

ÉCOLOGIE TROPHIQUE DES CRUSTACÉS ET POLLUTION PAR LE MERCURE DANS UN ÉTANG SAUMÂTRE MÉDITERRANÉEN (SANTA GILLA, SARDAIGNE).

par

M. Porcu (1) et M.L. Tagliasacchi Masala (2)
Université de Cagliari

Résumé

Les auteurs examinent différentes espèces d'Hydrophytes et de Crustacés du méso- et du macrobenthos présentes dans un étang saumâtre du littoral de la Sardaigne, pollué par des métaux lourds. Ils étudient les bio-concentrations et les facteurs de transfert du mercure tout le long des deux premiers anneaux de la principale chaîne trophique du benthos, compte tenu de la concentration de cet élément dans les sédiments. Ils effectuent une série d'expériences de laboratoire sur l'éthologie alimentaire et sur la biologie de *Gammarus aequicauda*, suivies de tests sur le transfert du mercure contenu dans deux aliments de ce Crustacé. En outre, des hypothèses sont formulées sur l'apport non uniforme de composés solubles par le sédiment riche en sulfure de mercure de différents secteurs de l'étang.

Le problème

Le transfert des composés solubles de métaux lourds des producteurs primaires aux consommateurs et le rapport entre les concentrations environnement-organismes constituent un aspect important dans les recherches sur la pollution des biotopes marins et lagunaires.

Cette étude s'intéresse aux rapports entre la concentration du mercure dans le sédiment et dans les organismes benthiques (végétaux chlorophylliens et Crustacés typiquement phytophages) d'un environnement lagunaire, plus sélectif par rapport à un environnement marin analogue, où les espèces appartenant aux différents niveaux du réseau trophique sont donc moins nombreuses.

Nous avons choisi un étang saumâtre du littoral, celui de Santa Gilla (Fig. 1), près de Cagliari, où d'importants phénomènes de bio-accumulation se produisent surtout au niveau des consommateurs secondaires et tertiaires (Capone *et al.*, 1976; Cottiglia *et al.*, 1977).

Cet étang a une superficie d'environ 14 km² (Cottiglia *et al.*, 1973) et il reçoit des eaux fluviales, des effluents urbains, des écou-

(1) Institut de Chimie pharmaceutique et toxicologique.

(2) Institut de Zoologie et Anatomie Comparée.

lements industriels et des eaux agricoles. Le grau a une étendue d'environ 140 m, sa profondeur atteint un maximum de 2,5 m, mais la moyenne est d'à peu près 1 m. Le fond est pour la plus grande partie vaseux; cependant, depuis quelques années, le développement intense du Polychète tubicole *Mercierella enigmatica* Fauvel a introduit dans l'étang une quantité considérable de substrats cohérents capables d'empêcher partiellement l'échange hydraulique et de modifier le taux de sédimentation.

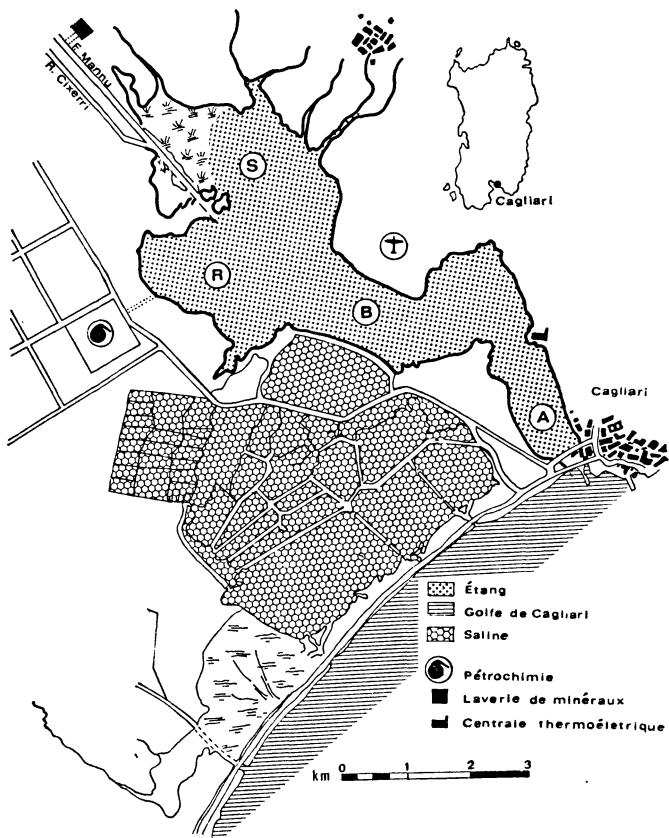


FIG. 1
Etang de Santa Gilla.

La figure 2 met en évidence les amples variations saisonnières de quelques-uns des paramètres ambients.

L'influence de la marée n'intéresse qu'une zone de 4 km² près de la mer. Puisque l'étang a un axe N.O.-S.E., il est battu par les vents du IV cadran qui en influencent donc l'oxygénation, l'échange hydraulique et le trouble.

La plupart des métaux lourds toxiques proviennent d'une laverie de minéraux et d'une industrie pétrochimique (Fig. 1). Si la première jette dans le cours d'eau tributaire Mannu ses écoulements

contenant du plomb, du zinc, du chrome, la deuxième les jette directement dans l'étang et y introduit surtout du Hg^o et du HgS.

C'est donc pour cette raison que les concentrations de ces métaux ont atteint dans les vases du fond des valeurs considérables (Fig. 3).

