

**Claudia GERARD**, Maître de Conférences (hors classe, section 67), HDR

UMR Ecobio 6553, « Ecosystèmes, Biodiversité, Evolution »,  
Université de Rennes I, Campus de Beaulieu (Bât. 14, 2<sup>ème</sup> étage)  
Avenue du Général Leclerc 35042 Rennes cedex  
Tél. 02 23 23 50 37 ; Email. [claudia.gerard@univ-rennes1.fr](mailto:claudia.gerard@univ-rennes1.fr)



## RECHERCHE

### Ecotoxicologie aquatique – Ecologie parasitaire

#### I. Réponses des gastéropodes dulcicoles aux stress environnementaux

#### II. Communautés d'helminthes parasites chez les vertébrés aquatiques et implications en termes de biologie de la conservation et de bioindication

**Mots-clés** : interactions hôte-parasite, gastéropodes, trématodes, poissons, helminthes, qualité de l'eau, contraintes du milieu, pollution, cyanobactéries, communautés, populations, traits de vie.

Mes recherches s'inscrivent en écotoxicologie aquatique et en écologie parasitaire, disciplines en pleine expansion en raison de la dégradation de la qualité des milieux naturels et de la prise en considération du rôle des parasites dans les processus écosystémiques.

L'impact des stress environnementaux (e.g., parasitisme, contaminants, changements climatiques) sur l'équilibre et le fonctionnement des écosystèmes est étudié sur des modèles animaux représentatifs des milieux aquatiques (gastéropodes, poissons), à plusieurs niveaux d'organisation : depuis l'organisme jusqu'aux communautés, et via une double approche à la fois écosystémique et expérimentale.

### I. REPONSES DES GASTEROPODES DULCICOLES AUX STRESS ENVIRONNEMENTAUX

#### *Axe 1 - Suivi à long terme des interactions gastéropodes – trématodes – environnement en milieu naturel*

D'étroites relations spatiales et énergétiques unissent les trématodes parasites et leurs gastéropodes hôtes (cf. publications issues de la thèse de C. Gérard, 1993 et post-doctorales). Les connaissances expérimentales sur la pathologie de ces derniers font ressortir deux caractéristiques générales des associations gastéropodes-trématodes : le pouvoir castrateur des parasites vis-à-vis de leurs hôtes, et la mortalité induite par l'infection. A travers leur impact sur les traits démographiques des gastéropodes, les trématodes sont susceptibles d'influencer significativement les processus de régulation des populations et font partie des stress environnementaux auxquels sont exposés les organismes en milieu naturel.

#### • Dix ans de suivi de la communauté de gastéropodes de l'étang de Combourg (35)

Ce suivi à long terme a permis de comparer l'impact du parasitisme par les trématodes sur les gastéropodes à celui de la sécheresse et des proliférations de cyanobactéries toxiques (Gérard et al., 2008). L'étude montre la complexité et l'instabilité des interactions gastéropodes hôtes

- trématodes parasites à l'échelle de l'écosystème. De façon globale, la prévalence varie selon l'espèce de gastéropodes – *les espèces rares tendent à être très parasitées, alors que les espèces dominantes le sont peu ou pas* – et selon leur âge – *les juvéniles sont significativement moins souvent parasités que les adultes, en relation avec la probabilité croissante au cours de la vie d'être au contact de parasites infectants*. D'autre part, les trématodes n'affectent pas significativement la communauté de gastéropodes dans son ensemble (prévalence de 2.9%), même s'ils peuvent jouer un rôle régulateur sur les populations de gastéropodes dont le taux de parasitisme est élevé (prévalence mensuelle pouvant atteindre 100% pour certaines espèces hôtes).

Les importantes fluctuations temporelles des communautés de gastéropodes et de trématodes enregistrées pendant les 10 ans de suivi sont essentiellement liées aux perturbations qui touchent l'ensemble de la communauté de gastéropodes (instabilité du milieu dulcicole, dégradation de la qualité de l'eau). Nous avons ainsi montré que la sécheresse constitue ponctuellement un stress environnemental sévère qui entraîne la disparition de la quasi-totalité des gastéropodes, mais dont l'impact est limité en raison de la forte résilience de la communauté de gastéropodes. Au contraire, les proliférations récurrentes de cyanobactéries toxiques sont beaucoup plus délétères pour les gastéropodes dont l'intoxication aboutit au déclin de toute la communauté, en termes d'abondance et de richesse spécifique.

