

**CONCENTRATIONS MINÉRALES
DÉTECTÉES PAR SPECTROGRAPHIE DES RAYONS X
CHEZ CRANGON CRANGON (CRUSTACÉ DÉCAPODE),
AU COURS DU CYCLE D'INTERMUE.
RELATIONS AVEC LE MILIEU.**

par

Bernard Elkaim
Laboratoire d'Évolution
des Êtres Organisés,
105, bd Raspail, 75006 Paris

et

Colette Chassard-Bouchaud
Laboratoire de Zoologie,
7, quai Saint-Bernard, 75230 Paris Cedex 05

Université Pierre-et-Marie-Curie

et

Centre de Microanalyse de la Faculté de Médecine de Créteil, 94000 Créteil.

Résumé

La réaction de *Crangon crangon* à l'égard d'une surcharge en métaux divers a été étudiée sur deux populations, l'une en Baie de Seine, l'autre dans l'estuaire de la Penzé (Nord-Finistère, Bretagne). Le fer et le zinc (ce dernier retrouvé seul chez les *Crangon* de la Baie de Seine), s'accumulent dans divers organes. Les processus physiologiques naturels interviennent dans une large mesure pour expliquer ces teneurs : dépôt de fer ferrique à la surface des branchies, stockage de fer granulaire et microparticulaire dans certaines cellules de l'hépatopancréas, accumulation de zinc dans les muscles et dans l'hépatopancréas. Toutefois, ces concentrations en zinc, retrouvées dans la seule population de la Baie de Seine, reflètent déjà un excès de ce métal dans le milieu.

En revanche, la « fossilisation » possible de zinc dans la glande antennaire, indépendamment du zinc excrété par les branchies et l'urine, traduit un processus de détoxification corrélatif à une pollution du milieu.

De récentes recherches faites sur les Crustacés Décapodes ont mis en évidence, soit par des expériences en laboratoire, soit sur des populations issues de milieux naturels, des processus de concentrations de métaux tels que le zinc, le cuivre, le fer, le cadmium et le manganèse (Small et Fowler, 1973; J.L.M. Martin, 1975 a; Bryan, 1976).

Le but de ce travail a été de rechercher l'influence éventuelle d'une surcharge minérale « naturelle » de l'environnement sur *Crangon crangon* grâce à une méthode de microanalyse physique (Balland-Dufrançais et R. Martoja, 1971 ; R. Martoja et col., 1975). Cette étude a été faite en fonction des stades du cycle d'intermue. On sait en effet qu'il existe, au cours de celui-ci, des variations quantitatives importantes de certains éléments minéraux détectables par spectro-

graphie des rayons X (Chassard-Bouchaud, 1972 et 1977). Cette étude a été complétée par des méthodes cytochimiques classiques. Les mêmes techniques de microanalyse, utilisées sur le Mollusque *Cerastoderma edule* prélevé dans les mêmes stations que *Crangon crangon* avaient apporté des résultats intéressants (M. Martoja, Lhonoré et Elkaïm, 1977).

Matériel et méthodes (1)

Les échantillons ont été récoltés à diverses saisons (août et octobre 1976, février 1977) dans la Baie de Seine (plage de la Vasouy, près de Honfleur), polluée, entre autre, par des rejets industriels contribuant à une surcharge des eaux : en zinc (6 à **150 µg/l**), mercure (0,02 à 0,8 u.g/l), cadmium (0,8 à **15 µg/l**), fer (6 à **150 µg/l**) (d'après le bulletin du réseau national d'observations C.N.E.X.O. (1974-1975) et une surcharge des sédiments : en titane (207 à 804 mg/kg), chrome (10 à 20 mg/kg), plomb (7 à 8 mg/kg), vanadium (3,2 à 4,6 mg/kg) (d'après l'agence financière du Bassin de Seine-Normandie, 1975). Ces échantillons de *Crangon* ont été comparés à une population de la même espèce prélevée aux mêmes dates dans un estuaire breton : la Penzé (N. Finistère) où n'existe aucune industrie chimique ; les eaux y sont naturellement peu chargées en fer (Francis-Bœuf, 1947) ; toutefois, du fer associé à des silicates divers (argiles) est abondant dans les suspensions et les sédiments (teneur de 1,4 à 2,8 p. 100 de fer total).

Nous avons sélectionné des individus aux différents stades du cycle d'intermue A, B, C, D₀, D₁, D₂, déterminés selon la méthode de Drach et Tchernigovtzeff (1967).

A : période qui suit immédiatement la mue ;

B : période de sécrétion postexuviale avec consolidation et épaissement des téguments ;

C : période de stabilité des téguments ;

D : période préexuviale de préparation à la mue comportant successivement les stades D₀, D₁, D₂ au cours desquels une partie de la future cuticule est progressivement sécrétée tandis que l'ancien exosquelette se résorbe.

Les *Crangon* ont été fixés au Carnoy, inclus à la paraffine et coupés à **7 µ**. Les coupes ont été collées sur un support de terphane carboné, séchées et déparaffinées par le toluène. En outre, sur des branchies soumises à la double fixation glutaraldéhyde-tétroxyde d'osmium et incluses à l'épon, des coupes ultrafines ont été faites. L'analyse chimique des métaux (à l'exception des formes diffusibles) par spectrographie des rayons X a été effectuée à la Microsonde **MS 46** (Cameca), avec une tension d'accélération de **15 Kv**, un courant de sonde de **40 nA** et un diamètre de sonde de **1 µ** environ. Les spectromètres sont de type dispersif en longueur d'onde et équipés des cristaux KAP, PET, LIF et quartz.

