la plupart du temps non intentionnels.

Une partie de ces exotiques sont acclimatées, et quelques-unes s'avèrent de véritables invasives. Ainsi, un classement des espèces animales en terme de potentiel invasif pour les milieux

aquatiques européens (Savini *et al.*, 2010) place en tête les écrevisses de Louisiane et du Pacifique – loin devant d'autres envahisseurs bien connus comme le poisson-chat *Ameiurus melas* ou la perche-soleil *Lepomis gibbosus* au regard des impacts sur le milieu hôte (Figure 1).

En France, neuf espèces d'écrevisses sont actuellement répertoriées dans les milieux naturels. Aux trois espèces natives, toutes en régression, se sont ajoutées six espèces introduites, parmi lesquelles au moins trois sont des invasives avérées. Cette première partie propose un

rapide panorama (M. Collas, Onema) de ces différentes espèces, de leurs aires de répartition en France et de leur statut réglementaire. Les évolutions de leurs distributions respectives sont précisées sur la base d'une étude européenne (Souty-Grosset *et al.*, 2006) et de cinq inventaires nationaux - s'attachant à préciser la présence ou non de ces espèces au niveau départemental - conduits par le Conseil supérieur de la pêche (CSP) en l'espace de 35 ans (1977, 1990, 1995, 2001 et 2006), actualisés par l'Onema en 2013 (Collas et Burgun, 2013, données non publiées).

Figure 1. Classement des espèces invasives animales les plus perturbantes pour les milieux aquatiques européens, selon la diversité des types d'impacts reconnus. Les écrevisses sont encadrées en rouge (Source : C. Souty-Grosset, Université de Poitiers, d'après Savini *et al.*, 2010).

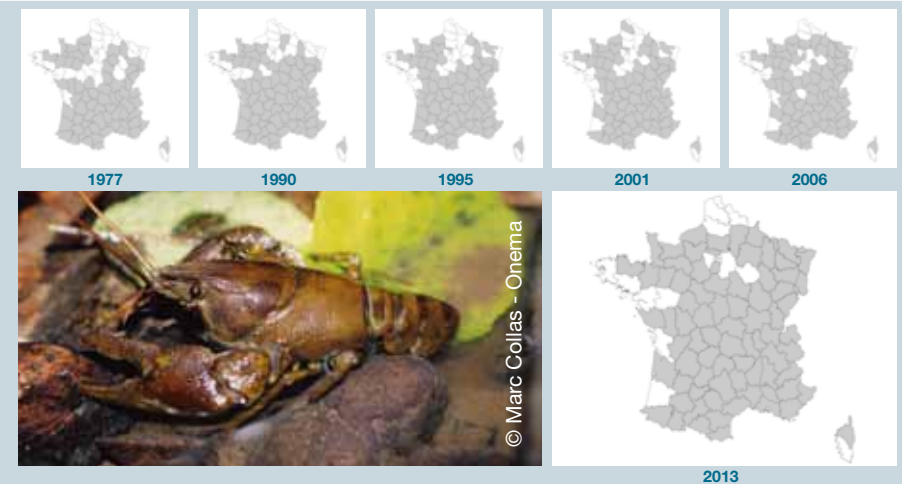


1.1 – Les espèces natives : une situation inquiétante

L'écrevisse à pattes blanches (*Austropotamobius pallipes*) est l'espèce native la mieux représentée en France. Présente uniquement dans l'Ouest de l'Europe – des îles britanniques à l'ex-Yougoslavie, du Nord-Ouest de l'Espagne à l'Allemagne – elle peuple les eaux claires, froides et vives. Bien qu'encore signalée dans 79 départements, cette espèce emblématique, d'intérêt patrimonial et gastronomique, connaît une régression sévère, attestée par de nombreux gestionnaires des milieux aquatiques (Figure 2). Ses populations sont de plus en plus fragmentées et repoussées

Affectée par l'artificialisation des milieux et les polluants chimiques, sensible à la température de l'eau, elle subit la forte concurrence d'invasives telles que l'écrevisse du Pacifique. La peste des écrevisses *Aphanomyces astaci* est un autre facteur important de son déclin (voir la section 2.2). Elle est considérée comme «vulnérable» en France par l'Union internationale pour la conservation de la nature (IUCN). Les pêches électriques menées par le CSP puis par l'Onema montrent une baisse de 7% de son occurrence moyenne entre 1990 et 2009, et une chute de près de 25% de la densité moyenne de ses populations.

Figure 2. L'écrevisse à pattes blanches – répartition en France, par département, de 1977 à 2006 (vignettes) et en 2013 (carte principale) (Source : M. Collas & V. Burgun, Onema). NB : cette carte n'illustre en rien les densités des populations. Pour qu'un département apparaisse en gris (synonyme de présence), il suffit qu'une population, même très localisée, y ait été découverte.

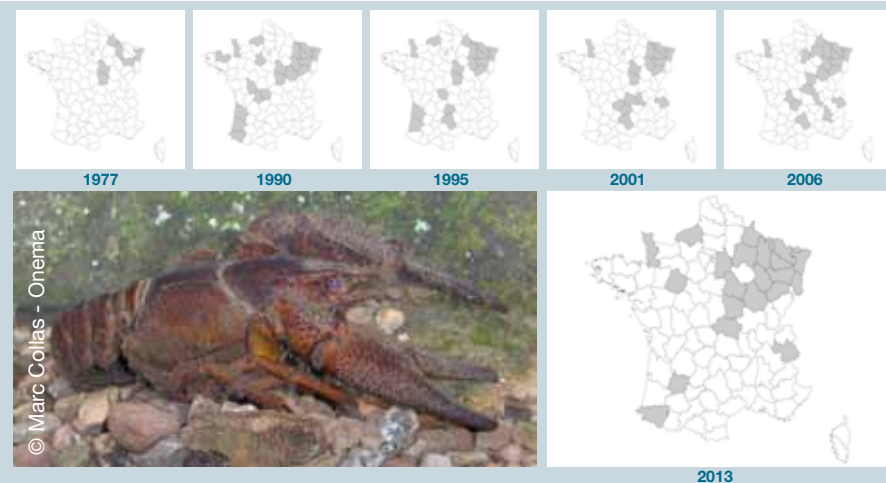


Autre espèce native, jadis largement répandue dans les cours d'eau de Scandinavie et d'Europe du Nord, l'**écrevisse à pattes rouges** ou écrevisse «noble» (*Astacus astacus*) est présente principalement dans le Nord-Est de la France. Elle a disparu des rivières de plaine, qui constituaient ses habitats de prédi-

lection, et subsiste aujourd'hui dans des plans d'eau privés et de petits cours d'eau exempts de perturbations, souvent à la faveur de réintroductions. Elle est recensée dans 21 départements en 2013, et considérée comme «en danger» en France par l'UICN (Figure 3).

Figure 3. L'écrevisse à pattes rouges – répartition en France, par département, de 1977 à 2006 (vignettes) et en 2013 (carte principale) (Source : M. Collas & V. Burgun, Onema).

NB : cette carte n'illustre en rien les densités des populations. Pour qu'un département apparaisse en gris (synonyme de présence), il suffit qu'une population, même très localisée, y ait été découverte.

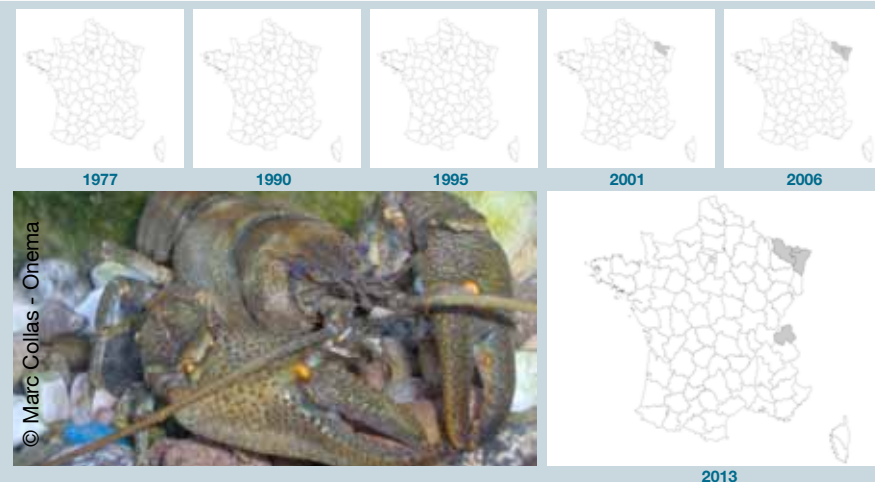


Enfin, l'**écrevisse des torrents** (*Austropotamobius torrentium*) touche en France aux limites occidentales de son aire de répartition – l'Europe centrale jusqu'au pourtour de la Mer noire. Quatre populations sont connues dans l'Hexagone, dans trois

départements : la Moselle, le Bas-Rhin et la Haute-Savoie (Figure 4). En régression sur l'ensemble de sa distribution, cette écrevisse est considérée comme menacée d'extinction en France par l'UICN.

Figure 4. L'écrevisse des torrents – répartition en France, par département, de 1977 à 2006 (vignettes) et en 2013 (carte principale) (Source : M. Collas & V. Burgun, Onema).

NB : cette carte n'illustre en rien les densités des populations. Pour qu'un département apparaisse en gris (synonyme de présence), il suffit qu'une population, même très localisée, y ait été découverte.



Ces trois espèces natives, affectées globalement par la dégradation de leurs milieux et menacées par le développement des écrevisses invasives, font l'objet de mesures de préservation spécifiques. Leurs habitats sont protégés par l'arrêté du 21/07/1983 (modifié par l'arrêté

du 18/01/2000 pour y inclure l'écrevisse des torrents), et elles sont inscrites aux annexes 2 ou 5 de la directive européenne n°92/43/CEE dite « Habitats, Faune, Flore ». Leur pêche reste cependant autorisée dix jours dans l'année.

1.2 – Écrevisse «américaine» : la première invasion

Originaire de la côte est des États-Unis, l'**écrevisse américaine** (*Orconectes limosus*) est présente dans 21 pays européens (Holdich *et al.*, 2010), et est depuis longtemps l'écrevisse la plus fréquemment rencontrée dans les eaux douces françaises. Son arri-

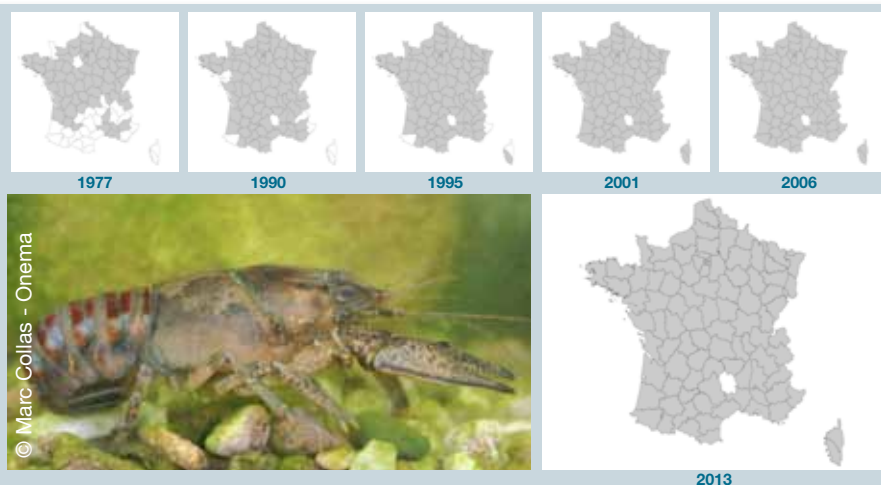
vée en Europe remonte à 1890 : une centaine d'individus a été importé par un pisciculteur allemand dans un étang, à partir duquel elle a colonisé le bassin de l'Oder. En France, un essai d'élevage a été mené dès 1898 à la station aquicole de Fé-

camp, rapidement arrêté en raison du caractère fouisseur de l'espèce. En 1911, deux mille spécimens importés de Cologne sont déversés dans le Cher, près de Saint-Florent du Cher (P. Buffaut, 1925). Dotée d'un large spectre écologique (elle occupe tous les types de milieux aquatiques, des cours d'eau aux plans d'eau et aux réservoirs), l'espèce se répand progressivement de proche en proche à l'ensemble du territoire, bien aidée par les introductions volontaires.

Les inventaires du CSP puis de l'Onema menés en 2001, 2006 et 2013 la recensent dans 95 départements métropolitains : seule la Lozère semble toujours faire exception (Figure 5).

Cette présence généralisée et relativement ancienne, qui lui vaut parfois le nom d'écrevisse «banale», ne doit pas occulter son caractère invasif prononcé. Elle a en particulier largement contribué au déclin des écrevisses natives au cours du XX^e siècle, par concurrence directe et par transmission du pathogène *Aphanomyces astaci* (voir en 2.2). Son occurrence moyenne dans les inventaires du CSP puis de l'Onema a progressé de 50% entre 1990 et 2009, tandis que la densité moyenne de ses populations restait stable.

Figure 5. L'écrevisse américaine – répartition en France, par département, de 1977 à 2006 (vignettes) et en 2013 (carte principale) (Source : M. Collas & V. Burgun, Onema). NB : cette carte n'illustre en rien les densités des populations. Pour qu'un département apparaisse en gris (synonyme de présence), il suffit qu'une population, même très localisée, y ait été découverte.



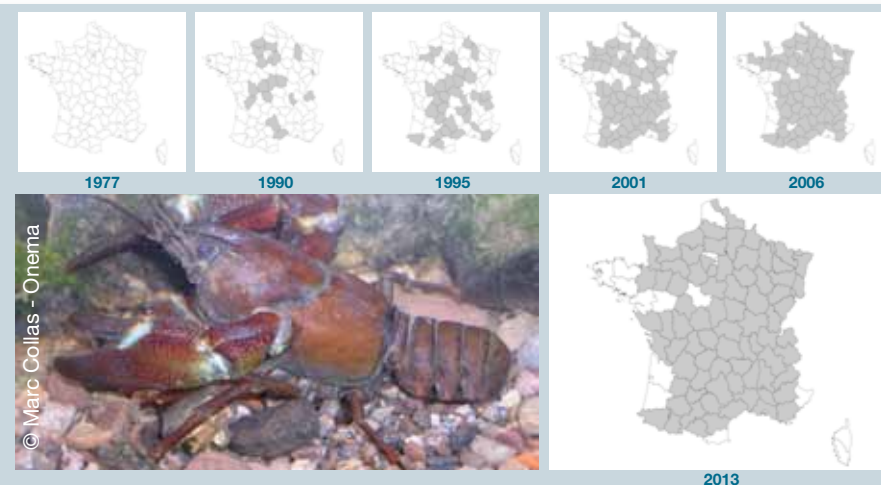
1.3 – Écrevisse du Pacifique : une progression accélérée

D'arrivée plus récente en Europe, l'écrevisse du Pacifique (*Pacifastacus leniusculus*) est originaire de la côte ouest des États-Unis. Également appelée écrevisse «signal» en raison des taches blanches ou bleu clair qui ornent ses pinces, elle a d'abord été importée dans les pays scandinaves à des fins de repeuplement : en Suède, où elle est introduite dans 260 lacs et cours d'eau entre 1960 et 1982, puis dans des dizaines de lacs en Finlande entre 1967 et 1974. En 1972, le premier congrès de l'association internationale d'astacologie présente un bilan favorable de ces expériences, qui conduit à l'introduction de l'espèce dans de nombreux pays d'Europe.

En France, au cours des années 1970, des tentatives d'acclimatation sont menées notamment dans l'Ain, en Haute-Savoie et dans l'Yonne. Plusieurs piscicultures développent son élevage et proposent des spécimens vivants à la vente. Souvent à partir de plans d'eau où elle est acclimatée, l'espèce opère une colonisation rapide des eaux françaises, favorisée par l'engouement croissant pour sa pêche. Elle est recensée dans 61 départements en 2001, dans 73 en 2006 et dans 79 en 2013 (Figure 6).

Robuste et agressive, l'écrevisse du Pacifique aime les eaux calmes, même profondes (le lac Léman ou le

Figure 6. L'écrevisse du Pacifique – répartition en France, par département, de 1977 à 2006 (vignettes) et en 2013 (carte principale) (Source : M. Collas & V. Burgun, Onema). NB : cette carte n'illustre en rien les densités des populations. Pour qu'un département apparaisse en gris (synonyme de présence), il suffit qu'une population, même très localisée, y ait été découverte.





© Fabien Mousseau - Onema
L'écrevisse de Louisiane en marche de dispersion

lac d'Annecy en abritent des populations importantes), mais se développe également très bien dans les rivières, gagnant progressivement l'amont des bassins versants. Elle y entre en concurrence directe avec les populations d'écrevisses natives, qu'elle supprime systématiquement (souvent aidée en cela par la transmission

d'*Aphanomyces astaci*). Au Royaume-Uni, elle pourrait ainsi avoir totalement remplacé l'écrevisse à pattes blanches d'ici 2030 (Souty-Grosset *et al.*, 2006). Cette invasive a connu un très fort développement entre 1990 et 2009 (inventaires du CSP puis de l'Onema) : + 80% en occurrences moyennes, + 90% en densité moyenne.

1.4 – Écrevisse rouge de Louisiane, à la conquête du monde

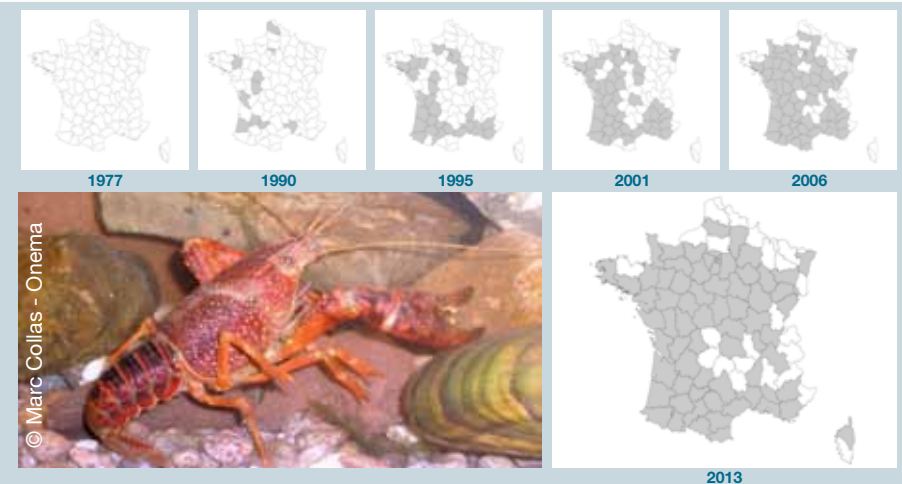
Originnaire du Sud des États-Unis et du Nord du Mexique, l'**écrevisse rouge de Louisiane** (*Procambarus clarkii*) est aujourd'hui l'écrevisse la plus largement répandue dans le monde. Objet d'une importante production commerciale aux États-Unis, elle a été introduite dès 1973 en Afrique de l'Est (Kenya, Soudan, Zambie...) et en Espagne. De là, elle a été importée massivement en France pour la consommation humaine : entre 1976 et 1984, le Kenya et l'Espagne ont livré respectivement 170 et 126 tonnes d'écrevisses vivantes, stockées à leur

arrivée dans des bassins selon la technique du «retrempage». Des acclimations volontaires ont eu lieu dans de nombreux plans d'eau et piscicultures, avant et même après l'arrêt du 21 juillet 1983 interdisant pourtant l'introduction de l'espèce. Elle peut former très rapidement des populations très abondantes. Son expansion en France s'est accélérée au cours de la dernière décennie : les inventaires du CSP puis de l'Onema confirment sa présence dans 49 départements en 2001, 61 départements en 2009 et 73 en 2013 (Figure 7).