FIG. 2a

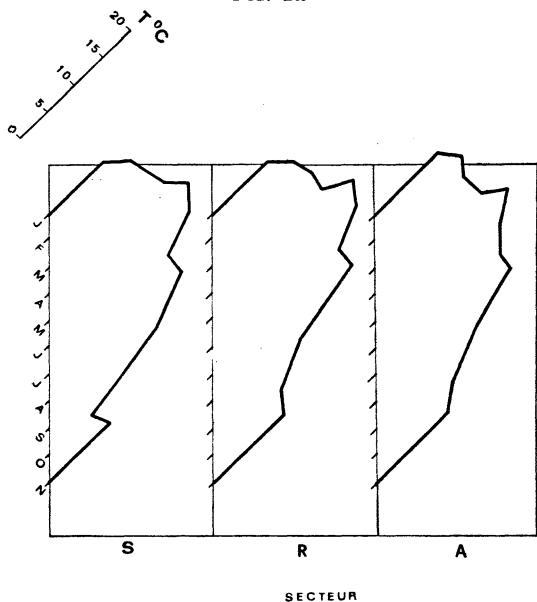


FIG. 2b

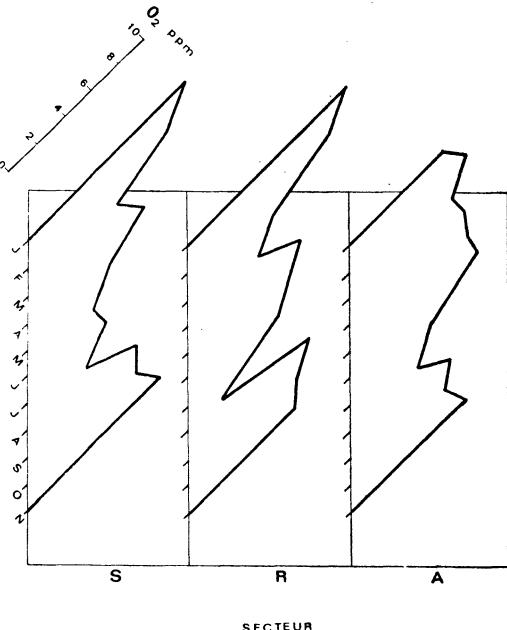


FIG. 2c

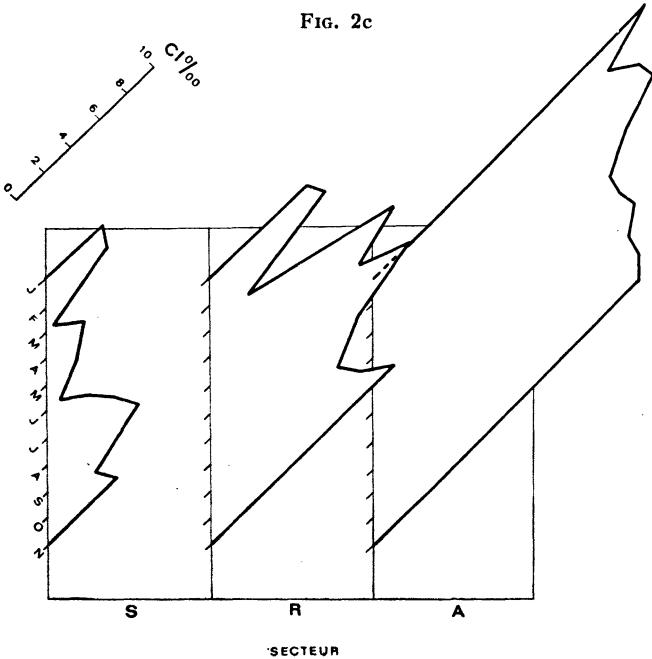


FIG. 2a, b, c
Cours saisonniers des principaux paramètres mésologiques.

Matériel et méthodes

Parmi les organismes constituant les niveaux inférieurs des réseaux trophiques, nous avons choisi, comme on l'a déjà dit, des algues macroscopiques, des hydrophytes vasculaires et des Crustacés, pour la plupart herbivores et détritivores (Ostracodes, Isopodes et Amphipodes).

Ces Crustacés ont été prélevés et échantillonnés suivant des techniques décrites ailleurs (Capone *et al.*, 1983).

La concentration différentielle du Hg dans les vases a permis de subdiviser l'étang en quatre secteurs (Fig. 1-3) à savoir :

Secteur A, c'est le secteur qui communique le mieux avec la mer et qui présente, dans les sédiments, les concentrations les plus basses de Hg (de <3 à 5 ppm de Hg total, poids sec);

Secteur B, avec des valeurs moyennes (de <3 à 20 ppm);

Secteur R, avec les concentrations maximales (de <3 à 200 ppm);

Secteur S, intéressé surtout par la présence de plomb, de chrome et d'autres métaux, avec une concentration de Hg peu importante (de <3 à 10 ppm).

Le mercure total a été déterminé par spectrophotométrie à absorption atomique (spectrophotomètre A.A. Perkin Elmer mod. 503) sans flammes, selon le procédé de Hatch et Ott (1968) et par la méthode des adjonctions, sur les échantillons préalablement soumis à digestion en mélange soufre-nitrique.

RÉSULTATS

a) Macrophytes benthiques

Les principaux genres de macrophytes benthiques recueillis dans l'étang sont :

Thallophyta

Chlorophyta : *Ulva*, *Enteromorpha*, *Cladophora* et *Chaetomorpha*.

Rhodophyta : *Gracilaria* et *Polysiphonia*.

Cormophyta

Potamogetonaceae : *Ruppia*.

Le recouvrement végétal le plus étendu se trouve dans la partie moyenne et haute de la lagune où, toutefois, il se raréfie juste à proximité des écoulements industriels. La distribution des espèces présente une certaine uniformité; dans le secteur A, *Ruppia spiralis* Dum., *Chaetomorpha linum* (Müller) Kütz et *Cladophora* spp. tendent à s'espacer à cause de la présence des courants dus aux vents de N.O. et à la marée.

La dérive des pleustophytes a posé des problèmes pour la localisation originale des échantillons et bien que nous ayons toujours essayé de recueillir des exemplaires fixés au substrat, on ne peut pas exclure, pourtant, la récolte de quelques individus réinstallés même mécaniquement.

Il résulte du tableau 1 que la plus importante bio-accumulation s'est produite dans *Gracilaria verrucosa* (Huds.), tandis que la seule

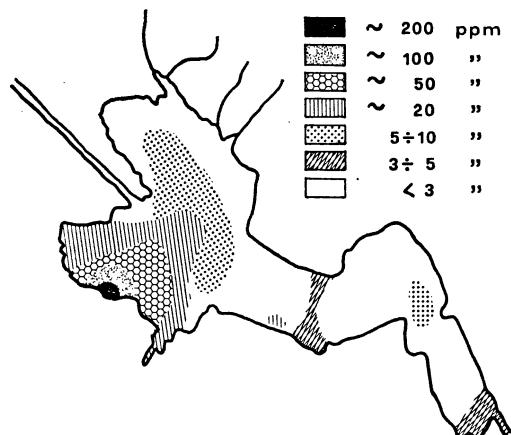


FIG. 3

Concentration de Hg total (ppm/poids sec) dans les sédiments de l'étang de Santa Gilla.

