

ÉTUDE COMPARATIVE DE L'ACCUMULATION BIOLOGIQUE DE QUELQUES OLIGO-ÉLÉMENTS MÉTALLIQUES DANS L'ESTUAIRE INTERNE DE LA LOIRE ET LES ZONES NÉRITIQUES VOISINES (BAIE DE BOURGNEUF).

par

C. Amiard-Triquet (1), J.C. Amiard (1), J.M. Robert (2),
C. Métayer (1), J. Marchand (2) et J.L. Martin (3).

- 1) Centre de Dosage des Éléments Traces, U.E.R. des Sciences Pharmaceutiques,
1, rue Gaston-Veil, 44035 Nantes Cédex.
- 2) Laboratoire de Biologie Marine, U.E.R. des Sciences de la Nature,
2, rue de la Houssinière, 44072 Nantes Cédex.
- 3) Centre Océanologique de Bretagne, BP 337, 29273 Brest Cédex.

Résumé

Les teneurs en cadmium, plomb et cuivre chez les Invertébrés sont supérieures à celles rencontrées chez les Poissons. Pour ces trois métaux, on relève une absence de biomagnification dans les chaînes alimentaires. Les teneurs en zinc sont du même ordre de grandeur quel que soit le niveau trophique des organismes et leur position dans la classification zoologique.

Le cuivre et le zinc, oligo-éléments indispensables à la vie et régulés, présentent des concentrations similaires chez les organismes d'une même espèce quel que soit leur lieu de prélèvement, estuaire de la Loire ou baie de Bourgneuf. Pour le plomb, élément n'ayant pas de rôle physiologique connu, les concentrations sont plus élevées dans les organismes de l'estuaire que dans ceux de la baie. Pour le cadmium, la situation est comparable bien que des différences significatives ne soient pas observées pour toutes les espèces communes aux deux milieux.

1 - Introduction

Chez les organismes marins, l'accumulation biologique des métaux naturellement présents dans l'environnement ou introduits artificiellement par les activités humaines peut se faire à partir de trois sources : l'eau, la nourriture, le sédiment. Le transfert des métaux du milieu aux organismes dépend des concentrations présentes dans ces différentes sources et il est influencé par de nombreux facteurs écologiques.

L'estuaire de la Loire qui traverse des zones industrialisées et urbanisées, reçoit de ce fait des effluents variés dont ne sont pas exclus les polluants métalliques tels que ceux que nous étudions : cadmium, plomb, cuivre et zinc. L'alternance du flot et du jusant, la variation des coefficients de marée, la variation du débit fluvial

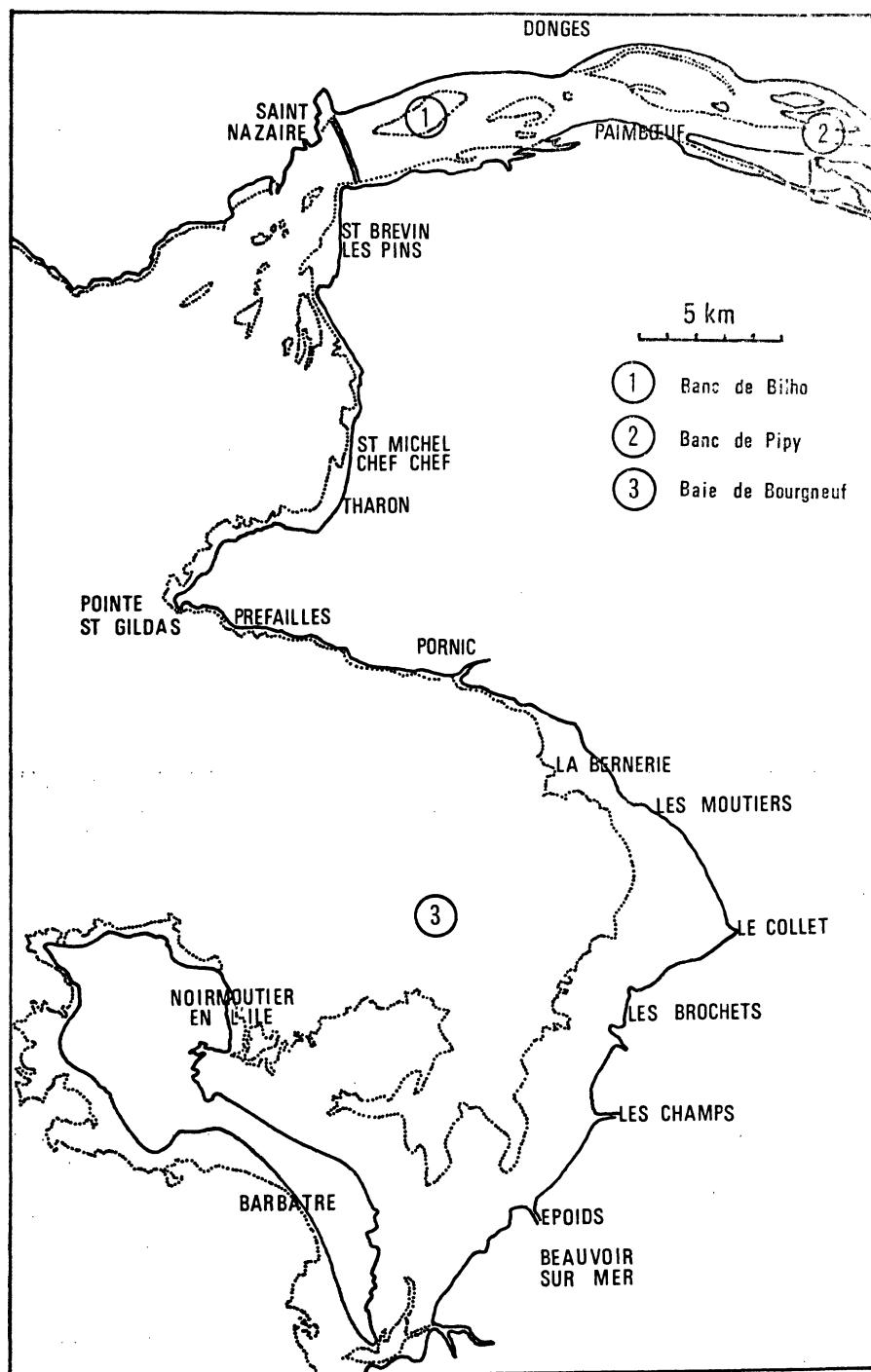


FIG. 1
 Localisation des points de prélèvements.

selon les saisons et les fluctuations climatiques à plus long terme, entraînent une très grande instabilité des conditions écologiques locales (Anonyme, 1978). En un point donné de l'estuaire, on assiste ainsi à des variations considérables de paramètres tels que la salinité, le pH, la turbidité qui ont des implications considérables en ce qui concerne la forme physico-chimique des métaux. Or, la spéciation chimique des métaux a une très grande influence sur leur accumulation dans les organismes vivants (Martin et coll., 1976 ; Förstner et Wittmann, 1979).