(1) Nous remercions très chaleureusement Mme Kovoov et M. Lhonoré pour leur aide technique et les précieux conseils dont ils nous ont fait part, ainsi que Mme F. Kleinbauer pour son efficace collaboration.

Diverses réactions cytochimiques ont complété les méthodes physiques d'analyse :

pour la localisation des sels minéraux : substitution à l'argent (von Kossa), substitution au cobalt (Stoelzner) ;

pour la mise en évidence des cations Ca et Mg : coloration à l'alizarine sulfonate de sodium à pH 4,5 (les préparations témoins ont été réalisées par extraction des sels minéraux à l'acide nitrique en milieu aqueux à 1 p. 100) ;

pour la mise en évidence du fer ferrique : réaction de Perls ;

pour la localisation des glucides : mucopolysaccharides acides par la coloration au bleu Alcian à pH 3, ou peu acides, par la méthode à l'acide periodique-Schiff (APS).

RÉSULTATS

Onze éléments ont été mis en évidence dans les deux populations de *Crangon* analysées (Tableau 1). Il s'agit d'aluminium, silicium, fer, zinc, manganèse, titane, vanadium, cuivre, chrome, baryum et étain. Parmi ces éléments qui existent dans le milieu environnant certains se retrouvent à l'état de traces tandis que d'autres, comme le fer et le zinc, sont présents à des teneurs élevées dans les tissus des échantillons analysés. D'autres encore, comme le titane, sont présents à des teneurs relativement élevées dans le contenu stomacal. Ces métaux se présentent sous une forme figurée ou non, mais en général indépendante des structures de stockage habituelles aux Invertébrés (Graf, 1969 ; R. Martoja et coll., 1975).

Fer

Au niveau de l'exosquelette, les valeurs sont moyennes et à la surface des cuticules stomodéales et proctodéales, aucune trace de ce métal n'a été mise en évidence. La présence de fer, à une concentration relativement élevée (180 chocs/s) dans le statocyste est à noter.

L'accumulation de fer a lieu au niveau des branchies et de l'hépatopancréas. Dans les branchies (Pl. I, 1 et 2), le métal forme un film continu à la surface des lamelles. Les analyses histochimiques suggèrent la forme inorganique et ferrique du fer associé à un substrat de mucopolysaccharides. Les valeurs observables à partir du stade D₀ (40-60 chocs/s (1) vont en augmentant jusqu'au stade D₂ (50 à 200 chocs/s) (Tableau 2). Le fer est absent des piliers lamellaires et du raphé central où les néphrocytes (Debaisieux, 1971) n'ont montré qu'une accumulation de mucopolysaccharides

(1) Ces valeurs correspondent dans le texte et dans le tableau, respectivement aux teneurs moyenne et maximale.

TABLEAU 1

Valeurs maximales (exprimées en nombre de chocs/s) **des** concentrations minérales analysées dans les tissus et organes de *C. crangon* de la **Baie** de Seine et de l'Estuaire de la Penzé.

Les valeurs du calcium et du phosphore (constituants permanents et abondants chez les Crustacés) sont données à titre indicatif.

Les valeurs en italique correspondent à une association du fer avec Si-Al.

Les valeurs des échantillons purs de référence, analysées dans les **mêmes** conditions techniques, sont, pour le fer, **10 000** chocs/s et, pour le zinc, **7 000** chocs/s.

	Al	Si	Fe	Zn	Mn	Ti	V	Cu	Cr	Ba	Sn	P	Ce
Cuticule	70	<i>150</i>	80-400	40	20							2 000	4 000
Epiderme	15	100	60-240					10				600	3 000
Glande antennaire				50								400	800
Hépatopancréas	20		150	50	10-12							260	400
Estomac { Bol alimentaire . Epithélium	<i>1 600</i> <i>500</i>	<i>1 500</i>	80-600	150 10	45	250	traces	.10	10	15	traces	160 600	400
Paroi de l'intestin antérieur	200	20		30-50								200	2 000
Muscles				150					5			180	500
Branchies			200	traces	80			traces					
	<i>180</i>	<i>3 000</i>	<i>600</i>	<i>150</i>	30			5				250	300
Statocyste	15		180	traces	18							1 300	1 500

TABLEAU 2

Variations des concentrations moyennes (premier nombre) et maximales (second nombre) du fer et du zinc, dans les deux populations de *C. crangon*, au cours des différents stades du cycle d'intermue.

Les valeurs sont exprimées en nombre de chocs/seconde. Les valeurs ne comprenant qu'un nombre, correspondent à une moyenne. Les valeurs en italique correspondent à une association du fer avec Si-Al-K-Ti.

— : mesures non effectuées.