Cette invasive à cycle de vie court (longévité de 2 à 3 ans, contre 10 ans environ pour l'écrevisse du Pacifique), agressive et prolifique, se distingue par sa très grande plasticité écologique. Son régime alimentaire, omnivore et opportuniste, lui permet de s'adapter à des environnements très divers. À la différence de la plupart des autres écrevisses, elle tolère les eaux turbides, peu oxygénées, mais aussi saumâtres. Amphibie, elle peut supporter des périodes d'assèchement prolongées et coloniser de nouveaux milieux aquatiques par voie terrestre. Elle affectionne les eaux stagnantes – plans d'eau, canaux, marais et marécages – mais colonise aussi les cours d'eau calmes. De

comportement fouisseur, elle creuse dans les berges des galeries pouvant atteindre deux mètres de profondeur, qui lui servent d'abri. Cette activité excavatrice accroît la turbidité de l'eau (on parle d'espèce bioturbatrice). Enfin, comme la plupart des écrevisses introduites, elle est vectrice de l'aphanomyose (maladie infectieuse fatale aux amphibiens). Malgré les dégradations souvent catastrophiques qu'elle induit dans les milieux naturels qu'elle colonise, elle a vu sa production mondiale en aquaculture multipliée par plus de 10 au cours de la dernière décennie pour atteindre 600 000 tonnes annuelles en 2010 (FAO).

Figure 7. L'écrevisse de Louisiane – répartition en France, par département, de 1977 à 2006 (vignettes) et en 2013 (carte principale) (Source : M. Collas & V. Burgun, Onema).
NB : cette carte n'illustre en rien les densités des populations. Pour qu'un département apparaisse en gris (synonyme de présence), il suffit qu'une population, même très localisée, y ait été découverte.



Lorraine, Morvan : des apports précieux à l'inventaire national

Pour affiner l'inventaire national, des actions à l'échelle régionale peuvent livrer de précieuses données.

Exemple en Lorraine : suite à la découverte de l'écrevisse de Louisiane dans des plans d'eau du bassin de la Meurthe en 2008, la FDAAPPMA (Fédération des associations agréées pour la pêche et la protection des milieux aquatiques) a lancé en 2010 une étude pour acquérir une vision la plus complète possible des peuplements d'écrevisses de la région. Cette action, soutenue financièrement par l'Agence de l'eau Rhin Meuse, la DREAL (Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement), le conseil régional et la la FNPF (Fédération nationale de la pêche en France) avec l'appui technique de plusieurs partenaires dont l'Onema et les Parcs naturels régionaux, a permis de mener en 18 mois plus de 400 prospections sur l'ensemble du réseau hydrographique local (P. Pommeret, FDAAPPMA Lorraine). Cet inventaire s'est traduit par la découverte de nombreuses populations d'écrevisses exotiques (36 nouvelles stations au total), mais aussi de populations autochtones jusque là ignorées (11 nouvelles stations pour l'écrevisse à pattes blanches, 26 pour l'écrevisse à pattes rouges). Des cartographies régionales «exhaustives» ont été dressées pour chaque espèce. L'action a débouché sur la mise en place d'une base de données régionale, et sur la diffusion de différents supports de sensibilisation à l'intention des pêcheurs et du grand public, dont un guide d'identification des écrevisses en France métropolitaine, édité par la Fédération de pêche de Lorraine.

À 300 km de là, une autre étude a cherché à retracer l'évolution des populations d'écrevisses du Pacifique dans le Parc naturel régional du Morvan. Ce travail (L. Paris, PNR du Morvan) a consisté à rassembler l'ensemble des données disponibles : pêches électriques de l'Onema, travaux d'inventaire menés par le PNR du Morvan depuis 1990, base de données de la Fédération de pêche de l'Yonne, enrichies et actualisées par plus de 1 000 observations de terrain concernant l'écrevisse du Pacifique.

L'analyse de ces données livre des informations très concrètes sur sa dynamique temporelle de colonisation. L'espèce s'implante dans tous types de milieux, des plans d'eau et cours d'eau calmes jusqu'aux ruisseaux de montagne. Elle réalise une colonisation rapide des cours d'eau, vers l'amont et vers l'aval, mais aussi d'un bassin versant à l'autre. Elle étend ses populations vers l'amont au rythme de 2 à 4 km par an dans le cours d'eau principal (la Brinjame), et à raison de 800 m par an dans les affluents (Figure 8). Sur l'un d'entre eux, elle a entraîné la perte d'une population complète d'écrevisses à pattes blanches en moins d'un an.

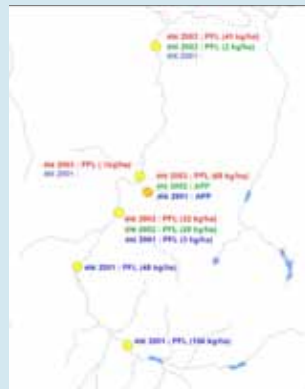


Figure 8. Progression de l'écrevisse du Pacifique (PFL) et disparition de l'écrevisse à pattes blanches (APP) dans le bassin de la Brinjame (PNR du Morvan) entre l'été 2001 et l'été 2003 (Source : L. Paris, PNR du Morvan).

1.5 – D'autres exotiques, présentes ou à venir

Outre les trois invasives présentées précédemment, trois autres écrevisses exotiques (Figure 9) sont recensées en France. L'**écrevisse à pattes grêles** ou écrevisse turque (*Astacus leptodactylus*) est la seule non-américaine : sa distribution d'origine couvre l'Europe centrale et de l'Est. Importée en France pour la consommation ou introduite dans des élevages à partir des années 1950, elle est signalée dans 53 départements en 2013. Elle vit dans les eaux calmes où sa présence reste en général discrète. Peu ou pas invasive, rarement abondante et sensible à l'aphanomycose, elle est considérée comme acclimatée en France.

Les deux dernières venues en date sont l'**écrevisse juvénile** (*Orconectes juvenilis*) et l'**écrevisse calicot** (*Orconectes immunis*), toutes deux originaires de l'Est des Etats-Unis. La première est apparue en 2005 dans un affluent du Doubs (Collas *et al.*, 2007). La seconde, observée pour la première fois en Alsace en 2010, colonise actuellement des affluents du Rhin (Collas *et al.*, 2012). Le caractère invasif de ces espèces reste à confirmer.

Demain, d'autres invitées pourraient bien allonger la liste. Échappant à toute réglementation, les magasins d'aquariophilie proposent à la vente

Figure 9. De gauche à droite, l'écrevisse à pattes grêles, l'écrevisse juvénile et l'écrevisse calicot.



© Marc Collas - Onema

de nombreuses espèces exotiques, originaires notamment d'Australie (telles les différentes espèces de *Cherax*) ou encore l'écrevisse marbrée pour ne citer qu'elles. Le phénomène a pris une ampleur nouvelle au cours des dernières années, avec le développement des ventes sur internet et des bourses d'échange d'écrevisses (Figure 10).



Figure 10. Exemple d'annonce disponible sur internet pour l'achat d'une écrevisse exotique auprès d'un particulier (Source : www.leboncoin.fr).

1.6 – Une réglementation complexe et inadaptée

Longtemps, les écrevisses n'ont fait l'objet d'aucune réglementation en France. Le premier texte de loi introduisant un cadre réglementaire sur le sujet est l'arrêté de 1983 «relatif à la protection des écrevisses en France». Il soumet à autorisation la commercialisation, l'importation et le transport à l'état vivant des écrevisses américaine, du Pacifique et de Louisiane. La loi «pêche» de 1984 a introduit de nouvelles dispositions en termes d'introduction d'espèces : elle fait apparaître la notion d'espèce «non représentée» et d'espèce «susceptible de provoquer des déséquilibres biologiques», et interdit, dans

les deux cas, leur introduction volontaire ou par négligence dans les milieux naturels – eaux libres et eaux closes. Puis en 2006, la loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA) a abrogé l'interdiction de transport des écrevisses américaines et du Pacifique vivantes, dans le but de faciliter l'exploitation et la commercialisation des stocks. Seule l'écrevisse de Louisiane reste soumise aux restrictions complètes de transport. Il en découle des statuts réglementaires hétérogènes pour les différentes espèces exotiques présentes en France, et parfois contradictoires selon le critère retenu (Tableau 1).

Tableau 1. Statut réglementaire des écrevisses exotiques en France.

	Espèce représentée ? (arrêté du 17 décembre 1985)	Espèce susceptible de provoquer des déséquilibres biologiques ? (article R 432-5 du CE)	Introduction ? (Loi «pêche» de 1984, article L 432-10)	Commercialisation, importation, transport à l'état vivant ? (arrêté du 21 juillet 1983 puis LEMA de 2006)
Ecrevisse américaine	Oui	Oui	Interdite	Autorisé
Ecrevisse du Pacifique	Oui	Oui	Interdite	Autorisé
Ecrevisse de Louisiane	Non	Oui	Interdite	Soumis à autorisation
Ecrevisse à pattes grêles	Oui	Non	Autorisée	Autorisé
Ecrevisse juvénile	Non	Oui	Interdite	Autorisé
Ecrevisse calicot	Non	Oui	Interdite	Autorisé

Au regard des enjeux écologiques majeurs liés aux écrevisses exotiques, ce dispositif législatif et réglementaire apparaît inadapté à une réelle action de police de l'environnement. De manière consensuelle, sa principale lacune réside dans l'impossibilité de faire respecter les dispositions du code de l'environnement : si l'introduction des écrevisses exotiques est à juste titre interdite (sauf pour l'écrevisse à pattes grêles), cette interdiction ne fait l'objet d'aucune mise en œuvre sur le terrain, faute de textes d'application. De surcroît, la

caractérisation du «délit» est rendue très improbable par la levée (sauf pour l'écrevisse de Louisiane) des restrictions sur le transport des écrevisses vivantes. Par ailleurs, une harmonisation des textes et statuts de ces écrevisses est nécessaire à l'échelle européenne. Le secteur de l'aquariophilie et des animaleries, en l'absence de toute réglementation, reste un point d'entrée incontrôlable pour des espèces américaines et australiennes dont certaines pourraient engendrer, demain, de nouvelles invasions. ■

Prairie inondée au Lac de Grand-Lieu : un habitat attractif pour l'écrevisse de Louisiane





Comment les écrevisses invasives gagnent-elles de nouveaux milieux ? De quelles façons affectent-elles les populations d'écrevisses autochtones, et, plus largement, le fonctionnement des plans d'eau ou des rivières qu'elles colonisent ? Quelles conséquences leurs invasions peuvent-elles avoir sur les activités socio-économiques locales ?

Avec la prise de conscience globale de l'ampleur des effets associés aux invasions d'écrevisses exotiques, ces questions s'imposent comme des enjeux de recherche majeurs en écologie aquatique et biologie de la conservation.

Cette seconde partie livre un ensemble de connaissances nouvelles, présentées lors du séminaire de Saint Lyphard, sur les impacts des écrevisses invasives. Issues en majorité de recherches menées en Brière et en Camargue autour de l'écrevisse de Louisiane, elles donnent à cette dernière une place prépondérante. Cet état de fait souligne le besoin crucial de connaissances sur les incidences des autres écrevisses invasives présentes en France, à commencer par l'écrevisse du Pacifique.

2.1 – Voies de colonisation de l'écrevisse de Louisiane : études *in situ*

Les introductions volontaires jouent un rôle certain dans les processus de colonisation de l'écrevisse de Louisiane observés en France. Mais son comportement propre la porte naturellement à coloniser de nouveaux milieux. Elle alterne de longues phases stationnaires, se cachant dans ses galeries le jour et ne sortant que la nuit pour se nourrir, avec des phases de dispersion durant lesquelles elle couvre des distances parfois importantes (jusqu'à plus de 3 km en une journée, Gerhardi *et al.*, 2000). Cette mobilité permet à l'espèce de s'établir de proche en proche dans de nouveaux milieux, y compris par voie terrestre. Au printemps, saison où son activité est la plus intense, elle peut en particulier gagner les zones inondées : à l'interface de l'eau et de la terre, ces habitats riches en nourriture sont également susceptibles de créer une continuité temporaire entre deux milieux disjoints – une sablière et le cours d'eau voisin par exemple.

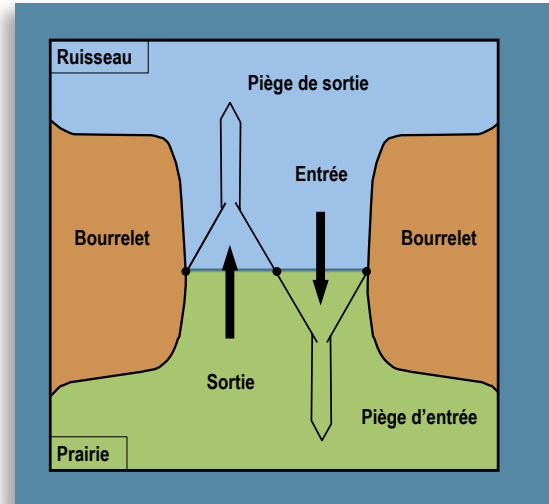
Quelle utilisation des prairies inondées ?

Une étude *in situ* (F. Fonteneau, Université de Rennes 1) a cherché à savoir comment se font les mouvements d'écrevisses de Louisiane entre des zones inondées (prairies)

et le lac de Grand-Lieu (44). Ce vaste plan d'eau peu profond, fortement colonisé par l'invasive, voit sa superficie en eau varier de 5 000 hectares en hiver à 2 000 hectares en été. Ses prairies inondables, très étendues, constituent un milieu essentiel pour la reproduction, l'alimentation et la croissance de nombreuses espèces animales, des poissons aux oiseaux. Plus spécifiquement, l'étude s'est attachée à caractériser le flux d'écrevisses de Louisiane, mais également de poissons entre les prairies inondées dites des «Bonhommes» (28 ha) et le lac afin d'apprécier la réponse de ces animaux à la dégradation des conditions de vie apparaissant lors de la baisse progressive des niveaux d'eau. Pour ce faire, du 14 avril au 18 mai 2012, date de l'assèchement quasi-total des prairies, des nasses à mailles fines ont été disposées, en entrée et en sortie, au niveau de chaque connexion entre les prairies et un ruisseau menant au lac (Figure 11).

Les nasses ont été relevées toutes les 24 heures pendant la période d'étude. Écrevisses et poissons ont été identifiés, mesurés et comptabilisés pour chaque sens de piégeage (les poissons étaient relâchés dans

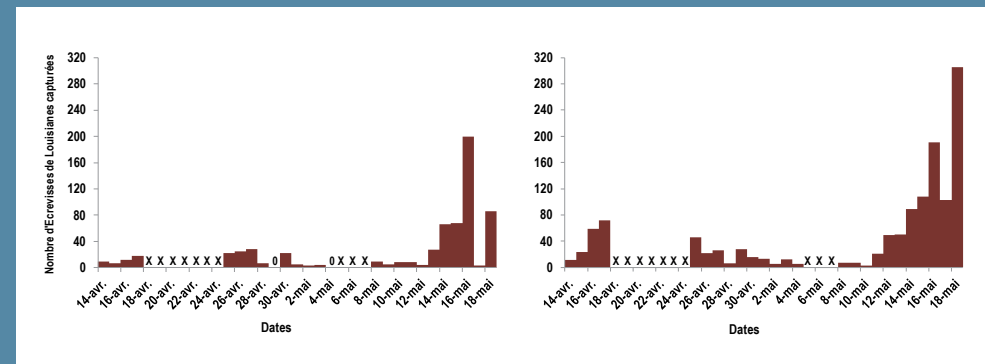
Figure 11. Principe du dispositif de piégeage implanté entre le ruisseau et les prairies inondées du lac de Grand-Lieu (Source : F. Fonteneau, Université de Rennes 1).



le sens du piégeage tandis que les écrevisses étaient détruites, conformément à la réglementation). Les cohortes d'écrevisses ont été analysées selon deux classes de taille. Sur la période étudiée (la phase de décrue), 647 écrevisses ont été piégées à leur entrée dans les prairies, et 1 278 en sortie. L'écrevisse est la seule à réaliser des déplacements dans les deux sens pendant la phase de décrue (Figure 12). Les poissons (691 jeunes brochets, mais aussi des gardons, des rotengles et des pseudorasboras) n'ont été capturés que dans le sens de la sortie, ce qui indique qu'ils gagnent la prairie plus tôt lors de la phase de crue.

La cinétique du flux écrevisses, en entrée comme en sortie, est particulièrement importante dans les cinq derniers jours avant l'assèchement complet de la prairie. Les individus de petite taille sont ceux

Figure 12. Flux d'écrevisses de Louisiane entre le lac de Grand-Lieu et une prairie inondée. À gauche : en entrée (lac vers prairie), à droite : en sortie (prairie vers lac). X : absence de piégeage contrairement à 0 : aucune capture (Source : F. Fonteneau, Université de Rennes 1).



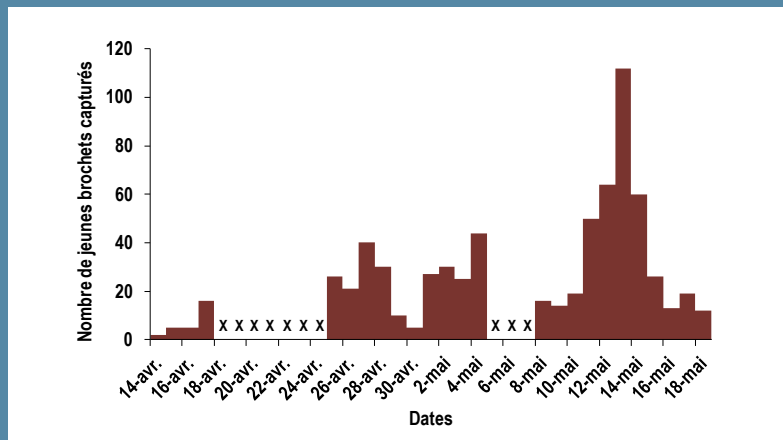


Figure 13. Flux de jeunes brochets en sortie de la prairie inondée, vers le lac de Grand-Lieu. X : absence de piégeage (Source : F. Fonteneau, Université de Rennes 1).

qui émigrent le plus tardivement, dans un sens comme dans l'autre. Le «record» de captures a été réalisé le dernier jour avant l'assèchement, avec 320 individus piégés dans le sens de la sortie. Les déplacements des écrevisses sont ainsi plus tardifs, au cours de la phase de décrue, que la sortie des poissons – à l'image des jeunes brochets (*Esox lucius*), dont le pic de captures se produit une semaine avant la fin du piégeage (Figure 13 ci-dessus).