En baie de Bourgneuf, la côte est principalement vouée à des activités agricoles, conchyliocoles et balnéaires qui, *a priori*, devraient correspondre à des apports anthropogènes de métaux plus limités. Malgré les phénomènes liés à la marée, les conditions écologiques sont généralement plus stables dans la zone néritique qu'en milieu estuaire.

2 - Matériel et méthode

Trois prélèvements (mai, juillet et octobre 1979) d'organismes benthiques et nectoniques ont été réalisés par chalutage en baie de Bourgneuf. Les animaux collectés étaient représentatifs de cinq groupes zoologiques : Cnidaires (Actinie), Mollusques (Tectibranche : *Philine aperta*; Buccin : *Buccinum undatum*; Encornet : *Loligo vulgaris*), Crustacés (Crevette grise: *Crangon crangon*; Crabes : *Carcinus maenas* et *Portunus holsatus*; Pagure : *Clibanarius misanthropus*), Echinoderme (Ophiure : *Amphipholis squamata*; Astéride : *Asterias rubens*), Poissons (Sprat : *Sprattus sprattus*; Anchois : *Engraulis encrasiculus*; Gobie : *Potamoschistus minutus*; Sole : *Solea solea*; Flet : *Platichthys flesus*; Plie : *Pleuronectes platessa*; Merlan : *Merlangius merlangus*; Merlu : *Merluccius merluccius*; Lieu : *Pollachius pollachius*; Tacaud : *Trisopterus luscus*; Chinchard : *Trachurus trachurus*; Poisson-lyre : *Callionymus lyra*; Motelle : *Ciliata mustela*; Anguille : *Anguilla anguilla*). Au cours de la même période, des prélèvements ont également été effectués en deux points de l'estuaire interne de la Loire, sur le banc de Bilho, proche de l'embouchure et sur le banc de l'île Pipy distant de l'embouchure d'environ 17 km. Seules, trois espèces sont communes à la baie de Bourgneuf et au banc de Bilho : *Crangon crangon*, *Platichthys flesus* et *Solea solea*. Seuls, la Crevette et le Flet ont pu être collectés aux trois points de prélèvement (Fig. 1).

Le matériel biologique récolté était rapidement rapporté au laboratoire, rincé avec de l'eau provenant du lieu même du prélèvement et conservé par congélation. Les Poissons étaient ensuite disséqués pour séparer le contenu digestif (en distinguant éventuellement contenu stomacal et intestinal) de l'animal dont il ne fait pas partie intégrante. De plus, chez les Plies, les Flets et les Soles, plusieurs organes (ou groupes d'organes) ont été séparés par dissection : tube digestif, foie, rein, peau, muscle, colonne vertébrale, branchies. Chaque échantillon regroupait les tissus de 4 à 10 individus.

Les analyses de métaux ont, d'autre part, été effectuées sur les organismes *in toto*, à l'exception du Buccin pour lequel les détermina-

tions ont porté uniquement sur les tissus mous. Selon le matériel biologique disponible, chaque échantillon regroupait 3 à 70 individus.

Les différents échantillons étaient séchés à poids constant à l'étuve (80 °C) et réduits en poudre. Pour chaque échantillon, la minéralisation (à l'aide d'acide nitrique et de peroxyde d'hydrogène) était suivie d'une extraction (à l'aide de dithizone en solution chloroformique). Les dosages ont été effectués par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme (Zn) ou sans flamme (Cd, Pb, Cu) sur un spectromètre Perkin-Elmer 300S muni d'un atomiseur HGA 72 (Boiteau et Métayer, 1978; Amiard-Triquet et coll., 1980).

3 - Résultats et discussion

A - Teneurs en oligo-éléments métalliques dans les organismes de la baie de Bourgneuf classés selon l'échelle zoologique.

Cadmium (Fig. 2). — Nous observons que les Invertébrés étudiés, à l'exception du Cnidaire, présentent des teneurs généralement plus

