



HAL
open science

BIOACCUMULATIONS MÉTALLIQUES CHEZ LES ASTACIDAE

Claude Chaisemartin

► **To cite this version:**

Claude Chaisemartin. BIOACCUMULATIONS MÉTALLIQUES CHEZ LES ASTACIDAE. Vie et Milieu , 1978, pp.209 - 220. hal-02998582

HAL Id: hal-02998582

<https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-02998582v1>

Submitted on 10 Nov 2020

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.

BIOACCUMULATIONS MÉTALLIQUES CHEZ LES ASTACIDAE

par Claude CHAISEMARTIN

*Laboratoire d'Ecologie et Biologie générale,
U.E.R. des Sciences, 87060 Limoges Cédex*

ABSTRACT

In this paper, data of the literature on metabolism and bioaccumulation of different metals in the crayfish and on the importance of adsorption, feeding and physico-chemical states are discussed.

Crayfish metabolism and physico-chemical factors in the freshwater can greatly influence uptake and accumulation. Distinction is made between directly, indirectly and non regulated elements.

The possibility of a more accurate prediction of bioaccumulation hazards, taking into consideration different factors, is discussed.

INTRODUCTION

Les études de biomasse et des bilans de transferts des éléments nourriciers, ou des polluants, s'intègrent maintenant dans toute recherche approfondie chez les Crustacés Décapodes.

L'analyse de toute « bio-concentration » pose de nombreuses questions. C'est le pouvoir quasi universel que possède la matière vivante de « concentrer fortement les éléments très dilués », sans qu'il soit question ici de mise en réserve (MARTIN, 1975). C'est le fait que l'adjonction qualitative de n'importe quel facteur absent dans l'eau douce, ou la modification quantitative d'un paramètre, mais à un niveau différent dans le milieu originel, constituent

autant de « nuisances », dont les combinaisons au niveau d'une population d'Ecrevisses sont illimitées et dont les impacts éco-physiologiques (métaboliques) doivent être quantifiés (MARTIN *et al.*, 1973).

En stabulation, l'évaluation des niveaux de contamination des Astacidae nécessite (PAROUTY et CHAISEMARTIN, 1974) :

a) l'analyse de la transmission du polluant d'un niveau trophique à un autre et l'estimation des rendements correspondants; l'Ecrevisse étant située en bout de chaîne alimentaire;

b) l'étude du transfert nutritionnel à l'organisme prédateur au cours des repas successifs;

c) la comparaison des contributions hydriques et alimentaires dans le niveau général de la bioaccumulation et, en cas de dépassement de la tolérance limite, dans l'expression de l'intoxication (BOUTET et CHAISEMARTIN, 1973).

Dans un espace métabolique défini, celui d'une Ecrevisse, les niveaux de contamination sont orientés par trois principaux groupes de facteurs :

a) la forme physico-chimique des éléments rémanents et leur disponibilité (= masse échangeable) dans le milieu;

b) les paramètres physico-chimiques du milieu récepteur (température, lumière, pH, dureté, O₂ dissous, présence des autres organismes);

c) les organismes « cibles » présents dans le milieu.

L'aptitude à saisir, à intégrer, enfin à accumuler est plus ou moins contrôlée par un ensemble de critères biologiques (état physiologique, « histoire » vécue par l'Ecrevisse « cible »), physico-chimiques (floculations au niveau des branchies) et mécaniques (nature des cuticules). Les capacités d'absorption varient d'une Ecrevisse à l'autre — au sein d'une population, il existe des individus très résistants, d'autres particulièrement sensibles — et pour un même individu, d'un élément à l'autre.

Les données de nos prédécesseurs s'adressent la plupart du temps à des formes marines (BRYAN, 1961, 1963, 1964) et reposent sur la détermination des « facteurs de concentration » que peuvent atteindre les divers éléments contaminants. Elles concernent souvent le radioisotope, sans que l'équilibre isotopique soit réellement atteint (BRYAN et WARD, 1965). Ces bilans statiques entre une situation donnée dans un espace multivariable tel que le milieu aquatique et sa « résultante » dans un organisme dont les espaces métaboliques restent à définir, n'apportent aucune connaissance sur le métabolisme spécifique des différents éléments contaminants et sur les mécanismes qui les contrôlent.

Notre but, guide du plan suivi, sera de tenter un classement

des paramètres indispensables à une prédiction de la masse métallique échangeable dans les espaces métaboliques possibles des Astacidae dans leur milieu naturel et sous l'action de différents protocoles expérimentaux.