#### • Quatorze ans de suivi de la population de *Potamopyrgus antipodarum*, gastéropode invasif originaire de Nouvelle Zélande, dans le cours d'eau « Le petit Hermitage » (35)

Le succès des espèces invasives dans leur aire d'introduction peut s'expliquer, au moins en partie, par l'absence d'ennemis co-évolués (prédateurs, parasites), i.e., hypothèse de « Release Enemy » applicable au gastéropode invasif *P. antipodarum*. Celui-ci a néanmoins été trouvé parasité, et ce pour la première fois dans son aire d'introduction, par un trématode de la famille des Aporocotylidae et à une prévalence extrêmement faible ( $\leq 0.48\%$ ), quel que soit le site où le parasite est présent en Baie du Mont-St-Michel (Gérard et al., 2003 ; Gérard & Le Lannic, 2003 ; Gérard & Dussart, 2003). L'identification du parasite sur la base des séquences d'ADN montre qu'il s'agit d'une espèce introduite, également originaire de Nouvelle-Zélande (Gérard et al., 2017). Le suivi à long terme réalisé dans le cours d'eau « Le petit Hermitage » montre qu'après une croissance exponentielle de la population de *P. antipodarum* au début des années 2000, les fluctuations temporelles montrent un déclin de la population à partir de 2009 et jusqu'à la fin de l'étude en 2013 (Gérard et al., 2018). Ce déclin n'est pas lié au parasitisme dont la prévalence reste toujours extrêmement faible (0.09%), mais plutôt à une baisse significative de la température et de la profondeur du cours d'eau entre 2009 et 2012, et coïncide avec l'augmentation de l'abondance de Sphaeriidae, bivalves en compétition avec *P. antipodarum* pour les ressources spatiales et trophiques (Gérard et al., 2018).

## ***Axe 2 - Réponse des gastéropodes à la contamination du milieu par les cyanobactéries toxiques et les xénobiotiques***

### • Stress lié aux cyanobactéries toxiques

Les cyanobactéries prolifèrent dans les eaux douces eutrophes jusqu'à 2 ou 3 millions d'individus/ml d'eau (bloom) lorsque les conditions sont favorables (pendant l'été en région tempérée). Ces fortes densités entraînent très souvent des problèmes de santé publique liés à la production, par certaines souches, de toxines (e.g., hépatotoxines) libérées dans le milieu à leur mort. Les gastéropodes dulcicoles, qui sont le plus souvent herbivores-détritivores et

vivent dans ces eaux eutrophes, sont susceptibles de s'intoxiquer en consommant directement des cyanobactéries toxiques, mais aussi en absorbant des cyanotoxines dissoutes dans l'eau ou adsorbées sur diverses particules.

Le but de ces recherches, à la fois expérimentales et écosystémiques, est de mesurer l'impact des cyanobactéries toxiques sur les communautés de gastéropodes, d'identifier les organismes cibles susceptibles d'être des biomarqueurs de contamination des eaux douces par les cyanotoxines, et de prédire les risques de transfert de cyanotoxines dans les réseaux trophiques à partir des gastéropodes.

### **- Approche expérimentale**

L'impact d'une souche toxique de *Planktothrix agardhii* et de la microcystine-LR dissoute (respectivement l'une des espèces et l'une des hépatotoxines les plus communes) a été étudié sur les traits de vie des gastéropodes, et en termes de bioaccumulation de microcystines (MCs), via une approche expérimentale sur le prosobranchie introduit *Potamopyrgus antipodarum* (Caenogastropoda) et le pulmoné indigène *Lymnaea stagnalis* (Heterobranchia). De par leurs différences écophysiological, ces deux espèces modèles procurent une vision plus globale des modalités de réponses des gastéropodes à l'intoxication.