Phanérogame réellement représentative comme biomasse, *Ruppia spiralis* Dum., même dans la zone la plus polluée, s'est révélée une modeste accumulatrice, surtout au niveau de l'appareil foliaire.

Quoique la plus grande partie du mercure contenu dans les sédiments se présente sous forme de sulfure très peu soluble ($K_{ps} = 10^{-54}$) et, donc, non immédiatement disponible pour la bio-accumulation, pour obtenir un rapport, même à titre indicatif, cause/effet, on a mentionné dans le tableau 2 les valeurs des facteurs de transfert entre les sédiments et les organismes.

b) Crustacés du méso- et macrobenthos

Dans l'étang ont été recueillies les espèces suivantes :

OSTRACODA : *Loxoconcha elliptica* Brady dominante, suivie par la moins commune *L. gauthieri* Klie, par les rares *Xestoleberis aurantia* (Baird), *Cyprideis litoralis* (Brady) et *Leptocythere pellucida* (G.O. Sars).

ISOPODA : *Sphaeroma hookeri* Leach dominante, *S. serratum* Fabr., *Idothea chelipes* (Pall.) et *Cyathura carinata* (Kr.).

AMPHIPODA : *Gammarus aequicauda* (Martynov) dominante, *G. insensibilis* Stock, *Melita palmata* (Montagu), *Microdeutopus grillo-talpa* Costa, *Stenothoe monocoloides* (Montagu), *Erichthonius difformis* (Edwards), *Caprella* sp., *Corophium insidiosum* Crawford et *C. orientale* Shell.

Dans nos recherches n'ont pas été pris en considération les Décapodes qui, dans cet environnement, se sont tous révélés presque exclusivement carnivores et saprophages.

Pour l'étude de la bio-accumulation, nous avons concentré notre attention sur les Amphipodes, organismes les plus importants, dans l'étang de Santa Gilla, pour le transfert d'énergie et, par conséquent, de polluants, depuis les hydrophytes jusqu'à l'ichtyofaune.

Amphipoda

Des différentes espèces susmentionnées, seules celles qui appartiennent aux familles des Gammaridae et des Corophidae (la première étant plus abondante que la deuxième) se sont révélées quantitativement bien représentées et ce n'est donc que sur celles-ci qu'on a pu effectuer des dosages intéressants.

Gammaridae

Pour le genre *Gammarus*, *G. aequicauda* est diffusé dans tout l'étang, tandis que *G. insensibilis* est localisé presque exclusivement près du grau avec de modestes enclaves dans des zones limitées de la lagune (cf. tableau 3).

C'est donc sur ces deux espèces, d'énorme importance dans le transfert d'énergie des végétaux aux poissons, que notre attention se concentre.

Elles stationnent au milieu des amas de Thalophytes, surtout *Enteromorpha* et *Chaetomorpha* mais elles fréquentent aussi les formations de *Mercierella enigmatica* où elles peuvent se nourrir aussi des dépourvues animales (*Mytilus*, Polychètes, etc.). On les retrouve aussi en suspension avec les pleustophytes contribuant ainsi à augmenter la dispersion des valeurs de concentration des métaux.

Reproduction, accroissement et alimentation

Dans toute la lagune, ces espèces se reproduisent pendant toute l'année. Des élevages en laboratoire de *G. aequicauda*, il résulte que les femelles parviennent à la maturité sexuelle lorsqu'elles atteignent une longueur oscillant entre 5,0 et 5,5 mm et les mâles à une taille d'environ 6 mm. Ces dimensions correspondent à un âge variant, en fonction de la température ambiante, entre 30 et 60 jours.

La durée de la vie varie de 4 à 6 mois pour les deux sexes. La période d'incubation est de 8 jours à peu près à la température de 20-24 °C. Le nombre d'embryons portés par chaque femelle s'élève en moyenne, pour la classe modale de longueur ($l=7$ mm), à 13,5 environ. Cette valeur, pour les classes où 1 est comprise entre 6 et 8 mm, augmente de 6 pour chaque augmentation de 1 mm.

Dans les individus vivant près des graus, le coefficient de régression paraît atteindre des valeurs plus élevées. Pendant la période chaude, au moment de la naissance, la longueur du nouveau-né oscille normalement entre 1 et 1,3 mm. Toujours à la même tempéra-

ture, la première mue a lieu communément dans les premières 24-48 heures, la deuxième et la troisième respectivement après le cinquième jour et le neuvième-dixième jour après la naissance. A cet âge correspondent des dimensions de 1,6-1,8 mm.

Les mues successives, jusqu'à la cinquième, se succèdent toujours avec la même fréquence. Les tailles auxquelles l'individu est parvenu oscillent entre 2,2 et 2,5 mm. A partir de cette époque, dans les élevages de laboratoire, il a été presque impossible de suivre toutes les mues puisque les exuvies, abandonnées généralement pendant la nuit, étaient dévorées par le même individu.

A l'âge d'un mois (toujours à la température de 22-24 °C), les mâles atteignent 6 mm de longueur et les femelles 5-5,6 mm.

Bien que les conditions naturelles puissent être différentes des conditions expérimentales, on peut considérer ces résultats comme exacts; cependant, dans la lagune, peut-être grâce aussi à l'alimentation mixte, on a remarqué des dimensions dépassant les maximales atteintes dans nos élevages (8 mm).

Si on compare le cycle biologique des espèces de Santa Gilla avec celui mentionné par Greze (1977) pour une population de la Mer Noire, on remarque que, dans celle-ci, les dimensions maximales et, par conséquent, les moyennes sont supérieures (à peu près 20 contre 12 mm). Même la taille à la première reproduction est supérieure (5,7-8 mm contre 5,5-6 mm).

A cause des conditions différentes des deux biotopes, et encore, peut-être, pour une incidence plus importante des prédateurs, la durée moyenne de la vie dans l'étang de Santa Gilla est plus brève d'environ deux mois.

Les femelles sardes, plus petites, portent un nombre relativement moins grand d'embryons, mais elles compensent cette quantité moindre par une fréquence reproductive plus élevée.

Dans la population du Santa Gilla comme dans celle de la Mer Noire, les femelles dominent sur les mâles (1,5:1 dans l'étang de Santa Gilla; 2:1 dans la Mer Noire).