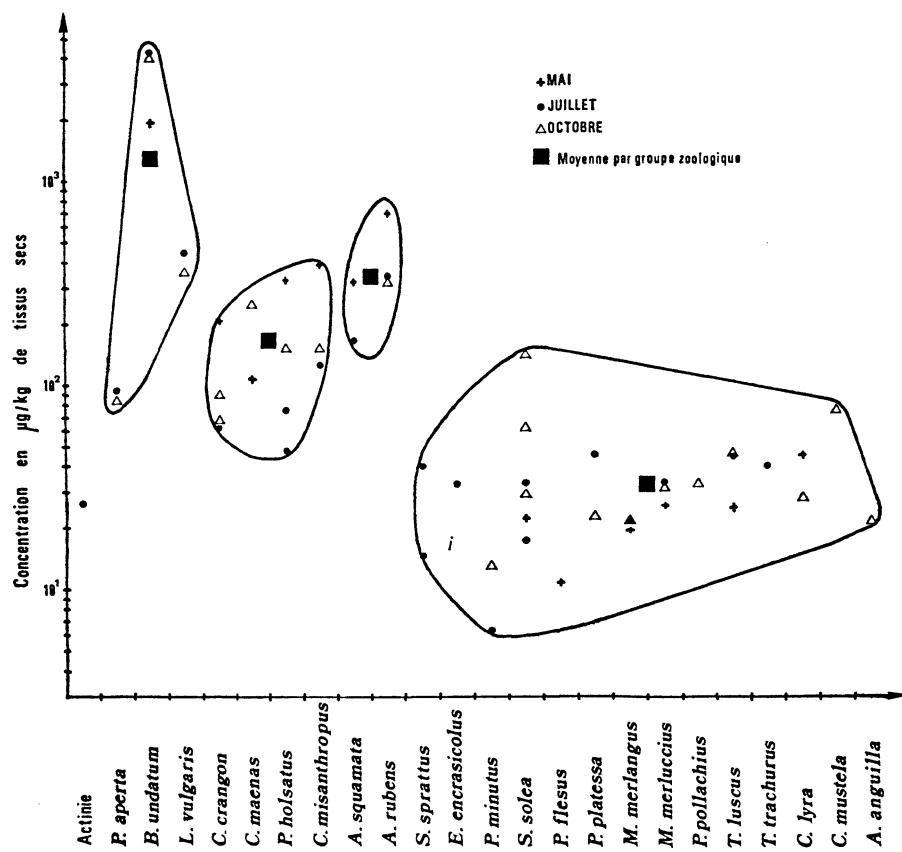


FIG. 2
Concentrations du cadmium dans les organismes de la baie de Bourgneuf en fonction de leur groupe zoologique.

élevées que les Poissons. Nous remarquons une grande dispersion des concentrations de cadmium chez les Mollusques : tandis que les Tectibranches (*P. aperta*) et les Céphalopodes (*L. vulgaris*) ont des teneurs voisines de celles déterminées pour les autres Invertébrés, les Gastéropodes (*B. undatum*) présentent toujours des concentrations considérablement plus élevées quelle que soit la saison (1,9 à 4,3 $\mu\text{g/g sec}$).

De même, dans l'estuaire de la Clyde, Halcrow et coll. (1973) observent des concentrations plus élevées chez tous les Invertébrés que chez les Poissons (foie, muscles) et, parmi les Invertébrés, *B. undatum* (1,1 à 17,0 $\mu\text{g/g sec}$) présente l'une des concentrations les plus élevées. En Mer d'Irlande, dans une zone supposée non contaminée, Segar et coll. (1971) déterminent une concentration en cadmium de 2,2 $\mu\text{g/g sec}$, voisine de celle détectée chez les Buccins de la baie de Bourgneuf.

Plomb (Fig. 3). — En moyenne, les Invertébrés présentent des concentrations en plomb supérieures à celles des Poissons. Parmi les

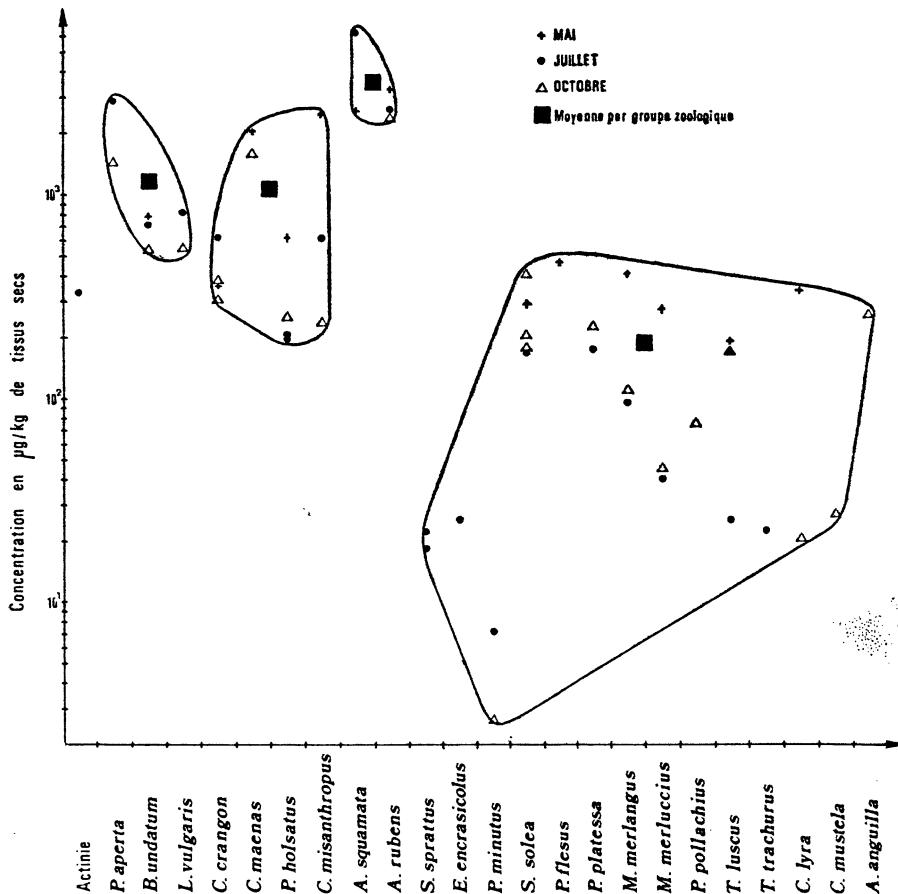


FIG. 3
Concentrations du plomb dans les organismes de la baie de Bourgneuf en fonction de leur groupe zoologique.

Invertébrés, on relève une accumulation préférentielle du plomb chez les Echinodermes. Les dosages ayant été effectués sur les organismes *in toto*, c'est-à-dire y compris le squelette riche en calcium, nous pouvons rapprocher cette accumulation élevée du plomb à celle observée pour la colonne vertébrale des Flets (Métayer et coll., 1982) et, plus généralement, pour les tissus osseux.