Nos expériences, dont certaines réalisées dans le cadre de la **thèse d'Emilie Lance**, mettent en évidence une réduction des traits de vie, en particulier de la fécondité, des gastéropodes intoxiqués qui s'accompagne de l'accumulation de MCs dans les tissus (Gérard & Poullain, 2005, Gérard et al., 2005, Lance et al., 2006, 2007, 2008, 2011). Elles montrent également la variabilité des réponses des gastéropodes aux cyanotoxines en fonction du mode d'intoxication (exposition à la MC-LR dissoute ou ingestion de cyanobactéries toxiques), de l'âge et de l'espèce de gastéropode. Par exemple, lorsque *L. stagnalis* est placée en milieu non toxique, la concentration de MCs diminue rapidement dans les tissus (90% en 3 semaines), mais la croissance et la fécondité restent inférieures à celles des témoins (Lance et al., 2007). Au contraire, la détoxification est totale chez *P. antipodarum* (100% en 3 semaines) et les effets négatifs sur les traits de vie disparaissent complètement (Lance et al., 2008).

Par ailleurs, de nouvelles technologies d'accès aux MCs dans les tissus des gastéropodes ont été mises au point en collaboration avec **Dr D. Dietrich & Dr B. Ernst** (Laboratoire de Toxicologie Environnementale, Université de Konstanz, **Allemagne**) et **Dr J. Meriluoto** (Laboratoire de Biochimie et de Pharmacologie, Université de Turku, **Finlande**). Les techniques classiques de dosage des MCs dans les tissus (test ELISA) ne prennent en compte que les toxines libres potentiellement éliminées lors des processus de détoxification, et non celles qui se lient de manière covalente et irréversible aux protéines phosphatases. La collaboration allemande a permis de révéler et de localiser précisément ces MCs covalentes par immunomarquage de coupes histologiques traitées aux anticorps « anti-MCs » (Lance et al., 2010a). La collaboration finlandaise a permis de les quantifier par des méthodes d'extraction et de dosage performantes de spectrométrie de masse (Liquid Chromatography-Electro Spray Ionization-Mass Spectrometry) (Lance et al., 2010b).

Des expériences utilisant ces nouvelles techniques de pointe ont été réalisées en collaboration avec **Didier Azam**, responsable de l'Unité Expérimentale d'Ecologie et Ecotoxicologie Aquatique (U3E **INRA**, Rennes), et ont permis de démontrer le transfert de MCs à des épinoches via la consommation de limnées intoxiquées, et d'en mesurer l'impact sur ces poissons (i.e., activité des enzymes de détoxification, histopathologie, ventilation branchiale, comportement) (Lance et al., 2014).

### **- Approche écosystémique**

Parallèlement à l'approche expérimentale, nous avons mesuré l'impact des cyanobactéries toxiques sur les communautés naturelles de mollusques incluant gastéropodes et bivalves, ainsi que l'accumulation de MCs dans leurs tissus (Gérard et al., 2009). La densité de cyanobactéries s'avère influencer significativement l'abondance relative des taxons de mollusques, les pulmonés constituant le taxon dominant dans les stations les plus contaminées par les cyanobactéries toxiques alors que les bivalves sont absents de ces stations. Les MCs sont détectées chez toutes les espèces de mollusques présentes, quels que soient la station, la période d'échantillonnage et l'âge des mollusques. Les concentrations les plus élevées sont observées chez les mollusques originaires des sites les plus (vs moins) contaminés, chez les adultes (vs juvéniles) et chez les pulmonés (vs bivalves et prosobranches) (Gérard et al., 2009).

Sur la base de ces résultats, un suivi mensuel a été réalisé pendant un an dans le lac de Grand Lieu le long d'un gradient de contamination par les cyanobactéries. Le suivi comprend des mesures de survie et l'établissement de la cinétique d'accumulation de MCs chez des gastéropodes d'élevage (*P. antipodarum* et *L. stagnalis*) placés dans des enclos grillagés, et parallèlement, l'étude des communautés naturelles de gastéropodes en termes de composition spécifique, abondance et accumulation de MCs. Une seule espèce, le pulmoné introduit et invasif *Physa acuta* (Heterobranchia), est présente dans toutes les stations et montre des variations d'abondance et d'accumulation de MCs en relation avec les proliférations de cyanobactéries ; elle apparaît comme un biomarqueur potentiel de contamination par les cyanotoxines (Lance et al., 2010c).