	A		B		C		D ₀		D ₁		D ₂	
	Seine	Penzé	Seine	Penzé	Seine	Penzé	Seine	Penzé	Seine	Penzé	Seine	Penzé
Cuticule												
Fer	<i>40-180</i>	—	<i>10-100</i>	—	10-15	—	15	traces	15-80	—	10-40	—
Zinc	0	—	10-15	—	0	—	30	—	20-40	—	10-20	—
Glande antennaire												
Fer	0	—	0	—	15	—	—	—	—	—	—	—
Zinc	20-30	—	15-20	—	0	—	15-50	0	0	0	20-40	0
Bol alimentaire												
Fer	—	—	—	—	20-50	<i>100-400</i>	35-80	<i>40-100</i>	15-60	<i>60-100</i>	—	—
Zinc	—	—	—	—	<i>150-600</i>	0	45-150	0	30-80	0	—	—
					25							
Muscles												
Fer	0	—	0	—	0	0	0	0	0	0	0	0
Zinc	0	—	0	—	25-60	0	40-150	traces	20-100	0	0	—
Hépatopancréas												
Fer	0	—	traces-10	—	10-25	15-20	60-150	80-120	25-80	10-30	30-120	—
Zinc	0	—	10	—	15-20	0	20-50	0	30-40	0	0	0
Branchies												
Fer	15	—	20	—	<i>40-100</i>	—	40-60	30-60 (1)	40-100	25-180	50-200	40-180
Zinc	0	—	0	—	0	—	0	0	0	0	0	0

(1) Animaux fixés en février 1977 (traces seulement décelées).

acides à des teneurs diverses. Dans l'épithélium branchial, observé à l'échelle ultra-structurale, on note la présence d'« op art bodies », inclusions figurées, à rôle inconnu, décrites par Steinbrecht (1968) et retrouvées ensuite dans l'épiderme tégumentaire de *Palaemon serratus* (C. Chassard-Bouchaud et coll., 1974). Ces structures n'ont, d'après nos analyses, révélé aucune accumulation métallique.

Dans l'hépatopancréas, des cellules hautes à vacuole comprenant du fer en granules et à cytoplasme riche en microparticules de ce métal ont été observées ; ces cellules à fer sont peu nombreuses et dispersées. Les rares granules ont été observés au stade D₀ et D₁ (Planche I, 3 et 4) ; toutefois, des teneurs en fer ont été enregistrées dès le stade B (10-25 chocs/s) et des valeurs élevées fréquentes ont été mesurées surtout à partir du stade D₀ (60-150 chocs/s) et au cours du stade D₂ (30-120 chocs/s). (Tableau 2).

Ces résultats ont été obtenus chez les *Crangon* récoltés durant la période estivale dans la Penzé et dans la Baie de Seine. Les *Crangon*, récoltés en octobre dans la Baie de Seine et en février dans les deux milieux, ont présenté des variations de teneur en fer, notamment au niveau de l'hépatopancréas (traces ou 20 chocs/s relevés chez de nombreux individus au stade D₀ et D₂).

Zinc

Le zinc a été trouvé dans la plupart des organes et des tissus mais des valeurs élevées ont été surtout notées dans l'hépatopancréas (cellules des acini), les muscles et la glande antennaire (notamment dans le saccule) (Tableau 2).

Les teneurs en zinc dans l'hépatopancréas et les muscles sont décelés respectivement à partir des stades B et C avec une tendance à un accroissement vers les stades D₀-D₁ (20-50 chocs/s pour l'hépatopancréas, 40-150 chocs/s pour les muscles) ; aucune teneur n'a été mesurée au stade D₂, c'est-à-dire peu de temps avant la mue. En outre, au stade D₀, nous avons relevé des différences de teneurs en zinc entre les muscles céphalothoraciques et abdominaux d'un même individu, ces derniers étant les moins riches. Aucune forme granulaire n'a été observée dans les sites d'accumulation.

Au niveau de la glande antennaire, le zinc est décelable dès le stade A et se retrouve, aux variations individuelles près, aux dif-

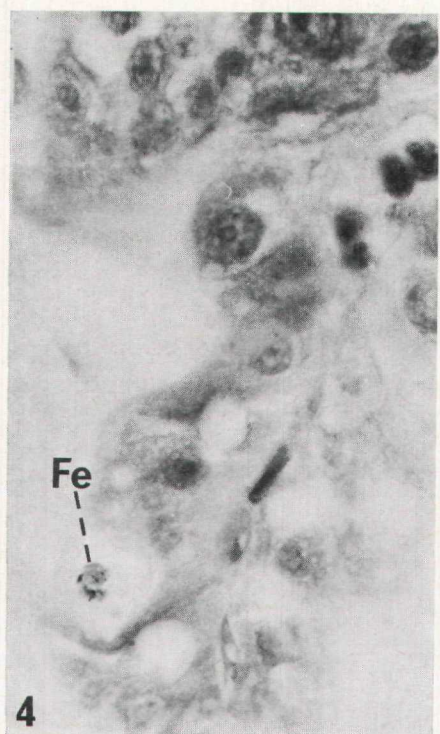
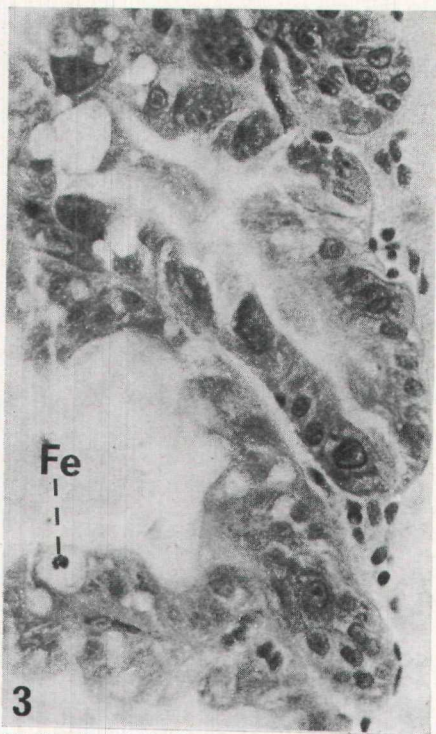
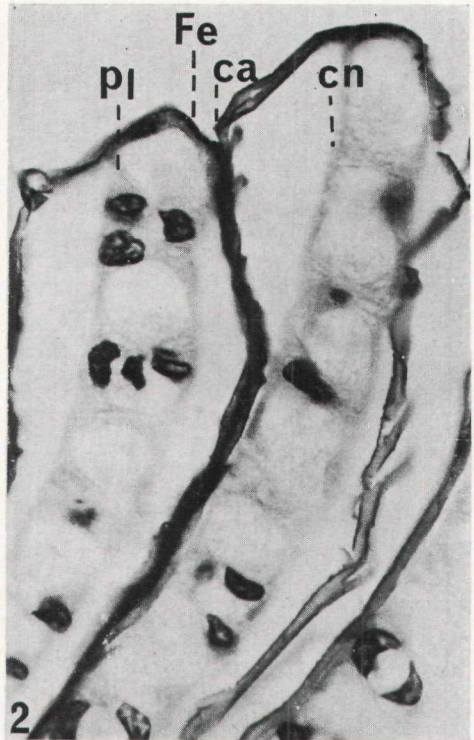
PLANCHE I