Cuivre (Fig. 4). — Les organismes vivants de la baie de Bourgneuf se répartissent en deux groupes en fonction de leurs teneurs en cuivre : d'une part les Cnidaires, les Echinodermes et les Poissons dont les

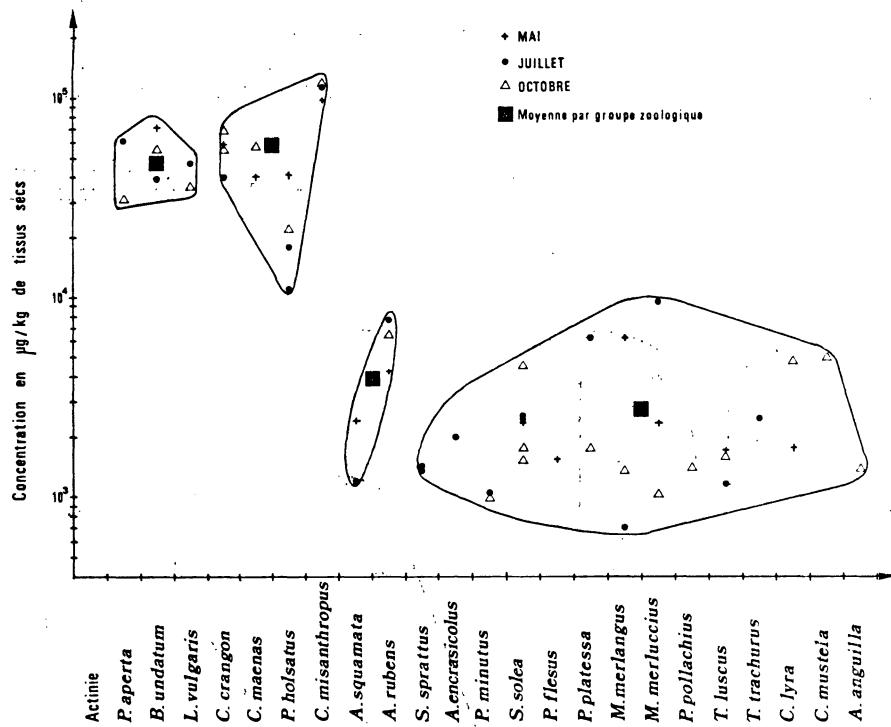


FIG. 4

Concentrations du cuivre dans les organismes de la baie de Bourgneuf en fonction de leur groupe zoologique.

concentrations sont généralement comprises entre 1 000 et 10 000 µg/kg de tissus secs; d'autre part, les Mollusques et les Crustacés dont les concentrations se situent entre 10 000 et 100 000 µg/kg de tissus secs. Cette observation est en accord avec nos résultats antérieurs sur l'estuaire interne de la Loire qui mettaient en évidence les concentrations en cuivre les plus élevées chez les Crustacés (Amiard-Triquet et coll., 1980; Métayer et coll., 1980). Ces résultats s'expliquent par le fait que, chez les Mollusques et les Crustacés, le pigment respiratoire est une cuproprotéine, l'hémocyanine. Chez les Mollusques comme *Littorina littorea*, cette protéine se dégraderait et le cuivre serait ensuite stocké sous forme de sulfures peu remobilisables (Martoja et coll., 1980).

Zinc. — Nous observons qu'à l'exception de *P. aperta* (149,7 mg/kg sec), des Actinies (227,8 mg/kg sec) et du Buccin (141,4 à 694,5 mg/kg sec), les teneurs en zinc sont relativement constantes chez tous les organismes de la baie de Bourgneuf quelle que soit leur position dans l'échelle zoologique (42,8 à 119,3 mg/kg sec).

Nous avons comparé nos données avec celles concernant les estuaires et les côtes britanniques : estuaire de la Clyde (Halcrow et coll., 1973), estuaire de la Medway (Wharfe et Van den Broek, 1977), estuaire de la Severn et zones néritiques adjacentes (Hardisty et coll., 1974 a et b; Badsha et Sainsbury, 1977), estuaire de la Carnon (Klumpp et Peterson, 1979), canal de Bristol (Milner, 1979), mer d'Irlande (Riley et Segar, 1970, Segar et coll., 1971; Mullin et Riley, 1956), côtes Nord-Est de Grande-Bretagne (Wright, 1976), côte du Somerset (Peden et coll., 1973), environs de Plymouth (Bryan, 1968). Les comparaisons ont porté sur un Mollusque (Buccin), un Echinoderme (*Asterias rubens*), deux Crustacés (Crevette grise, Crabe vert), sept Poissons (Sprat, Gobie, Merlan, Motelle, Flet, Plie, Sole). Lorsque les résultats de la littérature étaient exprimés par rapport au poids frais, ils ont été ramenés au poids sec en tenant compte du rapport poids sec/poids congelé établi pour les organismes de la même espèce prélevés en baie de Bourgneuf. Pour le cadmium et le plomb, les organismes vivant dans les zones estuariennes et néritiques de Grande-Bretagne présentent des teneurs généralement plus élevées (parfois d'un facteur 10 à 100) que celles établies pour la baie de Bourgneuf. Pour le cuivre et le zinc, les teneurs établies par les auteurs anglais sont, à quelques exceptions près, identiques aux nôtres ou du même ordre de grandeur.

B - Transfert des oligo-éléments métalliques dans le réseau alimentaire de la baie de Bourgneuf.

Nous avons représenté dans la figure 5 les relations trophiques entre quelques espèces de la baie de Bourgneuf telles qu'elles ont pu être établies d'après l'analyse des contenus stomacaux effectuée sur les échantillons prélevés en mai, juillet et octobre 1979. Nous observons que trois espèces-proies (*Crangon crangon*, *Potamoschistus minutus* et *Sprattus sprattus*) ont principalement servi de nourriture aux supercarnivores (*Anguilla anguilla*, *Merluccius merluccius*, *Merlangius merlangus*, *Trachurus trachurus*, *Pollachius pollachius*, *Trisopterus luscus*, *Ciliata mustela*). Trois prélèvements seulement ayant été effectués, cela ne rend pas compte de la complexité du réseau alimentaire complet de la baie de Bourgneuf. Nous ne disposons pas de données quantitatives sur la part respective des Crustacés et Téléostéens juvéniles dans le régime des supercarnivores. Il nous est donc impossible de calculer un facteur de transfert pondéré tenant compte des différentes sources alimentaires de métaux comme nous l'avions fait pour les Poissons omnivores et supercarnivores de l'estuaire interne de la Loire (Métayer et coll. 1980). Nous nous sommes donc limités à établir les rapports moyens des concentrations métalliques prédateur/proie (Fig. 5). Pour toutes les espèces de Poissons récoltées, nous avons comparé les teneurs métalliques dans l'organisme aux teneurs métalliques dans les contenus stomacaux ou digestifs (Tableau I).