D'autres suivis sont prévus en milieu naturel afin de vérifier la réalité du transfert des MCs dans le réseau trophique via les différentes espèces de mollusques (rôle vecteur). Il s'agira de suivre la cinétique de bioaccumulation dans les différents compartiments successifs de la chaîne trophique incluant cyanobactéries, mollusques et prédateurs, et pouvant conduire à l'Homme. Ces recherches se placent dans un contexte de prévention des risques sanitaires, et ont pour but de prédire les risques de contamination des réseaux trophiques par les cyanotoxines à partir des mollusques.

#### • Exposition aux stress multiples

En milieu naturel, les organismes sont généralement exposés à de multiples stress (e.g., cocktail de toxines d'origine diverse). Les études au laboratoire impliquant des combinaisons de contaminants doivent ainsi être privilégiées dans un souci de représentativité des conditions naturelles, et afin de mieux comprendre les interactions entre les différents stress (antagonisme, synergisme) et les mécanismes de réponse des organismes exposés (Sulmon et al., 2015 pour revue).

C'est dans ce contexte que l'étude des réponses des gastéropodes aux xénobiotiques, initiée lors du programme Tranzat 2001-2003 sur l'atrazine (Blanc & Gérard, 2001 ; Gérard & Poullain, 2005), a repris en 2010 en collaboration avec **Prof. C. Wiegand** (Université du Danemark Sud - Odensee, **Chaire d'Excellence Agronomie, Environnement et Développement** (2010-2013) à l'Université Européenne de Bretagne) et via le **post-doctorat d'Emilie Lance** (2010-2012).

Les recherches développées portent sur les stratégies adaptatives de deux pulmonés, *Lymnaea stagnalis* (espèce indigène) et *Physa acuta* (espèce introduite et invasive), en réponse à deux contaminants, seuls ou combinés : le glyphosate et la microcystine. Les activités enzymatiques liées au stress oxydant (catalase) et à la biotransformation (conjugaison via glutathion-S-transferase) sont suivies dans les tissus des gastéropodes pendant l'intoxication (21 jours) puis la détoxification (14 jours), et diffèrent selon le contaminant et le type d'exposition (stress unique ou multiple) (Lance et al., 2016). Les

réponses des deux modèles sont comparées afin de voir si le succès de *P. acuta* peut être attribué à de meilleures capacités d'excrétion des pesticides et des cyanotoxines.

## **II. COMMUNAUTÉS D'HELMINTHES PARASITES CHEZ LES VERTEBRES AQUATIQUES ET IMPLICATIONS EN TERMES DE BIOLOGIE DE LA CONSERVATION ET DE BIOINDICATION**

En raison de leur capacité à évoluer rapidement et de leur rôle important dans les systèmes naturels et aquacoles, les parasites sont devenus un sujet d'étude privilégié en écologie évolutive et en biologie de la conservation. L'intérêt de réaliser des suivis parasitologiques chez les espèces hôtes est multiple dans la mesure où :

- i) la pathologie (plus ou moins discrète) induite par les parasites chez leurs hôtes entraîne une réduction de leur fitness et est susceptible de menacer leur survie,
- ii) les parasites constituent potentiellement des marqueurs naturels permettant par exemple de discriminer les stocks de poissons, de retracer les déplacements, et de mieux comprendre l'utilisation de l'habitat et l'écologie alimentaire,
- iii) la parasitofaune permet d'appréhender la qualité du milieu en tant qu'indicatrice de nombreux types de stress (e.g., pollution, changement global), reflétant ainsi l'état de santé des écosystèmes.

### ***Axe 1 – Biologie de la conservation : impact du parasitisme sur des espèces menacées de Vertébrés amphihalins (Pétromyzontides et Téléostéens)***

De plus en plus d'espèces aquatiques, parmi lesquelles les vertébrés migrateurs amphihalins (e.g., lamproie, anguille, alose), s'avèrent menacées en raison de la détérioration des milieux naturels liée aux activités anthropiques (e.g., perte et/ou fragmentation d'habitat, surexploitation, contaminants). Même si l'impact du parasitisme sur ces espèces est généralement mal connu, le parasitisme est susceptible d'accroître cette menace, en particulier en milieu pollué. Dans ce contexte, afin de mieux comprendre la dynamique des populations de migrateurs, et par suite pour mieux les préserver, il importe de mieux connaître l'impact des parasites sur leurs hôtes et les interactions de ces associations hôtes-parasites avec les facteurs environnementaux.