1 : lamelles branchiales de *Crangon crangon* au stade D₂. Vue d'ensemble (X 100).

2 : détail d'une lamelle branchiale de la coupe précédente (x 250). Le fer ferrique fixé sur la cuticule est mis en évidence par la réaction de Perls : observer le liseré noirâtre en surface.

ca : cuticule ancienne ; en : cuticule nouvelle ; pl : pilier lamellaire ; Fe : fer.
3 : acini de l'hépatopancréas au stade D₀. Vue d'ensemble (x 250). Observer le fer sous forme de granule dans la vacuole d'une cellule.
Fe : fer.

4 : même région observée à un plus fort grossissement (x 500).



B. ELKAÏM et C. CHASSARD-BOUCHAUD

férents stades B, D₀, D₂ à des teneurs maximales oscillant entre 20 et 50 chocs/s.

Aucune trace de zinc n'a été mise en évidence au niveau des branchies.

DISCUSSION

Les métaux accumulés dans les organes et les tissus des *Crangon* de la Baie de Seine se limitent essentiellement au zinc et au fer ; seul ce dernier métal se retrouve sous forme de concentration chez les *Crangon* de la Penzé.

Ainsi, toute surcharge du milieu ne conduit pas simultanément à des concentrations en métaux dans les organes, même si des accumulations se retrouvent au niveau du bol stomacal (*Crangon* a un régime prédominant de carnivore) ; c'est le cas notamment du titane, absent dans les tissus et les organes mais présent à forte teneur dans le bol alimentaire (250 chocs/s). D'autres conditions, liées en partie à l'élément, interviennent pour expliquer ces concentrations : forme chimique de départ, transformations au cours de la digestion, etc. sont autant de caractères à considérer.

En outre, les résultats actuels n'aboutissent à aucune mise en évidence de « pièges à métaux » morphologiquement différenciés (sphéro-cristaux, nodules d'hémocytes, néphrocytes) ; de ce point de vue, ces résultats diffèrent sensiblement de ceux mis en évidence chez d'autres Arthropodes, par exemple chez les Insectes terrestres ou aquatiques (R. Martoja, 1976 ; Humbert, 1977).

Les concentrations ou les rares granules de fer sont détectés ici électivement au niveau de tel organe ou de tel tissu.

De plus, il apparaît des concentrations au niveau d'organes de *Crangon* sans que, pour autant, le métal soit en réelle surcharge et que l'organe où s'effectue ce dépôt ait un rôle limité à ce type de fonction ; c'est effectivement l'exemple du revêtement de fer au niveau de la branchie ou du fer stockés dans l'hépatopancréas. Ces concentrations, dans les conditions naturelles, ne peuvent s'expliquer que par des processus physiologiques propres à l'espèce.

Le dépôt de fer sur la branchie a été signalé chez d'autres Décapodes comme *Carcinus*, *Cancer*, *Homarus* (J.L.M. Martin, 1974) et *Pandalus* (Fowler, 1969). Le premier a signalé ce dépôt sur les branchies de crabes provenant d'eaux à concentration normale : 11×10^{-3} ppm (aucune indication particulière n'est fournie sur les teneurs dans les sédiments). Nos populations de *Crangon* étaient récoltées soit dans un milieu pollué, enrichi en fer par des rejets (Baie de Seine) soit dans un milieu non pollué où le fer, associé essentiellement sous forme de silicates (argiles), est présent dans les sédiments et les suspensions. Ce dépôt apparaît sous l'aspect d'un film continu autour des lamelles branchiales comme chez *Carcinus* ;

il existe, en effet, chez *Homarus* (J.L.M. Martin, 1974) des plaques éparses autour des lamelles. On pourrait peut-être voir dans ces aspects divers du dépôt de fer une relation avec des différences morphologiques et structurales des branchies de ces espèces.