Ces profils particuliers de déplacement d'écrevisses peuvent être mis en lien avec la relative bonne tolérance de l'espèce au réchauffement de l'eau, jusqu'à 32°C et plus. Ils témoignent de la capacité de l'in-

vasive à exploiter jusqu'au dernier moment les ressources alimentaires des prairies inondées, et confirme le rôle de ces dernières comme des nurseries pour les juvéniles.

Colonisation possible par voie de terre : d'une mare à l'autre dans le Parc naturel régional de Brière

Les marais disjoints du Mès et de Brière, tous deux dans le périmètre du Parc naturel régional de Brière, offrent un autre terrain idéal pour l'étude *in situ* des modes de colonisation de milieux plus ou moins isolés (réseaux de mares). La densité de population d'écrevisses, exprimée en CPUE (captures par

unité d'effort), est plus élevée dans le marais de Brière (CPUE comprise entre 5 et 7 écrevisses/piège/24 h) que dans le marais du Mès (CPUE autour de 2,5 écrevisses/piège/24 h). Une étude (A. Tréguier, Inra et Université de Rennes 1) a cherché à caractériser la propagation de l'invasive dans les deux réseaux de mares voisins de ces marais au regard de diverses variables topographiques.

La première étape a consisté à dresser un état des lieux de la présence de l'écrevisse dans chacun des

deux réseaux – 158 mares au total. L'inventaire a été réalisé par deux méthodes complémentaires (voir section 3.4) : le piégeage par nasses relevées toutes les 24 heures, qui donne une indication relative sur l'abondance en écrevisses dans les mares, et l'ADN environnemental, pour augmenter les chances de détection de l'espèce, notamment lorsqu'elle est peu abondante. Dans le réseau de mares du Mès, 37% des mares sont occupées par l'espèce. Dans le marais de Brière, 60% le sont (Figure 14).

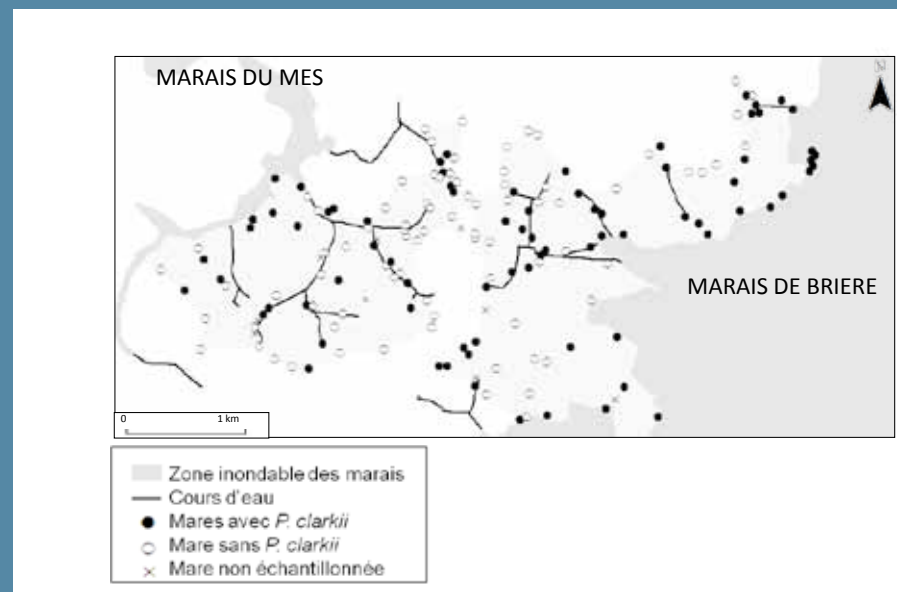


Figure 14. Distribution de l'écrevisse de Louisiane dans les réseaux de mares proches du marais du Mès et du marais de Brière (Source : A. Tréguier, Inra et Univ. de Rennes 1).

À partir de cette répartition, une série de modèles ont été construits afin de caractériser l'effet de différentes variables sur la présence ou l'absence de l'écrevisse de Louisiane dans une mare donnée : la distance au milieu source (marais de Brière ou marais du Mès selon le cas) ; la «pression de propagules» (assimilable à la densité d'écrevisses dans les milieux sources ou bien aux nombres de mares voisines occupées par l'écrevisse) ; le périmètre de la mare ainsi que d'autres descripteurs physiques des mares.

Les résultats sont clairs dans le cas du réseau de mares du marais de Brière (où la pression de propagules est la plus élevée). Le facteur prépondérant s'avère être la distance au milieu source : une mare a d'autant plus de chances d'être colonisée qu'elle

est proche du marais. L'invasibilité d'une mare s'accroît également avec son périmètre, et avec le nombre de mares colonisées dans un rayon de 50 mètres. En revanche, les corrélations sont nettement moins fortes pour le réseau de mares du Mès, où la distance au milieu source ne semble pas avoir un effet aussi marqué. Ce constat peut s'expliquer par plusieurs hypothèses, dont une moindre pression de propagules ou la dispersion par d'autres animaux, prédateurs notamment, ou par la main de l'homme. L'effet des variables paysagères (la présence de haies limitant la connectivité ou la nature des habitats terrestres par exemple) reste difficile à appréhender. Le suivi de l'évolution de leur répartition dans les années à venir permettrait d'affiner cette analyse.

2.2 – La «peste» des écrevisses : danger mortel pour les autochtones

En 1860, des mortalités d'écrevisses très importantes sont rapportées dans le bassin du Pô, en Italie. Les crustacés sont observés déambulant en plein jour, très affaiblis puis mourants, la carapace ornée de taches sombres. Les cadavres présentent des excroissances blanchâtres sur la face ventrale de la carapace et sur les yeux. Le mal mystérieux, bientôt appelé «peste des écrevisses», s'étend rapi-

dement à travers l'Europe, des Pays-Bas à l'Ukraine et aux rives de la mer Baltique. En 1876, les premières épizooties (maladies frappant la totalité des individus) sont signalées en Alsace et en Lorraine ; en 1895 les deux tiers du territoire français sont touchés.

Cette pathologie, associée à un «champignon» parasitaire de la classe des oomycètes, *Aphanomyces astaci*



La peste des écrevisses fatale pour les écrevisses natives

(Schikora, 1903), a été depuis responsable d'innombrables extinctions de populations en Europe : aussi appelée aphanomycose, elle constitue aujourd'hui encore une cause majeure du déclin des écrevisses natives. Elle reste pourtant mal connue, et fait l'objet notamment depuis 2010 d'un programme de recherche épidémiologique soutenu par l'Onema. Un état des lieux des connaissances européennes et des pistes de recherche sur le sujet a été présenté lors du séminaire de Saint-Lyphard (*F. Grandjean, Université de Poitiers*).

Les invasives, porteuses latentes et vectrices

L'apparition de l'aphanomycose en Europe est antérieure à l'introduction de la première écrevisse américaine (*Orconectes limosus*, voir section 1.2). Mais les invasions d'écrevisses exotiques jouent un rôle important dans sa propagation, notamment vers l'amont des cours d'eau, et sa transmission aux écrevisses natives. Les espèces nord-américaines sont porteuses «saines» du parasite : atteintes, elles

manifestent une réponse immunitaire très rapide, qui se traduit par une production accrue de mélanine qui permet la cicatrisation de leur cuticule autour des spores enkystées du parasite. En comparaison, les espèces européennes ont une réponse immunitaire bien plus lente : la peste dégrade profondément leur chitine et leurs tissus jusqu'à provoquer la mort, généralement dans 100% des cas.

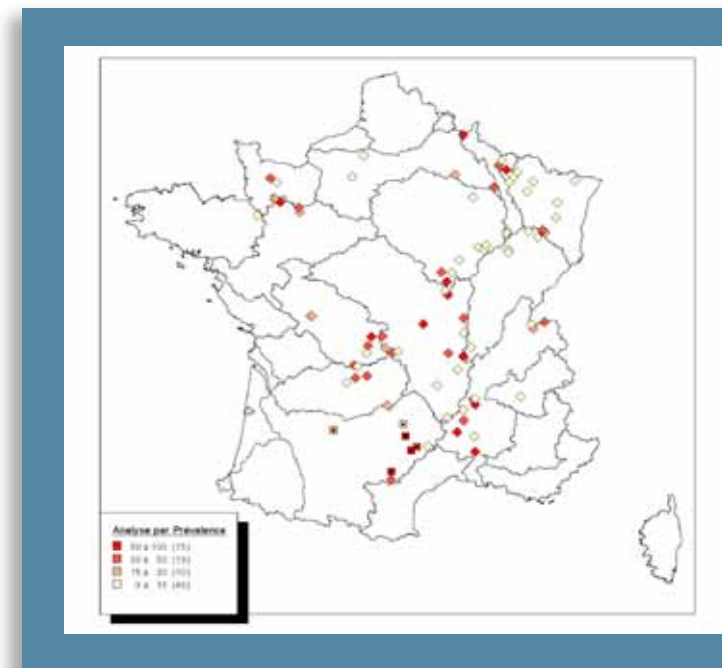
L'infection, qui atteint uniquement les écrevisses, est transmise par les individus malades et les cadavres, qui restent longtemps porteurs du pathogène. Une écrevisse atteinte perd cependant son caractère contagieux à chaque mue. Cette caractéristique explique que les femelles, qui muent moins souvent lorsqu'elles sont gravides, soient en général plus touchées que les mâles. L'agent peut également être transmis par des poissons ou d'autres animaux issus de zones contaminées, ou encore par des objets (gants, bottes...) ayant été en contact avec les spores. Ce dernier point implique, pour le personnel de terrain confronté à une épizootie, une désinfection systématique des équipements.

Un effort de recherche croissant

Objet d'un effort croissant de suivi et de recherche en Europe depuis une décennie, l'aphanomyose poursuit ses ravages. En République tchèque, dix épizooties ont été enregistrées entre 2004 et 2010, entraînant la perte de huit populations d'écrevisses à pattes rouges et de deux populations d'écrevisses à pattes blanches (Kozubíková *et al.*, 2008). En Norvège, neuf mortalités massives ont eu lieu, dans différentes régions, depuis 1998. L'écrevisse du Pacifique, de par son caractère invasif prononcé et sa capacité à coloniser les cours d'eau en remontant vers l'amont, semble être particulièrement impliquée dans la propagation du pathogène aux espèces natives. En France, un inventaire a été mené par l'Onema et l'Université de Poitiers pour caractériser le taux d'infestation de cette espèce, sur la base d'un échantillonnage de 89 populations réparties sur le territoire : 55 d'entre elles se sont avérées infestées, à différents degrés (Figure 15).

Des études similaires ont révélé des taux d'infestation variables en Europe, toujours pour l'écrevisse du Pacifique : 0% au Danemark (Skov *et al.*, 2010), 15% en Hongrie (Kozubikova *et al.*, 2009), 22%

Figure 15.
Taux d'infestation par l'aphanomyose de l'écrevisse du Pacifique en France – 89 populations échantillonnées pour 1 030 individus au total (Source : d'après Onema).



en République tchèque (40% pour l'écrevisse américaine) (Kozubikova *et al.*, 2009), et jusqu'à 86% en Norvège (Vrålstad, non publié). La détection du parasite aux stades précoces est possible par extraction et amplification de son ADN à partir d'un morceau de cuticule ventrale prélevé sur une écrevisse. Avec le développement de nouveaux outils moléculaires, des travaux récents ont permis d'identifier, à partir de l'écrevisse hôte, différentes souches du pathogène. Ces approches ouvrent de nouvelles pistes pour l'étude de l'aphanomyose, et notamment du

rôle des écrevisses invasives dans sa propagation. Elles indiquent en particulier que les souches pathogènes portées par les espèces exotiques sont plus virulentes que les souches «ancestrales», présentes en Europe avant les premiers épisodes de mortalité (Makkonen *et al.*, 2012). En parallèle, diverses observations suggèrent le développement, par certaines populations d'écrevisses natives, d'une résistance au pathogène (Kušar *et al.*, 2013). Des études sont en cours en Europe pour confirmer et préciser ce point.

2.3 – L'écrevisse de Louisiane, perturbation majeure des réseaux trophiques

Au-delà des dommages portés aux populations des espèces natives, par compétition directe ou par transmission de l'aphanomyose, les écrevisses invasives sont susceptibles de provoquer des perturbations, parfois de grande ampleur, sur l'ensemble du fonctionnement des écosystèmes qu'elles colonisent. Le séminaire de Saint-Lyphard a permis de présenter un ensemble de travaux, menés en Camargue et en Brière, pour caractériser la place que prend l'écrevisse de Louisiane dans les réseaux trophiques.

Une écrevisse dans la mare : moins de végétaux, moins d'invertébrés

Une étude en mésocosmes (dispositifs expérimentaux de petite taille constituant des écosystèmes simplifiés) s'est ainsi intéressée à l'impact de cette écrevisse sur le fonctionnement écologique des mares temporaires (H. Rodriguez, *La Tour du Valat*). Trente bacs à ciel ouvert, d'une surface d'un mètre carré pour environ 300 litres de contenance, ont été tapissés de sédiments, puis mis en eau en décembre 2010. Un protocole complet de suivi des compositions faunistiques et floristiques de chaque bac a été défini : estimation de la biomasse et de la composition

en macrophytes ; identification des micro-invertébrés par échantillonnage ; capture des macro-invertébrés à l'épuisette, identification puis remise à l'eau dans le même bac. Début avril 2011, l'inventaire témoignait de l'implantation dans les mésocosmes de communautés biologiques comparables à celles qui se développent dans les mares temporaires de Camargue : en moyenne, cinq espèces de macrophytes et 56 espèces d'invertébrés. Une semaine plus tard, l'expérimentateur procédait à l'introduction d'écrevisses de Louisiane dans les mésocosmes, répartis en trois groupes : un individu par bac pour un premier groupe, trois individus par bac dans un deuxième – le troisième groupe de bacs, exempt d'écrevisses, faisant office de témoin. L'étude, menée de début avril à mi-juillet, a ensuite consisté à suivre l'évolution des communautés biologiques dans ces trois groupes de bacs, à raison d'un échantillonnage toutes les 2 à 4 semaines.

Les résultats sont sans équivoque. Onze semaines après l'introduction d'une seule écrevisse, la biomasse de macrophytes moyenne apparaît 30% plus faible que dans les bacs témoins (Figure 16). Dans les bacs abritant trois écrevisses, la différence est encore plus significative.

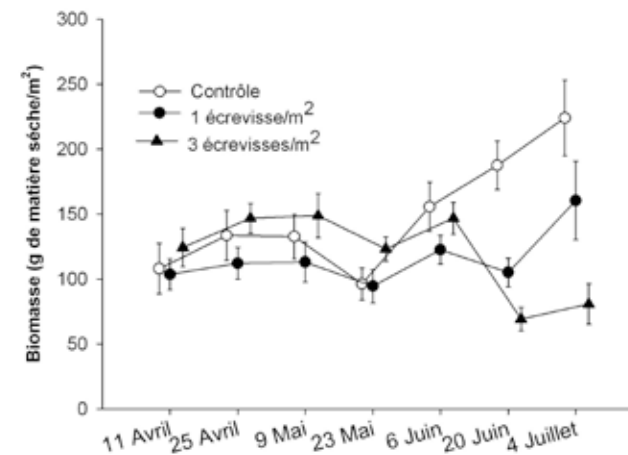


Figure 16. Évolution dans le temps de la biomasse moyenne de macrophytes, après introduction d'une ou trois écrevisses de Louisiane, par comparaison avec les mésocosmes témoins (Source : H. Rodriguez, Tour du Valat).



Le recours aux mésocosmes pour évaluer les incidences des écrevisses invasives sur la biodiversité

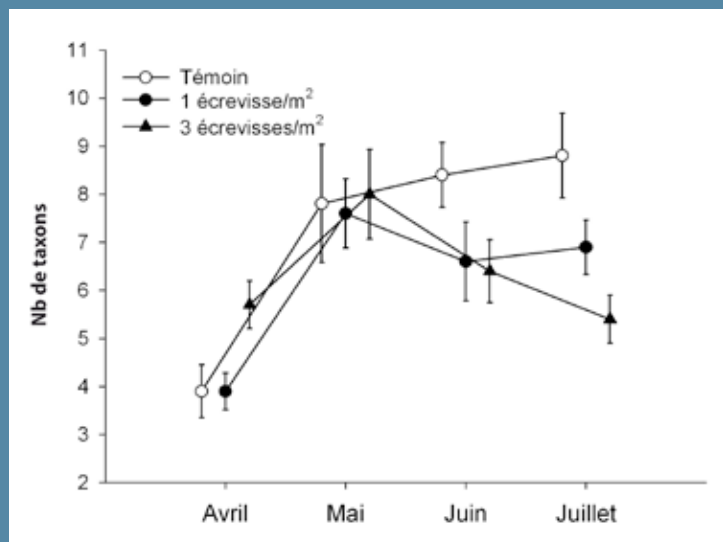


Figure 17. Évolution dans le temps du nombre moyen d'espèces de macro-invertébrés, après introduction d'une ou trois écrevisses de Louisiane, par comparaison avec les mésocosmes témoins (Source : H. Rodriguez, Tour du Valat).

L'écrevisse de Louisiane a également un impact prononcé sur la richesse des communautés de macro-invertébrés (Figure 17 ci-dessus).

De manière générale, cette étude confirme que l'écrevisse de Louisiane modifie la composition et la structure des communautés végétale des mares. Elle affecte également la communauté des macro-invertébrés en réduisant sa richesse taxonomique et le nombre total d'individus. Ces impacts apparaissent d'autant plus marqués que le nombre d'écrevisses dans l'écosystème est important.

