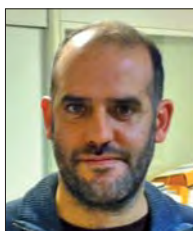




Accumulation de métaux traces et biodisponibilité dans le bassin de l'Ulla (nord-ouest de l'Espagne) : évaluation des effets potentiels sur la moule perlière

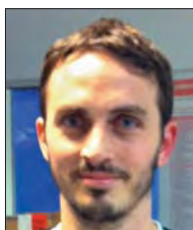
Juan ANTELO, Manuel SUÁREZ-ABELENDIA, Cristina PASTORIZA, Jesús BARRAL, Paz ONDINA, Adolfo OUTEIRO, Sabela LOIS & Juan Manuel ANTELO



J. Antelo

D. Arán

Comme de nombreuses espèces menacées, les bivalves unionoïdes subissent une sévère extinction. En raison de leur sensibilité au stress de l'écosystème, beaucoup d'entre elles sont considérées comme des espèces bio-indicatrices. La *Margaritifera margaritifera* sérieusement menacée en est un bel exemple. Filtreur benthique, sédentaire et à la longue durée de vie, la moule perlière d'eau douce est extrêmement sensible à la contamination d'origine anthropique et à la présence de métaux traces dans les eaux de surface et les sédiments.



M. Suarez

D. Arán



P. Ondina



A. Outeiro



S. Lois

Université de Saint-Jacques-de-compostelle

Afin d'évaluer l'accumulation et la mobilité des métaux traces (cuivre Cu, zinc Zn, nickel Ni, chrome Cr, cadmium Cd et arsenic As) dans le bassin de la rivière Ulla, la mesure de leur teneur a été réalisée et les facteurs d'enrichissement ont été calculés pour contrôler l'influence anthropique sur la présence de métaux traces

dans les sédiments fluviaux. Les résultats observés montrent une accumulation de métaux traces dans la partie inférieure du bassin, avec les plus grandes concentrations de Cu, Zn et As présents dans les sites affectés par un drainage minier acide¹. Les résultats statistiques ont montré une corrélation négative entre la distribution des

¹ - Drainage minier acide : un drainage minier acide est une solution minérale acide qui s'écoule régulièrement en conséquence de certains types de mines ou de stockage de déchets miniers. Il contribue localement au phénomène global d'acidification des eaux douces constaté depuis plusieurs décennies à grande échelle.

métaux traces dans le bassin de la rivière et l'abondance de l'espèce. En outre, la mulette perlière d'eau douce a été statistiquement constatée absente ou peu présente lorsque les sédiments contenaient les plus grandes teneurs en Cu, Zn, Ni et As. Ces derniers agiraient en synergie et affecteraient la survie de l'espèce.

Introduction

Les populations de *M. margaritifera* ont connu un recul ou ont disparu au cours des dernières décennies. Un grand nombre d'entre elles se sont avérées incapables de se reproduire avec succès (Young *et al.*, 2001). En Europe, la mulette perlière est actuellement classée comme « sérieusement menacée » (Cuttelod *et al.*, 2011) ou « menacée » selon l'Union internationale pour la conservation de la nature. Différents types d'impacts, tels que le changement climatique, l'introduction d'espèces invasives, l'eutrophisation, l'altération de l'habitat, ou le déclin des populations de salmonidés hôtes, ont été considérés comme déclencheurs de la diminution de la population (Österling *et al.*, 2010). Les mulettes perlières d'eau douce sont considérées comme très sensibles à l'augmentation des métaux traces dans les sédiments, en conséquence d'une longue vie sédentaire en contact direct avec le substrat (Farris & Van Hassel, 2007).

Les sédiments du lit de la rivière sont d'importants entonnoirs et transporteurs de métaux dans les systèmes aquatiques, avec 99 % des polluants stockés dans ces sédiments tout au long du cycle hydrologique (Filgueiras *et al.*, 2004). La concentration des métaux traces accumulés dépend de leur flux en provenance des bassins versants, de la minéralogie, de la granulométrie et des propriétés physico-chimiques. Toutefois, le contenu des métaux traces dans les sédiments détermine non seulement la survie, mais aussi la mobilité biogéochimique et la disponibilité de ces métaux.