I. — PHÉNOMÈNES DE RÉGULATION

Un des phénomènes permettant d'apprécier la « réponse » physiologique d'une population d'Ecrevisses à un polluant introduit dans le milieu de vie est celui de la « régulation », processus intervenant lorsqu'une surcharge du polluant dans le milieu extérieur ne s'accompagne pas d'une augmentation correspondante de la teneur de l'élément dans l'organisme et qui a pour corollaire une diminution du « facteur de concentration ».

Nous disposons de données précises dans ce domaine. Un grand nombre de questions n'en demeurent pas moins en suspens. Selon l'espèce « cible » choisie en tant qu'amplificateur biologique éventuel, la régulation n'est pas mise en évidence. Cela ne signifie pas pour autant qu'elle n'existe pas. Nous avons pu montrer la présence de deux phénomènes dont les effets s'ajoutent :

a) une contamination proprement biologique, selon le processus : fixation au niveau du tégument — diffusion du tégument dans l'organisme — intégration — régulation;

b) une contamination plus importante, masquant la première et consistant en une adsorption physique du polluant sur les parois. Quelques études récentes illustrent ces processus :

1. Chez l'Ecrevisse pallipède (*Austropotamobius pallipes pallipes*), un accroissement de la teneur en manganèse stable dans le bain est suivi d'une augmentation de la teneur en Mn chez l'Ecrevisse globale, au stade d'intermue.

Le facteur de concentration se révèle indépendant de la concentration métallique externe et ceci pour les différentes durées expérimentales proposées.

Placée dans un circuit ouvert d'eau sans manganèse, l'Ecrevisse chargée présente une déperdition métallique faible et lente : 76 % de la charge, dite à l'équilibre, subsiste encore après 30 jours. Ce résultat traduit un temps de « turn-over » long. Chez l'Ecrevisse expérimentée, l'accumulation du manganèse semble se produire sans régulation apparente.

Face au manganèse, cette régulation existe vraisemblablement; les flux et les constantes d'échanges sont en cours d'étude.

La régulation est masquée par une aptitude d'adsorption physique sur les surfaces épicuticulaires dont l'importance est ici amplifiée et facile à démontrer : les Ecrevisses vivantes et mortes disposent face au manganèse du même pouvoir de « concentration ».

2. Chez l'Ecrevisse américaine (*Orconectes limosus*), BOUTET *et al.* (1974) notent que l'analyse du métabolisme ferrique aboutit aux mêmes conclusions : adsorption branchiale et rejet « en bloc » pendant l'exuviation dominant nettement dans le bilan.

3. Il est essentiel, dans les analyses d'adsorption tégumentaires chez les Crustacés, de connaître la nature et la structure plus ou moins compacte des formations cuticulaires (BRYAN, 1966). De nombreux exemples révèlent une aptitude à l'adsorption différente chez l'Ecrevisse molle (période de postmue) et celle entièrement calcifiée (période d'intermue).

Plus généralement, le Crustacé Décapode subit un cycle de transformations physiologiques et biochimiques. Chaque étape exprime une orientation particulière du métabolisme de façon à tolérer une accumulation métallique maximale. Cette accumulation est précédée par la mise en réserve d'éléments biochimiques (protéines face au cuivre) capables de « complexer » les biocides agresseurs et de les rendre non toxiques.

4. La bioaccumulation n'est pas essentiellement sous la dépendance d'une activité biologique mais se produit pour une part importante par adsorption sur les formations tégumentaires, aussi bien que chez les individus morts que vivants. Nous comprenons tout l'intérêt, dans l'analyse des chaînes biologiques d'une précision dans l'incorporation des polluants à des tissus de localisation plus ou moins superficielle.

II. — NOTION D'ORGANOTROPISME

Un élément à fonction métabolique va s'accumuler là où il doit, normalement accomplir sa fonction. Illustrons par deux exemples :

1. Travaux chez *Austropotamobius pallipes pallipes*.

Chez l'Ecrevisse pallipède, le cuivre, le zinc, le cobalt, le chrome et le nickel s'accumulent préférentiellement dans les tissus mous : essentiellement la glande digestive (= hépatopancréas); le manganèse s'accumule préférentiellement dans les formations dures : la carapace et les gastrolithes.