Le cycle biologique de *G. insensibilis* est semblable à celui de *G. aequicauda*, mais cette dernière espèce a, dans l'étang de Santa Gilla, des dimensions moyennes nettement plus grandes.

Cela nous permet de rapporter les valeurs de bio-concentration non pas à chacune des espèces, mais au genre tout entier. D'ailleurs, le tableau 3 nous permet d'évaluer, pour chaque secteur de récolte, la prédominance de telle ou telle autre espèce.

Dans le but d'établir les préférences alimentaires et les consommations journalières de *Gammarus*, nous avons administré à des poids connus d'individus des deux espèces des quantités connues d'aliments présents dans l'étang de Santa Gilla, c'est-à-dire des Hydrophytes examinées dans les recherches de la bio-concentration et des chairs de moule.

Les expériences ont été réalisées dans quatre conditions de température correspondant à différentes conditions lagunaires. Les résultats des épreuves apparaissent dans les figures 4 et 5. Les données sur *Gracilaria verrucosa*, *Ulva* spp. et *Ruppia spiralis* n'y apparaissent pas.

sent pas s'agissant d'espèces qui ne sont pas acceptées à l'état frais même après des jeûnes prolongés. Les conditions expérimentales permettent d'attribuer aux données une tolérance de 10 p. 100.

Les deux espèces ne se sont pas révélées exclusivement végétaillennes; leur consommation est liée aux conditions thermiques qui influencent davantage, même dans leurs valeurs minimes, *G. insensibilis*, espèce plus typiquement marine, que *G. aequicauda*. Parmi les

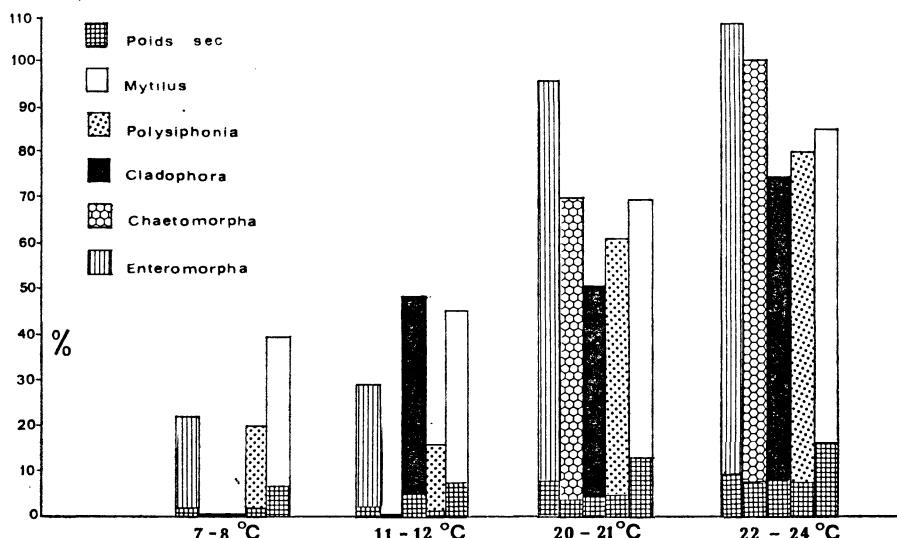


FIG. 4

Consommations journalières de macrophytes benthiques et de chair de moule exprimées en pourcentage du poids humide de *G. aequicauda*.

algues la préférence va aux Chlorophycées et, en particulier, au genre *Enteromorpha*.

A basses et moyennes températures, les aliments végétaux sont généralement préférés aux aliments animaux. Aux températures élevées, les Gammarides semblent préférer les algues.

En vue d'évaluer les erreurs pondérales dues à l'humidité différente soit des Amphipodes soit des aliments qui leur sont administrés, l'on renvoie aux données reportées à titre indicatif dans le tableau 4.

La bio-accumulation dans l'environnement

Du tableau 5, il résulte que la bio-accumulation maximale a lieu dans le Secteur R, tandis que, dans tous les autres, elle est relativement modeste et presque uniforme.

Il est aussi évident que les accumulations maximales correspondent aux températures plus élevées. En fait, simultanément avec la croissance des températures, pour le genre *Gammarus*, respectivement pour les secteurs A, B et R se produisent des accroissements en pour-

centage de 100, 210, 150 par rapport à l'hiver. Ce n'est que dans la zone de l'étang intéressée par le plus important cours d'eau tributaire et par les écoulements de la laverie des minéraux qu'a lieu le phénomène contraire, avec des accroissements (46,6 p. 100) pendant la période froide.

Enfin, on a reporté dans le tableau 6, les valeurs des rapports ou facteurs de transfert entre la concentration en *Gammarus* et les

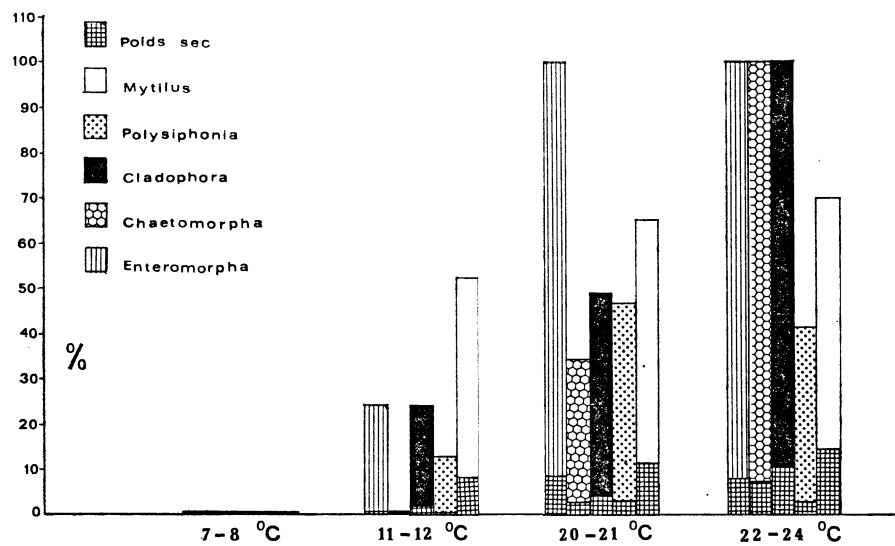


FIG. 5

Consommations journalières de macrophytes benthiques et de chair de moule exprimées en pourcentage du poids humide de *G. insensibilis*.

algues qu'ils préfèrent comme aliments. Les rapports sont calculés sur la base du poids sec.