Dans le cadre du **programme Européen EELIAD** (2008-2012) et du **programme national Natura 2000** (2010-2013), les communautés de métazoaires parasites ont été étudiées chez plusieurs modèles de vertébrés amphihalins qui suscitent des inquiétudes quant à leur conservation à long terme en Europe (UICN Red List Status) : la lamproie marine *Petromyzon marinus* et les téléostéens *Anguilla anguilla*, *Alosa alosa* et *Alosa fallax* (Gérard et al., 2013, 2015, 2016, 2017 soumise).

Contrairement à la lamproie marine qui s'avère exceptionnellement parasitée, aussi bien en Europe où elle est vulnérable qu'aux Etats-Unis où elle est considérée comme nuisible (Gérard et al., 2015), les trois espèces de téléostéens amphihalins sont très parasitées, i.e., à 89% pour l'anguille européenne (Gérard et al., 2013) et à 100% pour les aloses (Gérard et al., 2017 soumise).

L'indice de condition est utilisé comme mesure de la fitness pour évaluer la contrainte parasitaire exercée par les métazoaires parasites sur leur hôte. Parmi les 13 espèces de métazoaires enregistrées chez des anguilles argentées provenant de 5 sites d'Europe du Nord, le monogène *Pseudodactylogyrus* sp. et le nématode *Anguillicoloides crassus*, tous deux introduits, se révèlent très pathogènes pour l'anguille (Gérard et al., 2013). L'indice de condition des anguilles et la composition des communautés parasitaires diffèrent selon les



sites, suggérant que les anguilles originaires de Gudena (Danemark) et Corrib (Irlande), et dans une moindre mesure du Frémur (France), ne sont pas capables d'atteindre les sites de reproduction en raison d'une perte importante de fitness liée au parasitisme (Gérard et al., 2013). Au contraire, les anguilles de Stockholm (Suède) et Burrishoole (Irlande) semblent les plus susceptibles de parvenir en mer des Sargasses pour s'y reproduire et participer au pool génétique de la population (Gérard et al., 2013).

Concernant les aloses provenant des eaux côtières de l'Atlantique Nord-Est et des rivières françaises qui leur sont connectées, deux espèces de trématodes s'avèrent particulièrement pathogènes parmi les 12 taxons de métazoaires parasites enregistrés, respectivement *Hemiurus appendiculatus* pour la grande alose et *Pronoprymna ventricosa* pour l'alose feinte (Gérard et al., 2017 soumise).

## ***Axe 2 – Utilisation des espèces d'helminthes parasites comme bioindicateurs de l'écologie et de la biologie des poissons migrateurs***

Le principe de base sur lequel s'appuie l'utilisation des parasites comme marqueurs biologiques dans les études de populations animales est qu'un hôte devient parasité seulement quand il est dans l'aire endémique de ce parasite (i.e., région géographique aux conditions environnementales favorables à la transmission du parasite et à la réalisation de son cycle de vie). Si un hôte est trouvé parasité en dehors de l'aire endémique du parasite, c'est qu'il est passé dans celle-ci auparavant. Certaines espèces de parasites s'avèrent ainsi de plus en plus utilisées comme biomarqueurs pour discriminer les stocks de poissons voire identifier les hybrides, et retracer les flux migratoires. D'autre part, lorsque les parasites sont transmis à leur hôte par voie trophique comme c'est le cas pour de nombreux helminthes, ils permettent de compléter les données sur le régime alimentaire de leur hôte et l'écologie de la nutrition.