Une place centrale dans l'écosystème colonisé

En Brière, une étude s'est intéressée aux effets de l'invasion par l'écrevisse de Louisiane des écosystèmes aquatiques (J-M. Roussel, Inra), en développant une analyse des isotopes stables du carbone (C) et de l'azote (N) dans les réseaux trophiques. Cet outil est très utilisé en écologie car il fournit des informations synthétiques sur l'organisation trophique et le fonctionnement des écosystèmes. Les isotopes du carbone permettent de tracer les voies de circulation de l'énergie

utilisée par les différents compartiments trophiques. Dans les réseaux trophiques aquatiques, le carbone peut provenir de la fixation du carbone dissous par les producteurs primaires comme le phytoplancton (voie algale), ou de la matière organique benthique issue de la dégradation d'organismes comme les phragmites (voie détritique). Les isotopes de l'azote fournissent quant à eux une indication sur le niveau trophique des différentes espèces de la chaîne alimentaire, producteurs primaires, consommateurs primaires, consommateurs

secondaires, jusqu'aux prédateurs supérieurs.

Trois types d'habitats aquatiques ont été échantillonnés, les canaux (voies navigables, eau permanente), les roselières à phragmites et les prairies temporairement inondées. Des prélèvements ont été réalisés de manière exhaustive dans les réseaux trophiques aquatiques, incluant des échantillons de zooplancton, diverses espèces d'invertébrés benthiques et de poissons et, bien sûr, des écrevisses de Louisiane.



© Jean-Marc Paillisson - CNRS

Prélèvements d'invertébrés pour l'étude des réseaux trophiques par le biais de l'analyse des isotopes stables

L'analyse des isotopes de l'azote dans ces échantillons témoigne d'abord de la formidable plasticité trophique de l'écrevisse de Louisiane (Figure 18). Selon les habitats, celle-ci peut en effet consommer de la matière organique détritique (consommateur primaire) ou des proies invertébrées

(consommateur secondaire). Les juvéniles dépendent principalement de la production de phytoplancton et zooplancton (voie algale) dans les prairies inondées notamment, alors que les adultes dépendent plutôt de la matière organique détritique.

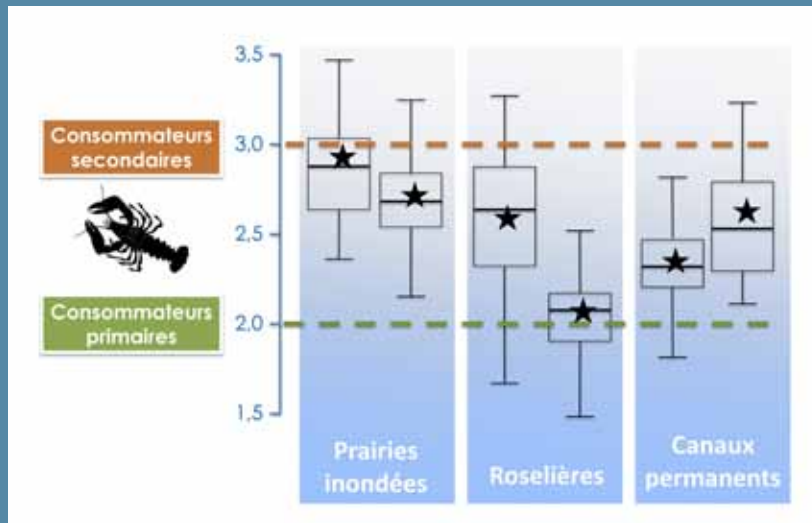


Figure 18. Niveaux trophiques de l'écrevisse de Louisiane selon les habitats envahis, révélés par l'analyse des isotopes stables de l'azote dans les réseaux trophiques des marais de Brière. Les étoiles indiquent les valeurs moyennes, les rectangles et traits horizontaux représentent la dispersion des valeurs (Source : J-M. Roussel, Inra).

Plus généralement, l'écrevisse de Louisiane est devenue un acteur central dans les réseaux trophiques des écosystèmes envahis, et s'impose comme le maillon principal de la transmission d'énergie vers les poissons (Figure 19).

aux poissons du marais. Elle livre un constat frappant : la quasi-totalité des espèces, du gardon au brochet, ont des niveaux trophiques très proches, immédiatement supérieurs à celui de l'écrevisse (Figure 20). Cette observation signifie que l'écrevisse est devenue la ressource trophique principale pour les poissons de l'écosystème briéron.

L'analyse des isotopes stables de l'azote a également été appliquée

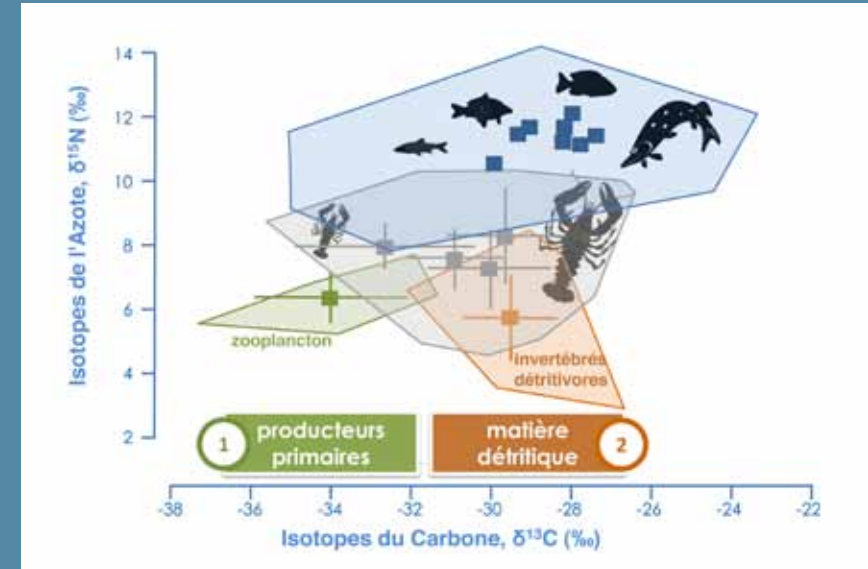


Figure 19. Analyse des isotopes stables du carbone et de l'azote en Brière. L'écrevisse s'impose comme un acteur central de la transmission de l'énergie depuis les producteurs primaires et la matière organique détritique vers les poissons (Source : J-M. Roussel, Inra).

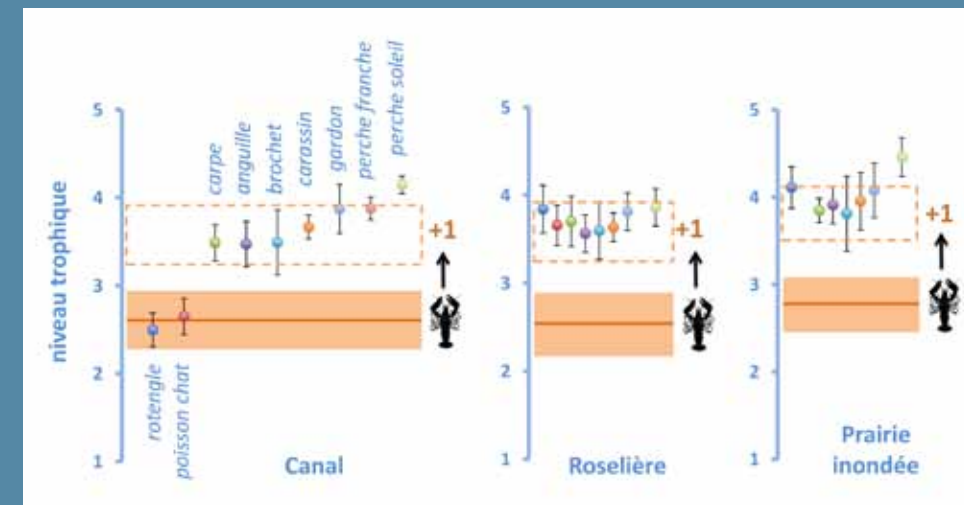


Figure 20. Niveaux trophiques des poissons selon les habitats échantillonnés en Brière, révélés par l'analyse des isotopes stables de l'azote. On remarque que dans la majorité des cas, les différentes espèces se situent un niveau trophique au dessus des écrevisses (Source : J-M. Roussel, Inra).

Une autre étude a cherché à caractériser le rôle de l'écrevisse de Louisiane dans les réseaux trophiques de Camargue (H. Rodriguez, Tour du Valat). L'analyse des contenus stomacaux de 122 écrevisses capturées *in situ* a permis de préciser le régime alimentaire de l'espèce. Cet examen confirme le caractère exceptionnellement omnivore et opportuniste de l'invasive, et la place que revêt la matière organique détritique dans son alimentation : 84% des écrevisses analysées avaient consommé des détritiques et ceux-ci représentaient pas moins de 60%, en moyenne, du volume total des contenus stomacaux (Figure 21).

L'étude s'est également intéressée à évaluer la place que prend l'invasive dans l'alimentation des prédateurs aviaires. Toujours par analyse des contenus stomacaux, elle révèle que l'écrevisse de Louisiane représente, en Camargue, 45% du régime alimentaire en poids frais de la spatule blanche (*Platalea leucorodia*) (moyenne sur 28 individus) ; 45% pour le crabier chevelu (*Ardeola ralloides*) (22 individus) ; 80% pour l'Ibis falcinelle (*Plegadis falcinellus*) (34 individus) et 85% pour le héron gardeboeuf (*Bubulcus ibis*) (10 individus). Des observations antérieures confirment cette fourchette de valeurs : toujours en Camargue, l'écrevisse

représente autour de 90% du régime alimentaire (en poids frais) du butor étoilé (*Botaurus stellaris*) (Poulin *et al.*, 2007) ; elle est aussi présente dans les déjections de 68% des cistudes d'Europe (*Emys orbicularis*) (Ottonello *et al.*, 2005) et dans l'estomac de 79% des silures glanes (*Silurus glanis*) (Martino *et al.*, 2011).

Ainsi, l'écrevisse de Louisiane est-elle devenue, en Brière ou en Camargue, une ressource prépondérante pour de nombreuses espèces de poissons et d'oiseaux. Cette évolution conduit à un équilibre trophique précaire, caractérisé par le repli des communautés végétales et des macro-invertébrés

et la simplification des liens entre les organismes des écosystèmes.

Le développement parfois spectaculaire des populations de prédateurs supérieurs, échassiers, poissons ou loutres, observé avec enthousiasme par les gestionnaires de milieux envahis par l'écrevisse, ne peut être qu'un effet secondaire de l'invasion : signe apparent de bonne santé d'un écosystème, il repose en réalité sur une situation écologique profondément perturbée dont les évolutions à long terme restent difficilement prévisibles.

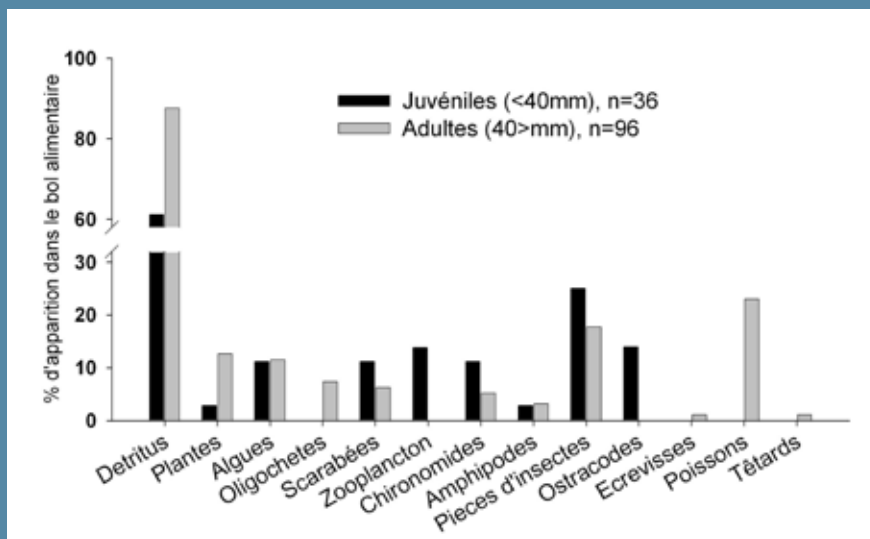


Figure 21. Répartition moyenne du contenu stomacal des juvéniles et des adultes d'écrevisse de Louisiane en Camargue (96 adultes et 36 juvéniles) (Source : H. Rodriguez, Tour du Valat).



L'écrevisse de Louisiane : une ressource devenue importante pour de nombreux oiseaux

Les écrevisses, accumulatrices de contaminants ?

Les écrevisses invasives, du fait de la place centrale qu'elles tendent à prendre dans les réseaux trophiques des écosystèmes envahis (voir section 2.3), sont susceptibles de jouer aussi un rôle prépondérant dans le transfert de contaminants chimiques aux poissons, oiseaux et mammifères qui les consomment. Des éléments quantitatifs sur leur potentiel de bioaccumulation ont été apportés par une étude récente, à l'échelle du bassin de la Loire (C. Lemarchand, VetAgro Sup). Les niveaux de contamination d'un ensemble d'espèces «indicatrices» de l'état du milieu (poissons, oiseaux, invertébrés...), mais aussi d'écrevisses invasives (américaine, du Pacifique et de Louisiane), ont été mesurés sur neuf sites répartis sur l'ensemble du bassin. L'auteur a recherché, dans les tissus de près de 500 écrevisses, une cinquantaine de composés dont les principaux pesticides présents dans le fleuve, 16 congénères de PCBs et des métaux lourds (plomb, mercure, cadmium, cuivre, arsenic).

Les résultats ont mis en évidence une contamination systématique des écrevisses par les pesticides (DDT et lindane essentiellement, à des niveaux relativement faibles), les PCB (autour de 9 mg/kg pour les trois espèces), et surtout les métaux lourds – cuivre, cadmium et mercure en tête (Figure 22).

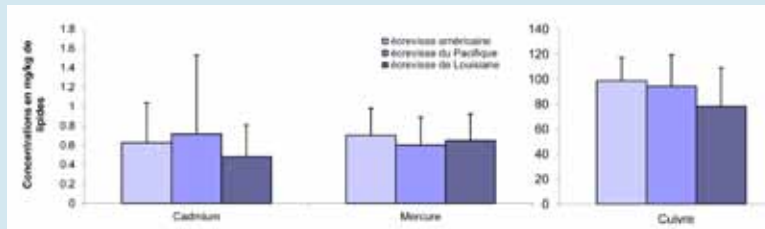


Figure 22. Concentrations moyennes en métaux lourds dans les écrevisses invasives du bassin de la Loire (mg/kg de lipides) (Source : C. Lemarchand, VetAgro Sup).

Pour une substance donnée, les concentrations moyennes observées chez les écrevisses montrent peu de variations d'une espèce à l'autre, ou d'un site à l'autre : les résultats évoquent une contamination globale, de type «bruit de fond». En revanche la variabilité est importante d'un individu à l'autre, suggérant une capacité d'élimination des polluants par la mue. De manière générale, les écrevisses invasives apparaissent susceptibles de favoriser le transfert des métaux vers les prédateurs – les mollusques (ici l'exemple du corbicule asiatique) étant, en comparaison, de «meilleurs» accumulateurs de PCB (Figure 23).

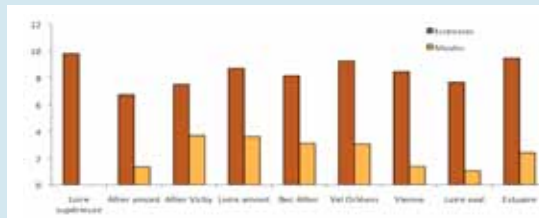


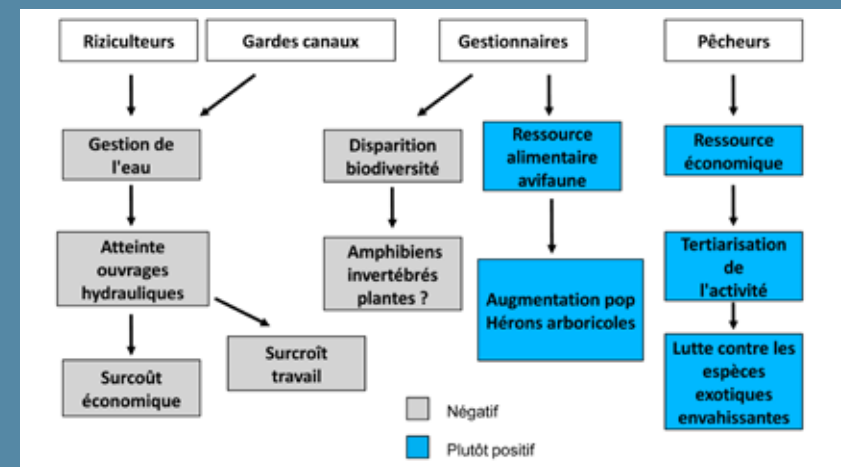
Figure 23. Accumulation comparée du cuivre (cg/kg de lipides) par les écrevisses invasives et par un mollusque invasif, le corbicule asiatique, dans le bassin de la Loire (Source : C. Lemarchand, VetAgro Sup).

2.4 – Impacts socio-économiques : première approche en Camargue

À l'origine d'importantes perturbations écologiques dans certains milieux envahis, les écrevisses exotiques envahissantes sont également susceptibles d'affecter localement les activités socio-économiques de diverses façons : impacts sur les ressources halieutiques, l'aquaculture ou l'agriculture, perte d'attractivité liée à la dégradation du patrimoine faunistique et floristique... Pour appréhender ces effets, un besoin croissant d'approches transdisciplinaires, liant impacts écologiques et sociétaux, coûts et bénéfices éventuels de l'invasion, est exprimé par les gestionnaires : ceux-ci sont soucieux à la fois d'acquiescer une compréhension plus globale des problématiques écologiques, et d'accéder au savoir «naturaliste» développé par divers acteurs de terrain face à

l'invasion. Très peu de travaux de ce type ont été menés à ce jour. Parmi ceux-ci, une étude sociologique (T. Prola, Tour du Valat) a cherché à préciser les perceptions de différents acteurs camarguais vis-à-vis de l'écrevisse de Louisiane. La méthodologie, classique en sciences sociales, reposait sur des entretiens semi-directifs, complétés par une bibliographie transdisciplinaire. L'enquête, certes non exhaustive, a été menée auprès de 19 professionnels concernés par l'invasion d'écrevisses : six riziculteurs, quatre gardes-canaux, six gestionnaires d'espaces naturels et trois pêcheurs professionnels. Les entretiens ont permis d'appréhender les impacts relatifs à l'invasion – négatifs ou positifs – perçus par chaque profession (Figure 24).

Figure 24. Effets de l'invasion d'écrevisse de Louisiane perçus par différents acteurs en Camargue (Source : T. Prola, Tour du Valat).



Ces résultats livrent quelques enseignements surprenants. Ainsi l'écrevisse est-elle globalement perçue comme peu ou pas problématique par les pêcheurs professionnels et, dans une moindre mesure, par les gestionnaires d'espaces naturels. Les premiers y voient une ressource économique nouvelle et une potentielle diversification de leur activité ; les seconds regardent avec intérêt le développement démographique de certaines espèces (notamment d'oiseaux) induit par la prolifération des écrevisses – selon le paradoxe déjà évoqué en 2.3.