Lorsque la proie est un Crustacé (*Crangon crangon*), les rapports moyens prédateur/proie calculés pour les trois dates de prélèvement sont généralement inférieurs à 0,1 dans le cas du cuivre et à 0,5 dans ceux du cadmium et du plomb. Quand la proie est un petit Téléostéen (*Sprattus sprattus* ou *Potamoschistus minutus*), les rapports moyens prédateur/proie sont généralement supérieurs à l'unité pour ces trois métaux (Fig. 5). Les contenus stomacaux ou digestifs contiennent nettement plus de cadmium, de plomb et de cuivre que les Poissons (Tableau I) à une exception près (*Trachurus trachurus*) où les teneurs sont voisines dans l'organisme et le contenu. Les variations de concentration de ces trois métaux dans l'organisme des Poissons appartenant à des groupes de régimes alimentaires différents ne sont pas plus fortes que celles observées entre les différentes espèces appartenant à un même groupe trophique (Tableau I).

TABLEAU I

Teneurs métalliques moyennes dans quelques espèces de Poissons de la Baie de Bourgneuf et leurs contenus stomacaux ou digestifs.

Espèces	Régime alimentaire	Cd ($\mu\text{g/kg sec}$ dans		Pb ($\mu\text{g/kg sec}$ dans		Cu ($\mu\text{g/kg sec}$ dans		Zn (mg/kg sec dans	
		Poisson	Contenu stomacal ou digestif	Poisson	Contenu stomacal ou digestif	Poisson	Contenu stomacal ou digestif	Poisson	Contenu stomacal ou digestif
<i>Engraulis encrasicolus</i>	pk	33,4	156,1	249,0	2 256,4	2 008,2	9 195,7	119,3	131,7
<i>Sprattus sprattus</i> (adulte)	pk	40,0	380,7	226,2	1 991,8	1 376,4	5 551,5	115,9	108,9
<i>Potamoschistus minutus</i>	omn.	9,4	188,6	50,0	3 348,4	1 024,6	9 333,3	54,7	83,5
<i>Callionymus lyra</i>	benth.	36,2	643,0	180,2	6 107,8	3 273,0	279 731,8	44,0	117,3
<i>Solea solea</i>	benth.	49,5	579,4	253,4	10 632,6	2 183,9	10 098,1	50,1	103,0
<i>Platichthys flesus</i>	benth.	10,8	118,9	471,6	2 261,4	1 516,0	11 295,2	88,1	86,5
<i>Pleuronectes platessa</i>	benth.	18,1	425,6	156,3	6 838,1	2 264,3	138 976,7	57,1	105,7
<i>Merlangius merlangus</i>	s-carn.	21,5	212,3	304,3	1 108,1	2 484,0	45 679,1	50,8	53,8
<i>Merluccius merluccius</i>	s-carn.	30,3	169,9	241,9	397,6	4 334,1	53 334,8	52,7	62,6
<i>Pollachius pollachius</i>	s-carn.	33,6	84,6	75,2	698,7	1 396,1	3 387,2	55,5	85,8
<i>Trisopterus luscus</i>	s-carn.	38,6	258,6	205,1	1 832,2	1 491,1	29 215,6	44,6	59,1
<i>Trachurus trachurus</i>	s-carn.	39,5	27,0	221,9	262,2	2 486,7	2 414,0	56,7	90,5
<i>Ciliata mustela</i>	s-carn.	73,9	116,4	36,9	730,9	4 995,0	20 624,5	42,8	52,1
<i>Anguilla anguilla</i>	s-carn.	21,3	2 632,0	256,2	9 701,8	1 385,5	24 049,6	79,4	128,6

pk = planctonophages ; omn. = omnivores ; benth. = mangeurs d'organismes benthiques (+ sédiments) ; s-carn. = super-carnivores.

Pour le zinc, quel que soit le type de la proie, les rapports moyens prédateur/proie sont égaux ou supérieurs à 0,8 (Fig. 5). Les teneurs moyennes en zinc dans les contenus stomacaux ou digestifs sont généralement supérieures à celles établies pour les Poissons mais elles restent du même ordre de grandeur. Nous n'observons pas de différences notables des concentrations en zinc dans les organismes des Poissons omnivores, benthiques ou super-carnivores. Les Poissons planctonophages présentent les concentrations les plus élevées (Tableau I).

Pour le cadmium, le plomb et le cuivre, le rapport des concentrations métalliques entre prédateur et proie est déterminé par l'appartenance au même groupe zoologique ou à deux groupes zoologiques distincts plutôt que par les relations trophiques. Cependant, les comparaisons de teneurs en cadmium, plomb et cuivre dans les Poissons et leurs contenus stomachaux ou digestifs font apparaître des

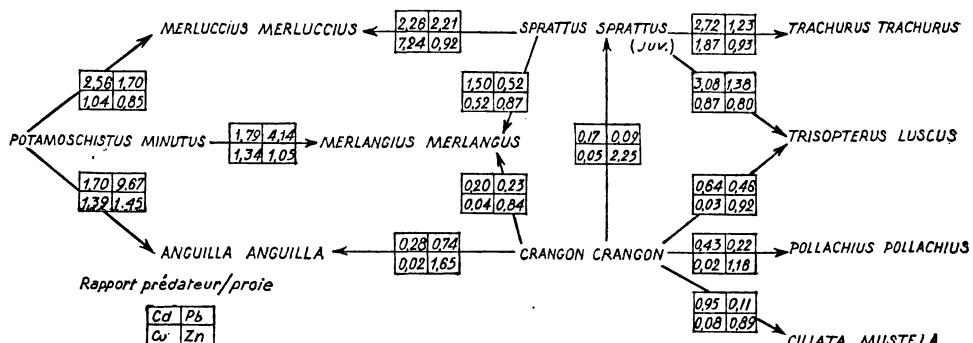


FIG. 5

Rapports des concentrations métalliques prédateur/proie dans une partie du réseau alimentaire de la baie de Bourgneuf.

différences assez considérables pour que l'on puisse admettre que seule une fraction assez faible des métaux présents dans la nourriture soit retenue par le consommateur. Cette observation est en accord avec les données rassemblées pour l'estuaire interne de la Loire qui montraient une absence de biomagnification (1) de ces trois métaux dans les chaînes alimentaires (Amiard et coll., 1980; Amiard-Triquet et coll., 1980; Métayer et coll., 1980). Par contre, pour le zinc, les concentrations sont du même ordre de grandeur dans les prédateurs, leurs proies et leurs contenus digestifs.