Dans ce contexte, le projet développé avec **Prof. Christine Dupuy & Prof. Paco Bustamante de l'UMR LIENS** (Université de La Rochelle) porte sur le parasitisme de deux espèces de petits pélagiques, la sardine *Sardinus pilchardus* et l'anchois *Engraulis encrasicolus*, comme indicateur à la fois des flux migratoires au sein des populations du Golfe de Gascogne et du régime alimentaire. En parallèle, une étude complémentaire sur les relations proie-prédateur basée sur les isotopes stables est réalisée afin de comparer l'utilité et l'efficacité de deux types de marqueurs, helminthes parasites et isotopes stables. Dans le cadre de ce projet, un master 2 « Zoonoses et Environnement » (Alexandre Audras, 2014) et une thèse (Aurélié Dessier, 2012-2016) ont été soutenus. Les résultats sont en cours d'exploitation.

Les parasites peuvent aussi discriminer des espèces hôtes très proches phylogénétiquement, et/ou souligner les fortes ressemblances écophysiologiques entre espèces hôtes. Les études parasitologiques menées dans le cadre du **programme national Natura 2000** (2010-2013) ont permis de comparer les communautés de métazoaires parasites des deux espèces d'alose, *Alosa alosa* et *Alosa fallax*, pour lesquelles l'hybridation a été démontrée. Quels que soient l'espèce d'alose, l'origine des aloses (mer vs rivière), le site de pêche, le sexe et l'âge (juvénile vs adulte), la composition des communautés parasitaires est stable et la grande majorité des métazoaires parasites sont des helminthes hétéroxènes, transmis par voie trophique. La parasitofaune reflète le régime alimentaire opportuniste et euryphage de *A. alosa* et *A. fallax*, aussi bien dans le cas des juvéniles que des adultes. Six espèces parasites sont communes aux deux espèces d'alose parmi les 9 espèces parasites qu'héberge chaque espèce d'alose, mettant en évidence de fortes ressemblances du cycle de vie, du régime alimentaire et des milieux fréquentés en mer et en rivière par *A. alosa* et *A. fallax* (Gérard et al., 2015, 2017). L'analyse fine des résultats de l'étude parasitologique révèle également

quelques différences dans les préférences alimentaires des deux aloses, avec des conséquences en termes de pathologie induite par les parasites (Gérard et al., 2017).

### ***Axe 3 – Les communautés d’helminthes parasites, reflet de l’état de santé des écosystèmes : l’exemple du Golfe de Gascogne***

On considère qu’un écosystème en bonne santé héberge une importante diversité de parasites, en particulier de parasites hétéroxènes tels que la plupart des helminthes qui : i) nécessitent différentes espèces d’organismes libres (hôtes intermédiaires et définitifs) pour réaliser leur cycle de vie, et ii) dont les stades libres sont directement exposés aux stress environnementaux.

Dans le cadre de la collaboration avec **Prof. Christine Dupuy & Prof. Paco Bustamante de l’UMR LIENS** (Université de La Rochelle) et de la **thèse d’Aurélié Dessier**, l’étude parasitologique des sardines et les anchois pêchés dans les eaux côtières et pélagiques du Golfe de Gascogne a révélé, de façon surprenante, une très faible diversité parasitaire (trois espèces de nématodes Ascaridoidea) par comparaison à la riche parasitofaune décrite dans la littérature, i.e., respectivement 39 et 15 taxons de métazoaires parasites chez la sardine et de l’anchois (Dessier et al., 2016). L’absence de nombreuses espèces de parasites, en particulier d’helminthes hétéroxènes, attendues chez les deux petits pélagiques du Golfe de Gascogne témoigne de conditions environnementales défavorables et de l’absence de nombreuses espèces d’hôtes intermédiaires et/ou définitifs (Dessier et al., 2016). Ces résultats suggèrent une baisse de la biodiversité animale et/ou une modification de celle-ci dans le Golfe de Gascogne (Dessier et al., 2016). Ils confirment l’utilisation potentielle des parasites comme bioindicateurs de la santé des écosystèmes, la dégradation des écosystèmes côtiers et pélagiques du Golfe de Gascogne ayant été avérée par plusieurs investigations à long terme qui montrent une intensification des contraintes environnementales, en particulier liées aux activités humaines (surpêche, pollution) et aux changements océano-climatiques (réchauffement de l’eau, stratification accrue).