La bio-accumulation expérimentale

Comme contrôle, un lot de *G. aequicauda* provenant d'une autre lagune de la Sardaigne méridionale, l'étang de Muravera, dans lequel le mercure est présent en concentrations très basses, a été nourri avec de la chair de *Mytilus galloprovincialis* et avec *Chaetomorpha linum* provenant de Santa Gilla (Sect. R). Dans ces aliments, la concentration moyenne de mercure total était de 0,28 ppm pour les moules et de 0,23 pour *Chaetomorpha* dans le poids frais.

Les Gammarides (1) adultes mesuraient plus de 6 mm de longueur et les jeunes s'éliminaient à travers le filtre dépurateur : le

(1) Les Gammarides ont été maintenus au laboratoire pendant 26 jours à une température de 20-22°C. Les aliments étaient conservés à un taux de salinité de 15-20 p. 1 000; la quantité moyenne administrée a été, en pourcentage du poids des Gammarides, de 44,8 et 28,3 respectivement pour *Chaetomorpha* et *Mytilus*. Avant le dosage, les Crustacés ont été maintenus à jeun pendant 24 heures.

poids global diminuait donc en raison de la mortalité mais tous les individus survivants avaient subi le même traitement. Après 26 jours, chaque gramme de Gammarides avait ingéré 7,35 g de moules et 11,64 g d'algues. Les résultats de l'expérience sont reportés dans le tableau 7.

La convergence des valeurs des facteurs de transfert, 1,28 et 1,26 respectivement remarquée dans l'alimentation avec *Mytilus* et *Chaetomorpha*, indique la présence du mercure dans les deux aliments sous des formes également assimilables.

Corophiidae

Les Corophides, beaucoup moins mobiles que les *Gammarus*, subissent davantage l'influence des substances toxiques et des phénomènes dystrophiques. La densité de leur population est, par conséquent, modeste, particulièrement pendant la période la plus chaude et limite ainsi également, en raison du poids individuel très réduit, le nombre des analyses.

Des deux espèces du genre *Corophium*, *C. orientale* est localisée particulièrement dans les zones les plus dessalées; *C. insidiosum*, beaucoup plus commune, est surtout répandue dans la zone centrale de l'étang et à proximité des graus.

Dans ce cas également, les deux espèces ne se sont pas distinguées dans les échantillons analysés et les valeurs de bio-accumulation ont donc été attribuées au genre avec les possibilités d'identification spécifique notées également chez les *Gammarus*.

Le genre *Corophium* comprend (Fenchel, Kofoed, Lappaleineu, 1975; Casabianca, 1974), des *deposit feeders* typiques qui vivent, dans l'étang de Santa Gilla, souvent au contact des sédiments pollués.

On pouvait donc s'attendre à l'ingestion de quantités considérables de composés de mercure solubles qui imprègnent même des particules argileuses comme l'ont remarqué Fenchel *et al.* (1975) pour *Corophium volutator* et Berk et Colwell (1981) pour le Copépode *Eurytemora affinis* et, par conséquent, des bio-concentrations plus élevées de celles réellement décelées (cf. tableau 5). Ce fait peut amener à différentes hypothèses :

concentration modeste de mercure soluble de la couche d'eau en contact direct avec les sédiments;

faible possibilité de la part des Corophides d'extraire les composés solubles du mercure directement de l'eau;

basse concentration des composés assimilables du métal dans les particules ingérées (bactéries, micro-algues, détritus organique ou inorganique, etc.).

Dans le tableau 8 sont reportés, zone après zone, les facteurs de transfert sédiments-Corophides.

Dans ce cas également, l'on remarque au niveau du secteur R un rapport très bas.

Isopoda

Sphaeroma hookeri, uniformément réparti sur tout l'étang, est une espèce principalement herbivore, mais capable de saprophagie (Casabianca, 1974).

Par les valeurs de bio-concentration (cf. tableau 9), cette espèce vient en tête en tant qu'accumulatrice de mercure parmi les Crustacés pris en considération dans cette étude, en rapport probablement avec sa croissance lente et sa durée de vie prolongée (Taliu, 1970).

L'examen du contenu intestinal et les expériences d'alimentation de *Idothea chelipes* indiquent une nette phytophagie, ce qui expliquerait les faibles valeurs de concentration remarquées. Bien que répartie uniformément, la densité reste insuffisante et n'a donc pas permis un grand nombre de dosages.

Cyathura carinata, également rare, est la plus détritivore des Isopodes étudiés et a mis en évidence des taux de bio-concentration élevés.

Ostracoda

L'espèce la plus répandue est *Loxoconcha elliptica* avec laquelle on a pu exécuter l'unique dosage de mercure total sur un échantillon recueilli pendant l'été dans le Sect. A. Le résultat est de 0,38 ppm, valeur remarquablement élevée compte tenu de la zone de récolte et la brièveté de la vie de l'espèce. La bio-accumulation élevée s'explique par sa détritophagie. En effet, le détritus organique mis en contact direct avec les vases polluées peut avoir une concentration plus forte de mercure que l'organisme dont il est dérivé aussi bien pour des phénomènes d'imbibition que d'absorption.

DISCUSSION

Pour l'instant, on peut relever des indications sur l'entité de la bio-accumulation en comparant uniquement les valeurs partielles reportées dans les tableaux correspondants. L'on obtient un ordre d'importance qui place au premier rang *Corophium*, suivi par *Sphaeroma*, *Cyathura*, *Gammarus* et *Idothea*.

Malgré cela, les *Gammarus* et, en particulier, l'espèce *G. aequicauda* se révèlent (1) les principaux responsables du transfert de mercure total à partir des végétaux aux poissons qui se nourrissent de proies petites et moyennes pour arriver aux macro-prédateurs.

(1) Le groupe de recherche dont font partie les auteurs de cette étude, est en train d'achever une étude sur le transfert des métaux lourds des consommateurs primaires à ceux du niveau supérieur.

En effet, les Ostracodes représentent dans l'étang une biomasse relativement modeste et leur éthologie, unie à leurs dimensions réduites, n'en font pas de grandes proies pour les poissons.