Ce fer inorganique et ferrique se concentre au stade D₀, c'est-à-dire au stade suivant l'achèvement de la cuticule (stade C₂). Au stade D₂, la cuticule ancienne montre une charge maximale à l'inverse de la nouvelle cuticule qui, déjà présente, ne recèle aucune trace de ce métal. Le fer sera rejeté avec l'exuvie branchiale au cours de la mue qui suit ce stade D₂. L'absence de fer au niveau du raphé central, notamment dans les néphrocytes signalés comme ayant un rôle d'accumulation et d'excrétion (Drach, 1930) est à souligner. Dans le cas de *Crangon crangon*, nous y avons seulement mis en évidence une accumulation de mucopolysaccharides. Cette absence de fer au niveau du raphé central et à l'intérieur des lamelles, le revêtement externe de ce métal, sa forme inorganique et ferrique, semblable à celle qui domine dans le milieu marin (Robertson, 1971) sont autant d'arguments qui suggèrent que le dépôt provient d'une rétention (retrouvée au niveau de l'exosquelette) ou encore d'une filtration de l'eau environnante ; le « piégeage » du fer par des processus plus complexes semble hypothétique. Le fer retrouvé dans certaines cellules de l'hépatopancréas de *Crangon* a été également observé chez divers Décapodes (Ogura, 1959) et chez quelques Isopodes (Donadey, 1973). Dans nos populations, le fer se localise dans le même type de cellules hautes et dans les mêmes sites. Il existe, en effet, principalement trois types de cellules constituant les acini de l'hépatopancréas des Décapodes : des cellules hautes à vacuoles comprenant du fer en granules et à cytoplasme riche en micro-particules de ce métal, des cellules identiques mais à vésicules de cuivre dans les seules vacuoles (Ogura, 1959), des cellules larges à cytoplasme chargé de mucus (cellules de type B, définies par Jordan et Hirsch, 1928, in Ogura, 1959). Il est à signaler que Djangmah et Groove, 1970 ont mis en évidence, chez *Crangon*, par l'acide rubéanique, des cellules à vésicules de cuivre. Dans les *Crangon* étudiés à la microsonde, aucune trace de cuivre n'a été décelée (1).

Dans nos populations de *Crangon*, les cellules à fer sont dispersées et peu nombreuses et la forme granulaire dans les vacuoles reste rare. En outre, les cellules à granules de fer ont été surtout observées au cours des stades D. Les concentrations en fer sont trouvées dès le stade B tandis que de fortes et fréquentes valeurs apparaissent aux stades D₂ et D₂ (stabilité ?). Toutefois, la variabilité des teneurs entre individus de même stade et entre stades D₀, D₁, D₂ (respectivement celles-ci sont : 60-150, 25-80, 30-120) ne per-

(1) L'absence de cellules à vésicules de cuivre et, d'une manière générale, des concentrations de cuivre dans l'hépatopancréas, site privilégié de stockage de ce métal dans la synthèse de l'hémocyanine, semble due à la fixation chimique adoptée ici. En effet, Zuckerkandl (1960) a montré, dans l'hépatopancréas du Décapode *Maia*, que la quasi-totalité du cuivre serait sous forme ionisable et non liée à une protéine. De ce fait, le cuivre pourrait être diffusible lors de la fixation au Carnoy ; en outre, Ogura (1959) n'a pas retrouvé les vésicules de cuivre après un traitement à l'acide chlorhydrique. Du cuivre certainement complexé, a été mis en évidence dans les chromatophores épidermiques, à la fois par la microsonde et par la réaction à l'acide rubéanique, ce qui élimine d'éventuelles erreurs au niveau de la méthodologie.

mettent pas de mettre en évidence avec netteté une corrélation entre ces variations et le cycle d'intermue.

L'existence de « concentrations » au stade B laisse à penser que ces dernières se feraient par voie interne surtout digestive ; Cantarow et Shepartz (1965) ont mentionné l'origine digestive de ce fer de l'hépatopancréas des Décapodes qui s'accumulerait à partir d'une forme soluble et liée à un radical anionique.

Indépendamment des variations individuelles, nous avons noté, au niveau de l'hépatopancréas et des branchies, des variations saisonnières. Ainsi, les *Crangon* de la Penzé récoltées en février 1977, montraient des valeurs peu élevées en fer, à l'inverse des populations récoltées en août 1976 (individus observés aux stades C et D₀). Divers travaux font état de telles fluctuations chez des Crustacés et des Mollusques. Ainsi, Wolfe et Jennings (1971, cité in J.M. Martin et coll., 1976) ont signalé de plus fortes teneurs en fer dans les crabes, huîtres et clams si la salinité et la température croissent. Les *Crangon* semblent suivre les mêmes variations puisque les paramètres d'été (température de l'eau 14 à 15°, salinité en pleine mer : 25 à 34,5 g/l) (1) sont plus élevés que ceux d'hiver (température de l'eau : 8 à 9°, salinité : 23 à 25 g/l). D'autres facteurs pourraient intervenir, comme la richesse en matières en suspension (complexes organométalliques, liés aux particules) ou l'alimentation (variations quantitatives et qualitatives d'espèces, selon les saisons).