À l'opposé, les secteurs dans lesquels l'écrevisse suscite le plus d'inquiétude sont ceux qui présentent une forte dépendance à la gestion de l'eau : gardes-canaux et surtout riziculteurs. Ceux-ci voient les galeries creusées par l'invasive comme un facteur d'assèchement des rizières, et donc une menace pour leur activité professionnelle. Le fait que cette gestion de l'eau spécifique soit précisément susceptible de créer des conditions favorables au développement de l'écrevisse montre toute la complexité des effets socio-économiques des invasions biologiques.

Enfin, les résultats de cette étude ont été croisés avec un inventaire mené en parallèle (Tour du Valat et Fondation MAVA) pour évaluer l'abondance de l'écrevisse de Louisiane dans les différents milieux de Camargue : rizières, canaux, mares temporaires, marais semi-permanents et marais permanents.

gestionnaires. *A contrario*, les rizières sont le milieu où la densité d'écrevisses est la moins élevée, et pourtant celui où elles suscitent le plus de craintes. Ce constat dénote la difficulté d'appréhender dans leur complexité socio-écologique les conséquences du développement de l'écrevisse de Louisiane dans un territoire donné. ■

De ce rapprochement, il ressort que les zones les plus envahies par l'écrevisse – marais et mares temporaires – sont celles pour lesquelles s'expriment le moins d'inquiétude de la part des acteurs concernés, pêcheurs et

Berge de canal, en Brière, endommagée par de nombreux terriers d'écrevisse de Louisiane



3

Gérer les invasions :

quelles pistes opérationnelles ?



© Jean-Marc Paillisson - CNRS

La problématique des invasions d'écrevisses exotiques s'est imposée depuis au moins une décennie comme un sujet de recherches majeur en Europe. La biologie de ces espèces, les mécanismes de colonisation des milieux naturels, et leurs effets associés sur les écosystèmes et la biodiversité font l'objet d'un nombre croissant de travaux scientifiques. Leurs résultats précisent l'ampleur des impacts, souvent pressentie sur le terrain par les gestionnaires, et confirment la nécessité de développer des outils et des stratégies opérationnelles pour la préservation des milieux aquatiques menacés ou confrontés à une invasion. Mais paradoxalement, le champ de la gestion des écrevisses invasives reste comparativement peu investi à l'échelle européenne. En réaction à cette lacune, les actions de recherche menées en Brière, comme d'autres ailleurs en France, ont tenté d'accorder une plus grande place à l'exploration de pistes opérationnelles pour la gestion des invasions d'écrevisses. Lors du séminaire de Saint-Lyphard, près de 50% des communications étaient résolument orientées vers la gestion. Les éléments présentés à cette occasion, objet de cette troisième partie, contribuent à placer la France parmi les pays moteurs en Europe pour la gestion des invasions d'écrevisses exotiques.

3.1 – Panorama européen : de nombreuses pistes explorées

Depuis 1990, en moyenne, 140 articles scientifiques consacrés aux écrevisses paraissent chaque année dans la littérature européenne. L'analyse de ces ressources révèle cependant le faible nombre d'articles consacrés à leurs impacts, à l'exception de l'écrevisse de Louisiane (48 références au total) et de l'écrevisse du Pacifique (20 références), et plus encore la rareté des travaux portant sur le contrôle et/ou l'éradication de leurs populations. Ce constat s'explique en partie par une prise en compte tardive, par les pouvoirs publics européens, de l'importance de la thématique générale des invasions biologiques. Ainsi, ce n'est que fin 2008 que la Commission européenne a publié une communication intitulée « Vers une stratégie de l'Union européenne relative aux espèces envahissantes » (COM (2008)789 final). Pour avancer sur ce dossier, elle met en place, en 2011, trois groupes de travail, en charge de la prévention, du système de veille et de réponse rapide, et enfin de l'éradication, la maîtrise, la gestion et la restauration.

Ce dernier groupe a réaffirmé la nécessité d'adopter une approche hiérarchique dans la gestion de toute espèce invasive, selon quatre principes génériques :

- la prévention de nouvelles introductions ;

- la détection précoce et la réponse rapide ;
- l'éradication lorsqu'elle est possible ;
- lorsque l'éradication n'est pas possible, le contrôle permanent des populations.

En ouverture de la session du séminaire de Saint-Lyphard consacrée aux moyens d'éradication ou de contrôle des populations d'écrevisses invasives, une revue des travaux engagés sur cette thématique a été présentée (C. Souty-Grosset, *Université de Poitiers*). Ce panorama non exhaustif des outils actuels (voir ci-après) livre des éléments généraux sur leurs atouts et limites. Il témoigne également de la diversité des pistes explorées pour l'éradication ou le contrôle des écrevisses invasives.

Aucune de ces options ne constitue de « solution miracle » : de manière générale, il apparaît que les meilleurs résultats seront obtenus, au cas par cas, par combinaison de plusieurs stratégies dans une optique dite de « lutte intégrée ». Dans tous les cas, les choix doivent être opérés au regard du coût induit pour le milieu naturel. A l'issue de ce tour d'horizon, plusieurs études et retours d'expériences entrepris à l'échelle française ont permis de préciser les efficacités respectives des stratégies à disposition des gestionnaires.

Le piégeage

Le **piégeage** constitue une stratégie simple engendrant peu d'impacts pour le milieu naturel, à condition que les nasses utilisées soient sélectives (ne piègent « que » les écrevisses), que les opérateurs évitent autant que possible d'accentuer le phénomène de bioturbation et de transporter des pathogènes. Il n'est cependant pas exempt de défauts. Coûteux en temps et en moyens humains, son efficacité dépend de l'heure et de la saison (voir section 3.3). Il tend par ailleurs à capturer préférentiellement les gros mâles, ce qui réduit la pression de compétition sur les individus plus jeunes. Dans le cas de l'écrevisse du Pacifique, il a ainsi été établi que le prélèvement par piégeage induit au final un taux de croissance plus élevé des individus dans la population, ainsi que des distances de migration (et donc une dispersion de l'espèce) plus importantes (Moorhouse et Macdonald, 2011a,b).

Diverses options ont été testées (notamment Stebbing *et al.* (2004) pour l'écrevisse du Pacifique, ou Aquiloni et Gherardi (2010) pour l'écrevisse de Louisiane) afin d'améliorer l'efficacité du piégeage. L'utilisation d'**appât** dans les nasses permet d'accroître significativement le nombre de captures par unité d'effort (CPUE) – en particulier en combinaison avec un **signal vibratoire**. L'utilisation de **phéromones**

sexuelles femelles, ou l'introduction d'une femelle réceptive dans la nasse, permet de capturer essentiellement des mâles – sans que cela conduise à une efficacité de capture très supérieure à celle obtenue à partir d'appâts. Elle est en revanche efficace même pour de faibles densités d'écrevisses, et donc utilisable pour une réponse précoce à une invasion.

Le biocontrôle

En association au piégeage, le **biocontrôle par des poissons prédateurs** est une option intéressante. L'anguille (*Anguilla anguilla*) semble offrir les meilleurs résultats sur l'écrevisse de Louisiane (voir section 3.3). Ainsi son introduction dans un petit lac près de Zurich (Suisse) s'est-elle traduite en quelques années par la réduction d'un facteur quatre du stock d'écrevisses, estimé par piégeage (Frutiger et Müller, 2002). Il est cependant connu que l'écrevisse est moins active (et donc moins susceptible d'être piégée) en présence du prédateur, dont elle détecte l'odeur (Hazlett *et al.*, 2002).

La stérilisation

Assortie à un effort de capture systématique, la stérilisation des gros mâles, par irradiation aux **rayons X** (Aquiloni *et al.*, 2009) ou au moyen d'un **protocole mécanique** (voir section 3.4) vise à minorer le potentiel

reproductif d'une population. Les femelles et juvéniles capturés sont détruits, tandis que les mâles stérilisés sont relâchés, limitant d'autant la fécondité des femelles restées dans le milieu. Ces approches, validées en laboratoire, doivent néanmoins encore faire leurs preuves en milieu naturel.

L'électrocution

L'électrocution a été testée (Peay *et al.*, non publié) sur l'écrevisse du Pacifique dans un petit ruisseau peu profond, à l'aide d'un dispositif spécifique délivrant des chocs répétés de basse (20 kW) ou haute puissance (96 kW). La mortalité, estimée par relevé manuel, s'établit entre 86 et 97% pour la haute puissance. Toutes les tailles d'écrevisses sont affectées ; les auteurs discutent du problème de la mortalité induite pour quelques espèces non ciblées. Ce premier test suggère une utilisation de cet outil plus comme une méthode de contrôle que d'éradication.

Le contrôle physique

Divers dispositifs de **contrôle physique** ont également été expérimentés en cours d'eau : passes à poisson ne permettant pas le passage des écrevisses (notamment Frings *et al.*, 2013), création d'obstacles (Dana *et al.*, 2011) ou modification de seuils existants pour empêcher la

remontée des invasives. Ces options, coûteuses et difficiles à mettre en place sur de grandes sections, sont envisageables localement en cas de forts enjeux écologiques à l'amont (voir section 3.4). En eaux closes, le recours à un **assèchement** prolongé peut s'avérer nécessaire et efficace (voir section 3.2).

Les biocides

L'emploi de **biocides** sélectifs fait l'objet de recherches en cours. Le pyrèthre naturel a été testé à 0,15 mg/l sur les écrevisses du Pacifique dans plusieurs étangs écossais (Peay *et al.*, 2006), après retrait des poissons, arrêt de l'écoulement et vaporisation préalable sur les berges. Des mortalités importantes ont été constatées (elles s'élèvent à 100% après cinq jours sur des spécimens maintenus en cage). En Norvège, des tests en cage, en nasses ou sur un plan d'eau vidangé ont également démontré la forte sensibilité de l'espèce au Beta-max, un pyrèthroïde synthétique vétérinaire (Sandodden *et al.*, 2010). Des essais menés en laboratoire (Morolli *et al.*, 2006) sur l'écrevisse de Louisiane avec trois pyrèthroïdes synthétiques (cyperméthrine, deltaméthrine et cyfluthrine) montrent de même une sensibilité élevée des invasives – les concentrations entraînant la mort de 50% des écrevisses en 24h n'excèdent pas 0,22µg/l. Une concentration cent fois plus élevée de deltaméthrine

n'a pas entraîné de mortalité sur des carpes communes après 24 jours d'exposition. Ces tests suggèrent, sous réserve d'études de toxicité approfondies sur d'autres animaux, que des pyrèthroïdes synthétiques pourraient être adoptés pour contrôler ou supprimer des populations nuisibles d'écrevisses de Louisiane dans des zones limitées et localisées.

Les agents biologiques

L'utilisation d'**agents biologiques** est également à l'étude. Aux Etats-Unis, une équipe (Davidson *et al.*, 2010) a testé des bactéries (21 espèces de

Bacillus dont six souches de *Bacillus thuringiensis*), des nématodes et un virus comme contrôles biologiques possibles chez l'écrevisse à pinces bleues *Orconectes virilis*. Seul le virus responsable de la maladie des points blancs chez la crevette (White Spot Syndrome Virus) s'est révélé fortement pathogène et transmissible par cannibalisme et non par l'eau. Il est également pathogène pour d'autres espèces, dont l'écrevisse de Louisiane. Le virus a aussi été testé sur quelques espèces non ciblées – daphnies, amphipodes, larves de moustique ou de libellules – qui n'ont pas été infectées.

3.2 – L'assèchement, solution éprouvée en eaux closes

L'arrivée d'écrevisses invasives dans un cours d'eau est liée, dans la très grande majorité des cas, à la présence dans le bassin versant d'un ou plusieurs plans d'eaux colonisés : ceux-ci constituent des foyers à partir desquels s'effectue l'invasion – par voie naturelle ou transport humain – des milieux avoisinants. Au sein d'un bassin épargné, l'éradication de ces populations «sources» prend un caractère prioritaire. Dans le département des Vosges, l'inventaire mené par l'Onema en 2006 a identifié un nombre restreint de sites colonisés par les écrevisses invasives : huit plans d'eau abritaient l'écrevisse du Pacifique, treize autres étaient envahis

par l'écrevisse de Louisiane. Suite à leur détection, les services de l'état ont réagi de manière déterminée, à la faveur du dispositif réglementaire en vigueur dans le département, qui prévoit l'assèchement des pièces d'eau par arrêté préfectoral (Figure 25 page suivante).

Un bilan de ces opérations a été présenté (*M. Collas, Onema*) lors du séminaire. Sur le site de Bellefontaine, deux étangs en barrage d'une superficie de 2 000 et 6 000 m², envahis par l'écrevisse de Louisiane, ont été asséchés en novembre 2009. Une barrière physique (enclos grillagé) avait été installée préalablement sur les berges. Un traitement à la chaux vive

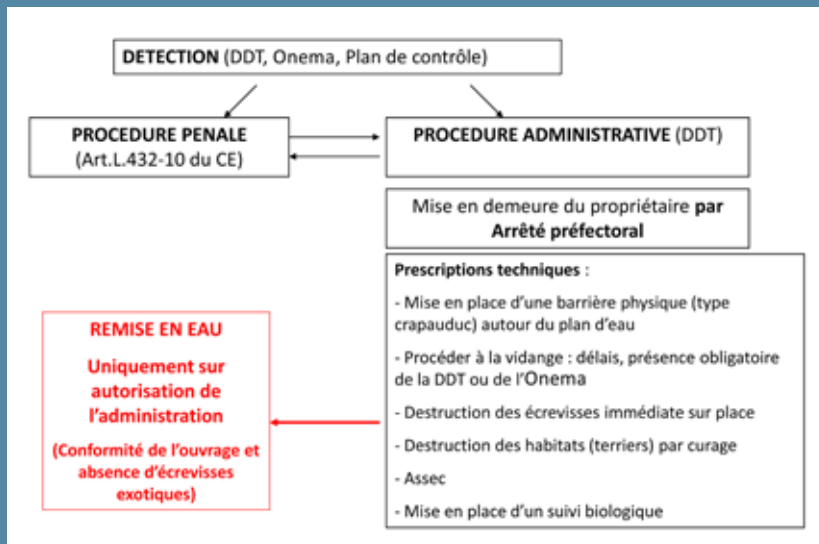


Figure 25. Gestion des écrevisses invasives en plans d'eau dans les Vosges – la vidange peut-être décidée si les enjeux l'exigent (Source : M. Collas, Onema).

a été appliqué la semaine suivante. Une recherche active avec enlèvement des écrevisses sur le site a été réalisée pendant les assèchements hivernaux et estivaux qui ont suivi (Figure 26). La plupart des captures ont été réalisées dans les jours suivant la vidange, mais des spécimens vivants ont été retrouvés jusqu'au mois de juillet. Compte tenu de la capacité de l'invasive à survivre longtemps dans les galeries qu'elle creuse, la population peut être considérée comme éradiquée au bout de trois années d'assèchement. La remise en eau a été réalisée en 2013.

Autre exemple, sur le site du ruisseau des Noires Feignes. Cette zone d'une trentaine d'hectares, classée Espace naturel sensible (ENS), abritait deux étangs en barrage de 1,5 hectares et 21 ares, tous deux envahis par l'écrevisse du Pacifique – de surcroît porteuse saine de l'aphanomyose. La préfecture a mis les propriétaires en demeure de régulariser le statut de leurs étangs en 2009. Le Conseil général des Vosges est alors intervenu en développant pour ce site un projet de restauration et de gestion à long terme. La vidange des plans d'eau, effectuée en novembre 2009, suivie d'un assèchement hivernal et estival, a permis l'éradication des populations

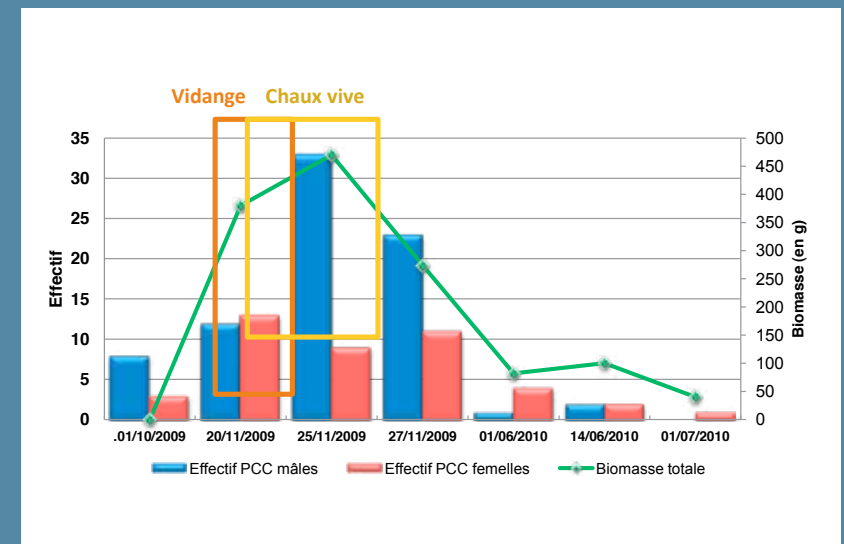


Figure 26. Évolution temporelle des captures d'écrevisses de Louisiane (PCC) dans un petit étang des Vosges, avant et après assèchement (Source : M. Collas, Onema).

d'écrevisses du Pacifique. Après réalisation de travaux de curage, le grand étang a été remis en eau à l'automne 2012. Le petit étang a été acquis par la collectivité locale et la gestion a été confiée au CREN de Lorraine. Il a

été effacé, dans le souci de rétablir la continuité écologique du bassin. Des opérations de restauration paysagère ont été menées : recréation d'un lit mineur, arasement partiel de la digue et reprofilage des anciennes berges.

Effacement d'un plan d'eau



© CREN de Lorraine

Des opérations du même type ont été entreprises pour la quasi-totalité des foyers d'invasion connus dans le département : à l'arrivée, cinq populations d'écrevisses du Pacifique et une population d'écrevisses de Louisiane ont été éliminées. Un site, rassemblant 12 ballastières envahies par cette dernière, n'a pu être «traité», en raison de difficultés techniques et d'une forte résistance des propriétaires. À défaut, une autre stratégie a été décidée, dont le bilan reste à tirer : repeuplement en poissons prédateurs (perches, brochets, silures) et piégeage des écrevisses par les propriétaires.

De ces expériences, globalement concluantes, peuvent être tirés plusieurs enseignements. Leur succès dans une optique de préservation des milieux voisins dépend d'abord de la précocité de la détection. Il nécessite également une très bonne collaboration entre les services de l'État, l'Onema et la DDT, ainsi qu'avec la justice – ce qui suppose une sensibilisation préalable des parquets à la question des écrevisses... Dans tous les cas, de telles opérations restent très chronophages pour les services qui les mettent en œuvre et en assurent le suivi. Elles peuvent enfin s'avérer coûteuses pour les propriétaires d'étangs, qui en assurent seuls la charge à l'heure actuelle.