C - Comparaison des teneurs en oligo-éléments des organismes vivant dans l'estuaire interne de la Loire et en baie de Bourgneuf.

La comparaison porte sur les organismes *in toto* de trois espèces (Crevette, Flet et Sole), pour le banc de Bilho et la baie de Bourgneuf, de deux espèces (Crevette et Flet) pour les trois points de prélèvement.

Pour le plomb, quelques données concernant la Plie ont également été introduites dans la comparaison. De plus, chez les Poissons plats étudiés, les concentrations en plomb ont été déterminées pour les organes ou groupe d'organes dans lesquels nous avions montré précédemment (Métayer et coll., 1982) que ce métal s'accumulait préférentiellement.

(1) *Bioaccumulation* : accumulation dans les organismes à partir de l'eau (adsorption ou absorption) ou de la nourriture.

Biomagnification : bioaccumulation caractérisée par une augmentation des concentrations dans les prédateurs par rapport à leurs proies.

Cadmium, cuivre, zinc. — Les résultats sont présentés dans le tableau II. Pour chaque espèce, chaque saison et chaque métal, nous y donnons les valeurs extrêmes rencontrées soit pour des animaux de tailles différentes, soit pour l'estuaire de la Loire, en fonction du point de prélèvement (Bilho ou Pipy).

TABLEAU II

Comparaison des teneurs en métaux de quelques organismes en fonction de leur lieu de prélèvement.

Espèce	Lieu de prélèvement	Saison de prélèvement	Teneurs métalliques :		
			Cd (µg/kg sec)	Cu (mg/kg sec)	Zn (mg/kg sec)
<i>Crangon crangon</i>	Bourgneuf	Printemps	210,6	58,6	99,8
		Eté	62,0	39,5	57,0
		Automne	67,8 — 90,8	56,1 — 68,3	43,6 — 53,4
		Printemps	254,3 — 369,0	38,8 — 118,2	61,0 — 65,1
	Estuaire de la Loire	Eté	75,1 — 150,8	38,6 — 41,3	50,2 — 60,1
		Automne	87,6 — 256,8	36,7 — 58,7	42,4 — 48,4
		Printemps	10,8	1,5	88,1
		Printemps	23,7 — 49,4	1,8 — 3,7	61,2 — 118,4
<i>Platichthys flesus</i>	Bourgneuf	Printemps	22,4	2,4	50,1
		Eté	17,6 — 33,5	2,4 — 2,5	34,6 — 74,4
	Estuaire de la Loire	Automne	29,6 — 142,8	1,6 — 4,5	42,0 — 52,2
		Printemps	19,0	2,8	50,6
		Eté	21,9 — 45,9	2,8 — 5,7	42,9 — 70,1
		Automne	11,8	2,9	62,9
<i>Solea solea</i>	Bourgneuf	Printemps	22,4	2,4	50,1
		Eté	17,6 — 33,5	2,4 — 2,5	34,6 — 74,4
		Automne	29,6 — 142,8	1,6 — 4,5	42,0 — 52,2
	Bilho	Printemps	19,0	2,8	50,6
		Eté	21,9 — 45,9	2,8 — 5,7	42,9 — 70,1
		Automne	11,8	2,9	62,9

On remarque des concentrations en cadmium plus élevées pour les Crevettes (en toute saison) et les Flets (un seul prélèvement printanier) de l'estuaire que pour ceux de la baie. La différence est inversée et accentuée pour les Soles en automne, aucune différence significative n'apparaissant pour cette espèce aux autres saisons. Pour le cuivre, des concentrations plus importantes dans l'estuaire sont relevées chez les Flets (printemps) et les Soles (été), aucune différence significative n'apparaissant pour les Soles aux autres saisons ni pour les Crevettes à quelque époque que ce soit. Pour le zinc, une seule différence est relevée pour les Crevettes au printemps.

Plomb. — Les teneurs en plomb en fonction du lieu et de la date de prélèvement sont présentées dans la figure 6 et le tableau III. Pour toutes les espèces considérées, les teneurs en plomb dans les organismes *in toto* sont beaucoup plus élevées pour les individus provenant de l'estuaire de la Loire (Fig. 6). Cette observation est nettement confirmée lorsque l'on compare les teneurs en plomb des principaux organes de stockage de cet élément chez les Plies, les Flets et les Soles en fonction du lieu de prélèvement (Tableau III).

Un certain nombre de différences significatives peuvent être relevées pour le cadmium et ponctuellement pour le cuivre ou le zinc

entre l'estuaire et la baie mais, pour chaque métal, elles ne sont pas communes à toutes les espèces et à toutes les saisons. Les caractéristiques abiotiques de l'un et l'autre milieu ne constituent donc pas une source de variation prépondérante puisque leurs effets sont masqués par des variations saisonnières ou spécifiques.

TABLEAU III

Comparaison des teneurs en plomb dans quelques organes de stockage des Poissons plats de la baie de Bourgneuf et de l'estuaire interne de la Loire.

Espèce	Lieu de prélevement	Saison de prélevement	N	Teneurs en plomb		
				Foie	Reins	Colonne vertébrale
<i>Pleuronectes platessa</i>	Bourgneuf	Eté	10	592,7	973,1	528,7
	Bourgneuf	Automne	7	1 558,9	2 318,2	1 563,6
<i>Platichthys flesus</i>	Bilho	Automne	8	9 620,5	6 476,4	7 990,2
<i>Solea solea</i>	Bourgneuf	Eté	5	1 010,7	1 157,5	353,6
	Bilho	Eté	7	7 928,7	11 072,7	—
	Bilho	Eté	4	3 341,5	12 095,8	—

N = nombre d'individus dont les organes ont été réunis dans chaque échantillon dosé.