2. Observations faites sur une population d'Ecrevisses à longues pinces.

Chez *Pontastacus leptodactylus leptodactylus*, maintenue dans un bain renouvelé renfermant 100 micro-grammes par litre de chrome hexavalent, la teneur métallique de l'hémolymphe et du muscle abdominal reste relativement stable. Elle augmente notablement dans les organes chargés de la régulation (branchies). Son augmentation dans la carapace répond à un phénomène d'une toute autre nature. Cette dernière forme de bioaccumulation n'est pas accessible au super prédateur éventuel : l'Homme.

III. — PHÉNOMÈNES D'EXCRÉTION

Chez l'Ecrevisse, l'adsorption des éléments vitaux, ou des polluants, s'effectue souvent par emprunt direct au milieu extérieur. Dans cette voie, le prélèvement des formes ioniques est prioritaire et susceptible d'une incorporation plus prononcée. Il semble logique d'admettre que les formes « intégrées » s'éliminent plus lentement. Dans le même ordre d'idées, un élément sous forme particulière va s'éliminer rapidement. Il peut en être de même pour un élément dépourvu de fonction métabolique. Il semble aussi que le problème majeur, chez les Astacidae, n'est souvent pas celui de l'adsorption, mais celui de l'élimination.

Cette voie de recherches est encore très embryonnaire. L'élimination peut s'effectuer directement dans le milieu extérieur : l'élément rejeté sera disponible, ou non, pour une accumulation secondaire par la voie externe. L'élimination à partir du « couloir hémolympatique » peut se traduire simplement par une accumulation de l'élément dans un tissu particulier où il sera plus ou moins mobilisable : élément stocké, disponible ou non, pour une amplification biologique secondaire ou d'ordre n par la voie trophique. Nous concevons volontiers, pour de tels éléments régularisés, l'importance du temps de « turn-over » qui conditionne en grande partie le taux de contamination. Quelques éléments liquidiens exceptés, ces temps de « turn-over » sont encore peu connus pour l'ensemble des ions métalliques chez les Astacidae.

1. Chez l'Ecrevisse américaine, après un séjour de 4 semaines dans des bains de différentes concentrations en zinc froid, les facteurs de concentrations du métal dans les masses molles,

considérés à leur valeur d'équilibre, sont en raison inverse de la concentration en zinc dans le bain (PAROUTY et CHAISEMARTIN, 1974).

La vitesse des transferts est la plus lente lorsqu'elle est enregistrée dans la concentration en zinc la plus basse. En somme la demi-vie biologique du zinc, chez cette Ecrevisse, est réduite par une augmentation de la concentration du métal dans le milieu extérieur.

Nous comprenons la difficulté à définir une quantité de zinc disponible, à partir de l'Ecrevisse américaine, pour le « consommateur » éventuel.

2. Chez l'Ecrevisse pallipède, CHAISEMARTIN (1975) dans une série de travaux sur le métabolisme comparé du cuivre chez les Astacidae, montre que le cuivre organique (acétate) introduit dans la cavité gastrique par perfusion, est retenu par l'hépatopancréas (organe de détoxication) et rejeté presque en totalité par les excréta.

Ce dernier résultat pose, en totalité, le problème d'une parfaite connaissance du « coefficient de rétention digestive ».

IV. — CONFIGURATION PHYSICO-CHIMIQUE DES ÉLÉMENTS CONTAMINANTS

Face aux Astacidae et dans le domaine des métaux seuls, il convient de distinguer trois grands groupes d'éléments :

1. Éléments (= oligo-éléments) indispensables à la vie de l'espèce et dont la variation de la concentration interne est de faible amplitude, à moins de désordres graves. Parmi les oligo-éléments dont la fonction physiologique est connue, ou qui, pour certains d'entre eux, sont considérés comme participant aux fonctions physiologiques, figurent notamment :

a) le zinc, entrant dans la composition de nombreux enzymes, dont l'anhydrase carbonique;

b) le cuivre, qui entre dans la composition d'autres diastases et joue le rôle de transporteur d'oxygène en tant que constituant de l'hémocyanine;

c) le fer, qui joue un rôle fondamental dans la respiration cellulaire;

d) le magnésium, le manganèse et le nickel, tous les trois activateurs d'enzymes;

e) le cobalt et le chrome, dont les fonctions physiologiques chez les Crustacés, semblent moins évidentes.