La présente étude a été pensée sur le long terme pour tenter de décrire la relation probable entre la teneur en oligo-éléments dans les sédiments de la rivière et l'abondance de populations de mulette perlière d'eau douce. La teneur totale en métaux traces et en arsenic (considéré comme un facteur déterminant *a priori* sur le déclin de la mulette perlière) a été déterminée pour évaluer l'accumulation dans les sédiments. L'extraction séquentielle chimique a été réalisée afin d'analyser leur mobilité et leur disponibilité potentielle. L'analyse statistique multivariée a aidé dans l'interprétation de l'ensemble des données relatives au métal concernant

leur distribution le long de la rivière et leurs effets sur la population de *M. margaritifera*.

Matériaux et méthodes

La rivière Ulla est le deuxième bassin de Galice (nord-ouest de l'Espagne) avec une extension totale de 2 764 km². Plusieurs zones du bassin de la rivière sont incluses dans le réseau de zones spéciales de conservation (ZSC) selon la directive de l'Union européenne 92/43/EEC, dans le but d'assurer la survie à long terme des espèces et des habitats menacés. Trente-neuf échantillons de sédiments de surface (0-15 cm) du bassin Ulla ont été recueillis entre mai et septembre 2012. Ces échantillons ont été séchés à l'air pendant 8 à 10 jours et tamisés en vue de recueillir la fraction < 63 µm, qui a été utilisée pour l'analyse chimique et l'extraction séquentielle. La concentration totale en métaux traces, déterminée par la déstructuration assistée par micro-ondes et par les échantillons digérés, a été analysée par ICP-OES. L'extraction séquentielle BCR (Ure *et al.*, 1993) a été réalisée pour obtenir des informations sur la spéciation des métaux dans les sédiments. Cette extraction détermine sélectivement les métaux associés aux carbonates ou métaux échangeables (BCR-1), les métaux liés au fer amorphe et aux oxydes de manganèse (BCR-2), les métaux associés aux sulfures ou matières organiques (BCR-3) et les métaux liés aux matériaux géologiques (BCR-4).

Lors d'une étude précédente, la population et la densité de *M. margaritifera* de la rivière Ulla et ses affluents ont pu être estimées en divisant le cours d'eau en sections de 1 km de long (Lois *et al.*, 2014). Pour chaque section, plusieurs tronçons de 50 m de longueur ont été échantillonnés à l'aide d'aquascopes ou de plongée en apnée. Des individus visibles ont pu être comptés et un creusement superficiel (15 cm de profondeur) a été réalisé afin de rechercher des jeunes mulettes. La densité du transect a été calculée telle que décrite par Krebs (Krebs, 1999).

Résultats et discussion

Distribution des populations de mulette perlière dans le bassin de l'Ulla

Les résultats obtenus grâce aux transects étudiés montrent une distribution irrégulière de *M. margaritifera* qui permet de

différencier les zones. Dans le bassin supérieur, y compris dans le cours supérieur des rivières Ulla et Arnego, les plaques de *M. margaritifera* s'étendent sur plusieurs kilomètres avec une distribution plus ou moins continue, et une absence remarquée à proximité du réservoir de Portodemouros, barrage situé au milieu du bassin fluvial. Dans la rivière Arnego, cette espèce atteint son abondance maximale avec des densités allant jusqu'à 8,90 individus/m² et une population qui est estimée à 14 085 spécimens. Cependant, la faible représentativité des jeunes dans la structure d'âge indique un état critique de conservation de la population.

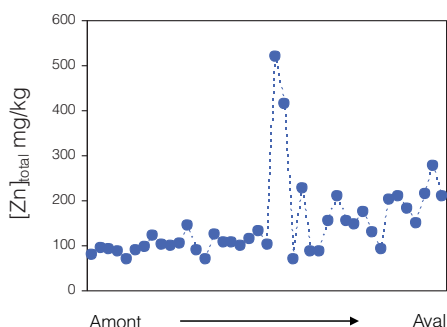
En aval, certaines populations de *M. margaritifera* ont restreint leur aire de répartition et leur nombre d'individus. Dans la rivière Deza et la partie inférieure de la rivière Ulla, la distribution des espèces se compose de spécimens isolés et/ou de plaques de faible densité largement éloignées les unes des autres. L'estimation de la population de la rivière Deza est

de 75 individus et celle des cours moyen et inférieur de la rivière Ulla est de 161 individus (Lois *et al.*, 2014). En outre, la rivière Deza souffre également du vieillissement de sa population, avec 65 % des spécimens âgés de plus de 50 ans et des individus de moins de 5 ans qui restent introuvables.