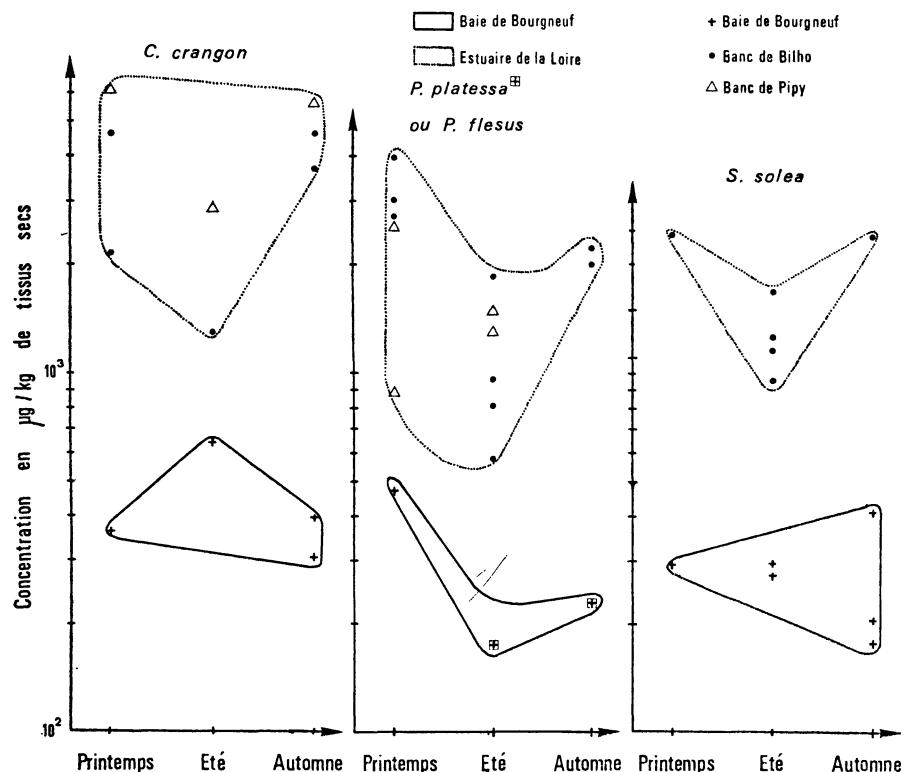


FIG. 6

Comparaison des teneurs en plomb de quelques organismes en fonction de leur lieu de prélèvement.

La situation est inverse pour le plomb où, toutes espèces et toutes saisons confondues, les individus provenant de l'estuaire présentent toujours des concentrations supérieures à celles déterminées pour les animaux de la baie. Pour expliquer ces variations, on pourrait tenir compte du fait qu'en milieu estuaire où la chlorinité est plus faible (2 à 7 p. 1 000 sur le banc de Pipy et 10 à 15 p. 1 000 sur le banc de Bilho, valeurs moyennes au cours des saisons correspondant à notre étude d'ap. Anonyme, 1978), la compétition ionique est également plus faible, favorisant l'accumulation biologique des oligo-éléments. *A priori*, cette explication paraît insuffisante puisque les différences ne sont pas aussi nettes pour le cadmium et que l'on observe rarement un phénomène de cet ordre pour le cuivre et pour le zinc. Cependant, rappelons que ces deux derniers métaux, indispensables à la vie, donnent lieu à des phénomènes de régulation (*in* Amiard et coll., 1980) et que leur concentration dans les organismes peut donc rester relativement constante quelles que soient leur concentration et leur disponibilité biologique dans le milieu ambiant. Ce phénomène pourrait d'ailleurs expliquer la relative homogénéité des résultats observés pour le cuivre et le zinc entre nos données et celles de la littérature britannique, en opposition avec les différences observées pour le cadmium et le plomb.

Dans la zone estuarienne, les variations de la salinité, de la turbidité, la présence d'hydroxydes colloïdaux président au déroulement de réactions de sorption-désorption qui peuvent varier d'un estuaire à l'autre, d'un métal à l'autre (Martin et coll., 1976). Il paraît donc possible qu'une modification de la forme physico-chimique du plomb induise une bioaccumulation de ce métal plus forte en zone estuarienne que dans la zone néritique. Enfin, l'hypothèse d'un apport anthropogène de plomb dans l'estuaire interne de la Loire pourrait constituer une autre explication plausible de nos observations.

CONCLUSION

Les Invertébrés présentent généralement des teneurs en cadmium, plomb et cuivre nettement supérieures à celles établies pour les Poissons. La fonction physiologique du cuivre en tant que constituant du pigment respiratoire des Mollusques et des Crustacés peut expliquer son accumulation préférentielle chez les organismes appartenant à ces deux groupes. Pour le plomb, les teneurs particulièrement élevées détectées chez les Echinodermes sont à rapprocher de l'association aux tissus calcifiés généralement observée pour ce métal. Les comparaisons des teneurs en cadmium, plomb et cuivre des Poissons de la Baie de Bourgneuf et de leurs contenus digestifs, confirment l'absence de biomagnification observée dans le réseau alimentaire de l'estuaire interne de la Loire. Quels que soient le niveau trophique des organismes et leur position dans la classification zoologique, les concentrations en zinc restent du même ordre de grandeur.

Alors que l'on observe rarement des différences significatives entre les teneurs en cuivre et zinc des animaux selon leur lieu de

prélèvement, estuaire interne de la Loire ou baie de Bourgneuf, une bioaccumulation plus forte du cadmium chez les Crevettes et les Flets est notée pour les individus provenant de l'estuaire. Pour le plomb, la manifestation de ce phénomène s'étend à toutes les espèces communes aux différents points de prélèvement. Les principaux organes de stockage du plomb (foie, rein, colonne vertébrale) présentent également des teneurs plus élevées pour les Poissons de l'estuaire.

La différence de comportement du cuivre et du zinc d'une part, du plomb et, à un moindre degré, du cadmium d'autre part, en fonction du point de prélèvement peut être rapprochée de leurs fonctions physiologiques, importantes pour les deux premiers éléments, inconnues pour les deux autres. L'influence du milieu sur la bioaccumulation des métaux peut résulter soit d'un comportement physico-chimique différent dans les conditions hydrologiques particulières à l'estuaire ou à la baie (salinité, turbidité,...) soit d'apports anthropogènes consécutifs à l'utilisation différente de ces deux milieux par l'Homme.

Zusammenfassung

Die Gehalte an Kadmium, Blei und Kupfer sind bei den Wirbellosen höher als bei den Fischen. Hinsichtlich dieser drei Metalle lässt sich feststellen, daß ihre Konzentration in den Nahrungsketten nicht ansteigt. Die Zinkgehalte liegen bei jedem trophischen Niveau der Organismen und bei jeder Position, die diese innerhalb der zoologischen Klassifizierung haben, in der gleichen Größenordnung.