3.3 – Le piégeage à l'épreuve du nombre

Solution éprouvée mais coûteuse, le recours à l'assèchement n'est pertinent que pour des plans d'eau vidangeables constituant des foyers d'invasion localisés. Pour d'autres types de milieux envahis, marais, lacs naturels, canaux..., les gestionnaires peuvent opter pour le piégeage systématique. Cette option a notamment été mise en œuvre, à grande échelle, dans le Parc naturel régional de la Brenne (36), dont les 182 700 hectares répartis sur 51 communes abritent un réseau remarquable de plus de 4 000 étangs.

En Brenne, les 230 000 écrevisses capturées ne suffisent pas

Aussitôt après l'identification de l'écrevisse de Louisiane dans l'un des plans d'eau, en juillet 2007, le Parc naturel régional a réagi par la mise en place d'un comité de pilotage dédié, suivi en 2008 d'un voyage d'étude en Brière, avec des élus locaux, pour acquérir une meilleure connaissance des problèmes induits par l'espèce. Après confirmation de sa présence dans de nombreux plans d'eau de la Brenne, une

«brigade écrevisse» a été créée en 2009 pour mettre en œuvre une stratégie de gestion : cette équipe composée de cinq agents, financée par le FEDER (Fonds européen de développement régional), la DREAL Centre et la Région Centre, était dotée d'un budget total annuel de 88 840 euros en 2011 (salaires, matériel de terrain, carburant et téléphonie inclus). En lien étroit avec les propriétaires des plans d'eau (essentiellement privés), les communes et les gardes-pêche, elle mène une action de capture et de destruction systématique des écrevisses au moyen d'un parc de 400 nasses. Le piégeage est réalisé par ses agents après accord avec les propriétaires, ou directement par ces derniers ou par les gardes-pêche après signature d'une convention

avec le Parc naturel régional pour le prêt de nasses. Deux sites fortement colonisés ont également été asséchés en 2011.

Les captures alimentent une base de données qui permet de suivre l'évolution des populations et les nouvelles colonisations. En quatre années, près de 230 000 écrevisses ont ainsi été extraites des 104 plans d'eau (578 ha au total) colonisés connus à ce jour (Tableau 2).

Le bilan (A. Coignet, PNR de la Brenne) de cette action volontariste est contrasté. La baisse sensible du nombre total de captures, après un pic atteint en 2010, suggère qu'un effort de piégeage soutenu entraîne le repli de l'invasive. À l'échelle d'un

Tableau 2. Évolution du nombre d'écrevisses capturées par la «brigade» et ses partenaires dans le PNR de la Brenne (Source : A. Coignet, PNR de la Brenne).

Nombre d'écrevisses capturées						
Opérateurs	2009	2010	2011	2012	2013 (1 ^{er} semestre)	total
Brigade PNR Brenne	11 085	43 113	7 817*	20 183	9 033	91 231
Propriétaires et gestionnaires	3 233	40 262	44 459	11 170	15 842	114 966
RNN Chérine	11 506	2 870	3 552	4 060	901	22 889
Total	25 824	86 245	55 828*	35 413	25 776	229 086

* diminution due à la mise en assec de deux sites fortement infestés

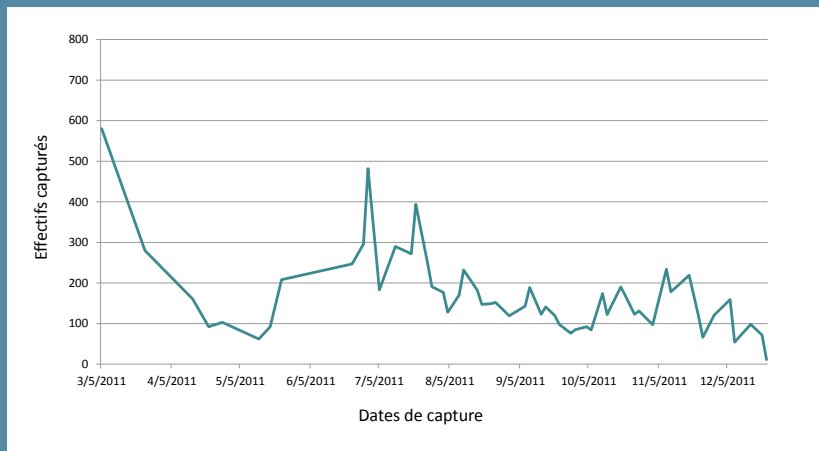


Figure 27. Évolution du nombre d'écrevisses capturées dans l'étang de la Roche Chevreux (Source : A. Coignet, PNR de la Brenne).

plan d'eau, un contrôle efficace des effectifs semble alors possible. Ainsi, dans l'étang de la Roche Chevreux (13 ha), vidangé en 2009 puis faisant l'objet d'un piégeage continu (15-20 nasses relevées deux fois par semaine), les captures d'écrevisses enregistrent en 2011 une chute marquée (Figure 27 ci-dessus).

Mais la stratégie actuelle n'apparaît pas suffisante pour résoudre durablement le problème, au regard de la dynamique de l'espèce. À l'échelle de la Brenne, de nombreux étangs sont connectés entre eux. Ce fonctionnement en réseau fragilise les succès obtenus localement : les vidanges peuvent se traduire par la propagation de l'espèce à l'aval, tandis que

les transferts d'alevins et de poissons pour empoissonnement sont susceptibles d'apporter les œufs et les larves d'écrevisses dans de nouveaux milieux. Enfin, la «brigade» ne peut pas intervenir partout, notamment faute d'accord avec certains propriétaires.

Pour l'avenir, le PNR de la Brenne recherche une méthode complémentaire au piégeage. Parmi les pistes envisagées figure, là encore, le recours à des poissons prédateurs. En préalable à des actions de repeuplement, une étude est programmée, en partenariat avec l'Inra de Rennes, pour caractériser les relations proies-prédateurs entre l'écrevisse de Louisiane et différentes espèces candidates – brochet, sandre, perche, anguille ou carpe.

Épuisement d'un stock d'écrevisses par piégeage : mission impossible ?

Les limites du piégeage seul ont également été mises en évidence dans le cadre d'une étude (J-P. Damien, PNR de Brière) menée en Brière entre 2009 et 2012. En réponse aux demandes des gestionnaires, cette action a cherché à évaluer les possibilités d'épuisement de stocks d'écrevisses de Louisiane dans plusieurs plans d'eau expérimentaux, dont deux (225 et 775 m²) isolés par

une clôture à mailles fines afin d'éviter les recolonisations périphériques.

Le premier objectif était de sélectionner le piège présentant le meilleur compromis entre efficacité de capture des écrevisses et sélectivité, afin de limiter les impacts sur d'autres espèces – poissons, batraciens, larves d'odonates... Les tests, menés sur différents dispositifs (plusieurs plans d'eau, un canal ouvert au cœur des marais ainsi que des mares bocagères) selon un protocole standardisé (voir section 3.5),

Plan d'eau de Brière isolé par une clôture grillagée avant la conduite d'opérations de piégeage intensif d'écrevisses de Louisiane



ont conduit l'équipe à retenir une nasse grillagée semi-cylindrique à mailles de 5,5 mm, dotée de deux entrées latérales pour conduire l'expérience d'épuisement. Néanmoins, un second prototype de piège bien plus sélectif a été identifié : il est recommandé lorsque les risques de capture d'espèces non ciblées sont élevés.

Un piégeage continu a été opéré, dans les deux plans d'eau clos, trois années durant, d'avril à l'assèchement estival (juillet) – période durant laquelle l'activité de l'écrevisse est la plus intense. Dans l'un des plans d'eau (A), 15 nasses étaient utilisées (soit une pour 15 m²). Dans l'autre (B), 70 pièges de différents types étaient déployés (soit un pour 10 m²). Les nasses étaient relevées toutes les 24 à 72 heures, l'effectif et la biomasse d'écrevisses capturées étaient enregistrés pour chaque opération. Sur la durée de l'étude, 38 000 individus ont ainsi été extraits de ces deux petits bassins hermétiquement fermés, d'une surface cumulée de seulement 0,1 hectare sans parvenir à l'épuisement du stock ! Après 10 371 relèves de nasse au total, les captures avaient baissé de 90% dans le plan d'eau B, et de seulement 46% dans le plan d'eau A.

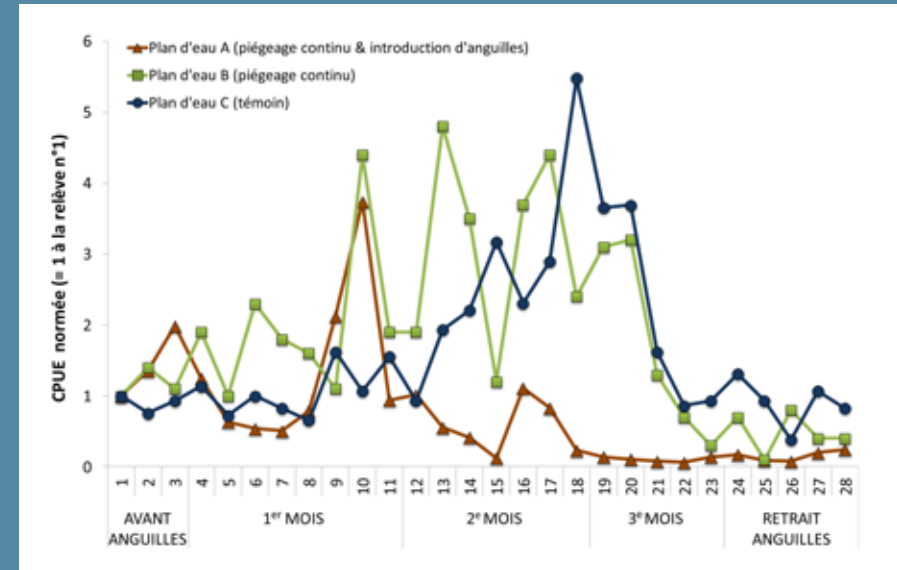
L'équipe a parallèlement étudié *in situ* l'effet de l'introduction d'an-

guilles sur la population d'écrevisses. Dans le plan d'eau (A), 31 anguilles d'une longueur moyenne de 55 cm ont été déversées mi-avril 2012, pour une durée de trois mois. L'effort de piégeage a été poursuivi à l'identique, pendant et après leur séjour dans le bassin, permettant un suivi comparatif du nombre de capture – le plan d'eau (B) étant resté exempt d'anguilles mais lui aussi soumis au piégeage continu des écrevisses. Enfin, un troisième plan d'eau (C), où un sondage par piégeage de 24h à deux reprises chaque semaine a été pratiqué, a joué le rôle de témoin : les captures traduisaient avant tout l'évolution de l'activité des écrevisses au cours de la saison.

Les résultats montrent une très nette réduction du nombre d'écrevisses capturées dans le plan d'eau abritant les anguilles, à partir du deuxième mois suivant leur introduction (Figure 28). Le nombre de captures reste proche de zéro plusieurs semaines après le retrait des prédateurs.

À l'arrivée, cette étude illustre la très grande difficulté de venir à bout d'une population d'écrevisses de Louisiane par le piégeage seul, même après un effort de capture soutenu et prolongé, dans de petits plans d'eau isolés du milieu par un grillage infranchissable.

Figure 28. Effet de l'introduction d'anguilles sur les captures d'écrevisses de Louisiane exprimées en captures par unité d'effort (CPUE : écrevisses/piège/24h) dans un plan d'eau (A), et comparaison avec deux plans d'eau : l'un avec piégeage continu (B) et l'autre sans piégeage continu (C) (Source : J-M. Paillisson, CNRS).



Elle confirme l'intérêt potentiel du biocontrôle, en l'occurrence par l'introduction d'anguilles, comme stratégie complémentaire au piégeage. L'efficacité réelle de cette option doit toutefois être précisée par des études plus poussées, en raison de l'effet inhibiteur de la présence d'anguilles sur le comportement du crustacé (voir section 3.1) : la baisse observée du nombre de captures ne reflète pas nécessairement une chute proportionnelle du stock d'écrevisses présentes dans le milieu comme en témoigne la baisse d'activité des écrevisses au

cours de la saison notamment dans le plan d'eau témoin (C).

Attention cependant : l'anguille est une espèce classée en danger d'extinction par l'UICN et fait l'objet de mesures de protection. Son utilisation en tant qu'auxiliaire de contrôle de l'écrevisse de Louisiane ne peut s'envisager qu'après avoir tenu compte des enjeux de conservation qui concernent l'anguille (notamment le fait de ne pas déplacer des individus dans des zones isolées rendant impossible la migration vers la mer).

Les pêcheurs professionnels, acteurs de la régulation des écrevisses invasives ?

Dans les situations où l'éradication d'une population d'écrevisses exotiques semble hors d'atteinte (milieux étendus, ouverts et/ou très colonisés), l'exploitation commerciale de cette ressource alimentaire abondante apparaît être, pour certains acteurs, une option envisageable pour contrôler la démographie de l'invasive tout en générant des bénéfices socio-économiques. Le Comité national des pêcheurs professionnels en eau douce (CONAPPED) s'est positionné dans cette optique lors du séminaire de Saint-Lyphard. Confrontée à la baisse des stocks halieutiques, aux mesures de préservation spécifiques (plan «anguilles») ou aux restrictions sanitaires de consommation (plan «PCB») la profession connaît depuis 30 ans une diminution marquée de ses effectifs – le CONAPPED regroupe aujourd'hui 435 pêcheurs professionnels continentaux, 21 compagnons et 55 marins-pêcheurs opérant en zone estuarienne. Le recul du marché national s'accompagne d'une hausse des importations et du commerce illégal. Dans ce contexte très difficile, les entreprises du secteur voient dans l'essor des populations d'écrevisses invasives un levier de diversification ou de reconversion.

Le CONAPPED a mené une réflexion (*N. Stolzenberg*) pour préciser les contours d'une filière de pêche et de transformation intégrée pour l'écrevisse de Louisiane – déjà exploitée localement, au lac de Grand-Lieu ou en Camargue par exemple. Une charte de bonnes pratiques a été proposée pour encadrer l'ensemble de ces activités, avec pour objectif de «garantir la sécurisation et la traçabilité de la filière concernant l'écrevisse de Louisiane, entre les sites de production et les sites de transformation, dans le strict respect de la législation.» Les pêcheurs professionnels, formés par les gestionnaires et scientifiques, apporteraient leur savoir-faire technique et leurs importants moyens de capture (de l'ordre de 300 kg d'écrevisses par jour et par pêcheur) au service d'une gestion transparente, maîtrisée et responsable des stocks d'invasives. Le CONAPPED souligne les bénéfices – socio-économiques mais aussi écologiques – d'une telle filière, en comparaison au coût de l'inaction face aux invasions. Cette position a cependant été accueillie avec réserves par de nombreux participants lors du séminaire de Saint-Lyphard. La principale critique formulée concerne le risque d'une «patrimonialisation» progressive des espèces invasives associées à des intérêts économiques (et de ce fait entraînant une accélération de leur dispersion), aux dépens des nécessités de contrôle des invasions et de préservation de la santé des milieux aquatiques.

3.4 – Petits cours d'eau à forts enjeux : quelles stratégies de gestion ?

Les moyens déployés face aux écrevisses invasives doivent bien sûr être envisagés à la lueur d'une analyse coûts-bénéfices : les options les plus coûteuses et chronophages sont à réserver aux sites qui recèlent les plus forts enjeux écologiques. C'est le cas notamment lorsqu'une population identifiée d'écrevisses natives (voir 2.2), ou d'une autre espèce sensible, se trouve directement menacée par la progression d'une invasive. Ainsi dans le site Natura 2000 du bassin du Sarthon, le Parc naturel régional Normandie-Maine a-t-il mis en œuvre une stratégie volontariste, dont le bilan a été présenté (*M. Scelles, PNR Normandie-Maine*) lors du séminaire de Saint-Lyphard. Cet affluent de la Sarthe, dont un tiers du cours était historiquement peuplé par l'écrevisse à pattes blanches, voit son bassin colonisé par l'écrevisse du Pacifique. En 2007, seuls six tronçons localisés abritaient encore l'espèce autochtone, soit 2,45% du linéaire.

Pour préserver ces populations, les gestionnaires ont mené un ensemble d'opérations d'abord centrées sur les foyers d'infestation du bassin. En 2007, le curage d'un lavoir a permis d'en extraire près de 300 écrevisses

invasives. Quelque 270 captures supplémentaires ont été réalisées par des pêches manuelles et électriques ainsi que des prospections nocturnes. En 2008, un plan d'eau infesté a été vidangé puis chaulé, tandis que des pêches manuelles dans le cours d'eau se traduisaient par la destruction de 500 écrevisses. Ces opérations se sont avérées insuffisantes pour endiguer la progression de l'écrevisse du Pacifique.

La société Saules et Eaux (*T. Duperray*) a été chargée de définir une stratégie pour poursuivre la lutte. Des ouvrages – conduite enterrée et seuil sous un pont – ont été modifiés pour bloquer l'accès aux secteurs amont par les invasives, sans empêcher les déplacements de poissons. L'effort s'est ensuite porté, en 2009, sur la mise en œuvre d'un protocole de stérilisation mécanique des mâles¹ d'écrevisses du Pacifique, développé par Saules et Eaux et testé avec succès en laboratoire. L'opération consiste à capturer par piégeage le plus d'écrevisses possible. Les femelles et les juvéniles sont détruits tandis que les gros mâles, dominants, sont stérilisés puis relâchés dans le milieu²: ils s'accouplent alors avec les femelles subsis-

¹ Protocole actuellement non divulgué. En attente de publication.

² Toutes les autorisations nécessaires à une telle opération ont été obtenues auprès des autorités compétentes. D'une manière générale, tous les travaux présentés dans cette synthèse ont nécessité des autorisations délivrées par les services de l'Etat.

tantes, donnant lieu à des pontes non viables. Après bornage géographique des populations de l'invasive, des caches artificielles (briques) ont été déposées dans le cours d'eau pour améliorer le suivi des populations et l'efficacité de capture. En 2011 et 2012, des campagnes intensives ont été menées : captures manuelles effectuées de nuit, deux semaines consécutives, à raison de huit passages par tronçon ; relève des caches artificielles (briques) en journée et utilisation de nasses. Un suivi rigoureux de ces opérations a permis d'évaluer l'efficacité respective des différentes méthodes de capture, par tronçon de cours d'eau et par classe de tailles (Figure 29).