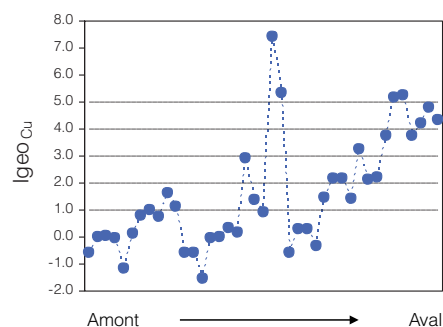
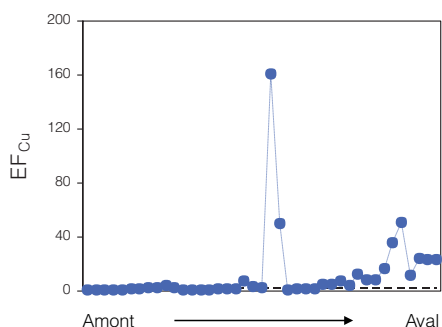
Variation spatiale des métaux et indices géochimiques

La concentration totale des principaux éléments (fer Fe, aluminium Al) a montré moins de variations dans le bassin fluvial par opposition à la distribution des oligo-éléments (Cu, Ni, Zn, Cr, Cd, et As) qui ont tendance à s'accumuler en aval [1]. Les plus hauts niveaux de métaux traces (hors Cr) se trouvent dans les échantillons prélevés sur les sites touchés par les activités minières (cuivre, étain Sn et tungstène W). Les résultats obtenus suggèrent que l'accumulation de métaux traces dans les sédiments pourrait être causée par les rejets de drainage minier acide.

L'accumulation des oligo-éléments se trouvant le long du bassin de l'Ulla est évaluée à l'aide du facteur d'enrichissement (EF) et de l'indice de géo-accumulation (Igeo). Les deux indices fournissent une normalisation de la concentration de métal (en utilisant Al en tant qu'élément de normalisation) et sont largement utilisés pour séparer les apports naturels et anthropiques. À titre d'exemple, la Figure 2 montre les valeurs calculées EF et Igeo pour Cu le long du bassin fluvial [2]. Généralement, les valeurs EF et Igeo déterminent une accumulation modérée à fortement modérée de Cr et Ni dans les parties supérieures (attribuée à la présence de minéraux renfermant du Cr et du Ni). Quant à Cu,



[1] Variation spatiale du zinc (Zn) dans le lit du bassin fluvial de la rivière Ulla



[2] Valeurs du facteur d'enrichissement (EF) et de l'indice géo-accumulation (Igeo) pour le cuivre (Cu) le long du bassin fluvial

Ni, Zn et Cd, leur accumulation est accentuée (de modérée à fortement modérée) dans les cours d'eau situés à proximité de la mine de cuivre et à la confluence avec la rivière Ulla. En outre, l'indice I_{geo} détermine une accumulation d'As faible (voire inexistante) dans les sédiments, alors que l'accumulation modérée est déterminée par EF à la confluence de la mine d'étain et de tungstène.

Spéciation des oligo-éléments

La teneur totale, en elle-même, n'explique pas complètement l'éventuelle interaction métallique sur la population de moule perlière étudiée. La mobilité, la biodisponibilité et la toxicité des métaux traces dans les systèmes naturels dépendent fortement de leur forme chimique spécifique et de leurs associations avec les minéraux et fractions organiques.