Kupfer und Zink, für das Leben unentbehrliche und regulierte Spurenelemente, weisen ähnliche Konzentrationen bei den Organismen der gleichen Art auf, wo immer diese entnommen seien, ob im Mündungsgebiet der Loire oder in der Bucht von Bourgneuf. Bei Blei, einem Element, das keine bekannte physiologische Rolle spielt, sind die Konzentrationen in den Organismen des Mündungsgebiets höher als in denen der Bucht. Bei Kadmium ist die Lage vergleichbar, obwohl nicht für alle Arten, die in beiden Bereichen vorkommen, bemerkenswerte Unterschiede beobachtet werden.

Summary

The concentrations of cadmium, lead and copper are higher in invertebrates than in fishes. For these metals, no biomagnification in food chains is observed. The concentration of zinc is of the same order of magnitude whatever the trophic level or the position of the organisms in the zoological classifying may be.

Copper and zinc, indispensable for life and regulated trace elements, present similar concentrations in organisms of the same species wherever they were sampled in the Loire estuary or in the bay of Bourgneuf. The concentrations of lead—an element which has no known physiological function—are higher in estuarine than in marine organisms. For cadmium, a similar pattern is observed but significant differences are not recorded for all the species common to these two natural environments.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

- AMIARD, J.C., AMIARD-TRIQUET, C., MÉTAYER, C., MARCHAND, J., 1980. — Etude du transfert de Cd, Pb, Cu et Zn dans les chaînes trophiques néritiques et estuariennes. I. Etat dans l'estuaire interne de la Loire au cours de l'été de 1978. *Water Res.*, 14, pp. 665-673.
- AMIARD-TRIQUET, C., MÉTAYER, C., AMIARD, J.C., 1980. — Etude du transfert de Cd, Pb, Cu et Zn dans les chaînes trophiques néritiques et estuariennes. 2. Accumulation biologique chez les Poissons planctonophages. *Water Res.*, 14, pp. 1327-1332.

- ANONYME, 1978. — Résumé des conditions hydrologiques et caractéristiques des eaux dans l'estuaire de la Loire. Laboratoire de Géologie Marine et Appliquée, Université de Nantes (France).
- BADSHA, K.S., SAINSBURY, M., 1977. — Uptake of zinc, lead and cadmium by young whiting in the Severn estuary. *Mar. Pollut. Bull.*, 8, pp. 164-166.
- BOITEAU, H.L., MÉTAYER, C., 1978. — Microdosage du plomb, du cadmium, du zinc et de l'étain dans les milieux biologiques par spectrométrie d'absorption atomique après minéralisation et extraction. *Analisis*, 6, pp. 350-358.
- BRYAN, G.W., 1968. — Concentrations of zinc and copper in the tissues of decapod crustaceans. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 48, pp. 303-321.
- FORSTNER, U., WITTMANN, G.T.W., 1979. — *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. Springer-Verlag ed., Berlin, 486 pp.
- HALCROW, W., MACKAY, D.W., THORNTON, I., 1973. — The distribution of trace metals and fauna in the firth of Clyde in relation to the disposal of sewage sludge. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 53, pp. 721-739.
- HARDISTY, M.W., HUGGINS, R.J., KARTAR, S., SAINSBURY, M., 1974a. — Ecological Implications of Heavy Metal in Fish from the Severn Estuary. *Mar. Pollut. Bull.*, 5, pp. 12-15.
- HARDISTY, M.W., KARTAR, S., SAINSBURY, M., 1974b. — Dietary Habits and Heavy Metal Concentrations in Fish from the Severn Estuary and Bristol Channel. *Mar. Pollut. Bull.*, 5, pp. 61-63.
- KLUMPP, D.W., PETERSON, P.J., 1979. — Arsenic and other trace elements in the waters and organisms of an estuary in SW England. *Environ. Pollut.*, 19, pp. 11-20.
- MARTIN, J.M., MEYBECK, M., SALVADORI, F., THOMAS, A., 1976. — Pollution chimique des estuaires : état actuel des connaissances. *Rapp. scient. techn.*, CNEXO, n° 22.
- MARTOJA, M., VUTANTUE, ELKAIM, B., 1980. — Bioaccumulation du cuivre chez *Littorina littorea* (L.) (Gastéropode prosobranche) : signification physiologique et écologique. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 43, pp. 251-270.
- MÉTAYER, C., AMIARD, J.C., AMIARD-TRIQUET, C., 1980. — Etude du transfert de quelques oligo-éléments dans les chaînes trophiques néritiques et estuariennes : accumulation biologique chez les Poissons omnivores et super-carnivores. *Helgoländer Meeresunters.*, 34, pp. 179-191.
- MÉTAYER, C., AMIARD, J.C., AMIARD-TRIQUET, C., 1982. — Accumulation de quelques éléments traces métalliques (Cd, Pb, Cu et Zn) chez la Sole (*Solea solea*) et le Flet (*Platichthys flesus*) : variations en fonction de l'âge et organotropisme. *Rev. Intern. Oceanogr. Med.*, 66-67, pp. 33-45.
- MILNER, N.J., 1979. — Zinc concentrations in juvenile flatfish. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 59, pp. 761-775.
- MULLIN, J.B., RILEY, J.P., 1956. — The occurrence of cadmium in seawater and in marine organisms and sediment. *J. Mar. Res.*, 15, pp. 103-122.
- PEDEN, J.D., CROTHERS, J.H., WATERFALL, C.E., BEASLEY, J., 1973. — Heavy metals in Somerset marine organisms. *Mar. Pollut. Bull.*, 4, pp. 7-9.
- RILEY, J.P., SEGAR, D.A., 1970. — The distribution of the major and some minor elements in marine animals. I. Echinoderms and Coelenterates. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 50, pp. 721-730.
- SEGAR, D.A., COLLINS, J.D., RILEY, J.P., 1971. — The distribution of the major and some minor elements in marine animals. II. Molluscs. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 51, pp. 131-136.
- WHARFE, J.R., VAN DEN BROEK, L.F., 1977. — Heavy metals in macroinvertebrates and fish from the lower Medway estuary, Kent. *Mar. Pollut. Bull.*, 8, pp. 31-34.
- WRIGHT, D.A., 1976. — Heavy metals in animals from the North East Coast. *Mar. Pollut. Bull.*, 7, pp. 36-38.