La capture de nuit à la main reste le moyen le plus efficace, devant la relève des caches artificielles ; l'utilisation des nasses n'a permis qu'un faible nombre de captures. Au total, 3 300 spécimens ont été capturés en 2011, et plus de 1 500 en 2012. Mais les gros mâles stérilisés et relâchés ne représentaient que 2 à 3% de cet effectif, constitué par une majorité de spécimens juvéniles. Le suivi des pontes a été réalisé en 2011 et 2012. Les résultats se sont avérés décevants : la première année, sur 80 femelles sexuellement matures observées, 37 (soit 46,3%) ont donné une ponte viable ; la seconde année, sur 31 femelles sexuellement matures, 25 ont donné

une ponte viable. Cet échec relatif s'explique par la difficulté à capturer un nombre suffisant de gros mâles : un axe de travail pour améliorer les résultats réside donc dans la mise au point de méthodes de capture plus efficaces et plus sélectives. D'autres opérations de cloisonnement physique ciblées pourraient également permettre un meilleur contrôle du front de colonisation.

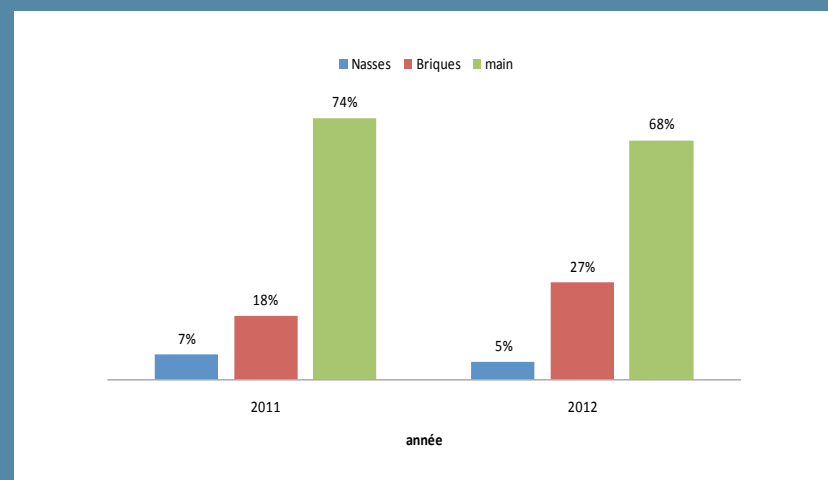
Dans la Dunière, le taux de juvéniles capturés divisé par 10

Des résultats plus probants ont été obtenus (*T. Duperray, Saules et Eaux*) dans le torrent ardéchois de la Dunière, où une population d'écrevisses du Pacifique contaminées par l'aphanomycose a été découverte en 2007. L'effort de terrain, en 2009, 2010 et 2011, a permis la capture, respectivement, de 1059, 749 et 519 invasives, dont entre 20 et 30% de mâles stérilisés puis relâchés. Les juvéniles représentaient près de 20% des captures la première année, mais ce taux a ensuite chuté pour s'établir autour de 2% les deux années suivantes : une telle évolution suggère un effet significatif des opérations de stérilisation réalisées sur la fécondité de la population locale d'invasives. Les efforts déployés ont sans nul doute permis de ralentir la colonisation du milieu.

De même dans le petit ruisseau de la Foux, au sein du Parc national des Cévennes, la découverte en 2002 d'une population déjà établie d'écrevisses du Pacifique, menaçant les écrevisses à pattes blanches encore présentes sur le site, a débouché sur une action déterminée du Parc et de l'Onema, incluant des pêches d'épuisement puis le recours à la stérilisation en 2010. La colonisation vers l'amont s'est malgré tout poursuivie, mais à un rythme beaucoup plus lent que ceux observés en l'absence de mesures de gestion : en neuf années, l'invasive n'a progressé que de 550 m vers l'amont (contre par exemple 800 m par an dans les affluents de la Brinjame, dans le Morvan – voir Eclairage en fin de chapitre 1). Des opérations de marquage (insertion de transpondeurs), menées sur ce cours d'eau, ont également livré des indications précieuses sur les déplacements et le taux de croissance des écrevisses du Pacifique dans le contexte local.

Malgré ce bilan contrasté, les méthodes de stérilisation des mâles, associées à un effort soutenu de capture, et selon les cas à des opérations de cloisonnement physique des populations, restent à l'heure actuelle la combinaison la plus susceptible de donner des résultats pour les petits sites à forts enjeux écologiques – où l'usage de méthodes plus agressives, comme

Figure 29. Efficacité comparée des modes de capture mis en œuvre sur le Sarthon, en pourcentage du nombre de captures. La capture de nuit, à la main, est de loin la méthode la plus efficace (Source : T. Duperray, Saules et Eaux).



De nouveaux outils pour capturer des écrevisses (pinces et aspirateur)



© Théo Duperray – Saules et Eaux



© Matthieu Scelles – PNR Normandie Maine

les biocides, est exclu. L'impact de la stérilisation sur la dynamique d'une population dépend avant tout de la régularité et de la durée des plans d'action engagés, ainsi que de l'efficacité de l'effort de capture associé. Des leviers existent encore pour améliorer cette dernière. À cette fin, les opérateurs de terrain gagneront à s'outiller. Une palette d'instruments originaux a ainsi été développée (T. Duperray, Saules et Eaux) : aquascope et périscope lumineux pour faciliter la prospection nocturne, endoscope à fibre optique pour l'inspection des galeries, nasses à guidage olfactif, pinces de capture et même «aspirateur à écrevisses»... Ces réalisations, et d'autres à venir, reflètent toute l'ingéniosité et la ténacité dont devront s'armer les gestionnaires pour préserver dans la durée les équilibres naturels des cours d'eau les plus sensibles.

3.5 – Suivi des populations : vers une méthode standardisée pour l'écrevisse de Louisiane

Pour les gestionnaires confrontés dans la durée à une invasion biologique, il est indispensable de disposer de méthodes opérationnelles, standardisées et transposables d'un milieu à l'autre, permettant le suivi des populations au cours du temps et l'évaluation de l'efficacité des actions de régulation engagées. De tels outils existent ou sont en cours de développement pour de nombreuses espèces invasives, notamment végétales. Ils font en revanche défaut pour les écrevisses exotiques. C'est le cas en premier lieu de l'écrevisse de Louisiane, très diversement échantillonnée d'un site à l'autre à l'heure actuelle (Paillisson *et al.*, 2011). L'élaboration pour cette espèce d'une méthode reproductible basée sur le piégeage passif, de mise en œuvre aisée pour les agents de terrain et délivrant des données les plus complètes et robustes possibles sur la composition des populations, était l'un des objectifs du programme mené en Brière. Son développement a fait l'objet d'une étude complète dont les conclusions (J-M. Paillisson, CNRS), ont été présentées lors du séminaire de Saint-Lyphard.

Quel piège utiliser ?

L'équipe a testé, dans trois sites expérimentaux du marais de Brière représentatifs de différents milieux (plan d'eau, roselière et prairie inondée), un large panel de pièges : pièges de différentes géométries, nasses à poissons de matériaux, tailles de maille et nombre d'entrées variables... Neuf jours durant, en avril et en juin 2011, ces différents dispositifs ont été relevés toutes les 24 heures. Le détail des captures a été analysé selon un ensemble de critères : taux de présence (occurrences) d'écrevisses, nombre d'écrevisses capturées par piège et par 24 heures, structures en taille et sex-ratio, ainsi que décompte des captures d'espèces non ciblées.

À l'issue de cette expérience, un piège grillagé semi-cylindrique (GSC), à deux entrées latérales rigides et de mailles de 5,5 mm, s'avère de loin le plus performant, avec des occurrences en écrevisses proches de 100%, des spécimens plus nombreux que dans les autres dispositifs (Figure 30 page suivante) – et cela pour les différentes classes de tailles – pour chaque type de milieu. Ce modèle de piège a ainsi été retenu pour la suite de l'étude.

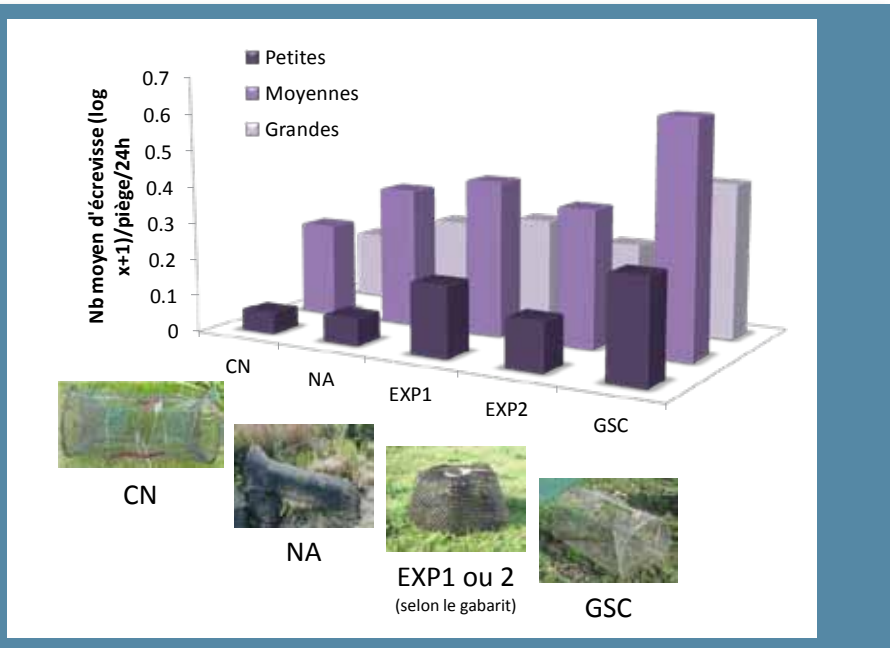


Figure 30. Le piège GSC (voir texte pour explication) offre la meilleure efficacité de capture, pour chaque classe de taille d'écrevisses (Source : J-M. Paillisson, CNRS).

Quelle est la bonne durée de piégeage ?

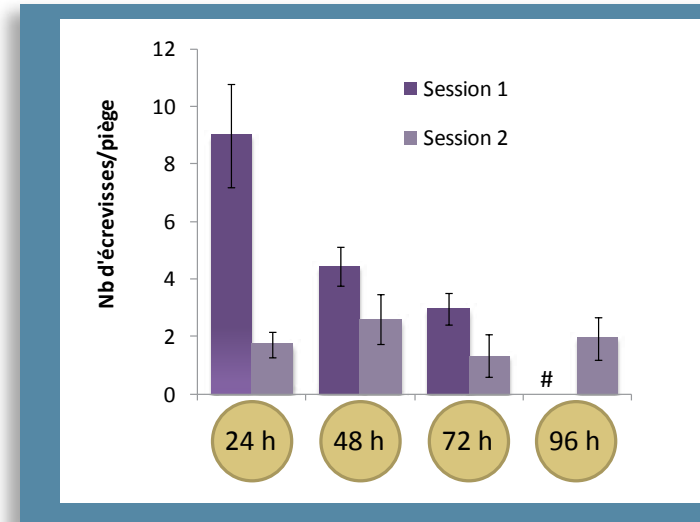
La question de la durée de piégeage est essentielle pour définir un protocole standardisé de suivi des populations. Il est en effet connu que la présence d'écrevisses dans un piège peut limiter les captures suivantes (Kozac et Policar, 2003). Un autre écueil potentiel lié à un séjour prolongé des pièges dans l'eau est le risque d'évasion.

Pour caractériser ces effets, les expérimentateurs ont installé 15 pièges GSC dans un petit plan

d'eau, pour deux sessions de 72 et 96 heures au total. Chaque piège était relevé toutes les 24 heures ; les écrevisses capturées étaient comptées, mesurées, marquées (une couleur par journée de relèvement), puis remises dans le piège pour la suite de la session. Ce mode opératoire a permis de mettre en évidence l'effet répulsif ou limitant lié à la densité d'écrevisses présentes dans un piège sur les captures ultérieures (Figure 31).

L'expérience a également confirmé un taux de «disparition» élevé entre deux relèves, par fuite ou par

Figure 31. Nombre moyen d'écrevisses non marquées capturées dans les pièges au cours du temps : la baisse observée (session 1) met en évidence l'effet limitant d'une forte densité d'écrevisses déjà capturées sur les taux de captures qui suivent (Source : J-M. Paillisson, CNRS).



cannibalisme. Ces pertes concernent essentiellement les individus de petite taille : les durées de piégeage longues, 48h ou plus, semblent donc fournir une indication moins fidèle sur la structure en taille de la population d'écrevisses étudiée. À l'issue de cet examen,

la relève des pièges au bout de 24 h apparaît la meilleure option pour le protocole de suivi. Les données fournies par cette procédure sont des captures par unité d'effort (CPUE), exprimées en nombre d'écrevisses par piège après 24 heures de pêche.

Ecrevisse de Louisiane marquée à l'occasion d'une étude scientifique



Faut-il utiliser de l'appât ?

L'étude a cherché à préciser l'effet sur les captures d'écrevisses de la présence d'appât dans les nasses. Des sessions de pêche ont été menées, au moyen des pièges GSC et de pièges coniques, en utilisant comme appât des croquettes pour chiens. Ce type d'appât a été choisi pour son caractère standard et sa facilité d'utilisation en réponse à de nombreuses situations d'échantillonnage. Les résultats ainsi obtenus ont été comparés aux captures réalisées dans les mêmes conditions, en l'absence d'appât. Aucune différence n'a été enregistrée en nombre de captures ; par contre les nasses appâtées recelaient davantage d'écrevisses de taille moyenne, et moins de spécimens de grande taille ou de petite taille. Quoiqu'il en soit, les auteurs recommandent d'**exclure l'utilisation d'appât dans le cadre d'une méthode d'échantillonnage**, dont le but premier est de traduire le plus fidèlement possible la composition des populations d'écrevisses.

Quel effort de piégeage ?

Le nombre de pièges à utiliser pour bien caractériser la population d'écrevisses présente sur un site doit être défini sur la base du meilleur compromis entre l'effort de terrain induit et la qualité des données.

L'équipe a donc cherché à déterminer le nombre minimal de pièges nécessaire pour obtenir des valeurs de CPUE (nombre de captures par unité d'effort) «fiabiles» à l'échelle d'un site, c'est-à-dire présentant, au plan statistique, un coefficient de variation suffisamment bas.

Pour ce faire, une modélisation numérique a été réalisée à partir d'un jeu étendu de données de terrain : 30 sites, représentatifs d'habitats variés, ont été échantillonnés pendant 24 heures avec chacun 30 pièges GSC, espacés d'environ 10 mètres. Les captures ont été décomposées en trois classes d'âge. La moyenne et l'écart-type des CPUE ont été calculés pour chaque site. Le travail de modélisation a ensuite consisté à générer par tirage aléatoire, pour chaque site et chaque classe de taille, les résultats qui auraient été obtenus pour un nombre de pièges variant de 5 à 30. La moyenne et l'écart-type des CPUE correspondant à ces jeux de données ont permis de caractériser la précision des résultats (autrement dit de calculer le coefficient de variation des CPUE) en fonction de l'effort de piégeage.

À la lueur des résultats de ces simulations (Figure 32), l'équipe propose le nombre de 25 pièges par site comme présentant un bon compromis entre l'effort à déployer

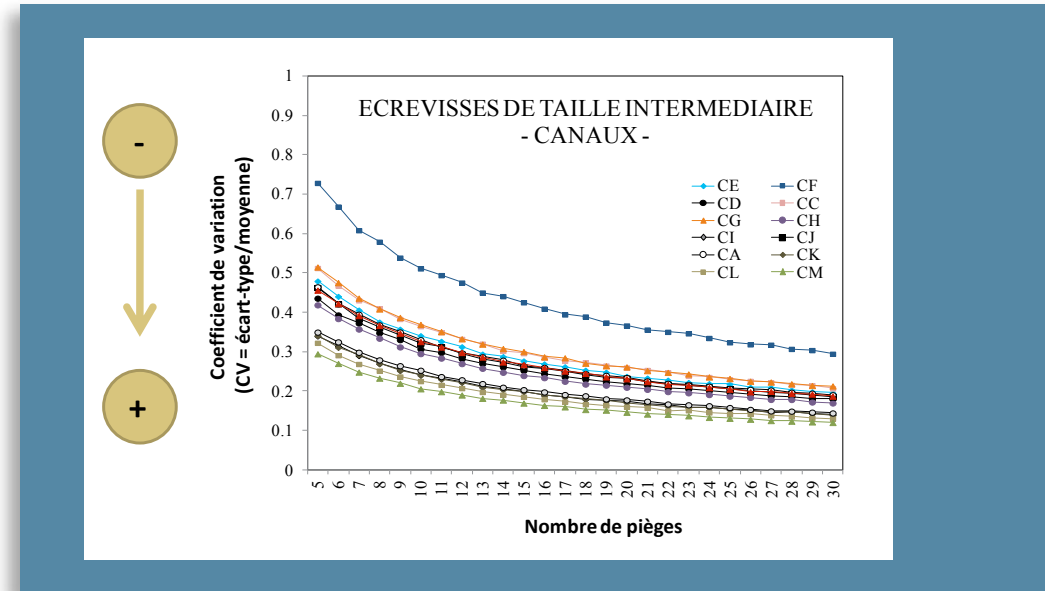


Figure 32. Modélisation du coefficient de variation des CPUE (captures par unité d'effort) en fonction du nombre de pièges par site, pour les écrevisses de taille intermédiaire capturées dans divers canaux de Brière. Chaque courbe correspond à un site (Source : J-M. Paillisson, CNRS).

sur le terrain et la qualité des données obtenues. Sur un site donné, les pièges doivent être espacés d'au moins 10 mètres. Dans certaines conditions, ce nombre de pièges pourrait être réduit, mais face à la diversité des conditions environnementales dans lesquelles on retrouve des écrevisses de Louisiane, il convient de retenir ce nombre de 25 pièges, au-delà duquel les données de capture n'apportent pas plus d'information sur l'état des populations d'écrevisses.

Quel protocole de suivi ?

Le protocole de suivi des populations d'écrevisses de Louisiane proposé consiste à déployer 25 pièges de type GSC par site, espacés d'une dizaine de mètres, sans utilisation d'appât, pour une durée de piégeage de 24 h. Les résultats obtenus sont exprimés, pour un site donné, en nombre de captures moyen par piège, ou nombre de captures par unité d'effort (CPUE). Ils peuvent être précisés selon des groupes de tailles des écrevisses, et comparés entre sites ou pour

un même site lors de sessions de piégeage multiples (interannuelles par exemple).

Au plan pratique, les auteurs recommandent le conditionnement des écrevisses de chaque piège dans des sacs plastiques étiquetés et regroupés par site, en vue de la phase de mesure de taille des écrevisses qu'il est préférable de réaliser au laboratoire pour ne pas alourdir la phase terrain. Deux personnes équipées d'un véhicule utilitaire peuvent assurer la pose et la relève des pièges à raison de quatre sites par jour. Le transport vivant nécessite, pour l'écrevisse de Louisiane, une autorisation préalable. Ce protocole, en cours de publication scientifique, fera l'objet d'un guide méthodologique à destination des gestionnaires, bureaux d'études et autres opérateurs de terrain. Les préconisations issues de l'étude menée en Brière sont bien sûr susceptibles d'être affinées à la faveur de la mise en œuvre du suivi dans d'autres milieux, et des retours d'expériences qui en découleront.