Les Isopodes peuvent être insuffisamment représentés ou (Sphéromides) acceptés par les méso-prédateurs surtout à l'état jeune et, de toute façon, ils se révèlent peu disponibles en raison des longues périodes qu'ils passent accrochés aux substrats les plus divers.

Parmi les Amphipodes, les Corophides sont à la portée des poissons seulement, en pratique, lorsqu'ils abandonnent leurs tubes ou s'ils les construisent sur des substrats accessibles.

Ce sont donc les *Gammarus*, plus mobiles, qui représentent la biomasse la plus disponible et la plus alléchante pour les poissons dont on parle ci-dessus et, parmi eux, ressort la *G. aequicauda*, espèce de valence écologique plus élevée (Sacchi, 1974). Le tableau 10 contient, pour les composantes essentielles de base du système de l'étang, les rapports entre les concentrations mesurées dans le secteur le plus pollué et les concentrations relevées dans les secteurs restants.

L'analyse des valeurs reportées sur ce tableau et particulièrement l'analyse des coefficients de transfert qui apparaissent dans les tableaux 2 et 6, permettent de supposer que, dans la zone où les sédiments ont une concentration plus élevée, la formation de mercure sous forme disponible pour les organismes est plus faible proportionnellement que celle qui se mesure dans les secteurs A, B et S. Cela pourrait provenir d'une inhibition partielle de l'activité microbiologique causée dans le Sect. R, soit par la présence élevée du mercure, soit par l'ensemble des substances introduites par la pétrochimie. Il n'est pas à exclure que l'échange plus intense d'eau dans le premier secteur ainsi que le taux plus élevé de chlorinité puissent influer sensiblement sur le phénomène.

Sur le même plan, en comparant le secteur S avec les secteurs A et B, tous caractérisés dans les sédiments par des concentrations de mercure du même ordre de grandeur, l'on peut constater dans le secteur S une bio-accumulation nettement inférieure. Ce fait pourrait s'expliquer par l'influence exercée dans cette zone par des métaux différents parmi lesquels le chrome hexavalent mis en circulation par la laverie voisine de minerais. Dans ce cas également, les différentes valeurs de chlorinité peuvent cependant avoir favorisé une solubilisation plus élevée de mercure dans les secteurs les plus proches des graus.

Il faut rappeler de toute façon l'influence remarquable exercée par les températures sur tout l'étang, que ce soit sur la solubilisation du métal dans les sédiments soit plus probablement sur la bio-accumulation.

Les auteurs remercient le Professeur C.F. Sacchi, Directeur de l'Institut d'Ecologie animale et Ethologie de Pavie et le Professeur A. Renzoni, Directeur de l'Institut d'Anatomie Comparée de Sienne, pour leurs conseils précieux, ainsi que les Collègues de la Station zoologique de Naples et du laboratoire d'Ecologie d'Ischia pour l'aide fournie dans l'identification de certaines espèces.

Summary

The authors examine various species of meso- and macrobenthos Hydrophyte and Crustacean occurring in a brackish littoral pond of Sardinia island polluted by heavy metals. They investigate about bioconcentrations and mercury uptake coefficients along the first two rings of the main trophic benthic chain keeping in mind the concentration of this element on the sediments. They carry out a series of laboratory experiments on *Gammarus aequicauda* alimentary ethology and biology, along with tests about mercury uptake from two aliments to that crustacean. Moreover they make up hypothesis on the heterogeneous transfert of soluble compounds by the sediment rich in HgS, coming from different pond sectors.

Riassunto

Gli autori prendono in considerazione varie specie di Idrofite e di Crostacei del meso e macrobenthos presenti in uno stagno litoraneo salmastro della Sardegna inquinato da metalli pesanti. Indagano sulle bioconcentrazioni e fattori di transfert del mercurio lungo i primi due anelli della principale catena trofica bentonica, tenendo conto della concentrazione di questo elemento nei sedimenti. Eseguono una serie di esperienze di laboratorio sull'etologia alimentare e sulla biologia di *Gammarus aequicauda* accompagnate da test sul transfert di mercurio da due alimenti a questo crostaceo. Vengono inoltre avanzate ipotesi sulla non uniforme cessione di composti solubili da parte del sedimento, ricco di HgS, di diversi settori stagnali.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

- BERK, S.G., COLWELL, R.R., 1981. — Transfer of mercury through a marine microbial food web. *J. Expl. Mar. Biol. Ecol.* 52, pp. 157-172.
- CAPONE, W., COTTIGLIA, M., MASCIA, C. et TAGLIASACCHI MASALA, M.L., 1976. — Fenomeni di acquisizione e di accumulo del 3, 4 Benzopirene nella catena trofica. *Inquinamento*. 7/8, pp. 1-8.
- CAPONE, W., MASCIA, C., PORCU, M., TAGLIASACCHI MASALA, M.L., 1983. — Uptake of lead and chromium by primary producers and consumers in a polluted lagoon. *Mar. Poll. Bul.* (sous presse).
- CASABIANCA, M.L., 1974. — Dynamique et production d'une population de Crustacés en milieu saumâtre. Thèse de Doctorat, Université d'Aix-Marseille.
- COTTIGLIA, M., MASCIA, C. et TAGLIASACCHI MASALA, M.L., 1973. — Fenomeni di degradamento in un ambiente salmastro. *La Programmazione in Sardegna* 48, pp. 1-55.
- COTTIGLIA, M., MASCIA, C., CAMBA, A.M., CAPONE, W., NISSARDI, V., PORCU, M. et SPANO, F., 1977. — Studi preliminari sulla distribuzione di fattori tossici immessi da scarichi industriali in una laguna salmastra. Nota 1. Mercurio. *Inquinamento* 10, pp. 1-8.
- FENCHEL, T., KOFOED, L.H. et LAPPALAINEN, A., 1975. — Particle Size-Selection of two Deposit Feeders: the Amphipod *Corophium volutator* and the Prosobranch *Hydrobia ulvae*. *Mar. Biol.* 30, pp. 119-128.
- GREZE, I.I., 1977. — Life cycle of *Gammarus aequicauda* (Martynov, 1981) in the Black Sea. *Crustaceana*, Suppl. 4, pp. 88-90.
- HATCH, W.R., OTT, W.L., 1968. — *Anal. Chem.*, 40, pp. 2085.
- LUOMA, S.N., 1977. — The Dynamics of biologically available Mercury in a small Estuary. *Estuar. Coast. Mar. Sc.* 5, pp. 643-652.
- SACCHI, C.F., 1964. — Zoobenthos e necton del lago di Patria. *Delphinoa Suppl. 5 n.s.*, pp. 1-145.
- TALIU, J., 1970. — Sur le cycle biologique de *Sphaeroma hookeri* Leach (Isopode Flabellifère) dans les eaux de la Durançole (B.-du-R.) *Hydrobiologia* 36, 2, pp. 295-303.