2. Eléments co-régularisés et plus ou moins discriminés : le césium est apparenté au potassium; le strontium au calcium. Chez les Crustacés Décapodes, peu de données permettent de déceler une régularisation éventuelle du strontium par l'intermédiaire de la régulation du calcium : disons que les concentrations du strontium, celles du calcium, sont très faibles dans les tissus mous; elles atteignent des valeurs élevées dans la carapace.

3. De nombreux éléments ne semblent pas, dans l'état actuel de nos connaissances, participer au métabolisme de l'espèce. Certains comme le plomb et le cadmium, sont l'objet de bioaccumulations jusqu'à l'apparition de phénomènes de toxicité.

Dans les milieux aquatiques naturels, les métaux se rencontrent sous différentes formes physico-chimiques qu'il est difficile de reconnaître et d'analyser. Les diverses formes physico-chimiques d'un même élément sont accumulées très différemment par les organismes dulçaquicoles, les Astacidae en particulier. Illustrons par deux exemples :

1. Chez l'Ecrevisse à longues pinces, intervenant comme bio-indicateur, le chrome ajouté au bain de stabulation sous forme de chlorures, donne un précipité adsorbé sur les portions distales des filaments branchiaux.

Ajouté sous forme de chromates, le chrome s'ionise dans l'eau de pH neutre ou légèrement acide. Sous cette forme, le métal est très peu retenu par l'organisme « détecteur ».

2. Chez l'Ecrevisse à pattes rouges (*Astacus fluviatilis*), le cuivre présent dans l'eau n'est accumulé dans les organes cibles (= hépatopancréas) que lorsqu'il se trouve sous forme ionique; il ne l'est pas sous forme d'oxyde : CuO_2 (CHAISEMARTIN, 1975 b).

La présence d'agents complexants (acides humiques) dans le bain cuivrique, réduit le facteur de concentration de cet élément dans les masses molles : bonne illustration au sein d'une même population, d'une nette discrimination des deux formes, complexées ou non, du cuivre.

V. — COMPARAISON DES ROLES SÉDIMENTAIRES ET TROPHIQUES

Des différences considérables de la teneur des métaux majoritaires dans les sédiments, ne déterminent pas de variations

appréciables dans les concentrations de ces éléments chez les organismes dont la plus grande activité se situe au voisinage de la tranche sédimentaire superficielle.

Le sédiment, de mobilité restreinte, serait plus un fixateur qu'un vecteur de la charge contaminante globale. Le sédiment déposé contribue à l'épuration de l'eau sans pour autant déterminer la pollution des espèces qui vivent à son contact. En somme, la contamination des Astacidae serait beaucoup moins fonction de la contamination du sédiment au contact duquel elles se trouvent que de la contamination de l'eau.

1. L'accumulation de certains éléments (Mg, K, Ca, Sr, Ba, Zn et Cu) est nettement accrue chez les Ecrevisses alimentées, que la nourriture soit contaminée ou non. Nous retiendrons :

a) un rôle direct de la trophie : dans son milieu naturel, l'Ecrevisse à pattes blanches (*A. p. pallipes*) obtient la plus grande partie du potassium et du manganèse accumulés dans ses tissus à partir de son « spectre » alimentaire. En effet, dans les mauvaises conditions de la stabulation, l'Ecrevisse s'alimente mal, le potassium tissulaire, puis la kalémie et la manganémie diminuent rapidement. D'autre part, la charge potassique enregistrée reste faible par transfert de l'animal dans des bains à concentrations potassiques élevées;

b) un rôle indirect de la trophie : dans la période annonciatrice de la « révolution physiologique » que représente la mue, l'Ecrevisse américaine élimine une partie de sa surcharge calcique et de ses métabolites métalliques. La masse de zinc mobilisé représente plus de 50 % du total accumulé par l'Ecrevisse pendant l'intermue si la charge progressive est réalisée à partir de l'eau seule. Cette perte n'est que de 10 % si la contamination provient majoritairement de la nourriture ingérée. Dans ce dernier cas, le métal avait été physiologiquement accumulé (= intégré).

2. Les phénomènes d'intoxication n'interviennent, chez les Ecrevisses, que d'une façon accessoire par la voie digestive. Cette possibilité s'affirme si l'Ecrevisse, à certaines écophases, consomme une nourriture renfermant elle-même des substances toxiques. Face aux pesticides (MARTIN *et al.*, 1973) la voie alimentaire, mais aussi les branchies, interviennent dans les phénomènes de concentrations préférentielles dans l'ovaire, les œufs et la descendance.