L'ADN environnemental, une approche complémentaire ?

Outre le piégeage passif, des méthodes alternatives peuvent être envisagées pour concourir au suivi

des populations d'écrevisses invasives. C'est le cas de l'ADN environnemental (ADNe), objet d'un intérêt croissant des gestionnaires des milieux aquatiques. Cette approche, issue de la biologie moléculaire et de la bioinformatique, consiste à prélever un échantillon d'eau dans le site étudié, puis à « amplifier » les fragments d'ADN qui s'y trouvent au moyen d'amorces spécifiques (un type d'amorce par « groupe » d'espèces). Les molécules sont alors identifiées au moyen d'une base de références génétiques, fournissant une indication sur les espèces présentes dans le milieu.

Dans le cadre du programme de recherches mené en Brière, une étude (A. Tréguier, Inra et Université de Rennes 1) menée en partenariat avec la société Spygen a cherché à préciser l'intérêt de cette méthode dans le cadre d'une recherche de la présence d'écrevisses de Louisiane à grande échelle, par rapport au piégeage par nasses. Les deux approches ont été testées en parallèle dans 158 mares de Brière. Il s'agit de l'une des toutes premières études recourant à cette méthode pour la détection d'un invertébré. Pour chaque mare, la détection par ADNe était réalisée à partir de six sous-échantillons d'eau prélevés sur l'ensemble du périmètre ; chaque sous-échantillon comportait 20 prélèvements de 40 ml d'eau

chacun. Le piégeage par nasse, réalisé à la suite des prélèvements d'échantillon d'eau afin de limiter les risques de contamination, était mené selon le protocole présenté précédemment, et les écrevisses capturées étaient réparties en deux classes de taille.

Le bilan est contrasté. Sur les 158 mares étudiées, 80 étaient données exemptes d'écrevisses par le piégeage et par l'ADNe ; 30 autres étaient données « positives » par les deux méthodes. Mais pour les 48 mares restantes, des résultats contradictoires ont été obtenus : dans 21 mares, des écrevisses étaient capturées sans détection de leur ADN. Pour les mares restantes, c'était l'inverse : détection par l'ADN mais pas de capture. Une analyse plus poussée révèle que les mares où l'ADN de l'écrevisse a été détecté sans capture d'individus sont de petites mares présentant un taux élevé d'envasement. Les mares où l'ADN de l'espèce est détecté sont également des milieux abritant un nombre moyen plus important de spécimens et en majorité des jeunes écrevisses.

En l'état, cette première étude suggère une complémentarité des deux approches. L'ADN environnemental, en cours de développement pour les écrevisses, pourrait à terme offrir une meilleure effica-

cité pour la détection précoce des invasives, moyennant des améliorations techniques ciblées. Le piégeage, mis en œuvre dans le cadre d'un protocole standardisé, offre quant à lui des informations sur l'abondance et la structure d'âge des populations d'écrevisses dans un milieu colonisé, points qu'il semble difficile d'atteindre à l'heure actuelle avec les outils moléculaires. ■

L'emploi de pièges pour évaluer les populations d'écrevisses



© Alexandre Soudieux – PNR de Brière

Conclusion



© Marc Collas - Onema

Deux jours durant, les premières «Rencontres françaises sur les écrevisses exotiques invasives» ont rassemblé à Saint-Lyphard près de 120 participants d'horizons divers : organismes de recherche, bureaux d'étude, associations, pêche professionnelle, services déconcentrés de l'État, collectivités locales et intercommunalités. À travers une trentaine de communications, suivies de discussions souvent passionnées, ce séminaire a opéré un large partage des dernières connaissances sur cette problématique devenue, depuis quelques années, une préoccupation majeure pour de nombreux gestionnaires et acteurs des milieux aquatiques.

À partir d'un état des lieux des connaissances actuelles sur les espèces d'écrevisses invasives présentes en France, leur biologie et l'évolution récente de leur distribution, un ensemble d'éléments nouveaux a été apporté pour la compréhension de leurs modes de colonisation des milieux naturels et des impacts associés. Issues notamment des travaux menés en Brière et en Camargue sur l'écrevisse de Louisiane, ces données confirment et surtout précisent l'étendue des conséquences de ces invasions biologiques sur les milieux colonisés.

Pour les écrevisses autochtones d'abord, qui sont victimes de la concurrence des invasives et de la propagation par ces dernières de l'aphanomyose mortelle. Mais aussi pour l'ensemble des équilibres naturels des milieux colonisés : l'écrevisse de Louisiane opère un véritable bouleversement des chaînes alimentaires au détriment de nombreuses espèces – végétaux et invertébrés benthiques au premier chef. Ces différents impacts sont susceptibles de mettre la France en difficulté quant à l'application des directives européennes sur l'eau et sur la faune et la flore, qui visent respectivement l'atteinte (ou la conservation) du bon état des eaux de surfaces et la préservation d'habitats et d'espèces patrimoniales (dont les écrevisses natives). Enfin, les activités socio-économiques sont potentiellement affectées par ces proliférations, comme l'a suggéré l'une des toutes premières enquêtes sociologiques menées sur le sujet, en Camargue.

À la sévérité de ces impacts répond un besoin croissant d'outils et de méthodes pour l'éradication ou la régulation des populations d'écrevisses invasives. Résolument opérationnel, le séminaire de Saint-Lyphard a accordé une large place aux moyens de gestion possibles face à ces invasions. Après un panorama des travaux scientifiques menés en Europe, divers retours d'expériences françaises ont été présentés – piégeage systématique, assèchement de plans d'eau, stérilisation mécanique des mâles, contrôle biologique par des prédateurs ou modification d'ouvrages pour empêcher la colonisation... Des plans d'eau vosgiens aux ruisseaux d'Ardèche, des étangs de la Brenne aux marais de Brière ou de Camargue, la diversité des pistes de gestion explorées témoigne d'une prise en compte volontariste de la problématique, et du dynamisme des acteurs scientifiques et gestionnaires concernés : ainsi la France s'est-elle imposée comme un pays moteur en Europe pour la gestion des invasions d'écrevisses exotiques.

Quant au bilan de ces actions de terrain, mitigé, il souligne toute la difficulté du contrôle des écrevisses exotiques envahissantes. L'éradication de populations localisées apparaît possible, au prix d'une action concertée et déterminée, pour des plans d'eaux fermés ou dans de petits cours d'eau, notamment aux stades précoces de l'invasion. En revanche, dans des milieux étendus, ouverts (canaux, marais, grands cours d'eau) et/ou fortement colonisés, l'élimination des invasives apparaît hors d'atteinte. Les options de régulation ou de contrôle se heurtent à la forte dynamique de ces populations – en particulier dans le cas de l'écrevisse de Louisiane. L'effort de recherche se poursuit. De nouveaux outils voient le jour et des marges de progression existent encore. Mais au regard des expériences déjà acquises, aucune solution « miracle » n'est disponible : les meilleurs résultats seront obtenus, selon la configuration du site envahi et les enjeux écologiques qu'il recouvre, par combinaison de plusieurs stratégies, mises en œuvre à l'issue d'une analyse coûts-bénéfices.

Dans tous les cas, la prévention de nouvelles introductions d'écrevisses invasives dans des bassins encore épargnés s'impose comme un enjeu de gestion essentiel pour la préservation de la biodiversité aquatique. Une réglementation efficace constitue bien sûr un outil indispensable pour concourir à cette prévention. Objet de nombreuses discussions au cours du séminaire, le cadre réglementaire actuel est considéré, de manière consensuelle, comme inadapté. La communauté scientifique et naturaliste évalue actuellement les modalités d'interpellation des pouvoirs publics, au niveau national, pour la mise en œuvre d'une véritable action de police de l'eau sur les écrevisses exotiques. Par ailleurs, la prévention de nouvelles invasions implique la poursuite de l'effort, encore récent, entrepris en France pour sensibiliser les différents acteurs concernés : gestionnaires, pêcheurs amateurs, aquariophiles, mais aussi grand public. À ce titre, la conférence publique donnée à Saint-Lyphard la veille du séminaire, devant une audience très large – adolescents, retraités, habitants du marais de Brière et citoyens concernés – constitue un succès encourageant. Demain, d'autres événements du même type, mais aussi la diffusion large de documents de vulgarisation, guides d'identification ou articles dans la presse généraliste, pourraient contribuer à une meilleure prise de conscience, par la société civile, des enjeux liés à ces invasions biologiques.

L'écrevisse de Louisiane, l'écrevisse du Pacifique, et quelques autres espèces présentes ou à venir, peuplent pour longtemps nos eaux douces. L'effort de recherche et de gestion qu'elles exigent s'inscrit, lui aussi, dans la durée. Le séminaire de Saint-Lyphard a marqué, en juin 2013, la naissance d'un réseau de réflexion et d'action, à l'échelle nationale, sur la problématique complexe des écrevisses exotiques envahissantes. Cette jeune communauté devra créer des liens forts, durables et constructifs pour œuvrer avec succès à la préservation et à la restauration des milieux aquatiques.

Références bibliographiques

- Aquiloni L., Gherardi F. (2010). The use of sex pheromones for the control of invasive populations of the crayfish *Procambarus clarkii*: a field study. *Hydrobiologia* 649: 249-254.
- Aquiloni L., Becciolini A., Berti R., Porciani S., Trunfio C., Gherardi F. (2009). Managing invasive crayfish: use of X-ray sterilisation of males. *Freshwater Biol.* 54: 1510-1519.
- Collas M., Beinsteiner D., Fritsch S., Morelle S., Lhospitalier M. (2012). Première observation en France de l'écrevisse calicot, *Orconectes immunis* (Hagen, 1870). *Ann. Sci. Rés. Bios. Trans. Vosges du Nord-Pfälzerwald* 16: 18-36.
- Collas M., Julien C., Monnier D. (2007). Note technique : La situation des écrevisses en France. Résultats des enquêtes nationales réalisées entre 1977 et 2006 par le Conseil Supérieur de la Pêche. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 386 : 1-39.
- Dana E.D., Garcia-de-Lomas J., Gonzalez R., Ortega F. (2011). Effectiveness of dam construction to contain the invasive crayfish *Procambarus clarkii* in a Mediterranean mountain stream. *Ecol. Eng.* 37: 1607-1613.
- Davidson E.W., Snyder J., Lightner D., Ruthig G., Lucas J., Gilley J. (2010). Exploration of potential microbial control agents for the invasive crayfish, *Orconectes virilis*. *Biocontrol Sci. Techn.* 20: 297-310.
- Dieguez-Urbeondo J., Cerenius L., Dyková I., Gelder S., Henntonen P., Jiravanichpaisal P., Lom J., Söderhäll K. (2006). Pathogens, parasites and ectocommensals. In: Souty-Grosset C., Holdich D.M., Noël P.Y., Reynolds J.D., Haffner P. (eds.), *Atlas of Crayfish in Europe*. Collection Patrimoines Naturels, 64. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris.
- Frings R.M., Vaeßen S.C.K., Groß H., Roger S., Schüttrumpf H., Hollert H. (2013). A fish-passable barrier to stop the invasion of non-indigenous crayfish. *Biol. Conserv.* 159: 521-529.
- Frutiger A., Müller R. (2002). Controlling unwanted *Procambarus clarkii* populations by fish predation. *Fresh. Crayfish* 13: 309-315.
- Gherardi F., Barbaresi S., Salvi G. (2000). Spatial and temporal patterns in the movement of *Procambarus clarkii*, an invasive crayfish. *Aquat. Sci.* 62: 179-193.
- Hazlett B.A., Acquistapace P., Gherardi F. (2002). Differences in memory capabilities in invasive and native crayfish. *J. Crust. Biol.* 22: 439-448.
- Holdich D.M., Reynolds J.D., Souty-Grosset C., Sibley P.J. (2010) A review of the ever increasing threat to European crayfish from non-indigenous crayfish species - *Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst* 394-395: 11.
- Kozak P., Policar T. (2003) Practical elimination of signal crayfish (*Pacifastacus leniusculus*) from a pond. In: Holdich D.M., Sibley P.J. (eds), *Management & Conservation of Crayfish*. Proceedings of a Conference held on 7th November, 2002. Environment Agency, Bristol, UK, 200-208.
- Kozubíková E., Filipová L., Kozák P., Duriš Z., Martín M.P., Diéguez-Urbeondo J., Oidtmann B., Petrušek A. (2009) Prevalence of the crayfish plague pathogen *Aphanomyces astaci* in invasive American crayfishes in the Czech Republic. *Conserv Biol* 23: 1204-1213.
- Kozubíková E., Petrušek A., Duriš Z., Martín M.P., Diéguez-Urbeondo J., Oidtmann B. (2008). The old menace is back: recent crayfish plague outbreaks in the Czech Republic. *Aquaculture* 274: 208-217.
- Kušar D., Vrezec A., Očepek M., Jenčič V. (2013). Crayfish plague (*Aphanomyces astaci*) in wild crayfish populations in Slovenia: first report of persistent infection in stone crayfish *Austropotamobius torrentium* population. *Dis. Aquat. Organ.* 103: 157-169.
- Makkonen J., Jussila J., Kokko H. (2012). The diversity of the pathogenic Oomycete (*Aphanomyces astaci*) chitinase genes within the genotypes indicate adaptation to its hosts. *Fungal Genet. Biol.* 49: 635-642.
- Martino A., Syväranta J., Crivelli J., Cereghino R., Santoul F. (2011). Is European catfish a threat to eels in southern France? *Aquat. Conserv.* 21: 276-281.
- Moorhouse T.P., Macdonald D.W. (2011a). The effect of removal by trapping on body condition in populations of signal crayfish. *Biol. Conserv.* 144: 1826-1831.
- Moorhouse T.P., MacDonald D.W. (2011b). Immigration rates of signal crayfish (*Pacifastacus leniusculus*) in response to manual control measures. *Freshwater Biol.* 56: 993-1001.
- Morolli C., Quaglio F., Della Rocca G., Malvisi J., Di Salvo A. (2006). Evaluation of the toxicity of synthetic pyrethroids to red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*, Girard 1852) and common carp (*Cyprinus carpio*, L. 1758). *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 380-381: 1381-1394.
- Ottone D., Salvio S., Rosecch E. (2005). Feeding habits of the European pond terrapin *Emys orbicularis* in Camargue (Rhône delta, Southern France). *Amphibia-Reptilia* 26: 562-565.
- Paillisson J-M., Soudieux A., Damien J-P. (2011). Capture efficiency and size selectivity of sampling gears targeting red-swamp crayfish among multiple freshwater habitats. *Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst.* 401.
- Peay S., Hiley P.D., Collen P., Martin I. (2006). Biocide treatment of ponds in Scotland to eradicate signal crayfish. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 380-381: 1363-1379.
- Poulin B., Lefebvre G., Crivelli A.J. (2007). The invasive red swamp crayfish as a predictor of Eurasian Bittern in the Camargue, France. *J. Zool.* 273: 98-105.
- Sandodden R., Johnsen S.I. (2010). Eradication of introduced signal crayfish *Pacifastacus leniusculus* using the pharmaceutical BETAMAX VET. *Aquat. Invasions* 5: 75-81.
- Savini D., Occhipinti-Ambrogi A., Marchini A., Tricarico E., Gherardi F., Olenin S., Gollasch S. (2010). The Top 27 Animal Alien Species Introduced into Europe for Aquaculture and Related Activities *J. Appl. Ichthyol.* 26: 1-7.
- Skov C., Aarestrup K., Sivebæk F., Pedersen S., Vrålstad T., Berg S. (2011). Non-indigenous signal crayfish *Pacifastacus leniusculus* are now common in Danish streams: preliminary status for national distribution and protective actions. *Biol. Invasions* 13: 1269-1274.
- Söderhäll K., 2006. Pathogens, parasites and ectocommensals. In: Souty-Grosset C., Holdich D.M., Noël P.Y., Reynolds J.D., Haffner P. (eds.), *Atlas of Crayfish in Europe*, Collection Patrimoines Naturels, 64. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris.
- Souty-Grosset C., Holdich D.M., Noël P.Y., Reynolds J.D., Haffner P. (eds.). (2006). *Atlas of Crayfish in Europe*. Collection Patrimoines naturels, 64. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris.
- Stebbing P.D., Watson G.J., Bentley M.G., Fraser D., Jennings R., Rusthonn S.P., Sibley P.J. (2004). Evaluation of the capacity of pheromones for control of invasive non-native crayfish: part 1. *English Nature Research Report No. 578*. English Nature, Peterborough.

**La collection « Les rencontres-synthèses »,
destinée à un public technique
ou intéressé, présente les principaux résultats
de séminaires organisés, ou co-organisés, par l'Onema.**

*Changement climatique :
impacts sur les milieux aquatiques
et conséquences pour la gestion (février et août 2010)*

*Les mésocosmes :
des outils pour les gestionnaires
de la qualité des milieux aquatiques ? (mars 2011)*

*Quel(s) rôle(s) pour les instruments économique
dans la gestion des ressources en eau en Europe ?
Enjeux politiques et questions de recherche (juin 2011)*

*Captages d'eau potable et pollutions diffuses :
quelles réponses opérationnelles à l'heure
des aires d'alimentation de captage «grenelle» ? (août 2011)*

*Plan de sauvegarde de l'anguille.
Quelles solutions pour optimiser la conception
et la gestion des ouvrages (novembre 2012)*

*Mise en oeuvre de la directive cadre sur l'eau.
Quand les services écosystémiques entrent en jeu (février 2013)*

*Bioindication :
des outils pour évaluer l'état écologique
des milieux aquatiques (avril 2013)*

*Biodiversité aquatique :
du diagnostic à la restauration (septembre 2013)*

*Les invasions d'écrevisses exotiques.
Impacts écologiques et pistes pour la gestion (octobre 2013)*

Rédaction

Laurent Basilico (journaliste),
Jean-Patrice Damien (PNR Brière),
Jean-Marc Roussel (Inra),
Nicolas Poulet (Onema)
et Jean-Marc Paillisson (CNRS)

Edition

Véronique Barre (Onema/Dast)
Jean-Marc Paillisson (CNRS)

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier
l'ensemble des intervenants et participants
pour leur contribution lors du colloque.
Merci également à tous ceux qui ont fourni
gracieusement des photos et illustrations.

ISBN : 979-10-91047-22-7

Création graphique : Inzemoon (06 75 24 19 30)
Réalisation : Bluelife (09 66 82 33 55)

Imprimé sur papier issu de forêts gérées durablement par :
IME

Octobre 2013
IMPRIMÉ EN FRANCE