Pour le zinc, les teneurs élevées dans l'hépatopancréas et, plus particulièrement, dans le muscle, sont en accord avec les observations effectuées chez le Décapode *Cancer* (Tennant et Forster, 1974) ; en effet, chez *Homarus gammarus*, c'est surtout l'hépatopancréas qui reste un site de localisation privilégiée (Bryan, 1964). Dans nos populations, les concentrations signalées dès le stade B ou le stade C dans ces organes s'accroissent jusqu'au stade D₀ puis disparaissent au stade D₂. Cette absence de concentration de zinc dans l'hépatopancréas serait corrélative d'un enrichissement de l'hémolymphe en ce métal (J.L.M. Martin, 1975 b) ; en revanche, pour les muscles, cette disparition reste difficilement explicable (peut-être mobilisation vers d'autres organes) et n'est pas mentionnée chez *Cancer* et chez *Homarus*.

Quant aux différences de teneurs entre les muscles céphalothoraciques et abdominaux, Bryan (1968) les explique pour *Carcinus* par des différences de rythme musculaire, ce qui pourrait effectivement s'appliquer à ce Brachyoure (abdomen replié sous le céphalothorax) ; nous suggérons une autre explication pour les *Crangon* : l'intestin antérieur et moyen, zone de réabsorption (de fortes teneurs en zinc ont été trouvées dès le stade A dans l'intestin antérieur) entraîne une plus grande richesse en zinc dans l'hémolymphe et permet aux muscles, seuls organes proches, de s'enrichir rapidement du fait de cette localisation.

Au niveau de l'hépatopancréas, il n'a pas été possible de préciser si le zinc trouvé dans les cellules est un constituant de struc-

(1) Ces valeurs sont tirées de la thèse de troisième cycle de C. Riaux (1977).

tures organiques ou s'il appartient à des concrétions dont la taille est inférieure à $0,2 \mu$ (le pouvoir de résolution de la microsonde Castaing serait supérieur à celui du microscope photonique : Galle, 1965) ; les quelques données ultrastructurales que nous possédons semblent conduire à rejeter cette dernière éventualité.

L'origine de ce métal concentré dans l'hépatopancréas pourrait être, comme pour le fer, l'eau absorbée par voie digestive ; nous avons trouvé, dès le stade A, du zinc dans la paroi de l'intestin antérieur ; c'est ce qui a été également montré chez *Homarus* (Bryan et Ward, 1965). Dans le cas de *Crangon*, cette concentration du zinc pourrait s'effectuer également par transmission dans les divers maillons d'une chaîne alimentaire (à partir de la fin du stade C).

La présence de zinc dans les seuls *Crangon* de la Baie de Seine où il est en surcharge, à l'inverse des *Crangon* de la Penzé, semble souligner l'intervention possible des muscles et de l'hépatopancréas, en premier lieu dans la régulation de tout excès de ce métal au sein d'un organisme, grâce aux potentialités de fixation de ces organes. Du reste, les contaminations en zinc, effectuées expérimentalement sur *Carcinus maenas* (Bryan, 1966) ont montré de fortes concentrations au niveau de l'hépatopancréas intervenant comme organe régulateur ; de même, le muscle peut maintenir des teneurs élevées en zinc. Ainsi, les *Crangon* peuvent, par des processus de métabolisme, concentrer le zinc dans ces organes lorsqu'une surcharge apparaît dans le milieu ou dans la chaîne alimentaire.

L'existence de concentrations de zinc dans la glande antennaire de *Crangon* au niveau du saccule notamment, est plus difficile à expliquer. En effet, les contaminations en zinc effectuées expérimentalement sur *Carcinus maenas* (voir ci-dessus) révèlent que l'excès de zinc est rejeté surtout par la branchie tandis qu'une faible partie seulement transite par la glande antennaire et se retrouve dans l'urine. Au niveau de ces deux zones d'excrétion, la forme du métal est diffusible et, de ce fait, serait difficile à détecter par notre méthode. Le problème de l'interprétation des teneurs trouvées dans le saccule au cours du cycle d'intermue se trouve posé. On peut se demander si un phénomène de stockage peut s'appliquer à nos populations. On sait qu'il existe, chez le Lamellibranche *Mya*, au niveau du manteau, une accumulation de granules de calcium servant de substrat à l'anhydrase carbonique, métalloprotéine à zinc ; celle-ci interviendrait dans la régulation des échanges de calcium (Istin et Girard, 1970). Un tel processus semble difficile à admettre chez les Crustacés où la régulation des échanges calciques, notamment avant l'exuviation, s'établit au niveau des sites de stockage communs : hépatopancréas, hémolymphe ou particuliers : gastrolithes, plaques sternales, coecums postérieurs (Graf, 1969 ; Donadey, 1973).

Aussi, pensons-nous qu'un phénomène de « fossilisation » du zinc permettant une détoxication, pourrait mieux s'appliquer à nos populations de *Crangon*. Il resterait à en définir les structures et à rechercher leur évolution éventuelle.

Conclusion

Chez *Crangon crangon* issu de milieu à surcharge en métaux et particules minérales diverses, les processus physiologiques naturels restent prédominants. Comme chez d'autres Décapodes Reptantia (*Cancer*, *Carcinus*, *Homarus*) ou Natantia (*Pandalus*), on retrouve :

un dépôt de fer ferrique à la surface des branchies ;

une accumulation de fer (et probablement de cuivre) au niveau des cellules hautes de l'hépatopancréas, sous forme de granules ou de microparticules ;

des teneurs élevées en zinc dans le muscle et l'hépatopancréas ; toutefois, ces concentrations reflètent déjà un excès de métal dans le milieu ou dans la chaîne alimentaire, excès qui sera soumis à une régulation en premier lieu par des organes à potentialités naturelles de fixation du zinc.