VI. — MODÈLE DE BIOACCUMULATION EN 3 TEMPS :
PHASES DE POLLUTION MISES EN ÉVIDENCE
PAR LA CINÉTIQUE DE CONTAMINATION

Chez les Ecrevisses à longues pinces et américaines, CHAISEMARTIN (1973) a suivi, à partir de concentrations sublétales renouvelées, la charge métallique Cu, Zn et Fe, quotidiennement pendant un mois.

La mise à l'équilibre de certains organes, tels l'hépatopancréas, le tractus digestif... interviennent plus rapidement que pour d'autres tels le muscle abdominal, les appendices, le tégument calcifié.

La cinétique de la charge métallique, pour l'Ecrevisse globale, construite grâce à la technique isotopique, plus sensible et plus rapide, présente au moins deux phases. MARTIN *et al.* (1973) observent le même phénomène pour l'accumulation, à partir de l'eau, du p, p' - DDT.

1. Une évolution initiale plus rapide, affectant les organes chargés de l'absorption (branchies), du stockage (hépatopancréas) et de l'élimination (tractus digestif).
2. Une évolution plus lente, concernant les tissus de moindre transit (muscle abdominal), les phénomènes passifs au niveau de la carapace, enfin la pénétration métallique dans certains organes internes; cette dernière étape pouvant se prolonger pendant une longue période.

Evidemment, la connaissance de cette mise à l'équilibre, total ou partiel, est primordiale dans la prise en considération « quantitative » de toute bioaccumulation. Cette conclusion suggère aussi la mise en présence du polluant dans des délais différents pour au moins deux, voire trois, groupes d'organes. Dans le même ordre d'idées, ces résultats pourraient conduire à admettre que la contamination comporterait 2 ou 3 phases successives :

1. Une première phase, relativement rapide selon l'élément, au cours de laquelle ne serait affecté qu'un certain groupe d'organes, avec possibilité, dans le cas d'une pollution sporadique, de l'entrée en jeu de mécanismes régulateurs ou « épurateurs » : cas de l'élimination du ^{65}Zn chez *Orconectes limosus* dans les 24 h qui suivent le repas contaminé (PAROUTY et CHAISEMARTIN, 1974).
2. Une seconde phase, à terme nettement plus long, serait susceptible d'entraîner un transfert plus complet du polluant dans

l'ensemble des tissus : cette phase provoquant des effets physiologiques différents et supplémentaires.

3. Une troisième phase, répondant au cas d'une pollution chronique et dont la durée dépasse le stade de mise à l'équilibre total. Cette phase, peu étudiée, doit être abordée par l'analyse des effets plus insidieux entraînant une perturbation dans la vie, le développement et le comportement de l'espèce (diminution des potentialités globales extériorisées par l'animal..., évitement des secteurs pollués par des substances toxiques).

VII. — CONCLUSION

La définition précise d'un niveau de bioaccumulation, chez les Astacidae, ne peut relever que d'une étude écophysiologique.

Comment classer, ou hiérarchiser, les différents paramètres de la bioaccumulation ? A notre sens, le seul moyen est l'utilisation des recherches effectuées sur l'autoécologie, la physiologie, l'analyse et la micro-analyse biochimique au niveau des populations d'Ecrevisses indigènes, largement répandues et fréquentes : ces espèces étant susceptibles de servir « d'indicateurs » ou « d'organismes sentinelles », mieux de détecteurs biologiques (BRYAN, 1967).

La notion de masse du polluant échangeable dans les espaces métaboliques successifs du système : Ecrevisse \rightleftharpoons milieu entre seule en ligne de compte dans la prédiction d'un niveau de bioaccumulation. La connaissance du phénomène, dans sa complexité, passe par l'étude des aptitudes régulatrices de chacune des espèces d'Ecrevisses et de la période biologique de chacun de leurs organes « accumulateurs ».

RÉSUMÉ

Chez les Astacidae, l'étude de la bioaccumulation des micro-éléments métalliques suppose la mise en œuvre de tests sûrs faisant intervenir des « indices » physiologiques (régulation, excrétion, métabolisation) s'apparentant à ceux d'une pollution chronique.