TABLEAU 1

Valeurs saisonnières et annuelles des concentrations de Hg total (ppm/poids frais) dans les macrophytes benthiques des divers secteurs de l'étang; n = nombre d'échantillons analysés; i.c. = intervalle de confiance.

| Genres | Sect. A | | | | Sect. B | | | | Sect. R | | | | Sect. S | | | | Total des échantillons analysés | | |
|--|-----------|-------|-------------------|-----------|-----------|-------|-------------------|-----------|-----------|-------|-------------------|-----------|-----------|-------|-------------------|-----------|---------------------------------|-----------|-----------------------|
| | \bar{m} | | Valeurs annuelles | | \bar{m} | | Valeurs annuelles | | \bar{m} | | Valeurs annuelles | | \bar{m} | | Valeurs annuelles | | n | \bar{m} | i.c. (95 p. 100) ± |
| | <15°C | >15°C | n | \bar{m} | | | |
| <i>Ulva</i> | 0,010 | 0,035 | 4 | 0,022 | 0,060 | 0,275 | 3 | 0,200 | — | 0,297 | 3 | 0,297 | — | 0,040 | 1 | 0,040 | 11 | 0,148 | 0,124 |
| <i>Enteromorpha</i> | 0,085 | 0,090 | 3 | 0,086 | 0,060 | 0,070 | 3 | 0,067 | — | 0,210 | 3 | 0,210 | 0,020 | 0,065 | 3 | 0,050 | 12 | 0,103 | 0,057 |
| <i>Chaetomorpha</i> | — | — | — | — | 0,013 | 0,210 | 5 | 0,092 | 0,090 | 0,458 | 7 | 0,353 | 0,030 | 0,080 | 4 | 0,055 | 16 | 0,197 | 0,150 |
| <i>Cladophora</i> | — | 0,145 | 2 | 0,145 | — | 0,140 | 1 | 0,140 | 0,080 | — | 1 | 0,080 | — | 0,160 | 1 | 0,160 | 5 | 0,134 | 0,055 |
| <i>Gracilaria</i> | 0,180 | 0,170 | 5 | 0,174 | 0,060 | 0,435 | 3 | 0,310 | 0,520 | 0,572 | 7 | 0,550 | 0,200 | 0,170 | 2 | 0,185 | 17 | 0,354 | 0,134 |
| <i>Polysiphonia</i> | 0,120 | 0,080 | 2 | 0,100 | — | — | — | — | 0,260 | — | 1 | 0,260 | — | — | — | — | 3 | 0,153 | — |
| <i>Ruppia</i> (feuilles) | — | 0,050 | 1 | 0,050 | 0,045 | 0,030 | 3 | 0,040 | — | 0,070 | 1 | 0,070 | 0,010 | 0,030 | 2 | 0,020 | 7 | 0,040 | 0,018 |
| <i>Ruppia</i> (rhizomes et racines) | 0,080 | 0,070 | 2 | 0,075 | 0,010 | 0,010 | 3 | 0,010 | — | 0,225 | 2 | 0,225 | 0,010 | 0,030 | 2 | 0,020 | 9 | 0,074 | 0,070 |

TABLEAU 2

Valeurs moyennes de bio-concentration de Hg total (ppm/poids sec) dans les macrophytes benthiques et facteurs correspondants de transfert (concentrations dans les macrophytes/concentration dans les sédiments) des divers secteurs de l'étang.

| Genres | Sect. A sédiments : 2,78 ppm/ poids sec | | Sect. B sédiments : 3,86 ppm/ poids sec | | Sect. R sédiments : 40,0 ppm/ poids sec | | Sect. S sédiments : 3,50 ppm/ poids sec | |
|-------------------------------------|--|------------------|--|------------------|--|------------------|--|------------------|
| | ppm/ poids sec | f. de transf. |
| <i>Ulva</i> | 0,309 | 0,111 | 2,816 | 0,729 | 4,181 | 0,104 | 0,560 | 0,160 |
| <i>Enteromorpha</i> | 0,628 | 0,225 | 0,562 | 0,145 | 1,530 | 0,038 | 0,365 | 0,104 |
| <i>Chaetomorpha</i> | — | — | 0,760 | 0,197 | 2,915 | 0,073 | 0,450 | 0,128 |
| <i>Cladophora</i> | 1,558 | 0,560 | 1,505 | 0,390 | 0,860 | 0,021 | 1,720 | 0,491 |
| <i>Gracilaria</i> | 2,806 | 1,011 | 5,000 | 1,296 | 8,871 | 0,222 | 2,984 | 0,852 |
| <i>Polysiphonia</i> | 0,961 | 0,346 | — | — | 2,500 | 0,062 | — | — |
| <i>Ruppia</i> (feuilles) | 0,609 | 0,219 | 0,487 | 0,126 | 0,853 | 0,021 | 0,243 | 0,069 |
| <i>Ruppia</i> (rhizomes et racines) | 1,071 | 0,385 | 0,143 | 0,037 | 3,213 | 0,080 | 0,285 | 0,081 |

TABLEAU 3

Valeurs en pourcentages moyens des individus des deux espèces de *Gammarus* retrouvées dans les échantillons recueillis dans les différentes zones de l'étang.

| | Sect. A | Sect. B | Sect. R | Sect. S |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|
| <i>G. aequicauda</i> | 17,8 | 100 | 68,0 | 100 |
| <i>G. insensibilis</i> | 82,2 | — | 32,0 | — |

TABLEAU 4

Pourcentage de poids sec par rapport au poids frais.

| | Moyenne | Min. | Max. |
|---------------------|---------|-------|-------|
| <i>Gammarus</i> | 15,62 | 14,11 | 19,61 |
| <i>Enteromorpha</i> | 7,30 | 6,66 | 9,01 |
| <i>Chaetomorpha</i> | 8,26 | 7,35 | 11,76 |
| <i>Cladophora</i> | 10,75 | 7,81 | 13,16 |
| <i>Polysiphonia</i> | 9,61 | 7,81 | 13,16 |
| <i>Mytilus</i> | 18,80 | 17,54 | 19,60 |