Par contre, la concentration en zinc dans la glande antennaire est originale. L'excrétion du zinc sous forme diffusible avait été observée chez les Décapodes (*Cancer*) surtout au niveau de la branchie et, secondairement, dans l'urine de la glande antennaire. Il apparaît ainsi que cette glande ne participe pas seulement au rejet de composés solubles mais qu'elle intervient également dans une « fossilisation » du zinc qui pourrait être consécutive à une pollution du milieu. A l'exclusion de ce rein d'accumulation (pour le zinc), on ne trouve pas de concentration au niveau de tissus spécialisés dans l'épuration, type néphrocytes, ou de structures d'accumulation, type sphérocristaux. De ce point de vue, *Crangon crangon* semble assurer sa défense par ses protections tégumentaires (cuticules de branchies, etc.) qui sont rejetées périodiquement, par des organes de fixation (hépatopancréas, muscles) et par des zones de transit peu perméables pour certains éléments (tube digestif).

Summary

Mineral concentrations in *Crangon crangon* (Crustacea Decapoda) detected by X-ray microanalysis. Some aspects related to the intermolt cycle and the environment.

The reaction of *Crangon crangon* to a large amount of several metals had been studied on two populations, from Bay of Seine and from Estuary of Penzé (North Finistere, Brittany). Iron and zinc (the latter found only in *Crangon* from Bay of Seine) accumulated in different organs.

The normal physiological process can explain to a great extent the different concentrations: ferric iron at the gill surface, iron in granular and microparticulate forms in some hepatopancreatic cells, zinc in muscles and hepatopancreas.

However, the zinc concentrations found only in the Bay of Seine population must be related to its excess in the environment.

The fixation of zinc in the antennal gland, independently of the excretion of zinc by urine and through gills, however, appears as a detoxification process correlated with an environmental pollution.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

- ANONYME, 1975. — Etude de pollution en Baie de Seine. Agence Financière du Bassin de « Seine-Normandie ». Institut d'Hydrologie et de Climatologie.
- ANONYME, 1976. — Bulletin du réseau national d'observations. C.N.E.X.O. 1974-75.
- BALLAND-DUFRAŒAIS, c. et MARTOJA, R., 1971. — Analyse chimique d'inclusions minérales par spectrographie des rayons X et par cytochimie. Application à quelques organes d'orthoptères. *J. Micros.*, 11, pp. 219-248.
- BRYAN, G.W., 1964. — Zinc regulation in the lobster *Homarus vulgaris*. I. Tissue zinc and copper concentrations *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 44, pp. 549-563.
- BRYAN, G.W., 1966. — The metabolism of Zn and ⁶⁵Zn in crabs, lobsters and freshwater cray-fish. In : *Radioecological Concentration Process*, pp. 1005-1016 — B. Alberg and F.P. Hungate ed, Pergamon Press, London.
- BRYAN, G.W., 1968. — Concentrations of zinc and copper in the tissues of decapods crustaceans. *J. mar. Biol. Ass. U.K.* 48, pp. 303-321.
- BRYAN, G.W., 1976. — In Marine pollution "Heavy metal contamination in the sea". pp. 185-302, Johnson ed., Acad. Press, N.Y.
- BRYAN, G.W., and WARD, E., 1965. — The absorption and loss of radioactive and non-radioactive manganese by the lobster, *Homarus vulgaris*. *J. mar. Biol. Ass. U.K.*, 45, pp. 65-95.
- CANTAROW, A. et SHEPARTZ, B., 1965. — Biochemistry, W.B. Saunders Co., ed., Philadelphia.
- CHASSARD-BOUCHAUD, c, 1972. — Analyse chimique des chromatophores de *Crangon crangon* (Linné) (Crustacé Décapode) par spectrographie des rayons X. Différences quantitatives de composition en éléments Ca, P, S et Mg au cours du cycle d'intermue. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 274, pp. 2511-2514.
- CHASSARD-BOUCHAUD, c, 1977. — Analyse chimique du tégument et de la glande digestive de *Crangon crangon* (Linné) (Crustacé Décapode) par spectrographie des rayons X. Variations quantitatives en éléments calcium, phosphore, soufre et magnésium au cours du cycle d'intermue. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 284, pp. 933-936.
- CHASSARD-BOUCHAUD, c, HUBERT M. and NOËL, p., 1974. — On the fine structure of the integument epidermis of the prawn *Palaemon serratus* (Crustacea Decapoda). *8th International Congress on Electron Microscopy, Canberra*, 1974, 2, p. 454.
- DEBAISIEUX, p., 1971. — Appareil branchial de *Crangon vulgaris* (Décapode Nageur). Anatomie et Histologie. *La cellule*, 69, 1, pp. 65-75, 4 pi.
- DJANGMAH, J.S. and GROVE, D.J., 1970. — Blood and hepatopancreas copper in *Crangon vulgaris*. *Comp. Biol. Physiol.*, 32, pp. 733-745.
- DRACH, P., 1930. — Etude sur le système branchial des Crustacés Décapodes. *Arch. Anat. Microsc.*, 26, pp. 68-133.
- DRACH, p. et TCHERNIGOVITZEFF, c, 1967. — Sur la méthode de détermination des stades d'intermue et son application générale aux crustacés. *Vie Milieu*, sér. A, 8, pp. 595-610.
- DONADEVY, c, 1973. — Contribution à l'étude ultrastructurale et histophysiologique des coecums digestifs des Crustacés Isopodes. Thèse Doct. es Sc, Université de Provence, 157 pp. + 40 pi.
- FOWLER, s.w., 1969. — The distribution and transfer of zinc ⁶⁵ accumulated from food and sea-water by three marins crustaceans. Ph. D. Thesis, Oregon State Univ., U.S.A.
- PRANCIS-BŒUF, c, 1947. — Recherches sur le milieu fluviomarin et les dépôts d'estuaire. *Ann. Inst. Océanogr.*, Paris, N.S., 23, pp. 149-344.
- GALLE, p., 1965. — Analyse chimique ponctuelle des inclusions intra-cellulaires par spectrographie des rayons X. Application à l'étude des cellules rénales. L'Expansion, Paris.
- GRAF, F., 1969. — Le stockage de calcium avant la mue chez les Crustacés Amphipodes : *Orchestia* (Talitridé) et *Niphargus* (Gammaridé hypogé). Thèse Doct. Sc. Nat. Impr. F. Berthier. Dijon, n^o 105, 216 pp.
- HUMBERT, w., 1977. — The mineral concretions in the midgut of *Tomocerus minor* (Collembola) : microprobe analysis and physioecological significance. *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 14, 1, pp. 71-80.