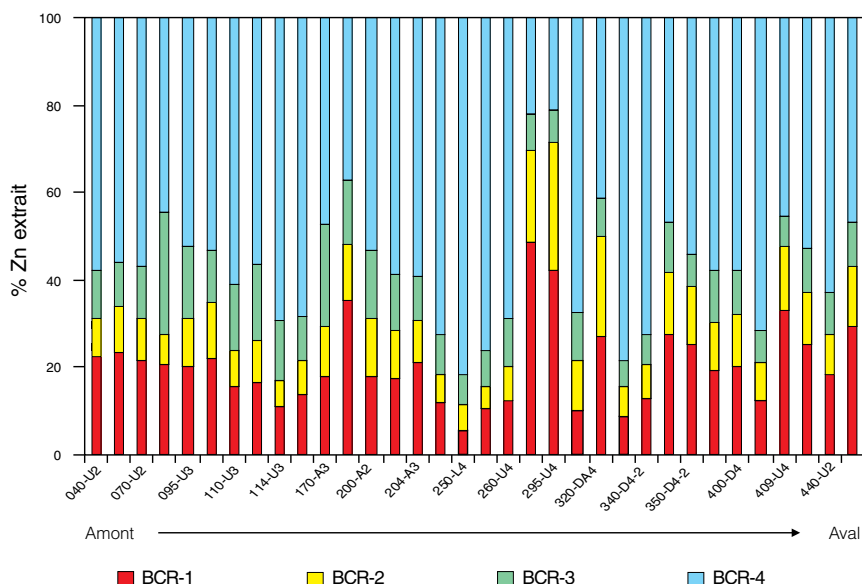
La fraction résiduelle (BCR-4), affectée aux matériaux lithologiques, prédomine pour Fe, Al et Cr dans la plupart des échantillons contenant plus de 80 % de la concentration totale. Ni, Zn, Cu et Mn présentent des contributions plus importantes dans les fractions les plus mobiles (BCR-1 et BCR-2, attribuées à la présence respective de carbonates et d'oxydes amorphes), et soulignent la mobilité relativement élevée et la biodisponibilité potentielle de ces éléments. Les changements dans les conditions physico-chi-

miques du substrat, comme l'acidification ou les changements dans le potentiel redox, peuvent libérer des quantités significatives de ces oligo-éléments dans le système aquatique. La fraction liée à la matière organique (BCR-3) est importante notamment pour Cu mais également pour Ni et Zn [3]. Ceci est en accord avec l'affinité que présentent les métaux traces pour la matière organique et indique une mobilité inférieure.

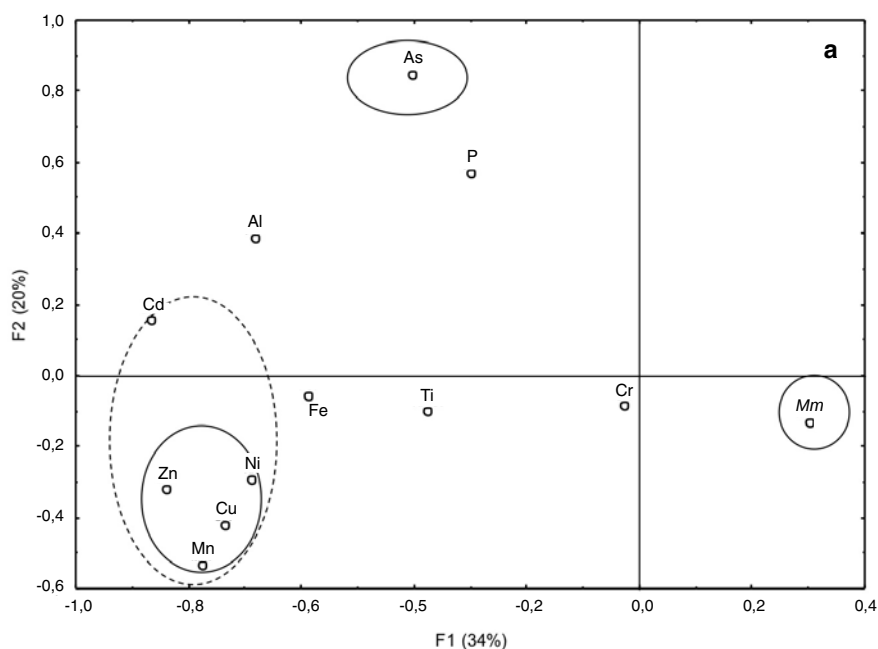
Analyse statistique

L'analyse de variances a été utilisée pour distinguer les différences dans la taille des grains, le COT (carbone organique total) et la teneur en métaux (y compris les concentrations BCR et totales) entre les régions définies du bassin de la rivière. L'analyse factorielle fournit une meilleure étude détaillée sur la répartition des oligo-éléments dans le bassin de la rivière et sur le comportement de la population *M. margaritifera* en réponse à l'accumulation de tels éléments.