TABLEAU 5

Valeurs de bio-concentration dans les Amphipodes de Hg total (ppm/poids frais) dans les divers secteurs de l'étang.

| Genres | Sect. A | | | | Sect. B | | | | Sect. R | | | | Sect. S | | | | Total des échantillons analysés | | |
|------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|-----------|-----------------------|-----------------------|-------------------|-----------|-----------------------|-----------------------|-------------------|-----------|-----------------------|-----------------------|-------------------|-----------|---------------------------------|-----------|------------------------|
| | \bar{m} | | valeurs annuelles | | \bar{m} | | valeurs annuelles | | \bar{m} | | valeurs annuelles | | \bar{m} | | valeurs annuelles | | n | \bar{m} | i.c. (95 p. 100) \pm |
| | $<15^{\circ}\text{C}$ | $>15^{\circ}\text{C}$ | n | \bar{m} | | | |
| <i>Gammarus</i> | 0,075 | 0,150 | 6 | 0,112 | 0,060 | 0,186 | 5 | 0,123 | 0,220 | 0,550 | 9 | 0,385 | 0,110 | 0,075 | 5 | 0,092 | 25 | 0,213 | 0,126 |
| <i>Corophium</i> | 0,250 | — | 1 | 0,250 | 0,180 | 0,490 | 2 | 0,335 | 0,310 | — | 1 | 0,310 | 0,030 | — | 1 | 0,030 | 5 | 0,252 | 0,210 |

TABLEAU 9

Valeurs de bio-concentration dans les Isopodes de Hg total (ppm/poids frais) dans les divers secteurs de l'étang.

| Genres | Sect. A | | | | Sect. B | | | | Sect. R | | | | Sect. S | | | | Total des échantillons analysés | | |
|------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|-----------|-----------------------|-----------------------|-------------------|-----------|-----------------------|-----------------------|-------------------|-----------|-----------------------|-----------------------|-------------------|-----------|---------------------------------|-----------|------------------------|
| | \bar{m} | | valeurs annuelles | | \bar{m} | | valeurs annuelles | | \bar{m} | | valeurs annuelles | | \bar{m} | | valeurs annuelles | | n | \bar{m} | i.c. (95 p. 100) \pm |
| | $<15^{\circ}\text{C}$ | $>15^{\circ}\text{C}$ | n | \bar{m} | | | |
| <i>Sphaeroma</i> | 0,020 | — | 1 | 0,020 | 0,090 | — | 2 | 0,090 | 0,360 | 0,868 | 8 | 0,677 | 0,260 | 0,163 | 4 | 0,188 | 15 | 0,425 | 0,245 |
| <i>Cyathura</i> | 0,100 | — | 1 | 0,100 | — | — | — | — | — | 0,640 | 2 | 0,640 | — | 0,200 | 1 | 0,200 | 4 | 0,395 | 0,461 |
| <i>Idothea</i> | 0,100 | 0,125 | 3 | 0,117 | — | — | — | — | 0,160 | — | 2 | 0,160 | — | — | — | — | 5 | 0,134 | 0,045 |

TABLEAU 6

Valeurs moyennes de concentration de Hg total (ppm/poids sec) dans *Gammarus*, en macrophytes benthiques et facteurs correspondants de transfert.

| Genres | Sect. A | | Sect. B | | Sect. R | | Sect. S | |
|---------------------|----------------------|------------------|----------------------|------------------|----------------------|------------------|----------------------|------------------|
| | ppm/ poids sec | f. de transf. |
| <i>Gammarus</i> | 1,749 | — | 1,921 | — | 6,014 | — | 1,437 | — |
| <i>Enteromorpha</i> | 0,628 | 2,785 | 0,562 | 3,418 | 1,580 | 3,930 | 0,365 | 3,937 |
| <i>Chaetomorpha</i> | — | — | 0,760 | 2,301 | 2,915 | 2,063 | 0,450 | 3,193 |
| <i>Cladophora</i> | 1,558 | 1,128 | 1,505 | 1,276 | 0,860 | 7,000 | 1,720 | 0,835 |
| <i>Polysiphonia</i> | 1,393 | 1,255 | 1,345 | 1,428 | 2,500 | 2,405 | 1,530 | 0,940 |

TABLEAU 7
Hg total/kg *Gammarus* (poids frais)

| Nourriture | ingéré | | accumulé | | éliminé ou non accumulé | |
|---------------------|--------|------------------|----------|---|----------------------------|---|
| | mg | pour- centage | mg | pourcentage par rapport au total ingéré | mg | pourcentage par rapport au total ingéré |
| | | | | | | |
| <i>Mytilus</i> | 2,058 | 100 | 0,36 | 17,50 | 1,698 | 82,50 |
| <i>Chaetomorpha</i> | 2,677 | 100 | 0,29 | 10,83 | 2,387 | 89,17 |

TABLEAU 8
Valeurs moyennes de bio-concentration dans le genre *Corophium* de Hg total (ppm/poids sec) et facteurs de transfert sédiment — Amphipodes dans les divers secteurs de l'étang.

| | Sect. A sédiments : 2,78 ppm/ poids sec | | Sect. B sédiments : 3,86 ppm/ poids sec | | Sect. R sédiments : 40,0 ppm/ poids sec | | Sect. S sédiments : 3,50 ppm/ poids sec | |
|------------------|--|------------------|--|------------------|--|------------------|--|------------------|
| | ppm/ poids sec | f. de transf. |
| | | | | | | | | |
| <i>Corophium</i> | 3,730 | 1,342 | 4,998 | 1,295 | 4,625 | 0,115 | 0,448 | 0,128 |

TABLEAU 10
Rapports entre les concentrations de Hg total du Secteur R et celles des secteurs A, B et S.

| | Secteurs | | | |
|------------------------------------|----------|------|---|------|
| | A | B | R | S |
| Sédiment en poids sec | 1/14 | 1/10 | 1 | 1/11 |
| <i>Enteromorpha</i> en poids frais | 1/2 | 1/3 | 1 | 1/4 |
| <i>Gammarus</i> en poids frais | 1/3 | 1/3 | 1 | 1/4 |