- ISTIN, M. and GIRARD, J.P., 1970. — Carbonic anhydrase and mobilisation of calcium reserves in the mantle of lamellibranch. *Calc. Tiss. Res.*, 5, pp. 247-260.
- MAHTIN, J.L.M., 1974. — Le fer dans la branchie des Crustacés Décapodes *Carcinus maenas* (L.) et *Homarus americanus* Milne Edw. Étude quantitative et histochimique. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 16, pp. 123-130.
- MARTIN, J.L.M., 1975 a. — Recherches sur le métabolisme des métaux chez les Crustacés Décapodes marins ; leurs rapports avec la mue et la reproduction. Thèse Doct. Sci. Nat. Marseille, 296, pp. + 12 pi.
- MARTIN, J.L.M., 1975 b. — Le cuivre et le zinc chez *Cancer irroratus* (Crustacé Décapode) : métabolisme comparé au cours du cycle d'intermue. *Comp. Biochim. Physiol.*, 51 A, pp. 777-784.
- MARTIN, J.M., MEYBECK, M., SALVADORI, F., THOMAS, A., 1976. — Pollution chimique des estuaires. Etat actuel des connaissances. Sér. Rap. Sci. et Tech. C.N.E.X.O., 22, 286 pp.
- MARTOJA, M., LHONORÉ, J., ELKAÏM, B., 1977. — Accumulation des métaux et de particules minérales dans les tissus mous de la coque comestible *Cerastoderma edule* (Mollusque Eulamellibranche). Relation avec le milieu. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 284, Sér. D, pp. 14353-14356 + 1 pl.
- MARTOJA, R., 1976. — Le corps gras ou tissu adipeux des Insectes. *Traité Zoologie P.P. Grasse, Insectes*, 7, 4, pp. 407-490, éd. Masson.
- MARTOJA, R., ALBERT, J., BALLAN-DUFRANÇAIS, C., JEANTET, A.Y., LHONORÉ, D., TRUCHET, M., 1975. — Microanalyse et Ecologie. *J. Microsc.*, 22, pp. 441-448.
- OGURA, K., 1959. — Mitgut and cells accumulating iron and copper in the crayfish *Procambarus clarkii*, *Ann. Zool.*, Jap., 32, pp. 133-142.
- ROBERTSON, J.D., 1971. — Influence of the physicochemical forms of radionuclides and stable trace elements in seawater in relation to uptake by marine biosphère. In *Proceedings of the second E.N.E.A. Seminar, Hamburg*, pp. 21-76.
- RIAUX, c., 1977. — Contribution à l'étude de facteurs déterminant l'évolution de la biomasse phytoplanctonique dans l'estuaire de la Penzé (Nord-Finistère). Evolution comparée des phénomènes dans l'eau et les sédiments sous-jacents. Thèse Doct. 3e cycle. Université Pierre-et-Marie-Curie, Paris, 137 pp.
- SMALL, L.F. and FOWLER, s.w., 1973. — Turnover and vertical transport of zinc by the Euphausiid *Megangctiphanes norvegica* in the Ligurian Sea., *Mar. Biol.*, 18, pp. 284-290.
- STEINBRECHT, R.A., 1968. — Op. Art. Bodies. A newclass of periodically layered cells inclusion observed in Crayfish epidermis cells. *Fourth Europ. Conf. Electron Micros.*, Rome, pp. 221-222, 1 pl.
- TENNANT, D.A. and FORSTER, w.o., 1974. — Seasonal variations and distribution of 65 Zn and 51 Cr in tissues of the Crab *Cancer magister* Dana., *Health Physics*, 18, p. 649.
- ZUCKERKANDL, E., 1960. — Hémocyanine et cuivre chez un crustacé décapode, dans leurs rapports avec le cycle d'intermue, *Ann. Inst. océanogr. Paris*, 38, pp. 1-122.