Le niveau de bioaccumulation d'une Ecrevisse par un élément métallique pouvant compter au nombre des polluants du milieu

dulçaquicole peut être caractérisé à partir de certains paramètres :

a) une part importante des métaux introduits est retirée du cycle de « concentration » par les Ecrevisses sous l'action de mécanismes physico-chimiques épurateurs;

b) à l'intégration du métal peut s'ajouter une adsorption tégumentaire plus ou moins « gelée » et susceptible d'une élimination en bloc lors de l'exuviation;

c) les aptitudes à la discrimination des différentes formes physico-chimiques, la disponibilité d'une nourriture, contaminée ou non, interviennent dans l'élaboration d'un modèle pour une meilleure compréhension des mécanismes bioaccumulateurs chez les Astacidae.

BIBLIOGRAPHIE

- BOUTET, C. et Cl. CHAISEMARTIN, 1973. Propriétés toxiques spécifiques des sels métalliques chez *Austropotamobius pallipes pallipes* et *Orconectes limosus*. *C. r. Séanc. Soc. Biol.*, **12**, 1933-1938.
- BOUTET, C., VIDAUD, A. et Cl. CHAISEMARTIN, 1974. Niveaux de concentration et impact du fer sur la séquence métabolique chez *Orconectes limosus* (Astacidae). *C. r. Séanc. Soc. Biol.*, **168** : 331-336.
- BRYAN, G.W., 1961. The accumulation of radioactive caesium in crabs. *J. mar. biol. Ass. U. K.*, **41** : 551-575.
- BRYAN, G.W., 1963. The accumulation of radiocaesium by marine and brackish water invertebrates. *Symp. "Nuclear detonations and Marine Radioactivity"*, 85-94. London, Ed. S.H. Small.
- BRYAN, G.W., 1964. Zinc regulation in the lobster *Homarus vulgaris*. I Tissue Zinc and Copper concentration. *J. mar. biol. Ass. U. K.*, **44** : 549-563.
- BRYAN, G.W., 1966. The metabolism of Zn and ⁶⁵Zn in crabs, lobsters and freshwater crayfish. *Proc. Int. Symp. Radioecology. Concent. Processes* : 1005-1016. Ed. Aberg and F.P. Hungate. Pergamon Press, New York.
- BRYAN, G.W., 1967. Zinc regulation in the Freshwater crayfish (including some comparative copper analysis). *J. exp. Biol.*, **46** : 281-296.
- BRYAN, G.W. et E. WARD, 1965. The absorption and loss of radioactive and non radioactive manganese by the lobster, *Homarus vulgaris*. *J. mar. biol. Ass. U. K.*, **45** : 65-69.
- CHAISEMARTIN, Cl., 1967. Contribution à l'étude de l'économie du calcium chez les Astacidae. Influence du milieu de vie. *Thèse Etat Univ. Poitiers*, n° CNRS A.O. 1220, 180 p.
- CHAISEMARTIN, Cl., 1973. Analyse comparée de la toxicité du Cu⁺⁺ chez *Astacus leptodactylus* et *Orconectes limosus* : dépression des fonctions ionorégulatrices et de l'activité de l'ATPase Na - K dépendante du système branchial. *C. r. Séanc. Soc. Biol.*, **167** : 324-328.

- CHAISEMARTIN, Cl., 1975 a. Analyse expérimentale comparée de la toxicité du cuivre de l'eau chez les Astacidae. *C. r. 98^e Congr. natn. Sociétés savantes*, 1 : 145-155.
- CHAISEMARTIN, Cl., 1975 b. Absorption, accumulation, transferts et impact des sels métalliques chez les Astacidae. *C. r. 100^e Congr. natn Sociétés savantes*, 2 : 345-356.
- MARTIN, J.L. M., 1975. Recherches sur le métabolisme des métaux chez les Crustacés Décapodes marins ; leurs rapports avec la mue et la reproduction. *Thèse Etat Univ. Aix-Marseille II*, n° CNRS A.O. 11131, 296 p., 12 pl. h.t.
- MARTIN, P.N., CHAISEMARTIN, Cl. et M. BERNARD, 1973. Dynamique du ^{14}C p. p'-DDT chez *Astacus leptodactylus*. *C. r. Séanc. Biol.*, 167 : 728-732.
- PAROUTY, G. et Cl. CHAISEMARTIN, 1974. Analyse expérimentale des transferts d'un micropolluant (^{65}Zn) au consommateur terminal dans un écosystème dulçaquicole. *C. r. Séanc. Soc. Biol.*, 168 : 78-82.

Reçu le 24 octobre 1977