En conséquence, la saturation factorielle indique une contraposition claire entre l'abondance de *M. margaritifera* et de fortes concentrations d'oligo-éléments (à l'exclusion du Cr), et cela en accord avec les résultats de l'analyse de variance où l'on constate une corrélation négative entre la population de bivalves et les métaux associés aux oxydes amorphes et aux



[3] Distribution du zinc (Zn) dans les différentes phases géochimiques de sédiments de la rivière Ulla



[4] Projection des saturations du facteur dans l'espace F1 F2

matières organiques [4]. L'information combinée entre la saturation factorielle et les poids factoriels indique que les sites servant à l'échantillonnage, dans les parties supérieures des rivières Arnego et Ulla, bénéficient de la plus grande abondance de *M. margaritifera* et des plus petites quantités de métaux traces (à l'exclusion du Cr, qui est surtout présent dans la fraction BCR-4). En outre, les sites de la partie inférieure du bassin montrent une densité de bivalves plus faible et une accumulation d'oligo-éléments dans les sédiments plus élevée.

Conclusions

La présente étude offre quelques indications d'une probable conséquence de la présence d'une concentration supérieure aux niveaux critiques en métaux dans les sédiments de la rivière sur l'abondance des *M. margaritifera*. La survie de la population de *M. margaritifera* n'est pas directement concernée par la teneur en métaux traces dans les sédiments, mais par le degré de mobilité et de disponibilité potentielles de ces métaux. Le déclin de la population de *M. margaritifera* ne doit pas être exclusivement imputable

aux accumulations d'oligo-éléments, puisque d'autres causes doivent être sous-jacentes. La *M. margaritifera* est un bon indicateur de la qualité de l'environnement, du lit du cours d'eau et des eaux de surface, qui met en lumière la meilleure préservation des parties supérieures du bassin étudié. ■

Bibliographie

- CUTTELOD A., SEDDEN M. & NEUBERT E. 2011 – *European red list of non-marine molluscs*. Luxembourg Publications office of the European Union, Luxembourg, 96 p.
- FARRIS J.L. & VAN HASSEL J.H. 2007 – *Freshwater bivalve ecotoxicology*. CRC Press, Boca Raton, 375 p.
- FILGUEIRAS A.V., LAVILLA I. & BENDICHO C. 2004 – Evaluation of distribution, mobility and binding behaviour of heavy metals in surficial sediments of Louro River (Galicia, Spain) using chemometric analysis: A case study. *Science of Total Environment*, 330, pp. 115-129.
- KREBS C.J. 1999 – *Ecological methodology*, 2nd edition. Addison-Wesley Educational Publishers Inc., Menlo Park, Californie, États-Unis d'Amérique, 620 p.
- LOIS S., ONDINA P., OUTEIRO A., AMARO R. & SAN MIGUEL E. 2014 – The north-west of the Iberian Peninsula is crucial for conser-

vation of *Margaritifera margaritifera* (L.) in Europe. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 24, pp. 35-47.

ÖSTERLING M., ARVIDSSON B. & GREENBERG L. – 2010. Habitat degradation and the decline of the threatened mussel *Margaritifera margaritifera*: influence of turbidity and sedimentation on the mussel and its host. *Journal of Applied Ecology*, 47, pp. 759-768.

URE A.M., QUEVAUVILLER P., MUNTAU H. & GRIEPINK B. 1993 – Speciation of heavy metals in soils and sediments. An account of the improvement and harmonization of extraction techniques undertaken under the auspices of the BCR of the Commission of the European Communities. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 51, pp. 135-151.

YOUNG M.R., COSGROVE P.J. & HASTIE L.C. 2001 – The extent of, and causes for, the decline of a highly threatened naiad: *Margaritifera mar-*

garitifera. In Bauer G. & Wächtler K. (eds.), *Ecology and evolution of the freshwater mussels unionoida*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 337-358.

Juan ANTELO & Manuel SUÁREZ-ABELEND : Département de Pédologie et chimie agricole, Université de Saint-Jacques-de-Compostelle, Espagne
juan.antelo@usc.es

Cristina PASTORIZA, Jesús BARRAL & Juan Manuel ANTELO : Département de Physique-chimie, Université de Saint-Jacques-de-Compostelle, Espagne

Paz ONDINA, Adolfo OUTEIRO & Sabela LOIS : Département de Zoologie, Université de Saint-Jacques-de-Compostelle, Espagne
mapaz.ondina@usc.es
